عالم الذرة

مجلة هيئة الطاقة الذرية السورية

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

العدد الواحد والسبعون | السنة السادسة عشرة | كانون الثاني/شباط 2001

المدير المسؤول

الدكتور إبراهيم عثمان

المدير العام لهيئة الطاقة الذرّية

هيئة التحرير

الدكتور توفيق قسّام (رئيس هيئة التحرير)

الدكتور محمد قعقع — **الدكتور فؤاد العجل**

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

شروط الترجمة والتأليف للنشر في مجلة عالم الذرة

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

رسوم الاشتراك

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

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

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

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

أو بشيك باسم هيئة الطاقة الذرّية السورية

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

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

مع بيانٍ يوضح عنوان المراسلة المفضل

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

سعر العدد الواحد

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

تود مجلة عالم الذرّة إعلام الشركات والمؤسسات العاملة في قطاع التجهيزات العلمية والمخبرية كافة والصناعات المتعلقة بها عن فتح باب الإعلان التجاري فيها.
للمزيد من الاستفسار حول رغبتكم بنشر إعلاناتكم التجارية الكتابة إلينا على العنوان التالي:
هيئة الطاقة الذرية السورية - مكتب الترجمة والتأليف والنشر
دمشق ص.ب 6091 - الجمهورية العربية السورية
أو الاتصال على رقم الهاتف2132580/1/2/3/4/5/6/7 - فاكس 6112289

في هذا العدد

المقالات

□ دراسات تكثُّف بوز – أينشتاين التجريبية . . . . . و. كترل. 7
ترجمة الدكتور بسام المعصراني

□ نظرية تكثُّف بوز–أينشتاين للغازات الممدَّدة. . . . . ك. بيرنت وآخرون . . . . . 15.
ترجمة الدكتور فوزي عوض

□ الصناعة تهتم بالنواقل الفائقة. . . . . ج. تالون. 23
ترجمة هيئة التحرير

□ تعرُّض طاقم الطائرة للإشعاع–دراسة شاملة. . . . . .س. بايلي 29
ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر

أخبار علمية

1 – ديناميات الإلكترون على السطوح . . . . . 43.
2 – البراكين . . . . . 44.
3 – توليد طاقة بالرياح بعيدة عن مناطق السكن . . . . . 48.
4 – انطلاق بطيء للدُّوّارة يقيس جاذبية الثقالة . . . . . 49.
5 – الضوء يجري إلى الوراء مع الزمن . . . . . 50.
6 – صنع بلّورة فوتونية سليكونية على نطاق واسع ذات فرجة عصابية. . . . . 51.
كاملة ثلاثية الأبعاد بالقرب من 1.5 مكرومتر
7 – تنشيط اهتزاز الكرة C_{60}. . . . . 55.

ورقات البحوث (أعمال باحثي الهيئة المنشورة في المجلات العالمية)

□ الطبيعة الموجية لشذوذ أقطار الشحنة في نظائر الرصاص . . . . . د. سامي حداد، د. سهيل سليمان 59
□ خلايا شمسيّة على أساس المركب $CuGaSe_2$ بمردود قدره 9.7%. . .د. معين سعد وآخرون 61
□ دراسة مقارنة بين نوعين من الكواشف النووية ذات التراكيب . . . . . د. جمال الدين عساف، د. علي المحمد. 67
(معدن – أفلام عضوية رقيقة – سليكون) و (معدن – سليكون)
□ تحديد التآكل وقياس الشخانات المتبقّية لجدران الأنابيب . . . . . د. وفيق حرارة. 71
المعزولة بالتصوير الشعاعي المماسي باستخدام أقطارها الخارجية
□ فصل العناصر Th وU وPa وRa وAc . . . . . د. أسامة الحسنية وآخرون. 75
من السلاسل الطبيعية لليورانيوم و الثوريوم
□ تأثير أشعة غاما على استخدام الحيوينات المنوية . . . . . د. جورج سعور، د.حياة المكي. 79
عند إناث فراشة درنات البطاطا المتسافدة لمرتين

التقارير العلمية (أعمال باحثي الهيئة غير المنشورة)

- ☐ إنشاء مكتبة مقاطع عرضية بمجموعتين نترونيتين للمفاعل MNSR . . د. محمد البرهوم، سلمان محمد. 86
- ☐ تطوير الكود الهدروحراري HYDMN . . . . . د. محمد البرهوم، سلمان محمد. 88
  ليشمل الحالة العابرة للمفاعل MNSR
- ☐ دراسة تشكيل الأطوار في الجملة Cr 50% at.Si . . . . . م. مثقال أبو خرّوب، د. محمد سوقية. 90
  بطريقة التنشيط الميكانيكي بطاقات عالية
- ☐ برنامج دراسة الجدوى الاقتصادية لسخّانات المياه المنزلية . . . . . د. علي المحمد 91
- ☐ طريقة سريعة لتعيين اليورانيوم في المحاليل الحمضية . . . . . د. محمد سعيد المصري، عامر نشواتي. . . . 92
- ☐ تحديد تركيز العناصر الثقيلة في الحمأة الناتجة . . . . . د. صلاح الدين تكريتي، عبير القائد. 93
  عن معالجة مياه الصرف الصحي
- ☐ التحري الجيوكيميائي والإشعاعي للرمال الشاطئية ورواسب الوديان . . . د. يوسف جيلي، 96
  في رقعة القرداحة من الساحل السوري باستخدام تحليل بسام قطاع، محمد الهلال
  الفلزات الثقيلة وعناصر الأثر وقياسات الرادون

كتب حديثة مختارة

1- الضوئيات اللاخطّية: مفاهيم أساسية . . . . . (تأليف: د. ل. ميلز) 101
(عرض وتحليل: ر. ر. فريمان)

2- فيزياء بيئة الفضاء . . . . . (تأليف: ت. ي. غومبوزي). 101
(عرض وتحليل: غ. د. هولمان)

كشاف موضوعي لعام 2000 105

ملخصات باللغة الإنكليزية عن الموضوعات المنشورة في هذا العدد. 120

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

دراسات تكثُّف بوز – أينشتاين التجريبية*

و. كترل
أستاذ الفيزياء – معهد MIT – كمبردج – ماساتشوستس

ملخص

وفّرت مُتكثِّفات بوز – أينشتاين للغازات الممددة عندما أُنتجت لأول مرة منذ أربع سنوات ميداناً غنياً للبحث، لاكتشاف الفيزياء الذرّية والكمومية وفيزياء الأجسام المتعددة. وسوف نستعرض في هذا المقال المفاهيم الأساسية لتكثُّف بوز – أينشتاين الذرّي، ونَصِف بعضاً من الإنجازات التجريبية الحديثة المتعلقة بكيفية صنع المتكثِّف وبليزرات الذرّات وتطبيقاتها، وبالإثارات الجماعية في جمل الأجسام المتعددة ونتساءل كيف يبدو المتكثِّف، وماهي المتكثِّفات متعددة المركبات.

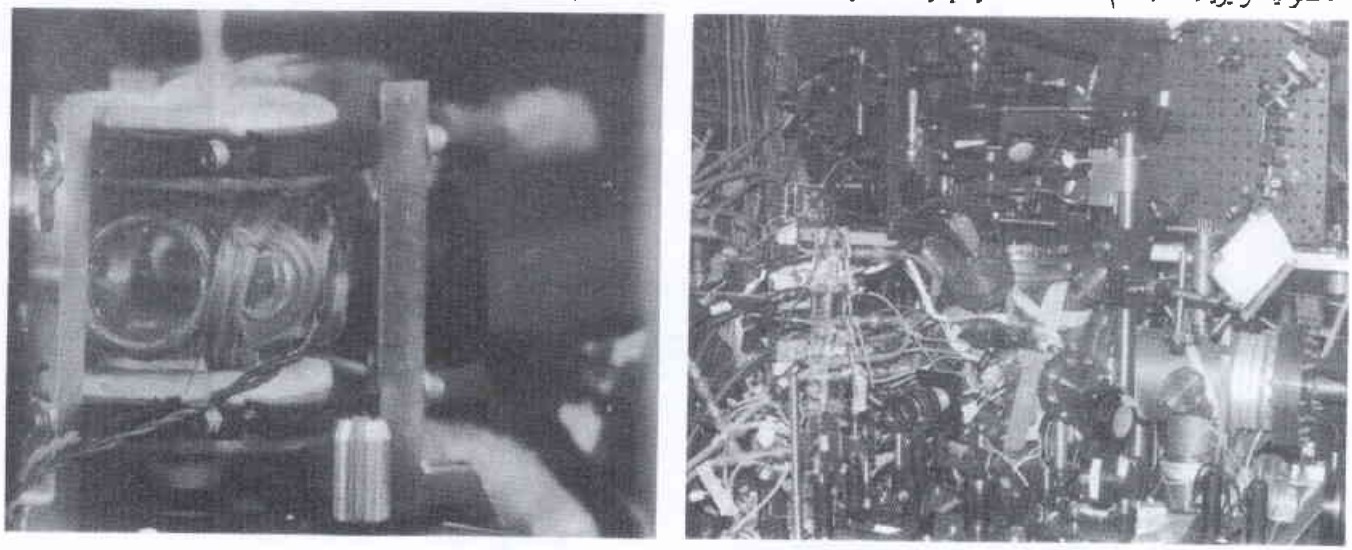
الكلمات المفتاحية: متكثِّف بوز – أينشتاين، المتكثِّفات متعددة المركّبات، ليزر الذرّات، مصيدة الذرّات، التبريد الليزري، الانحطاط الكمومي، مزج الأمواج الأربع.

مقدمة

تحقّقت إمكانية خلق حقول ضوئية فيها فوتونات كثيرة في نمط وحيد من أنماط المجاوب حين ابتُكر الليزر في العام 1960. لكن إمكانية خلق حقل موجة مادية لذّرات عديدة في نمط وحيد من أنماط مصيدة الذرّات – وهي المكافىء الذرّي للمجاوب الضوئي – لم تتحقّق إلّا حين تمّ التوصل إلى تكثُّف بوز – أينشتاين Bose - Einstein Condensation (BEC). في العام 1995.

لقد تزايد اهتمام العاملين في مجالات الفيزياء الذرّية والبصريات الكمومية وفيزياء الأجسام المتعددة many - body physics بالمتكثِّفات تزايداً سريعاً جداً، بسبب غنى الظواهر الجديدة التي تبديها هذه المتكثِّفات وبسبب الدقة والمرونة التي يمكن التعامل بهما معها (انظر الشكل 1) فقد تمكّنت 20 مجموعة على الأقل من خلق المتكثِّفات. وتزايد معدل النشر حول متكثِّف بوز – أينشتاين مباشرة بعد اكتشاف المتكثِّفات الغازية في العام 1995 (انظر الشكل 2).

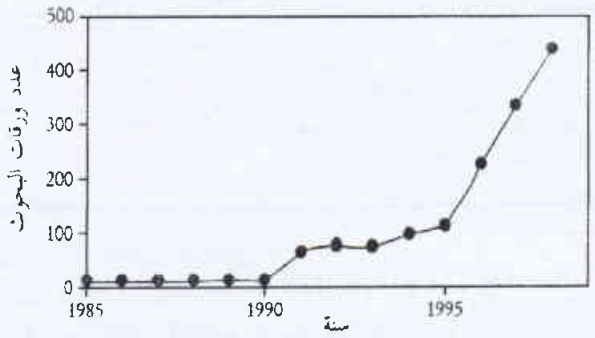
ورغم أن المتكثِّفات الذرّية تشترك مع ضوء الليزر بالعديد من الخواص، إلّا أنهما يختلفان بصورة أساسية: فالذرّات يتفاعل بعضها مع البعض الآخر بسرعة، بينما لا يحدث ذلك بالنسبة للفوتونات. وكنتيجة لهذا الاختلاف تُشكِّل المتكثِّفات الذرّية صنفاً جديداً من الجمل متعددة الأجسام، توفّر مختبراً جديداً لفيزياء الأجسام المتعددة. وقد نتجت عنها



الشكل 1– التجهيزات التجريبية لدراسة متكثِّفات بوز – أينشتاين. تبيّن الصورة إلى اليسار خلية الخلاء العالي جداً الزجاجية المزودة بنافذة قطرها 2.5 cm تحيط بها ملفات المصيدة المغنطيسية المستخدمة في JILA من أجل متكثِّفات الروبيديوم. وتبيّن الصورة إلى اليمين الجزء المركزي من حجرة الخلاء التي تستخدمها مجموعتي من أجل متكثِّفات الصوديوم، تحيط بها بصريات التبريد الليزري والسبر الضوئي. لاتلزم أية أدوات تبريد قرّية cryogenic لأي من التجهيزات – ذلك أن الجمع بين الأسر المغنطيسي والخلاء العالي جداً يوفّر عزلاً كافياً.

* نشر هذا المقال في مجلة *Physics Today*, December 1999. ترجمة الدكتور بسام المعصراني – قسم الفيزياء – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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



الشكل 2- العدد السنوي للورقات العلمية المنشورة التي تحمل كلمتي "بوز" و "أينشتاين" في عنوانها أو ملخصها أو في كلماتها المفتاحية منذ العام 1985 حتى العام 1998. تمّ الحصول على المعطيات من البحث في قاعدة معطيات معهد المعلومات العلمية Institute for Scientific Information (ISI).

حتى الآن اكتشافات مثل: المتكثّفات المستقرة ذات التأثيرات المتبادلة التجاذبية، والمتكثّفات متعددة المركّبات، وتجاوبات فيشباخ Feshbach، كما أدّت إلى تقدم نظرية الأجسام المتعددة. عدا عن ذلك، وبما أن الذرّات يتفاعل بعضها مع البعض الآخر، فإن بصريات الذرّات هي بصريات لاخطية أصلاً، ونتيجة لذلك فإن الآثار اللاخطية، مثل مزج الأمواج الأربع four - wave mixing، الذي تمّ التوصل إليه في حالة الضوء أولاً إنما بصعوبة، تحدث بصورة شبه تلقائية بالنسبة للأمواج المادية المترابطة.

سأعرض في هذا المقال المفاهيم التي هي في أساس تكثّف بوز-أينشتاين BEC الذرّي، وسأصِف بعضاً من الإنجازات التجريبية الحديثة [1]. أما جوانب BEC النظرية فهي موضوع مقال آخر كتبه بورينت وإدواردز و كلارك (تجدونها في الصفحة 15 من هذا العدد) وموضوع مراجعة حديثة [2].

تنبؤات أينشتاين

حين يبرّد غاز ذرّات بوزونية (أي ذرّات سبين كل منها هو عدد صحيح - انظر المؤطر 1) إلى ما دون درجة حرارة حرجة، يتكثّف جزء كبير من هذه الذرّات ليصبح في الحالة الكمومية الدنيا. لقد كان أينشتاين أول من تنبأ بهذه الظاهرة في العام 1925 ، وهي نتيجة للإحصاء الكمومي [3] (انظر المؤطر 2). يمكن النظر إلى الذرّات ذات الكتلة m عند درجة الحرارة T وكأنها حزم أمواج كمومية امتدادها من مرتبة طول موجة دوبروي الحرارية $\lambda_{dB} = (2\pi\hbar^2 / m\, k_B T)^{1/2}$، التي تمثل الارتياب في الموضع المرتبط بالتوزع الحراري للاندفاع. حين تبرّد الذرّات إلى الحد الذي تصبح معه λ_{dB} مساوية تقريباً للمسافة بين الذرّات، تتراكب حزم الأمواج الذرّية ويصبح لا تمايز الجسيمات ذا أهمية. وتخضع الذرّات البوزونية عند درجة الحرارة تلك إلى تحول طوري كمومي فتشكل متكثّف بوز - أينشتاين، وهو سحابة مترابطة من الذرّات تحتل كلها الحالة الكمومية ذاتها. وهناك علاقة بين درجة حرارة التحول والكثافة الذرّية القصوى ρ، هي: $\rho\lambda_{dB}^3 \approx 2.612$.

المؤطر 1

البوزونات المركّبة

الذرّات والجزيئات هي جسيمات مركّبة. وتكون بوزونية إذا كان سبينها عدداً صحيحاً، أي إذا كان العدد الكلي للإلكترونات والبروتونات والنترونات المحتواة فيها عدداً زوجياً، وتكون فيرميونية إذا كان سبينها نصف صحيح (نصف عدد صحيح فردي)، أي كان عدد الإلكترونات والبروتونات والنترونات فردياً. ففي أية شروط يمكننا اعتبار هذه الجسيمات المركّبة وكأنها نقطية. تظهر الطبيعة المركّبة في الإثارات الداخلية، فإذا كانت الطاقة الضرورية لإثارة داخلية أكبر بكثير من k_BT كانت درجات الحرية الداخلية مجمّدة وليست ذات أهمية للوصف الترموديناميكي عند درجة الحرارة T. إن للحالة الأولى المثارة إلكترونياً لجملة قدّها d طاقة قدرها $\hbar^2/m_e d^2$ حيث m_e كتلة الإلكترون. وبما أن مدى التأثير المتبادل a أكبر بكثير من d، فإن شرط أن يكون غاز ما ممدداً ($\rho a^3 \ll 1$) يضمن أن k_BT في المتكثّف أصغر بكثير من طاقات الإثارة الداخلية.ولذلك لا يمكن أن تؤثر الإثارات الإلكترونية على خواص متكثّف بوز الممدد. إلّا أن البوزون المركّب يمكن أن تكون له بنية سبينية يمكن أن تنتج عنها عدة حالات دنيا دقيقة فائقة وتؤدي إلى متكثّفات متعددة المركّبات.

كيف يصنع مُتكثّف بوز - أينشتاين

يُعدّ صنع متكثّف بوز - أينشتاين أمراً بسيطاً من حيث المبدأ: برّد الغاز حتى يصبح طول موجة دوبروي الحرارية مساوياً تقريباً للمسافة بين الذرّات. لكن التحول الطوري إلى BEC، في كل الحالات تقريباً، تسبقه التحولات الطورية الأكثر شيوعاً، المؤدّية إلى تشكل السوائل أو الجوامد. وعندها تؤدي التأثيرات المتبادلة إلى جعل الذرّات متموضعة وتمنع التكثف BEC. والاستثناء الوحيد هو الهليوم السائل. لايمكن التوصل إلى تكثّف بوز - أينشتاين في الغازات الذرّية إلا باستخدام غازات ممددة إلى أقصى حد، حيث يكون زمن تشكّل الجزيئات والتجمعات بواسطة التصادمات ثلاثية الأجسام طويلاً يبلغ الثواني أو الدقائق. إن زمن التوازن الحراري بواسطة التصادمات الثنائية المرنة هو عادة من رتبة 10 ms، بحيث أنه يمكن التوصل إلى تكثّف بوز - أينشتاين في ما هو أساساً طور غازي شبه مستقر. تبلغ الكثافة ρ عادة عند درجة حرارة التحول 10^{14} cm^{-3} (وهي مايقابل كثافة غاز في درجة الحرارة العادية تحت ضغط 10^{-2} mbar)، ويحدث التحول عند درجات حرارة دون المكروكلفن.

لقد طُورت تقنيات التبريد إلى مثل هذه الدرجات المنخفضة جداً للحرارة في الثمانينيات: تُستخدم عدة تقنيات تبريد ليزرية [4] للتبريد الأولي للغاز، الذي يُحصر بعد ذلك في مصيدة مغنطيسية.

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

المؤطر 2

هل يمكن أن تتكثّف الفوتونات تكثّف بوز؟

تبعاً لقوانين الإحصاء الكمومي، يمكن التوصل إلى تجمع population جهري من الذرّات البوزونية (السبين عدد صحيح) في الحالة الدنيا لجملة ما بمجرد تخفيض درجة حرارتها. أما في الليزر الضوئي فتلزم عملية لا توازنية لتوليد تجمع جهري من الفوتونات في نمط وحيد من الحقل الكهرطيسي. يكمن الفرق في أن عدد الذرّات محفوظ بينما عدد الفوتونات ليس كذلك. تحتوي حالة الأنتروبية الأعلى بالنسبة للذرّات البوزونية عند درجة حرارة معينة تجمعاً جهرياً للحالة الدنيا. وعلى العكس من ذلك حين نبرّد تجويفاً أسود يفرغ هذا التجويف. وبدلاً من تكثّف بوز في الحالة الدنيا للتجويف تمتص الجدران الفوتونات وهذا يزيد الأنتروبية الكلية. وعلى أية حال، لو كان الغاز الفوتوني يتوازن حرارياً مع بقاء عدد فوتوناته محفوظاً - مثلاً بواسطة تبعثر كومتون على غاز إلكتروني حراري -لأمكن له، من حيث المبدأ، أن يشكل متكثّف بوز من الفوتونات. يتطلب التوصل إلى تكثّف بوز - أينشتاين زمن توازن حراري أقصر من زمن خزن الجسيمات - وهذا مبدأ ينطبق على كل من الفوتونات والذرّات.

لقد مُنحت جائزة نوبل في الفيزياء للعام 1997 من أجل تطوير التبريد الليزري وطرائق الأسر التي تُعدّ أساسية بالنسبة إلى متكثّف بوز-أينشتاين (انظر مجلة Physics Today، كانون الأول 1997 ، ص 17). يتم التبريد اللاحق بواسطة ما يسمى بالتبريد التبخيري القسري forced evaporative cooling - الذي أوجدته لأول مرة مجموعة غريتاك وكلبنر في معهد MIT - وهو الذي يُنقّص فيه عمق المصيدة مما يسمح لأكثر الذرّات سرعة بالإفلات، بينما تُعيد الذرّات الأخرى توازنها الحراري تدريجياً في درجات حرارة أخفض فأخفض [5]. في بداية التسعينيات نجح العمل، الذي قام به أولاً فريق يقوده كورنيل و ويمان في JILA ببولدر في كولورادو ومجموعتي بالتعاون مع مجموعة بتشارد في MIT، في الجمع بين التبريد الليزري، الذي يعمل أفضل ما يكون عند الكثافة الذرّية المنخفضة، والتبريد التبخيري الذي يعمل بأفضل شكل عند الكثافة العالية، وقد تطلّب هذا التطوير تقنيات جديدة من أجل التبريد الليزري (مايسمى بالمصائد المظلمة) وللأسر المغنطيسي (تشكيلات المصيدة الجديدة) وأخرى للتبريد التبخيري (استخدام الانقلابات السبينية المحدثة بواسطة التواتر الراديوي RF بهدف إزالة الذرّات انتقائياً من المصيدة المغنطيسية).

رغم أن تجارب تكثّف بوز - أينشتاين بسيطة من حيث المفهوم إلّا أنها تضع تحديات تقنية كبيرة. لقد كان أول من برهن على تكثّف بوز-أينشتاين هو مجموعة بولدر وذلك باستخدام الروبيديوم (حزيران 1995)، وكذلك مجموعتي باستخدام الصوديوم (أيلول 1995)، ثم مجموعة جامعة رايس بقيادة هولت باستخدام الليثيوم (برهان غير مباشر في تموز 1995) [6]. إلّا أن التجارب معقّدة لدرجة أن الجيل الثاني منها لم يوضع موضع التنفيذ قبل عام 1997 . وما يزال يرحّب بكل تجربة جديدة لتكثّف بوز - أينشتاين وكأنها طفل جديد في العائلة (انظر صفحة BEC على شبكة الويب [1]). كانت الإضافة الجديدة الوحيدة إلى قائمة الأنواع الذرّية هي الهدروجين الذي كثّفه غريتاك وكلبنر ومساعدوهما، محققين بذلك مطلباً عمره أكثر من عقدين (انظر Physics Today، تشرين الأول 1998 ص17) [7]. أما الأعمال المتعلقة بالبوتاسيوم والسيزيوم والكروم والسترونسيوم والنيون شبه المستقر والهليوم فهي جارية.

في معظم تجارب تكثّف بوز - أينشتاين يتم الوصول إلى الانحطاط الكمومي quantum degeneracy عند درجات حرارة تتراوح بين 500 nK و2 μK ضمن كثافات تقع بين 10^{14} و10^{15} cm^{-3}. ويحتوي أكبر المتكثّفات من الصوديوم 20 مليون ذرّة ومن الهدروجين 1 مليار ذرّة. تستغرق دورة التبريد بين عشر ثوان وعدة دقائق. وتُخفض درجة الحرارة خلال هذا الزمن مليون مرة من درجة الحرارة العادية، أو من درجة أعلى، إلى نظام ما دون المكروكلفن. ويكون شكل المتكثّف، تبعاً للمصيدة المغنطيسية، إما مدوراً تقريباً- ذا قطر يتراوح بين 10 و 50 μm - أو على شكل سيجار قطره نحو 15 μm وطوله 300 μm. ورغم أن الطاقة الداخلية العائدة إلى التدافع بين الذرّات [2] هي بين 10 و 100 nK، إلّا أن الطاقة الحركية العائدة إلى الحركة عند نقطة الصفر في المتكثّف يمكن أن تكون أقل من 10 pK على طول المحور الطويل في المتكثّفات التي هي على شكل سيجار.

إن دلالة الوصول إلى الانحطاط الكمومي شديدة الوضوح، إذ يمكن رصد الظهور المفاجيء للمتكثّف في التمدد القذفي (البالستي) الذي يعقب إيقاف المصيدة إيقافاً سريعاً. ويبدو المتكثّف، لدى استخدام التصوير بالامتصاص، كمركّبة ثانية للسحابة الذرّية سرعة توسعها أقل بكثير من سرعة المركّبة الحرارية. وبالإمكان كذلك مشاهدة المتكثّف المحتجز في موقعه in situ بواسطة تقنية تبعثر الضوء، فيبدو عندئذٍ كقلب كثيف وسط السحابة الحرارية المنتشرة. (ظاهرة تكثّف بوز - أينشتاين الأساسية في الغازات ورصدها موصوفة في مجلة Physics Today، آب 1995 ص17 وآذار 1996 ص18 وكذلك في المرجع 8).

الذرّات تتآثر

تتميز ذرّات تكثّف بوز - أينشتاين عن الفوتونات في ليزر ما بالتأثيرات المتبادلة الموجودة فيما بينها. وقد تبيّن أن المتكثّفات الذرّية هي أساس اختباري قيّم للدرجة لم تكن متوقّعة لدراسة الجُمل متعددة الأجسام المتفاعلة [2]. وإن واحدة من الخواص الجذابة لتكثّف بوز - أينشتاين في الغازات الذرّية الممددة هي أنها يمكن أن توصف نظرياً انطلاقاً من المبادىء الأولية. لقد طُورت نظرية غاز بوز ذي التأثير المتبادل الضعيف في أواخر الأربعينيات وفي الخمسينيات، وهي تتطلب أن تكون التصادمات الثنائية أكثر احتمالاً بكثير من تصادم ثلاثة أجسام. يتحقق هذا الشرط حين تكون المسافة الفاصلة بين الذرّات، $\rho^{-1/3}$، أكبر بكثير من المدى الفعّال للقوى بين الذرّية الذي يُعبّر عنه بالطول a لتبعثر الموجة s. يبلغ طول

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

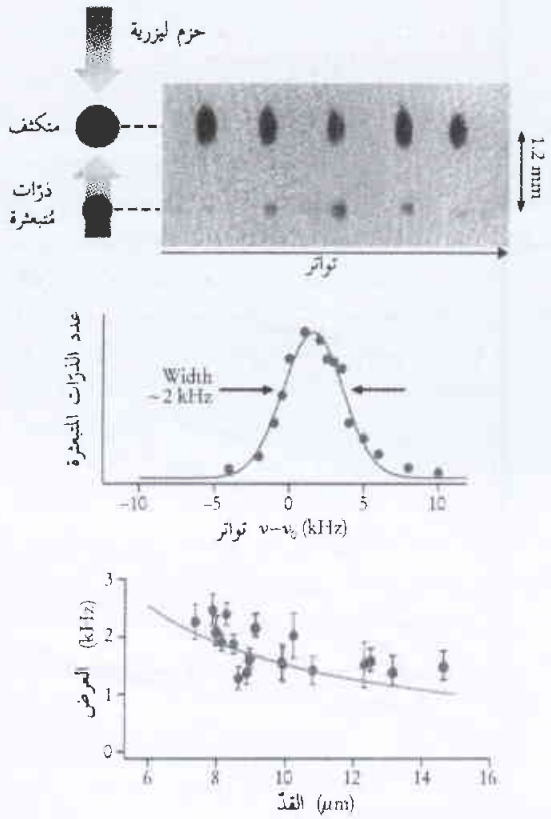
التبعثر عادة 1 إلى 5nm بالنسبة للذرّات القلوية، حيث أن $\rho a^3 \approx 10^{-6}$. ويتطلب استقرار المتكثّفات الكبيرة وجود تأثيرات متبادلة تنافرية (a موجب)، ويكون المتكثّف، إذا تجاوز حجماً معيناً، غير مستقر بالنسبة للانهيار، وذلك كما بيّن هوولت وزملاؤه، الذين درسوا كذلك تأرجحات العدد الذرّي بعد الانهيار [9].

يُظهر العمل التجريبي الحديث تعدد الجوانب الفيزيائية التي يمكن اكتشافها باستخدام متكثّفات بوز - أينشتاين، ولكن مجال هذا المقال لا يسمح لي للأسف أن أفي هذا الحقل، الذي ينمو بسرعة، حقه، إنما تتوافر مقالات مراجعة شاملة يمكن العودة إليها [10]. بإمكاننا أن نقسم البحث حول متكثّف بوز - أينشتاين الغازي إلى مجالين: ففي الأول منهما، الذي يمكن أن يسمى "المتكثّفات الذرّية كغاز مترابط" أو "ليزرات الذرّات"، يرغب المرء في أن تكون التأثيرات المتبادلة أقل ما يمكن - مثل الفوتونات في الليزر تقريباً. وتُجرى التجارب في هذا المجال بصورة أساسية عند كثافات منخفضة. يُستفاد من متكثّفات بوز - أينشتاين هنا كمصدر شديد للذرّات الفائقة البرودة المترابطة التي تُستخدم في تجارب بصريات الذرّات، أو في دراسات الدقة أو لاكتشاف جوانب أساسية في الميكانيك الكمومي، أما في المجال الثاني فيمكن أن يسمى تكثّف بوز - أينشتاين "كمائع كمومي جديد" أو "تكثّف بوز - أينشتاين كجملة متعددة الأجسام" ويتم التركيز في هذا المجال على التأثيرات المتبادلة بين الذرّات، وهي تكون أكثر وضوحاً عند الكثافات العالية.

ليزرات الذرّات والترابط

في غاز مثالي تحتل جميع الذرّات المتكثّفة تكثّف بوز الحالة الكمومية الدنيا ذاتها للجسيم المفرد. وهذه الصورة تبقى صالحة على نطاق واسع حتى وإن وجدت تأثيرات متبادلة ضعيفة بين الذرّات، مع إجراء تصحيحات (سببها تمازج تشكيلات أخرى) من رتبة 1% أو أقل بالنسبة إلى المتكثّفات القلوية. وعلى العكس من ذلك فإن هذا التصحيح يبلغ 90% بالنسبة للهليوم - ويدعى عندئذٍ النضوب الكمومي quantum depletion. وهكذا يمكن النظر إلى الذرّات كلها، حتى في حالة الغازات ذات التأثير المتبادل، كما لو أن لها التابع الموجي ذاته كما للجسيم المفرد، وذلك بدقة تبلغ 99%. ونتيجة لذلك يمكن أن تفيد متكثّفات بوز - أينشتاين الغازية كمصدر للحزم الذرّية المترابطة - وهي مايدعى بليزرات الذرّات.

لقد بُرهن على ترابط المتكثّف في العام 1997 حين أُفلت متكثّفان من المصيدة في بئر كموني مزدوج وتُركا يتمددان، فأبديا صورة تداخل ذات تباين شديد في منطقة تراكبهما، (انظر Physics Today، آذار 1997 ص17). وحين أسرت مجموعة كاسيفتش في جامعة يال متكثّفاً في بئر ضوئي كموني متعدد لاحظت تداخلاً بين الذرّات التي تنفذ نفوذاً نفقياً من الآبار المختلفة. وكانت الاهتزازات الزمانية التي شوهدت في صورة التداخل متعلقة باهتزازات جوزفسون. كما برهنت مجموعة بولدر على الترابط في المتكثّفات المتعددة المركّبات. ويبيّن الشكل 3 قياساً طيفياً حديثاً لطول الترابط في متكثّف. وقد أجرى فيليبس ومعاونوه من معهد (National Institute Standards and Technology) NIST في ماريلاند قياساً مماثلاً في المجال الزمني.



الشكل 3- قياس طول الترابط لمتكثف [16]. حين عُرّض متكثّف لحزمتين ليزريتين تنتشران في اتجاهين متعاكسين امتصّت بعض الذرّات فوتوناً من إحدى الحزمتين وحُثّت بواسطة الحزمة الثانية لإعادة إصداره. وقد طرد اندفاع الارتداد هذه الذرّات خارجاً، كما لوحظ لدى استخدام التصوير بالامتصاص بعد 20 ms من التمدد القذفي (اللوحة العليا). وقد أظهر عدد الذرّات المتبعثرة تجاوباً ضيقاً لدى تغيير الفرق بين تواتري الليزرين (اللوحتان العليا والوسطى). حُدّد عرض التجاوب، الذي سببه توسع دوبلر ولذلك فهو يتناسب مع الارتياب في اندفاع المتكثّف ΔP، من أجل أبعاد Δx مختلفة للمتكثّف (اللوحة السفلى) ويبرهن التوافق مع نهاية هايزنبرغ $\Delta P \approx \hbar/\Delta x$ (الخط الأزرق) أن العرض الدوبلري للتجاوب لم يكن سببه سوى الحركة عند نقطة الصفر للمتكثّف، أو بصورة مكافئة أن طول الترابط للمتكثّف كان مساوياً لقدّه الفيزيائي. تبيّن هذه النتيجة أن المتكثّف هو موجة مادة مترابطة واحدة.

لقد استُخدمت عدة تقنيات لطرد الذرّات المتكثّفة المترابطة من المصيدة. فقد أوجدت مجموعتي في العام 1997 قارن خرج* output coupler باستخدام إشعاع نبضي ذي تواتر راديوي RF لقلب سبينات جزء من الذرّات المتكثّفة إلى حالة غير مأسورة، فتهبط إلى الأسفل بفعل الثقالة. وبما أن الذرّات كانت مترابطة فقد كوّنت المنظومة ليزر ذرّات نبضياً. أما هانش وزملاؤه في جامعة ميونيخ ومعهد ماكس بلانك للضوئيات الكمومية في غارشينغ فقد عرّضوا متكثّفاً محجوباً

* ما يماثل مرآة الخرج في الليزر الضوئي (المترجم).

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

بطريقة مغنطيسية إلى إشعاع متواصل ذي تواتر راديوي وحصلوا بذلك على قارن خرج مستمر. أما فيليبس ومعاونوه فقد استعاضوا الانتقال الراديوي بانتقال رامان ضوئي، فدفع ارتداد الفوتونات الذرّات وأخرجها من المصيدة محققاً بذلك قارن خرج موجّه directional output coupler. (انظر Physics Today، نيسان 1999 ص17). وقد أجرت مجموعة ويلسون من جامعة أوتاغو في نيوزيلندة مؤخراً تجارب أخرى حول اقتران الخرج.

إن آلية التضخيم في ليزر الذرّات مماثلة لتلك التي في الليزر الضوئي، إذ تحث الموجة المادية المترابطة ذرّات أخرى لأن تتبعثر في النمط ذاته، فتضخم تلك نتيجة لهذه. وقد رُصد مثل هذا الحث البوزوني لدى تشكّل المتكثّف في معهد MIT وأثناء إجراء تجارب مزج الأمواج الأربع في غيترسبورغ، وبصورة أكثر وضوحاً في تكوّن نبضات الأمواج المادية "فائقة الإشعاع" superradiant.

تطبيقات ليزرات الذرّات

ما الفائدة من ليزرات الذرّات؟ لقد استخدمت مجموعة غيترسبورغ المتكثّف كمنبع ذرّي ممتاز يتمتع بسطوع عالٍ وتناثرٍ صغير في الاندفاعات وتموضع مكاني بدئي ممتاز. وقد تضمّنت تجارب الباحثين عدة دراسات حول انعراج diffraction الذرّات بواسطة الضوء. وهذا عنصر هام في مقاييس تداخل الذرّات atom interferometers. وكما أن الليزر أساسي بالنسبة للبصريات اللاخطية في مجال الضوء، فإن ليزرات الذرّات أساسية كذلك بالنسبة للبصريات اللاخطية للذرّات. ولكن الذرّات على نقيض الفوتونات ليست بحاجة إلى وسط لاخطي - فالتأثيرات المتبادلة فيما بينها هي التي توفّر اللاخطية. والمثال الجميل هو تجربة غيترسبورغ الحديثة التي تصادمت فيها ثلاثة متكثّفات وكوّنت متكثّفاً رابعاً بواسطة مزج الأمواج الأربع (انظر Physics Today، أيلول 1999 ص17).

يمكن أن تكون المتكثّفات أوساطاً لاخطية بصورة كبيرة، ليس فقط بالنسبة للأمواج المادية وإنما بالنسبة للضوء أيضاً. وقد برهنتْ مؤخراً على هذا السلوك بصورة واضحة لين هاو ومساعدوها من معهد رولاند في كامبردج - ماساشوستس، حين خفضوا سرعة النبضات الضوئية إلى 17 m/s باستخدام المتكثّفات كوسط كثيف بارد (انظر Physics Today، تموز 1999 ص17). وأخيراً يمكن أن تحلّ ليزرات الذرّات محل الحزم الذرّية العادية في تطبيقات مثل: القياسات الدقيقة للثوابت الأساسية، واختبارات التناظرات الأساسية، وفي البصريات الذرّية وبصورة خاصة في تداخل الذرّات وفي التصوير التجسيمي للذرّات (هولوغرافيا الذرّات)، وكذلك في توضيع deposition الذرّات توضيعاً دقيقاً.

ضغطُ ولكْزُ الإثارات الجماعية

لنلتفت الآن إلى مناقشة المتكثّف باعتباره جملة أجسام متعددة. كيف يوصّف الفيزيائيون شكلاً جديداً من أشكال المادة؟ إنهم يهزّونها ويلكزونها ويسلّطون الضوء عليها ثم يرون ما يحدث! وقد أثيرت المتكثّفات في بعض الدراسات الأولى التي أُجريت عام 1996 في MIT و JILA بواسطة تعديل modulating كمون الأسر المغنطيسي [10]. وقد استجاب المتكثّف مثل قطعة من الهلام حين تهزّها بتواتر هو أخفض تواترات إثارتها - عادة نحو 100 Hz، أي من مرتبة تواتر الأسر. وتقابل اهتزازات الشكل هذه الأمواج الصوتية المستقرة ذات الطول الموجي القريب من قدّ الجملة. وقد اتفقت تواترات المتكثّفات الصرفة بصورة جيدة مع التنبؤات النظرية لغاز بوز في درجة حرارة الصفر بدقة لا تتجاوز عدة أجزاء من الألف. أما في درجات الحرارة المختلفة عن الصفر فقد انزاح التواتر ولوحظ ازدياد في معدلات التخامد، وهذا مالم تكن قد أخذته النظريات الموجودة بعين الاعتبار. ونتيجة لذلك جرت في السنوات القليلة الماضية محاولات عديدة لدفع نظرية الأجسام المتعددة إلى الأمام، لكي تصف متكثّفات بوز - أينشتاين عند درجات حرارة منتهية في كمون أسر لا متجانس [2].

يمكن دراسة خواص المتكثّف الحجمية بواسطة الإثارة باستخدام صوت ذي أطوال موجية أصغر من أبعاد العينة. وكان رصدنا لاضطرابات الكثافة المنتشرة، التي سارت وفق المحور الطويل لمتكثّف متطاول بسرعة تبلغ نحو 1 cm/s، خطوة أولى في هذا الاتجاه. وقد أكّدَ أخيراً قياس سرعة الصوت هذه توقعات بوغولوبوف التي تعود إلى العام 1948، و هوانغ و لي و يانغ في الخمسينيات.

لقد توصلنا مؤخراً إلى إثارات؛ أطوالها الموجية أقصر من تلك التي تمّ التوصل إليها سابقاً، وذلك باستخدام أمواج ضوئية مستقرة طولها الموجي 2.5 μm لتعديل كثافة المتكثّف، جاعلين الفونونات بذلك "تُدفع" ضوئياً في الغاز الكمومي [12]. وقد عيّنت هذه التجربة معامل البنية الديناميكية لمتكثّف غازي، وهو ما يميز طيف الإثارات الجماعية. وهذا قريب جداً من دراسة الإثارات الجماعية للهليوم السائل بواسطة التبعثر النتروني الذي يحلل اندفاع النترونات المتبعثرة وطاقتها. لم تكن تقنية التبعثر الضوئي المناظرة التي تستخدم حزمة ليزرية واحدة توفّر إشارة قابلة للكشف، وذلك بسبب الحجم الصغير لعينات متكثّف بوز. ولذلك فقد عُزّز التبعثر في اتجاه يتم اختياره مسبقاً تعزيزاً كبيراً بواسطة حثّه بحزمة ليزرية ثانية شكلت مع الأولى الأمواج الضوئية المستقرة.

تبيّن هذه الأمثلة أن المتكثّفات الذرّية والهليوم السائل يكمل أحدها الآخر في الكثير من النواحي. فالخواص التي كان من الصعب قياسها في الهليوم السائل كانت سهلة في متكثّفات بوز الغازية، والعكس بالعكس. وعلى سبيل المثال، بيّنت المشاهدات الأولى لتكثّف بوز - أينشتاين ظهور متكثّف ذي توزع سرعات ضيق، وقد تمكّن فريق كورنل وويمان كما تمكّنت مجموعتي في الحال من قياس جزء المتكثّف كتابع لدرجة الحرارة. لكن الدراسات المتعلقة بهذا الموضوع، والتي أُجريت باستخدام التبعثر النتروني على الهليوم السائل، استغرقت عشرين عاماً قبل أن تعطي ذروة تكثّف بشكل موثوق. ومن ناحية أخرى، قدّمت الميوعة الفائقة مؤشراً أولياً رائعاً حول كون الهليوم السائل سائلاً كمومياً، بينما لم تُرصد الميوعة الفائقة حتى الآن بصورة مباشرة في متكثّف ذرّي (انظر Physics Today، تشرين الثاني 1999 ص17).

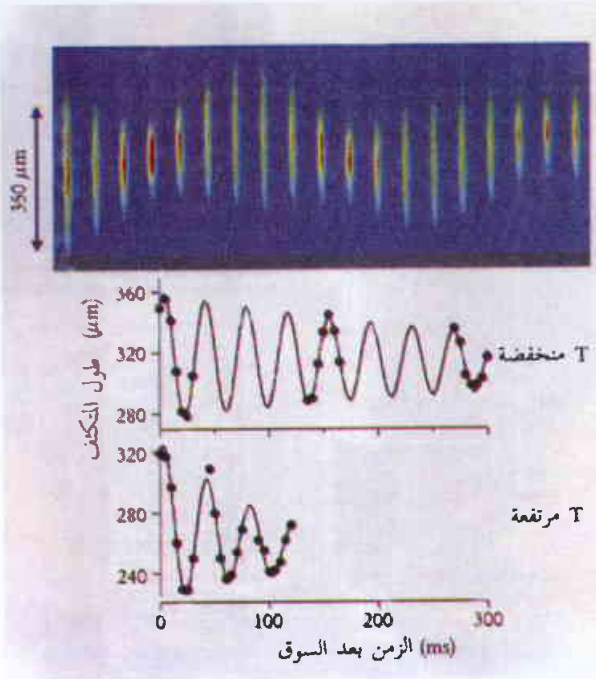
ماهو شكل المتكثّف؟

في بداية التسعينيات وقبل أن يكون قد تمّ التوصل إلى تكثّف بوز - أينشتاين في الغازات الذرّية، كانت هناك مناقشات حامية

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

حول الشكل الذي يمكن أن يكون عليه المتكثّف. واعتقد بعض الباحثين أنه يمكن أن يمتص كل الضوء وأنه سيكون إذن أسود فاحماً، بينما تنبأ البعض الآخر أنه سيكون شفافاً بسبب توسع خط الإشعاع الفائق superradiant line - broadening، وتوقع آخرون أنه سيعكس الضوء بسبب البولاريتونات Polaritons وأنه سيكون لامعاً كالمرآة.

لقد استخدمت كلُ وسائل رصد متكثّفات بوز تبعثرَ أو امتصاصَ ضوء الليزر. وحتى وقت قريب كانت المشاهدات متفقة مع افتراض أن متكثّف بوز هو سحابة باردة ممددة من الذرّات تُبعثر الضوء كما تبعثره الذرّات العادية، وأنه لدى التجاوب يمتص المتكثّف الضوء بشدة مما يؤدي إلى صور الظل المعروفة جيداً للمتكثّفات المتمددة (كما في الشكل 3). أما بالنسبة للضوء خارج التجاوب فيمكن جعل الامتصاص صغيراً لدرجة يمكن معها إهماله، فيعمل المتكثّف عندئذٍ عمل وسط مبدِّد، فيحني الضوء مثل كرة زجاجية. وقد استخدم هذا الترتيب لتصوير متكثّفات بوز-أينشتاين تصويراً لا إتلافياً وهي في موضعها in situ (انظر الشكل 4).



الشكل 4- اهتزازات متكثّف بوز - أينشتاين الجماعية. رُصدت الاهتزازات بتعديل كمون الأسر المغنطيسي أولاً لإثارة المتكثّف ثم تصويره دون إحداث اضطراب فيه بطريقة التباين الطوري phase - contrast. تبيّن اللوحة العلوية صوراً أُخذت بفاصل زمني قدره 5. ms. إن للتغيرات الدورية في الطول والعرض شكل الاهتزازات رباعية الأقطاب quadrupolar، وهي الإثارة "الفونونية" الأخفض للجملة. ويتزايد معدل تخامد هذه الاهتزازات بشدة في درجات الحرارة الأكثر ارتفاعاً.

في هذه السنة فقط نظرنا عن كثب، بالتعاون مع مجموعة بتشارد، إلى كيفية تفاعل ذرّات مترابطة مع ضوء مترابط. ينقل تبعثر الضوء اندفاعاً إلى المتكثّف ويُحدِث إثارة. ونتيجة لذلك فإن الترابط والطبيعة الجماعية للإثارات في المتكثّف يمكن أن تؤثر في الخواص الضوئية تأثيراً قوياً. وقد لاحظنا نقصاً حاداً في تبعثر الضوء حين كانت سرعة الارتداد العائدة لتبعثر الضوء أقل من سرعة الصوت في المتكثّف [12]. ذلك أنه في هذه الحالة التي لاتستطيع فيها الذرّات أن تمتص الاندفاع بصورة إفرادية، إنما تمتصه بصورة جماعية فقط، ينشأ نقص التبعثر من التداخل الهدّام لطريقي الإثارة. وهذا يقدم دليلاً قوياً على وجود إثارات الاندفاع المرتبطة بعضها بالبعض الآخر في التابع الموجي لمتكثّف الأجسام المتعددة. ويمكن لهذا الأثر، في حالة متكثّف كثيف لدرجة كافية، أن يجعل متكثّفاً شديد السواد شفافاً.

أما لدى استخدام شدّات ليزر أعلى فقد اكتُشف أن الضوء لم يكن يتبعثر عشوائياً وإنما كان يصدر وفق الاتجاه المحوري للمتكثّف المتطاول. يمثل هذا الأثر، العائد إلى التضخيم الذاتي لتعديل الكثافة (من حيث الجوهر لتشكل شبكة بواسطة أمواج المادة)، شكلاً جديداً من الإشعاع الفائق superradiance. ونتيجة لذلك يعكس المتكثّف الضوء مثل مرآة (انظر Physics Today، أيلول 1999 ص17).

المتكثّفات متعددة المركّبات

لقد أُسرت الذرّات المستخدمة من أجل تكثّف بوز - أينشتاين حتى الآن - أسراً مغنطيسياً، وهذا يتطلب أن يكون لها سبين إلكتروني غير معدوم. ونتيجة لذلك ينبغي أن توجد بنية سبينية في الحالة الذرّية الدنيا، مما يجعل خلق متكثّفات متعددة المركّبات ممكناً (تدعى أيضاً متكثّفات السبينورات). وقد اكتشف باحثو JILA متكثّفاً ثنائي المركّبات [13]، وذلك حين أسروا الذرّات في كلتا حالتيْ البنية فائقة الدقة العليا والسفلى لعنصر ^{87}Rb. وكان هذا مفاجئاً لأنه كان قد تمّ التنبؤ بمعدل كبير من التصادمات اللامرنة في هذه الجملة. وقد تبيّن أن إخماد هذه التصادمات التي تؤدي إلى انقلاب السبين spin flip يأتي من تساوٍ ملائم في أطوال التبعثر في حالتي البنية الدقيقة الفائقة.

إن الطريقة العامة لخلق متكثّفات متعددة المركّبات هي استخدام مصيدة ضوئية تستطيع حصر المتكثّفات التي تكون توجهات السبينات فيها عشوائية. وقد استُخدمت مثل هذه المصيدة لدراسة المتكثّفات ذات الإسكان العشوائي في الاتجاهات الثلاثة: m = 1, 0, -1 للحالة الدنيا F = 1 للبنية الدقيقة الفائقة للصوديوم [14].

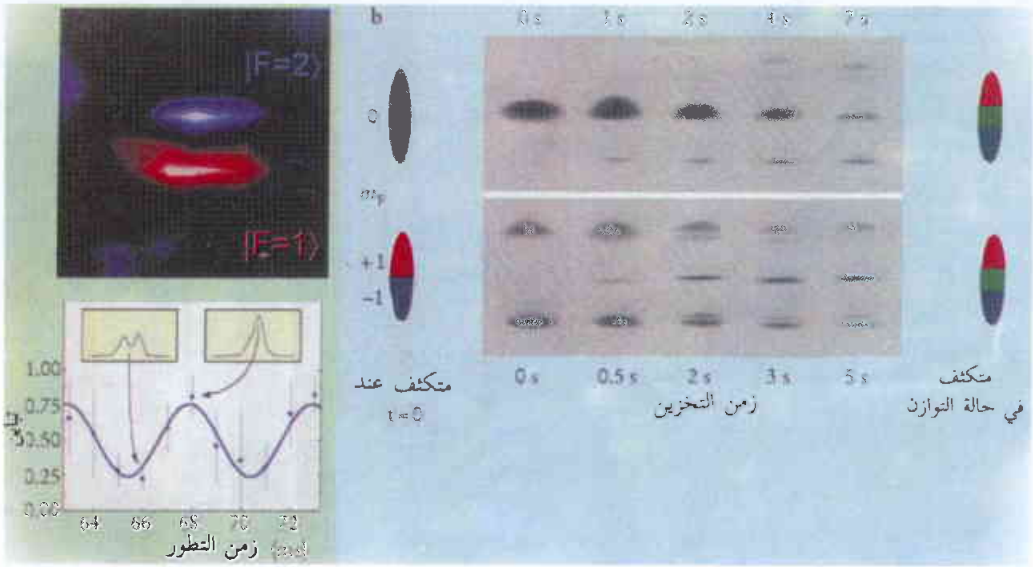
إن لهذه المتكثّفات بارامترات رتبتها ثنائية أو ثلاثية المركّبات، لها التناظر SU (2) أو التناظر المتجه [15]. وقد تمّ التنبؤ بعدد من الظواهر المختلفة الجديدة لهذه المتكثّفات متعددة المركّبات، بما في ذلك البنية السبينية والأمواج السبينية والاقتران بين السبين الذرّي والجريان فائق الميوعة. لايمكن أن تحدث مثل هذه الظواهر في متكثّفات ذات مركّبة واحدة وبارامتر ذي رتبة معقدة مثل الهليوم - 4 .

إذا لم تكن المركّبات مقترنة (أي إذا لم تتحول إحداها إلى الأخرى) أمكن اعتبارها متكثّفات متعددة النوع أو "مزيج متكثّفات". وقد درس فريق كورنل وويمان ومجموعتي ديناميك طور انفصال هذه المركّبات. كما شاهدنا بنى شبه مستقرة طويلة العمر يمكنها أن تنفذ نفوذاً نفقياً خلال بعضها بعضاً وتصل إلى حالة التوازن. وقد تمكنّا، باختيار اثنتين من الحالات الثلاث لمتكثّفات السبينورات F = 1، أن ننتج متكثّفات ثنائية

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

المركّبات كانت إما قابلة أو غير قابلة للامتزاج. إن المتكثّفات متعددة المركّبات هي جمل واعدة من أجل دراسة السوائل الفائقة المتغلغلة بعضها في البعض الآخر. وهو هدف قائم منذ زمن طويل، منذ المحاولات الأولى في العام 1953 باستخدام المزيج ^{4}He - ^{6}He.

تبرز ظواهر جديدة حين تكون المركّبات مقترنة، كما هو موضّح في الشكل 5. وقد اكتشفت مجموعة JILA مؤخراً كيفية التعامل مع المتكثّفات ثنائية المركّبات بطريقة مترابطة الطور. وقد رصد الباحثون لفّ ونشر الوسيط (البارامتر) ذي الرتبة (2) SU لدى تطبيق حقول شديدة ذات تواتر راديوي (انظر Physics Today، تشرين الثاني 1999 ص17).



الشكل 5- المتكثّفات المقترنة متعددة المركّبات. (a) في تجربة أُجريت في JILA أُحدث متكثّف ثنائي المركّبات بواسطة شطر متكثّف واحد بطريقة طورية مترابطة بفضل الإشعاع راديوي التواتر. ويمكن تمييز المركّبتين، الموجودتين في الحالتين الدقيقتين الفائقتين العليا والدنيا للروبيديوم - 87 ، بواسطة التصوير بالتباين الطوري (اللوحة العلوية) الذي يبيّن الكثافة التفاضلية للمركّبتين. ويظهر الشكلان الإضافيان في اللوحة السفلية التغير الشاقولي من خلال التصوير بالامتصاص بعد أن تعرّض المتكثّف المزدوج إلى نبضة راديوية التواتر. ففي منطقة التراكب توجد إما وهدة (تداخل هدّام) أو ذروة (تداخل بنّاء) تبعاً للطور النسبي لكلا المتكثّفين. ومما نجدر ملاحظته أنه حتى بعد الفصل الطوري وشيء من التحريك يبقى الطور النسبي قابلاً للتكرار، ويهتز دورياً مع الزمن [11]. (b) في تجارب أجريت في MIT قرن تفاعل فرّو مغنطيسي معاكس يقلب السبين مختلف مركّبات المتكثّف مؤدياً بها إلى بنية مجالات توازنية. وقد حُصِرت المتكثّفات ذات التوجهات المختلفة m = -1, 0, 1 للسبين الكلي F = 1 في مصيدة ضوئية، وحُلّلت بعد أزمنة تخزين مختلفة. وأثناء التمدد القذفي قام تدرج مغنطيسي يفعل مرشح شتيرن - غيرلاخ، ففصل المركّبات ذات توجهات السبين المختلفة كما هو مشار إليه بالأسهم. وكانت بنية المجالات السبينية التوازنية التي تطورت من حالة m = 0 الصرفة (في الأعلى) مثل البنية التي تطورت من مزيج متساوٍ من حالات m = +1 و m = -1 (في الأسفل). ويظهر توزع الكثافة ثنائي النمط للمركّبتين 1+ و 1- قابليتهما للتمازج [14].

نافذة جديدة على العالم الكمومي

يمكن اعتبار الرصد المباشر لتوزع كثافة المتكثّف تجسيداً مباشراً لطويلة التابع الموجي الجَهري (الماكروسكوبي). حتى أن التطور الزمني للتابع الموجي لمتكثّف وحيد سُجل بطريقة لا إتلافية في الزمن الحقيقي (انظر على سبيل المثال الشكل 4). إن التابع الموجي هو وصف احتمالي للجملة، بمعنى أنه يحدد توزع القياسات إذا سبرت توابع موجية متماثلة عديدة بصورة متكررة. وفي تكثّف بوز - أينشتاين يُنتج المرء في آن واحد ملايين النسخ المتماثلة من التابع الموجي نفسه، ولذلك يمكن تعيينه بدقة بحيث لا يتأثر بعملية القياس سوى جزء صغير من الذرّات المتكثّفة. ومن ناحية أخرى، فقد رصدت الارتباطات الكمومية quantum correlations التي تذهب أبعد من صورة الجسيم المفرد البسيطة. تشمل الأسئلة التي أثارها تكثّف بوز- أينشتاين مقارنة المجموعات الإحصائية المختلفة (الميكروقانونية microcanonical والقانونية canonical وغيرها) التي تتفق مع بعضها بعضاً في النهاية الترموديناميكية، ولكن ليس في متكثّفات بوز - أينشتاين الصغيرة. ويمكن أن يناقش إيجاد فرق طور نسبي صغير بين متكثّفين في إطار كل من نظريتيْ كسر التناظر التلقائي والقياس الكمومي، وقد أدى ذلك إلى فهم معمق جديد [2]. وهناك سؤال آخر طرحه ليجيت (من جامعة إيلنيويس في أوربانا - شامبين) وآخرون هو: تحت أية شروط يمكن أن يكون هناك مرجع مطلق للطور في المتكثّفات؟

فاجأت الخطوات السريعة في تطور متكثّفات بوز-أينشتاين الذرّية خلال السنوات القليلة الماضية مجتمع الفيزيائيين. فبعد عقود من الاستقصاء المحيّر لم يكن أحد يتوقع أن تكون المتكثّفات على هذه الدرجة من المتانة وسهولة التعامل النسبية معها. وكذلك لم يتصور أحد أن جملة بسيطة كهذه يمكن أن تطرح مثل هذا العدد الكبير من التحديات، ليس أمام التجريبيين فقط وإنما كذلك بالنسبة لفهمنا الأساسي للفيزياء. إن قائمة التحديات المستقبلية طويلة وتشمل اكتشاف الميوعة الفائقة والدوّامات vortices والصوت الثاني في غازات بوز ودراسة الجزيئات المنحطة degenerate كمومياً وغازات فيرمي وتطوير ليزرات ذرّات عملية عالية الاستطاعة وتطبيقها في بصريات الذرّات وفي القياسات الدقيقة.

المراجع

REFERENCES

[1] A scoreboard of experiments and compilation of publications can be found on the BEC home page at Georgia Southern University. http://amo. phy.gasou. edu/bec. html.

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

[2] F.Dalfovo et al., Rev. Mod. Phys. 71, 463 (1999). See also the article by K.Burnett, M.Edwards, C. W. Clark, this issue, page 37.

[3] A. Einstein, in Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, rept. 3 (1925), p. 18.

[4] E.Arimondo, W.D.Phillips, F.Strumia, eds., Laser Manipulation of Atoms and Ions (North-Holland, Amsterdam, 1992). C.S.Adams, E. Riis, Progress in Quantum Electronics 21, 1 (1997). H. Metcalf, P. van der Straten, Phys. Rep. 244, 203 (1994).

[5] H. F. Hess, Phys. Rev. B 34, 3476 (1986). N. Masuhara et al., Phys. Rev. Lett. 61, 935 (1988). W.Ketterle, N.J.van Druten, in Advances in Atomic, Molecular, and Optical Physics, vol. 37, B. Bederson, H. Walther, eds. (Academic Press, San Diego, 1996), p. 181.

[6] M. H.Anderson et al., Science 269, 198 (1995). C.C.Bradley et al., Phys. Rev. Lett. 75, 1687 (1995). K. B.Davis et al., Phys. Rev. Lett. 75, 3969 (1995).

[7] D.G.Fried et al., Phys. Rev. Lett. 81, 3811 (1998).

[8] D.S.Durfee, W.Ketterle, Optics Express 2, 299 (1998); available on the web at http://epubs.osa.org/opticsexpress/framestocv2n8.htm. E.A. Cornell, C. E. Wieman, Sci. Am., March 1998, p. 40.

[9] C. C. Bradley, C. A. Sackett, R. G. Hulet, Phys. Rev. Lett. 78, 985 (1997). C.A. Sackett et al., Phys. Rev. Lett. 82, 876 (1999).

[10] M.Inguscio, S. Stringari, C. E. Wieman, eds., Bose - Einstein Condensation in Atomic Gases, Proceedings of the International School of Physics Enrico Fermi, vol. 140 (IOS Press, Amsterdam, 1999). See also W.Ketterle, D.S.Durfee, D.M.Stamper-Kurn, http://xxx.lanl. gov/abs/cond-mat/9904034; E. Cornell, J. R.Ensher, C. E. Wieman, cond-mat/9903109; D. Kleppner et al., physics/9812038.

[11] M.R.Andrews et al., Science 275, 637 (1997). D. S. Hall et al., Phys. Rev. Lett. 81, 1543 (1998). B.P.Anderson, M. A. Kasevich, Science 282, 1686 (1998).

[12] D.M.Stamper-Kurn et al., Phys. Rev. Lett. 83, 2876 (1999).

[13] C.J. Myatt et al., Phys. Rev. Lett. 78, 586 (1997).

[14] D.M.Stamper-Kurn et al., Phys. Rev. Lett. 80, 2072 (1998). J.Stenger et al., Nature 396, 345 (1998).

[15] T.-L. Ho, Phys. Rev. Lett. 81, 742 (1998). T.Ohmi, K. Machida, J. Phys. Soc. Jpn. 67, 1822 (1998).

[16] J.Stenger et al., Phys. Rev.Lett. 82, 4569 (1999).

[17] D.M.Stamper-Kurn et al., Phys. Rev. Lett. 81, 500 (1998). A related experiment was reported by D.S.Jin et al., Phys. Rev. Lett.78, 764 (1997).■

☆ ★ ☆

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

نظرية تكثف بوز–أينشتاين للغازات الممدَّدة*

ك. بيرنت
أستاذ فيزياء في جامعة أكسفورد في أكسفورد إنكلترا
م. إدواردز
أستاذ مساعد في الفيزياء بجامعة جورجية الجنوبية في ستيتسبرو - جورجية
ش. كلارك
رئيس قسم الإلكترون و الفيزياء البصرية في منشأة غايثربورغ التابعة لـ NIST

ملخص

تنبأ أينشتاين نظرياً بحدوث تكثف لمنظومة من جسيمات سبيناتها أعداد صحيحة (بوزونات) مع انخفاض درجة حرارتها، أي حدوث تحول طوري لمجموعة من جسيمات تخضع لإحصاء بوز – أينشتاين بحيث يشغل عدد كبير منها الحالة الدنيا نفسها. مكّنت هذه النظرية من تفسير سلوك الهليوم 4 المائع عند انتقاله من طور المائع العادي إلى طور المائع الفائق تفسيراً مقبولاً. وتبع ذلك نجاح آخر في تفسير الناقلية الفائقة وظواهر أخرى. أطلق على هذه المجموعة من الجسيمات، التي تشغل الحالة الدنيا نفسها والتي تسلك سلوكاً كمومياً مترابطاً، اسم المتكثفات. نجح الليزر بتبريد الغازات بعد وضعها في مصيدة مغنطيسية حتى حدوث التكثف والحصول على متكثفات. لذلك تعد متكثفات بوز – أينشتاين أرضاً مثالية لاختبار نظرية الحقل الكمومية في الزمن الحقيقي وعند درجات حرارة محدودة – وهي من المواضيع الأساسية ذات الأهمية الكبيرة في منظومات فيزيائية متنوعة.

الكلمات المفتاحية: تكثف بوز – أينشتاين، متكثف، مصائد الذرات، تفاعل الليزر و الذرات الباردة، التأثرات متعددة الأجسام، المادة المكثّفة، الإثارة الجماعية، معادلات هارتري – فوك – بوغوليوبوف H F B، الأمواج المادية، الفيزياء الوسيطة.

تعد متكثفات بوز – أينشتاين أرضاً مثالية لاختبار نظرية الحقل الكمومية في الزمن الحقيقي و عند درجات حرارة محدودة – وهي من المواضيع الأساسية ذات الأهمية الكبيرة في منظومات فيزيائية متنوعة.

عرف تكثف بوز–أينشتاين Bose-Einstein condensation (BEC) منذ أمد بعيد بأنه عنصر أساسي فعّال في الظواهر الجهرية macroscopic مثل الناقلية الفائقة والميوعة الفائقة. غير أن مشاهدة التكثف بحدّ ذاته مباشرة وبوضوح بقيت ممتنعة حتى عام 1995، حين أنتجت عدة مجموعات تجريبية متكثفات لغازات ممدّدة من ذرات المعادن القلوية [1].

و إن في قصة تجارب التكثف هذه، كما سردها و.كتيرل Wolfgang Ketterle في المقال المرافق (الصفحة 7 من هذا العدد)، عناصر أسطورة بطولية، يكمن نجاحها في عبقرية ومهارة و تصميم الأبطال، غير أنهم كانوا متسرعين بامتلاك "الأسلحة السحرية" كالتبريد بالليزر والسرنديبية (الاكتشافات مصادفة) كاكتشافهم قيماً منفصلة لوسطاء التصادم الذرية الأساسية. وما ينقصهم هي النهاية السعيدة التي يُضرب بها المثل، إذ تبيّن أن التكثف نفسه هو سلاح سحري أطلق طموحات أخرى حول تساؤلات جديدة خلال السنوات الأربع التي تلت ذلك.

ومع صعوبة الوصول إلى التكثف في البدء، فقد وجد أنه يزودنا بمنصة متماسكة و غنية من التجارب في الفيزياء الوسيطة mesoscopic للجسيمات العديدة [2]. إذ دفعت أقصى حدود فيزياء درجات الحرارة المنخفضة إلى منطقة تقرب من خمس مراتب أبرد من الملي كلفن المميز لموائع الهليوم الفائقة، وقدمت آفاقاً جديدة لِظواهر كانت تصادف فقط في هذه الموائع الفائقة، كما زودتنا باختبارات دقيقة لبعض النظريات الأساسية للمنظومات المتعددة والجسيمات الكمومية. يضاف إلى ذلك، ما قادنا إليه التكشف من إنتاج منظومات فيزيائية جديدة كلياً، مثل خليط من غازات فرمي المنحطة degenerate (انظر مجلة Physics Today، عدد تشرين الأول 1999 صفحة 17)، كما حثّ على التنبؤ بتطبيقات مميزة، مثل التضخيم المترابط للأمواج المادية و اختبارات سهلة الإجراء - table) (top حول نظرية الحقل الكمومية عند درجات حرارة محدودة.

تقدم هذه المقالة الرؤية الحالية للتقدم في الفهم النظري لتكثف بوز–أينشتاين (BEC) الغازي من وجهة نظر الفيزياء الذرّية والجزيئية والضوئية (AMO). ففي هذه الفيزياء، يُنظر إلى التكثف على أنه تقانة فاعلة، يمكن أن تعطي تحكماً متميزاً بالأمواج المادية كالذي يميز الأمواج الضوئية، و أن تكون كنقطة تماس مؤثرة مع فروع أخرى في الفيزياء. ونجد الكثير من أسس التكثف في منظومات الذرات المصيدة متمثلة بمفاهيم مألوفة لفيزيائيي الفروع الذرّية والجزيئية و الضوئية، ومع ذلك فإن لها ما يوازيها في فيزياء المادة الكثيفة و في الفيزياء الإحصائية و فيزياء الجسيمات الأولية. وعلى سبيل المثال، إن وسيط الترتيب الذي أدخله ل.لانداو

* نشر هذا المقال في مجلة *Physics Today*, December 1999. ترجمة الدكتور فوزي عوض - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة دمشق.

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

كمفهوم موحّد لفهم الانتقالات الطورية، يبرز في تكثف BEC للغازات المُمدَّدة على شكل تابع موجي للكثافة (انظر الشكل 1)، ويمكن قياسه وتصويره ومنابلته في المختبر.

فما الملامح الخاصة في تكثف بوز - أينشتاين للغازات الذرّية، و ما الذي يجعلها تستأهل هذا الاهتمام الشديد الجاري الآن؟ أولاً و في المقدمة، هي تجمعات من الجسيمات في متكثف ذات سمات كمومية وسيطة. تبدي المتكثفات الغازية خواص مختلفة جداً عن خواص الهليوم السائل. على سبيل المثال، إن أكثر من 99% من الذرات القلوية هي في المتكثف عند الدرجة $T=0$، خلافاً لما هو الحال في الهليوم السائل حيث أن الكسر من مرتبة 10% فقط. ومن الممكن تفحص سلوك المتكثفات الغازية مباشرة في المكان والزمان على مجال واسع من الشروط. كما يمكن دراسة استرخاء منظومات تكثف بعيدة عن التوازن، بما فيها المشاهدة المباشرة لتشكل المتكثف. أضف إلى ذلك، إمكانية المقارنة بين التنبؤات النظرية الكمية و تجارب من هذا النوع.

هل تُبدي الغازات المَصِيدة تكثف بوز - أينشتاين بالفعل؟

عين ألبرت أينشتاين عام 1925 انتقالاً طورياً لغاز كمومي مثالي من الجسيمات التي تخضع لإحصاء بوز - أينشتاين، ويحدث هذا الانتقال عندما يصبح طول موجة دوبروي المميزة للحركات الحرارية التي تعطى بـ $\lambda_{dB}=(2\pi\hbar^2/mk_BT)^{1/2}$، مقاربة للمسافة الفاصلة الوسطية بين الجسيمات، $r=\rho^{-1/3}$. (تمثل m كتلة الجسيم وk_B ثابتة بولتزمان و T درجة الحرارة المطلقة و ρ كثافة عدد الذرات). ويكون معيار تكثف غاز متجانس في ثلاثة أبعاد هو:

$$\rho\lambda_{dB}^3 > 2.612. \qquad (1)$$

وعندما يتحقق هذا الشرط، تكتسب أدنى حالة من حالات المنظومة إسكاناً جهرياً، حتى لو كانت درجة الحرارة عالية كفاية بحيث يمكن شغل حالات أخرى عديدة.

فبأي معنى يمكن الادعاء أن زمرة التجارب الحالية تبدي ظاهرة التكثف التي تنبأ بها أينشتاين؟ إذ أن التجارب الحالية تتناول منظومات محصورة لعدد محدود من الجسيمات. أضف إلى ذلك أن التآثرات بين الذرات تقوم بدور رئيسي عند النظر إلى هذه المنظومات من وجهة نظر الطاقة، لذلك لا يمكن معالجة منظومة من الذرات معالجة الغاز المثالي الذي درسه أينشتاين. مع ذلك، فقد تبيّن أن انتقال تكثف بوز - أينشتاين في الغازات المصيدة واقع و صامد بصورة ملحوظة - إذ لا يفسد بوجود تآثرات حتى بالقرب من نقطة الانتقال الطوري.

يتباين هذا السلوك مع سلوك غاز متجانس غير مَصِيد (حر) يدخل نظام التأرجحات الحرجة. نبدأ مناقشة هذا السؤال الرئيسي بمراجعة سلوك الغاز المثالي في كمون حاصر.

في حالة منظومة من الذرات غير المتآثرة عددها N موجودة في كمون مُهتز توافقي متناظر كروياً صائد ذي تواتر زاويّ ω، تعطى درجة الحرارة T_0 عند نقطة الانتقال إلى تكاثف بوز-أينشتاين بالعلاقة [3]:

$$k_BT_0=(N/\zeta(3))^{-1/3}\hbar\omega$$

وذلك في النهاية عندما يكون العدد N كبيراً أو عند النهاية الترموديناميكية - حيث $\zeta(3)\approx 1.202$ هو تابع زيتا ريمان. و تقع قيم T_0 للمنظومات المدروسة في مجال الأهمية الحالي بين 10^{-7} K و 10^{-4}K ويعطى عدد ذرات المتكثف N_0 من أجل $T < T_0$ بالعلاقة :

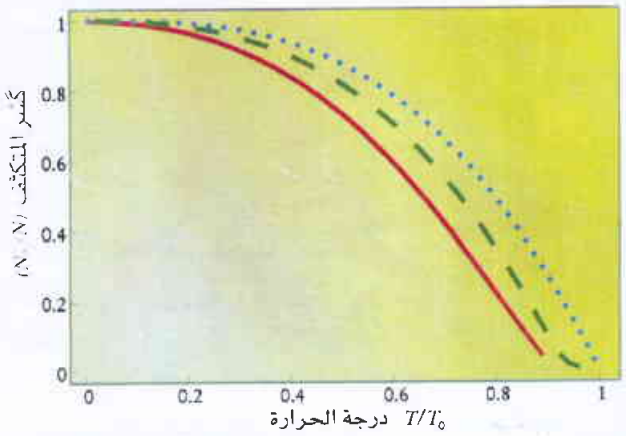
$$N_0 = N\,[1-(T/T_0)^3] \qquad (2)$$

وتختلف الصيغة N_0 هذه في حالة غاز مَصيد عن مقابلتها في حالة غاز متجانس حيث يكون الأس 3/2 . يظهر الشكل 2 هذه النتيجة الترموديناميكية في حالة كون N كبيراً، مقارنة مع كسور المتكثف المحسوبة التي تضم فقط عدداً محدوداً من الذرات، والكبر (القدّ) المحدود وآثار التآثر كليهما. يبرز تأثير الكبر المحدود في المتكثفات المصيدة في إعطائه درجات حرارة انتقال غير محددة تحديداً دقيقاً، خلافاً لما يبديه الانتقال الحاد في حالة النهاية الترموديناميكية. و يتم تناول هذه القضية حديثاً بتفصيل كثير، وحرضت محاورات طازجة بخصوص طبيعة التأرجحات في الميكانيك الإحصائي للمنظومات الوسيطة و إمكانية تطبيق تأرجحات المنظومات العيارية على المنظومات الوسيطة [4].

يؤكد التشابه الظاهر في منحنيات الشكل 2 صلاحية صورة الغاز المثالي المعتمَدة، والتي تنجم عن الانخفاض الشديد جداً في درجة الحرارة الذي يسبب بدوره كبراً ضخماً لطول موجة دوبروي في الذرات. إذ تتراكب أمواج دوبروي حتى عندما يكون الغاز ممدّداً جداً. وإن مقياس التمديد هو النسبة a / r، ما بين المدى المميز لكمون التآثر الذي يعبر عنه بطول التبعثر a (الذي سيناقش فيما بعد) والمسافة الفاصلة

الشكل 1- التابع الموجي لمتكثف بوز - أينشتاين يحتوي 12 دوّامة وذلك عند حسابه في حالة متكثف يدور في مصيدة لامتناهية. وفي هذا المنظر من الأعلى للمتكثف عند المستوى المتوسط، السطوع متناسب مع سعة التابع الموجي، وتشير الألوان إلى طوره، كما تخترق الدوّامات الشكل عند الثقوب السوداء.

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



الشكل 2- يتأثر كسر (جزء) المتكثف التابع لدرجة الحرارة بنتيجة تضمين القدّ المحدود والتأثر كليهما. تظهر هنا تنبؤات ثلاثة نماذج بخصوص كسر الذرات (N_0 / N) الموجودة في المتكثف عندما تحتل مصيدة جيلا JILA ، 2000 ذرة روبيديوم -87 . يبين المنحني المنقط النتيجة الترموديناميكية المعطاة بالمعادلة 2. أما المنحني المتقطع فهو النتيجة بعد تضمين آثار القدّ المحدود، أي بعد توزيع الـ 2000 ذرة وفق توزيع بوز - أينشتاين. في حين تضمّن نظرية بابوف (المنحني الأحمر المستمر) آثار عدد الذرات المحدود وتأثرات الذرة مع الأخرى، والتي تعطي توافقاً جيداً مع كسور المتكثف المشاهدة تجريبياً.

الوسطية بين الجسيمات r. فمن أجل نسب قريبة من الواحد، كما هي الحال مع الهليوم السائل -4 تفشل هذه الصورة البسيطة لتكثف بوز - أينشتاين فشلاً كاملاً. أما في حالة الغازات القلوية التي تحتل الأهمية الحالية فإن النسبة a/r تقارب 0.01.

مع ذلك فبالنسبة للذين يألفون نظرية الظواهر الحرجة ربما يفاجأون بعدم تأثر مجال الانتقال عند وجود تأثرات. إن وجود كمون صائد يعدّل من كثافة الحالات عند الطاقات المنخفضة عما هي عليه في حالة غاز متجانس، مما يجعل نظرية الغاز المثالي صالحة حتى قرب نقطة الانتقال. وإن انشغال الحالات ذات الطاقة المنخفضة قرب نقطة الانتقال يفسد تكثف بوز - أينشتاين الصرف لغازات منتظمة التوزع. في المستقبل، ومع إمكانية الحصول على متكثفات مصيدة أكبر فأكبر ستبرز ثانية المنطقة الحرجة. و قد يقود هذا الوضع إلى متكثفات ذات "مناطق طور" - أي مجالات من المتكثفات تختلف فيما بينها بأطوار توابعها الموجية - و هذه قضية هامة في الترابط الطوري لمنابع الأمواج المادية.

تسبب التأثرات في غاز مضيد بإزاحة درجة حرارة الانتقال بمقدار بضعة أجزاء في المئة لوضع تجريبي نموذجي. أما بعيداً عن منطقة الانتقال، فإن آثار التأثرات ذات أهمية بالغة في تحريك المتكثفات المصيدة، إذ أنه حتى من أجل متكثفات صغيرة العدد صغر بضعة آلاف من الذرات فقط، فإن الطاقة الكلية لها مكونة من مساهمتين متقاربتين بالقيمة إحداهما مساهمة كمون المصيدة الخارجي و الأخرى تأثرات أزواج الذرات، وكذلك فإن طيف الإثارة الجماعية لأشباه الجسيمات المكونة للمتكثف يختلف اختلافاً واضحاً عن طيف الإثارة لجسيم وحيد في غاز مثالي.

المتكثفات عند درجة الحرارة صفر

إن المحصول الحالي لمتكثفات بوز - أينشتاين الغازية هي منظومات من ذرات بوزونية (ذات سبين صحيح) باردة متفاعلة فيما بينها تفاعلاً ضعيفاً و مخففة و محصورة. و من أجل تحقق شروط التخفيف في هذه المنظومات، يجب أن تتجمد درجات الحرية الإلكترونية مما يسمح بمعالجة الذرات معالجة جسيمات متأثرة منفصلة .... و يتحدد ما إذا كان سينطبق إحصاء بوز - أينشتاين أم إحصاء فرمي - ديراك بالعدد الكلي من الفرميونات ذات السبين 1/2 (إلكترونات و نكليونات) في الذرة، لهذا فإن النظائر القلوية ذات العدد الفردي من النكليونات هي بوزونات.

عند درجة الحرارة صفر، يكون المتكثف عبارة عن جملة N_0 من الجسيمات تشغل جميعها الحالة الكمومية للجسيم الواحد نفسها. وأبسط نظرة لهذه الجملة، هي أن نكتب تابعها الموجي متعدد الجسيمات على شكل جداء ذي N_0 طية لتابع جسيم واحد، هو تابع موجة "المتكثف"، $\Psi(\mathbf{r},t)$. و هذا الجداء ببساطة هو التابع الموجي لجسيمات عديدة وفق هارتري (و يمكن للمرء أن يدعوه تابع هارتري ـــ فوك الموجي لأنه متناظر بصورة آلية عند تبديل جسيمين). و إذا كانت الذرات غير متأثرة، سيحقق Ψ معادلة شرودنغر التابعة للزمن لذرة واحدة. لكن السؤال، كيف نحدد التابع الموجي للمتكثف عند وجود تأثرات؟

تتأثر ذرات المتكثف عن طريق التصادمات الثنائية. وبسبب كون الذرات باردة جداً، ستكون التصادمات الرأسية فقط هي الهامة، أو بصورة مكافئة تصادم الأمواج - s فقط؛ و بسبب كون الغاز مخففاً يمكن تمثيل التأثرات بكمون مجاله صفر و شدته معطاة بطول تبعثر الموجة - s وهو a. (انظر المؤطر من أجل التفصيلات). في هذه الحالة تشعر كل ذرة بكمون إضافي ناتج عن الحقل الوسطي لجميع الذرات الأخرى الموجودة، و يمكن تضمين هذا الكمون المتناسب مع الكثافة الذرية الموضعية في معادلة شرودنغر ليأخذ في الحسبان التأثرات بين ذرة و أخرى. وتكون النتيجة معادلة شرودنغر اللاخطية، أو ما يعرف باسم معادلة غروس ـــ بيتيافسكي (Gross - Pitaevskii GP).

$$i\hbar\frac{\partial\psi}{\partial t} = H_0\psi(\mathbf{r},t) + N_0U_0\,|\psi(\mathbf{r},t)|^2\,\psi(\mathbf{r},t), \qquad (3)$$

حيث يحوي الهاملتوني H_0 الطاقة الحركية و الطاقة الكامنة للمصيدة الحاصرة V_{trap} ـــ وهي نموذجياً الطاقة الكامنة لهزاز توافقي. و يعطى مضروب الحد اللاخطي بالعلاقة $U_0 = 4\pi\hbar^2\,a/m$ حيث m كتلة ذرة من المتكثف. يلاحظ أنه عندما يكون a موجباً تتنافر ذرات المتكثف، وعندما يكون a سالباً فإنها تتجاذب.

عندما يتكون المتكثف من عدد كبير من الذرات، تقبل معادلة G P المستقلة عن الزمن حلاً بسيطاً. فمع الفرضية $\psi(\mathbf{r},t) = e^{-i\mu t/\hbar}\,\Phi(\mathbf{r})$ حيث μ هو الكمون الكيميائي (أي الطاقة اللازمة لإضافة ذرة أخرى إلى المتكثف)، يصبح الطرف الأيسر من المعادلة (3) مساوياً $\mu\,\psi(\mathbf{r},t)$. وعندما يكون حد طاقة التأثر اللاخطية أكبر بكثير من حد الطاقة الحركية - وهذا ما يدعى عادة بنهاية توماس و فرمي - يمكن للمرء إهمال الطاقة الحركية ليحصل على حل جبري لتغيرات كثافة المتكثف معطى بالعلاقة:

$$|\phi(\mathbf{r})|^2 \approx \frac{\mu - V_{trap}(\mathbf{r})}{N_0U_0}, \qquad (4)$$

عندما يكون الطرف الأيمن منها موجباً، و صفر عندما يكون خلاف ذلك. و تتحدد قيمة μ باستنظام Φ. و يكون المقطع الجبهي لتغيرات

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

مؤطر

تأثرات باردة جداً

يتم التوصل إلى تكثف بوز – أينشتاين عندما يكون التباعد بين الجسيمات قريباً من طول موجة دوبروي للذرات. و في حالة غازات مبردة بالتبخر، يكون طول موجة دوبروي للذرات بالغ الكبر، بالمقارنة مع مجال القوى بين الذرية. لذلك نستطيع نمذجة التبعثر المضاعف مستخدمين تأثراً تماسياً فعّالاً:

$V(\vec{r}-\vec{r}) = U_0\delta(\vec{r}-\vec{r})$. وتعطى U_0 بدلالة طول التبعثر المضاعف للموجة s الذي نرمز له بـ a وفق العلاقة: $U_0 = 4\pi\hbar^2 a/m$، و هو الذي يظهر في المعادلة 3 ، معادلة غروس–بتيافسكي. و يعطي هذا التأثر سعة التبعثر عند الطاقة المنخفضة بالضبط (a-) و ذلك عند استعماله في أبسط تقريب لنظرية الاضطراب من المرتبة الأولى (تقريب بورن).

و كي نرى كيف يغير تأثر التماس طاقة الغاز، يمكننا النظر في التابع الموجي النسبي لزوج من الذرات القلوية تتبعثر متباعدة بعضها عن بعض. و في حالة طاقات تبعثر بالغة الانخفاض ، يكون أثر الكمون بين الذري مكافئاً لكمون كرة صلبة نصف قطرها a. و عندما تكون طاقة التبعثر صفراً يكون للتابع الموجي النسبي الشكل $\Phi(r) = \chi(1 - a/r)$. حيث a هنا هو طول التبعثر، χ هي القيمة المقاربة للتابع الموجي. و إن كتابة بهذا الشكل، تجعل للتابع الموجي ذي الطاقة صفر عقدة عند a. (يصلح التابع الموجي المذكور سابقاً خارج مجال الكمون الذري فقط؛ أما في حالة مسافات أصغر، فيعتمد التابع الموجي على تفاصيل الكمون بين الذري). وفي حالة الغاز الممدّد، يزودنا طول التبعثر بكل المعلومات اللازمة لحساب التغير في طاقة الغاز الناجم عن التأثرات بين الجسيمات. وفي النهاية عند طاقات التبعثر المنخفضة، تختزن هذه الطاقة الإضافية في ازدياد الطاقة الحركية للجسيمات الناتج عن شرط الحدود للعقدة عند r = a. وتعطى هذه الطاقة الحركية الإضافية في التابع الموجي بالعلاقة:

$$\int_a^\infty dr\,(4\pi r^2)\frac{\hbar^2}{m}\left\{\chi\nabla\left[1-\frac{a}{r}\right]\right\}^2 = U_0\chi^2.$$

و إذا أخذنا χ^2 بمثابة كثافة الجسيمات الأخرى، نحصل على الصيغة المطلوبة لطاقة جسيم واحد بحضور الجسيمات الأخرى.

و في درجات حرارة بالغة الانخفاض، يمكن أن يكون طول التبعثر أكبر بكثير من قدّ القلب الصلب للذرات (فهو أكبر بعشرة إلى مئة ضعف بصورة نموذجية) المفترض في النظرية الحركية للذرات عند درجة الحرارة العادية. و بسبب طول التبعثر الكبير هذا يكون الاسترخاء التصادمي نحو التوازن الحراري سريعاً نسبياً بالمقارنة مع معدل فقْد الذرات من المصيدة. فمن أجل المتكثفات المحصول عليها تجريبياً حتى الآن، ما زالت أطوال التبعثر صغيرة جداً بالمقارنة مع المسافة بين الذرات – و هو شرط مطلوب يجب أن يحققه الغاز كي يكون تأثره ضعيفاً، أو بصورة مكافئة، كي يكون كسر المتكثف كبيراً. لذلك نجد في متكثفات الذرات القلوية:

$$\lambda_{dB} \gg \rho^{-1/3} \gg a,$$

حيث تمثل ρ قمة الكثافة في الغاز المصيد و λ_{dB} طول موجة دوبروي للذرات. ويمكن لطول التبعثر أن يكون سالباً أيضاً و ذلك عندما يوجد تأثر تجاذبي فعّال بين الذرات.

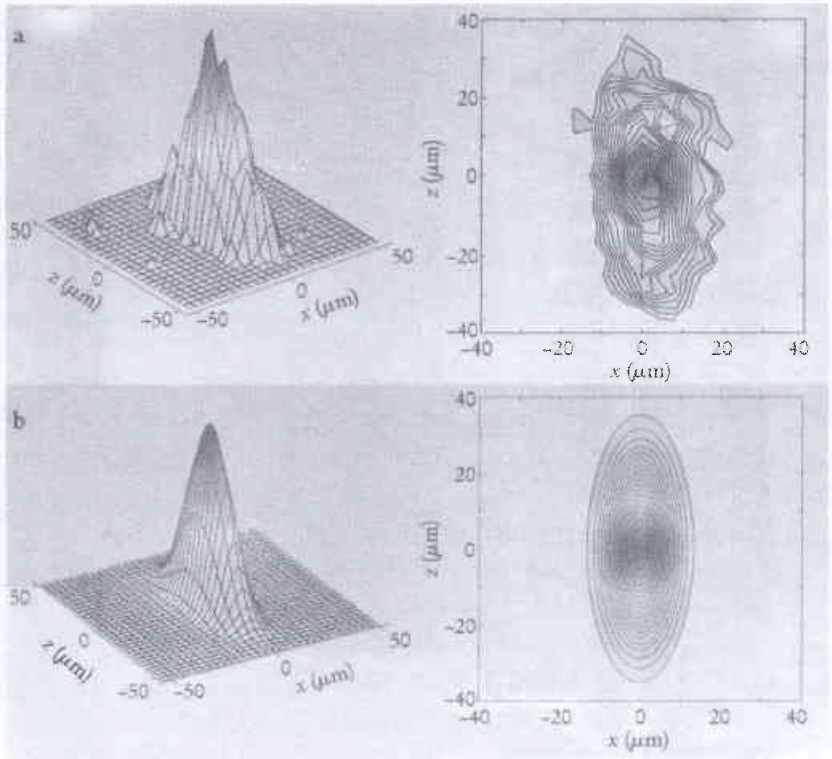
و بغية تقدير طول التبعثر، يحتاج المرء إلى معرفة الكمون بين الذري معرفة دقيقة. ففي حالة الهدروجين، يمكن حساب a مباشرة من ميكانيك الكم الجزيئي. بينما في حالة الذرات القلوية، اعتمد تقدير a على تطوير طرائق طيفية جديدة، و على وجه الخصوص مطيافية الترافق الضوئي ومطيافية فَقْد المصيدة. و قد أعطت التقانات النظرية و التجريبية المتوفرة الآن فهماً دقيقاً جداً للتأثرات بين الذرات بالغة البرودة[16]، و التي تزودنا بمزية بارزة حيوية عند تحليل تجمعات من ذرات تكثف بوز – أينشتاين. ويمكن تحديد طول التبعثر بدقة دون أن يعامل معاملة وسيط قابل للضبط.

الكثافة في حالة متكثف تجريبي نموذجي بذلك قطعاً مكافئاً مقلوباً عندما يكون الكمون الحاصر توافقياً. ويصح تقريب توماس–فرمي بصورة جيدة في حالة المتكثفات المنتجة حالياً التي عدد ذراتها نموذجياً يقارب 10^6 أو أكثر.

صلاحية معادلة غروس–بتيافسكي GP

يشرح مثالان مختلفان فائدة معادلة GP: الأول يتناول دينامية متكثف عندما يُفصل الكمون المصيد. يكون طول التبعثر في معظم المتكثفات الممكن تحقيقها تجريبياً موجباً وستتنافر الذرات فيما بينها. لذلك، عندما يُزال الكمون سيتمدد المتكثف تمديداً قذفياً مفاجئاً. وقد استخدم المجربون إ. كورنل Eric Cornell و ك. فيمان Carl Wieman ومساعدوهم في مختبر جيلا JILA ببولدر في كولورادو هذا التمدد ليحصلوا على متكثف كبير بما يكفي لتصويره بسهولة [1]. أما النظريان في مختبر جيلا م. هولاند M. Holland و ج.كوبر J. Cooper فقد نمذجا هذه التجربة مستخدمين معادلة GP لحساب تطور المتكثف بعد

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



الشكل 3– مقطع الكثافة لتكثف بوز – أينشتاين. (أ) كما يشاهد في تجربة جيلا الأصلية لتكثف بوز-أينشتاين، حين فصلت المصيدة المغنطيسية وسمح للمتكثف بالتمدد ثم قيس مقطع الكثافة له بعد انقضاء 60 ملّي ثانية. (ب) تنبؤات معادلة GP ضمن الشروط نفسها، كما حسبها م. هولاند وج. كوبر (JILA).

قطع الكمون المصيد [5]. يقارن في الشكل 3 خيال المقطع الجبهي للكثافة المحسوب بطريقتهم للمتكثف المتمدد مع الخيال التجريبي الذي حُصل عليه في الأصل من تجربة جيلا. كان التوافق بينهما أفضل من 5% و لم يكن هناك أي وسيط قابل للضبط في الحسابات.

كان التطبيق المبكر الآخر لمعادلة G P التابعة للزمن هو التنبؤ بطيف المتكثف المثار، إذ يبّنت كيف يمكن لطاقات إثارة أشباه الجسيمات وتوابعها الموجية أن تحددها التجربة بطريقة مباشرة و جاهزة للرؤية. فعندما يضطرب المتكثّف اضطراباً جيبياً ضعيفاً ذا تناظر صحيح فإنه سيهتز اهتزازاً شديداً جداً حين يوافق تواتر الاضطراب أحد التواترات المميزة للمتكثف. ويمكن تحديد تواترات الإثارة هذه نظرياً بتفحص تواترات الاهتزاز الصغيرة قرب حل مستقر لمعادلة G P. و بكلام آخر، فإن المعادلات التي تتنبأ بهذه التواترات يمكن إيجادها بإنجاز تحليل الاستجابة الخطية لمعادلة G P. و يبدأ المرء وفق هذا الإجراء بإيجاد حل سكوني لمعادلة GP المستقلة عن الزمن:

$$H_0\psi_0(\mathbf{r}) + N_0U_0\,|\,\psi_0(\mathbf{r})\,|^2\,\psi_0(\mathbf{r}) = \mu\psi_0(\mathbf{r}), \qquad (5)$$

حيث تمثل μ مرة ثانية الكمون الكيميائي. وتعطي إضافة اضطراب جيبي صغير إلى الكمون معادلتين مقترنتين يمكن حلهما من أجل أنماط أشباه الجسيمات وتواتراتها:

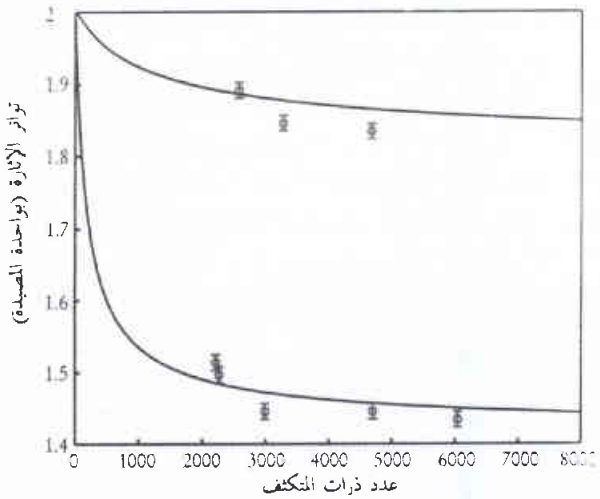
$$\begin{aligned} \mathcal{L}u_\lambda(\mathbf{r}) + N_0U_0(\psi_0(\mathbf{r}))^2\,v_\lambda(\mathbf{r}) &= \hbar\omega_\lambda u_\lambda(\mathbf{r}) \\ \mathcal{L}v_\lambda(\mathbf{r}) + N_0U_0(\psi_0^*(\mathbf{r}))^2\,u_\lambda(\mathbf{r}) &= -\hbar\omega_\lambda v_\lambda(\mathbf{r}), \end{aligned} \qquad (6)$$

حيث يمثل $\mathcal{L} = H_0 + 2N_0U_0|\psi_0(\mathbf{r})|^2 - \mu$

و يصف $u_\lambda(\mathbf{r})$ و $v_\lambda(\mathbf{r})$ الأنماط الذاتية لإثارات أشباه الجسيمات، كما تصف ω_λ تواترات الإثارات الجماعية للمتكثف. إن المعادلتين (5) و (6) هما المعادلتان اللتان استنتجهما ن. بوغوليوبوف Nikolai Bogoliubov نفسهما ولكن عن طريق آخر قبل 50 سنة مضت في حالة غاز بوزوني ممدّد ضعيف التفاعل – أي لمنظومة لم تكن حتى موجودة حين ذاك.

يبين الشكل 4 تنبؤات معادلات بوغوليوبوف من أجل تواترات الإثارة التي شوهدت في متكثف جيلا من الروبيديوم –87 [6]. و مع أنه لا توجد وسطاء قابلة للضبط، فإن الحسابات تتوافق مع التواترات المقيسة توافقاً بحدود 2%. لقد أنجزت هذه المقارنات لمتكثفات صغيرة نسبياً ($N_0 \sim 10^4$). ولقد قاس و. كيترل ومساعدوه في معهد MIT تواترات الإثارة لمتكثفات ذات $N_0 \sim 10^6$ ذرة [7]. كما توصل س.سترنغاري Sandro Stringari من جامعة ترنتو بإيطالية إلى صيغة تحليلية لتواترات الإثارة في هذا النظام ذي العدد الكبير، فكانت فيها التواترات مستقلة عن طول التبعثر وعن عدد الذرات في المتكثف [8]. وكان الاتفاق بين النظري والتجربة من أجل هذه المنظومات الضخمة العدد مرة ثانية بنسبة مئوية ضئيلة.

تطبق المعالجة السابقة على متكثفات ذات أطوال تبعثر موجبة فقط. إذ أن طول تبعثر سالب في غاز متجانس يتضمن تواترات إثارة معقدة وعدم



الشكل 4– مقارنة تواترات الإثارة الجماعية لمتكثف من ذرات الروبيديوم – 87 (النقاط الحمراء)، كما قيست في مصيدة جيلا، مع تنبؤات نظرية الاستجابة الخطية عند درجة الحرارة صفر (الخطوط الزرقاء) وذلك من أجل إثارتين مختلفتي التناظر. يمثل المنحني العلوي "نمط التنفس" الشقي مع اندفاع زاوي معدوم حول محور التناظر للمصيدة. أما المنحني السفلي فهو نمط رباعي القطب ذو وحدتين من الاندفاع الزاوي حول محور المصيدة.

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

استقرار باتجاه الانقباض. من الناحية الفيزيائية، يمكن تخفيض طاقة غاز متجانس يمتلك تأثرات تجاذبية فعّالة بخلق منطقة أكثر كثافة من جوارها ضمن الغاز. لذلك كان يفترض بصورة عامة إمكانية رؤية التكثف في متكثفات ذات أطوال تبعثر موجبة فقط. غير أننا وجدنا في حالة أعداد صغيرة من الذرات حلولاً مستقرة لمعادلة GP من أجل متكثفات مَصيدة ذات أطوال تبعثر سالبة [9]. فطاقة النقطة صفر التي تقدمها المصيدة توازن تجاذب الذرات بعضها لبعض فتمنع الانهيار الانقباضي. وقد تم التأكد من هذا الاستقرار المتنبأ به على يد مجموعة ر. هيولت Randy Hulet بجامعة رايس لمتكثفات من ذرات الليثيوم -7 التي لها طول تبعثر سالب. لذا توجد متكثفات مستقرة ذات $a<0$ فقط في حالة غازات مَصيدة، ولا يوجد ما يقابل هذا النوع من التكثف في حالة غاز متجانس.

قاد وجود متكثف بأطوال تبعثر سالبة إلى فحص تفصيلي يتناول طريقة تأثر المتكثفات بالتأثرات التجاذبية. وتتضمن الآثار سيرورات دينامية محتملة، مثل انهيار المتكثف عن طريق العبور النفقي الجهري (العياني) إلى حالة أكثر انضغاطاً. وهناك إمكانية مرتبطة بها في حالة غاز فرمي فائق البرودة - مكوناً ما يشبه حالة ناقلية فائقة عبر انتقال طوري وفق BCS باردين و كوبر و شرايفر - هي قيد الدراسة النشطة في الوقت الحاضر.

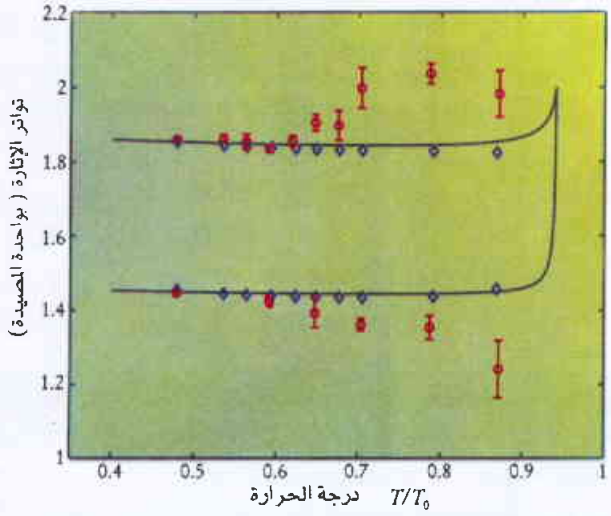
متكثفات عند درجات حرارة محدودة

إن نظرية الحقل الوسطي العيارية التي تصف غازاً مصيداً في درجة حرارة محدودة وفي توازن حراري هي نظرية هارتري - فوك - بوغوليوبوف (HBF) [10]. وإن بنية معادلة نظرية (HBF) مشابهة لبنية معادلات بوغوليوبوف في حالة درجة الحرارة صفر (أي المعادلتان 5 و 6). والاختلافات الرئيسية هي في إقحام كثافة ذرات تابعة لدرجة الحرارة لا تنتمي للمتكثف، وبوجود ما يدعى بالكثافة الشاذة، التي تأخذ بالحسبان الترابطات بين الذرات والمكافئة لحقل الاقتران في نظرية B CS التي ينجم عنها فاصل الطاقة في النواقل الفائقة. وإذا ما أهملت الكثافة الشاذة، نحصل على ما يدعى بتقريب بابوف الذي يستعمل استعمالاً واسعاً في دارسة تكاثف (B EC) عند درجات حرارة محدودة. ويمكن تصور الغاز في تقريب بابوف وكأنه متكثف أُضيفَ إليه غاز حراري مثالي. وتتفق حسابات كسور المتكثفات والحرارات النوعية التي تستخدم معادلات بابوف اتفاقاً حسناً مع التجارب [2].

يكمن نجاح نظرية بابوف في حساب كسور المتكثفات والحرارات النوعية في حقيقة اعتماد هاتين الكميتين على كامل طيف إثارة أشباه الجسيمات. في حين تزودنا تواترات أشباه الجسيمات المنفردة باختبار أكثر حساسية مما سبق للنظرية عند درجات حرارة محدودة.

وقد قيست تواترات الإثارة هذه في جيلا كتابع لدرجة الحرارة وهي تظهر في الشكل 5، إلى جانب حساباتنا المستعملة لنظرية بابوف [11]. ويبلغ التوافق بين النظرية والتجربة قرابة 5% مرة ثانية، في حالة كون $T/T_0 \leqslant 0.65$ أو عندما يبلغ كسر الكثافة المقيس ما لا يقل عن 50%. إلا أنه من أجل درجات حرارة أعلى من ذلك لا تتفق نظرية بابوف مع البيانات وضوحاً. ويبقى هذا الاختلاف سؤالاً مفتوحاً للنقاش، وتحتل محله مساحة فعالة خاضعة للدراسة الحالية. إن الصعوبة الواضحة في نظرية بابوف هي افتراضها ركود الجزء اللامتكثف من الغاز المصيد والذي لا يتفق مع الحالة المدروسة في قياسات الإثارة المنجزة حتى الآن.

إن ما حفز استعمال نظرية بابوف في البدء هو كون طيف إثارة الكثافة "بدون فرجة طاقة" - أي أنه سيكون هناك إثارة ذات التواتر صفر. ويُتوقع لنظرية بدون فرجة طاقة أن تأخذ في الحسبان الإثارات الأولية منخفضة الطاقة بصورة أفضل من نظرية تعتمد وجود فرجة طاقة. ففي غاز متجانس منتظم، تدعى الإثارات طويلة الموجة و ذات الطاقة التي تنعدم مع انعدام العدد الموجي بوزونات غولدستون Goldstone، و هي تظهر دائماً في نظرية الحقل عندما ينكسر تناظر مستمر في الحقل - و هو هنا طور التابع الموجي للمتكثف - انكساراً تلقائياً. أما في غاز مصيد، الذي له إثارات منفصلة، فإن نمط غولدستون هو حل ذو تواتر معدوم لمعادلات بابوف (أو لمعادلات بوغوليوبوف عندما $T=0$). ويوجد مثل هذا النمط دائماً كحل لمعادلات بابوف، لكنه لا يوجد شيء مثل هذا في حالة معادلات HBF الكاملة نتيجة وجود الكثافة الشاذة. ولم تنجح محاولات إدخال الكثافة الشاذة إدخالاً اضطرابياً في معادلات بابوف إلا نجاحاً جزئياً [12]. ومع أن حسابات النمط رباعي القطب (المنحني السفلي في الشكل 5) تتفق مع النتائج التجريبية، إلا أنه لم يكن بالإمكان تفسير سلوك هذا النمط التجريبي ذي الاندفاع الزاوي المعدوم.



الشكل 5- تزودنا تواترات الإثارة الجماعية لمتكثفات باختبارات حساسة لنظرية الجسيمات العديدة عند درجات حرارة محدودة. تمثل الدوائر الحمراء تواترات الإثارة الجماعية المقيسة [11] عند درجات حرارة محدودة في المصيدة ذاتها المقابلة للشكل 3. المعينات الزرقاء هي تنبؤات نظرية بابوف. أما المنحنيات السوداء المستمرة، التي تتفق مع نظرية بابوف، فهي تواترات الإثارة لمتكثفات عند درجة الحرارة صفر ولها عدد من الذرات مساوٍ للحالة عند درجات الحرارة المحدودة - ومع أن نظرية بابوف تعطي تنبؤات دقيقة لكسور المتكثفات وللحرارات النوعية فهي تفشل في إعطاء تواترات الإثارة الجماعية درجات حرارة قريبة من درجة حرارة الانتقال لتكثف بوز - أينشتاين.

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

طور المتكثف

تدور نقاشات واسعة حول طبيعة الطور وعلاقته بانكسار التناظر التلقائي لمنظومات وسيطة. ففي حالة منظومات لانهائية، يوجد أساس متين لمفهوم انكسار التناظر التلقائي، ويتمثل بأخذ مظهر مستمر للمنظومة، مثل طورها، إحدى القيم مع أن جميع القيم مقبولة بالتساوي ومتماثلة الاحتمال. أما في حالة غاز مصيد، علينا النظر فيما يعني الطور من أجل عدد محدود من الجسيمات.

ويمكننا قياس الطور النسبي بين متكثفين بملاحظة تداخلهما حين يتراكبان [13]. وكما هو معروف من النظرية الكمومية للطور وقياسه، فإن الطور النسبي بين متكثفين، كل منهما ذو عدد محدود من الجسيمات، ليس محدداً – إذ أن العدد و الطور يخضعان لمبدأ الارتياب $\Delta N \Delta \Phi \geq 1$. مع ذلك يمكن الحصول على نمط التداخل تجريبياً. وما دمنا لا نستطيع تحديد أي من المتكثفين قد ساهم بكل ذرة في منطقة التداخل، فإننا بعد وصول بضع ذرات لا يمكننا تعرف عدد الذرات في أي من منبعي المتكثفين. وإن هذا الارتياب مع ذلك هو شرط التداخل وهو بالضبط ما نحتاجه لإنتاج حالة ذات طور نسبي محدد تحديداً حسناً. ويمكن الحصول على نمط التداخل نفسه إذا ما افترض أن لكل متكثف طوراً محدداً تحديداً حسناً قبل القياس. ويصبح الطور النسبي معرفاً بدقة متزايدة مع ازدياد الارتياب في توزع العدد النسبي بين المتكثفين. ويتنامى كل متكثف إلى تراكب من حالات العدد ذات توزع الاحتمال البواسوني. لذلك يكون المتكثف في حالة مترابطة، في حالة مماثلة لحالة الحقل في مجاوب ليزري.

كي يكون لوسيط الترتيب التبعية الزمنية البسيطة التالية $e^{-i\mu t/\hbar}$، يجب أن يكون المتكثف جهرياً فعلاً. و إذا كانت المنظومة محدودة، فسنجد مقياساً زمنياً لا تعود مركبات الحالة المترابطة على مداه الزمني متوافقة في الطور. و يختبر الآن تجريبياً ما إذا كان من الممكن ملاحظة هذا اللاترابط.

تشكل تكثف BEC وفعل الليزر

توجد رابطة هامة بين فعل الليزر وإنتاج متكثف ما. ينشأ توزع بوز–أينشتاين عن التوازن التفصيلي بين اصطدامات أزواج الجسيمات — سواء كانت فوتونات أو ذرات بوزونية في غاز مخدّد. فعندما يصبح الانحطاط ذا أهمية مؤثرة، يجب الإبقاء على اعتماد معدل التصادمات على انشغال الحالات النهائية – أي أنه توجد عمليات تصادم محفزة. وفي حالة الليزرات، فإن الإصدار المحفز للفوتونات في نمط محدد من أنماط حقل الإشعاع هو الذي يسبب فعل الليزر. أما في حالة ذرات في مصيدة، فإن التبعثر المحفز للذرات هو الذي ينتج تراكماً إسكانياً في الحالة الدنيا. وقد طُوِّرت نظرية كمية لتصف هذا السلوك، النظرية الحركية الكمومية [14]، واستعملت للتنبؤ بالتطور الزمني للمتكثف المتشكل بعد تبريد سريع ماص للطاقة لغاز قريب جداً من التكثف. وقد أكدت مثل هذه الدراسات الدور الحرج الذي يلعبه حث البوزونات في تشكل المتكثف.

ما هي السّمات التي يجب أن يتمتع بها نمط ليزري و الواجب البحث عنها في سلوك متكثف ما؟ إن إحداها هي نقصان التأرجحات، بالمقارنة مع تأرجحات منبع حراري. و يبدو هذا النقصان في امتصاص فوتونين أو ثلاثة فوتونات من قبل عناصر موضوعة داخل تجويف الليزر: فالامتصاص اللاخطي حساس جداً لتأرجحات شدة نمط الليزر. ويمكن للمرء أن يبحث عن سلوك مماثل في متكثف من خلال معدل الاضمحلال في المتكثف الناشئ عن عمليات تصادم جسيمين أو ثلاثة أجسام مكافئة للامتصاص اللاخطي في نمط الليزر. على سبيل المثال، لننظر في حالة تصادم ثلاثة أجسام بتفصيل أكثر قليلاً. فمعدل الاضمحلال المحلي يعتمد على القيمة الوسطية لمكعب الكثافة $<\rho^3>$. ويتوقع في حالة غاز بوزونات حرارية تأرجحات بحيث أن:

$$\langle \rho^3(\mathbf{r}) \rangle \sim 6 \langle \rho(\mathbf{r}) \rangle^3. \qquad (7)$$

في حين أن النتيجة المقابلة لنمط ليزري أو لمتكثف هي:

$$\langle \rho^3(\mathbf{r}) \rangle \sim \langle \rho(\mathbf{r}) \rangle^3. \qquad (8)$$

من الناحية النظامية، ينشأ هذا الاختلاف بسبب أن نمط الليزر والمتكثف يمثلان تمثيلاً جيداً بحالات مترابطة. و بالتالي يمكن للمرء أن يحاول التأكد من تشابه المتكثف مع الليزر – أي من وجوده في حالة مترابطة – بقياس معدل الاضمحلال لتصادمات الأجسام الثلاثة تحت درجة حرارة التكثف B E C وفوقها. وعندما أنجز فيمان Wieman و كورنل وزملاؤهما هذه التجربة في جيلا [15]، وجدوا هذا الاختلاف بالضبط كما يتوقع المرء لمتكثف في حالة مترابطة.

تكثف BEC: الحاضر و المستقبل

يصف السرد السابق تطورات حدثت في غضون السنوات القليلة الماضية، منذ بدء التجارب الرائدة. وفي الوقت الحاضر يتحرك الموضوع في اتجاهات جديدة واسعة المجال. إذ تخولنا دراسة المتكثفات متعددة المركّبات من رؤية التطور (كالطيّ و إزالة البرم) في وسطاء ترتيب للمكان و الزمان أكثر تعقيداً. وأصبحت الانتقالات الطورية لمنظومات منخفضة البعدية متاحة الآن: إذ أن النجاح الباهر الحديث في دراسة الانتقال فائق الميوعة لغشاء من الهدروجين مستقطب سبينياً فوق الهليوم السائل سيكمّل قريباً بتجارب على ملاءات رقيقة من ذرات قلوية متكثفة محصورة بحقول ليزرية. وإن نظرية هذه المنظومات المحصورة منخفضة البعدية غنية بالفعل. فقد تم تحقيق التشكيل المباشر للدوامات والسوليتونات في الغازات المحصورة (انظر عدد مجلة Physics Today, Nov. 1999، صفحة 17)، وإن دراسة تَنْوِيتها واستقراريتها جارية الآن. تخوّل الغازات المخدّدة الباحثين من تكبير بنية هذه المنظومات ووضع ديناميتها على المحك مباشرة. وكذلك تجري دراسة تشكل البنية وتطورها (مثل المناطق والدوامات وما إلى ذلك) في شروط إطفاء quenched معينة اعتماداً على محاكاة بمقاس كبير. وتدفعنا مثل هذه الدراسات للإثارات الطبولوجية لتطوير تقنيات

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

حاسوبية جديدة ونحو تقنيات إظهار جديدة يمكن أن تتصدى لتحديات هامة تفرضها النظرية.

لقد بدأ للتو استعمال المتكثفات كمنابع لأمواج مادية مترابطة، وهي تتصدر عصراً جديداً من القياسات الدقيقة المعتمدة على بصريات ذرية مترابطة. وتعطي نظرية ترابط الأمواج المادية والتماس منابع ليزرية ذرية تبصّرات جديدة حقيقية في بنية المنظومات متعددة الجسيمات. وبالنسبة للعاملين في هذا الحقل، كانت الارتباطات التي شيّدت بين جماعات كانت متفرقة سابقاً هي مصدر النشوة الكبيرة، وكذلك فرص الوصول إلى نظرية كمية تعزز هذه الارضية النامية لنظريي المادة المكثفة وفيزيائيي الذرات والجزيئات والبصريات.

REFERENCES المراجع

[1] M. H. Anderson et al., Science 269, 198 (1995) K. B. Davis et al., Phys. Rev. Lett. 75, 3969 (1995). C. C. Bradley et al., Phys. Rev. Lett. 75, 1987 (1995). C. C. Bradley, C. A. Sackett, R. G. Hulet, Phys. Rev. Lett. 78, 985 (1997).

[2] F. Dalfovo et al., Rev. Mod. Phys. 71, 463 (1999). A. S. Parkins, D. F. Walls, Phys. Rep. 303, 1 (1998). A. Griffin, D. W. Snoke, S. Stringari, eds., Bose - Einstein Condensation (Cambridge U. P., New York, 1995). E. Arimondo, W. D. Phillips, F Strumia, eds., Laser Manipulation of Atoms and Ions (North - Holland, Amsterdam, 1992). M. Inguscio, S. Stringari, C. Wieman, eds., Bose - Einstein Condensation in Atomic Gases (IOS Press, Amsterdam, 1999). See also the Georgia Southern University BEC bibliography on the web at http:// amo. phy. gasou. edu / bec. html / bibliography. html.

[3] V. Bagnato, D. E. Pritchard, D. Kleppner, Phys. Rev. A 35, 4354 (1987).

[4] P. Navez et al., Phys. Rev. Lett. 79, 1789 (1997). S. Grossman, M. Holthaus, Optics Express 1, 262 (1997). C. Weiss, M. Wilkens, Optics Express 1, 272 (1997). M. E. Fisher, Rev. Mod. Phys. 70, 653 (1997).

[5] M. Holland, J. Cooper, Phys. Rev. A 53, R 1954 (1996).

[6] M. Edwards et al., Phys. Rev. Lett. 77, 1671 (1996). D. S. Jin et al., Phys. Rev. Lett. 77, 420 (1996).

[7] M. - O. Mewes et al., Phys. Rev. Lett. 77, 988 (1996).

[8] S. Stringari, Phys. Rev. Lett. 77, 2360 (1996).

[9] P. A. Ruprecht et al., Phys. Rev. A 51, 4704 (1995). F. Dalfovo, S. Stringari, Phys. Rev. A 53, 2477 (1996). R. J. Dodd et al., Phys. Rev. A 54, 661 (1996).

[10] A. Griffin, Phys. Rev. B 53, 9341 (1996).

[11] D. S. Jin et al., Phys. Rev. Lett. 78, 764 (1997). R. J. Dodd et al., Phys. Rev. A 57, R 32 (1998).

[12] D. A. W. Hutchinson, R. J. Dodd, K. Burnett, Phys. Rev. Lett. 81, 2198 (1998).

[13] J. Javanainen, S. M. Yoo, Phys. Rev. Lett. 76, 161 (1996).

[14] See, For example, D. Jaksch et al., Phys. Rev. A 58, 1450 (1998), and referencec therein. Also see Yu. Kagan, B. V. Svistunov, Phys. Rev. Lett. 79, 3331 (1998).

[15] E. A. Burt et al., Phys. Rev. Lett. 79, 337 (1997).

[16] J. Weiner, V. S. Bagnato, S. Zilio, P. S. Julienne, Rev. Mod. Phys. 71, 1 (1999).■

☆ ★ ☆

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

الصناعة تهتم بالنواقل الفائقة*

ج. تالون
يعمل لدى الأبحاث الصناعية المحدودة، نيوزيلاندا

ملخص

في الوقت الذي يتصارع فيه النظريون على فهم الناقلية الفائقة عند درجات حرارة عالية، كان الصناعيون يطوّرون أصنافاً عديدة من النبائط التي هُيئت لتدخل السوق العالمية التي يمكن أن تعادل بلايين الدولارات.

الكلمات المفتاحية: نواقل فائقة عالية درجة الحرارة، أسلاك HTS، كبلات قدرة HTS، محركات HTS، محولات.

انقضت أكثر من اثنتي عشرة سنة منذ أن اكتُشِفت النواقل الفائقة العالية درجة الحرارة وسط صخب من الادعاءات المتحمسة بأن هذه المواد ستحدث، وفي الحال، ثورة في صناعة الطاقة والنقل والاتصالات. إن الانطباع العام والشائع يمكن أن يؤوّل كما يلي: بعد سنوات من البحث والاستثمار الصناعي المنقطع النظير لا نـزال نرى عدم وجود نظرية للناقلية الفائقة عند درجات حرارة عالية، ولا حتى تطبيقات عملية لها. لكن الحقيقة مختلفة: فهناك جوانب عديدة لفيزياء وكيمياء النواقل الفائقة من النحاسات cuprate أصبحت مفهومة تماماً، في حين أن المشاكل المتبقية تقدم مصدراً غنياً من الفيزياء الجديدة (انظر "The underdoped phase of cuprate superconductors", في مجلة Physics World, February 2000 pp33-37). لكن الأهم من ذلك هو أن هناك مجالاً واسعاً من التطبيقات الصناعية الأساسية قد أعدت للظهور خلال السنوات القليلة القادمة.

إن إغراءات النواقل الفائقة العالية درجة الحرارة هي نفسية في جزء منها. فليس خافياً على أحد أن هذه المواد تصبح نواقل تامة من الوجهة المثالية وذلك عند غمرها في الآزوت السائل عند الدرجة 77 K، وتصبح مؤهلة لرفع وسحب مغنطيس في الهواء.

الناقلية الفائقة هي الدليل الجهري لحالة كمومية، ولكونها كذلك، فهي نقطة دخول واقعية إلى أسرار العالم الكمومي. إلا أن الخواص الفيزيائية المتميزة للنواقل الفائقة هي التي أدت إلى اهتمام تجاري في هذه المواد. في النواقل الفائقة يكون النقل الكهربائي عديم الضياع، وتستطيع أن تنقل كثافات تيار تفوق الكثافة التي تحملها أسلاك النحاس بأكثر من 2000 ضعف.. كما أنها تُستخدم أيضاً في مجال واسع من النبائط الإلكترونية والمكروية، وفي الماسحات الطبية والجيولوجية لكشف الحقول المغنطيسية الأقل من جزء من بليون من قيمة الحقل المغنطيسي الأرضي.

العامل الأساسي الذي حدَّ من الاستعمال الواسع للنواقل الفائقة المنخفضة درجة الحرارة التقليدية low-temperature superconductors (LTS)، مثل قصدير النيوبيوم niobium tin وتيتانيوم النيوبيوم niobium titanium، هو تبريدها إلى حوالي الدرجة 4 K بواسطة تقانة الهليوم السائل. وفي الحقيقة فإن تكلفة السلك من ناقل فائق منخفض درجة حرارة LTS لوحده منخفضة – فهي أرخص بـ 16 مرة من النحاس اللازم لكل متر من كبل يستخدم لنقل 1000 أمبير.

ومع اكتشاف مواد كالزئبق باريوم كالسيوم أكسيد النحاس ($HgBa_2Ca_2Cu_3O_8$)، الذي يبقى ناقلاً فائقاً حتى درجة عالية تصل إلى 134 K، تضاعفت توقعات حدوث ثورة تقانية عاجلة تقوم على نواقل فائقة عالية درجة الحرارة high-temperature superconductors (HTS). ولكن هذه الثورة ما كانت لتحدث على الأقل في المدة القصيرة التي انقضت. وكما هو الحال في أي تقانة جديدة، فإن حل التحديات التقنية يستغرق حوالي 10 – 15 سنة بصورة نموذجية. وفي حالة النواقل الفائقة العالية درجة الحرارة، فإن القضايا الصعبة على وجه الخصوص تتجلى بالبنية المكروية لهذه المواد.

الخواص الفيزيائية والتحديات

النواقل الفائقة العالية درجة الحرارة مواد خزفية (سيراميكية) هشّة فيها يتم إقحام عناصر كالإيتريوم والباريوم أو اللانتانيوم والسترونسيوم بين طبقات من ذرات النحاس والأكسجين. إن هذه البنية الذرّية الطبقية تجعل المواد تتمتع بخواص فيزيائية ونقل فائق بعيدة جداً عن التناحي، ومن الممكن أن نشكل من هذه المواد بلّورات أحادية، أو أفلاماً رقيقة أو خزفيات متعددة التبلور. إلا أننا في التطبيقات التي تتطلب أسلاكاً ليّنة مرنة flexible طويلة يمكننا فقط اعتبار نوعين من "أسلوب تشكل" الأسلاك: إما أفلام تنضيدية رقيقة من مواد HTS منمّاة على ركازة ليّنة، أو فتائل متعددة التبلور من HTS مدعّمة بنسيج سلكي معدني وهو الذي يُعدّ أكثر واقعية للتصنيع. عندما نستعمل خزفيات HTS حبيبية علينا أن نتأكد بأن التيار الفائق سيجري بقدر ملائم وكاف من حبّة إلى أخرى–وإلاّ قيل بأن الحبّات "ضعيفة الوصل" weak - linked.

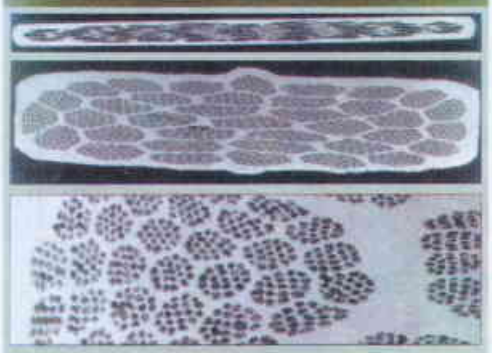
هناك خاصتان فيزيائيتان أساسيتان تتعلقان بالنواقل الفائقة الحبيبية العالية درجة الحرارة. الأولى "طول الترابط coherence length – وهو الطول الذي يمتد في التابع الموجي للناقل الفائق إلى ما بعد حد الحُبيبات. والصفة الثانية هي "الحقل الحرج الأعلى" upper critical field – وهو الحقل المغنطيسي الأعظمي الذي دونه تبقى المادة فائقة النقل. وترتبط هاتان الصفتان ارتباطاً عكسياً مع بعضهما، فكلما كان طول الترابط أطول، كان الحقل الحرج الأعلى أخفض.

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

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

تمخضت الدراسات المبكرة التي استخدمت خزفيات نحبيبية عن عدة أمور: تمتلك النواقل الفائقة العالية درجة الحرارة HTS حقلاً حرجاً أعلى عالياً جداً (أكبر من 180 T)، مما قد يفتح مجالاً من التطبيقات في الحقول المغنطيسية المفرطة. وبدوره فإن الحقل الحرج الأعلى يعني أن طول الترابط ينبغي أن يكون قصيراً جداً، أقل من 2 nm. وهذا يعني أن الحبيبات متعددة التبلور تسعى لأن تكون ضعيفة الوصل ما لم تكن حدود الحبات ملساء ناعمة على مستوى الذرّة المفردة وخالية من* نقص الترتيب disorder على مدى مقياس طول أقل من 2 nm بشكل ملحوظ.

الشكل 1- داخل سلك فائق النقل



مقاطع عرضية في أسلاك فائقة النقل عند درجات حرارة مرتفعة. الأعلى: شريط من Bi-2223 أبعاده 4.1mm × 0.2mm. الأوسط: شريط من Y-123 يتألف من 36 000 فتيلة سلكية صنعت باستخدام تقانة معالجة خليطة-معدن. أبعاد الشريط 3mm × 0.6mm. الأسفل: منظر مكبر للرزمة الكائنة في أقصى اليسار من الفتائل. صنعت الأشرطة شركة الناقل الفائق الأمريكية.

وبالإضافة إلى ذلك فإن النواقل الفائقة العالية درجة الحرارة هي بنى (تراكيب) شبه ثنائية الأبعاد quasi - two - dimensional structures مؤلفة من طبقات من أكسيد النحاس (CuO_2) مقترنة اقتراناً ضعيفاً. فهي لذلك بعيدة جداً عن التناحي. إن طول الترابط في الاتجاه العمودي على هذه الطبقات (الاتجاه c) لا يزال أقصر وأقل من 0.2 nm. وهذا صغير جداً - أقل من التباعد بين بعض الذرات - لدرجة أن الطريقة الوحيدة لمنع الوصلات الضعيفة المتشكلة بين الحبات هي أن نصفّها بحيث توجّه المحاور c فيها بصورة عمودية على جريان التيار. يعرف اصطفاف الحبات باسم "القوام أو البنية" texture ويمكن إتمامها بواسطة تقنيات تعدين مألوفة.

إن عاملي طول الترابط واللاتناحي يعنيان أن سلكاً متعدد التبلّور ذا ناقلية فائقة في درجات عالية من الحرارة ينبغي أن يكون كثيفاً وله درجة عالية من الاصطفاف الحبيبي وذا حدود حبات من نوعية عالية. فإذا لم يكن كذلك فإن التيار الحرج - أي التيار الكهربائي الأعظمي الموجود في الناقل الفائق - سيهبط بصورة خطيرة في حقل مغنطيسي ضعيف. حتى في غياب حقل مغنطيسي فإن الحقل الكهربائي في ناقل فائق ضعيف الوصل قد يعاني من "الحقل الذاتي" المتولد عند مرور التيار عبر السلك.

بالرغم من وجود أكثر من 50 مادة معروفة الآن على أنها نواقل فائقة عند درجات حرارة عالية، لم تستخدم بنجاح سوى اثنتين فقط لتشكّلا أسلاكاً فائقة النقل عند درجات حرارة عالية، هما البزموت سترونسيوم كالسيوم أكاسيد النحاس $Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ (Bi-2223) و$Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$ (Bi-2212). لم تركّب بعد منظومة HTS أخرى في أي مفهوم عملي كي تشكل أسلاكاً ذات طول كبير.

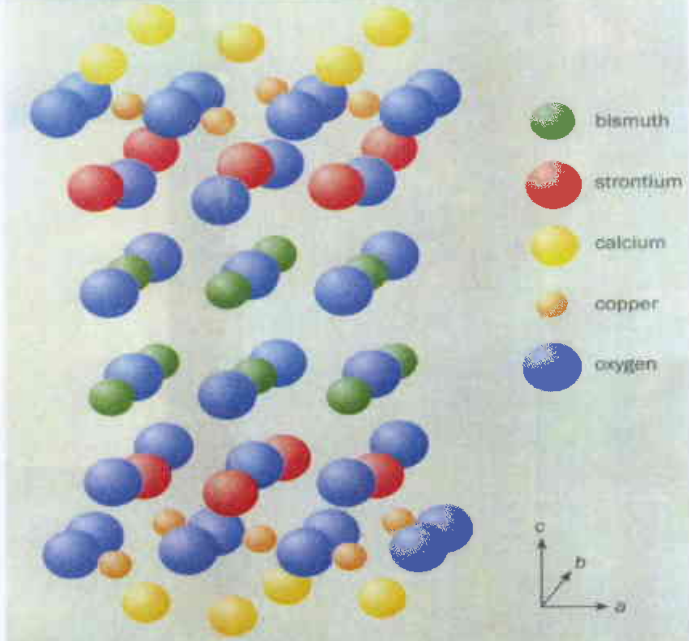
تصنيع الأسلاك

تتم معالجة الأسلاك ذات النقل الفائق عند درجات حرارة عالية، والمؤلفة من فتائل عديدة من Bi-2223 أولاً بتعبئة مسحوق من "مادة أولية مولّدة" precursor في أنابيب فضية. تتفاعل المادة المسحوقة الحاوية على Bi-2212 لتشكل ناقلاً فائقاً من Bi-2223 عند تسخينها. ثم يتم انبثاق الفتائل وسحبها من الأنابيب المحمّلة حتى يصل قطر الواحدة منها 1 مم تقريباً. ويمكن بعدئذٍ إعادة رزم هذه الأسلاك وجرها عدة مرات حتى نحصل على العدد المرغوب من الفتائل والطول المطلوب من السلك. وبعد ذلك فإن المنتج الناتج يُنشر ليشكل شريطاً مسطحاً وتجرى معالجته بالحرارة حتى تتفاعل المركبات لتشكل Bi-2223.

خلال التشوهات المختلفة تصبح الحبيبات في المادة Bi-2212 والناتج Bi-2223 مصطفة تدريجياً. يمكن للشريط أن يُلفّ ويعالج حرارياً عدة مرات حتى يصبح اصطفاف الحبيبات وكثافة Bi-2223 وتركيزها أمثلياً (الشكل 1).

إن الميّزة الفريدة للمنظومات القائمة على البزموت هي أنه يمكن تحريض النسيج بتشويه Bi-2212 أو Bi-2223 تدريجياً. إن السلوك الليّن لهذه المواد ناتج عن الربط الضعيف عبر الطبقة المضاعفة لأكسيد البزموت (انظر الشكل 2). وكما في الميكا أو الغرافيت، فإن هذا الربط الضعيف يقدم "منظومة انزلاق" slip system، تسمح بنسيج محرّض بالتشوّه -وهي تقنية تقليدية في

الشكل 2- الروابط الضعيفة تعني العمل



بنية مادة $Bi_2Sr_2CaCu_2O_8$ (bi-2212) القائمة على البزموت والمستخدمة في صناعة أسلاك HTS. نفس الطبقة المضاعفة من أكسيد البزموت ذي الرابطة المخلخلة الكائنة في مركز البنية موجودة في $Bi_2Sr_2Ca_2Cu_3O_{10}$ (Bi-2223) أيضاً، وتعطي المواد خواص الليونة والمرونة المميزة التي تعني أن أسلاك HTS يمكن صنعها باستخدام تقانات التعدين المألوفة.

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

التعدين. لكن هذه الطبقة المضاعفة تحطّ أيضاً وبقوة من الأداء الذاتي للنواقل الفائقة المبنية على البزموت.

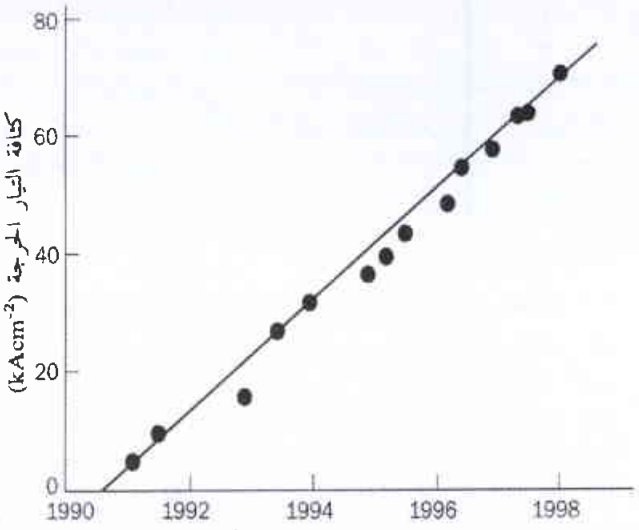
تُعَدّ "كثافة التيار الحرج" J_c عاملاً للجودة والجدارة للناقل الفائق، وهي تمثل التيار الكهربائي الأعظمي الذي يمكن أن تتحمله وحدة مساحة المقطع العرضي للناقل الفائق. أما من أجل ناقل ذي سلك مركب، يتألف من كل من الناقل الفائق والقوام (الشبكة) الفضي، فهناك رقم للجدارة والأهلية أكثر استخداماً في التطبيق العملي ألا وهو "كثافة التيار الحرج الهندسية" J_e، وهي تمثل التيار الحرج بمساحة المقطع العرضي الكلية للسلك. ومن الواضح أن $J_e = fJ_c$ حيث f هو عامل الملء fill-factor، الذي يعكس نسبة الناقل الفائق النسبية إلى الفضة ويمكن أن يكون أي شيء بدءاً من 15% إلى 50%. ومن الناحية المثالية ينبغي أن يكون عامل الملء أكبر ما يمكن.

من بين نحاسات النواقل الفائقة عالية درجة الحرارة، توجد منظومات قائمة على البزموت لها إلى حد بعيد أخفض J_c في حقل مغنطيسي وهذا يحدّ من استخدامها في التطبيقات العملية. إن طبقات CuO_2 ذات الاتصال الضعيف ينفك اقترانها بسرعة في حقل مغنطيسي مطبق، مسببةً نقلاً مقاوماً حتى وإن بقيت مادة الناقل الفائق عالي درجة الحرارة ذات نقل فائق على نحو تام. إن فك الاقتران هذا محكوم بالتباعد الكائن بين طبقات CuO_2. وهذا التباعد كبير في Bi-2212 و Bi-2223 لأن طبقات CO_2 مفصولة بطبقات مضاعفة من أكسيد البزموت. وفي النتيجة فإن الحقل المغنطيسي المؤازر والداعم لهاتين المادتين أخفض بمرتبتين في القيمة مما هو من أجل إيتريوم باريوم أكسيد النحاس $YBa_2Cu_3O_7$ (Y-123). وبالرغم من أن هذا لا يمنع من استخدام Bi-2223 في التطبيقات، فهو يعني أن هذه المواد يجب أن تستخدم عند درجات حرارة متوسطة عندما يتطلب الأمر حقلاً مغنطيسياً كبيراً. فدرجة حرارة تشغيل المحرك HTS فائق النقل عند درجات حرارة عالية باستخدام أسلاك Bi-2223 في حقول مغنطيسية من 1 - 3 تسلا، على سبيل المثال، محصورة في الوقت الراهن إلى ما دون 35 K، حتى وإن كانت درجة حرارة الانتقال الفائق النقل لـ Bi-2223 مرتفعة وتصل إلى 109 K.

إن المسعى لإيجاد تقانة سلك عملي لـ Y-123 بديهي تبعاً لذلك. هناك بعض الأمل معقود على تقانة الناقل المكسو (المطلي) تستخدم أفلاماً رقيقة تنضيدية مرسّبة على ركازات مشوهة التركيب. إن أطوالاً قصيرة من هذه الأسلاك المسماة أسلاك نواقل فائقة عند درجات حرارة عالية من الجيل الثاني قد عرضت قيماً لـ J_c عالية تصل إلى $10\ MAcm^{-2}$. إن عملية التصنيع في الوقت الراهن بطيئة إلى درجة يجب تجنّبها لأنها تستخدم تقانات ترسيب في الخلاء. إلا أنه تم مؤخراً الحصول على نتائج مشجعة جداً باستخدام تقنية سريعة حيث جرى ترسيب مواد فائقة النقل في درجات حرارة مرتفعة (HTS) انطلاقاً من المحلول.

هناك مسألة عملية أخرى تكمن في تكلفة إنتاج أسلاك HTS. تبقى الفضة مكوّناً ضرورياً، وإن كان غالي الثمن، لتقانة أسلاك Bi-2223. وفوق ذلك فإن معالجة هذه الأسلاك بطيئة جداً، تتطلب أسبوعاً من أجل القذف والسحب واللف والمعالجة الحرارية. ووفقاً لعدد من الصانعين كانت تكلفة أسلاك HTS منذ عدة سنوات حوالي 1500 $ لكل كيلو أمبير للمتر الواحد، موزعةً بالتساوي تقريباً بين المواد الخام والمعالجة الميكانيكية والمعالجة الحرارية. إلا أن شركة النواقل الفائقة الأمريكية أعلنت حديثاً بأن تكلفة أسلاكها للتيار المستمر DC التجارية قد هبطت إلى 300 $ لكل كيلو أمبير لكل متر. وتتوقع الشركة في النهاية أن تخفض السعر إلى حوالي 50 $ لكل كيلو أمبير لكل متر. إن مثل هذه الأرباح مبنية في جزء منها على الزيادة المستمرة في J_c للأسلاك المنتجة، لكن الأكثر أهمية هو أن J_c قد ازدادت بصورة مطّردة (الشكل 3).

الشكل 3- الصعود المطّرد لأسلاك HTS



تحسّن كثافة التيار الحرجة J_c - وهي التيار الكهربائي الأعظمي الذي يمكن أن تتحمله وحدة مساحة المقطع العرضي لناقل فائق - مع الزمن. أجريت القياسات على أشرطة قصيرة من Bi-2223 في الدرجة 77 K وفي غياب الحقل المغنطيسي.

رغم هذه التحديات فقد حصل تقدم هائل في تطوير تقانة الأسلاك وفي صنع نماذج أولية لمنتجات مبنية على النواقل الفائقة عالية درجة الحرارة في مجال واسع، إلى درجة وصلت معها الآن عدة شركات إلى سويات تجارية. ومن الناحية العملية تتوفر الآن أسلاك خالية من العيوب تتجاوز 100 A لكل طاق (أو خيط) من السلك في الدرجة 77 K وبأطوال تصل إلى عدة مئات من الأمتار. كما عرضت أسلاك يصل طولها إلى حوالي 1 كيلو متر. وفي الوقت الراهن تعمل شركات عديدة على زيادة قدرتها الإنتاجية بسرعة إلى عدة مئات الكيلو مترات من الأسلاك في السنة.

لقد صممت نماذج أولية للعديد من تطبيقات النواقل الفائقة عند درجات حرارة عالية HTS في السنوات الأخيرة. تنقسم هذه التطبيقات إلى صنفين: منها ما هو قائم على الأسلاك ومنها ما هو قائم على الأفلام. وفي كلتا الحالتين انصب الحديث على مسائل أوسع تشمل قرّيات cryogenics، ووصلات بينية بين الناقل الفائق عند درجة حرارة عالية والوسط المحيط، وما يسمى بالحقول الحافّية friniging fields ومسائل رفع الأسعار اللاخطية. نركز هنا على التطبيقات القائمة على الأسلاك فقط.

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

كبلات القدرة من النواقل الفائقة عالية درجة الحرارة

في معظم بلدان العالم يبلغ الفقد في توزيع القدرة الكهربائية من محطات الطاقة إلى المستهلكين نسبة ما بين 7-9%، وهذا يعادل حوالي 1.7 بليون جنيه استرليني في العام في المملكة المتحدة لوحدها. وهذا حتّ قسري على كبلات النقل الفائق التي تستطيع عملياً - في محيط التيار المستمر على الأقل - أن تلغي مثل هذا الفقد الكهربائي. ورغم أن ضياعات التبريد ستبقى، فإنه يمكن هندستها لتكون صغيرة.

على كل حال فالحث الأكثر قوة هو أن العديد من أنابيب الكبلات المنتشرة في المدن الكبيرة والبلدات مملوءة مسبقاً. فأي نمو إضافي في طلب كبلات قدرة سيواجه مسائل حالات حقيقية مكلفة، مثل شراء أو استئجار دهاليز أرضية جديدة والتمزّق الذي يحصل أثناء الحفر. تقدم كبلات الـ HTS زيادة في حجم الطاقة تتراوح بين ضعفين إلى عشرة أضعاف من أجل مساحة المقطع العرضي نفسه للكبل. وهكذا فإن التوفير في الكلفة الكبيرة قد يمكن بلوغه بواسطة كبلات HTS ذات "تعديل رجعي" retrofitting في أقنية موجودة بدون الحاجة إلى حفر الشوارع.

لقد سبق أن نفذت سلسلة واسعة من نموذج أولي لكبلات HTS. تمتع جميع هذه الكبلات بتصميم متماثل مؤلف من صفائح عزل متمركزة، وأقنية تبريد، وحجب واقية ومن عازل وناقل. وتبرّد إلى الدرجة 70 -77 كلفن باستخدام الآزوت السائل الذي يضخ عبر القلب المركزي (الشكل 4). وسيُبدأ هذا العام باختبار كبلات HTS تجارية عديدة في أوساط تشغيل حقيقية، تشمل مشروع بيريلي-لِد Pirelli-led في ديترويت أديسون Detroit Edison في ميتشيغان. تُصنّع بيريلي كبلاً من أسلاك HTS صنّعتها شركة النواقل الفائقة الأمريكية وقد انتظمت في فريق مع وزارة الطاقة (DOE) في الولايات المتحدة ومعهد أبحاث الطاقة الكهربائية (EPRI) في كاليفورنيا من أجل المشروع. كما تدير بيريلي عدداً من المعروضات المخبرية في أوربا مع شركة النواقل الفائقة الأمريكية وشركة كهرباء فرنسا ومعهد أبحاث الطاقة الإيطالي ENEL، وقسم كبلات سيمنس السابق، الذي امتلكته بيريلي حديثاً.

إضافة إلى ذلك، فإن كبلات HTS ستعرضها شركة ساوث وَيَر Southwire في جورجيا بالولايات المتحدة، لكن هذه ليست لها علاقة بشبكة الكهرباء. يشمل فريق ساوث وَيَر شركة إنترماغنتيك جنرال (IGC) التي تصنع سلك HTS، وأوك ريدج، ومختبرات أرغون نيشنال، وسَذرن كاليفورنيا أديسون، وجورجيا ترانسميشن، وسَذرن كومباني وكذلك تقانات EURUS.

وفي أثناء ذلك، فإن شركة طوكيو إلكترك بَوَر، وهي أضخم منشأة خاصة في العالم للمنتجات الكهربائية، قد موّلت معروضات كبلات HTS في سوميتومو إلكتريك وفوروكاوا إلكتريك. أما برامج كبلات HTS الفعّالة الأخرى فقد قامت بصيانتها BICC في المملكة المتحدة، وتورديك سوبركوندكتور في الدنمارك، والنواقل الفائقة الأسترالية المحدودة وفوجيكورا وشركة طاقة كهرباء تشوبو في اليابان.

يبلغ طول كبل ديترويت إيديسون الذي ينقل قدرة 100MVA، 120 متراً، ويتألف من ثلاثة كبلات HTS أحادية الطور مقنّنة عند 24 kV. فهو يحل محل تسعة كبلات نحاسية لدى محطة فرعية في ديترويت ويزوّد قدرة تكفي لمستهلكين يبلغ عددهم 30 000 قاطن. ومما يدعو للدهشة أن الوزن الكلي للناقل HTS أقل من الكبلات النحاسية التي حل محلها بسبعين مرة. فإذا برهنت عروض التشغيل هذه على نجاحها فيمكن أن نتوقع تنفيذاً تجارياً كاملاً في غضون السنوات القليلة القادمة. تتنبأ دراسة حديثة أن كبلات HTS سوف تغطي 56% من سوق الإرسال المطمور خلال عشر سنوات من البيع التجاري الأول.

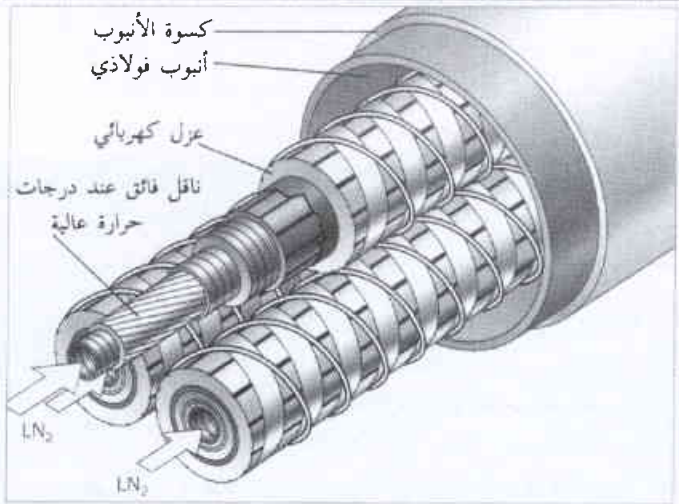
محوّلات التحويل

هناك مجال واعد آخر للنواقل الفائقة هو المحولات. على الرغم من أن محولات HTS لديها قابلية لأن تكون أكثر فعّالية من نظيراتها من غير النواقل الفائقة، فهناك العديد من الفوائد الأخرى التي قد تكون أكثر أهمية. فمنظومة HTS ضخمة (أكبر من 30 ميغا فولط أمبير) يُتوقع أن تزن حوالي نصف وزن المحوّلة التقليدية وأن يكون لها "قوام" footprint أصغر. وفوق ذلك فإن النواقل الفائقة العالية درجة الحرارة تقدم الفرصة لاستبعاد الزيت الذي يستخدم للتبريد ولغايات كهرنافذية (عزلية)، وهذه اعتبارات مهمة. يمكن لوزن زيت المحوّلة أن يفوق 70 طناً، وهو يتطلب دوراناً وتصفية، ويمثل خطراً كبيراً لتسببه في الحرائق وفي تلوث البيئة. تعد هذه العوامل الأخيرة حاسمة عندما توضع المحولات في أماكن محصورة، في الأقبية أو بجانب مجاري المياه. وعلى نقيض ذلك فإن للآزوت السائل خواص كهرنافذية مثالية وخطراً أقل بشكل ملحوظ على التلوث والتسبب في الحرائق.

في معظم البلدان يكون حجم المحولة الأعظمي محدوداً بالحمولة الوزنية للشاحنات، وجسور الطرقات وبالرافعات اللازمة لنقلها. وعليه فإن تخفيض الوزن يصبح مرغوباً جداً في ضوء هذه القيود.

علاوة على ذلك، تستطيع محولات HTS أن تدمج محدّدات تيار العَطْل fault - current limiters، التي تحمي مكوّنات أخرى في

الشكل 4- تشريح كبل HTS



المقطع العرضي لكبل HTS ذي ثلاث حلقات تبين أقنية الآزوت السائل (LN_2) على طول كل كبل، وهي ملفوفة بشكل حلزوني على أشرطة فائقة النقل عند درجات حرارة عالية.

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

المنظومة إذا حصل قصر دارة. كما أنها تمكّن من تصاميم الممانعة المنخفضة، التي تقدم العديد من الفوائد الأخرى المهمة، مثل تنظيم التوتر (الفولطية) المحسّن وسعة المحطة الفرعية المتزايدة. إن السوق العالمي الإجمالي للمحولات التي تتجاوز 30 مليون فولط أمبير يقدّر بحوالي 3 بليون دولار في العام.

إن مردود محوّلة HTS محدود بالحاجة إليها كي تعمل في شروط التيار المتناوب AC، وهنا يفشل مفهوم النقل الخالي من الضياع. يحدث التبديد عندما يُدار التدفق المغنطيسي نحو داخل وخارج الناقل الفائق. ولكي نقلل الضياع AC إلى أدنى حد، فإننا بحاجة إلى بنية للسلك مختلفة كلياً بالمقارنة مع أسلاك التيار المستمر DC التي تكلمنا عنها من قبل.

تتألف أسلاك النقل الفائق للتيار AC من فتائل منفصلة، لكن هذه الفتائل يجب أن يفرّق بعضها عن بعض باستخدام حامل (وطاء) matrix عالي المقاومة وغلاف مقاوم أو هذا الأخير لوحده. وبالإضافة إلى ذلك ينبغي لفّ الفتائل على امتداد طول الناقل لإنقاص التيارات الدوّامية بين الفتائل التي تساهم بالضياعات الكهربائية. وعلى الرغم من أن النواقل الفائقة المنخفضة الضياع من أجل التيارات المتناوبة AC لا تزال في المراحل الأولى من تطويرها، إلا أن تقدماً ملموساً قد طرأ في مختبرات عديدة.

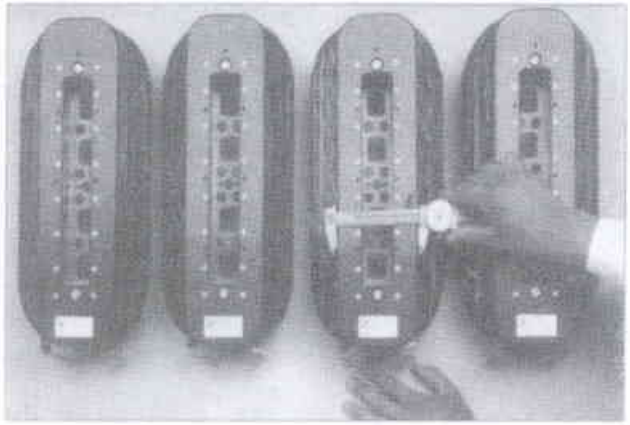
ومع أن هذه التقانة ما تزال في بداية عهدها، فقد تم تركيب محوّلة HTS عملياتية استطاعتها 630 kVA تبرّد بالآزوت السائل، في زوريخ في آذار عام 1997. صممت هذه المحولات وأنشئت من قبل Asea Brown Boveri وبقيت تعمل قرابة السنة. وفي أيار من عام 1998 اختبرت شركة كهرباء وَوْكيشا Waukesha Electric في ويسكونسين في الولايات المتحدة محوّلة وحيدة الطور استطاعتها 1 MVA بالاتحاد مع IGC، وأوك ريدج، Rochester Gas & Electric، ومعهد أبحاث القدرة الكهربائية. تمّ تبريد هذه المحولة بصورة قرّية وحمّلت بالقدرة إلى توتر 11 000 V وتيار 150 أمبير. ومؤخراً شكلت شركات Asea Brown Boveri وAmerican Superconductor وكهرباء فرنسا فريقاً واحداً للعمل وفق برنامج يستمر أربع سنوات يكلف 15 مليون دولار لتطوير سلك AC من أجل محولات HTS، كما أنها بدأت بمشروعين جديدين للمحولات باستطاعة 10 MVA في فرنسا والولايات المتحدة. إن مشروع الولايات المتحدة هو مساهمة ما بين DOE وأديسون كاليفورنيا الشمالية والقدرة الكهربائية الأمريكية.

المحركات والمغانط تأخذ أشكالها

تفيد تقارير الصناعة أن السوق العالمية النطاق للمحركات الكهربائية التي استطاعتها المقننة تفوق 1000 استطاعة حصانية، (hp) تبلغ 1.3 بليون دولار في العام الواحد. إضافة إلى ذلك فإن مثل هذه المحركات يُقدّر لها أن تستخدم حوالي 30% من الكهرباء المتولدة في الولايات المتحدة. كما هو الحال في المحولات، توجد ميزات مشابهة ترافق التحويل إلى تقانة HTS، التي تتضمن تخفيضاً في الحجم والضياعات يُقدّر بـ 50%، إضافة لتحسين الاستقرارية أثناء التشغيل. يعد تخفيض حجم هذه القيمة فائدة كبيرة من أجل بعض التطبيقات كدفع السفن.

في الوقت الراهن، إن البرنامج الرئيسي الوحيد في محركات HTS مأخوذ على عاتق المشاركة الطويلة الأمد بين شركة الناقل الفائق الأمريكية والكهربائية الموثوقة، وهي شركة تابعة لـ Rockwell Automation. وإذا تتبعنا النجاح الذي أحرزه المحرك النموذج الأولي باستطاعة حصانية قدرها 286 hp، فإن على الشركاء أن يتمموا أول محرك HTS على النطاق التجاري - الذي هو محرك تزامني باستطاعة 1000 hp وله "نواة من الهواء". يحتوي الدوّار المبرّد قرّياً على أربع وشائع HTS، تسمح بالحصول على حقول مغنطيسية أعلى من الحقول الناتجة من نظيراتها التقليدية، في حين تلغي الحاجة إلى نوى حديدية ثقيلة (الشكل 5). وفي أثناء ذلك يجري تصنيع وشائع بصورة مستمرة من أجل محرك HTS نموذج أولي تجاري استطاعته 5000 hp وسيكون مكتملاً في أواخر عام 2000، حيث يتوقع أن يبدأ أول بيع منه في السنة التالية.

الشكل 5 - محزومة للسوق



أول محرك تجاري من ناقل فائق عند درجات عالية - وهو محرك متزامن ذو قلب هوائي باستطاعة 1000 hp - بنته شركة الناقل الفائق الأمريكية والكهربائية المعتمدة (الموثوقة) ويحتوي على هذه الوشائع الأربع من HTS . تستطيع هذه الوشائع أن تتحمل حقولاً مغنطسية أعلى، وتقدم قدرة أكثر وتزن أقل من المحركات التقليدية المناظرة لها.

استناداً إلى نجاح هذه العروض المبكرة استلمت شركة الناقل الفائق الأمريكية عقداً من البحرية في الولايات المتحدة في حزيران عام 1999 لتصميم محرك HTS باستطاعة 25 000 hp لدفع السفن. وللتأكيد على التزامها المغامر لهذه التقانة شكلت الشركة منذ فترة قصيرة وحدة عمل جديدة مركّزة على تصميم وتطوير وتصنيع محركات ومولدات HTS.

لقد توالى تصنيع سلسلة من معروضات مغانط HTS منذ تم صنع أولى أسلاك HTS في أوائل التسعينيات. في آذار من عام 1997 تم تركيب مغنطيس HTS في خط الحزمة من مسرع فان دوغراف للتأريخ بالكربون

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

في معهد العلوم الجيولوجية والنووية في ولينغتون بنيوزيلاندا، وظل يعمل منذ ذلك الوقت (الشكل 6). قام الاتحاد المالي، المكون من شركة الناقل الفائق الأمريكية، وشركة ألفاتيتش القائمة في أوكلاند وشركة البحث الصناعي المحدودة – وهي معهد أبحاث تابع للحكومة في نيوزيلاندا؛ ببناء المغنطيس. صُمِّم المغنطيس Bi-2223 ليعمل في الدرجة 50 K، ويبرَّد باستخدام برّاد أحادي المرحلة. على الرغم من أنه لا يحتاج إلا إلى تنمية حقل شدته 0.74 T فقد استمر المغنطيس في العمل لمدة تقارب الثلاث سنوات. إن هذا الإظهار للوثوقية الطويلة المدى، وإن تكن في تطبيق معتدل الطلب عليه، إنجاز مهم للمتاجرة الواسعة لتقانة الـ HTS بصورة عامة – ولربما كان هذا المغنطيس التطبيق العملي على نطاق واسع الأول من نوعه لتقانة HTS في العالم.

الشكل 6 ـ المنتج الرائد

المؤلف يقف أمام مغنطيس HTS مركب على مسرّع فان دوغراف في معهد العلوم الجيولوجية والنووية في ولنغتون، نيوزيلاندا. المغنطيس ربما كان أول تطبيق عملي على نطاق واسع يستخدم كلياً تقانة HTS وقد بقي في الخدمة ما يقارب ثلاث سنوات.

لقد سجلت نتائج أكثر إثارة عن عرض المغانط. ففي تموز 1998 اختبر مختبر أبحاث نافال في الولايات المتحدة وبنجاح مغنطيساً كهربائياً HTS منتجاً حقلاً مغنطيسياً HTS قياسياً يبلغ 7.25 تسلا مستخدماً وشائع صنعتها شركة الناقل الفائق الأمريكية. كما عرضت هيتاشي بالاشتراك مع معهد الأبحاث القومي للمعادن ومختبر مغنطيس تسوكوبا في اليابان، وبعد ذلك التاريخ، مغنطيساً فائق النقل شدته 23.4 T، ويبلغ تجويفه 13 mm. يتألف هذا المغنطيس من مغنطيس ناقل فائق عند درجة حرارة منخفضة شدته 18 T مع وشيعتي تعزيز من Bi-2212 في الدرجة 4.2 K وغالباً ما يكون عند شدة حرجة 23.5 T لازمة لتطبيقات التجاوب المغنطيسي النووي عند التواتر 1 GHz.

هناك عدد من الشركات الأخرى لها طموحات مماثلة. وقد عُرِضت في مختبر الحقل المغنطيسي العالي القومي في فلوريدا وشائع تعطي 21 T صنعتها IGC وكذلك تقانة أكسفورد للنقل الفائق. وفي تطوير آخر في عام 1998، بنت شركة تقانة مغنطيس أكسفورد وشركة التقانة المتحدة لسيمنس نموذجاً أولياً لماسح جسم تصوير بالتجاوب المغنطيسي ذي وشيعتين مصنوعتين من اسلاك Bi-2223، التي صنعتها بصورة منفصلة شركة تقانات النواقل الفائقة الشمالية وشركة Vacuum- Schmelze.

النواقل الفائقة تنتقل من شدة إلى شدة

هناك تقانات HTS أخرى متميزة أيضاً، مثل محدِّدات عطل التيار الجديرة بالملاحظة، وتيار الناقلية الحرارية المنخفض يؤدي إلى إنقاص تسرب الحرارة إلى الوسط القرّي لمغانط عالية الحقل مصنوعة من ناقل فائق عند درجات حرارة منخفضة. إن بعضاً من الـ 1600 سلك تيار، يحمل كل منها 13 000 A، ستُنشَر على مغانط الناقل الفائق المنخفض درجة الحرارة في مسرع الجزيئات في الصادم الهدروني الضخم في سيرن CERN بجنيف. وبالتوازي مع هذه التطبيقات السلكية والجرمية ظهرت مجموعة من التطبيقات الأخرى مثل طيف تطبيقات الأفلام الرقيقة من أجل هوائيات الأمواج المكروية، ومرشحات ونبائط التداخل الكمومي فائقة النقل (سكويدات SQUIDs).

يتضح من القاعدة العريضة للتطبيقات وقربها من العرض على نطاق تجاري بأن تقانات HTS هي على عتبة ثورة النواقل الفائقة الموعودة. وعندما يبدأ الصانعون بزيادة الإنتاج، فإن الأسعار ولا شك ستهبط وسيعزز أكثر النمو التجاري. نضيف إلى هذا الشهية النهمة لصناعة تقانة المعلومات من أجل اتصالات أسرع، و سعة ذاكرة أكبر وقدرة معالجة أسرع، وإنه لمن الواضح أن جاذبية السوق لتقانات HTS الإلكترونية ستنمو بشكل مدهش في العقود القليلة القادمة. ويظهر أن الناقلية الفائقة قد أقامت مسبقاً رأس جسر على المشهد التقاني والتجاري للقرن الحادي والعشرين. وبناء على هذه الاعتبارات قدّر اتحاد الشركات الأوربية أن السوق العالمية الكلية لمنتجات النواقل الفائقة ستصل إلى 22 بليون جنيه استرليني مع نهاية عام 2020.

وأخيراً، فإن المظهر الحالي لمواد HTS من نحاسات – روثينات، التي تبدي مغنطيسية حديدية وناقلية فائقة في ذات الوقت تقلب رأساً على عقب معتقداً طالما ساد فترة طويلة من الزمن بأن هذه الخواص متضاربة بصورة عامة. وهذه تعمل على تذكيرنا ثانية بأن المواد الجديدة ذات الصفات الغريبة وغير المتوقعة سيستمر ظهورها وأن آفاق تقانتنا ستستمر بالتوسع.

☆ ★ ☆

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

تعرُّض طاقم الطائرة للإشعاع–دراسة شاملة*

س. بابلي

ملخص

يُبدي منظمو الحركة وطواقم الطيران وشركات الخطوط الجوية مزيداً من الاهتمام بالأشعة الكونية.
لكن ما هو الخطر وكيف يمكن التغلب عليه؟

الكلمات المفتاحية: أشعة كونية، حوادث الجسيمات الشمسية، شواظ شمسي، الجرعة الإشعاعية، طاقم جوي، بطاقات مجراعية، ملاجيء عاصفية.

من الحقائق الثابتة أن أي زيادة في الارتفاع عن سطح الأرض تعني زيادة في كمية الإشعاع. فمن المعلوم، على سبيل المثال، أن الانتقال من ولاية شاطئية إلى جبال روكي في الولايات المتحدة يؤدي إلى زيادة جرعة إشعاع الخلفية التي يتعرّض لها الفرد، وأن سوية الإشعاع تلك تصبح أعلى على متن الطائرة.

في عام 1990 اعتبرت اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع ICRP طواقم الطيران الجوية مجموعةً تتعرّض للإشعاع بحكم المهنة، مما قلب رأساً على عقب خطة إعفاء أي مصدر طبيعي للإشعاع من الرقابة. وغالباً ما تكون جرعات الإشعاع التي يتلقاها الطيارون ومساعدوهم أكبر من تلك التي يتلقاها العاملون في الإشعاع العادي في الصناعة النووية الخاضعة للرقابة الشديدة. وحتى وقت قريب لم يلقَ الطاقم الجوي، الذي يتعرّض للإشعاع مهنياً، الاهتمام الكافي. أما الآن، فالتجهيزات المعقدة تتيح للباحثين المباشرة بدراسات حول التعرّض لمثل هذا الإشعاع، وفي بعض المناطق من العالم جرى وضع قوانين جديدة وملائمة لمراقبة تعرّض طواقم الطائرات إلى الإشعاع. وسيترك الأمر للحكومة وللخطوط الجوية وللطاقم الجوي في تحديد ما تعنيه عمليات التعرّض هذه بالنسبة لمستقبل السفر جوّاً.

لقد أضحى الطيران الآن طريقة شائعة ومعروفة في النقل، لكن التغيرات الأخيرة في السفر جواً ربما تعني زيادة في الجرعة بالنسبة للأشخاص المتعرّضين لها. فالمركبات الجوية ذات القدرة العالية، التي تستطيع الوصول إلى ارتفاعات عالية كطائرة الكونكورد، تطير عادة على ارتفاع 000 55 قدم، والمركبات الجوية في المستقبل ربما تطير على ارتفاعات أعلى من ذلك. فالتعرّض للإشعاعات الكونية المجرّية يتضاعف تقريباً مع كلّ زيادة في الارتفاع قدرها 6000 قدم. وفي الوقت الذي يسبب فيه الإشعاع الكوني مخاطر محدودة، إن لم تكن معدومة، بالنسبة للمسافر السائح، إلا أنه يغدو ضرورياً تصنيف المسافرين من رجال الأعمال، الذين يسجلون ساعات طيران عديدة توازي تلك التي يسجلها أفراد طاقم الطائرة أنفُسهم، على أنهم يتعرّضون للإشعاع مهنياً. علاوة

* نشر هذا المقال في مجلة .*NUCLEAR NEWS*. January 2000 – ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

على ذلك، يمكن للمستحضرات الصيدلانية المشعّة التي يجري نقلها كحمولة أن تزيد من الجرعة التي يتلقاها أفراد الطاقم.

لقد اعترفت إدارة الطيران الاتحادية FAA بمخاطر الإشعاع لأول مرة في عام 1990، عند إصدارها النشرة الاستشارية 120 - 52 تحت عنوان "تعرّض أفراد طاقم الناقلات الجوية للإشعاع". واستناداً إلى هذا التقرير، يبلغ معدّل الجرعة المتوسطة من الإشعاع الكوني والأرضي في الولايات المتحدة المتجاورة 0.06 مكرو سيفرت في الساعة (μSv/hr). وعلى ارتفاع 35 000 قدم، والذي يُعدّ ارتفاعاً عادياً بالنسبة إلى السفر الجوي المحلي، يكون معدّل الجرعة الناجم عن الإشعاع الكوني المجرّي لوحده 6μSv/hr.

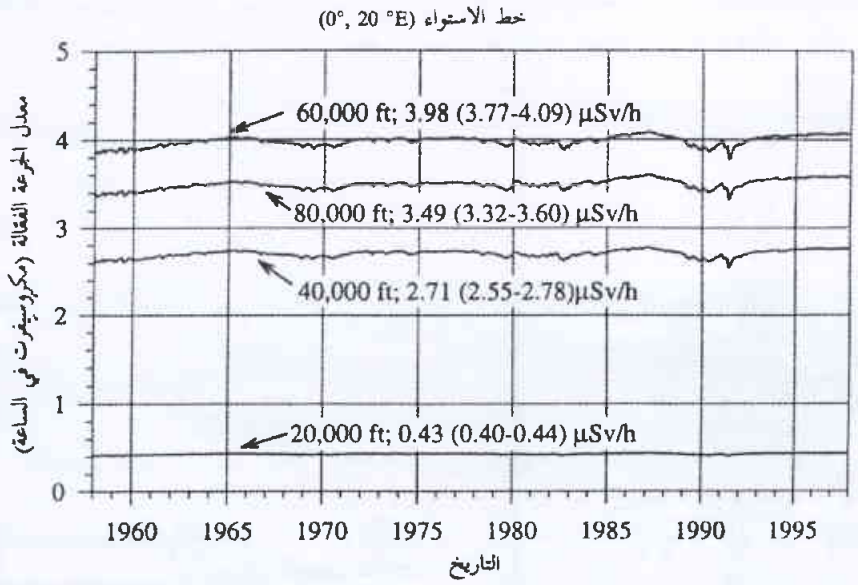
وتتضمن النشرة الإرشادية 120 - 61 الصادرة بتاريخ 19 أيار 1994 توصيات رسمية صدرت عن إدارة الطيران الاتحادية إلى الخطوط الجوية الأمريكية تتعلق بالإشعاع المنبعث أثناء الطيران. وقد نصت هذه النشرة ببساطة على أن "أفراد طاقم المركبات الجوية يتعرّضون مهنياً إلى جرعات منخفضة من الإشعاع المؤيّن الصادر عن الأشعة الكونية وعن الشحنات الجوية من المواد المشعة". ويوصي التقرير، المؤلف من صفحتين، بأنه يجب على الخطوط الجوية إعلام أفراد طاقم الطائرة حول أنواع وكميات الإشعاع المتلقاة أثناء السفر جواً بالمقارنة مع مصادر التعرّض الأخرى، إضافة إلى المتغيرات التي تؤثر في مقدار التعرّض للإشعاع (كالارتفاع عن سطح البحر، وخطوط العرض، والشواظات الشمسية مثلاً) والجوانب الأساسية المتعلقة بالتعرّض للإشعاع المؤيّن، والمخاطر الصحية التي يتعرّض لها أفراد طاقم الطائرة جرّاء تعرّضهم للأشعة الكونية، وكيف يعالج أفراد الطاقم أمر تعرّضهم للإشعاع، وشحنات المواد المشعة.

ماهية التعرّض للإشعاع

تدخل جسيمات الأشعة المؤيّنة (وهي على الأغلب بروتونات وجسيمات ألفا) الغلاف الجوي المحيط بالأرض، حيث تصطدم بذرات النتروجين والأكسجين وذرات أخرى وتحطّم نُواها. ويُطلق على الجسيمات المشحونة الداخلة إلى المنظومة الشمسية والأشعة الثانوية التي تصدرها هذه الجسيمات في الغلاف الجوي إجمالاً اسم الأشعة الكونية المجرّية. تستطيع كل نواة محطّمة أن تنتج بذاتها جسيمات مؤيّنة متعددة يمكنها أن تتآثر مع نوى أخرى منتجة المزيد من الجسيمات إلى أن ينتهي الأمر، بعد عدة تآثرات، إلى فقد الطاقة اللازمة لإحداث التمزقات (التحطيم). وتعدّ الشمس أيضاً مصدراً مهماً للإشعاع. ويُطلق عادة على الأشعة الشمسية والأشعة الكونية المجرّية كليهما معاً اسم الأشعة الكونية.

أوضح والاس فريدبرغ W. Friedberg، وهو قائد فريق بحوث البيولوجيا الإشعاعية في المعهد المدني للطب الجوي التابع لإدارة الطيران الاتحادية في أوكلاهوما سيتي، في بحثٍ خلال اجتماع عُقد عام 1998، أن تأثير الأشعة الكونية المجرّية يضعف عادة مع تناقص الارتفاع. كذلك تكون سويات الإشعاع قرب خط الاستواء أخفض مما هي عليه باتجاه القطبين الشمالي والجنوبي لأن الحقل المغنطيسي الأرضي يحرف جسيمات الأشعة الكونية المجرّية الواردة (وبخاصة تلك ذات الطاقة المنخفضة). ويكون تأثير الحقل المغنطيسي الأرضي في أوجه عند خط الاستواء المغنطيسي الأرضي الذي يقع قرب خط الاستواء الجغرافي. ومن خلال المعطيات التي تم جمعها في الفترة الواقعة ما بين كانون الثاني 1958 وكانون الأول 1997، تمكّن فريدبرغ من الاستنتاج بأن طائرة على ارتفاع 20 000 قدم عند خط عرض 70° شمالاً (قرب الدائرة القطبية الشمالية) ستتلقى أشعة كونية مجرّية أعلى بعامل قدره 2.0 من تلك على الارتفاع ذاته عند خط الاستواء (انظر الشكل 1). وفي المؤتمر الدولي، الذي انعقد في 1 - 3 تموز عام 1998 في دبلن بإيرلندا، حول الأشعة الكونية وتعرّض الطواقم الجوية لها، وتنفيذ الشروط الأوربية للطيران المدني، عرض فريدبرغ ورقة بحث بعنوان "إرشادات ومعلومات تقنية موضوعة من قبل إدارة الطيران الاتحادية الأمريكية لتعزيز السلامة الإشعاعية لدى أفراد طواقم الطائرات".

وعند كل خط عرض، يختلف الارتفاع الذي يصل معدل الجرعة عنده إلى أقصى قيمة له. ويمكن للتآثر الأولي للأشعة الكونية المجرّية مع الغلاف الجوي المحيط بالأرض أن يكون على درجة من الشدة بحيث تُلاحظ ظاهرة فريدة عند ارتفاعات عالية فوق خط الاستواء: إذ تكون شدة الإشعاع على ارتفاع 80 000 قدم أقل مما هي عليه على ارتفاع 60 000 قدم حيث تصل تآثرات الجسيمات إلى ذروتها.



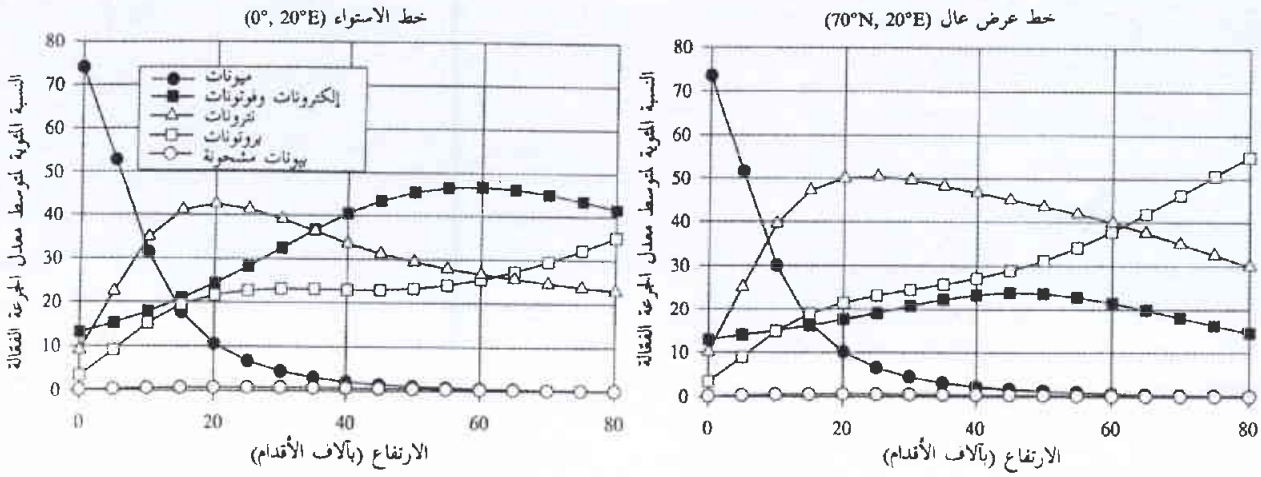
الشكل 1- سويات الأشعة المجرّية (متوسطات شهرية) عند ارتفاعات مختلفة وعند خط الاستواء وعلى خط عرض عالٍ وذلك خلال الفترة الواقعة بين كانون الثاني 1958 وكانون الأول 1997. حيث تظهر أيضاً معدلات الجرعة الفعّالة المتوسطة خلال أربعين عاماً. ويظهر بوضوح تأثير الدورة الشمسية التي مدتها 11 عاماً على سويات الأشعة الكونية عند خط عرض عالٍ.

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

لقد كان فريدبرغ قادراً على تحديد هوية الجسيمات المسؤولة عن جرعة الأشعة الكونية المجرّية التي تتعرّض لها طائرة تنطلق على ارتفاعات نموذجية تراوح بين 000 20 و 000 40 قدم. وعند هذا الارتفاع، وطيلة فترة دراسته التي استمرت أربعين عاماً، وجد أن نسبة 88 - 97% من معدل الجرعة الفعّالة كان صادراً عن النترونات (33 - 52%)، والبروتونات (21 - 28%)، والإلكترونات مع الفوتونات (17 - 41%) (انظر الشكل 2)، وتساهم الميونات بنسبة 2 - 11%، والبيونات المشحونة بنسبة أقل من 1%.

كان مقدراً لها أن تدخل الغلاف الجوي المحيط بالأرض". وبسبب هذا الأمر تكون هذه الأشعة الكونية المجرّية في حدّها الأدنى خلال الذروة الشمسية، لكن أثناء الحضيض الشمسي يتمكن المزيد من تلك الأشعة الكونية من الوصول إلى الأرض. واستناداً إلى فريدبرغ، فإن آخر مرة حصل فيها الحضيض الشمسي كانت في مطلع عام 1997، ومن المتوقع أن تبدأ الذروة الشمسية قبل موعدها المحدد في أيار عام 2000.

تكون حوادث الجسيمات الشمسية ذات طاقة منخفضة جداً بحيث تحول دون مساهمتها في سويات الإشعاع عند الارتفاعات التي تصل إليها



الشكل 2- مساهمات مكونات الأشعة المجرّية (كنسبة مئوية لمتوسط معدل الجرعة الفعّالة) بدلالة الارتفاع عن سطح البحر وذلك عند كل من خط الاستواء وخط عرض عالٍ وخلال الفترة الواقعة بين كانون الثاني 1958 وكانون الأول 1997.

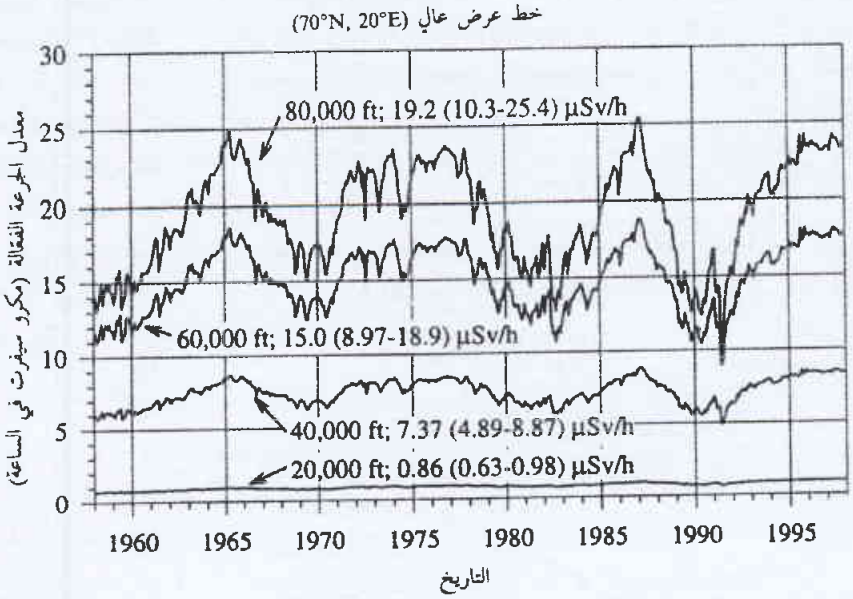
وسويات الأشعة الكونية غير مستقرة على الإطلاق. فمنذ خمسين عاماً والباحثون يأخذون قياسات لها، وتمكنوا من تحديد دورة مدتها 11 عاماً لشدة الأشعة الكونية المجرّية التي تتأثر بنشاط الشمس. ويمكن أن تحصل حوادث الجسيمات الشمسية (solar particle events (SPEs، التي يطلق عليها أيضاً اسم "الشواظات الشمسية"، في أي وقت، ولو أنها تحدث بشكل متكرر خلال بضع سنوات من الدورة المذكورة التي يطلق عليها اسم "الذروة الشمسية" solar maximum أو "الحدّ الأعظمي للأشعة الشمسية". وعندما يأخذ المكون القاعدي ثنائي القطب، الخاص بالحقل المغنطيسي المستمر التغير للشمس، اتجاهاً معاكساً، نصل إلى ما يسمى بالحضيض الشمسي solar minimum والذي تكون عنده حوادث الجسيمات الشمسية قليلة الحدوث وذات فعاليات أدنى.

تحمل الرياح الشمسية (وهي بلازما الأشعة الشمسية التي تقذفها الشمس - وغالباً ما تكون بروتونات وإلكترونات) حقلاً مغنطيسياً ملتفاً عبر المنظومة الشمسية. وهذه الرياح تشتمل على عدد أعظم من حالات عدم الانتظام عند الذروة الشمسية، الأمر الذي يجعل الحقل المغنطيسي يتبدل ويصبح متعرجاً وقوياً بصورة غير عادية. وبما أن الجسيمات المؤيّنة المكونة للأشعة المجرّية مشحونة كهربائياً، فإنها قد تتأثر بالجسيمات المؤيّنة بشدة في الرياح الشمسية. يقول فريدبرغ في حديثه لمجلة Nuclear News:" إن حالات عدم الانتظام في الحقول المغنطيسية التي تحملها الرياح الشمسية تشتت الجسيمات المجرّية المنخفضة الطاقة التي

الطائرات العادية، ولو أنه قد تزداد، خلال الذروة الشمسية، أعداد جسيمات الأشعة الشمسية وترتفع طاقتها إلى حدٍّ تؤثر فيه جرعة الأشعة الكونية على المسافرين في الجو. وتتميز حوادث الجسيمات الشمسية بأنها قصيرة العمر: فهي تزداد عادة لتصل إلى ذروة السوية الإشعاعية ومن ثم تتناقص لتقترب من السوية العادية خلال ساعتين أو ثلاث ساعات. ويوضح الشكل 3 سويات البروتون الشمسي، كما قاسه مركز البيئة الفضائي التابع للإدارة الوطنية والمحيطاتية في السابع من تشرين الثاني عام 1997، عندما حدث شواظ شمسي أمكن قياسه (بين الشكل 4، بالمقارنة، سويات نموذجية للبروتون الشمسي).

وأقوى حوادث الجسيمات الشمسية على الإطلاق التي تم تسجيلها حصل في 23 شباط عام 1956. وفي ذلك الحين لم يكن بالإمكان إجراء قياسات للأشعة الكونية على ارتفاعات عالية، واستخدم الباحثون نماذج لتقدير الجرعة التي يتلقاها المسافر جواً على ارتفاع عالٍ أثناء وقوع حوادث الجسيمات الشمسية. وقد فتر ذلك بول غولدهاغن P. Goldhagen، وهو فيزيائي من مختبر القياسات البيئية التابع لوزارة الطاقة الأمريكية في نيويورك، بأن الباحثين قاموا بعملية استقراء لمعرفة أن حادث جسيمات شمسية بشدةٍ حادث عام 1956 قد يعني جرعة مكافئة لأكثر من 10mSv/h بالنسبة إلى المسافرين والطاقم أثناء الطيران فوق الصوتي على ارتفاع عالٍ.

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



ويمكن أن يكون لحوادث الجسيمات الشمسية تأثير أعظم على مستقبل الطائرات النفاثة التي تطير على ارتفاعات عالية. وربما تحمل طائرة فوق صوتية افتراضية على متنها مرقاباً يعمل بالأشعة، كما تفعل حالياً طائرة الكونكورد بحيث يمكنها أن تُحذِّر الطيارين من بدء الحوادث الشمسية في حال عدم قدرة مراقبي الاتصالات الجوية القيام بذلك. فإذا أشار هذا المرقاب إلى وقوع حوادث شمسية، عندها يمكن للطائرة أن تتجنب الأشعة بتخفيض الارتفاع من 65 000 قدم إلى 45 000 قدم تقريباً، أو بالانتقال إلى خط عرض أقل. وفي هذا المجال يقول غولدهاغن: "هذا أمر مقبول عندما تكون هنالك طائرة واحدة تطير، أما إذا حدث في عام 2050 أن كانت هنالك مئة طائرة نقل فوق صوتية تطير في آن واحد، فسوف يغدو هبوطها فوراً وبشكل جماعي أكثر خطورة من بقائها هناك وقبول تعرّضها للإشعاع". وفي ذلك الحين (أي في عام 2050) يأمل الباحث المذكور أن يصبح بالإمكان التنبؤ بوقت حدوث حوادث الجسيمات الشمسية.

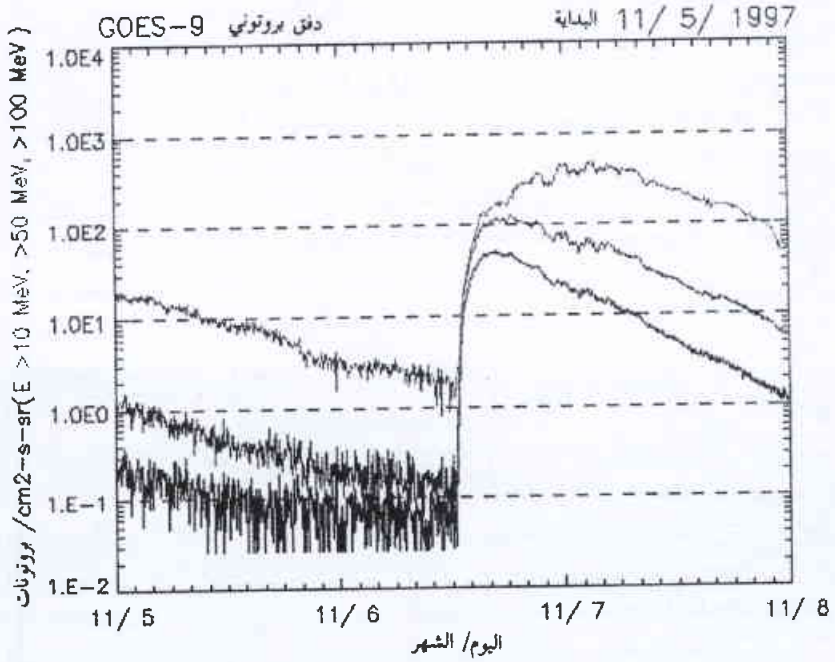
من الممكن أيضاً أن تؤثر في المستقبل حوادث الجسيمات الشمسية في طائرات النقل فوق الصوتية وذلك عن طريق التدخّل في إلكترونيات الطيران الموجودة على متن الطائرة. ويمكن أن يقع إرباك بحادثة واحدة (SEU) إذا ألحقت الأشعة المؤيّنة ضرراً بجذاذة حاسوب، الأمر الذي قد يؤدي إلى وضع الطائرة في حالة خطرة. وفي حال عدم اتخاذ الإجراءات لمنع تأثير الأشعة في الأجهزة الإلكترونية للطائرة، فمن المحتمل، كما ينظّر غولدهاغن، أن ينجم أسوأ تهديد صحي للمسافرين ولأفراد طاقم الطائرة بسبب هذا الإشعاع الذي قد يؤدي إلى قصور في أداء الطائرة.

ما هو مقدار الجرعة؟

طوّر فريدبرغ برنامجاً حاسوبياً يمكنه تقدير الجرعة الإشعاعية المجرّية أثناء الطيران بين أي مطارين في العالم. وأحدث نسخة من هذا البرنامج هي CARI-5E الموجودة على الشبكة في الموقع:

<www. cami. jccbi. gov/ AAM-600/610/600 radio. html>

ويضع هذا البرنامج في حسبانه موقع الطائرة من الإقلاع حتى الهبوط، بما في ذلك الارتفاعات التي وصلت إليها، وتغيرات خطوط العرض وخطوط الطول. ولدى إدخال مستخدم البرمجيات تاريخ الرحلة، فإن برنامج CARI-5E يعدّل تقدير الجرعة ليعكس الدورة الشمسية التي مدتها 11 عاماً. ويستطيع البرنامج تقدير الجرعة أثناء أي طيران بدءاً من كانون الثاني عام 1958 وحتى الوقت الحاضر، موفّراً بذلك آلة ناجعة في أيدي المتخصصين في علم الأوبئة لتقييم الآثار الصحية التي يسببها تعرّض الطاقم الجوي إلى الأشعة الكونية الطويلة المدى.



الشكل 3- البيانات التي تم الحصول عليها أثناء حادث جسيمات شمسي في 4 - 7 تشرين الثاني 1997، بواسطة الساتل GEOS-9، وتبيّن كثافة البروتونات الشمسية في ثلاثة مجالات طاقية (> 10 MeV, > 50 MeV, > 100 MeV).

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

يوضح الجدول 1 معدّلات الجرعة الوسطية والصغرى والعظمى النموذجية التي جرى تلقيها في رحلات الطيران خلال السنوات الأربعين الماضية. واستناداً إلى فريدبرغ، فإن الشخص الذي يعمل سنوياً 700 ساعة طيران متراكمة (تقاس من وقت مغادرة الطائرة مكان التوقف قبل الإقلاع إلى حين وصولها مكان التوقف بعد الهبوط على الأرض) ويطير بين أثينا في اليونان ومدينة نيويورك، سيتلقى جرعة إشعاعية قدرها 4.2 mSv جرّاء تعرّضه المهني السنوي. وأوضح فريدبرغ في بحثه الذي يرتكز على البيانات في الجدول المذكور أن معدّل جرعات الإشعاع السنوية التي يتلقّاها أفراد الطاقم الجوي من مصادر مهنية وغير مهنية يمكن أن تكون متباينة. وحسب رأي بعض الباحثين قد تكون الجرعة قريبة من الكمية التي يتلقاها الناس بصورة عامة، بينما يرى البعض الآخر أنها يمكن أن تصل إلى ضعف تلك الكمية.

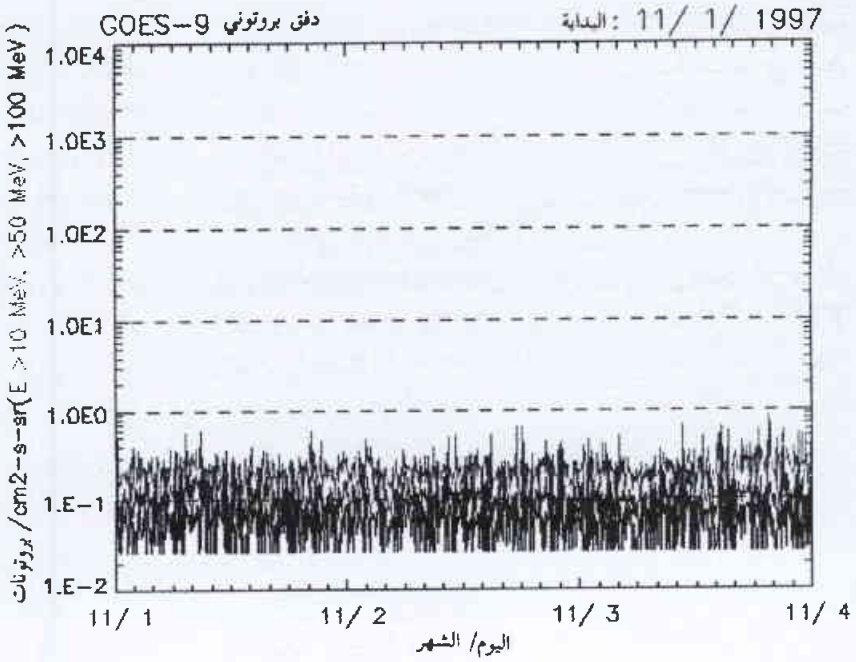
وبناءً على طلب إدارة الطيران والفضاء الوطنية، ناسا NASA، أجرت اللجنة الوطنية للوقاية من الإشعاع دراسة حول التعرّض للإشعاع والطيران على ارتفاع عالٍ. وفي تموز 1995 نشرت هذه الإدارة "التعليق 12" الذي يقترح أن: "معدلات الجرعة الممتصة المتوسطة وقابليتها للتغير في مدى الارتفاع ما بين 30 000 إلى 80 000 قدم قد يتطلّب تفصيلاً أوسع وإجراء قياسات إضافية توظف طائرات تطير على ارتفاع عالٍ تستخدم أجهزة مناسبة" لإزالة حالة الارتياب.

الجدول 1- الجرعات الفعّالة من الأشعة الكونية المجرّية المتلقاة على الطائرات الناقلة.

البلد-الوجهة	أعلى ارتفاع، بآلاف الأقدام	الزمن في الجو، بالساعات	ساعات تراكمية	جرعة فعّالة، مكروسيفرت a	ملّي سيفرت لكل 100 ساعة تراكمية b
رحلة طيران مفردة باتجاه واحد ودون توقف					
Seattle WA – Portland OR	21	0.4	0.6	0.14 (0.11 – 0.15)	0.02
Houston TX – Austin TX	20	0.5	0.6	0.14 (0.12 – 0.15)	0.02
Miami FL – Tampa FL	24	0.6	0.9	0.34 (0.28 – 0.36)	0.04
St. Louis MO – Tulsa OK	35	0.9	1.1	1.57 (1.20 – 1.74)	0.14
San Juan PR – Miami FL	35	2.2	2.5	4.84 (4.16 – 5.18)	0.19
Tampa FL – St. Louis MO	31	2.0	2.2	4.31 (3.35 – 4.74)	0.20
New Orleans LA – San Antonio TX	39	1.2	1.4	3.11 (2.54 – 3.31)	0.22
Los Angeles CA – Honolulu HI	35	5.2	5.6	12.9 (11.5 – 13.3)	0.23
Denver CO – Minneapolis MN	33	1.2	1.5	3.54 (2.56 – 4.05)	0.24
New York NY – San Juan PR	37	3.0	3.5	9.20 (7.52 – 10.1)	0.26
Honolulu HI – Los Angeles CA	40	5.1	5.6	15.2 (13.4 – 15.8)	0.27
Chicago IL – New York NY	37	1.6	2.0	6.09 (4.33 – 7.10)	0.30
Los Angeles CA – Tokyo JP	40	11.7	12.0	38.0 (31.8 – 40.4)	0.32
Tokyo JP – Los Angeles CA	37	8.8	9.2	30.0 (24.6 – 32.2)	0.33
Washington DC – Los Angeles CA	35	4.7	5.0	17.2 (13.2 – 19.1)	0.34
New York NY – Chicago IL	39	1.8	2.3	8.42 (5.93 – 9.85)	0.37
Minneapolis MN – New York NY	37	1.8	2.1	7.91 (5.54 – 9.26)	0.38
London GB – Dallas/Ft. Worth TX	39	9.7	10.1	38.8 (27.6 – 45.1)	0.38
Lisbon ES – New York NY	39	6.5	6.9	27.3 (20.5 – 31.1)	0.40
Dallas/Ft. Worth TX – London GB	37	8.5	8.8	35.3 (24.8 – 41.4)	0.40
Seattle WA – Anchorage AK	35	3.4	3.7	15.1 (10.4 – 17.8)	0.41
Chicago IL – San Francisco CA	39	3.8	4.1	17.7 (13.2 – 19.8)	0.43
Seattle WA – Washington DC	37	4.1	4.4	20.4 (14.3 – 23.8)	0.46
London GB – New York NY	37	6.8	7.3	34.0 (23.8 – 40.0)	0.47
San Francisco CA – Chicago IL	41	3.8	4.1	19.5 (14.2 – 22.1)	0.48
New York NY – Seattle WA	39	4.9	5.3	25.6 (17.7 – 30.1)	0.48
New York NY – Tokyo JP	43	13.0	13.4	67.1 (48.3 – 77.7)	0.50
London GB – Los Angeles CA	39	10.5	11.0	55.2 (38.5 – 64.9)	0.50
Chicago IL – London GB	37	7.3	7.7	38.7 (26.6 – 45.8)	0.50
Tokyo JP – New York NY	41	12.2	12.6	63.5 (44.3 – 74.8)	0.50
London GB – Chicago IL	39	7.8	8.3	43.3 (29.6 – 51.6)	0.52
Athens GR – New York NY	41	9.4	9.7	58.2 (42.3 – 67.0)	0.60

a – الجرعة المتوسطة الفعّالة (الصغرى والعظمى) في الفترة الواقعة بين كانون الثاني 1958 وكانون الأول 1997.
b – اعتماداً على متوسط جرعة فعّالة لرحلة طيران باتجاه واحد.

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



الشكل 4- البيانات التي حصل عليها الساتل GEOS-9 تحت الظروف الشمسية العادية، مبيناً كثافة البروتونات الشمسية في ثلاثة مجالات طاقية (>10ميغا إلكترون فولط، >50 ميغا إلكترون فولط، و >100 ميغا إلكترون فولط).

ومنذ ذلك الحين، حاول مكتب مشروع بحوث السرعة العالية التابع لوكالة ناسا، الذي يعمل خارج مركز لانجلي للبحوث التابع للوكالة بإشراف جون و. ويلسون John W. Wilson، توصيف شروط الإشعاع عند الطيران على ارتفاعات عالية. وكان قد ساعد في المهمة المذكورة كل من: شركة DOE's EML، ومركز جونسون الفضائي التابع لناسا، ومؤسسة بحوث الدفاع والكلية العسكرية الكندية، ومؤسسة البحوث الفضائية الألمانية، والمجلس الوطني للوقاية الإشعاعية في المملكة المتحدة، وشركة بوينغ، والعديد من الباحثين من جامعات محلية وأجنبية.

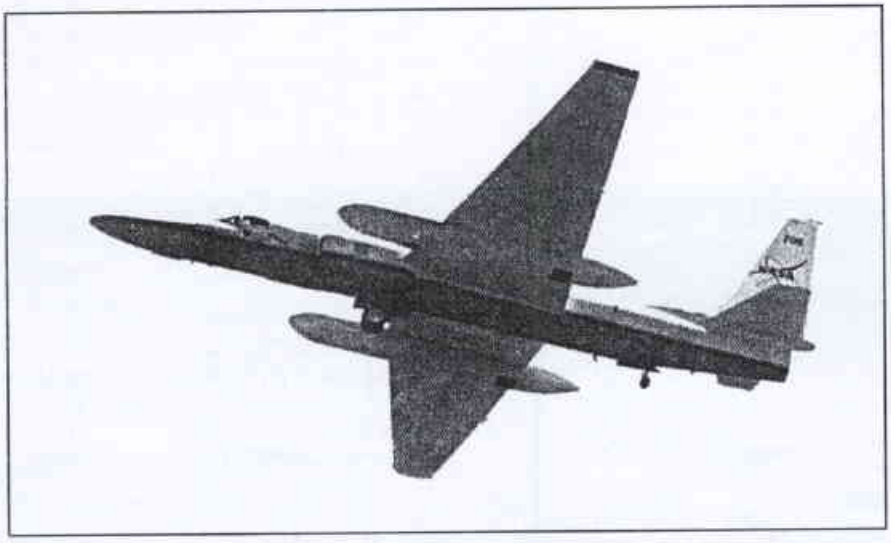
أجريت قياسات الأشعة الكونية المجرّية باستخدام طائرة تجسس عسكرية، من طراز ER-2، يمكنها الوصول إلى ارتفاع 75 000 قدم. وكان القصد من المهمة التي أطلق عليها اسم مشروع الأشعة المؤيّنة الجوية (AIR)، هو ضرورة إعطاء وصف دقيق لسويات الأشعة على ارتفاعات عالية ستصلها طائرات النقل الافتراضية فوق الصوتية.

استخدمت الطائرة ER-2 في خمس بعثات حيث طارت من مركز آميز للبحوث التابع لوكالة ناسا في موفيت فيلد Moffett Field بكاليفورنيا في شهر حزيران عام 1997 (في أثناء الحضيض الشمسي الأخير)، أي عندما أمكن التوقع بأن التعرّضات للأشعة الكونية المجرية ستكون في أعلى حدٍّ لها (انظر الشكل 5). وثمة أربع عشرة أداة مختلفة استخدمت في الطائرة، بما فيها المطياف النتروني متعدد الكرات، وحجرة تأيّن، وعدّادات وميضية من شركة EML، وعدّادان كرويان تناسبيان يكافئان نسيجاً بيولوجياً ومقرابان للجسيمات. جُمعت البيانات المستقاة من رحلات الطيران لإتاحة مزيد من التحسين لنموذج الأشعة المؤينة الجوية لوسط الأشعة الكونية المجرّية، وللسماح بإجراء تقديرات دقيقة للجرعة من أجل ارتفاعات عالية.

منظمو حركة الطيران لهم رأيهم في هذه المسألة

من المعترف به أن الجرعات المشعة التي يتلقاها أفراد الطاقم الجوي تشكّل تعرّضاً مهنياً. لكن ألا ينبغي لهذا التعرّض أن يكون ضمن حدود معينة؟ وحالياً تقرر الحكومات في أرجاء العالم كيفية معالجة مخاطر الإشعاع التي يتعرض إليها الطاقم الجوي.

لقد نشرت إدارة الطيران الاتحادية في الولايات المتحدة وثائق توضح تعرّض الطاقم الجوي للإشعاع، كما أصدرت توصيات إلى الخطوط الجوية بشأن تثقيف الطاقم الجوي حول مخاطر التعرّض للإشعاع - غير أنها لم تصدر شيئاً يتعلق بحدود جرعة التعرّض. فالخطوط الجوية في الولايات المتحدة لم تتبنّ برامج مراقبة الجرعة أو برامج تدريبية مماثلة لتلك الموجودة في صناعة الطاقة النووية. وقد ذكر فريدبرغ لمجلة Nuclear News أن فريق البحث التابع له، العامل لدى المعهد الوطني للطب الجوي، سيستمر في تزويد المعلومات وإصدار التوصيات.. ولو أنه ليست لدينا الآن أية تشريعات ناظمة، وربما تتحقق أو



طائرة ER-2 تابعة لوكالة ناسا في مرحلة الإقلاع. وتبدو محسّات الإشعاع من أجل قياسات الأشعة المؤينة الجوية محمولة في مقدمة الطائرة، وفي جسم الطائرة خلف قمرة الطيار، وفي الثلث الأمامي من خزّانات الوقود تحت الجناح.

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

الشكل 5– مسارات الطيران بالنسبة لطائرات ER-2 الخاصة بقياس الأشعة المؤينة للغلاف الجوي.

روبرت باريش R. Barish من نيويورك، المتخصص في الفيزياء الطبية والمتخصص القانوني في الفيزياء الصحية والذي عمل سابقاً في مجال علم الأورام الناجمة عن الإشعاع، يتحدث عن الأشعة الكونية ويكتب عنها آخذاً بالحسبان تعرّض أفراد الطاقم الجوي مهنياً للإشعاع، إذ يقول: "يمثل أفراد الطاقم الجوي جماعة معرّضة للإشعاع منظّمة ومُعترفاً بها قانوناً، وينبغي إعلامها عن مخاطر التعرّض للأشعة. ولسوء الحظ، لم تخبرهم شركات الخطوط الجوية بذلك إطلاقاً". أما في أوربة، فينبغي على الخطوط الجوية أن تبدأ بإعلام أفراد الطاقم الجوي عن الجرعات الإشعاعية التي يتعرّضون لها اعتباراً من شهر أيار عام 2000، علماً بأن خطة الاتحاد الأوربي للوقاية من الإشعاع مشمولة في تعليماته حول وقاية العاملين والأشخاص العاديين من مخاطر الأشعة المؤيّنة (قرار 29/96/ يوراتوم)، وهذه تعليمات ملزمة لجميع الدول الأعضاء فيه ويجري تعديلها كل 10–12 سنة.

وتنسجم عموماً تعليمات الاتحاد الأوربي مع توصيات اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع ICRP، والتي تقتضي وجوب تقدير كمية الجرعة التي يتلقاها أيٌّ من أفراد الطاقم الجوي ممن يتلقون أكثر من 1 ملّي سيفرت في السنة. وبالإضافة إلى ذلك، سيُفرض على شركات الخطوط الجوية وضع جداول لأفراد الطاقم الجوي بهدف تخفيض الجرعات العالية التي يتعرّضون لها وكذلك تثقيفهم حول ما يتعلق بالمخاطر الصحية للإشعاع، وتقديم نوع خاص من الوقاية للنساء الحوامل. وبحسب ميخائيل باغشو M. Bagshaw، رئيس فريق الخدمات الطبية، تتحول المضيفات الجويات العاملات على الخطوط الجوية البريطانية على سبيل المثال إلى مضيفات أرضيات فور تصريحهن بأنهن حوامل ويتسلمن مهماتهن حتى انقضاء إجازة الأمومة. وقد يخضع الأفراد، الذين تلقّوا جرعات تفوق 6 mSv في السنة، إلى إجراءات أكثر تشدداً بعد شهر أيار عام 2000، كإشارات الإنذار أو المجراعية الفردية.

لا تتحقق في المستقبل القريب... وإن كان ثمة ردّ فعل كافٍ من مجتمع الملاحة الجوية، فإن إدارة الطيران الاتحادية ربما تجد نفسها مجبرة على وضع مثل هذه التشريعات.

كما هو مبيّن في الجدول 2، يتلقى الطاقم الجوي نموذجياً تعرّضاً للإشعاع أكثر من العاملين بالإشعاع في إحدى المنشآت النووية. وتشتمل مجموعات العاملين في الإشعاع "الأرضي" على عدد من الأشخاص الذين يكون تعرّضهم المهني للإشعاع قريباً من الصفر، الأمر الذي يخفّض متوسط الجرعة الفعّالة. من ناحية ثانية، يتعرّض جميع أعضاء الطاقم الجوي إلى أشعة لا يمكن اجتنابها خلال فترة الطيران، ولذلك يكون متوسط الجرعة الفعّالة التي يتعرّضون لها مرتفعاً نسبياً.

الجدول 2– التعرّض السنوي للإشعاع، وطبيعة هذا التعرّض، وقابلية تغير معامل الخطورة لدى العاملين بالإشعاع في الولايات المتحدة.

المجموعة	التعرّض (ملّي سيفرت)	نوعية النقل الخطي المنخفض للطاقة(%)	توزع النقل الخطي العالي للطاقة (%)	عامل الربة للخطورة
إشغالات أرضية	2.2	93	7	2.1-3.8
الطائرة				
تحت صوتية	5-9	32	68	3.4-10.8
صوتية فائقة	8-17	32	68	3.4-10.8
صوتية مفرطة	14-21	28	72*	3.4-11.6
مدار أرضي منخفض				
ميل منخفض	17	62	38	2.8-7.6
ميل مرتفع	144	34	66*	3.3-10.9
فضاء سحيق	500	14	86**	3.7-13.3

* حالات تعرّض هامة إلى أيونات HZE (طاقية وعالية الشحنة).
** تعرّض تسود فيه أيونات HZE.

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

بماذا يفكر أفراد الطاقم الجوي؟

يحاول حالياً الاتحاد الدولي لنقابات الطيارين (IFALPA) أن يركز اهتمامه على عمليات التعرّض للإشعاع المعروفة. ويمثل هذا الاتحاد نحو 100 000 طيار في نقابات الطيارين من 90 دولة مختلفة، من بينها الولايات المتحدة الأمريكية. عقدت لجنة الأداء البشري التابعة للاتحاد المذكور اجتماعاً في تشرين الأول من عام 1998، تمخّض عن اقتراح خطة تماثل تعليمات الاتحاد الأوربي التي تنص على أمور أخرى منها أن الطائرات بعيدة المدى التي تطير عادة على ارتفاع يفوق 8000 متر (أي 26 000 قدم) ينبغي أن تحمل تجهيزات تقوم على نحو مستمر بقياس وإظهار معدل الجرعة من الأشعة الكونية الإجمالية المتلقاة، والجرعة المتراكمة في كل رحلة طيران، ووجود أية شواظات شمسية. وجاء في الاقتراح أنه ينبغي السماح لجميع أفراد الطاقم الجوي بتعديل برامج الطيران بحيث لا يتجاوزون حدّ العتبة الذي يبلغ 6 ملّي سيفرت في السنة.

وافقت النقابات الأعضاء في اتحاد IFALPA على اقتراح الخطة المشار إليه آنفاً في مؤتمر انعقد في نيسان عام 1999. وقد اعترف هربرت ماير H. Meyer، وهو ضابط فني متقدم عامل في مركز قيادة IFALPA في المملكة المتحدة أن "هذه القضية كانت موضوع مناقشة مستفيضة لدى IFALPA ولجنة الأداء البشري على نحو خاص، وكما هي الحال عليه في المجتمع العلمي، لم يتم التوصل إلى نتائج نهائية". وفي اجتماع تشرين الأول عام 1999 عدّلت لجنة الأداء البشري التابعة لاتحاد IFALPA اقتراح الخطة الذي تمت الموافقة عليه في شهر نيسان. وجاء في الاقتراح المعدَّل، الذي لم تصادق عليه بعد الجمعيات الأعضاء في IFALPA، ما يلي:

"تقر سياسة IFALPA أن الحد الأقصى للأشعة الكونية بالنسبة لطواقم الطيران الجوية هو 20 ملّي سيفرت في السنة كما حدّدها المجلس الوطني للوقاية من الإشعاع وشركة يوراتوم. كذلك، تقرّر أن يجري تصنيف طواقم الطيران الجوية كعاملين معرّضين مهنياً للإشعاع إذا كان محتملاً أن يتلقوا أكثر من 1 ملّي سيفرت في السنة. ونظراً لأن الأشعة الكونية تسبّب مخاطر محتملة لطواقم الطيران الجوية، فقد شدّدت التوصيات على أنه ينبغي على السلطات الوطنية اتخاذ الاحتياطات اللازمة للتأكد من تقدير التعرّض للإشعاع .... ومن خلال البرامج التثقيفية الشاملة يجب أن يدرك أفراد الطاقم أن الطيران على ارتفاع عالٍ يعرّضهم إلى سويّات أشعة مؤيّنة، قد تكون مسرطنة، وهي أعلى بشكل واضح مما يتعرّض لها السكان العاديون ومما يدخل في نطاق التشريعات الخاصة بالوقاية من الأشعة.... وينبغي تحذير أفراد طاقم الطيران من النساء الحوامل أن التعرّض للأشعة بما يتجاوز 1 ملّي سيفرت خلال فترة حمل كامل يمكن أن يسبب مخاطر متزايدة تؤثر في الجنين. ويجب على العاملين اتخاذ الاحتياطات المناسبة لتعديل مهمات الطيران (كالطيران على ارتفاع منخفض لإقلال التعرّض للأشعة، والتكليف بمهمات أرضية) بحيث لا ينبغي تجاوز حدّ التعرض الآنف ذكره بعد تصريح أفراد الطاقم من النساء بأنهن حوامل".

وتفيد إميلي كارتر E. Carter، وهي المنسّق الوطني الصحي لرابطة مضيفات الطيران الحرفيات (APFA)، أن أغلب مضيفات الطيران على الناقلات الجوية الأمريكية يعرفن ضمنياً أنه يمكن للأشعة الكونية أن تشكّل تهديداً، لكنهن لا يعتقدن حالياً أنه يمكن فعل أي شيء بصدد ذلك، ولو أن هذه الحال قد تتغير مستقبلاً. ويوجد أمام مضيفات الطيران فرصة للتبادل مع أمثالهن من الدول الأخرى، وطالما أن مضيفات الطيران الأوربيات بدأن بمراقبة تعرّضهن للأشعة في شهر أيار 2000، فربما تتساءل مضيفات الطيران الأمريكيات عن سبب عدم تمكنهنّ من تقدير الجرعة. وتتنبأ كارتر أن مضيفات الطيران على الناقلات الأمريكية سيستأن كثيراً من تعرّضهن للجرعة، لكن لا يرغبن في تغيير نمط حياتهن. "فهن سيزددن غضباً ليس إلا". ومع أن تخفيف الجرعات المشعة أو مراقبتها لم يكونا مسألة مناقشات مقتضبة بين رابطات مضيفات الطيران وشركات الخطوط الجوية، تتوقع كارتر أنه خلال ست سنوات سيصبح ذلك أمراً جديراً بالمناقشة.

ليس من السهل بالنسبة للمهتمات من مضيفات الطيران تقدير مقدار ما يتعرّضن له من الأشعة وقالت كارتر: "كانت بطاقات الجراعية مثيرة للقلق إلى حدٍّ كبير لأن ذلك يجعلهن على وشك الإحساس الخاطىء بالأمان". فبطاقات الجراعية العادية لا يمكن أن تقيس بدقة أنماط الأشعة الموجودة على ارتفاعات عالية. ومع ذلك، تقول كارتر: "لن تدعك الشركة تضع بطاقات مجراعية، لسبب هو الإدراك بأن المسافرين سيقومون بذلك أيضاً" وتستطيع مضيفات الطيران استخدام برنامج حاسوبي كبرنامج CARI-5E التابع لإدارة الطيران الاتحادية من أجل تقييم الجرعات، ولكن القياس الأكثر دقة للجرعة المتلقاة في أي رحلة طيران سيكون بوساطة مرقاب إشعاع محمول على متن الطائرة.

وبحسب كارتر، بالرغم من أن بعض الخطوط الجوية الأمريكية تأذن لمضيفات الطيران الحوامل بالطيران حتى الأسبوع السادس والعشرين من الحمل، فإن رابطة مضيفات الطيران الحرفيات توزّع على أعضائها نشرات من المعهد المدني للطب الجوي التابع لإدارة الطيران الاتحادية تقترح توخّي الحذر أثناء فترة الحمل. إن اتحادات مضيفات الطيران كرابطة APFA لا تمثل، حسب قول كارتر، سوى " الأشخاص الذين [سيقومون بتثقيف مضيفات الطيران حول الأشعة الكونية] لأن شركات الخطوط الجوية لن تفعل ذلك ... وتعتقد كارتر أن شركات الخطوط الجوية لم ترغب، إلى حد ما، في تثقيف موظفيها لأنها لا تريد أن يسبب ذلك إزعاجاً لجمهور المسافرين. ومع أن الإشعاع الكوني لم يلقَ اهتماماً كبيراً حتى الآن، إلا أنه سيغدو محطّ اهتمام رئيسي فور تلقينا مساعدة بذلك، وستأتي هذه المساعدة من المجموعة الأوربية".

الوقاية من الإشعاع

والسؤال الذي يطرح نفسه هو هل تعد التشريعات الناظمة ضرورية بالفعل؟ فبعد كل ما سبق ذكره، لا يتعرّض أفراد الطاقم لخطر تلقّي جرعة عالية جداً مثل الخطر الذي يمكن أن ينجم عن حادث في منشأة نووية.

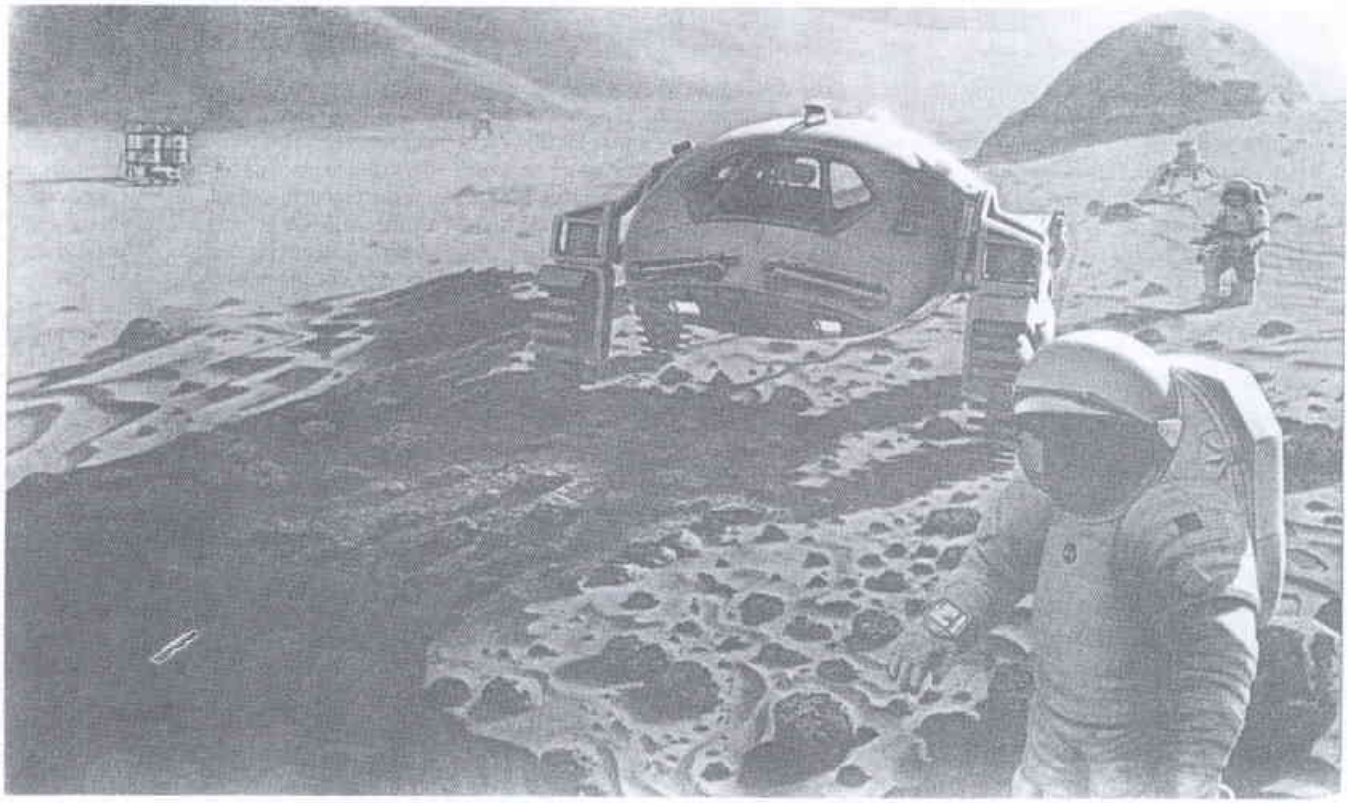
هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

والتأثير الصحي الرئيس يتمثل بظهور حالات سرطان محرّض بالإشعاع. وحيث لا تتوفر عملياً إمكانية الكشف عن تلك الإصابة، ومع الأخذ بعين الاعتبار أن كل فرد معرض طبيعياً لمواجهة مثل هذه الإصابة.. فهل يكون هناك أي سبب داعٍ لمثل هذا الاهتمام؟

إن الباحثين، الذين يدرسون الأشعة الكونية مع ما تحويه من كميات متزايدة من انتقال خطي عالٍ للطاقة*، تلك الجسيمات التي تنشأ في عمق الكون، لم يتمكنوا على وجه الحصر من تحديد التأثيرات الصحية للخطر الذي يتلقاه طاقم عادي. وقد أخذت معظم البيانات المتاحة التي حصل عليها المتخصّصون في الوقاية الإشعاعية من بحوث في مجال أشعة الانتقال الخطي المنخفض الطاقة. ويشرح فريدبرغ، الذي كانت بحوث فريقه العامل لدى معهد CAMI وراء التوصيات التي اعتمدتها إدارة الطيران الاتحادية FAA، قائلاً: "لقد أجرى فريقي تقييمات لمخاطر الإشعاع، لكنني أنقلها بحذرٍ شديد، وأخبر الجمهور بأن عليه ألا يفهمها بجدية مفرطة فنحن لا نمتلك المعرفة الكافية عن وسط الأشعة الكونية".

وظهرت معظم التقييمات الأخيرة لمخاطر السرطان في عام 1992، في نشرة صدرت عن إدارة الطيران الاتحادية بعنوان " تعرّض أفراد الطاقم الجوي II للأشعة". وقد حذّر فريدبرغ قائلاً أنه في الوقت الذي ما تزال فيه المناقشات العامة في الوثيقة صحيحة، فإن أرقام الجرعة وتقديرات المخاطر ضمنها ستكون مختلفة إذاما أعاد الحساب مستخدماً بيانات حالية محسّنة. وتنص الوثيقة على سبيل المثال، على أنه "إذا عمل واحد من أفراد الطاقم 700 ساعة متراكمة في السنة، ولمدة ثلاثين عاماً، حصراً على رحلات ذات ارتفاع يتراوح بين 33 و40 ألف قدم بين الولايات المتحدة وأوربة المتجاورتين، فإن المخاطر المقدّرة للسرطان القاتل المحرّض بالأشعة ستراوح عندئذ بين 1 في 250 و1 في 120". ومن المرجح أن يموت بين عامة السكان شخص واحد من كل خمسة أشخاص بالغين في الولايات المتحدة، ولذلك يعدّ احتمال الإصابة بسرطان قاتل بسبب التعرّض لأشعة مجرّية إضافة بسيطة لاحتمال الإصابة ذاتها بين عامة السكان. وبحسب الوثيقة، ثمة زيادة في احتمال الإصابة بالسرطان الذي يظهر في مرحلة الطفولة، وفي التشوّهات الولادية، وبخاصة التخلف العقلي، وذلك نتيجة التعرّض الإشعاعي المديد الذي يمكن أن يحصل للنساء الحوامل من طاقم الطيران.

تعترف وثيقة عام 1992 بحدّ التعرّض المهني السنوي للإشعاعات البالغ 20 ملّي سيفرت الذي وضعته اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع ICRP، كما تنص على أن الجرعات المقدّرة التي يتلقاها أفراد الطاقم هي "أدنى بشكل واضح" من ذلك الحدّ. وبالنسبة إلى المضيفات في طاقم الطيران "عندما يُعلم بالحمل لديهن..، يجب ألا تتجاوز الجرعة المكافئة



تصور الفنانين عن بعثة بشرية إلى المريخ، قدمها بات راولنغس من SAIC في وكالة ناسا. إن بيئة الإشعاع على ارتفاع 70 000 قدم فوق الأرض تشبه إلى حد كبير تلك الموجودة على سطح المريخ.

* فقْد الطاقة بوحدة الطول من المسار لجسيم مشحون يعبر المادة.

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

التي يتلقاها الجنين جرّاء التعرّض المهني 0.5 ملّي سيفرت في أيّ شهر". وكهدف للوقاية من الإشعاع، تعتبر الجرعة المكافئة للجنين هي الجرعة ذاتها التي تتلقاها الأم.

إن مراقبة جميع أفراد طاقم الطيران ليست مهمة بسيطة: ففي الولايات المتحدة لوحدها، هنالك أكثر من 000 160 شخص يعيشون حياتهم على الطائرات. ومع ذلك أصبحت أوربة ملزمة على القيام بالمراقبة ذاتها مع بداية شهر أيار 2000. وفي هذا السياق، يقول غولدهاغن من وزارة الطاقة الأمريكية: "أعتقد أن الاتحاد الأوربي يسير على الطريق الصحيح عند تحديده أيار عام 2000 موعداً نهائياً من أجل الوضع في المكان المناسب لطريقة من أجل تحديد الجرعات التي يتلقاها الطاقم الجوي، وأعتقد أن هذا هو الإجراء المناسب الواجب اتباعه".

تحقيق أدنى جرعة معقولة من الإشعاع المحمول في الجو

يحاول باستمرار المتخصصون في الوقاية من الإشعاع تخفيض الجرعات التي يتلقاها العاملون لدى محطات الطاقة النووية، وقد استفادت هذه الصناعة بنجاح من تخفيض جرعات التعرّض. ويشجع المسؤولون عن الرقابة مبدأ أقل حد معقول قابل للتحقيق as low as reasonbly achievable (ALARA)، الذي يبقي الجرعة الإشعاعية عند أدنى حدّ معقول لها. ولكن هل سيكون هذا المبدأ ذاته فاعلاً في الطائرات؟ ذكر غولدهاغن قائلاً: "إن مجرد التركيز على مبدأ ALARA بشكل مستمر يجعل الحدود المسموح بها تميل إلى الانخفاض تدريجياً، وهذا أمر جيد في الأحوال العادية. لكن تختلف الحالة على الطائرة، لأنه لا يمكنك أن تضع تدريعاً إضافياً أو تبقى زمناً أقل قرب المنبع [مثلما تستطيع فعله في محطة طاقة نووية]، وهو الأمر الذي أخذوه بالحسبان.

يعتقد ريتشارد كلّيك R. Killick، وهو مدير شركة Sage Safety للاستشارات ومدير سابق للأمان والجودة في شركة Scottish Nuclear قبل خصخصتها، أن العلاقات العامة الضعيفة والسرية خلال الأيام الأولى للصناعة النووية خلقت جواً من انعدام الثقة؛ حيث ازدادت الدعاوى القضائية المكلفة والمطالبة بالتعويض عن الأمراض المتنوّع بها والتي سببتها الإشعاعات. ومن خلال ورقة بحث قدمها كلّيك، في اجتماع معهد صحة الطيران المنعقد في لندن في حزيران 1999 تحت عنوان: "ALARA – أقل حد معقول قابل للتطبيق –: تطبيق دروس مستقاة من الصناعة النووية على الطيران"، نصح شركات الخطوط الجوية باتخاذ تدابير وقائية، حيث قال: "يمكن لصناعة الطيران أن تتعلم درساً ذا تأثير مكلف جداً ألا وهو وضع أحد الإجراءات الصناعية في المكان المناسب فيما يتعلق بالتطبيق العملي والقابل للقياس لمبدأ ALARA". كما ينبغي على شركات الخطوط الجوية أن تكون مستعدة لتقديم مقارنات بين الأشعة الكونية والإشعاعات الناجمة عن المصادر الطبيعية والمصادر التي هي من صنع الإنسان. كذلك يقترح كلّيك أنه ينبغي على شركات الخطوط الجوية أن تضع إجراءات قانونية لتقدير التعويض المناسب عن سويات التعرّض المختلفة وذلك قبل أن تقدم المطالبات.

وبحث كلّيك إجراءات تخفيض الجرعة التي يمكن أن تخفّض فعلياً تعرّض المسافرين جواً للجرعة. فالطيران على ارتفاع منخفض أو على خطوط عرض مختلفة سيؤدي حتماً إلى تلقي جرعة أقل، ولو أن هذا يعد إجراءً غير عملي. أما تخفيض ساعات الطيران بالنسبة للطاقم الجوي فيتطلب مزيداً من الطواقم المدربة، بتكاليف مرتفعة. وبينما لم يكن بالإمكان تركيب دروع من الرصاص الثقيل في الطائرات، فإن بنية الطائرة، وحجم الأمتعة، وأجسام المسافرين تشكّل جميعها تدريعاً، الأمر الذي يعني أن سويات الإشعاع تتباين في الأقسام المختلفة من الطائرة. فالأشخاص الذين يشغلون المقاعد قرب النوافذ، على سبيل المثال، يتلقون جرعة أعلى من أولئك الذين يجلسون في الممشى. واقترح كليك فكرة جديدة متميزة بنقل الطاقم الجوي بما فيه الربابنة إلى مناطق في الطائرة ذات سوية إشعاعية أقل.

في مقالة ظهرت خلال شهر نيسان عام 1999 في مجلة الوقاية من الإشعاع الصادرة عن NRPB البريطانية (التي أعيد نسخها في صحيفة جمعية الفيزياء الصحية في شهر حزيران 1999) تحت عنوان: "موازنة الجالسين إلى جانب النوافذ مع غيرهم من المسافرين: المراقبة العملية لجرعات الأشعة الكونية أثناء السفر الجوي"، حدّد جيرالد م. كندال G. M. Kendall الخطوط الرئيسة لدراسة تصميمية حديثة كان قد وضعها اتحاد شركات تصنيع الطيارات وتضمنت تركيب "ناقل آلي متغير" في قمرة المسافرين في الطائرة. وبهذا المفهوم ستتحرك مقاعد المسافرين بشكلٍ بطيء حيث تستغرق قرابة 45 دقيقة لتمرّ عبر القمرة وبذلك تقضي زمناً بجوار النوافذ يعادل الزمن الذي تقضيه في مركز الطائرة. ويقترح كندال أن للترتيب المذكور بعض المزايا الثانوية. حيث يستطيع المسافرون أن يترجّلوا من الطائرة بشكلٍ منظم وذلك عندما تمر مقاعدهم أمام باب الطائرة كما يمكن توزيع الطعام والشراب بطريقة الخدمة الذاتية عندما يمر المسافرون في منطقة الكافتريا. وستكون النتيجة بالتالي اختصاراً في عدد مقدمي الخدمات. وذكر كندال في تقرير له أن الأسطول البحري الأمريكي يقوم بتجريب هذه الفكرة في طائرة حاملة للقوات المتنقلة.

ومما لا شك فيه، يستطيع الأشخاص القلقون أن يقللوا من تعرّضهم للإشعاع بعدم ركوب الطائرات، غير أن الطيران هو وسيلة عملية للسفر والأشعة الكونية لا تسبب أضراراً للمسافر العادي. لكن ما هي الحال عندما تريد إمرأة حامل، على سبيل المثال، أن تتجنب مخاطر الطيران أثناء حوادث الجسيمات الشمسية SPE؟ ولهذا وضع روبرت باريش R. Barish خدمة هاتفية تستطيع بوساطتها المسافرة بثلاثة دولارات الاتصال من المطار. فإذا كانت سويات الإشعاع أعلى من السوية العادية، ستُنصح عندها بأن تؤخر رحلتها بضع ساعات. يقول باريش: "إذا كنتِ حاملاً لا سيما في مرحلة مبكرة وتستطيعين تجنّب التعرّض للإشعاع بانتظار بضع ساعات إلى أن يتراجع الإشعاع إلى سويته العادية، فهذا كما أعتقد يتطابق مع مبدأ ALARA".

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

الإشعاع في الفضاء الخارجي

على الرغم من أن طائرة ER-2 لم تغادر الغلاف الجوي المحيط بالأرض، فإن بياناتها لا تزال ذات فائدة بالنسبة إلى باحثي وكالة ناسا NASA الذين يفكرون في بعثةٍ إلى المريخ. واستناداً إلى روبرت سنغلتري R. Singleterry، وهو عالم أبحاث في مشروع مركز لانغلي للأبحاث (LRC) بوكالة ناسا، فإن الوسط الإشعاعي فوق الأرض على ارتفاع 70 000 قدم تشبه إلى حدٍّ كبير الوسط الإشعاعي فوق سطح المريخ.

ويشرح سنغلتري ذلك قائلاً بأن مفهوم الكثافة الجويّة، التي تقاس بالغرام/ سم^2، يتيح لباحثي ناسا إجراء مقارنات بين الأنواع المختلفة للغلاف الجوي حتى لو كانت مركّبة من عناصر مختلفة. وبحسب سنغلتري فإن الكثافة الجوية هي مقدار كتلة المادة كلها، وفي هذه الحالة تتمثل بجزيئات غاز الغلاف الجوي، فوق أي سنتيمتر مربع معيّن من المنطقة. ويكون القياس مهماً لأنه يحدد كمية الكتلة الواقعة بين جسيم إشعاعي كوني وارد وأحد الكواكب أو أي جسم آخر. ويذكر سنغلتري أن "[عدد] الجزيئات، التي ترافقها الأشعة الكونية عند ورودها كي تخترق الغلاف الجوي وتضرب إما سطح المريخ أو الطائرة، ربما يكون هو ذاته".

يواجه ملاّحو الفضاء احتمالاً أقوى للمعاناة من الآثار الصحية الناجمة عن التعرّض المهني للأشعة الكونية مما يواجهه الطاقم الجوي (انظر الجدول 2). فهم معرّضون إلى مزيد من الأشعة، ونسبة كبيرة من الإشعاعات هي عبارة عن جسيمات النقل الخطي العالي للطاقة. ويوضّح ذلك جون ولسون J. Wilson، وهو عالم وباحث كبير في مركز LRC، في بحثٍ قدّمه في الاجتماع السنوي لـ NCRP في عام 1998 بعنوان "استعراض شامل للبيئات الإشعاعية وعمليات التعرّض البشري لها"، إذ يقول أنه إذا لم يقم ملاّحو الفضاء بحماية أنفسهم بشكل مناسب خلال ذروة حادث جسيمات شمسية، فربما تحدث أضرار تهدد حياتهم. ولم يتمكن باحثو ناسا من تخمين وقت حصول حادث جسيمات شمسية كبير؛ ولذلك ينبغي عليهم تصميم معدات يمكن أن تساعد ملاحي الفضاء في الصمود أمام أكبر تعرّض محتمل للأشعة الشمسية.

وينبغي أن يبقى الاختبار العلمي الواسع قيد التوجيه لأن "عمليات التعرّض للأشعة في الفضاء، كما ذكر ولسون في مجلة Nuclear News، تختلف تماماً عن أي شيء آخر يعاني منه المرء سواء على ارتفاع عالٍ أو على سطح [الأرض]". إذ أنه حتى في البعثات الفضائية إلى القمر، تتلقى المركبة الفضائية بعض الحماية من الحقل المغنطيسي الأرضي، لكن هذه الحماية لا تتوفر في أعماق الفضاء.

يقول ولسون أن وكالة ناسا انتقلت من العملية التقليدية للوقاية من الإشعاع والمتمثلة بوضع حدٍّ لجرعة الإشعاع وتنظيمه لإبقاء عمليات التعرّض تحت هذا الحدّ. وبدلاً من ذلك، بدأ محور اهتمامها يتحوّل إلى مراقبة السرطانات الزائدة والمميتة التي يمكن أن تتطور عند ملاحي الفضاء في فترة لاحقة من حياتهم نتيجة قيامهم ببعثة فضائية بعيدة. وحالياً حققت ناسا هدفها بتقليل احتمال تطور سرطان مميت لدى ملاّحي الفضاء إلى أقل من ثلاثة بالمئة. يقول ولسون: "نريد أن نقلل من الخطورة إلى 3%، لكن لا نعرف كيف نخفّضها ولا نعرف ماهية مواد التدريع كي تكون أفضل طريقة للمساعدة في هذا المجال". وبحسب ولسون، إذا كان ينبغي على وكالة ناسا أن تحقق هدفها الرسمي بجمع معلومات فنية كافية مع حلول عام 2004 لاتخاذ قرار مدروس بشأن محاولة القيام ببعثة بشرية إلى القمر في عام 2014، فلا بد والحالة هذه من إيجاد حلول سريعة لتلك المشاكل.

وقد شرح سنغلتري، وهو مقاول سابق في وزارة الطاقة الأمريكية، الصعوبات التي تعترض محاولة تدريع ملاّحي الفضاء. وفي الوقت الذي يستطيع فيه العاملون بالإشعاع على الأرض تقليل زمن وجودهم قرب أحد المنابع المشعة، وإبعاد أنفسهم عن المنبع، وإقامة تدريع سميك، لا يستطيع ملاّحو الفضاء القيام بذلك. وطالما أن أي وزن إضافي إلى المركبة الفضائية يزيد في كلفتها، فقد كان مهندسو ناسا مضطرين لاستخدام البراعة. فالألمنيوم الذي يستخدم بشكل شائع في المركبة الفضائية لا يؤمّن حماية الأشخاص من الأضرار ذاتها التي يمكن للماء أو الهدروجين السائل تأمينها، على سبيل المثال. يقول سنغلتري: "من الصعب في الواقع صنع مادة بالهدروجين السائل، غير أنها وقود رائع". فإذا كان ملاّحو الفضاء محاطين بوقودهم من الهدروجين السائل، فعندئذ ستكون حمايتهم أفضل؛ ولو أنّ فعّالية هذا التدريع ستتناقص بمرور الزمن الذي تستغرقه البعثة. وقد أخذت ناسا بحسبانها تزويد متن المركبة "بملاجىء عاصفية" مدرّعة صغيرة وثقيلة يمكن أن ينسحب إليها ملاّحو الفضاء خلال وقوع حادث جسيمات شمسي.

كذلك ينبغي أن تكون وكالة ناسا قلقة بشأن حماية التجهيزات من اضطرابات تنجم عن حادث منفرد. وبحسب سنغلتري، فإن المكوك الفضائي الحالي التابع لوكالة ناسا يعاني من 400 اضطراب حاسوبي تقريباً أثناء بعثة مدتها أسبوعان. ولهذا السبب يوجد لدى المكوك خمسة حواسيب فائضة عن الحاجة. فالحواسيب "تقترع بالتصويت" القرارات الحاسمة، وأي حاسوب يتعرّض للضرر ويقدم معلومات خاطئة تعارضه الحواسب الأخرى باقتراح قرار مضاد. ووكالة ناسا قادرة على اختبار قدرة بعض التجهيزات على مقاومة الأوساط الإشعاعية القاسية من خلال تشعيعها بحزمة إلكترونية. وفي هذا السياق، يقول سنغلتري: "لمحاكاة ما قد يحدث في الفضاء السحيق، يتوجب علينا الشروع بتشعيع بعض من أجزاء هذه التجهيزات قبالة حزمٍ أيونية ثقيلة عالية الطاقة.

يستخدم باحثو وكالة ناسا حالياً سنكروترون التدرّج المتناوب Alternating Gradient Synchrotron (AGS) في مختبر بروكهافن الوطني (BNL) لاختبار المواد الخاصة بالبذّة والمركبة الفضائية في الأوساط العالية السوية الإشعاعية المماثلة لتلك الموجودة في الفضاء. وبحسب سنغلتري، يستخدم البيولوجيون الحزمة ذاتها في تشعيع المستنبتات الخلوية والفئران والجرذان. فهم يحاولون معرفة الأضرار التي يمكن أن يحدثها إشعاع النقل الخطي العالي للطاقة في الخلايا المنفردة، ويحاولون معرفة كيفية رد فعل جهاز بيولوجي تجاه ذلك الضرر. وتقوم ناسا بإنشاء مبنى

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

دائم في مختبر BNL لإجراء كم كبير من الاختبارات المماثلة لدعم أي بعثة بشرية محتملة في المستقبل إلى المريخ. وسوف تكون منشأة التطبيق الداعمة التي تقرر افتتاحها في عام 2002، ملحقاً مساعداً لسنكروترون التدرّج المتناوب في مختبر بروكهافن الوطني.■

☆ ★ ☆

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

أخبار علمية

قسيمة اشتراك في مجلة عالم الذرة

الإسم: ..... المهنة: .....

صفة المشترك: فرد ☐ طالب ☐ مؤسسة ☐

تاريخ الاشتراك: .....

العنوان: .....

رسوم الاشتراك السنوي (متضمنة أجور البريد):

- داخل القطر: للطلاب 200 ل.س للأفراد 300 ل.س للمؤسسات 1000 ل.س
- خارج القطر: للأفراد، 30 دولار أمريكي للمؤسسات، 60 دولار أمريكي

المراسلة على العنوان التالي:

هيئة الطاقة الذرية السورية - مكتب الترجمة والتأليف والنشر - دمشق ص.ب 6091 - سورية

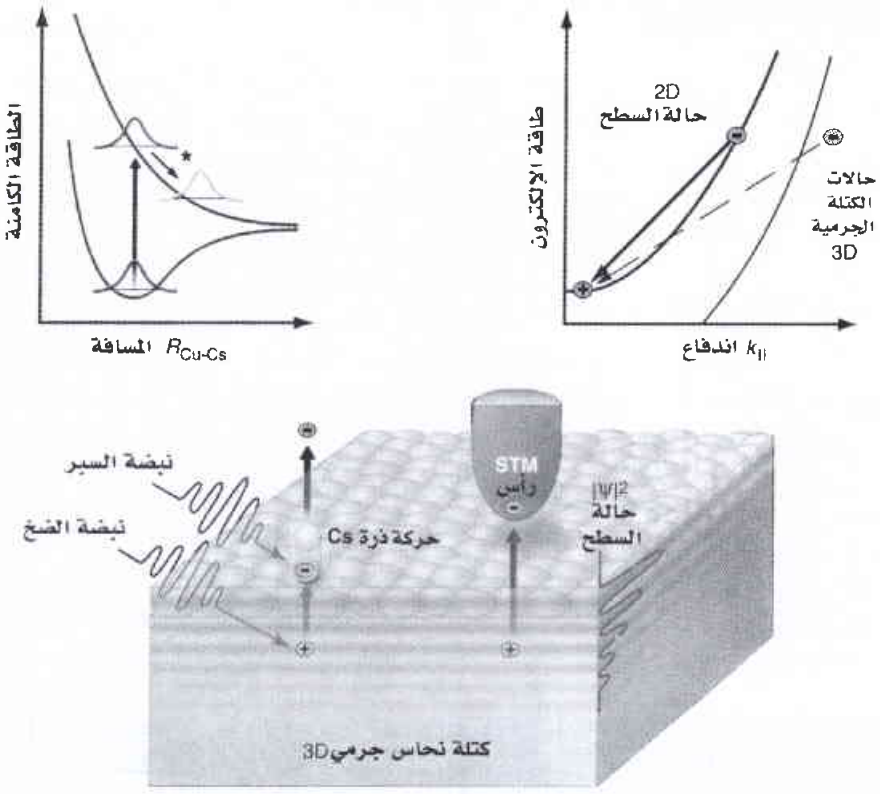
1- ديناميات الإلكترون على السطوح*

يتضمن كثير من العمليات على السطوح، بدءاً من التفاعلات الكيميائية وحتى انتقال الإلكترون، تَشَكُّل واضمحلال حالات مثارة إلكترونياً. إن كثافة الإلكترونات على السطوح المعدنية كبيرة مما يؤدي إلى تأثرات قوية وتبعثرات إلكترونية سريعة. وكنتيجة لذلك فإن عمر الإثارات الإلكترونية على سطوح المعدن قصير إلى حدٍ كبير. وغالباً ما تؤثر الانتقاصات والعيوب، التي تكون موجودة دائماً على السطوح الحقيقية، على هذه الأعمار أو أنها تحددها وبالتالي تعقّد تفسير المعطيات التجريبية.

لقد تجاوز كليوير وزملاؤه [1] هذه العقبة باستعمال القدرات الفريدة للمجهر النفقي الماسح (STM). لقد اختاروا مساحة كبيرة على سطح بلّورة أحادية حيث تكون الذرّات فيها مرتبة بشكل منتظم وسبروا استجابة الغاز الإلكتروني إلى إثارة إلكترونية محدّدة تماماً محصورة بالطبقات الأعلى من البلّورة (انظر الشكل). يقدّم بيتيك Petek وزملاؤه وسيلة أخرى لهذا المنحى من التحري [2]. لقد استعملوا نبضات ليزر فائقة القصر لتحريض انتقال الإلكترونات من المعدن التحتي إلى ذرّات السيزيوم الممتزّة على سطح النحاس مما يؤدي إلى امتطاط الرابطة Cs - معدن. وباستعمال مطيافية الإصدار الضوئي ذات الفصل الزمني [3] سجل بيتيك وزملاؤه شريط الزمن الحقيقي لحركة ذرة السيزيوم.

تتطلب كلتا الدراستين حالة إلكترونية ثنائية الأبعاد (2D) التي تكون الإلكترونات فيها محصورة في الطبقات القليلة العليا عند السطح ولكنها تستطيع أن تتحرك بحرية في اتجاه موازٍ له [4]. ففي تجربة لكليوير وزملائه يخرج الإلكترون من هذه الحالة نفقياً إلى رأس المجهر النفقي الماسح مخلّفاً وراءه ثقباً موجباً يُملأ فيما بعد بالإلكترونات الموجودة في الحالات الأعلى طاقياً (انظر الشكل). وبالاستفادة من تحليل عرض الخط عيّن كليوير وزملاؤه السلّم الزمني لعملية الاسترخاء هذه بدقة عالية جداً [5]. لقد وجدوا بصورة جوهرية أعماراً أطول مما ورد في دراسات الإصدارات الضوئية السابقة التي تأثرت بشكلٍ كبير بالعيوب [4]. يبيّن التحليل النظري أن الثقوب تُملأ غالباً بإلكترونات الحالة السطحية ثنائية البعد وليس بالغاز الإلكتروني الثلاثي الأبعاد (3D) للبلورة الجرمية. على كل حال، إن إلكترونات الكتلة الجرمية الثلاثية الأبعاد ليست مجرد إلكترونات مُتفرّجة بل إنها تُليّن (تحجب) التأثرات ضمن حالة السطح (2D). وهكذا حصل كليوير وزملاؤه على الفهم التام للإثارة الأولية على سطح المعدن.

في تجربة بيتيك وزملائه تثير نبضة الليزر القصيرة (نبضة الضخ) إلكتروناً من حالة السطح 2D نفسه إلى مدار غير مشغول من ذرّة السيزيوم ممتزة على النحاس [6]. ولمّا كانت الحالة المثارة الناتجة مضادة للربط بالنسبة للرابطة Cs - معدن، تتسارع ذرة السيزيوم مبتعدة عن السطح (انظر الشكل). يؤدي هذا الامتطاط في الرابطة Cu-Cs إلى تخفيض طاقة المدار Cs. يتحرى بيتيك وزملاؤه التغيرات في البنية الإلكترونية باستجابتها إلى الحركة النووية في الزمن الحقيقي وذلك بقياس الإصدار الضوئي للإلكترون في الحالة المضادة للربط. ولتحقيق ذلك، استعملوا نبضة ليزر سبر ثانية تتبع نبضة الضخ مع تأخير متغير.



ديناميات الحالات الإلكترونية المثارة عند سطح معدن: جرى تحليل الديناميات بمطيافية الإصدار الضوئي ذات الفصل الزمني (على اليسار) والمجهر النفقي الماسح STM (على اليمين). تكون الإلكترونات في حالة السطح 2D وبكثافة إلكترونية $|\psi|^2$ محصورة في طبقات قليلة عند السطح.

الشكل على اليسار: بعد إثارة الإلكترون من حالة السطح 2D إلى ذرة Cs الممتزة، تبدأ الرابطة Cs نحاس R_{Cu-Cs} في الامتطاط على منحنى الطاقة الكامنة التنافرية. وبالتالي فإنه يجري إصدار الإلكترون ضوئياً بواسطة نبضة سبر متأخرة زمنياً. ويمكن للمرء من طاقتها الحركية أن يحسب كمية الطاقة المنتقلة إلى داخل الحركة النووية.

الشكل على اليمين: ينتقل الإلكترون نفقياً من حالة السطح 2D إلى رأس المجهر النفقي الماسح مخلّفاً وراءه ثقباً موجباً يُملأ بإلكترونات حالة السطح 2D التي تملك طاقة أعلى واندفاعاً $K_{||}$ (سرعة) موازياً للسطح.

* نُشر هذا الخبر في مجلة *Science*, Vol. 288, 26 May 2000. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

يعطي تحليل تغير الطاقة الحركية للإلكترونات الضوئية كتابع للزمن القوى المطبقة على ذرّة السيزيوم. وهذا ما يسمح باشتقاق منحني الطاقة الكامنة للحركة النووية في الحالة المثارة.

وكما أشار بورن Born وأوبنهايمر Oppenheimer عام1927، فإن الإلكترونات تتحرك بصورة أسرع بكثير من النوى الثقيلة، وبالتالي نستطيع معالجتها بشكل منفصل عن الديناميات النووية الأبطأ بكثير [7]. لقد قدّم تقريب بورن - أوبنهايمر العمود الفقري للكيمياء الكمومية الحديثة وقاد إلى مفهوم سطح الطاقة الكامنة الكظوم الذي تتحرك عليه النوى [8]. على كل حال، فمن أجل الحالات الإلكترونية المثارة، يمكن تبريد سطح الطاقة الكامنة المفرد فقط إذا كان عمر الحالة المثارة طويلاً بالمقارنة مع سلم الزمن للحركة النووية. هذا هو الحال من أجل تفاعلات الطور الغازي ولكنه ليس كذلك من أجل منظومات تتمتع باسترخاء طاقة سريع. إنّ ما قام به بيتيك وزملاؤه له أهمية أساسية لأنه يُحلّل انتقال الطاقة بين درجات الحرية الإلكترونية والنووية في سلّم زمن الاسترخاء الإلكتروني، ويقدم اختباراً لتقريب بورن - أوبنهايمر من أجل الحالات الإلكترونية القصيرة العمر.

يحاول كثير من الكيميائيين التحكم بسرعة ونسب التفرع في التفاعلات بتداول الخواص الكمومية للنظام مع الضوء [9,10]. حصل حديثاً تقدّم بالتحكّم بتفاعلات الطور الغازي على هذا الطريق [11]، ولكن يبقى التحكّم الكمومي عند سطوح المعادن عملاً مثبطاً للهمم نتيجة فَقْد الترابط عند سلم الزمن البالغ القصر. وحتى الوقت الحالي، فقد تم إنجاز ما يتعلق بنسب التفرع في التفاعلات الضوئية للسطح فقط بدون ترابط باستغلال آليات مختلفة من أجل انتقال الطاقة [12]. وأمام التقدّم الحالي في تقانة الليزر التي تبقى فيها مدة النبضة أقل من 10 فمتوثانية، فإن دراسة بيتيك وزملائه يمكن أن تشير إلى النقطة التي أصبح فيها التحكّم الكمومي في تفاعلات السطح شيئاً مجدياً.

تُثبت دراسات كليوير وزملائه وبيتيك وزملائه التبصرات في داخل ديناميات الإلكترون عند السطوح التي يمكن اكتسابها من دراسات الفصل المكاني و الزماني العاليين. لقد أثبت المجهر النفقي الماسح إمكانية التداول المتحكم به للذرات والجزيئات بنجاح كبير [13]. تتضمن مثل عمليات التداول هذه غالباً تَشكّل حالات إلكترونية قصيرة العمر متوضعة على جزيئات مفردة [14]. على كل حال، إن الفصل المكاني الفريد للمجهر النفقي الماسح يمكن استخدامه في دراسة تأثرات الإلكترونات عند وجود عيوب محدّدة تماماً وبُنىً على المستوى الذرّي، كشوائب ذرة وحيدة [15,16] وحدود المرحلة [17] والسياج الكمومي [18]. تَعِدُ هذه الدراسات بإبصارات جديدة في المميزات المجهرية لديناميات الإلكترون عند السطوح ويمكن أن تفسح الطريق إلى تداولها المتحكم به.

المراجع REFERENCES

[1] J. Kliewer et al., Science 288, 1399 (2000).

[2] H. Petek, M.J. Weida, H. Nagano, S. Ogawa, Science 288, 1402 (2000).

[3] H. Petek, and S. Ogawa, Prog. Surf. Sci, 56, 239 (1998).

[4] R. Matzdort, Surf. Sci. Rep. 30, 153 (1998).

[5] J. Li et al., Phys. Rev. Lett. 81, 4464 (1998).

[6] M. Bauer, S. Pawlik, M. Aeschlimann, Phys. Rev. B 55, 10040 (1997).

[7] M. Born, and J. R. Oppenheimer, Ann. Phys. 84. 457 (1927).

[8] A. Szabo and N. S. Ostlund, Modern Quantum Chemistry (McGraw -Hill, New York, 1989).

[9] W. S. Warren, H. Rabitz, M. Dahleh ,Science 259, 1581 (1993).

[10] R. J. Gordon, L. Zhu, T. Seideman, Acc. Chem. Res. 32, 1007 (1999).

[11] A. Assion et al., Science 282, 919 (1998).

[12] M. Bonn et al., Science 285, 1042 (1999).

[13] W. Ho, Acc. Chem. Res. 31, 567 (1998).

[14] L. Bartels et al., Phys. Rev. Lett. 80, 2004 (1998).

[15] J. Li and W. D. Schneider, Phys. Rev. Lett. 80, 2893 (1998).

[16] V. Madhavan et al., Science 280, 567 (1998).

[17] L. Burgi, O. Jeandupeux, H. Brune, K. Kern, Phys. Rev. Lett. 82, 4516 (1999).

[18] H. C. Manoharan, C. P. Lutz, D. M. Eigler, Nature 403 512 (2000).■

2- البراكين★

اندفاعات من لابات أو صبّات متلاطمة من الحمم أو من سُحب مُلهبة: فترات مفزعة ومذهلة من النشاطات البركانية. إنّها في الواقع دليل على حيوية الكوكب لأنها تعيد بصورة دائمة بناء القشرة الأرضية والغلاف الجوي. لكن جوهر هذا الاضطراب يحصل بعيداً عن الأنظار في قعر المحيطات.

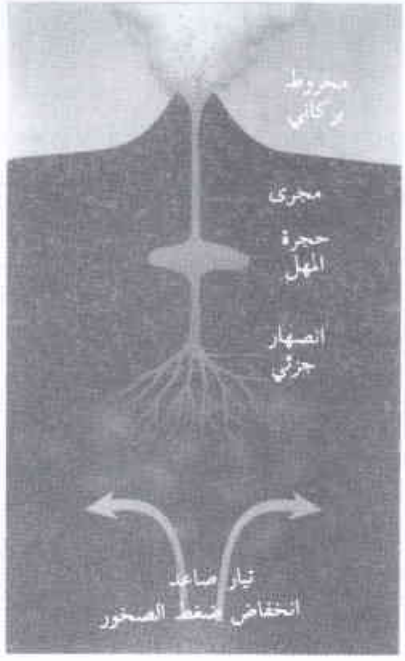
ماهو البركان؟

مهما كان البركان مدهشاً ما هو إلاّ فتحة أو الفتحات الأخيرة لمجموعة تمديدات من الأنابيب الضخمة تحت الأرضية التي تنسكب من فوهتها الانتهائية صخور منصهرة تدعى المهل magma آتية من أعماق الكرة الأرضية. وبحسب طبيعة هذا المهل ومحتواه من الغاز المنحل ونمط

★ نُشر هذا الخبر في مجلة *La Recherche*, No. 329, Mars 2000. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

الاندفاع ، يتخذ البركان أشكالاً مختلفة جداً ، فهو بشكل مخروط كامل في النمط الستروميولي Stromboli أو قبة في النمط الهاوائي Hawaii أو بشكل حويضة فوهية في النمط السنتوريني* أو يخرج المهل من شقوق ضخمة جداً في قعر المحيطات. وتكون مكوّنات البركان في أعماق المحيطات هي نفسها : مصدر للمهل والغازات وخزّان للمهل ولكنّه أكثر قرباً إلى قعر المحيط. ويتبع نظام تغذية البركان إجمالاً المخطط التالي: تنصهر الصخور جزئياً في المعطف الأرضي على عمق أكثر من 100 km أحياناً أو في القشرة الأرضية ، وهذه الصُهارة تكون أخفّ من الصخور المجاورة ولذلك تصعد بتأثير دافعة أرخميدس . ولكن بالقرب من السطح تكون الصخور أقل كثافة وتصبح دافعة أرخميدس غير كافية ممّا يؤدّي إلى توقّف المهل في خزّان يقع على عمق بضعة كيلومترات تحت البركان يعرف بحجرة المهل. ويتم في هذه الحجرة تحضير الاندفاع البركاني، وعندما يحدث ذلك ينقذف مزيج نهائي من المصهور الصخري والغازات نحو السطح عبر مجرى أخير (الشكل 1).



الشكل 1– صخور منصهرة ومركّبات طيارة ناتجة من مصدر عميق، حجرة مهلية ومجرى اندفاعي: تلك هي مكوّنات البركان . إنّ حجم الحجرة من رتبة الكيلومتر، بينما تُقدّر أبعاد المجرى بالأمتار. عندما يحصل الاندفاع يمكن أن يتفرّغ المهل: فرّغ البركان سنتورين عند اندفاعه الكارثي عام 1600 قبل الميلاد 36 كيلومتراً مكعّباً من المهل في عدة أيام (الجزء الأكبر في عدة ساعات).

إذا بدا هذا التصوّر المبسّط في الوقت الحاضر واضحاً، فإنّه لم يكن كذلك قبل ثلاثين عاماً. كما أنّ فكرة الصخر المنصهر نفسها لاترجع من حيث العمر إلاّ إلى بداية القرن التاسع عشر. وهو الزمن الذي نجح فيه العالم الإنكليزي جيمس هوتون J.Hutton في إقناع معاصريه من العلماء بوجود علاقة مباشرة بين البراكين وباطن الكرة الأرضية الذي يكون بحسب رأيه بحالة انصهار. ولكي نمرّ بعد ذلك بأسلوب علمي صرف إلى علم البراكين كما هو عليه في الوقت الحاضر كان يجب علينا الانتظار حتى الستينيات ومجيء روّاد مثل واين برنهام W. Burnham، وهو أحد الكيميائيين الأمريكيين الذين فهموا الدور الحاسم لتركيب المهول، وكذلك جورج والكر G. Walker و ريتشارد فيشر R. Fisher اللّذين درسا الأنماط المختلفة للصخور البركانية من الناحية الكميّة. أمّا ليونل ويلسون L. Wilson، عالم البراكين الإنكليزي، فقد سار فيما بعد على نهجهم عندما أعطى دفعة جديدة إلى هذا العلم بوضعه النماذج الفيزيائية الأولى لصعود المهول وإزالة ضغطها.

أين تتشكل الصروح البركانية على الكرة الأرضية؟

خلال القرن التاسع عشر هيمنت على مخيلة الجيولوجيين فكرة أنّ كامل الكرة الأرضية هي كرة منصهرة تغلّفها قشرة صلبة رقيقة. وكان يُعتقد أنّه يكفي تشقّق هذه القشرة لينبثق بركان. إنّنا نعلم في الوقت الحاضر أنّ مصادر المهل لاتوجد في كل مكان تحت أقدامنا. فالكرة الأرضية صلبة بصورة أساسية ولكن عليها تفريغ كل الحرارة المنطلقة من تفكك العناصر المشعة التي تحويها: فهي إذاً مثارة بحركات الحمل الحراري القوية، التي تخلط مواد المعطف بصورة دائمة بشخانة 2900 km وتؤدّي إلى جعل الصخور الحارة تصعد نحو السطح من الأعماق بمعدّل بضعة سنتيمترات لا بل عشرات السنتيمترات في السنة (الشكل 2). إنّنا نميّز التيارات الكبيرة المنتظمة المرتبطة بحركات صفائح الغلاف الصخري المسؤولة عن الاضطرابات الرئيسة في الكرة الأرضية(انفتاح المحيطات وتشكيل الجبال...) وصعود البثقات المهلية الأكثر تموضعاً بقطر يصل إلى بضعة عشرات من الكيلومترات. يؤدّي الصعود المنتظم للمواد إلى إحداث بركنة شديدة تشقق قعر المحيطات على طول نحو 60 000 km وتشكل صفائح جديدة باستمرار، كما يؤدّي هذا الصعود أيضاً إلى تشقّق القارات. تُكوّن البراكين فوق الصفائح المنغرزة سلاسل جبلية حقيقية مثل سلاسل جبال الآنديز. وهكذا فإنّ 95% من البراكين تشكّل صفوفاً على طول حدود الصفائح. أمّا البثقات المهلية فتشكّل الجبال البركانية المنعزلة مثل جزيرتي هاواي وريونيون البركانيتين. وإذا ربطنا بصورة عامة بين ظاهرة البركنة وبين الصروح البركانية المخروطية النموذجية، نجد أنّ نسبة هذه الأخيرة تكون في الواقع قليلة جداً ، ذلك لأنّ القسم الأعظم من المهل الذي ينبثق على سطح الكرة الأرضية يخرج بصورة خاصة عبر شقوق معظمها تحت بحري لأنّ أكثر من 90% من اللابات(الحمم) تخرج من شقوق ضهرات وسط المحيطات.

لماذا تنصهر الصخور؟

تضعنا التجربة اليومية عادة على الطريق الصحيحة ولكنها تخدعنا في هذا المجال: فإذا كان الأسلوب الأفضل لصهر الصخر في الضغط الجوي هو رفع درجة حرارته، فهذا ليس هو الحال في باطن الكرة الأرضية. من المؤكّد أنّ درجة الحرارة تزداد مع العمق ، ولكن الضغط يزداد معه بنسبة أكبر بكثير: فبين سطح الأرض وعمق 100 km تزداد درجة الحرارة 1300°C لكن الضغط يزداد من 1 إلى 30 000 ضغط جوي! وكلما كان الضغط أشد ترتفع أكثر درجة انصهار الصخور. ويتدخّل هنا أيضاً التركيب الكيميائي للصخور وبصورة خاصة محتواها من الماء، حيث أنّ إضافة نسبة 1% من الماء تُخفّض نقطة الانصهار 100°C وقد تتعقّد الأمورأكثر ، ذلك لأنّ الصخر ليس جسماً نقياً وبالتالي

* سنتورين Santorin جزيرة بركانية صغيرة تقع شمال جزيرة كريت.

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

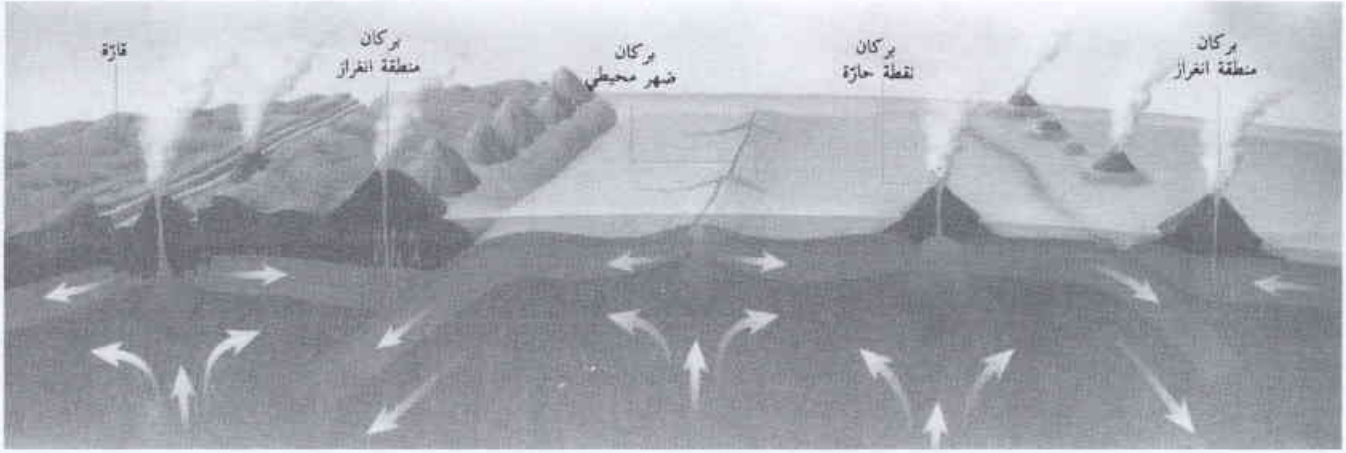
لا ينصهر دفعة واحدة. فعند درجة حرارة أولى مسماة نقطة التصلّد solidus تتشكّل القطرات الأولى من السائل (الصهارة) ولكن الصخر ينصهر بكامله فقط عند المرور إلى عتبة ثانية ، وهي درجة حرارة نقطة السيولة liquidus التي تكون أعلى بنحو 200°C. ويكون الصخر بين هاتين النقطتين في حالة انصهار جزئي. وللوصول إلى هذه الظروف التي تُؤدي إلى انصهار صخور المعطف يجب إذاً إمّا زيادة درجة حرارتها أو تخفيض الضغط الواقع عليها أو أن تتعرض إلى التمييه. ويبدو أنّ انخفاض الضغط هو الذي يحصل في الغالب في باطن الأرض ضمن حركات صاعدة كبيرة. فعندما يصعد جزء من المعطف نحو السطح يتعرّض إلى انخفاض في الضغط وينصهر تدريجياً في المئة كيلومتر الأخيرة. يبدأ الانصهار في ضهرات المحيطات تحت ضغط يقارب 25000 ضغط جوي أي على عمق 80 km تقريباً . أمّا في البثقات المهلية panaches الأكثر حرارة فيبدأ الانصهار قبل ذلك على عمق 150-200 km أو أكثر من ذلك. ويشكّل الماء الوسيط (البارامتر) الحاسم في الصفائح المنغرزة حيث تكون الصخور المنطمرة قد تميّهت في قعر المحيطات. وأخيراً يلعب ارتفاع درجة الحرارة محلياً دوراً في الانصهار عندما تتسخّن القشرة مثلاً بتماس أحد المهول ولكنّ آلية هذا الانصهار هي الأقل أهمية.

لماذا تحصل الاندفاعات البركانية؟

إنّ تعرّض خزان المهل بصورة عامة إلى الضغط هو الذي يسبب الاندفاع: إذ تنتفخ الحجرة المهلية حتى تتحطّم جدرانها ويقذف انخفاض الضغط المفاجئ مزيجاً من سائل وغاز. وترتبط زيادة الضغط إما بوصول مهل جديد إلى حجرة المهل أو بتنامي حجم المهل الموجود فيها. بالفعل يحوي المهل في البداية عناصر طيارة (الماء وثنائي أكسيد الكربون وثنائي أكسيد الكبريت)، وعندما يتبرّد يبدأ بالتبلور. أمّا السائل المتبقّي فيصبح عند ذلك تدريجياً أغنى بالعناصر الطيارة. وإذا تجاوزت هذه العناصر الطيارة عتبة انحلاليتها فإنها تتحوّل إلى فقاعات غازية. وهذا المهل الجديد الأقل كثافة يتمدّد ويُطبّق ضغطاً تزداد قوته على جدران الحجرة حتى يشقّقها! وبدءاً من هذه اللحظة لايوجد ما يوقف الانفجار البركاني. ويمكن أن تتدخّل ظواهر أخرى ولكن يصعب جداً معرفة ما إذا كانت هي التي سبّبت الانفجار أو نتجت عنه. فانهيار كل أجزاء البركان مثلاً ، كما حدث أثناء انفجار جبل سانت هيلين، هو الذي سبّب الانفجار أو أنّه كان نتيجة لعدم استقرار الصرح البركاني الناجم عن صعود المهل؟ والتساؤل ينطبق أيضاً على دور الماء: فهل يكون لعمليات تسرّب الماء دور حاسم أم أنّ المهل عند صعوده يصل إلى الماء الموجود في الصخور السطحية؟ ومع ذلك ومهما تكن الإجابات على هذه الأسئلة فإنّ هذه الآليات لا يمكن أن تلعب إلاّ دوراً ثانوياً. وعلى أي حال لا بدّ وأن يكون المهل قريباً بشكل كاف من السطح وأن يكون قد صعد من مصدره العميق.

كيف يصعد المهل عبر الصخور؟

يتوقّف ذلك على العمق الذي ينطلق عنده صعود المهل. فإذا تشكّلت القطرات الأولى من السائل (الصُهارة) على عمق نحو 50 km تتم عملية الصعود بشكل تدريجي. ففي البداية تكون هذه القطرات منعزلة و تصعد نحو السطح مع الصخور التي تحيط بها، حيث يزداد الانصهار تدريجياً أثناء الصعود مع انخفاض الضغط. وهذه القطرات لا تتصل فيما بينها إلاّ عندما يصل المهل إلى نسبة كافية فقط (بضعة قطرات في المئة). وفيما بعد يتشوه الصخر من أجل أن يقذف المهل بنفس الطريقة التي ينقذف فيها الماء من إسفنجة مبللة بالماء عند عصرها. وينبغي انقضاء عشرات لا بل مئات السنين من أجل صعود المهل مسافة عدة عشرات من الكيلومترات. أمّا في القشرة – في الأعلى – فيكون التشوّه أقل سهولة: إذ يتم دوماً وبفضل الاختلاف في الكثافة تسرّب المهل الذي يؤدّي إلى تشقّق الصخور وعلى السطح يصبح الغاز هو المحرّك الرئيس. وكل هذا يمكن أن يحدث في أقل من ساعة واحدة أو في عدة ساعات. يتعرّض المهل في قنوات الاندفاع إلى نقصان شديد للضغط تتحوّل عنده كل المركبات الطيارة إلى فقاعات غازية تتمدّد وتؤدّي إلى دفع السائل المهلي كما تدفع الفقاعات السائل في زجاجة ماء غازي أزيلت سدادتها.



الشكل 2– صورة البساط الدوّار تبسّط النشاط البركاني على الكرة الأرضية : ففي وسط المحيطات تتولّد الصفائح التكتونية . وهذه الصفائح تتباعد بعضها عن بعض ثم تعود فتنغرز ثانية في المعطف. تتراصف سلاسل من البراكين فوق هذه الصفائح المنغرزة . وفي داخل الصفائح تُحدث نفثات محلية براكين منعزلة . فالمهل إذن يصدر من مناطق محدودة وخاصة ، وليس في كل مكان من القشرة الأرضية كما كان يُعتقد من قبل.

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

لماذا توجد أنماط مختلفة من الاندفاع؟

لأنّ المهول المختلفة لاتسلك السلوك نفسه. نلاحظ على السطح تنوعاً من اللابات التي تختلف بحسب درجة انصهارها و بحسب الصخور الأصلية التي نشأت منها. فهي تراوح بين صخور البازلت الأكثر سيولة التي تخرج من شقوق ضهرات وسط المحيطات وبين صخور الريوليت الأكثر لزوجة بمئة مرة الغنية جداً بالسليكا والغازات. وهذا الاختلاف في اللزوجة يكون حاسماً. إنّ خزّاناً من المهل المائع يتطوّر في بضع سنين وينسكب على شكل صبّات من اللابات سريعة الجريان تشكل هضاباً بركانية ذات انحدارات ضعيفة. والمثال على هذه البراكين بركان "بيتون دو لا فورنيز" Piton de la Fournaise في جزيرة ريونيون وبركان كيلوه Kilauea في جزيرة هاواي وهي براكين بازلتية كانت تثور كل سنتين في المتوسط منذ بداية القرن مصدرة صبّات تمتد لعدة كيلومترات. وبالمقابل لا بد من عدة مئات من السنين لكي يتّخذ المهل اللزج مكانه، وهذا المهل اللزج هو الذي يُغذّي الانفجارات الاندفاعية ويشكّل أصل الصروح المخروطية البركانية. فقد كان بركان سانت هيلين على سبيل المثال نشطاً في الأعوام 300, 950, 1650, 1850, 1980 وقبل الميلاد في العامين 700 و1500. ويمكن أن يستمر الانفجار البركاني نحو عشر سنين.

ولكن بين هذين الحدّين الأعظمين لا توجد علاقات بسيطة تربط تركيب مهل ما مع نمط انفجاري. فإذا كانت لزوجة المهل هي المحدّدة فإنّ محتواه من الغاز يكون أيضاً بقدر ذلك. وبحسب التفاعلات في الحجرة المهلية وفي قناة الاندفاع يمكن أن يمرّ أحد البراكين من نمط إلى آخر. (فمثلاً يمكن للمهل الغني بالغاز في البداية أن يفقد غازه أثناء صعوده). إذا بقي الكثير من الغاز في نهاية المطاف فإنّ الفقاعات عند انفجارها تجزّىء المهل وتدفع نفثة jet قوية جداً من الغاز ومن أحجار الخفّاف ponce. أمّا في الحالة المقابلة فتبقى النفثة على حالة صبّة لايّة. وبالإضافة إلى ذلك فإن الخزّان لا يكون بالضرورة متجانساً فقد تتعاقب في انفجار واحد مراحل قليلة الخطورة مع مراحل انفجارية. وهكذا يصدر عن بركان هكلا Hekla في آيسلندة كل 60 سنة تسلسل متماثل دوماً: إذ يُصدر خلال ساعتين أو ثلاث ساعات صخوراً ريوليتية rhyolites، وبعد ذلك وخلال عدة أيام صخوراً بازلتية. وقد يحدث نمطان من الانفجار في آن واحد، وهذه هي حالة الانفجارات البلينية pliniennes (نسبة إلى الكاتب الروماني بلين Pline الذي وصف هذا النمط من ثورة البراكين). وهي عبارة عن نفثات من الرماد البركاني والغاز تُقذف بسرعة كبيرة تبلغ 100–300 م/ثا بالإضافة إلى صبّات من الصخور الفتاتية النارية. ونظراً لأنّ كثافة خليط الرماد والغاز أقل من كثافة الغلاف الجوي يمكن أن ترتفع النفثة إلى ارتفاع 30 km عن سطح الأرض ثم تمتد السحابة فيما بعد في الغلاف الجوي العلوي قبل أن تسقط الجزيئات المهلية ثانية على سطح الأرض. أمّا صبّات الصخور الفتاتية النارية التي هي أكثر كثافة فتجري بسرعة كبيرة على منحدرات البركان قد تبلغ 100 م/ثا وتقطع مسافة عدة عشرات من الكيلومترات مخربة كل شيء في طريقها. وتشهد على هذا التخريب مدينتا هركولانوم وبومبي اللتان دفنتا تحت المقذوفات البركانية عند ثورة البركان فيزوف عام 79 ميلادية.

يعتمد السيناريو الاندفاعي أيضاً على البنية الهندسية للبركان، فالاندفاعات المتتالية المتغيّرة بحسب ظروف الاندفاع تحوّل باستمرار هذه البنية. كما أنّ الاندفاعات غالباً ما تحصل بعد فترات طويلة من الهدوء يتعرّض خلالها النظام المهلي العميق إلى التغيير. وهي عملية طويلة لم يفهمها علماء البراكين بعد فهماً تاماً، إذن فكل اندفاع هو دوماً نتيجة لتاريخ خاص.

ما هو عدد البراكين النشطة الموجودة في الوقت الحاضر؟

كان يوجد خلال الفترة التاريخية أكثر من 600 بركان نشط. ويقدّر عدد البراكين التي لم تنطفئ نهائياً بأكثر من 1300 بركان (لايدخل بالحسبان هنا النشاط البركاني تحت البحري الشديد). فهل الاندفاعات البركانية في الوقت الحاضر أكثر عدداً؟ إنّ الجواب بالنفي ولكن الخطر البركاني ازداد مع ازدياد عدد السكان الذين يعيشون في جوار المناطق الخطرة. يعيش نحو مليونين من سكان مدينة نابولي والقرى المحيطة بها ليس فقط تحت تهديد بركان فيزوف الخامد منذ عام 1944 وإنّما أيضاً تحت تهديد معقّد بركاني يشكّل ما يسمى بالحقول الفليغرية Champs Phlégréens التي تقع في الجهة الأخرى من المدينة... إنه قدر محتوم؟ إنّ الشيء الأساسي الذي يعيق في الواقع نقل السكان هو اعتياد السكان على العيش في هذه الأمكنة وتكاليف نقلهم منها ومع ذلك فإنّ هذا النقل يبقى الطريقة الأفضل لتجنّب وقوع كارثة. والأمر يكون أصعب بكثير فيما يتعلق بالمدن الكبيرة مثل مدينة مكسيكو حيث يعيش نحو 17 مليون نسمة على بعد 60 كم من بركان بوبوكاتبتل Popocateptl الذي يُعرف عنه أنّه ثار نحو 30 مرة منذ العام 1345، أو مدينة طوكيو الواقعة تحت رحمة بركان فوجي ياما Fuji Yama. وهذا أمر لن ينتهي أبداً. ففي مدينة سياتل الواقعة على الشاطئ الغربي للولايات المتحدة قليل من الناس يقلقون من وجودهم بالقرب من جبل رينيار Rainier الذي هو بركان خطر كانت آخر ثورة له في عام 1850؟ ومع ذلك ففي هذه المدينة التي هي في ذروة نموها أُقيمت صناعات متعددة عالية التقانة مثل بوينغ وميكروسوفت إلخ.. يمكن أن يؤدّي انفجار كبير إلى كارثة مفجعة. يبدو إذن أن التقانة العلمية في البلاد الصناعية لم تؤثر كثيراً على السلوكيات... .

هل ينشط البركان الخامد من جديد؟

يمكن أن تكون فترات هدوء البركان طويلة جداً دون أن يكون النظام في الأعماق قد توقف نشاطه بصورة كاملة. فبركان فيزوف على سبيل المثال لم يثر لمدة 500 سنة وهي مدة كافية حتى ينسى الناس الطبيعة الحقيقية لهذا الجبل. غير أن ثورته عام 1631 ذكّرت بطبيعته وأعادت إليه نشاطه الذي كان يحدث كل سبع سنوات حتى عام 1944 حيث توقف.

ويمكن أن يكون البركان نشطاً لمئات الألوف من السنين فجزر هاواي موجودة منذ أكثر من 000 200 سنة والنشاطات البركانية في سانتوران موجودة منذ 000 600 سنة. وبالمقارنة مع 000 36 سنة يظهر أنّ جبل سانت هيلن بركان فتي تماماً، ولكنه حلّ في الحقيقة محلّ جبل آدامز الذي يعود عمره إلى 000 450 سنة. إنه من المألوف في الواقع أن نرى ظهور بركان جديد إلى جانب بركان قديم. فقد دمّر انفجار بركان كراكاتوه تماماً الجزيرة الأندونيسية عام 1883 ولكن في الوقت الحاضر يحتل مخروط جديد وهو كراكاتوه الابن الفوهة القديمة. ويقال أن

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

البركان قد انطفأ تماماً عندما يتوقف المصدر العميق عن العمل. وإذا توقف انتقال المادة البركانية على مقياسَ كل الكوكب تختفي عندها ظاهرة البركنة. وهذا لن يحدث قبل عدة مليارات من السنين. ففي الزمن الأول عندما تنخفض درجة حرارة الكرة الأرضية بصورة كافية فإنّ الانصهار سيتوقف دون أن تتوقف تماماً الحركات الداخلية (حالة المريخ في الوقت الحاضر). وبعد ذلك ستتوقف هذه الحركات تاركة عمليات الإنحتات وقذف النيازك تعمل عملها على سطح الكرة الأرضية كما يجري حالياً على القمر.

هل من الممكن توقّع ثورة البركان؟

من أجل أن نتوقّع ثورة بركان من البراكين لابدّ من الاعتماد على نشاطاته الماضية وعلى تواتر اندفاعاته وعلى صبيبه من المهل، وكلما تكاثرت نشاطاته كلّما كانت عملية التنبؤ أفضل. ولكن من الصعب أن نحدّد بدقة اللحظة التي يثور عندها البركان، والصعوبة الأساسية هي تحديد متى ستنقذف الصخور.

ومع ذلك من الممكن توقّع حصول انفجار قبل بضعة أسابيع من خلال انتفاخ حجرة المهل التي يمكن ملاحظتها من السطح بسلسلة من التحولات تتمثّل بتشوهات تطرأ على البركان وبانطلاق الغازات وبحصول هزات أرضية إلخ... وكي نراقب هذه الإشارات المنذرة توجد مجموعة من الأدوات. ولكن (في مثل كل نظام غير مستقر) تكمن المشكلة في فهم متى يتجاوز النشاط الحدود العادية. في الواقع يمكن أن يُصدِر البركان دخاناً أو أصواتاً مزمجرة أو يتغيّر شكله باستمرار. ولهذا السبب لا بد من مراقبة البركان لسنوات متعددة وكذلك ترابط كل الأدلة الملاحظة.

هذا ولابدّ أن نذكر أنه على الرغم من أنّ التنبؤات الدقيقة مستحيلة فقد تم الإعلان ، بفضل هذه الإشارات، عن كل الثورات الشديدة التي حصلت حديثاً قبل عدة أسابيع من وقوعها . وهذه كانت حالة ثورة بركان نيفادو دل رويز في كولومبية عام 1985. ومع ذلك أدّى الاندفاع إلى موت 25 000 ضحية ، إذ لم تقيّم السلطات المستنفرة بصورة صحيحة مع الأسف خطورة الوضع.

إنّ تزويد كل البراكين بأجهزة المراقبة هو أمر لايمكن تنفيذه ، ولكن التصوير الساتلي (من السواتل) يمثل تقنية مراقبة واعدة إلى حد كبير: فهو يتيح متابعة الصروح البركانية بمقاييس مختلفة على كامل الكرة الأرضية. يكشف تراكب الصور المأخوذة في أزمنة مختلفة في الواقع عن التغيرات الطبوغرافية. وإذا بقيت بعض العقبات من طبيعة تقنية ، مثل التغيرات الفصلية للغطاء النباتي التي تجعل استخدام الصور الفضائية صعباً ، فهي في الطريق إلى الحل.

هل تُؤثر البراكين على المُناخ؟

تؤثّر بكل تأكيد ولكن ليست كلها وإنّما فقط الاندفاعات، التي تقذف نفثة غازية إلى أعالي الغلاف الجوي التي تتجاوز 100 km ولمدة طويلة بالقدر الكافي، تغير من امتصاص أشعة الشمس. وكذلك لا بد وأن تكون هذه الاندفاعات في مواقع مناسبة من الناحية الجغرافية نظراً لأنّ الرياح في أعالي الغلاف الجوي لا يكون لها السرعة نفسها في كل مكان. ذلك لأنّ اندفاعاً يقع في مناطق ذات خطوط عرض مرتفعة يمكن أن يمرّ بدون ملاحظة على مقياس إجمالي. فمثلاً الاندفاع الأكثر أهمية في هذا القرن في وادي "آلاف الأدخنة" في ألاسكة الذي حصل عام 1912 لم يكن له أي تأثير. وبالمقابل أدّى اندفاع بركان بيناتوبو في الفيليبين الذي حصل عام 1991 إلى خفض درجة الحرارة المتوسطة نصف درجة مئوية في نصف الكرة الشمالي.! وهذا هو الانخفاض الأهم الذي جرى قياسه. برهنت هذه القياسات على الدور الذي تلعبه البراكين في المناخ. إنّ مراقبتها تشكل جزءاً من مجموعة أدوات تحليل المناخ.

على عكس ما كان يُعتقد لم يكن الرماد الذي تنفثه البراكين هو السبب الذي يؤدي إلى خفض درجة الحرارة. من المؤكّد أن تأثيره كبير لأنّه يغرق المنطقة بظلام دامس، ولكن هذه الظاهرة محلّية ولاتدوم وقتاً طويلاً . والعامل الأكثر أهمية هو ثنائي أكسيد الكبريت المحقون في الغلاف الجوي. وعندما يتحد مع بخار الماء يشكّل حُلالات كبريتية وهي التي تمتص الأشعة الشمسية وتعكسها نحو الفضاء. وكلما ازدادت كمية هذه الحُلالات، ازداد تبرّد المُناخ. وهذا ما حصل في العام 1815 خلال اندفاع بركان تمبورا في أندونيسية الأقوى في القرنين الأخيرين. أدّى هذا الاندفاع، الذي تَبِعته سلسلة من الاندفاعات الكبيرة في العالم، إلى تقلّبات مناخية على كل أنحاء الكرة الأرضية إلى الحدّ الذي أدّى إلى تسمية عام 1816 "عاماً بدون صيف".■

3- توليد طاقة بالرياح بعيدة عن مناطق السكن*

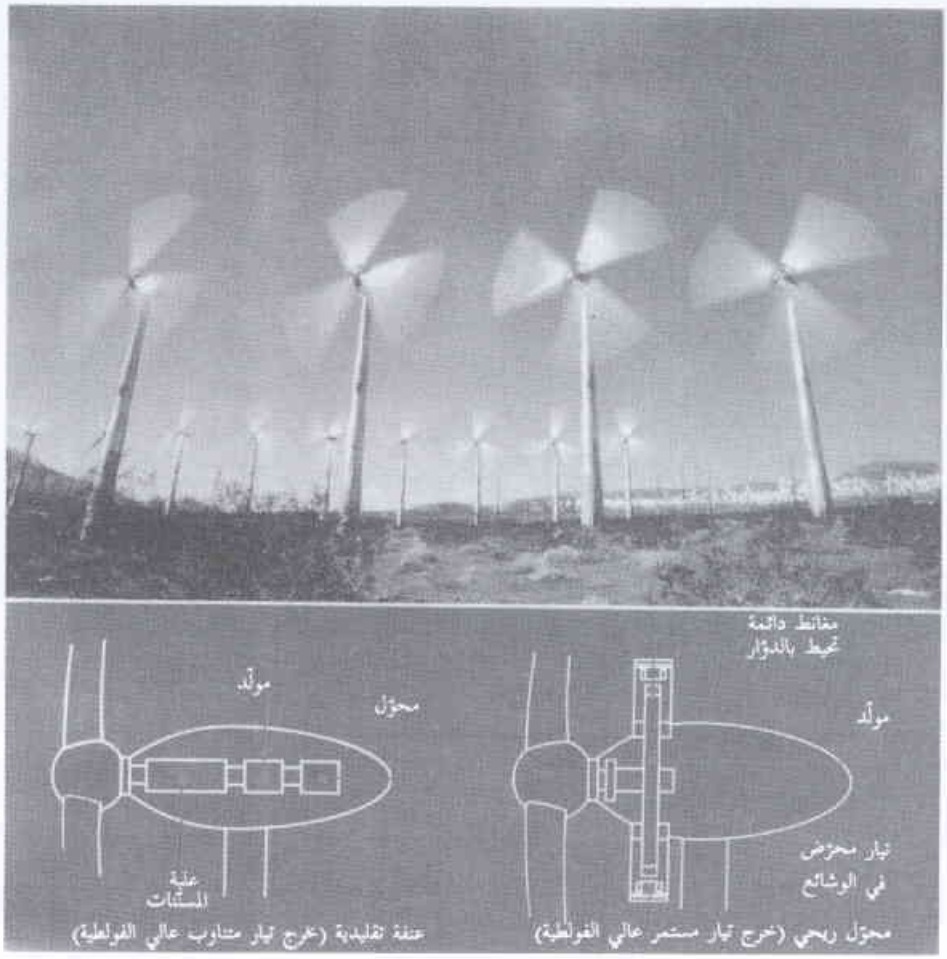
يمكن أن تُبنى حقول العنفات الريحية التي لاتحتاج إلى صيانة كبيرة في مناطق يصعب الوصول إليها بعيدة عن مناطق السكن.

يمكن قريباً نقل حقول العنفات الريحية ، تلك البقع الخضر- ولكنّها البشعة - الموجودة في المناطق الريفية، إلى مناطق بعيدة عن الشاطىء أو إلى المناطق الجبلية العالية بفضل نموذج جديد من العنفات الريحية ذات الكفاءة العالية الذي تم اختراعه في السويد.

تتثبّت النصال الدوّارة في العنفات الريحية التقليدية على مولّد داخلي بوساطة محور. ومن الضروري أن يدور المولّد عادة بسرعة عالية ولذلك تستخدم علبة المسنّنات لزيادة سرعة المحور من نحو 18 دورة في الدقيقة إلى 1500 دورة. ونظراً لأنّ علبة المسنّنات التي تكون غالية الثمن والتي

* نشر هذا الخبر في مجلة *New Scientist*, 17 June 2000. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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



يمكن أن تبلى بسرعة كان من الواجب أن تُبنى العنفات في أماكن يسهل الوصول اليها من أجل صيانتها.

وبحسب ما ذكره ديفيد إنفيلد D. Infield مدير مركز تقانة منظومات الطاقات المتجددة في جامعة لوفبورو، فإنّ ذلك لا يشكّل العيب الوحيد لهذه العنفات الريحية التقليدية إذ أنها تُنتج فقط فولطية منخفضة جداً وهي بصورة عامة غير كافية للنقل إلى أية مسافة. ويُقوّى التيار المتناوب المُنتج بمحوّل (انظر المخطط) غير أنّ هذا المحوّل لايحلّ المشكلة كلياً. إذ يصعب نقل التيار المتناوب إلى مسافات كبيرة لأنه يمرّ على طول قشرة الناقل دون اللب وهذا يؤدي إلى زيادة المقاومة وبالتالي إلى فَقْد في الطاقة على شكل حرارة. وهذا ما يحدّد المسافة التي يمكن أن تنزاح بها حقول العنفات الريحية الحالية المولّدة للتيار المتناوب بعيداً عن الشاطئ.

قام ماتس ليجون M.Leijon من شركة ABB الهندسية السويدية بتطوير عنفة يظن أنّها تتغلّب على الكثير من المشكلات. فعوضاً عن استخدام مولّد صغير يدور بسرعة عالية، تُحرّك عنفة ليجون الريحية دوّاراً ضخماً مُحاطاً بمغانط دائمة تعمل مهما كانت سرعة دوران نصال العنفة بطيئة - ولذلك لا حاجة إلى علبة مسنّنات. كما أن مولّد ليجون يُنتج أيضاً فولطية عالية لا تحتاج فوق ذلك، إلى محوّل. ويذكر ليجون أنّه باستعماله مركبات أقل حصل على مزايا استثنائية، كما يذكر أيضاً أنّ كفاءة هذا المولّد أعلى وبذلك تنخفض كلفة صيانته. وتُعطي العنفة الجديدة بدون علبة المسنّنات والمحوّل التقليديين مردوداً أكبر من الطاقة بحوالي 20%.

أمّا الطريقة البسيطة لنقل الكهرباء إلى مسافات بعيدة عن العنفة فكانت المشكلة الثانية على قائمة ليجون. إذ يذكر " إنّنا نأخذ التيار المتناوب من العنفة ونقلبه إلى تيار مستمر ، وعندئذ يمكن تمريره عبر كبل طويل عالي الفولطية. وهكذا يمكن أن تُقام عنفة الرياح في أي مكان يصعب الوصول إليه، مثل المناطق الجبلية العالية أو على بعد 100 km من الشاطئ.

يذكر مايكل غراهام M. Graham الخبير في طاقة الرياح في إمبريال كولج في لندن أنّ المشكلة الكبيرة مع طاقة الرياح هي موافقة الجمهور فيما يتعلّق بالضجيج وعدم حجب المناظر الطبيعية وهكذا فإنّ قابلية إبعاد حقول العنفات الريحية من ساحة الرؤية قد يكون مفيداً. ويرى إنفيلد أنّ كلّ تدبير بهذا الخصوص هو بكل تأكيد تدبير معقول.■

4- انطلاق بطيء للدُّوّارة يقيس جاذبية الثقالة*

يبدأ التطور أحياناً بخطوة كبيرة إلى الوراء. فبعد أربعة عشر عاماً من التشويش التثاقلي، أنجز فيزيائيو جامعة واشنطن، سياتل Seattle، أدقّ قياس حتى الآن لقوة الثقالة، بفضل نبيطة جديدة ذكية.

ومع أن العلميين كانوا قد درسوا الثقالة منذ عهد نيوتن، فلم يكن لديهم الحظ الوافر لقياس جاذبيتها. إن قوة الثقالة، الممثلة بثابت كوني يدعى "G الكبيرة" big G، هي قوة ضعيفة؛ إذ أن كمية ضخمة من الكتل تمارس فقط جذباً تثاقلياً صغيراً. وبالنتيجة، فإن الاضطرابات الزلزالية والحقول الكهربائية والمغنطيسية الدقيقة، وحتى كتلة طالب قريب - من شأنها أن تفسد قياسات G المخبرية.

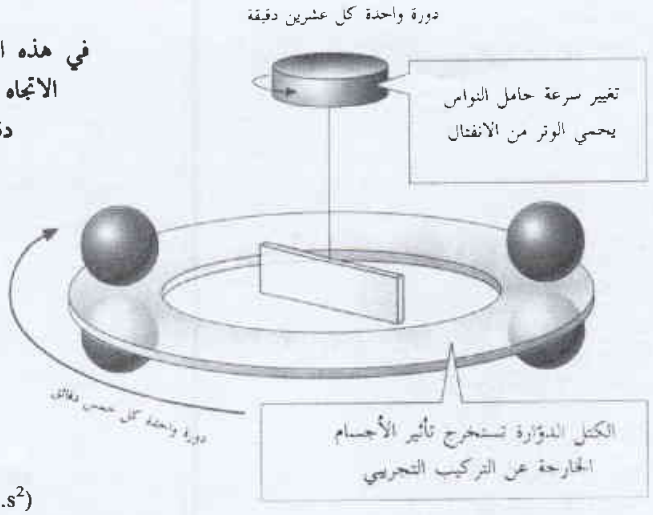
* نشر هذا الخبر في مجلة *Science*, Vol.288, 12 May 2000. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

يعود تاريخ هذه القياسات إلى نهاية القرن الثامن عشر، عندما علّق الفيزيائي الإنكليزي هنري كافندش H. Cavendish نوّاساً على شكل الدُّمْبَل، على سلك، ووضع كتلاً ثقيلة قريبة منه. وقد تمكّن كافندش، بقياس مقدار فتْل الدمبل تحت جاذبية هذه الكتل، من الحصول على قياسات جيدة تماماً لِـ G الكبيرة. وعلى مرّ السنين، قدّمت نوّاسات الفتل من نوع نواس كافندش بالإضافة إلى نبائط أخرى، قيماً أفضل. ففي عام 1986، أعلن المعهد الوطني للمعايير والتقانة NIST، عن قيمة بارتياب قدره فقط 1.3 جزء من 10 000 جزء.

بدأت الأمور في تلك الفترة تتراجع. ففي عام 1986 أيضاً، قام معهد PTB الألماني المكافىء لـ NIST بإجراء تجربة رائعة من الناحية التقنية، والتي نتجت عنها انحرافات معيارية قيمتها 42، بعيداً عن القياسات الأخرى. يقول بيتر موهر P. Mohr من معهد NIST: "كان ذلك مدهشاً للغاية، ولم يعرف أحد قط ماذا كانت المشكلة". وزاد الأمر سوءاً أن الفيزيائيين تحققوا في عام 1995 من أن أسلاك النوّاس في نبائط الفتل من نوع كافندش غير مرنة تماماً، ولذلك فهي لاتنفتل بنفس الطريقة التي توقّعها العلماء. يقول راندلي نيومان R. Newman، وهو فيزيائي من جامعة كاليفورنيا، إرفين Irvine: "كان ينبغي أن تكون هذه الطريقة واضحة، فأنت تحصل على نسخة من G في غاية الكبر". لقد زاد معهد NIST درجة ارتيابه فيما يخص G الكبيرة بعامل قدره 12، إلى 15 جزءاً من 10 000 جزء.

وهاهي الانتصارات السريعة تنطلق من سياتل. ففي اجتماع الأسبوع الماضي للجمعية الفيزيائية الأمريكية (المنعقد في 29 نيسان وحتى 3 أيار - كاليفورنيا)، أعلن الفيزيائي جنز غَنْدْلاتش J. Gundlach أنه تخلّص هو وزملاؤه من تأثير فتل الوتر string-twisting bias، وقاسوا G الكبيرة بخطأ قدره 14 جزءاً صافياً بالمليون جزء - أي أفضل من القياسات السابقة بعشر مرات تقريباً. إن مفتاح الدقة المكتشفة حديثاً هو إبقاء جهازهم التجريبي في حركة ثابتة. أقام فريق غندلاتش دعامة النواس على قرص دوّار يدور بمعدل مرة كل عشرين دقيقة. عندما اقترب طرفا النواس من الكتل الجاذبة - وهي أربع كرات فولاذية وزن كل منها 8 kg - تأثّرا بالقوة التثاقلية المتزايدة. ولكن كلما بدأ النواس ينفتل، أطلق مِحَسّ ليزري إشارة تحويل تُسرّع القرص الدوّار وتُبطل عزم الفتل. ويقول غندلاتش: "يصبح من الصعب جعل ليف الفتل ملتوياً". لقد انتقل التسارع التثاقلي إلى القرص الدوّار، وتخلّص من تأثير فتل الوتر.



في هذه الأثناء، كانت الكتل الجاذبة تدور في الاتجاه المعاكس للقرص الدوّار بدورٍ قدرُه 5 دقائق. هذا الدوران الثاني يفرز تأثيرات تثاقلية غير مأخوذة بالحسبان، من الوسط الخارجي بتحويلها إلى إشارة دورية يمكن استخراجها بسهولة من البيانات. ويقول غندلاتش: "بإمكانك أن تتجاوز هذا الشيء، وهو لن يؤثر في القيمة.

كانت النتيجة قيمة لـ G (تجريبياً $(6.67423 \pm 0.00009 \times 10^{-11}\ m^3/kg.s^2)$ أدقّ بكثير مما يحتاجه الفيزيائيون لأغراضهم العملية. ويتابع غندلاتش: "إنها إحدى الثوابت الأساسية، ويجب على المرء أن يعرفها تماماً. إنها شيء فلسفي".■

5- الضوء يجري إلى الوراء مع الزمن★

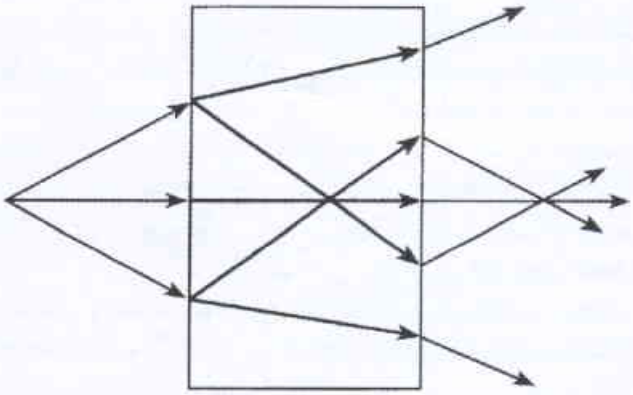
يُعدّ مفهوم قرينة الانكسار أمراً مألوفاً لكل فيزيائي: فأقداح النبيذ تتلألأ، والأحواض العميقة تبدو ضحلة، وعدسات الكاميرا تُبئّر الصور الدقيقة. وكما هو معروف لأي طالب في الفيزياء، يُقيم قانون سنل Snell's law** علاقة سببية ما بين زوايا الورود والانكسار في المواد ذات قرائن الانكسار المختلفة. لكن قناعتي هذه أُصيبت، مؤخراً، بخيبة أمل بعد أن قام الباحثان شلدون شولتز S. Shultz و ديفيد سمث D. Smith، العاملان لدى جامعة كاليفورنيا في سان ديغو، بتصنيع مادة ذات قرينة انكسار سالبة.

ماذا، بحق السماء، يعني هذا الأمر؟ إذا أخذنا قانون سنل، نجد على سبيل المثال، أن شعاعاً ضوئياً يعبر من الهواء إلى داخل كتالة من الزجاج سينكسر مقترباً من الناظم على السطح. ولكن في المادة ذات قرينة الانكسار السالبة سينكسر الشعاع الضوئي مبتعداً عن الناظم بحيث يصبح جيب θ سالباً (θ هي الزاوية بين الشعاع الضوئي والناظم).

وبضع لحظات من التفكير ستقود إلى الاستنتاج بأن شريحة مستوية من هذه المادة تُبأّر الضوء. وفي الواقع هناك فعل تبئير مضاعف إن كانت المادة بقدر كاف من الثخانة (الشكل 1). وإحدى طرق تفسير هذا التأثير هي القول بأن الزمن سيجري إلى الوراء داخل مادة لها قرينة انكسار سالبة، الأمر الذي يجبر الضوء على عكس مساره مادام مقيماً في الوسط. وما أن ينبثق الضوء من المادة إلى الهواء مثلاً حتى يمر للمرة الثانية عبر النقطة البؤريّة.

★ نشر هذا الخبر في مجلة *Physics World*, June 2000. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.
** ويسمى أيضاً قانون ديكارت.

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



الشكل 1– يدخل الضوء من منبع نقطي إلى كتالة بقرينة انكسار n = -1 (الخطوط الحمراء). تتقارب الأشعة لتلتقي في نقطة وكأن الضوء يسير باتجاه عكسي، ويُرأى مرة ثانية عندما يغادر الوسط. هذا، وتُبيّن الخطوط الخضراء المسار الذي تسلكه الأشعة

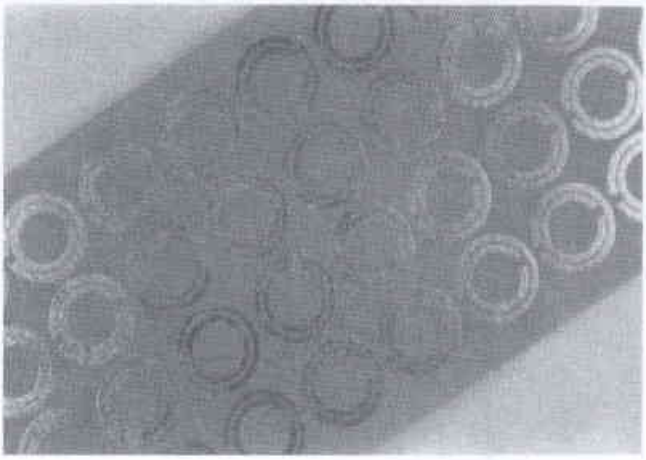
هذا وقد سبق للباحث الروسي فكتور فسيلاغو V. Veselago، المختص في الفيزياء النظرية، أن قام في أواخر الستينيات بوصف هذه التأثيرات إضافة إلى تأثيرات شاذة أخرى – مثل إشعاع شيرنكوف الذي يظهر في اتجاه معاكس لسرعة الجسيم المشحون، ومفعول دوبلر السلبي. وقد أدرك الباحث المذكور أن أساس قرينة الانكسار السالبة هو وسط يكون فيه كلا ثابت العزل الكهربائي ε والنفوذية المغنطيسية μ سالبين. وإذا تفحصنا بدقة معادلات ماكسويل Maxwell's equations ستُجبَر على اختيار الحل ذي إشارة الناقص في الصيغة الاصطلاحية لقرينة الانكسار $n = \pm\sqrt{\varepsilon\mu}$.

وبالفعل، توجد مواد ذات ε سالبة، ومعظمها يتمتع بهذه الخاصة عند تواترات ضوئية محدّدة. هذا وقد قام فريقي، بالتعاون مع توني هولدن T. Holden و ويل ستيورات W. Stewart و ديف روبنز D. Robbins العاملين لدى شركة GEC - Marconi Materials Technology في المملكة المتحدة، بصنع مواد ذات كهرنافذية سالبة عند تواترات الجيغاهرتز. لكن الأمر المعيق هو غياب النفوذية المغنطيسية السالبة.

وفي السنة الماضية، أمكن التغلب على هذه العقبة الأخيرة وذلك عندما بيّن مايك ويلتشاير M. Wiltshire، من شركة ماركوني، وكذلك أنا شخصياً كيفية صنع مادة ذات μ سالبة وفعّالة ضمن عصابة الجيغاهرتز. وكانت الخدعة التي استخدمناها هي الإقرار بأن التيارات الكهربائية التي تتحرك في دوائر تزيف أفعال المغنطيس. وهذا يعني أن بنية تتألف من مجموعة حلقات ناقلة ستكون فعّالة مغنطيسياً (الشكل 2). وبتوليف الوسطاء، بيّنا نظرياً أنه من الممكن إحراز نفوذية مغنطيسية سالبة على عصابة عريضة نسبياً من التواترات.

وبسرعة، أدرك الباحثان شولتز وسمث أن ذلك كان الحلقة المفقودة التي يحتاجونها من أجل صنع مادة ذات قرينة انكسار سالبة. وقاموا ببناء نموذج مشابه لذلك المبين في الشكل 2 مضيفين إليه مجموعة من الأسلاك الرفيعة، والتي هي المقدمات لبنية ε السالبة، ومن ثم قاسوا الخواص المختلفة لهذا النموذج.

وكما ثبت فيما بعد، إن للمادة ذات قرينة الانكسار السالبة بصمات ملفتة للنظر. والمادة ذات μ السالبة و ε الموجبة تطرد الإشعاع ولن تنقل



الشكل 2– كتالة البناء الاساسية لمادة ذات μ سالبة هي حلقة نحاسية بقطر 5مم حرى تنميشها فوق لوحة دارة مطبوعة، ويجري تصنيع بنية μ السالبة بتكديس عدة لوحات كهذه تحوي الكثير من الحلقات المضاعفة.

الأمواج الواردة. وبالمثل، فإن البُنى ذات μ الموجبة و ε السالبة سيكون لها أيضاً إنفاذية منخفضة. من ناحية ثانية، وجد الباحثان شولتز وسمث أن هذه البُنى أصدرت إشعاعاً بحدود 5 جيغاهرتز (GHz) عندما تكون μ و ε سالبتين كلتيهما؛ وبذلك بيّنت نتائجهما، وبشكل مقنع، أنهما تمكنا من إحراز قرينة الانكسار السالبة والمحيرة.■

6– صنع بلّورة فوتونية سليكونية على نطاق واسع ذات فرجة عصابية كاملة ثلاثية الأبعاد بالقرب من 1.5 مكرومتر*

أخذت التقانة الفوتونية، التي تستخدم الضوء بدلاً من الإلكترونات كحامل للمعلومات ، تحلّ على نحوٍ متزايد محل الإلكترونات في نظم الاتصالات وإدارة المعلومات. ومن أجل هذا الغرض، يمكن إنجاز المداولة المجهرية للضوء من خلال مواد الفرجة العصابية الفوتونية [1, 2]، وهي فئة مميزة من بلّورات فوتونية تقوم فيها تغيّرات دورية ثلاثية الأبعاد لثابت العزل بمنع انتشار كهرطيسي متحكم به خلال عصابة تواتر مخصّصة. وهذا يمكن أن يؤدي إلى تموضع الفوتونات [3-6]، مما يقدّم بالتالي آلية لضبط وتثبيط إصدار ضوئي تلقائي يمكن الاستفادة منها في تصنيع نبائط

* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol.405, 25 May 2000. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر – هيئة الطاقة الذرية السورية.

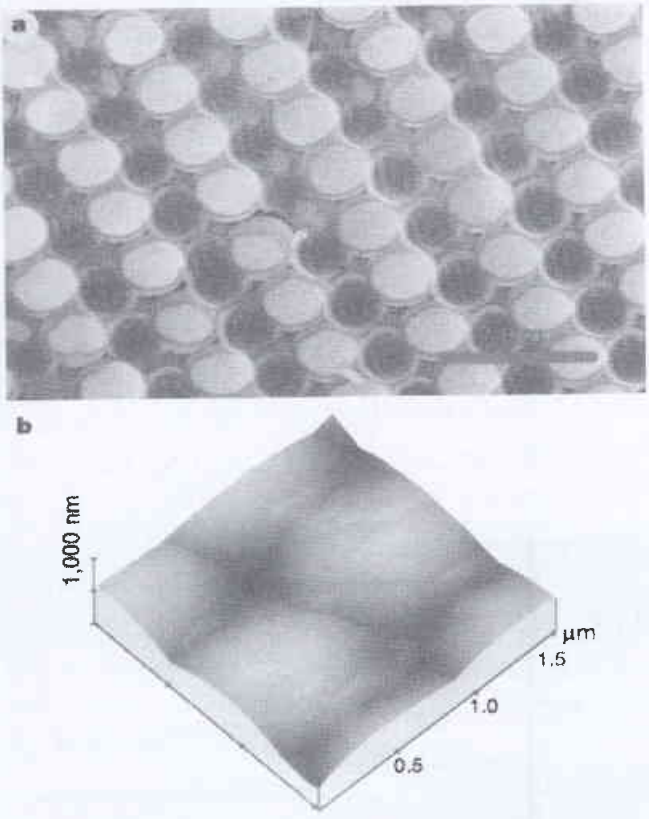
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

فوتونية. في الواقع، يمكن أن تتصرف العيوب الخطية المهندسة بدقة كأدلة موجية تربط النبائط الفوتونية في جذاذات مكروية ضوئية برمتها [7]، وربما ينتج ارتشاح المادة الفوتونية مع بلّورات سائلة مناسبة بُنىً ذات فرجة عصابية فوتونية (ومن ثم نماذج ذات دفق ضوئي) يمكن توليفها بشكل كامل بوساطة فولطية مطبقة خارجياً [8-10]. على أي حال، يتطلب تحقيق هذه التقانة فيما يتعلق بالاصطناع الكفوء لبلّورات فوتونية ذات مواصفات عالية وعلى نطاق واسع بفرجات عصابية فوتونية عند أطوال موجية مكرومترية ودون مكرومترية، ومع عيوب خطية ونقطية مصمّمة بصورة عقلانية من أجل دارات ضوئية. والآن نقدم وصفاً لبلّورات أحادية من أوبال السليكون المعكوس ذات فرجة عصابية فوتونية ثلاثية الأبعاد متركّزة على 1.46 µm، ينتجها السليكون المتنامي داخل فراغات قالب من الأوبال مؤلف من كرات متراصّة من السليكا متصلة بوساطة "أعناق" صغيرة متشكلة أثناء عملية التلبيد، تليها إزالة قالب السليكا. وتُعدّ طريقة الاصطناع بسيطة وغير مكلفة، حيث تنتج بلّورات فوتونية من السليكون النقي يسهل دمجها مع الإلكترونيات المكروية الحالية التي قوامها السليكون.

في السابق، كان يتم تصنيع بلّورات فوتونية ثلاثية الأبعاد في السليكون بإجراءات الطباعة الحجرية المعقدة أدت إلى ثخانة خليتي الواحدة في اتجاه النمو [11, 12]. وبالمقابل، يبدأ اصطناعنا للمواد بالتشكيل المضبوط بدقة لشبيكة f.c.c. ملبّدة على نحوٍ ضعيف من كرات من السليكا أحادية التبديد يمكن اختيار قطرها ما بين 600–1000 نانومتر. وعندئذٍ تستخدم بنية أوبال السليكا كقالب من أجل ارتشاح السليكون. ويضمن الحجم الكبير لكرة السليكا أنه سيكون للبنية الأخيرة فرجة عصابية فوتونية كاملة (PBG) في نطاق طول موجي فوق حافة الامتصاص الضوئي (ما يقارب 1.1µm) للسليكون الجرمي. وفيما سبق جرى وصف اصطناع الأوبال على شكل كرات أصغر (0.2-0.6 µm) [13]. إن اصطناع أوبال مرتب بشكل دوري بخلايا واحدات أكبر يتضمن اصطناع كرات كبيرة أحادية التبديد (<5% تغير قطري) بإحدى طرائق ستوبر Stöber المعدّلة [14]. ونُفّذت عملية الاصطناع في معلّق من جسيمات سليكا أحادية التبديد وأصغر (قطرها 500 نانومتر) تتصرف كبذور لنمو إضافي؛ وهذا يؤدي إلى زيادة متجانسة في حجم الكرة. وما أن يتم اصطناع الكرات الكبيرة، حتى تستقر في محلول مائي من غليكول الإتيلين (بتركيز نموذجي 50%). والأوبال الناجم هو عبارة عن شبيكة f.c.c. متراصة من كرات السليكا بحجم نموذجي منفرد سائد قدره 100µm. وثمة عملية تلبيد أخرى تقود إلى تشكيل الأعناق الصغيرة بين كرات السليكا وتُقدم القالب مع استقرارية ميكانيكية. وتساعد الأعناق أيضاً على ضبط حجم فراغات الأوبال من أجل عملية الاصطناع اللاحقة [15]، وتحرّض التشكيل الشبكي المتصل بإزالة القالب بالتنميش الحمضي. وهذا التشكيل الشبكي يعزّز أيضاً آثار التبديد الضوئي التي تُعدّ هامة في تشكيل الفرجة العصابية الفوتونية [16].

تتم تنمية السليكون داخل فراغات قالب الأوبال بوساطة ترسيب البخار الكيميائي (CVD) باستخدام غاز ثنائي السيلان (Si_2H_6) كمولّد طليعي [17, 18]. فقد استخدم غاز السيلان وثنائي السيلان كلاهما لتنمية العناقيد النانوية في السليكات المسامية المتوسطة والمكروية الدورية [19-7]. وفي تجربتنا تتغير درجة حرارة الترسيب من 250°C من أجل الأجزاء الحشوية المنخفضة إلى 350°C من أجل الأجزاء الحشوية المرتفعة. تتنبأ حساباتنا المتعلقة بالبنية العصابية أن عرض الفرجة العصابية الأعظمي يُستحصل عليه بحشوة فراغات الأوبال بنسبة 90-97% على شكل طبقة ترطيب بثخانة متجانسة على سطوح السليكا [16]. وتم اصطناع عينات ذات درجات من الارتشاح تصل إلى 100%. وكان زمن التفاعل النموذجي 24 ساعة، وضغط غاز ثنائي السيلان حوالي 200 تور. وبعد نمو السليكون، تسخّن العيّنات إلى 600°C من أجل تحسين تبلور أنصاف النواقل، ولإتاحة انتشار السليكون داخل بنية الفراغات. ومن ثم يُزال قالب السليكا بتطبيق إجراءات التنميش المعتمدة على الفلور، المصممة لتقليل انحلال الجزء الأساسي من السليكون ذي المسامات الجهرية.

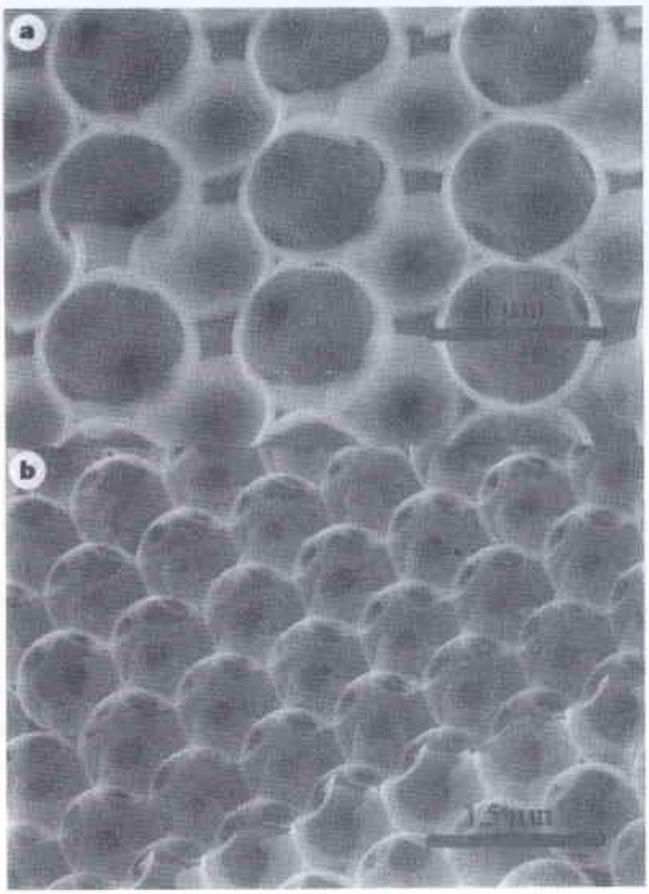
استُخدمت مطيافية رامان Raman المجهرية للتأكد من جودة العيّنة. ولوحظت ذروة فونون منفردة في عيّناتنا متركّزة على 519 cm^{-1} بعرض أقل من 8 cm^{-1} منسجمة مع وجود سليكون بلّوري. ويوضّح الشكل 1 صور المطيافية الإلكترونية الماسحة النموذجية (SEM) ومطيافية القوة الذريّة لأوبال السليكا المرشح. وتشير الصورة المطيافية الإلكترونية الماسحة إلى طبقة ثخينة ومتجانسة من السليكون تحيط بكرات السليكا المرتبة بشكل جيد (والواضحة بالأزرق الفاتح)، مما يدل على درجة عالية من



الشكل 1– أوبال مرتشح بالسليكون. a– صورة المطيافية الإلكترونية الماسحة لوجه داخلي [113] من أوبال مرتشح بالسليكون. ويشار إلى السليكا بالضوء الأزرق. b– صورة مطيافية القوة الذريّة لمنطقة مساحتها 1.5µm × 1.5µm لسطح أوبال مرتشح، مركّزاً على ملاسة طلاء السليكون.

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

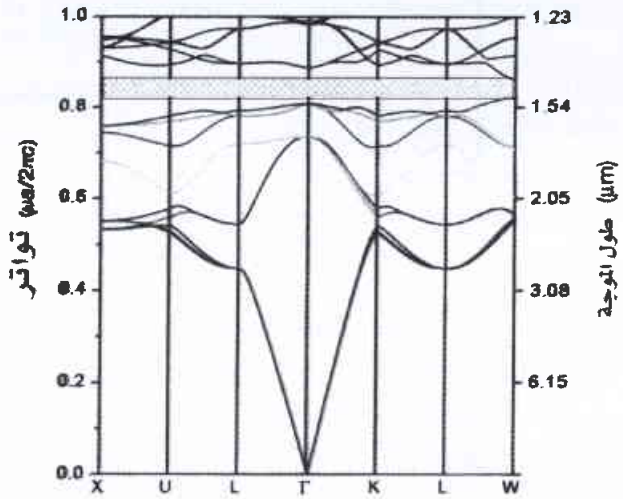
الارتشاح. ومن صورة مطيافية القوة الذريّة قُدِّرت خشونة سطح السليكون بأقل من 2 nm. ويكون نمو طبقة الترطيب السليكوني متجانساً تماماً ومستقلاً عن الخواص الموضعية لقالب الأوبال. ويوضّح الشكل 2 صورة المطيافية الإلكترونية الماسحة للأوبال السليكوني النموذجي المعكوس التي تم التقاطها بعد تنميش البنية الارتشاحية. وتبيّن الصورة شبكة مترابطة بينياً للكرات الهوائية المحاطة بطبقات سليكونية وارثةً ترتيب قالب الأوبال f.c.c. وتتصل الكرات الهوائية المتجاورة بنوافذ تنجم عن عملية التلبيد.



الشكل 2– صور المطيافية الإلكترونية الماسحة للسطيحات الداخلية لأوبال سليكوني معكوس: a– سطيح [110]، b– سطيح [111].

وبخلاف بُنى الأوبال المعكوسة البدائية المصنوعة من ثنائي أُكسيد التيتانيوم [20, 21] والكربون الغرافيتي [22] وسيلينيد الكادميوم وكبريت الكادميوم [23, 24]، فإن بنيتنا من الأوبال المعكوس تلبي في وقت متزامن المعايير الضروريين من أجل تشكيل كامل لفرجة عصابية فوتونية. أولاً، إن قرينة الانكسار للسليكون (3.45 عند 1.5 µm) تفوق العتبة المحدّدة نظرياً (2.8) بالنسبة لفرجة عصابية فوتونية في شبيكة f.c.c. من الكرات الهوائية [16]. ثانياً، إن حافة الامتصاص الضوئي للجزء الأساسي من السليكون يتحصل عند طول موجي تحت الفرجة العصابية الفوتونية، وهذا يسمح بالتالي بالتموضع المترابط للضوء داخل المادة بخسائر امتصاصية بأدنى حد ممكن. ومثل هذا التموضع يُعدّ ميزة ضرورية لتطبيقات نبائط الفرجة العصابية الفوتونية، وطالما تم أسر الضوء داخل البنية المكروية الكهرنافذة فلا يمكن أن يتبعثر في أنماط غير مرغوبة من الانتشار الحرّ ويُجبَر على التدفق على طول قنوات معيبة ومصممة هندسياً بين النبائط المندمجة في جذاذة مكروية ضوئية.

ويوضّح الشكل 3 بنية العصابة الفوتونية من أوبال سليكوني معكوس، تم التنبؤ بها نظرياً، مع 88% نسبة ارتشاح السليكون إلى الحجم المتيسر من فراغات قالب الأوبال. وأُجريت الحسابات باستخدام طريقة توسع الموجة المستوية بأساسٍ مؤلفٍ من 2662 موجة مستوية [25]. وطالما أن سوية الارتشاح تزداد رقمياً من 88% إلى 100%، فإن مركز الفرجة العصابية الفوتونية الكاملة ينتقل من 1.46 إلى 1.55 مكرومتر، متجاوزاً نطاق الطول الموجي في خيار الاتصالات الضوئية الليفية.

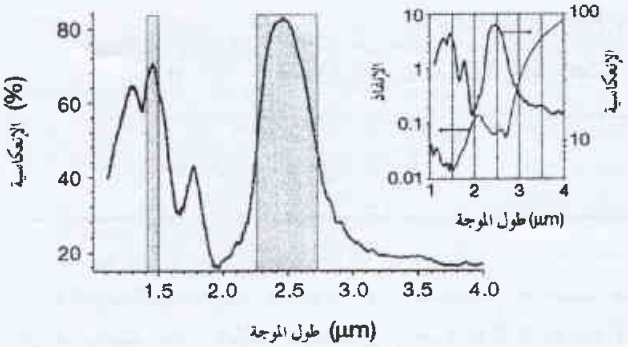


الشكل 3– بنية عصابية من أوبال سليكوني معكوس بنسبة 88% ارتشاح السليسيوم في فراغات قالب السليكون المتيسر. وتتوضح الفرجة العصابية الفوتونية الكاملة بوساطة المنطقة المظللة، مع فرجة تصل إلى نسبة فرجة إلى منتصف فرجة قدرها 5.1%.

قيست أطياف الانعكاس و الإنفاذ لأوبال سليكوني معكوس باستخدام مطياف تحويل بوميم فوريه تحت الأحمر. واستخدم المجهر الموصول مع المطياف لإنارة قطاع بلّورة أحادية بجودة سطح عالية. أحدث الضوء غير المستقطب المار عبر المجهر بقعة قطرها يقارب 40µm مع مخروط الضوء الوارد يمتد ما بين 15°-35° من الورود الناظمي. يبين الشكل 4 أطياف الانعكاس والإنفاذ المستنظمة الناجمة. ويبدي طيف الانعكاس ذروة عريضة ذات طول موجي مركزي قدره 2.5µm مع ثلاث ذُرى إضافية ما بين 1.2 و 1.8µm. وتتجاوز سعة ذروة الانعكاسية 80% و 70% عند 2.5µm و 1.46µm على التوالي، مما يشير إلى مواصفات بلّورة جيدة. وقد تم تصحيح طيف إنفاذ العينة، المشار إليه في الصورة، بالنسبة إلى التبعثر المنتشر [26]. ونلاحظ أن هنالك ترابطاً قوياً بين الصفات الطيفية الرئيسة لبيانات الإنفاذ والانعكاس، أي أن النهايات العظمى في طيف الانعكاس تتطابق مع النهايات الصغرى في طيف الإنفاذ.

ولمقارنة القياسات الضوئية مع حسابات بنية عصابية حددنا أولاً ثابت الشبيكة وتم الاحتفاظ بذلك بعد عمليتي الارتشاح والانعكاس، وتم

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



الشكل 4– طيف الانعكاس من الأوبال السليكوني المعكوس. المنطقة المظللة بأبعاد 2.5μm و 1.5μm تبين المواقع المحسوبة لفرجة التوقف الأولى والفرجة العصابية الفوتونية الكاملة على التوالي. في المخطط الصغير، يظهر طيف الإنفاذ للعينة ذاتها على مقياس لوغاريتمي وتُعزى النهاية الصغرى الضيقة للإنفاذ عند 2.7μm إلى امتصاص الماء.

تحديده من قياسات انعكاسية الأوبال العاري عند الورود الناظمي. وبمقارنة الموضع الطيفي لأولى الحواف العصابية المتوقفة (المترافقة مع الفرجة الزائفة عند النقطة L من منطقة بريلوان الأولى [27]) بالنسبة إلى تلك التي توقعتها حسابات بنية العصابة (باستخدام قرينة انكسار السليكا وقدرها 1.45)، استحصلنا على ثابت شبيكة (مكعبة) قدره 1.23μm.

تم الحصول على درجة الارتشاح بتغيير قيمتها في حساب بنية العصابة للحصول على توافق مع الطول الموجي المركزي لعصابة التوقف الأولى الذي قيس وبَلَغَ 2.5μm. وافتُرض التشكيل الطبقي للسليكون في الشكل 2. ويدرك المرء من الشكل 4 أن الحسابات تعطي العرض المناسب لعصابة التوقف. ويُلاحظ أيضاً توافق كبير بين موضع الذروة في طيف الانعكاسية ومركز عصابة التوقف عند 1.46μm، الذي يكون حساساً جداً إزاء درجة الارتشاح. وتحدد الحسابات هذه العصابة عندما يترافق مجال التواتر مع فرجة عصابية كاملة. ويوحي التوافق الجيد بين الأطياف المَقيسة وبنية العصابة المحسوبة بوجود فرجة عصابية فوتونية عند 1.46μm، بنسبة فرجة إلى منتصف فرجة قدرها 5.1%. ويتطلب تزويد التحقق التجريبي الكلي للفرجة العصابية الفوتونية قياسات شاملة إضافية.

إن اصطناع مادة فرجة عصابية فوتونية قوامها السليكون، على نطاق كبير جداً، يقدم عدداً من الاحتمالات وشيكة الحدوث، بما فيها الارتشاح الإضافي لهذه البنية المفتوحة جداً مع جسيمات أو ذرات مصدرة للضوء. ومن المتوقع أن يكون التألق الناتج وخصائص الليزرة للأنواع المصدرة للضوء قرب حافة عصابية فوتونية ثلاثية الأبعاد ملفتاً للنظر تماماً. وتم التنبؤ بآثار التحويل الضوئية برمتها منخفضة العتبة والمهمة والاستجابة الضوئية اللاخطية الشاذة [25]. وبهذا الخصوص، من المفيد استشكاف طرائق تجميع ذاتي لإيجاد قوالب شبيكة من الماس يمكن منها تحقيق فرجة عصابية فوتونية أكبر على نحو بارز [28]. ومن المهم تعميم إجراءات تشكيل القالب من أجل هندسة قنوات الدلائل الموجية والعيوب النقطية المخصصة التي يمكن أن يتدفق الضوء من خلالها. وربما تثبت طرائق الطباعة الحجرية الطرية والقولبة المكروية في الشعيرات نجاعتها وفعاليتها محققةً "دارات من الضوء" كهذه [29].

المراجع

REFERENCES

[1] John, S. Strong localization of photons in certain disordered dielectric lattices. Phys. Rev. Lett. 58, 2486-2489 (1987).

[2] Yablonovitch, E. Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics. Phys. Rev. Lett. 58, 2059 - 2062 (1987).

[3] John, S. Electromagnetic absorption in a disordered medium near a photon mobility edge. Phys. Rev. Lett. 53, 2169-2172 (1984).

[4] Anderson, P. W. The question of classical localization: A theory of white paint? Phil. Mag. B52, 505-509 (1985).

[5] John, S. Localization of light. Phys. Today 44, 32-40 (1991).

[6] Wiersma, D. S., Bartolini, P., Lagendijk, A. & Righini, R. Localization of light in a disordered medium. Nature 390, 671-673 (1997).

[7] Joannopoulos, J. D., Villeneuve, P. R., & Fan, S. Photonic crystals: putting a new twist on light. Nature 386, 143-149 (1997).

[8] Busch, K. & John, S. Liquid-crystal photonic-band-gap materials: The tunable electromagnetic vacuum. Phys. Rev. Lett. 83, 967-970 (1999).

[9] Yablonovitch, E. Liquid versus photonic crystals. Nature 401, 539-541 (1999).

[10] Leonard, S. W. et al. Tunable two-dimensional photonic crystal using liquid crystal infiltration. Phys. Rev. B 61, 2389 - 2392 (2000).

[11] Lin, S. Y. & Fleming, J. G. A. Three-dimensional optical photonic crystal. IEEE J. Lightwave Technol. 17, 1944-1947 (1999).

[12] Noda, S., Yamamoto, N., Imada, M., Kobayashi, H. & Okano, M. A three-dimensional optical photonic crystal. IEEE J. Lightwave Technol. 17, 1948-1955 (1999).

[13] Miguez, H. et al. Photonic crystal properties of packed submicrometric SiO_2 spheres. Appl. Phys. Lett. 71, 1148-1150 (1997).

[14] Stöber, W., Fink, A. & Bohn, E. Controlled growth of monodisperse silica spheres in the micron size range J. Colloid Interface Sci. 26, 62-69 (1968).

[15] Miguez, H. et al. Control of the photonic crystal properties of fcc packed submicrometer SiO_2 spheres by sintering. Adv. Mater. 10, 480-483 (1999).

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

[16] Busch, K. & John, S. Photonic band gap formation in certain self-organizing systems. Phys. Rev. E 58, 3896-3908 (1998).

[17] Chomski, E., Dag, Ö., Kuperman, A. & Ozin, G. A. New forms of luminescent silicon: silicon-silica composite mesostructure. Chem. Vap. Dep. 2, 8-13 (1996).

[18] Dag, Ö., Ozin, G. A., Yang, H., Reber, C. & Bussière, G. Photoluminescent silicon clusters in oriented hexagonal mesoporous silica film. Adv. Mater. 11, 474-480 (1999).

[19] Bogomolov, N. N. et al. Fabrication of regular three - dimensional lattices of submicron silicon clusters in a SiO_2 matrix. Pis'ma Zh. Tekh Fiz. 24, 90-95 (1998); also Technol. Phys. Lett. 24, 326-327 (1998).

[20] Holland, B. T., Blanford C. F. & Stein, A. Synthesis of microporous minerals with highly ordered three-dimensional arrays of spheroidal voids. Science 281 538-540 (1998).

[21] Wijnhoven, J. E. G. J. & Vos. W. L. Preparation of photonic crystals made of air spheres in titania. Science 281 802-804 (1998).

[22] Zakhidov, A. A. et al. Carbon structures with three-dimensional periodicity at optical wavelengths. Science 282, 897-901 (1998).

[23] Vlasov, Y. A., Yao, N. & Norris, D. J. Synthesis of photonic crystals for optical wavelenghts from semiconductor quantum dots. Adv. Mater. 11, 165-169 (1999).

[24] Braun, P. V. & Wiltzius, P. Electrochemically grown photonic crystal. Nature 402, 603-604 (1999).

[25] John, S. & Busch, K. Photonic bandgap formation and tunability in certain self-organizing systems. J. Lightwave Technol. 17, 1931-1943 (1999). .

[26] Vlasov, Yu. A., Astratov, V. N., Karimov, O. Z. & Kaplyanskii, A. A. Existence of a photonic pseudogap for visible light in synthetic opals. Phys. Rev. B 55, R13357-R13360 (1997).

[27] Ashcroft, N. & Mermin, D. Solid State Physics 161 (Holt, Rinehart & Winston, New York, 1976).

[28] Ho, H. M., Chan, C. T. & Soukoulis, C. M. Existence of a photonic gap in periodic dielectric strcutures. Phys. Rev. Lett. 65, 3152-3155 (1990).

[29] Xia, Y. & Whitesides, G. M. Soft lithography. Angew. Chem. Int. Edn Engl. 37, 550-575 (1998).■

7- تنشيط اهتزاز الكرة C_{60}.*

لاتفتن الكرات النشطة والمرتدة أنصار كرة القدم أو كرة السلة فقط، بل تفتن أيضاً بعض العلماء المتخصصين بالعلوم النانويّة. يصف بارك Park وزملاؤه [1] تنشيط حركة أصغر كرة قدم يمكن الحصول عليها، وهي جزيء C_{60} قطره 0.7 نانومتر. يتكوّن جزيء C_{60}، مثل جميع كرات القدم التقليدية، من اثني عشر خماسي الأضلاع محاطة جميعها بعشرين سداسي الأضلاع [2]. وبغض النظر عن حجم الكرة فإن للهندسة الكروية دائماً العدد نفسه من مختمسات ومسدّسات.

دُرِس في السنوات الخمس عشرة الأخيرة منذ اكتشاف C_{60} العديد من خواصه الكيميائية والإلكترونية والفيزيائية [2]. وأضافت تجارب بارك وزملائه إلى هذه القائمة الخواص الميكانيكية [1]. وما يفعلونه في C_{60} يشبه تماماً ما يفعله الآخرون في الكرة، إذ يجعلونه يَقفز على سطح ما إلى الأعلى وإلى الأسفل. إن التحكم في حركة الأجسام النانوية مسألة مهمة في حقل التقانة النانوية. وبينما يُهمَل في العالم الجهري انتقال الطاقة من كرة المضرب (التنس) المرتدة عن السطح، فإنه لايمكن في القياس النانومتري تجاهل طاقة الإلكترونات المتحركة في المادة. فيمكن في الأجسام النانوية أن يكون الاقتران بين السلوكين الإلكتروني والميكانيكي كافياً لجعل الجزيء يتحرك، بغضّ النظر عن كون كتلة الجزيء أكبر بكثير بالمقارنة مع كتلة الإلكترونات.

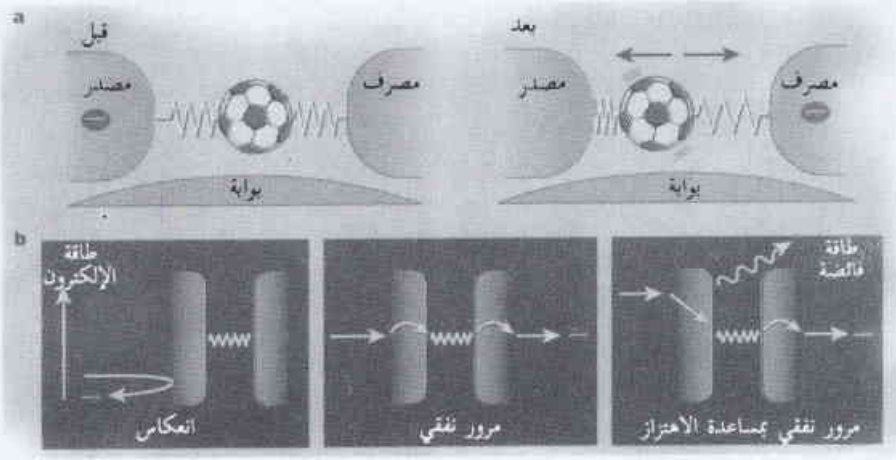
يعني التحكّم الميكانيكي في الأجسام النانوية القياس نسخاً من البنى الإلكتروميكانيكية المكروية (MEMS) الموجودة أصغر وأسرع وأكثر كفاءة، مثل مقياس التسارع الذي يطلق الوسادة الهوائية في المركبات. لقد قدّم شواب Schwab وزملاؤه مثالاً جيداً على أبحاثهم في البنى الإلكتروميكانيكية النانوية، إذ صنّعوا جسوراً نانوية القياس من السليكون تستطيع نقل الحرارة من خلال اهتزازات ذرّية نوعية. والأسلوب الذي اتبعه بارك وزملاؤه هو استخدام الحركة الطبيعية للجزيئات التي تكون ضعيفة الارتباط بسطح من الذهب.

لقد نجح بارك وزملاؤه في اعتبارين أو شيئين. الأول هو تصنيع ترانزستور ثلاثي الإلكترود من جزيء مفرد من C_{60}. وكما في ترانزستورات أثر الحقل السليكونية العادية، فإن الفولطية عند إلكترود "البوابة" تتحكم في جريان التيار من إلكترود "المنبع" خلال الجزيء C_{60} إلى إلكترود "المصرف" (الشكل 1a). الحقيقة أن هذا أصغر ترانزستور أثر الحقل تم بناؤه حتى الآن. يسمح الحجم الصغير لـ C_{60} لإلكترون واحد فقط في كل مرة أن يقفز أو يعبر نفقياً الجزيء بشكل متقطع. وهذا يعني بأن النبيطة تسمى "ترانزستور وحيد الإلكترون". والثاني هو أن التيار

* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol.407, 7 September 2000. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

وحيد الإلكترون يمكن أن يثير ويكشف الاهتزازات الميكانيكية للكرة C_{60}. ولفهم هذا الاقتران الإلكترومیكانيكي نحتاج أن نأخذ بعين الاعتبار الطاقات المستخدمة في عمليات العبور النفقي المختلفة (الشكل 1b).



الشكل 1– كيف يمكن بناء ترانزستور من جزيء C_{60} وحيد. a: يمكن تصور ترانزستور C_{60} ككرة قدم مرتبطة بنابضين إلى إلكترودين من الذهب. تكون الكرة C_{60} في البداية في حالة الراحة ويكون إلكترون واحد عند إلكترود المنبع. وبعد أن يعبر الإلكترون نفقياً الكرة C_{60} إلى إلكترود المصرف فإنه يثير C_{60} بدرجة تكفي لجعل الكرة الجزيئية تنشط ذهاباً وإياباً بين الإلكترودين. b: احتمال حدوث عملية عبور نفقي إلكتروني خلال الترانزستور، وذلك حسب طاقة الإلكترون القادم. يجب أن تكون طاقة الإلكترون صحيحة لحدوث العبور النفقي الإلكتروني: وإذا كانت الطاقة عالية جداً أو منخفضة جداً فإن الإلكترون ينعكس. ولكن إذا أمكن جعل الكرة C_{60} تهتز فإنها يمكن أن تساعد في حدوث عملية العبور النفقي، كما بيّن بارك وزملاؤه ذلك في نبيطتهم.

يحتاج الإلكترون للقفز على الجزيء أن تكون طاقته بالقدر الصحيح ليشغل الحالة الجزيئية المتقطعة. تؤدي الطاقة القليلة جداً إلى انعكاس الإلكترون، وهي الحالة التي لاتسهم في حدوث التيار. وإذا ما كان الإلكترون يملك مقدار الطاقة المضبوط لشغل الحالة الجزيئية الأخفض غير المشغولة، فيمكنه أن يقفز بشكل متقطع معطياً تياراً كهربائياً. وإذا كان مقدار الطاقة أكبر بكثير فإن ذلك يقود الإلكترون إلى الانعكاس. ولكن يوجد في الميكانيك الكمومي عملية إضافية إذ يمكن للإلكترون أن يعبر نفقياً الجزيء بسبب وجود التأرجحات التي لايمكن اجتنابها حتى في درجة حرارة الصفر. وإذا كان الإلكترون يملك مقدار طاقة فائضة تساوي تماماً الطاقة الاهتزازية لـ C_{60}، فيمكنه بالإصدار التلقائي لهذه الطاقة الفائضة، التي تبدأ فيها كرة C_{60} في النشاط، أن يقفز بشكل متقطع على الجزيء. تضبط الفولطية المطبقة في نبيطة بارك وزملائه الطاقة الفائضة للإلكترون. وهكذا يدل الحدوث المفاجيء للتيار عند فولطية خاصة على أن الكرة C_{60} قد أصبحت تهتز.

إن الذي يحدّد غالباً سعة وتواتر كرة تلاعبها بيديك على سطح ما هو مرونة هذه الكرة والقوى الناشئة من الثقالة ومن اليدين. وقد تم اختبار حالة مماثلة بالكرة C_{60}. إن القوة التي تجعل الجزيء يلتصق على سطح إلكترودات الذهب هي تآثر فان درفالس. وهذا الالتصاق لايكون جاسئاً تماماً. تلعب الإلكترونات التي تثب على الكرة C_{60} دور اليدين جاعلة الجزيء يتحرك. ولكن القفزات لاتحصل إلاّ عند تواترات معينة نظراً للتكميم الذي يفرضه ميكانيك الكم. يكون تواتر التنشيط عندما لايتشوه شكل الكرة C_{60} حوالي تيراهرتز واحد. ولكن إذا كان لصدم الإلكترونات طاقة أكبر بحيث ينبجح الشكل، فإن سرعة التنشيط تزداد عشرة أضعاف، وقد وجد بارك دليلاً على كلا النوعين من الحركة.

لتحقيق وثبات منتظمة في لعبة كرة السلة يجب أن يكون طور حركة اليد متوافقاً مع طور حركة الكرة. لم تَقِس تجربة بارك وزملائه ولم تضبط أيضاً الطور بين حركات الإلكترونات والجزيء C_{60}. ولكن تنبأت تحت ظروف نوعية أنه في الوقت الذي تكون فيه الكرة C_{60} قريبة جداً من إلكترود المنبع، فإن إلكتروناً يمكن أن يثب وأنه عندما يصل الإلكترون إلى إلكترود المصرف فإنه يبتعد [4]. وإذا ما عبر إلكترون واحد أثناء كل دورة من اهتزاز C_{60} فإن، التيار الكهربائي يصبح أيضاً مكمّماً بسبب تكميم تواتر اهتزاز C_{60}. يمكن أن تلعب النبائط الإلكترونية التي تكون فيها الحركة الإلكتروميكانيكية مقرونة تماماً بهذه الطريقة دور "الباب الدوّار الإلكتروني" الذي يسمح للإلكترونات أن تمر فُرادى. إن النبائط التي تكون فيها الإلكترونات واقعة تحت تحكّم مُحْكم يكون لها دور لأن تقدم وسيلة لقياس التيار الكهربائي بدقة قصوى [5].

المراجع REFERENCES

[1] Park, H, et al. Nature 407, 57-60 (2000).

[2] Dresselhaus, M. S., Dresselhaus, G. & Eklund, P.C. (eds) Science of Fullerenes and Carbon Nanotubes (Academic, San Diego, 1996).

[3] Schwab, K., Henriksen, E. A., Worlock, J. M. & Roukes, M.L. Nature 404, 974-977 (2000).

[4] Gorelik, L.Y. et al. Phys. Rev. Lett. 80, 4526-4529 (1998).

[5] Keller, M. W., Eichenberger, A. L., Martinis, J. M. & Zimmerman, N. M. Science 285, 1706-1709 (1999).■

☆ ★ ☆

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

ورقات البحوث

الطبيعة الموجية لشذوذ أقطار الشحنة في نظائر الرصاص*

سامي حداد، سهيل سليمان
قسم الفيزياء – هيئة الطاقة الذرّية السورية – ص.ب 6091 – دمشق – سورية

ملخص

تتم مقارنة نتائج حسابات نظائر الرصاص باستخدام نظرية الحقل الوسطي النسبوي، مع النتائج التي يتم الحصول عليها من التقريبات شبه التقليدية لهذه النظرية، وذلك باستخدام مجموعة وسطاء الاقتران ذاتها. تفسر المعالجات شبه التقليدية الانزياح الوسطي في أنصاف الأقطار التربيعية لتوزعات الشحنة في نظائر الرصاص، ولكن ليس الكسر الشاذ.

الكلمات المفتاحية: نظرية الحقل الوسطي النسبوي، التقريبات شبه التقليدية، نظائر الرصاص.

المدخل

تستطيع نظرية الحقل الوسطي النسبوي RMF، باستخدام عدد محدود من الوسطاء، إعطاء وصف كمّي لخواص الحالة الدنيا للنوى الكروية أو المفلطحة، القريبة من خط الاستقرار أو البعيدة عنه [1].

استطاعت هذه النظرية تفسير الكسر الشاذ الملاحظ في أنصاف الأقطار التربيعية لتوزعات الشحنة في نظائر الرصاص [2,3]، وذلك باستخدام مجموعة وسطاء الاقتران اللاخطية NL-SH الواردة في المرجع [2].

في هذا العمل يتم حساب نظائر الرصاص باستخدام تقريب توماس فيرمي النسبوي TF، وتقريب توماس فيرمي النسبوي المعمَّم ETF، ومجموعة وسطاء الاقتران NL-SH. تتم البرهنة على الطبيعة الموجية لشذوذ أقطار الشحنة في نظائر الرصاص بمقارنة نتائج هذه التقريبات شبه التقليدية مع نتائج حسابات RMF الموجية، والتي تستخدم مجموعة وسطاء الاقتران ذاتها.

التقريبات شبه التقليدية لنظرية الحقل الوسطي

تتم إضافة الحدود اللاخطية التي تستخدمها نظرية الحقل الوسطي النسبوي إلى تقريب توماس فيرمي الوارد في المرجع [4]، وذلك بالاستعاضة عن الكثافة السلّمية ρ_s بكثافة سلّمية معدّلة ρ_{ms} معطاة بالعلاقة:

$$\rho_{ms}(r) = \rho_s + \frac{g_2}{g_\sigma^3}\Sigma_s^2 + \frac{g_3}{g_\sigma^4}\Sigma_s^3$$

حيث g_2 و g_3 ثابتا الاقتران اللاخطي، g_σ ثابت اقتران الميزون σ، وΣ_s المركبة السلّمية للطاقة الذاتية.

أما تقريب توماس فيرمي المعمَّم، فيتم الحصول عليه بإضافة التصحيحات من الدرجة الثانية على تقريب توماس فيرمي، كما ورد في المرجع [4].

أنصاف أقطار الشحنة في نظائر الرصاص

يتم حساب نظائر الرصاص باستخدام تقريب توماس فيرمي النسبوي TF، وتقريب توماس فيرمي النسبوي المعمَّم ETF، ومجموعة وسطاء الاقتران NL-SH المأخوذة من المرجع [2]. يضم الجدول 1 مجموعة وسطاء الاقتران هذه مع خواص الإشباع النووي الناتجة من استخدامها. ويقارن الجدول 2 نتائج هذه الحسابات مع نتائج المرجع [2] والنتائج التجريبية.

الجدول 1– مجموعة وسطاء الاقتران اللاخطية NL-SH المأخوذة من المرجع [2]، مع خواص الإشباع النووي الناتجة من استخدامها. كتلة النكليون المستخدمة $m_N = 939$ MeV. ρ_0 كثافة الإشباع، a_v الطاقة الحجمية، K اللاانضغاطية، و M الكتلة المختزلة عند كثافة الإشباع.

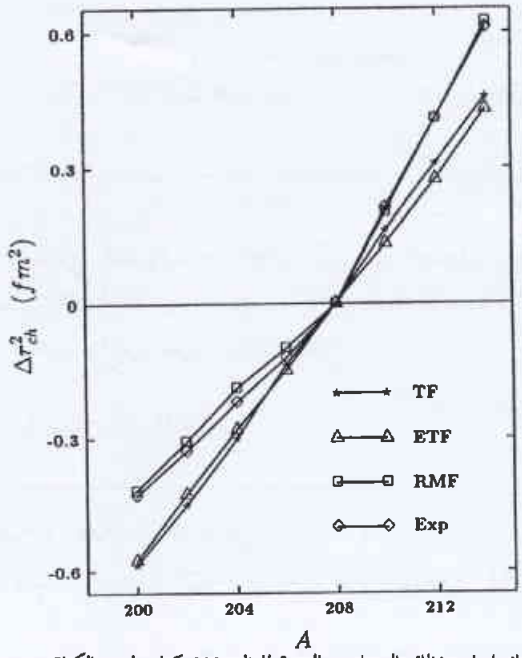
الميزون	σ	ω	ρ
Mass (MeV)	526.059	783	763
g	10.4436	12.9451	4.3828
g_2(fm^{-1})	−6.9099		
g_3	−15.8337		
ρ_0(fm^{-3})	a_v(MeV)	K(MeV)	M/m_N
0.146	−16.346	355.36	0.60

الجدول 2– نتائج حسابات أنصاف الأقطار التربيعية لتوزعات الشحنة ولطاقات ارتباط النكليون الواحد في نظائر الرصاص باستخدام مجموعة وسطاء الاقتران NL-SH المعطاة في الجدول 1. يقارن الجدول نتائج التقريبات شبه التقليدية، TF و ETF، مع نتائج الحسابات الموجية RMF، والنتائج التجريبية.

	r_{ch}(fm)				B/A(MeV)			
A	TF	ETF	RMF	Exp.	TF	ETF	RMF	Exp.
200	5.537	5.493	5.469	5.464	−7.788	−7.612	−7.888	−7.882
202	5.550	5.507	5.479	5.473	−7.772	−7.602	−7.889	−7.882
204	5.563	5.519	5.490	5.483	−7.769	−7.600	−7.888	−7.880
206	5.577	5.532	5.498	5.492	−7.747	−7.601	−7.884	−7.875
208	5.590	5.545	5.507	5.503	−7.734	−7.585	−7.874	−7.868
210	5.604	5.558	5.525	5.522	−7.716	−7.573	−7.838	−7.836
212	5.618	5.570	5.544	5.540	−7.691	−7.567	−7.797	−7.804
214	5.631	5.583	5.563	5.558	−7.671	−7.549	−7.759	−7.772

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Physica Scripta*, Vol.60, 1999. هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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



الشكل 1- انزياحات نظائر الرصاص بالنسبة للنظير 208 كتابع لعدد الكتلة A. يقارن الشكل نتائج التقريبات شبه التقليدية، TF و ETF، مع نتائج الحسابات الموجية RMF، والنتائج التجريبية.

يظهر الشكل 1 انزياحات نظائر الرصاص بالنسبة للنظير 208. تستطيع نظرية الحقل الوسطي النسبوي باستخدام مجموعة وسطاء الاقتران NL-SH تفسير الكسر الشاذ في هذه الانزياحات، بينما تفشل التقريبات شبه التقليدية في فعل ذلك، رغم استخدامها لمجموعة وسطاء الاقتران نفسها. تؤدي المعالجة الموجية إلى كسر في أنصاف الأقطار التربيعية لتوزعات كثافة النترونات. ويؤدي الترابط البروتوني - النتروني الناتج من تبادل الميزون ρ إلى حدوث كسر أيضاً في أنصاف الأقطار التربيعية لتوزعات كثافة البروتونات، وبالتالي توزعات كثافة الشحنة. للتقريبات شبه التقليدية مفعول تمسيح للسويات الموجية المختلفة، ولذلك فهي تستطيع تفسير الانزياح الوسطي بالنسبة للنظير 208، ولكن ليس الكسر.

النتيجة

تستطيع نظرية الحقل الوسطي النسبوي باستخدام مجموعة وسطاء الاقتران NL-SH تفسير الكسر الشاذ في انزياحات نظائر الرصاص، بينما تفشل التقريبات شبه التقليدية في ذلك. للتقريبات شبه التقليدية مفعول تمسيح للسويات الموجية المختلفة، ولذلك تستطيع هذه التقريبات تفسير الانزياح الوسطي، ولكن ليس الكسر.

المراجع

REFERENCES

[1] M. M. Sharma, M. A. Nagarajan, and P. Ring: Phys. Lett. B312, 377 (1993).

[2] M. M. Sharma, G. A. Lalazissis, and P. Ring: Phys. Lett. B317, 9 (1993).

[3] N. Tajima, P. Bonche, H. Flocard, P. H. Heenen, and M. S. Weiss: Nucl. Phys. A551, 434 (1993).

[4] S. Haddad and M. K. Weigel: Nucl. Phys. A578, 471 (1994).

[5] M. M. Sharma, G. A. Lalazissis, J. Knig, and P. Ring: Phys. Rev. Lett. 74, 3744 (1995).■

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

خلايا شمسيّة على أساس المركب $CuGaSe_2$ بمردود قدره 9.7%*

معين سعد
قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية
هـ . ريازي، ي. بوخر، م. ك. لوكس - شتاينر
جامعة كونستانس - كلية الفيزياء - ص.ب 5560 - كونستانس - ألمانيا

ملخص

حُضّرت وصلات غير متجانسة من $ZnO/CdS/CuGaSe_2$ من أجل استخدامها في مجال الفولطيات الضوئية. أدى تحسين بنى هذه النبيطة إلى الحصول على أعلى مردود في تحويل الطاقة للخلايا الشمسيّة، على أساس المركب $CuGaSe_2$ أحادي البلّورة. في درجة حرارة الغرفة، وتحت إسقاط ضوء شمسي محاكى AM 1.5، شدته $100\ mW/cm^2$، تم قياس أعلى مردود وهو 9.7%، معطى بفولطية دارة مفتوحة قدرها $V_{oc}=946\ mV$ و بكثافة تيار دارة قصيرة قدرها $J_{sc}=15.5\ mA/cm^2$ وبعامل امتلاء قدره $ff=66.5\%$.

نشرح في هذه الورقة طريقة تحضير الخلية وقياس كفاءتها، حيث تم قياس وتحليل مميزات التيار – التوتر تبعاً لشدة الضوء ودرجة الحرارة و الاستجابة الضوئية، كما تم قياس التيار المحرض بواسطة حزمة الإلكترونات، من أجل الحصول على وسطاء الخلية وعوامل آلية الفَقْد.

يلعب العبور النفقي، الذي يتم بشكل رئيسي عبر عيوب في طبقة CdS، دوراً هاماً في آلية النقل. تم استنتاج تأثيرات الحقن العالي للشحنات على عمل الخلية عند انحياز أمامي $V>0.5\ V$ أو تحت تأثير شدة الإنارة $P>10\ mW/cm^2$. في هذه الحالات، وفي درجات الحرارة المنخفضة تبدأ المقاومة المتسلسلة غير المعدومة بالتأثير على مميزات التيار – التوتر. وفي كل الحالات تكون تأثيرات المقاومة المتفرعة مهملة.

الكلمات المفتاحية: الفوتوفولطية، الخلايا الشمسية، مركبات شالكوبيريت، $Cu\ Ga\ Se_2$.

إن إمكانية استخدام مركبات شالكوبيريت $I\text{-}III\text{-}VI_2$ chalcopyrites لتحضير خلايا شمسيّة، معروفة منذ وقت طويل، ولا يزال العمل على تحسين مردود الخلايا قيد التطور. يُعدّ مركب $CuGaSe_2$، بسبب عامل الامتصاص العالي وفرجة الطاقة $E_g=1.68\ eV$، من المركبات الواعدة في هذا المجال، ولا سيما استخدامه في تحضير خلايا ذات توتر مرتفع للدارة المفتوحة، وأيضاً كخلية عليا في منظومات الخلايا المتسلسلة.

لقد حُضّرت حتى الآن نبائط شوتكي [1]، و وصلات غير متجانسة على أساس مركب $CuGaSe_2$ أحادي البلّورة [2,3,4,5]. كما تم تحضير رقائق متعددة البلّورات [6,7,8,9,10,11]، وكان أعلى مردود وصل إليه الباحثون هو 6.7% [5]. تبدو كل قيم المردود المنشورة ضئيلة مقارنةً بالمردود النظري لخلية مثالية على أساس $CuGaSe_2$ [12]. من أجل كثير من النبائط المحضّرة على أساس $CuGaSe_2$ أحادي البلّورة، يمكن ربط المردود المنخفض نسبياً بالتركيز العالي للثقوب في المركب $CuGaSe_2$ [1,2]، علاوة على ذلك، فإن العبور النفقي في البنية $ZnO/CdS/CuGaSe_2$ الذي يتم بشكل رئيسي عبر عيوب في طبقة CdS، يؤدي إلى انخفاض المردود [5]، كما وُجد أن التلدين الحراري عند درجات حرارة معتدلة يؤدي إلى تحسين مردود البنية، مما يؤكد أهمية الدور الذي يلعبه الانتشار المتبادل عبر السطح البيني في الحد من العبور النفقي.

نعرض في هذه الورقة شروطاً جديدة لتحضير خلية شمسية ذات مردود عالٍ على أساس بلّورة $CuGaSe_2$، حيث نوجه اهتمامنا إلى تقليل تركيز الثقوب في طبقة $CuGaSe_2$ قرب السطح البيني. كما نهدف إلى تحليل آلية العبور النفقي في البنية $ZnO/CdS/CuGaSe_2$ إضافةً إلى شرح ومناقشة مميزات التيار – التوتر تبعاً لشدة الضوء و درجة الحرارة، وشرح نتائج قياسات الاستجابة الضوئية والتيار المحرض بواسطة حزمة الإلكترونات.

التجارب والمناقشة

خواص المواد وتحضير النبيطة

من أجل تطوير الخلايا الشمسيّة ذات البنية $ZnO/CdS/CuGaSe_2$، تم تحضير بلّورات من مركّب $CuGaSe_2$ بطريقة النقل الكيميائي في الطور الغازي chemical vapor phase transport في أنبوب مغلق، باستخدام اليود كوسيط نقل؛ وكان المركب $CuGaSe_2$ قد حُضّر بتفاعل العناصر Cu، Ga، Se عند درجة الحرارة 950°C ولمدة 10 أيام، داخل

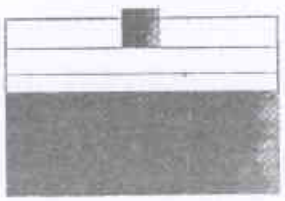
* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Applied Physics* A 1996. مراجعة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

أنبوب كوارتز مفرّغ من الهواء، ثم وُضِعَ المركب الناتج مع 3 mg/cm³ من اليود في أنبوب جديد من الكوارتز، وتم تفريغه إلى ضغط قدره 10^{-5}mbar ومن ثم لحمه. بعد ذلك، وُضِعَ الأنبوب تحت تأثير تدرج حراري صغير عند 745°C، وبعد 7 أسابيع نما داخل الأنبوب عدد كبير من البلّورات ذات وجوه بلّورية لامعة و أبعاد متوسطة قدرها $10 \times 4 \times 1\ mm^3$. كانت جميع البلّورات المحضّرة ذات ناقلية مانحة، وبلغ تركيز الثقوب حوالي $10^{17}\ cm^{-3}$، وبلغت قيمة الحركية 40 cm^2/Vs عند درجة حرارة الغرفة.

من أجل تحضير خلية شمسية من بلّورة $CuGaSe_2$ تم تنميش هذه الأخيرة بمحلول NH_3 بتركيز قدره 10% ومن ثم غسلها بالماء الخالي من الأيونات. تلا ذلك تلميع البلّورة كيميائياً بمحلول من البروم والميتانول، ومن ثم غُسِلت بالماء الخالي من الأيونات.

يبيّن الشكل 1 البنية الكاملة للنبيطة. في البدء تم تبخير طبقة رقيقة من الذهب على السطح الخلفي للبلّورة، بحيث تكون وصلة p-n على الوجه البلّوري $(\bar{1}\bar{1}2)$. ومن ثم رُسِبت طبقة رقيقة من CdS بطريقة الترسيب الكيميائي [14] بعد تعديلها، وتم الترسيب بغمر البلّورة في خليط يحتوي المحاليل التالية: $CdCl_2$ بتركيز قدره 0.015 M، NH_4Cl بتركيز قدره 0.043 M، NH_3 بتركيز قدره 2 M، و $SC(NH_2)_2$ بتركيز قدره 0.4 M عند درجة حرارة بين 70-75°C، وقد تم تحريك الخليط بواسطة مغنطيس أثناء الترسيب. بعد عدة دقائق ترسّبت على البلّورة طبقة رقيقة متجانسة من CdS تبلغ ثخانتها عدة عشرات من النانومترات، عند ذلك تم سحب البلّورة خارج المحلول، ثم غُسِلت بالماء الخالي من الأيونات.



الشكل 1- بنية الخلية على أساس $CuGaSe_2$.

كانت طبقة CdS المترسّبة ذات مقاومة عالية في الظلام ($\rho_{ظلام} \approx 500\ \Omega cm$)، وناقلية ضوئية منخفضة (تحت إسقاط ضوء شدته 83 mW/cm^2، $\rho_{إضاءة} = 0.6\ \rho_{ظلام}$).

من أجل تحضير وصلة ذات ناقلية ونفوذية عاليتين، تم ترسيب طبقة ZnO ذات مقاومة قدرها $3 \times 10^{-3}\ \Omega\ cm$ بطريقة رشرشة المغنطرون ذي التواتر الراديوي rf-magnetron sputtering، ثم حُضِرت وصلة أومية على طبقة ZnO بتبخير معدن الإنديوم، وتم وصل الخلية كهربائياً بواسطة أسلاك من الذهب ولاصق من الفضة، ومن أجل تخفيف الانعكاس على سطح الخلية تم تبخير طبقة من MgF_2 على الطبقة العليا منها، وأخيراً أُجريت عملية التلدين الحراري للخلية بدرجة 200°C.

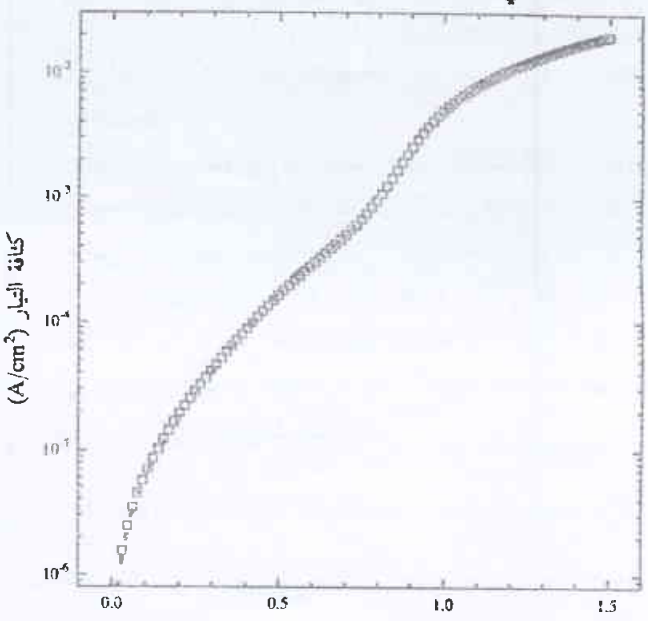
مواصفات النبيطة

أُجريت قياسات التيار - التوتر في الظلام وحللت وفق المعادلة العامة للنبيطة:

$$J(V) = J_0\left(e^{q(V - JR_s)/nkT} - 1\right) + \frac{V - JR_s}{R_{sh}}, \qquad (1)$$

حيث تمثل J_0 كثافة تيار الإشباع، R_s المقاومة المتسلسلة، n عامل جودة النبيطة و R_{sh} المقاومة المتفرعة. وفي كل مايلي من اعتبارات يمكن إهمال الحد الثاني من الطرف الأيمن للمعادلة (1) لأن المقاومة المتفرعة ذات قيمة عالية جداً.

يبيّن الشكل 2 مميز التيار - التوتر للخلية عند درجة حرارة الغرفة، وفي الانحياز الأمامي.



الشكل 2- مميز التيار - التوتر في الانحياز الأمامي عند درجة حرارة الغرفة. تمثل □ نقاط القياس، بينما تمثل (-) الملاءمة للحصول على قيم تيار الإشباع J_0 وعامل جودة النبيطة n كما هو موضح في النص.

أدى تحليل المميز إلى النتائج التالية:

في المجال $V < 0.7\ V$ لاتؤثر المقاومة المتسلسلة R_s على مميز النبيطة، ويكون لكثافة تيار الإشباع قيمة تعادل $J_0 = 6.3 \times 10^{-3}\ mA/cm^2$، ولعامل جودة النبيطة قيمة تعادل $n = 5.9$. نتج من تحليل قياسات التيار - التوتر تبعاً لدرجة الحرارة، أن هذه القيمة العالية لعامل الجودة مرتبطة مع آلية نقل التيار التي يلعب فيها العبور النفقي دوراً أساسياً [5].

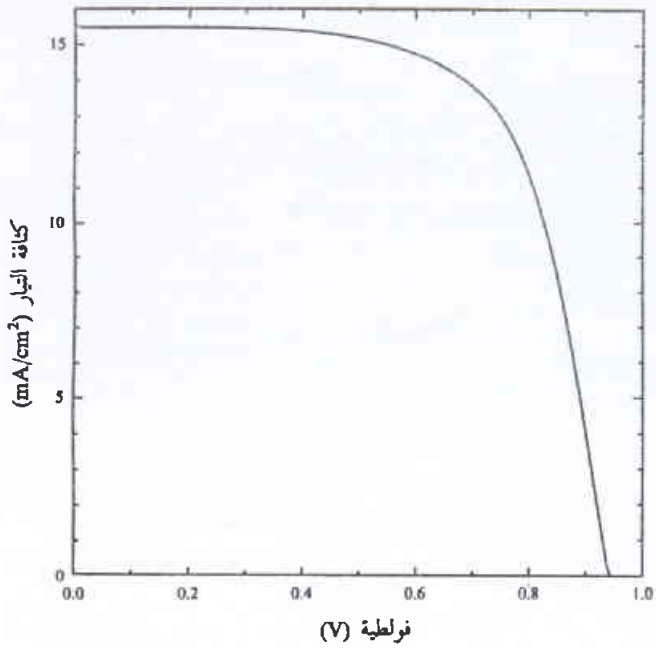
في مجال الفولطيات الأعلى يكون لعامل جودة النبيطة قيمة تعادل $n = 2$ بسبب الحقن العالي للشحنات (الذي يحدث عادةً من أجل $V > 0.7\ E_g/q$ [15]). إن الحقن العالي للشحنات إضافةً إلى تأثير المقاومة المتسلسلة ($R_s = 28\ \Omega\ cm^2$) يؤدي إلى تسطيح المميز في هذا المجال.

في الشكل 3 - وكما هو مجدول في (ISE PV-Charts) [16] - تعطي هذه الخلية في شروط القياس النظامية (تحت تأثير طيف الشمس

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

AM 1.5 ذي الشدة $P_{in} = 100 mW/cm^2$) كثافة تيار دارة قصيرة قدرها $J_{sc} = 15.5\ mA/cm^2$، وفولطية دارة مفتوحة قدرها $V_{oc} = 946\ mV$ وعامل امتلاء قدره $ff = 66.5\%$. هذه القيم تؤدي إلى مردود قدره

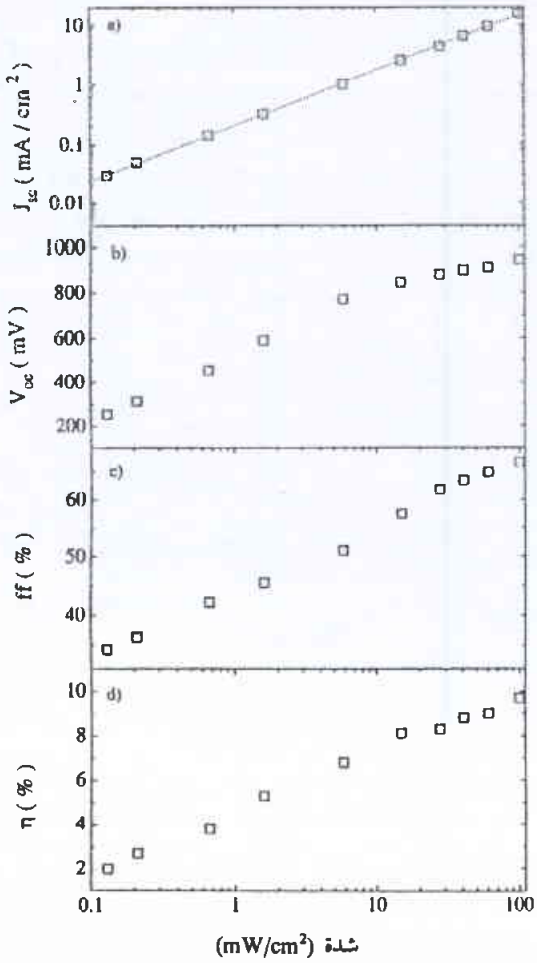
$$\eta = \frac{J_{sc} V_{oc} ff}{P_{in}} = 9.7\%, \qquad (2)$$



الشكل 3– مميز التيار – التوتر للخلية الشمسية $ZnO/CdS/CuGaSe_2$ تحت تأثير طيف الشمس AM 1.5 ذي الشدة $P_{in} = 100\ mW/cm^2$ عند درجة حرارة الغرفة.

وهو أعلى مردود للخلايا الشمسية، على أساس المركب $CuGaSe_2$ أحادي ومتعدد البلّورات، نُشِرَ حتى الآن، وقد قيست الوسطاء الفوتوفولطية بتابعية شدة الضوء المُسقَط على الخلية (الشكل 4a-d). مع افتراض وجود انزياح ثابت (غير تابع للتوتر) للمميزين في الظلام وتحت تأثير الضوء، فإن كثافة تيار الدارة القصيرة يجب أن تزداد بشكل خطي مع ازدياد شدة الضوء. تُبيّن النتائج التجريبية في الشكل 4a أن هذا محقق، وبالتالي فإن فولطية الدارة المفتوحة يجب أن تزداد مع ازدياد شدة الضوء وفق $\ln (J_{sc}/J_0)$، كما تُظهِر النتائج التجريبية لفولطية الدارة المفتوحة (الشكل 4b) تغيّراً في ميل V_{oc} بتابعية لوغارتمية شدة الضوء، عند شدة قدرها $10\ mW/cm^2$، مما يشير إلى تأثيرات معقّدة في حالة الحقن العالي مثل انخفاض التوتر عبر منطقة النضوب.

يرتفع عامل الامتلاء بشكل مستمر مع ازدياد شدة الضوء (الشكل 4c)، ويكون تابعاً مثالياً لفولطية الدارة المفتوحة في شدات الضوء المنخفضة فقط، بينما يؤدي تأثير المقاومة المتسلسلة في شدات الضوء العالية إلى خفض قيمة عامل الامتلاء. نتيجة لسلوك هذه الوسطاء يرتفع مردود الخلية بشكل مستمر مع ارتفاع شدة الضوء، ولا يصل إلى قيمة عظمى في شدات الضوء التي استُخدِمت (الشكل 4d).



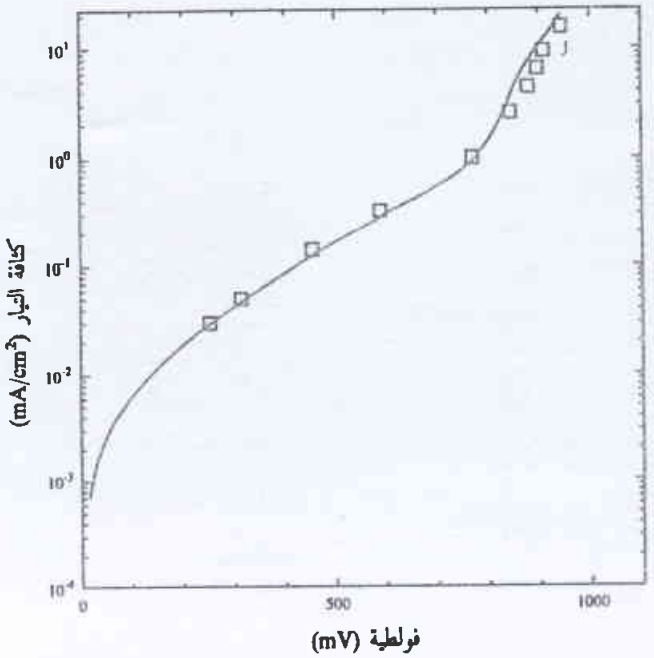
الشكل 4– تابعية الوسطاء الفوتوفولطية للخلية الشمسية $ZnO/CdS/CuGaSe_2$ لشدة الضوء: (a) كثافة تيار الدارة القصيرة. (b) فولطية الدارة المفتوحة. (c) عامل الامتلاء. (d) المردود.

نجد في الشكل 5 تابعية $J_{sc}(V_{oc})$ كنقاط مقارنة مع مميز الخلية في الظلام بعد تصحيحه من تأثير المقاومة المتسلسلة في مجال الفولطية $V > 0.7\ V$. في شدات الضوء المنخفضة أو في مجال الفولطية المنخفضة تنطبق نقاط $J_{sc}(V_{oc})$ على مميز الخلية في الظلام، مما يؤكد صلاحية مبدأ التراكب. إن كثافة تيار الإشباع وعامل جودة النبيطة لايتغيران، مما يشير إلى عدم تغير آلية النقل في هذا المجال. من أجل فولطيات أعلى من 800 mV ترتفع كثافة التيار بشكل كبير بسبب الحقن العالي للشحنات الذي ينشأ نتيجة الحقل الكهربائي أو شدة الضوء العالية، ولاتنطبق نقاط $J_{sc}(V_{oc})$ على مميز الخلية في الظلام بسبب تابعية المقاومة المتسلسلة لشدة الضوء.

يبيّن الشكل 6a-d تابعية الوسطاء الفوتوفولطية لدرجة الحرارة. تم القياس باستخدام مصباح هالوجين ذي الشدّة الضوئية $10\ mW/cm^2$ تقريباً. نرى في الشكل 6a ارتفاع قيمة فولطية الدارة المفتوحة V_{oc} مع انخفاض درجة الحرارة بميل قدره $-2.15\ mV/K$. يؤدي استقراء قيم فولطية الدراة المفتوحة إلى 0 K إلى قيمة عتبة قدرها 1.49 eV. إن هذه

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

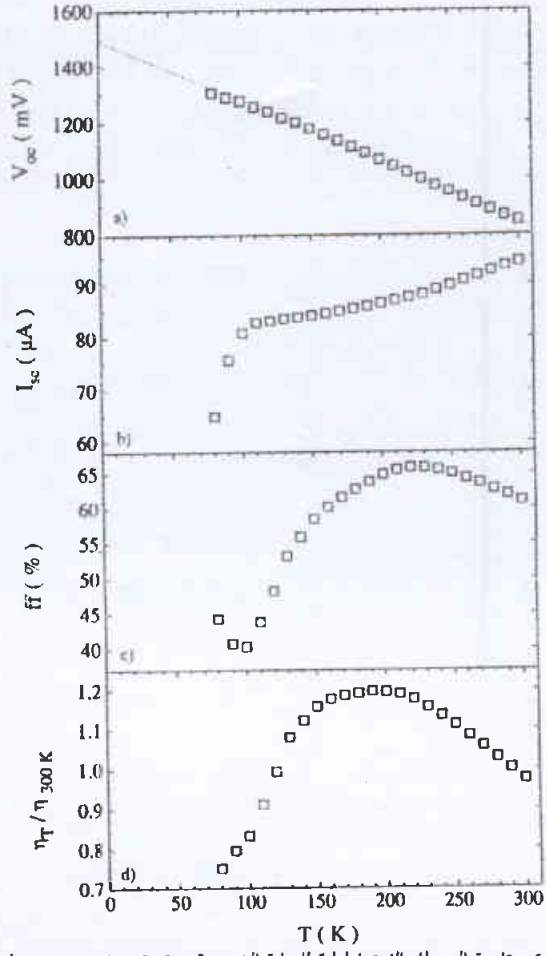
القيمة هي أصغر بقليل من فرجة الطاقة لمركب $CuGaSe_2$ (في هذه الدرجة من الحرارة) [17].



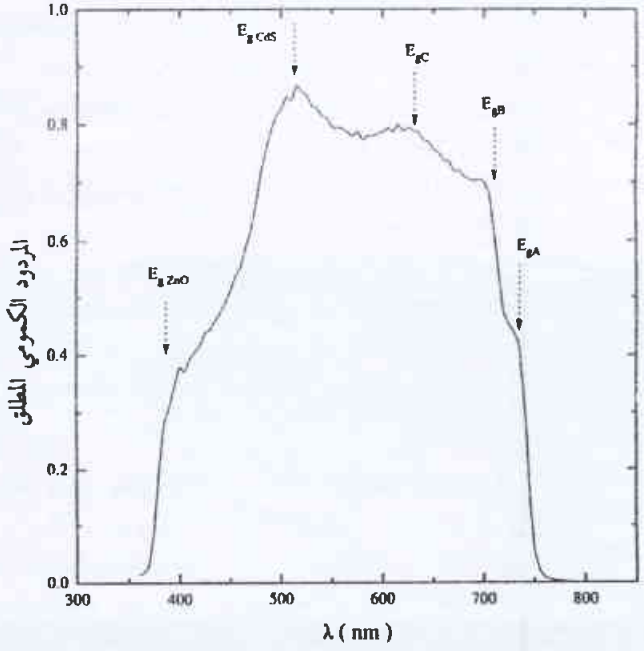
الشكل 5– مقارنة بين مميز التيار – التوتر في الظلام ونقاط تابعية كثافة تيار الدارة القصيرة لفولطية الدارة المفتوحة تحت تأثير الضوء.

تعتمد كثافة تيار الدارة القصيرة J_{sc} على عمر الشحنات الذي يتأثر، في حالتنا هذه، بمراكز إعادة اتحاد الشحنات في طبقة CdS [5]، وبالتالي فإن كثافة تيار الدارة القصيرة J_{sc} تنخفض مع انخفاض درجة الحرارة (الشكل 6b)، وتلعب التأثيرات الأخرى، كارتفاع حركية الإلكترونات في مركب $CuGaSe_2$ في درجات الحرارة المنخفضة، دوراً ثانوياً. ويكون عامل الامتلاء أعظمياً عند درجة حرارة 200 K تقريباً (الشكل 6c)، ويرتفع في مجال درجات الحرارة العالية مع انخفاض درجة الحرارة، وهنا يمكن إهمال تأثير المقاومة المتسلسلة، في حين لا يمكن ذلك في درجات الحرارة $T < 200$ K، حيث ترتفع المقاومة المتسلسلة ($R_s > 150\ \Omega\ cm$) وتكون العامل الأساسي الذي يؤدي إلى انخفاض عامل الامتلاء. ونتيجة لذلك يصبح المردود أعظمياً في درجة الحرارة 190 K، محققاً العلاقة $\eta = 1.2\eta_{300\ K}$ (الشكل 6d).

إضافةً إلى ذلك، أُجريت قياسات الاستجابة الطيفية على بنية الخلية. يبين الشكل 7 المردود الطيفي الكمومي عند درجة حرارة الغرفة، وقد تم حساب هذا المردود بإجراء تكامل حاصل ضرب الاستجابة الطيفية مع طيف الشمس AM 1.5، ومعايرة كثافة التيار الناتج بحيث تتوافق مع كثافة تيار الدارة القصيرة المعطاة في الشكل 3 . يمكن شرح سلوك المردود الطيفي الكمومي بالاستعانة بفرجات الطاقة للمركّبات المشاركة في البنية: $ZnO, CdS, CuGaSe_2$، كما هو مبين في الشكل 1، مع العلم أن لمركب $CuGaSe_2$ ثلاث فرجات للطاقة بسبب انشطار سوية العصابة التكافئية الناتج عن تفاعل السبين مع المدار وحقل البلّورة، حيث تبلغ قيم هذه الفرجات $E_{gA} = 1.68$ eV و $E_{gB} = 1.75$ eV و $E_{gC} = 1.96$ eV [7].



الشكل 6– تابعية الوسطاء الفوتوفولطية للخلية الشمسية $ZnO/CdS/CuGaSe_2$ لدرجة الحرارة. تم القياس باستخدام مصباح هالوجين ذي الشدة الضوئية $10\ mW/cm^2$ تقريباً. (a) فولطية الدارة المفتوحة. (b) كثافة تيار الدارة القصيرة. (c) عامل الامتلاء (d) المردود.



الشكل 7– المردود الطيفي الكمومي للخلية الشمسية $ZnO/CdS/CuGaSe_2$.

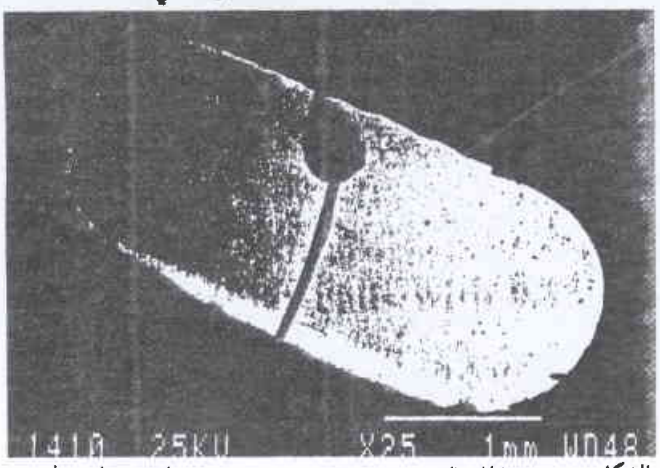
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

تبلغ القيمة العظمى للمردود الطيفي الكمومي الكلي 87% عند طول الموجة 515 nm، حيث يكون الفَقْد في التيار الناتج عن الانعكاس الضوئي مهملاً. إن إسقاط ضوء وحيد اللون طول موجته 515 nm سيؤدي إلى إثارة الشحنات بشكل رئيسي في طبقة $CuGaSe_2$، حوالي 97% منها تتم إثارته في الطبقة العليا ذات الثخانة 1µm. حُسبت هذه القيم من طول الامتصاص الضوئي في الطبقة العليا ZnO/CdS وطبقة $CuGaSe_2$، وهي تثبت الجودة العالية للسطح البيني، مما يؤدي إلى انخفاض اتحاد الشحنات في هذه المنطقة.

بيّن تصوير سطح النبيطة بواسطة تقنية التيار المحرّض بواسطة حزمة الإلكترونات (EBIC) أن السطح الفعّال للخلية متجانس، وأن مساحته تبلغ 5.1 mm^2 (الشكل 8). علاوة على ذلك، تم قياس إشارة التيار المحرّض بواسطة حزمة الإلكترونات كتابع لطاقة الحزمة الواردة على موقع ثابت من الخلية، وقد دُرست صلاحية نموذج Wu وWittry [18] من أجل البنية ZnO/CdS/$CuGaSe_2$ [4]. فعند تطبيق هذا النموذج على النتائج التجريبية نحصل على عرض لمنطقة النضوب قدره 0.7 µm، وطول انتشار الإلكترونات في مركب $CuGaSe_2$ بمقدار 0.37 µ m، وتبلغ الطاقة المتوسطة للحصول على إلكترون وثقب E_g = 3.3 eV = 5.55، وهذا يعني أن تأثير المقاومة المتسلسلة على التيار المحرّض بواسطة حزمة الإلكترونات مهمل، وهكذا فإن معطيات تحليل التيار المحرّض بواسطة حزمة الإلكترونات تؤكد أنه يمكن الاستفادة من الشحنات المثارة ضوئياً في جزء ضئيل من ثخانة البلّورة فقط، لذلك فإن إيجاد أفضل ثخانة لبلّورة $CuGaSe_2$ سيكون ذا أهمية كبيرة في الأبحاث المستقبلية.

النتيجة

حُضرت في هذا البحث خلايا شمسية ذات البنية ZnO/CdS/$CuGaSe_2$ بأعلى مردود حتى الآن. بالمقارنة مع القيم المنشورة، تم تحسين المردود بمقدار 50% تقريباً وذلك بالتحكم بالانتشار المتبادل عبر السطح البيني لبنية الخلية، حيث تم تحسين تيار الدارة القصيرة ليبلغ 82% من القيمة النظرية العظمى في شروط الإثارة النظامية، كما وصلت قيمة فولطية الدارة المفتوحة إلى $0.56\ E_{gA}/q$.



الشكل 8– صورة الخلية الشمسية ZnO/CdS/$CuGaSe_2$ بواسطة تقنية التيار المحرّض بحزمة الإلكترونات EBIC. تمثل النقطة السوداء الوصلة الأمامية للخلية.

كنتيجة أخرى لجودة السطح البيني، عملت الخلية في شروط الحقن العالي، وفي هذه الحالة أدى تأثير المقاومة المتسلسلة إلى خفض عامل الامتلاء، بينما انعدم تأثيرها في حالات الإثارة الضعيفة، حيث كان عامل الامتلاء مثالياً. لذا فإن إيجاد أفضل قيمة للمقاومة المتسلسلة يجب أن يكون الهدف المقبل.

وأخيراً بيّنت نتائج قياسات الوسطاء الفوتوفولطية، تبعاً لشدة الضوء والحرارة، أن مردود الخلية لايصل إلى قيمته العظمى في شروط الإثارة النظامية بل يرتفع مع انخفاض درجة الحرارة أو ارتفاع شدة الضوء.

المراجع

REFERENCES

[1] J. Stankiewicz, W. Giriat: Appl. Phys. Lett. 35, 70 (1979).

[2] N. Romeo, G. Sberveglieri, L. Tarricone, C. Paorici: Appl. Phys. Lett. 30, 108 (1977).

[3] W. Simon: Konstanzer Dissertationen 424, Hartung-Gorre Verlag, Konstanz ISBN 3-89191-789-9 (1994).

[4] M. Saad, W. Simon, K. Friemelt, H. Riazi-Nejad, E. Bucher, M. Ch. Lux-Steiner: In Proc. 12th European Conf. PVSEC, Amsterdam, The Netherlands (1994) p. 1546.

[5] M. Saad, H. Riazi-Nejad, E. Bucher, M. Ch. Lux-Steiner: In Proc. 1st World Conf. On PVEC, Hawaii, USA (1994) p.412.

[6] K. T. R. Reddy, P. J. Reddy: Mater. Lett.10, 275 (1990).

[7] M. Mehlin, J. Rimmasch, H. P. Fritz. Z. Naturforsch. 49b, 1597 (1994).

[8] W. Arndt, H. Dittrich, F. Pfisterer, H. W. Schock: In Proc. 6th PVSEC (Kluwer, Dordrecht 1985) p. 260.

[9] B. Dimmler, H. Dittrich, R. Menner, H. W. Schock: In Proc. 19th IEEE PVSEC (IEEE, New York 1987) p. 1454.

[10] K. T. R. Reddy, P. J. Reddy: Thin Solid Films 253, 238 (1994).

[11] R. Klenk, R. Mauch, R. Schäffler, D. Schmid, H. W. Schoch: In Proc. 22nd IEEE PVSEC (IEEE, New York 1991) p. 1071.

[12] C. H. Henry: J. Appl. Phys. 51, 4494 (1980).

[13] M. Ch. Lux-Steiner: Synthese, Optoelektronische Eigenschaften und Anwendungen neuer

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

Halbleiterkristalle. Habilitation, Universität Konstanz (1991).

[14] D. Lincot, R. O. Borges: J. Electrochem. Soc. 139, 1880 (1992).

[15] A. L. Fahrenbruch, R. H. Bube: Fundamentals of Solar Cells (Academic, New York 1983).

[16] S. Kunzelmann, K. Bücher: ISE PV - Charts, Edn. 4 (Fraunhofer - Institute for Solar Energy Systems, Freiburg, Germany 1994).

[17] M. Quintero, C. Rincon, P. Grima: J. Appl. Phys. 65, 2739 (1989).

[18] C. J. Wu, D. B. Wittry: J. Appl. Phys. 49, 2827 (1978).■

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

دراسة مقارنة بين نوعين من الكواشف النووية ذات التراكيب (معدن – أفلام عضوية رقيقة – سليكون) و (معدن – سليكون)*

جمال الدين عساف، علي المحمد
قسم الخدمات العلمية – هيئة الطاقة الذرّية السورية – ص.ب 6091 – دمشق – سورية

ملخص

لقد تم تحضير واختبار كواشف نووية لها التركيب (معدن – فلم رقيق عضوي – نصف ناقل) وذلك بواسطة التصعيد الحراري thermal sublimation للمادة العضوية. تم توضيع أفلام عضوية رقيقة (50-200 nm) على قطع سليكونية (نوع -n ولها مقاومة نوعية 1000 Ω cm). أظهرت الكواشف المحضّرة أداءً معتبراً، وتحسّنت مقدرة فصل الطاقة energy resolution لهذه الكواشف بشكلٍ كبير مقارنةً مع كواشف من نوع شوتكي لها التركيب (معدن – نصف ناقل) والتي صُنعت أيضاً على ركازات سليكونية متماثلة وتحت الشروط نفسها.

الكلمات المفتاحية: أفلام عضوية رقيقة، كواشف نووية، وصلات الحاجز السطحي.

مقدمة

بعد التطبيق الناجح للمواد العضوية بشكل أفلام رقيقة في تصنيع العناصر الإلكترونية والإلكترونية الضوئية [1, 2, 3]، تم في مخبرنا إجراء تطبيق تجريبي لهذه المواد في المجال النووي. تبيّن من المسح العلمي الذي قمنا به، أنه يوجد القليل من المعلومات المنشورة حول إمكانية استعمال الأفلام العضوية في تطبيقات الكواشف النووية، وهذا قد يعود للأثر التخريبي المتوقع حدوثه عندما تتعرض مثل هذه الأفلام للإشعاع النووي.

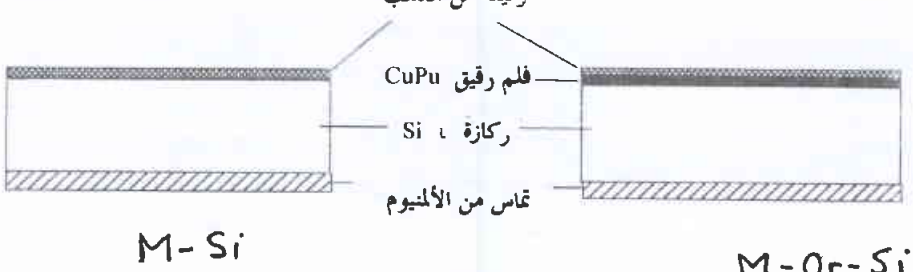
تقدم هذه الورقة مقارنةً تحليليةً بين نوعين (مع أفلام عضوية رقيقة وبدونها) من نبائط مصنّعة تحت شروط متماثلة، والمستخدمة ككواشف نووية. بالنتيجة أظهر نوعا النبائط اختلافاً واضحاً في كشف جزيئات ألفا، مع أداءٍ أفضل لتلك التي تحتوي على أفلام عضوية رقيقة في تركيبها.

تفاصيل تجريبية

أُطلق على النوع الأول من النبائط اسم M-Or-Si، وهو يدل على تركيبه المكون من السليكون – مادة عضوية – معدن. حيث تم فيها استعمال أفلام عضوية رقيقة من مادة فتاليوسانين النحاس (Cu Pc) بعد أن صُعّدت حرارياً، وذلك برفع درجة حرارة المادة العضوية تدريجياً من خلال إمرار تيار كهربائي مستمر عبر ملف من التنغستين حتى درجة 450 °C، داخل حجرة مخلاة من الهواء وتحت ضغط 10^{-6}. رُسّبت المادة المُبخّرة على الجهة المصقولة المنظفة جيداً، للركازات السليكونية التي كانت تبعد مسافة 10 cm عن مصدر التبخير. كانت هذه الركازات من النوع n ولها مقاومة نوعية مساوية 1000 Ωcm. كانت سماكة الأفلام العضوية المرسّبة في حدود 200nm. تلا هذه المرحلة في صنع النبائط تَوضّع فلمين معدنيين رقيقين باتباع الطريقة نفسها على وجهي الركازة ليؤمنا الاتصال الكهربائي اللازم، كما وضّع مباشرة فلم من الذهب على شكل دائري فوق الفلم العضوي الرقيق المشكّل مسبقاً، وذلك من أجل تشكيل نافذة دخول الإشعاع، التي ستتكون تحتها مباشرة المنطقة الفعالة للكاشف، وهي منطقة النضوب depletion zone. كانت سماكة النافذة رقيقة بحدود (50-200nm) وذلك للسماح للإشعاع النووي (جسيمات ألفا) بالمرور إلى المنطقة الفعالة. أما على الجهة الثانية الخشنة للركازة فقد تم توضّع فلم أُنخن من الألمنيوم وذلك لتشكيل اتصال أومي.

كان النوع الثاني من النبائط هو وصلات شوتكي ذات التركيب M-Si، أي بدون مادة عضوية. وضّع في هذه الحالة، الفلمان المعدنيان (ذهب وألمنيوم) مباشرة على سطحي الركازة السليكونية بالسماكات والشروط نفسها، واستُعملت شرائح سليكونية مطابقة تماماً. يُظهر الشكل 1 تركيبة هذين النوعين من النبائط التي ستُستخدم كعناصر كشف.

تتألف التركيبة الكاملة للكاشف من علبة معدنية مناسبة يوضع داخلها عنصر الكشف (M-Or-Si أو M-Si). هذه العلبة مصنوعة من النحاس



الشكل 1– البنية الكاملة للنبيطتين (a) M-Si و (b) M-Or-Si.

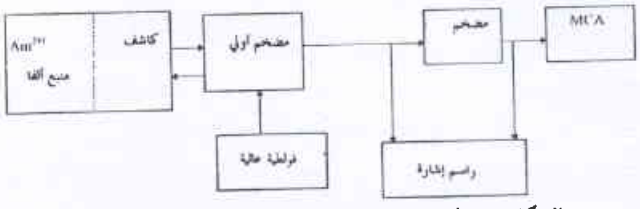
* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Radiation Measurements*, 1999.

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

صممت بشكل أسطواني متلائم مع النبيطة، ولها فتحة أمامية موافقة لجهة النافذة. يتم وضع النبيطة داخل العلبة بحيث يلاصق جسم العلبة فلم الذهب (النافذة) مشكلاً القطب الأرضي، بينما يشكل فلم الألمنيوم على الوجه الآخر قطب الإشارة ويوصل مع كبل الإشارة عن طريق اتصال ميكانيكي وكهربائي جيد.

لقد تم تنفيذ عدة قياسات (إلكترونية ونووية) لاختبار وتوصيف النبائط المصنّعة، وفي كل مرة كانت تتم المقارنة بين النوعين M-Si وM-Or-Si.

يشمل الجزء الأول من هذه القياسات معرفة المنحنيات المميزة، التيار-فولط (I-V) في حالتي الانحياز الأمامي والعكسي، وتم ذلك باستعمال راسم إشارة تتبعي curve tracer متطور نوع Tektronix 571. أما الجزء الثاني من القياسات فهو اختبار عمل هذه النبائط ككواشف نووية، واشتملت على اختبارات لمعرفة شكل إشارة الكاشف عند مخرج المضخّم الأولي، ومعرفة طيف ومقدرة فصل الطاقة لمنبع ألفا (^{241}Am ، 0.1 µCi)، وأخيراً مقدرة فصل الطاقة كتابع فولطية الانحياز العالية. من أجل إجراء هذا الجزء من القياسات تم وصل قطب الإشارة مباشرةً إلى مضخّم أولي قريب جداً من الكاشف، موصول بدوره مع مضخّم مشكل النبضة نوع Ortec 672، ويليه محلل طيف متعدد الأقنية نوع CANBRRA-40 وراسم إشارة رقمي (انظر الشكل 2).

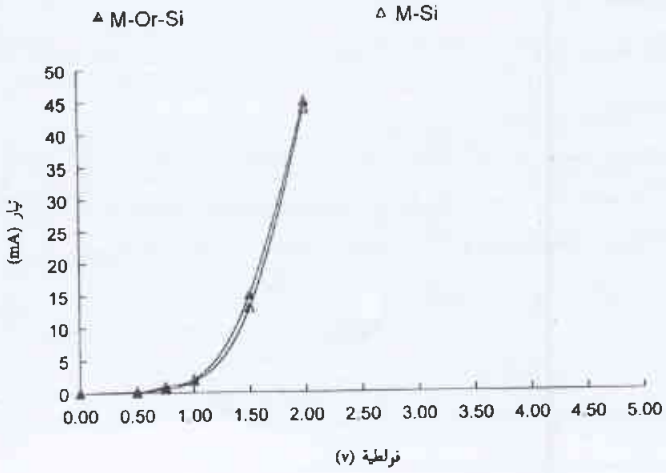


الشكل 2– المخطط الصندوقي لمنظومة قياس طيف طاقة الإشعاع.

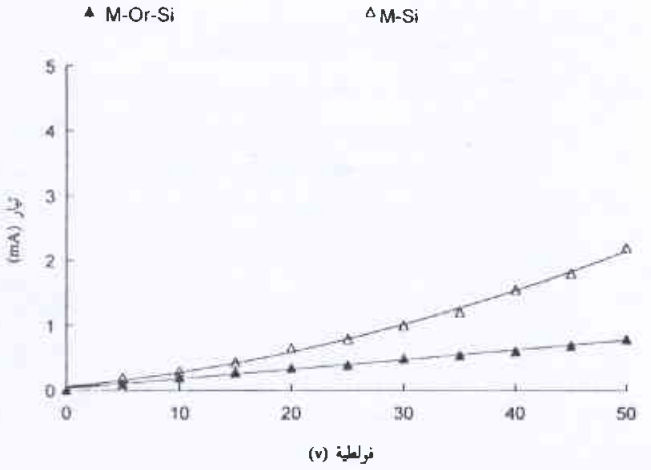
النتائج والمناقشة

يبيّن الشكلان 3 و 4 المنحنيات المميزة (I-V) للنبيطتين M-Or-Si وM-Si في حالتي الاستقطاب الأمامي والعكسي. في حالة الاستقطاب الأمامي يكون قطب الذهب موجباً بالنسبة لركازة السليكون (نوع n) بينما يكون في حالة الاستقطاب العكسي سالباً بالنسبة لها. تبيّن منحنيات الاستقطاب الأمامي عدم وجود اختلاف بين النوعين، بينما نرى في حالة الاستقطاب العكسي أن نبائط M-Or-Si تعطي ميزات أفضل من نبائط M-Si في جميع العينات التي جرى عليها الاختبار حيث نلاحظ أن تيار التسريب أقل في وصلات M-Or-Si، وهذا يمكن معرفته عن طريق حساب النسبة mA/V مباشرة من المنحنيات في حالة الاستقطاب العكسي. ويبين الجدول 1 هذه النسبة من أجل أربع عينات من كلا النوعين. على الجدول نفسه نرى أيضاً مقدرة فصل الطاقة الموافقة التي تم قياسها باستخدام هذه العينات ككواشف.

يمكن إرجاع الميزات الإيجابية التي تعطيها نبائط M-Or-Si إلى وجود الفلم العضوي [2, 4, 5]، حيث تبيّن أن وجوده يعزّز الحاجز الكموني للوصلة وينقص بالتالي تيار التسريب الذي يؤدي أيضاً إلى تحسين خواص الانهيار، كما هو واضح من المنحنيات المميزة.



الشكل 3– المنحنيات المميزة I-V لـ M-Si و M-Or-Si في حالة الانحياز الأمامي.



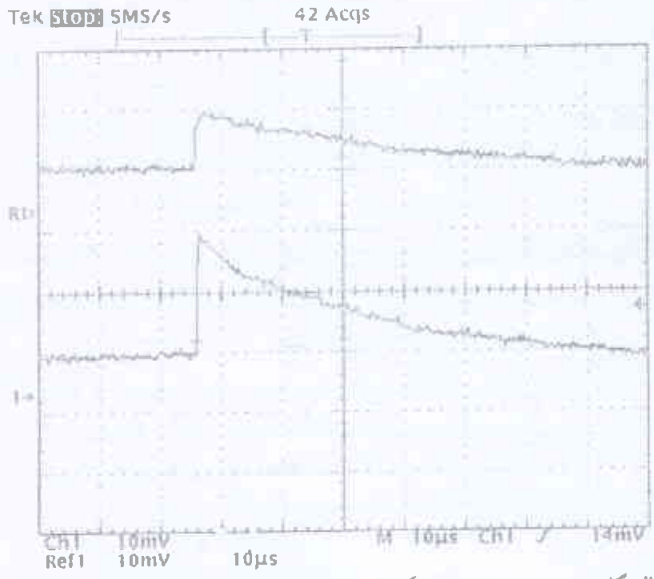
الشكل 4– المنحنيات المميزة I-V لـ M-Si و M-Or-Si في حالة الانحياز العكسي.

الجدول 1– مقارنة بين خواص أربع عينات من نوعي النبائط المصنّعة.

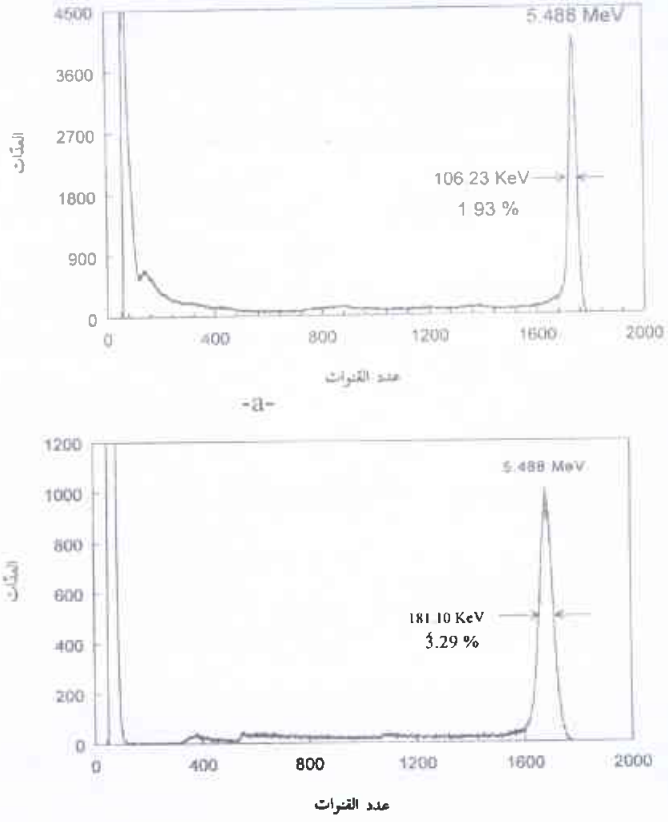
اسم العينة	مقدرة فصل الطاقة	نسبة الميل العكسي (mA/V)
M-Si 2	3.56%	0.025
M-Si 2	3.29%	0.024
M-Si 3	3.60%	0.026
M-Si 4	3.77%	0.026
M-Or-Si 1	1.95%	0.007
M-Or-Si 2	2.10%	0.010
M-Or-Si 3	2.06%	0.010
M-Or-Si 4	1.98%	0.008

يوضّح الشكل 5 إشارات مخرج المضخّم الأولي في حالتي الكشف بـ M-Si و M-Or-Si (تحت شروط العمل نفسها)، ونرى هنا أيضاً تفوق كاشف M-Or-Si. أما الميزة الأكثر إيجابية للنبائط M-Or-Si فهي إعطاء مقدرة فصل طاقة أفضل، وهذا ما نراه في الشكل 6.

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

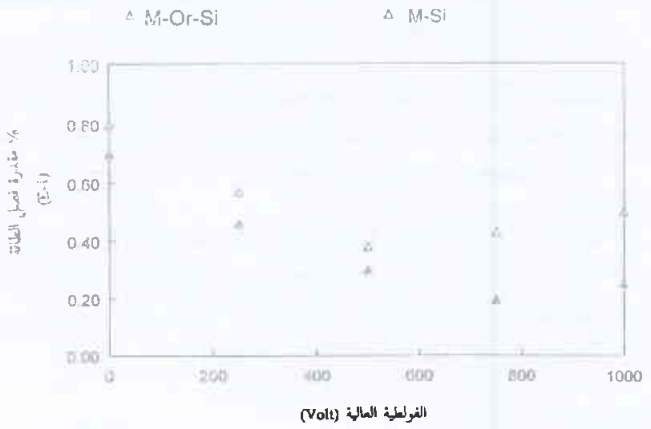


الشكل 5– مقارنة بين إشارتي الكاشف في حالتي M-Si (R1) و M-Or-Si (ch1) عند مخرج المضخّم الأولي من أجل شروط العمل نفسها.



الشكل 6– طيف طاقة إشعاع ألفا من المنبع في حالتي:
a- كاشف M-Or-Si باستقطاب 700 V.
b- كاشف M-Si باستقطاب 500 V. في كلتا الحالتين كان زمن التشكيل للمضخّم الرئيس 1µS وكان عدد أقنية محلل الطيف 4096 قناة.

يبين الشكل 7 منحنيات مقارنة إضافية بين نوعي الكواشف المذكورة، وتمثل تغير مقدرة فصل الطاقة كتابع للفولطية العالية، حيث نلاحظ أن أفضل مقدرة فصل كانت عند فولطية انحياز 700 V لكاشف M-Or-Si و 500 V لكاشف M-Si.



الشكل 7– منحنيات تابعية مقدرة فصل الطاقة للفولطية العالية للكاشفين M-Si و M-Or-Si.

في الحقيقة يعد تأثير الإشعاع النووي على الأفلام العضوية عملية معقّدة جداً، حيث ينتج عنه العديد من العمليات الإلكترونية المختلفة التي يمكن شرحها نفسها بآلية التأثير الضوئي وبالطريقة ذاتها التي تم تبيانها في المرجع [6]، حيث أن طاقة الإشعاع تفصل روابط الجزيئات في منطقة الفلم العضوي، وكذلك الروابط الذرّية في الركازة نصف الناقلة. وهذا يسبب تشكل أزواج من الإلكترونات والثقوب التي تُسرَّع تحت تأثير الحقل الكهربائي العالي المطبق. كذلك فإن وجود الفلم العضوي يزيد من منطقة النضوب عند الاتصال بين نصف الناقل والمادة العضوية، وهذا يعني زيادة في المنطقة الفعّالة للكاشف. كل هذه العوامل تؤدي إلى توليد حوامل شحنة أكثر، وبالتالي إعطاء إشارة أفضل في الشكل ومقدرة فصل أحسن.

أخيراً جرى، وبشكل سريع، تعريض وصلات M-Or-Si إلى إشعاعات غاما بجرعات وصلت إلى 12 Mrad وأعطت هذه الوصلات خواص شبه ثابتة بعد التشعيع. ولتأكيد هذه النقطة لا بد من إجراء مزيد من التجارب اللاحقة.

الخلاصة

يبين هذا العمل أن الكواشف النووية نصف الناقلة، التي تحتوي على أفلام عضوية في بنيتها، أي M-Or-Si، تعطي خواص عمل أفضل من تلك التي لا تحتويها، أي وصلات شوتكي M-Si، ولاسيما فيما يتعلق بمقدرة فصل الطاقة.

أما بالنسبة لتأثير أشعة غاما على هذه النبائط فقد أظهرت اختلافاً بسيطاً في الخواص، وهذا ما يشجع على استخدامها ككواشف نووية.

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

REFERENCES المراجع

[1] Al-Mohamad, A., Soukieh, M., 1995. Solar cells and high efficiency photo-diodes having metal-organic thin film-semiconductor structures. Thin Solid Films 271, 132-137.

[2] Al-Mohamad, A., Smith, C. W., Al-Saffar, I., Slifikin, M., 1990. The organic thin films for electronics applications. Thin Solid Films 189, 175-181.

[3] Forrest, S.R., Schmidt, P.H., 1985. Semiconductor analysis using organic-inorganic contact barrier. I. Theory of the effects of surface states on diode potential and ac admittance. J. Appl. Phys. 59 (2), 513-525.

[4] Forrest, S.R., Laplan, M., Shmidt, P.H., 1983. Organic on-inorganic semiconductor contact barrier diodes. I. Theory with applications to organic thin films and prototype devices. J. Appl. Phys. 55 (6), 1057-1492.

[5] Gupta, C.L., Gupta, A., Parashar, T.R., Jain, V.K., 1990. Organic thin films on silicon in making a rectifying junction. Thin Solid Films 230, 45-47.

[6] Takada, J., Awaji, H., Koshioka, M., Nakajima, A., Nevin, W.A., 1992. Organic-inorganic multi layers: A new concept of opto -electronic material. J. Appl. Phys. Lett. 61 (18), 2134-2186.■

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

تحديد التآكل وقياس الثخانات المتبقّية لجدران الأنابيب المعزولة بالتصوير الشعاعي المماسي باستخدام أقطارها الخارجية★

وفيق حرارة

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

ملخص

تصف هذه الورقة طريقة اختبار جديدة وعملية في التصوير الشعاعي المماسي يمكن تطبيقها مباشرة لتحديد مقدار التآكل الداخلي والخارجي لجدران الأنابيب المعزولة باستخدام أقطارها الخارجية. تمكّن هذه الطريقة أيضاً من جعل مهام قياس الثخانات المتبقّية لجدران الأنابيب أكثر بساطة وسهولة. إن تطبيق هذه الطريقة على أنبوب من الفولاذ - صمم خصيصاً لهذه الغاية - معزول حرارياً وذي قطـر 100 mm، برهن على دقة قياس مقدارها % 98 في تحديد ثخانة جدار الأنبوب، ودقة قياس مقدارها % 96 في تحديد الثخانة المتبقّية لجدار الأنبوب في مناطق المجاري المصنّعة الداخلية والخارجية.

الكلمات المفتاحية: تآكل، التصوير الشعاعي المماسي، أنابيب ذات عزل حراري، الصوف الصخري، الليف الزجاجي، كتالات معيارية.

مقدمة

تتأثر وثوقية الأنابيب، لاسيما في مصافي النفط ومنشآت الصناعات الكيميائية ومحطات الطاقة الكهربائية، بما يحدث من عمليات تردّي، وبشكل رئيس تآكل. حيث يتميز كل جزء من الأنابيب في المنشآت المذكورة بخصائص تآكل خاصة به، ويتطلب اختبارات دورية محددة [1, 2, 3]. يحدث التآكل عادةً داخل جدران الأنابيب وخارجها، وتؤدي إلى نقص في ثخانة الأنابيب. تسمح الدقة في تحديد مدى ومكان ومعدّل التقدم في التآكل الداخلي والخارجي للمناطق الحرجة من هذه الأنابيب وكذلك قياس الثخانات المتبقية لجدرانها، كما تسمح بتخطيط نشاطات الصيانة والاستبدال وتعطي معلومات صحيحة عن جاهزية وأمان المنشآت والعمر التشغيلي لها.

تعطي طريقة قياس الثخانات للأنابيب بالأمواج فوق الصوتية مثلاً، والتي تُطبّق بشكل دوري على الأنابيب، معلومات جيدة عن معدل زيادة التآكل. ولكن القصور الهام لهذه الطريقة يتمثل في صعوبة، إن لم يكن في استحالة، الحصول على قراءات قياس صحيحة وموثوقة لمناطق الأنابيب الملحومة المتأثرة بالحرارة العالية، حيث يكون معدل الضرر بالتآكل عالٍ جداً. وإضافة إلى ذلك، يتطلب تطبيق هذه الطريقة في أغلب الأحيان إزالة طبقات العزل الحراري المتوضّعة على الأنابيب. إن إزالة طبقات العزل المتوضّعة على الأنابيب خلال أعمال الصيانة الدورية مكلفةً جداً، إضافةً إلى أنها، في بعض الأحيان، تشكل خطراً على الصحة إذا كانت طبقات العزل من الصوف الصخري asbestos. وعليه، يمكن تجاوز قصور طريقة الاختبار بالأمواج فوق الصوتية بتطبيق تقنية التصوير الشعاعي المماسي.

نشر العديد من الباحثين أوراقاً علمية حول تطبيق تقنيات اختبار التصوير الشعاعي المماسي في تحديد وجود التآكل وقياس الثخانات المتبقّية لجدران الأنابيب، وذلك بتطبيق تقنية الحساب العددي أو تقنية استخدام الكتالات المعيارية [4,5] إلا أنه يصعب في كلتا التقنيتين المذكورتين الحصول على دقة قياس عالية في تحديد ثخانات الجدران المتبقّية، وذلك لأنه من الصعب عند تطبيق هذه الطرائق في موقع العمل - وهو هدرٌ للوقت - حساب الثخانات المتبقّية للأنابيب، انطلاقاً من المحددات المطبّقة في كل عملية تصوير شعاعي، وكذلك الحال عند تطبيق تقنية استخدام الكتالات المعيارية إذ يتطلب ذلك صناعة هذه الكتالات ومعايرتها بدقة عالية. ويجب أن تعاير كل كتالة وأن تُعلَّم بشكل منفصل ويتم التأكد من ذلك دورياً. وكذلك فإن وضع الكتالات المعيارية على الأنابيب المختبَرة، وفي موضع تماس الأشعة مع السطح الخارجي للأنبوب، ومن أجل كل مسافة ما بين المنبع المشع وفلم التصوير SFD، كل ذلك يعد عملاً صعباً ويحتاج إلى خبرة عملية.

أظهر المسح بواسطة الحاسوب للأعمال والورقات العلمية المتعلقة بالتصوير الشعاعي المماسي عدم توفر أي معلومات حول تطبيق طريقة التصوير الشعاعي المماسي في تحديد التآكل وقياسه في الأنابيب المعزولة وغير المعزولة باستخدام أقطارها الخارجية. يشرح هذا العمل تقنية اختبار عملية للتصوير الشعاعي المماسي، التي من شأنها تسهيل قياس التآكل والثخانات المتبقّية لجدران الأنابيب المعزولة باستخدام أقطارها الخارجية.

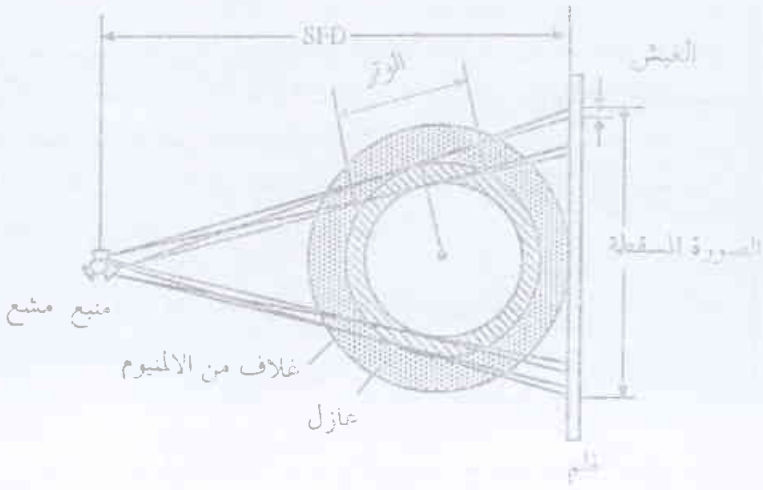
وصف طريقة الاختبار

يتم في طريقة التصوير الشعاعي المماسي إسقاط المقطع العرضي للأنبوب، بما فيه ثخانة الجدران المتبقّية له على الفلم، وتسمح رؤية الصورة الشعاعية بقياس مباشر لثخانات الجدار المتبقّية للأنبوب. يمكن أن تحدد نهايات جدران الأنبوب المسقطة على الفلم بالأشعة الواردة من المنبع إلى الفلم، مروراً بنقطة تماسها مع القطر الخارجي للأنبوب (OD)، ومن المنبع

★ نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 1999. مراجعة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

المشع إلى الفلم مروراً بنقطة التماس مع القطر الداخلي للأنبوب (ID)، كما هو مبين في الشكل 1. وعليه، فإن الجزء الأكبر ثخانة من الأنبوب الذي تخترقه الأشعة هو الوتر chord المتقاطع مع نقطة التماس الداخلية. إن المقطع العرضي لجدار الأنبوب الذي يظهر على الفلم هو تقريباً الذي يحدث عامودياً على مركز الوتر [6].



الشكل 1- ترتيبات التصوير الشعاعي المماسي.

عندما يسقط خيال المقطع العرضي للأنبوب على الفلم، تكبر قيمة هذا الخيال إلى حد معين. يمكن أخذ هذه الزيادة بعين الاعتبار في القياس المباشر للأنبوب، كما هو مبين في الشكل 2 وذلك بالاعتماد على قطره الخارجي وفقاً للعلاقة التالية:

$$W = W_S \frac{OD}{OD_S} \qquad (1)$$

حيث:

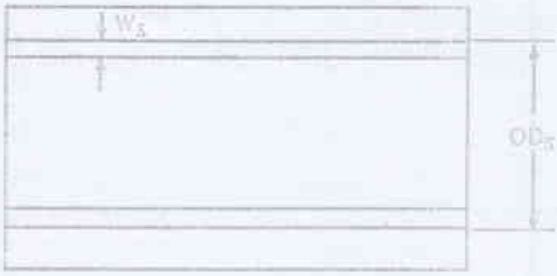
W = ثخانة جدار الأنبوب.

W_S = خيال ثخانة جدار الأنبوب المسجلة على فلم التصوير الشعاعي.

OD_S = خيال القطر الخارجي للأنبوب المسجل على فلم التصوير الشعاعي.

OD = القطر الخارجي للأنبوب.

بما أن الأشعة تنبعث من منبع غير نقطي، فإن ذلك سيؤدي إلى ظهور شبه الخيال أو الغبش على الصورة الشعاعية عند أطراف المقطع العرضي [7]، ويمكن بالخبرة العملية التمييز بين شبه الخيال والحافة الحقيقية لجدار الأنبوب على الصورة الشعاعية، وطرحها من قيمة الخيال الحقيقي للمقطع العرضي للأنبوب.

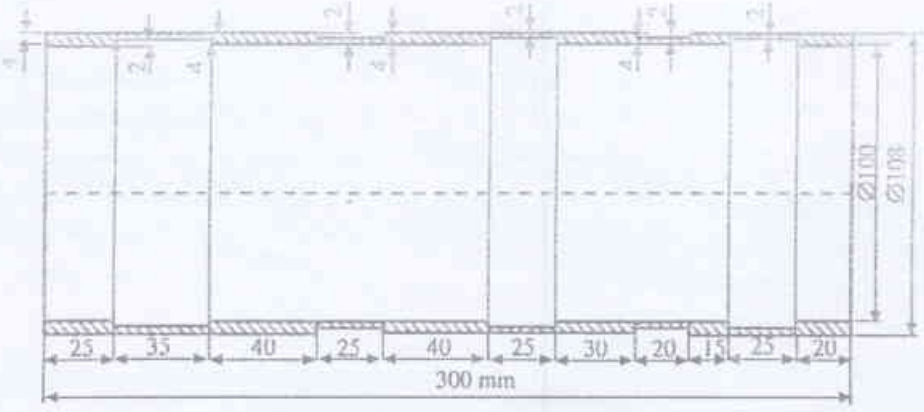


الشكل 2- شكل يمثل الصورة الشعاعية لأنبوب وفقاً للتصوير الشعاعي المماسي.

إجراءات الاختبار

تم تنفيذ العديد من الصور الشعاعية بتطبيق طريقة التصوير الشعاعي المماسي، وباستخدام عينة صُممت خصيصاً لهذا الغرض. تتكون العينة من أنبوب من الفولاذ قطره 100 mm وطوله 300 mm وثخانة جداره 4 mm. تحتوي العينة على خمسة مجاري دائرية، ثلاثة منها شُكّلت داخلياً ضمن جدار الأنبوب وبعمق 2 mm، أما المجريان المتبقيان فقد تمّ تشكيلهما خارجياً على جدار الأنبوب وبعمق 2 mm، كما هو مبين في الشكل 3.

في البداية تمّ قياس أبعاد الأنبوب بأجزائه كافة، حيث تمّ قياس القطر الخارجي والقطر الداخلي وثخانة الجدار والثخانات المتبقية عند كل مجرى من المجاري الخمسة. ولمحاكاة أنبوب معزول في المنشآت الصناعية؛ تم إحاطة الأنبوب بطبقتين من النيف الزجاجي fiber glass بثخانة 50 mm، ومن ثم بطبقة رقيقة من الألمنيوم للوقاية. تم تصوير الأنبوب مماسياً من أجل قيم مختلفة للمسافة ما بين المنبع المشع وفلم التصوير، بدءاً من 20 cm وحتى 160 cm وبخطوة مقدارها 10 cm. تم تنفيذ ثلاث صور شعاعية من أجل كل مسافة ما بين منبع الأشعة وفلم التصوير (SFD)، وذلك باستخدام أفلام من نوع Kodak MX، المتميزة بحبيباتها الناعمة، وسواتر رصاصية أمامية وخلفية ذات ثخانة 0.125 mm. لضمان الحصول على حساسية تصوير عالية، كان من الضروري وضع حوامل الفلم على تماس مباشر مع الأنبوب المعزول. وقد



الشكل 3- مقطع عرضي للأنبوب المختبر.

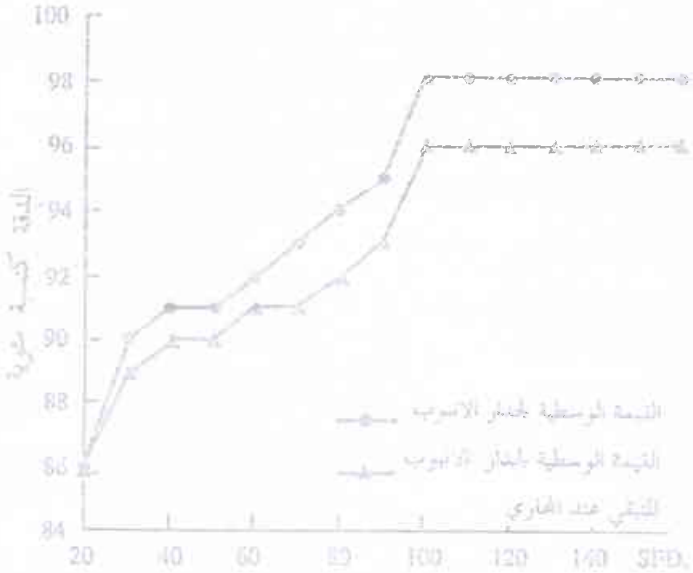
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

عرضت الأفلام إلى كثافة صورة إشعاعية مقدارها 2، وذلك بتطبيق أزمنة تعريض تم حسابها وفقاً لطول الوتر والمسافة الطليقة ما بين المنبع المشع وفلم التصوير، وذلك باستخدام منبع مشع من الإريديوم 192، ذي نشاط 15 كوري ومساحة بقعة محرقية 2.5x2.5 mm². عولجت الأفلام كيميائياً بعد التعريض، وجُففت وفقاً لتعليمات الشركة المصنّعة لأفلام التصوير المذكورة.

النتائج والمناقشة

باستخدام قارئ أفلام ذي شدة ضوئية عالية، تمّت قراءة الثلاثة أفلام لكل مسافة ما بين المنبع المشع وفلم التصوير، وتمّ قياس ثخانات جدار الأنبوب والثخانات المتبقّية للجدران عند المجاري والقطر الخارجي للأنبوب. أجري القياس باستخدام مسطرة ذات دقة قياس مقدارها 0.1 mm. ثم حسبت ثخانات الجدار والثخانات المتبقّية له عند المجاري وفقاً للعلاقة (1)؛ كما حسبت القيم الوسطية لهذه الثخانات.

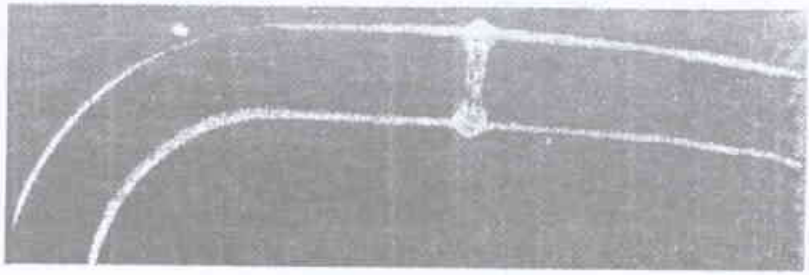
يبين الشكل 4 منحنيات قيم الثخانات الوسطية لجدار الأنبوب وقيم الثخانات الوسطية لجدار الأنبوب المتبقي عند المجاري الداخلية والخارجية بدلالة المسافة ما بين المنبع المشع وفلم التصوير.



الشكل 4– القيم الوسطية كنسبة مئوية لثخانة جدار الأنبوب والثخانات المتبقّية عند المجاري كتابع للمسافة ما بين المنبع المشع وفلم التصوير.

نستخلص من المنحنيات المبيّنة في الشكل 4 ما يلي:

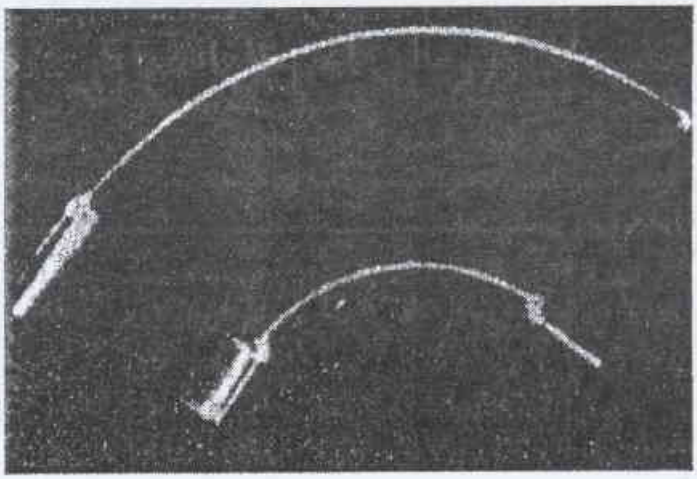
- يمكن، وبوثوقية، تطبيق طريقة الاختبار المذكورة لقياس ثخانة جدران الأنابيب وثخانة الجدران المتبقّية عند المجاري، وذلك بالأخذ بعين الاعتبار المسافة ما بين المنبع المشع وفلم التصوير، حيث تبيّن أنها العامل الأهم في تطبيق هذه الطريقة.



الشكل 5– صورة شعاعية تبيّن خيال ثخانة الجدار المتبقي لأنبوب متآكل ذي عزل حراري وقطر 25 mm باستخدام فلم Kodak MX (10x48 cm).

- حتى يتم الحصول على الدقة الأعظمية للقياس، فإن المسافة ما بين المنبع المشع وفلم التصوير يجب أن تساوي عشرة أضعاف قطر الأنبوب على الأقل، حيث تبلغ هذه الدقة 98 % من أجل قياس ثخانة جدار الأنبوب، و 96 % من أجل قياس ثخانة الجدران المتبقّية عند المجاري.
- تزداد دقة قياس الثخانات قليلاً بزيادة ثخانة جدار الأنبوب أو بزيادة ثخانة الجدار المتبقي للأنبوب، ويعود السبب في ذلك إلى ثخانة الجدار الذي تخترقه الأشعة والذي هو رقيق جداً عند القطر الخارجي، وتزداد الثخانة باتجاه القطر الداخلي للأنبوب، يبدو الجزء الخارجي الرقيق من جدار الأنبوب الذي اخترقته الأشعة قاتماً جداً على الصورة الشعاعية، مما يؤدي إلى ضياع جزء من دقة الطريقة، وهذا الضياع القليل في دقة القياس يصبح مهملاً مع ازدياد ثخانة جدار الأنبوب.
- أظهرت الخبرة العملية المكتسبة من هذا العمل أن حساب زمن التعريض اللازم للحصول على كثافة مقدارها 2، يجب أن يعتمد على ثخانة المعدن الأصلية لنصف الوتر دون النظر إلى الانخفاض في ثخانة الجدار بسبب التآكل. ويتطلب اختبار الأنابيب التي تمر بها مواد سائلة أو غازية أثناء الخدمة إدخال تصحيحات معينة لتعريض معامل توهين الأشعة نتيجة لامتصاصها من قبل المواد المذكورة.
- من الصعب جداً في بعض الأحيان تحديد معامل التوهين اللازم عند إجراء اختبارات الكشف عن الثخانات المتبقّية للأنابيب أثناء الخدمة، ولا سيما في أنابيب مصافي النفط، حيث تضاف مكونات من معادن ذات كثافة عالية، كالرصاص مثلاً، إلى المواد المارة في الأنابيب. ويمكن الحصول على نتيجة اختبار جيدة في مثل هذه الحالة بزيادة الزمن اللازم للتعريض وإنقاص الزمن اللازم للتحميض.
- أظهر تطبيق طريقة الاختبار المذكورة على أنابيب حقيقية متآكلة ذات أقطار ما بين 25-150 mm، تمّ الحصول عليها من محطة توليد الطاقة الكهربائية في الهامة، بلوغ دقة قياس وسطية مقدارها 96 % في قياس الثخانات المتبقّية لجدرانها، وذلك بتصويرها عند مسافة ما بين المنبع المشع وفلم التصوير تساوي إلى عشرة أضعاف القطر الخارجي للأنبوب، كما هو مبيّن في الشكلين 5 و 6.

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



الشكل 6- صورة شعاعية تبيّن خيال ثخانة الجدار المتبقّي لكوع من الفولاذ ذي عزل حراري وقطر 100 mm باستخدام فلم Kodak MX (35x43 cm).

الاستنتاج

عندما تكون الأقطار الخارجية للأنابيب المعزولة غير مشوهة، فإن تطبيق طريقة التصوير الشعاعي المماسي باستخدام أقطار الأنابيب الخارجية تعد الطريقة المثلى في تقييم ثخانات جدران الأنابيب وتحديد معدل ازدياد التآكل فيها. ويمكن بهذه الطريقة أيضاً تحديد وقياس الثخانات المتبقّية لجدران الأنابيب بسهولة ودقة.

للحصول على دقة قياس عالية، لا بد أن يتم إجراء الاختبارات بتطبيق مسافات ما بين المنبع المشع وفلم التصوير؛لا تقل عن عشرة أضعاف قطر الأنبوب المختبر.

المراجع

REFERENCES

[1] Herbert H. Uhlig, R. Wincton Revie, Corrosion and Corrosion Control, 3rd edition John Wiley & Sons, Inc, N. Y., 1985, pp 165-186.

[2] Marsg. Fontana, Corrosion Engineering, 3rd edition, Mc Graw-Hill, Inc., N. Y., 1986, pp 220-256.

[3] R. Griffiths, Over View of Oil Refinery Corrosion Monitoring, Non Destructive Testing, Australia Vol. 26, No. 1, 1989.

[4] J. Kenneth Billeaudeaux, Tangential Radiography using a Radiation Gage, Materials Evaluation, February 1992.

[5] R. P. Krolicki, Internal Corrosion Examination and Wall Thickness Measurement of Pipe by Radiographic Method, Materials Evaluation, February 1977.

[6] W.S. Burkle, Application of the Tangential Radiographic Technique for Evaluating Pipe System Erosion / Corrosion, Materials Evaluation, October 1989.

[7] R. Halmshaw, Industrial Radiology, 2nd edition, Chapman & Hall, London 1995, pp 116-125.■

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

فصل العناصر Th وU وPa وRa وAc من السلاسل الطبيعية لليورانيوم و الثوريوم★

أسامة الحسنية، عبد الرحمن عبد الهادي، محمد غفر
قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية
عبد العزيز آبا
قسم الوقاية - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

دُرِس سلوك الراديوم تجاه المبادلات الأيونية (Dowex 1 x 8 و Dowex 50 x 8) في أوساط حمضية مختلفة ($HCl, HNO_3, HClO_4$) وكذلك سلوك الثوريوم تجاه المبادل الأيوني Dowex 1 x 8 في وسط من حمض كلور الماء، وحدد معامل التوزع K_d. بناءً على هذه النتائج وعلى ما هو معروف من سلوك هذه العناصر في الأدبيات العلمية، اقتُرحت ثلاث طرائق لفصل الراديوم والثوريوم والأكتينيوم من سلسلة الثوريوم الطبيعية، حيث فصل الثوريوم بتثبيته على مبادل الأيونات السالبة في وسط من حمض الآزوت ومن ثم فُصِل الراديوم والأكتينيوم على مبادل الأيونات الموجبة باستخدام حمض كلور الماء وحمض الآزوت وحمض فوق الكلور. تمكنّا من فصل اليورانيوم والثوريوم والبروتكتينيوم على مبادل الأيونات السالبة في وسط من حمض كلور الماء حيث يتفكك البروتكتينيوم بعد 24 ساعة. ويمكن عند ذلك غسل اليورانيوم وفصل الثوريوم والراديوم على مبادل الأيونات الموجبة في وسط من حمض الآزوت حيث يتم امتصاص الثوريوم وغسل الراديوم. بعد 24 ساعة يتم توليد البروتكتينيوم وشطفه من المبادل.

الكلمات المفتاحية: فصل، مبادلات أيونية، معامل التوزع K_d، سلسلة اليورانيوم الطبيعية (4n + 2)، سلسلة الثوريوم الطبيعية (4n)، راديوم، ثوريوم، أكتينيوم، بروتكتينيوم، يورانيوم.

مقدمة

يُعَدّ فصل العناصر والنظائر من السلاسل الطبيعية من الأمور الهامة في العديد من التطبيقات: اليورانيوم والثوريوم لدورة الوقود النووي [1, 2, 3]، قفّاءات للتجارب، حسابات النسب النظيرية مثل ^{238}U / ^{234}U من أجل دراسة ظواهر جيولوجية وسلوك النظائر في البيئة [4 , 5]، دراسات صحية مثل قياس الرادون [6]. ويهدف هذا العمل إلى فصل عناصر اليورانيوم والثوريوم والبروتكتينيوم والراديوم والأكتينيوم من السلاسل الطبيعية.

تستخدم المبادلات الأيونية بشكل واسع لفصل الأكتينيدات بكميات قليلة، حيث أن سلوك أغلب العناصر تجاه العديد من المبادلات الأيونية والآلية العامة لامتصاصها على المبادلات معروف بشكل جيد.

الراديوم Ra

يوجد في المراجع معلومات متضاربة حول سلوك الراديوم على المبادلات الأيونية. لم يعطِ كوريش Korbioch [7] في كتابه الشامل عن المبادلات أية معلومات عن سلوك الراديوم تجاه المبادلات الأيونية DOWEX 1x8 و DOWEX 50x8، في حين قدّم عبد الهادي [8] مؤشرات حول امتصاص الراديوم على المبادل DOWEX 1x8. درس في هذا العمل سلوك الراديوم على هذه المبادلات في شروط مختلفة [9].

اليورانيوم U

يُمتزّ اليورانيوم على مبادل الأيونات السالبة DOWEX 1x8 في أوساط حمض كلور الماء وحمض الآزوت في التراكيز المنخفضة وعلى مبادل الأيونات الموجبة DOWEX 50x8 في التراكيز العالية.

البروتكتينيوم Pa

تتراوح درجات الأكسدة للبروتكتينيوم بين III و VI وأكثرها ثباتاً هي V. في هذه الحالة يسلك البروتكتينيوم سلوك الراديوم نفسه [10,11].

الثوريوم Th

يُمتزّ الثوريوم على مبادل الأيونات الموجبة DOWEX 50 Wx8 في جميع تراكيز حمض كلور الماء وحمض الآزوت، وأما سلوكه على مبادل الأيونات السالبة في وسط من حمض الكلور فلم يكن معروفاً وقد درس في هذا العمل [10,11].

★ نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Applied Radiation and Isotopes*, 51, (1999), 493-498. ترجمة الباحث - مراجعة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

الأكتينيوم Ac

يُمتزّ الأكتينيوم على مبادل الأيونات الموجبة DOWEX 50 Wx8 في التراكيز المنخفضة من حمض كلور الماء وحمض الآزوت وفي جميع تراكيز حمض فوق الكلور، ولا يُمتزّ على مبادل الأيونات السالبة في جميع تراكيز حمض الكلور وحمض الآزوت [10,11].

العمل التجريبي

حُلّت 3غ من نترات الثوريوم المائية (سنة التصنيع 1982) في 10 مل من حمض الآزوت (8 M) و ذلك لفصل العناصر من سلسلة الثوريوم الطبيعية، وحُلّت 10غ من أكسيد اليورانيوم في 10 مل من حمض الآزوت (8 M) لفصل العناصر من سلسلة اليورانيوم الطبيعية. سُخّنت المحاليل حتى الجفاف ثم حُلّت في حمض كلور الماء (8 M). أخذ 1 مل من هذه المحاليل وقيست أشعة غاما باستخدام كاشف Ge-Li (المردود 12%, FWHM 0.998 عند الطاقة 122 keV و 1.88 keV عند الطاقة 1332 keV)، واستخدمت محاليل عيارية من الراديوم في التجارب التي تهدف لتحديد مُعامل توزّعه على المبادلات. استخدمت في عمليات الفصل المبادلات الأيونية من شركة بيوراد (50-100 mesh, 3.2meq/dry g) Dowex 1x8 Biorad و(100-200 mesh 1.6meq/dry g) DOWEX 50 Wx8 في أعمدة فصل زجاجية قطرها 1سم وطولها 15سم ذات خزان سعته 50 مل. غُسِل المبادل الأيوني بالماء المقطر ومن ثم بحمض كلور الماء ومن ثم بالماء المقطر والأسيتون، وفي النهاية بالماء المقطر قبل تمرير المحاليل عبره. قيس النشاط الإشعاعي للرشاحة بعد كل عملية فصل باستخدام نفس الكاشف واستخدمت النظائر ^{226}Ra, ^{235}U, ^{228}Ac, ^{234}Pa, ^{232}Th, ^{234}Th لمراقبة سلوك العناصر تجاه المبادلات الأيونية. يعطي الجدول 1 خصائص تفكك γ للنظائر المستخدمة. أجريت معالجة أطياف γ باستخدام برنامج GANAAS من IAEA [13].

حُدّد عامل التوزع K_d بعد قياس جميع الرشاحات باستخدام العلاقة:

$$K_d = \frac{Vr - Vi}{m_0}$$

حيث Vr حجم الرشاحة، Vi حجم المبادل، m_0 وزن المبادل.

الجدول 1– خصائص تفكك غاما للنظائر المستخدمة.

Isotope	E_γ (keV)	I_γ (%)
^{234}Th	63.29	4.5
	92.35	2.6
^{235}U	143	10.9
	186	53
^{226}Ra	186	3.5
^{234}Pa	569.5	10
	131	20
^{228}Ac	338.32	11.3
	911.21	26.6
	969.97	16.2
^{232}Th	63.81	0.267

النتائج والمناقشة

الثوريوم

أجريت سلسلة من التجارب لدراسة سلوك الثوريوم تجاه المبادل الأيوني DOWEX 1x8 في وسط حمض كلور الماء حيث فصل ^{234}Th من سلسلة اليورانيوم الطبيعية من أجل هذه التجارب. إن قيم معامل التوزع منخفضة (الجدول 2)، حيث يبلغ معامل التوزع القيمة العظمى عند 0.2 M ولا يوجد امتزاز للثوريوم على هذا المبادل في وسط من حمض كلور الماء، ولكن توجد نهاية حدية محلية عند M = 1.

الجدول 2– سلوك الثوريوم في وسط من HCl تجاه المبادل DOWEX 1x8.

Conc. (M)	K_d (ml/g)
0.1	32.8
0.2	48.4
0.5	10.9
0.8	10.9
1	14.1
2	4.7
4	4.7

الراديوم

آ- أجريت ثلاث سلاسل من التجارب لدراسة سلوك الراديوم تجاه المبادل DOWEX 1x8 في أوساط من حمض كلور الماء وحمض الآزوت وحمض فوق الكلور. يحوي الجدول 3 قيم معامل التوزع. يزداد معامل التوزع بزيادة تركيز الحمض باستخدام حمض فوق الكلور بينما يتناقص بزيادة تركيز الحمض عند استخدام حمض كلور الماء، ويتراوح حول قيمة تساوي 10 باستخدام حمض الآزوت.

ب- أجريت ثلاث سلاسل من التجارب لدراسة سلوك الراديوم تجاه المبادل DOWEX 50 Wx8 في أوساط من حمض كلور الماء وحمض الآزوت وحمض فوق الكلور. يحوي الجدول 4 قيم معامل التوزع.

الجدول 3– سلوك الراديوم تجاه المبادل DOWEX 1x8.

Conc. (M)	K_d (ml/mg) HNO_3	HCl	$HClO_4$
7			17.2
5			10.9
4	7.8	1.6	
3	14.1	7.8	4.7
2	10.9	4.7	3.1
1	7.8	4.7	3.1
0.8	14.1		
0.5	14.1	4.7	3.1
0.2	7.8	4.7	4.1
0.1	10.9	10.9	3.1

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

تزداد قيم معامل التوزع بشكل عام بانخفاض تركيز الحمض. لايشكل الراديوم أية معقدات مشحونة في هذه الأوساط، وبالتالي لا يُحتزّ على المبادل بشكل جيد، إلا أن مركباته قد تكون ذات استقطاب عال وبالتالي توجد قوى تبادل بين مركباته والمبادل مما يؤدي إلى سرعة جريان منخفضة عبر المبادل وبالتالي قيم عالية لمعامل التوزع.

الجدول 4– سلوك الراديوم تجاه المبادل DOWEX 50 Wx8.

Conc. (M)	K_d (mg/ml) HNO_3	HCl	$HClO_4$
8	4.7	29.7	9.4
6	4.7	23.4	35.9
4	7.8		20.3
3	10.9	60.9	85.9
2	29.7		35.9
1	70.3	779.7	435.9
0.8	298.4	623.4	1873.4
0.6			3904.5
0.5	1357.8	4748	
0.4			6092.2
0.3		10935.9	
0.2	> 4685	> 20354	> 10935
0.1			> 42317

فصل العناصر من السلاسل الطبيعية

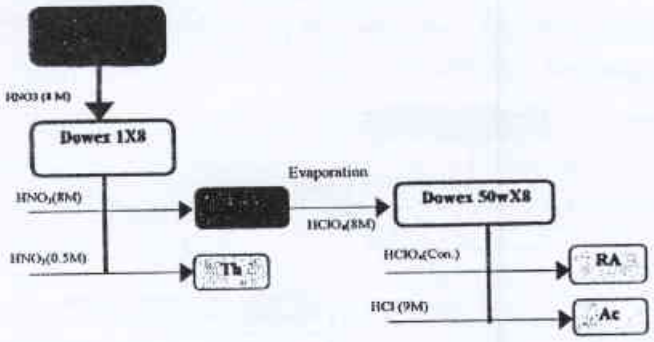
فصل عناصر الثوريوم والأكتينيوم والراديوم من سلسلة الثوريوم الطبيعية

اقترحت ثلاث طرائق لفصل الثوريوم والأكتينيوم والراديوم من سلسلة الثوريوم الطبيعية بناءً على نتائج قيم معامل التوزع للثوريوم والراديوم التي حصلنا عليها بالإضافة إلى المعلومات الموجودة في المراجع.

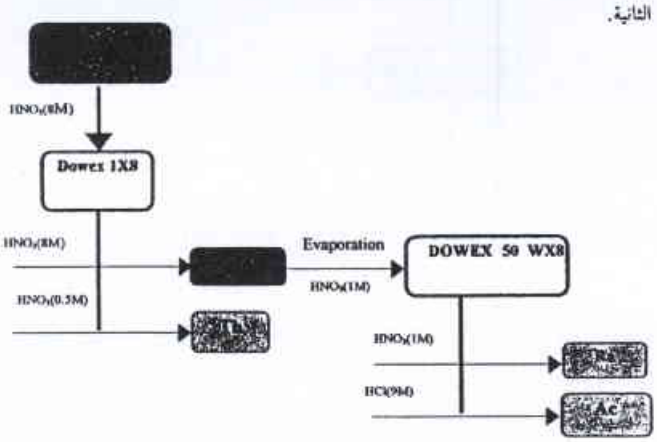
تعتمد هذه الطرائق في الخطوة الأولى على فصل الثوريوم بتثبيته على مبادل الأيونات السالبة DOWEX 1x8 في وسط من حمض الآزوت 8 M، حيث يعبر الراديوم والأكتينيوم المبادل ويمكن شطف الثوريوم باستخدام حمض الآزوت نفسه بتركيز 0.5 M.

يُبخر محلول الأكتينيوم والراديوم بعد ذلك حتى الجفاف. في الطريقة الأولى حُلَّ الأكتينيوم والراديوم في حمض فوق الكلور 8 M وفصلا باستخدام مبادل الأيونات الموجبة DOWEX 50 Wx8، حيث غسل الراديوم بمحلول مركّز من حمض فوق الكلور وغسل الأكتينيوم بحمض كلور الماء 9 M (الشكل 1).

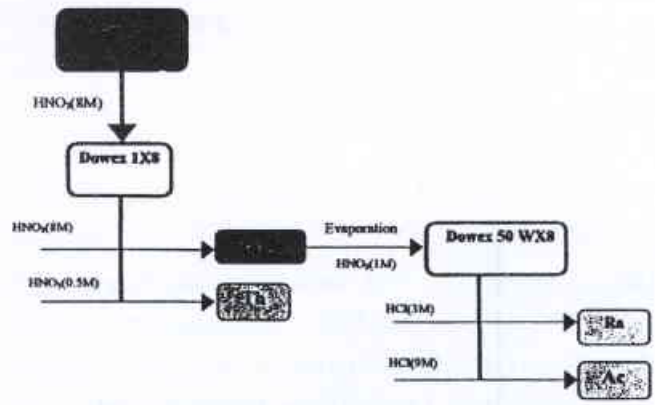
أما في الطريقة الثانية فقد تم حل الأكتينيوم والراديوم في حمض الآزوت 1 M ومُرّر المحلول على مبادل الأيونات الموجبة حيث غسل الراديوم باستخدام الحمض نفسه بنفس التركيز، بينما غسل الأكتينيوم باستخدام حمض كلور الماء 9 M (الشكل 2). في الطريقة الثالثة حُلّ الأكتينيوم والراديوم في حمض فوق الكلور 9 M ومُرّر المحلول على مبادل الأيونات الموجبة حيث غسل الراديوم باستخدام حمض كلور الماء بتركيز 3 M والأكتينيوم بتركيز 4 M (الشكل 3).



الشكل 1– فصل Th و Ra و Ac باستخدام حمض $HClO_4$ وحمض HCl في الخطوة الثانية.



الشكل 2– فصل Th و Ra و Ac باستخدام حمض HCl وحمض HNO_3 في الخطوة الثانية.



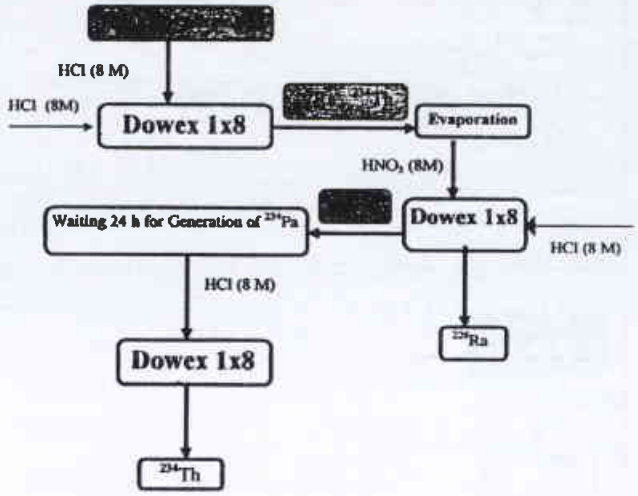
الشكل 3– فصل Th و Ra و Ac باستخدام حمض HCl في الخطوة الثانية.

فصل عناصر اليورانيوم والثوريوم والبروتكتينيوم والراديوم من سلسلة اليورانيوم الطبيعية

حُلَّ U_3O_8 في حمض الآزوت وبُخّر المحلول حتى الجفاف ثم حلَّ في وسط من حمض كلور الماء 8 M.

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

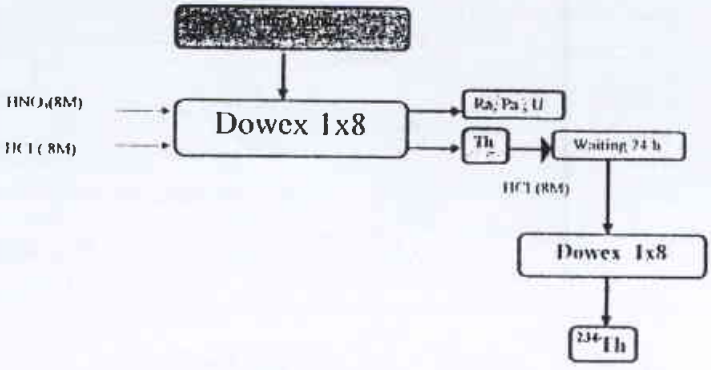
تمّ امتزاز اليورانيوم والبروتكتينيوم على مبادل الأيونات السالبة في هذا الوسط حيث يتفكك الـ $^{234}Pa(T_{1/2}=6.7\ h,\ 1{:}17\ min)$ بعد حوالي يومين. يُخَّر المحلول الذي يحوي الثوريوم والراديوم حتى الجفاف ثم حُل بعد ذلك بحمض الآزوت 8 M وفُصِل الراديوم باستخدام مبادل الأيونات السالبة حيث يتم امتزاز الثوريوم على المبادل ويعبر الراديوم المبادل. غسل الثوريوم من المبادل باستخدام حمض كلور الماء 8 M. يتولد البروتكتينيوم



الشكل 4– فصل U و Th و Pa و Ra من سلسلة اليورانيوم الطبيعية.

بعد 24 ساعة حيث يمكن فصله من جديد باستخدام مبادل الأيونات السالبة (الشكل 4).

درست طريقة أخرى لفصل البروتكتينيوم من سلسلة اليورانيوم الطبيعية لاستخدامه كقفّاء. حلت نترات اليورانيل في حمض الآزوت 8 M. ثبت الثوريوم على مبادل الأيونات السالبة بينما عبر الراديوم والبروتكتينيوم واليورانيوم المبادل غسل بعد ذلك الثوريوم من المبادل باستخدام حمض كلور الماء 8 M. يتولد البروتكتينيوم بعد 24 ساعة حيث يمكن فصله باستخدام مبادل الأيونات السالبة (الشكل 5).



الشكل 5– فصل البروتكتينيوم 234 من سلسلة اليورانيوم الطبيعية.

REFERENCES المراجع

[1] F. Weigel, Uranium in the Chemistry of the Actinide Elements, l, Chapter V, p 169, Ed. J.J. Katz, G.T. Seaborg, L.R. Morss, Chapmann and Hall, London-New York, (1989).

[2] L.I. Katzin and D.C. Sonnenberger, Thorium in the Chemistry of the Actinide Elements, 2, Chapter V, p 169, Ed. J.J. Katz, G.T. Seaborg, L.R. Morss, Chapmann and Hall, London-New York, (1989).

[3] J. Ligou, Installations Nucléaires, Presses Polytechniques, Paris, 1982.

[4] S. Takriti and A. Abdul-Hadi, J. Radianal. Nucl. Chem., Vol. 230(1998) 299-301.

[5] M. Ivonaovich, Radiochimica Acta, 52/53, 257-268 (1991).

[6] P. H. Hopke (Ed), Radon and its decay products, American Chemical Soc., Washington D.C., 1982.

[7] J. Korbisch, Handbook of Ion Exchange Resin: their application to inorganic chemistry, Vol. 5 Radium, CRC Press, p 331(1989).

[8] A. Abdul-HADI, DEA-theses, Paris 1989.

[9] H.W. Kirby, E. Murell, L. Salutsky, Radiochemistry of Radium, Nuclear Sciences Series, NAS-NS-3057 (1964).

[10] J. Korbisch, Handbook of Ion Exchange Resin: their application to inorganic chemistry, Vol. 2 Actinides, CRC Press, p 6-53 (1989).

[11] E. Kluge and K.H. Lieser, Radiochimica Acta, 27, 161-171(1980).

[12] L. Spanier and P.Ekstrom, Gammas, Program for identifying γ-lines, Dep. Nucl. Phys., Lund, Sweden, 1990.

[13] Gamma Neutron Activation Analysis Software GANNAS, 1991, IAEA, Vienna, IAEA/CMS/3.■

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

تأثير أشعة غاما على استخدام الحيوينات المنوية عند إناث فراشة درنات البطاطا المتسافدة لمرتين*

جورج سعور، حياة المكي
قسم الزراعة – هيئة الطاقة الذرّية السورية – ص.ب 6091 – دمشق – سورية

ملخص

تمّت دراسة تأثير التسافد الثاني على عدد وخصوبة البيوض التي تضعها إناث حشرة فراشة درنات البطاطا نتيجة تسافدها لمرتين: الأولى مع ذكر طبيعي، والثانية مع ذكر مشعّع بجرعة 450 غراي، أو بالعكس. أخذ دليل مقدار نسبة استعمال الحيوينات المنوية العائدة للتسافد الثاني (P2) قيمة 0.99 ، مبيناً أن هناك سيادة تامة للتسافد الثاني في إخصاب البيوض الموضوعة. تقوم الإناث المتسافدة مع ذكور مشعّعة أولاً بتكرار التسافد بعد يومين وسطياً، بينما يصل الزمن الذي يفصل بين التسافدين الأول والثاني عند الإناث المتسافدة مع ذكور طبيعية أولاً، إلى 3.3 يوم وسطياً.

ازداد متوسط عدد البيوض التي تضعها الإناث المتسافدة لمرتين عن تلك المتسافدة لمرة واحدة فقط. تضع إناث فراشة درنات البطاطا بيوضها بعد 1.9 يوم وسطياً من لحظة تسافدها، سواء مع ذكر مشعّع أو طبيعي، ولم يُلاحظ وجود إناث غير مخصبات قادرات على وضع البيوض. بلغت المدة التي تستغرقها عملية التسافد عند أزواج هذه الفراشة 102 إلى 117 دقيقة وسطياً في حالتي التسافد مع ذكور مشعّعة وطبيعية على التوالي. تُقدِّم هذه الدراسة معلومات، على درجة عالية من الأهمية، حول السلوك التزاوجي لفراشة درنات البطاطا، تُفيد في زيادة فعالية تقانة الذكور العقيمة ضد هذه الحشرة.

الكلمات المفتاحية: فراشة درنات البطاطا، تشعيع الذكور، منافسة الحيوينات المنوية.

مقدمة

تُعد فراشة درنات البطاطا من الحشرات الاقتصادية الهامة لمحصول البطاطا في العالم [1]. تمّت مناقشة إمكانية استخدام تقانة الذكور العقيمة كوسيلة بديلة عن المواد الكيميائية لمكافحة هذه الحشرة [2]، [3].

من المعروف أن إناث فراشة درنات البطاطا لها القدرة على التسافد لأكثر من مرة [4]. لذلك لابد من القيام بدراسة درجة المنافسة بين الحيوينات المنوية التابعة لأكثر من ذكر، وكذلك دراسة تأثير التسافد المتكرر على عدد البيوض وعلى فعالية تقانة الذكور العقيمة.

لقد أظهرت نتائج رانانفار ومساعديه [5]، فيما يخص حشرة فراشة درنات البطاطا، وجود سيطرة تامة للحيوينات المنوية العائدة للتسافد الثاني، وذلك في حالة تعاقب تسافدين: أولهما من ذكر طبيعي، وثانيهما من ذكر مشعّع بجرعة 450 غراي، أو بالعكس. بيد أن الباحثين المشار إليهم أغفلوا في دراستهم حساب قيمة (P_2) التي تعكس نسبة فقس البيوض التي يتم إخصابها بالحيوينات المنوية الناتجة عن التسافد الثاني.

يهدف هذا البحث إلى تحديد النموذج الذي يتم وفقه استخدام الحيوينات المنوية من قِبَل إناث حشرة فراشة درنات البطاطا المتسافدة لمرتين من خلال حساب قيمة (P_2)، وكذلك دراسة تأثير قيام الإناث بتسافدين متعاقبين: أولهما مع ذكر مشعّع بجرعة 450 غراي، وثانيهما مع ذكر طبيعي، أو بالعكس، على عدد البيوض. إضافة إلى تقديم معلومات تفصيلية عن سلوك وضع البيوض عند تلك الإناث، علماً أنه قد وجِدَ أن فراشة درنات البطاطا أكثر مقاومة لتأثير الأشعة مقارنة مع أنواع حشرية أخرى عائدة لرتبة حرشفية الأجنحة [3].

المواد والطرائق المستخدمة

تمّت تربية يرقات الحشرة استناداً إلى طريقة التربية المشار إليها من قبل راهلكار ومساعديه [6] على درجة حرارة 25 ± 2 °C، ورطوبة نسبية 70 ± 5%، ونوبة ضوئية 12–12 سا (ضوء – ظلام).

وضِعَت عذارى حديثة التشكّل من فراشة درنات البطاطا على نظام نوبة ضوئية 14–10 ضوء – ظلام، وتمّ تحويل النظام الضوئي المعتمد خلال فترة التجربة بشكل يعاكس النظام الطبيعي لتعاقب الليل والنهار. جُمِعت الفراشات الفاقسة حديثاً قبل ساعتين من انتهاء نوبة الإضاءة. تمّ تعريض عدد من الذكور (n = 40) لجرعة 450 غراي، ثم جُمِعت مباشرة ووضعت إفرادياً مع إناث طبيعية في علب التسافد مع بداية نوبة الظلام، كما جُمِع، في علب تسافد أخرى، أربعون ذكراً طبيعياً مع إناث طبيعية، وفي مرحلة لاحقة أُعيدت العملية المذكورة سابقاً واعتُبِرت الأزواج المشكّلة كمجموعة شاهد.

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *J. Appl. Entomol.*, JAE 123, August 1999. مراجعة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

استُخدِمت في التجارب أشعة غاما الصادرة عن جهاز Issogoa cell (^{60}Co)، حيث كانت شدة الجرعة 83 غراي / دقيقة. وفي التجارب كافة تمّ تعريض ذكور بعمر 0 – 18 ساعة وضِعت إفرادياً في أنابيب بلاستيكية شفّافة للتشعيع داخل حجرة التشعيع في الجهاز.

تمّت مراقبة عملية تسافد الفراشات بفاصل زمني قدره 20 دقيقة، باستخدام مصدر ضوئي مزوّد بغطاء من البلاستيك الشفّاف المطلي بدهان أحمر اللون، وذلك حتى انتهاء نوبة الظلام. عند انتهاء نوبة الظلام، جُمِعت الإناث التي قامت بعملية التسافد ووضِعت بشكل إفرادي في علب تسافد جديدة. أما الأزواج التي لم تدخل في عملية تسافد فقد فُصِلت عن بعضها، وأُعيد جمعها (الذكر والأنثى ذاتهما) من جديد في اليوم التالي. وعند بداية نوبة الظلام التالية، قُسّمت الإناث المتسافدة إلى أربع مجموعات:

1- تسافد أول مع ذكر طبيعي والثاني مع ذكر مشعّع (N-S).

2- تسافد أول مع ذكر مشعّع والثاني مع ذكر طبيعي (S-N).

3- التسافد الأول والثاني مع ذكور طبيعية (شاهد).

4- التسافد الأول والثاني مع ذكور مشعّعة (شاهد).

جُمِعت البيوض الناتجة عن هذه الإناث قبل عملية التسافد الثانية وبعدها، وتمّ عدّها، ثم حُفِظت لحين الفقس من أجل تحديد النسبة المئوية لفقس البيوض.

خضعت جميع الإناث بعد موتها لعملية تشريح، بغية التأكد من وجود الأكياس المنوية ضمن جراب التسافد bursa copulatrix في الجهاز التناسلي الأنثوي، واستُبعدت جميع الإناث التي لم يتواجد في أجربتها التسافدية كيسان منويان.

ولتحديد نسبة استعمال الإناث للحيوانات المنوية العائدة للتسافد الثاني في إخصاب البيوض، تم تطبيق معادلة إيتو [7] المعبَّر عنها بدليل (P_2)، والمعطاة على الشكل التالي:

$$P_2 = 1 / [sqrt(kh) + 1]$$

$$k = (X_{N-N} - X_{S-N}) / (X_{S-N} - X_{S-S})$$

$$h = (X_{N-S} - X_{S-S}) / (X_{N-N} - X_{N-S})$$

حيث:

X_{N-N}= النسبة المئوية لفقس البيوض نتيجة تسافدين مع ذكرين طبيعيين.

X_{S-S}= النسبة المئوية لفقس البيوض نتيجة تسافدين مع ذكرين مشعّعين.

X_{N-S}= النسبة المئوية لفقس البيوض نتيجة تسافدين: أولهما مع ذكر طبيعي، وثانيهما مع ذكر مشعّع.

X_{S-N}= النسبة المئوية لفقس البيوض نتيجة تسافدين: أولهما مع ذكر مشعّع، وثانيهما مع ذكر طبيعي.

اعتمدت الدراسة الإحصائية دائماً على مستوى ثقة 5%، لمتوسط عدد البيوض الناتجة عن إناث متسافدة لمرة واحدة أو لمرتين، والزمن الفاصل بين التسافدين، وموعد التسافد الأول وكذلك مدة التسافد. كما طُبِق اختبار تحليل النسب للمقارنة بين النسب المئوية المختلفة.

النتائج

تأثير التسافد الثاني على النسبة المئوية لفقس البيوض

بلغ متوسط النسبة المئوية لفقس البيوض عند الإناث نتيجة قيامها بتسافدين: أولهما مع ذكور طبيعية، وثانيهما مع ذكور مشعة 6.6%، بينما كانت هذه النسبة بحدود 82.7% عند الإناث التي تسافدت مع ذكور مشعّعة أولاً، ومن ثم مع ذكور طبيعية. إن متوسط النسبة المئوية لفقس البيوض عند الإناث التي تسافدت لمرتين مع ذكور مشعّعة، أو تلك التي تسافدت لمرتين مع ذكور طبيعية قد وصل إلى 5.1% و 6.5% على التوالي (الجدول 1). وعند تطبيق معادلة إيتو من أجل حساب النسبة المئوية لاستعمال إناث فراشة درنات البطاطا للحيوانات المنوية العائدة للتسافد الثاني، أخذ دليل P_2 قيمة 0.99 ، أي أن 99% من أبناء الجيل الأول ناتجة من الذكر الثاني مقابل 1% فقط من الذكر الأول.

الجدول 1- متوسط النسبة المئوية لفقس البيوض (±50)، ونسبة الإناث المتزاوجة لمرتين، ومتوسط الزمن الفاصل (±50) بين التزاوجين الأول والثاني نتيجة تزاوج إناث فراشة درنات البطاطا لمرتين مع ذكور مشعّعة بجرعة 450 غراي، وذكور طبيعية.

طبيعة التزاوج	متوسط النسبة المئوية لفقس البيوض	النسبة المئوية للإناث المتزاوجة لمرتين	الزمن بين التزاوجين الأول والثاني (يوم)
طبيعي-طبيعي	85.9±6.5 (n=8)	18.3a	3.3±1.2a
طبيعي-مشعّع	6.6±3.5 (n=7)	15.0a	3.4±1.6a
مشعّع-طبيعي	82.7±12.6 (n=8)	25.0a	1.9±0.9b
مشعّع-مشعّع	5.1±3.6 (n=8)	26.6a	2.0±0.9b

المتوسطات التي تحمل نفس الحرف غير مختلفة معنوياً على درجة معنوية 5% حسب اختبار LSD

النسب المئوية التي تحمل نفس الحرف غير مختلفة معنوياً على درجة معنوية 5% حسب اختبار تحليل النسب.

تأثير التسافد الثاني على متوسط عدد البيوض لكل أنثى

بلغت النسبة المئوية للإناث التي تسافدت مع ذكور طبيعية أولاً، ثم مع ذكور مشعّعة، أو طبيعية 15% و 18.3% على التوالي، بينما وصلت إلى 25% و 26.6% عند الإناث التي تسافدت مع ذكور مشعّعة أولاً ثم مع ذكور طبيعية، أو مشعّعة على التوالي. ويشير اختبار تحليل النسب إلى أن الفروقات الملاحظة ظاهرية وليست معنوية (الجدول 1).

أما بالنسبة للزمن الفاصل بين التسافدين الأول والثاني، فقد كان بحدود 3.3 يوم وسطياً عند الإناث التي تسافدت مع ذكور طبيعية أولاً، وبحدود يومين وسطياً عند الإناث التي تسافدت مع ذكور مشعّعة أولاً (الجدول 1).

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

كان للتسافد الثاني تأثير كبير على متوسط عدد البيوض التي وضعتها الإناث، فقد ارتفع متوسط عدد البيوض عند الإناث التي تسافدت لمرتين مقارنة مع تلك التي تسافدت لمرة واحدة (الجدول 2). وكانت الفروقات الملاحظة بين هاتين المجموعتين معنوية ($F=5.7, df\ 1;30$ و$F=8.9, df\ 1;30$) وكان الزمن الفاصل بين يوم تشكيل الأزواج وتسجيل وقوع التسافد الأول 1.5 و 1.1 يوم وسطياً للذكور المشعّعة وللشاهد على التوالي (الجدول 3)، وقد كانت الفروقات الملاحظَة معنوية ومؤكّدة إحصائياً ($F=6.5, df\ 1;72$). وتبيّن أن الإناث تقوم بوضع البيوض بعد 1.90 و 1.8 يوم وسطياً من يوم التسافد الأول مع الذكور المشعّعة والشاهد على التوالي (الجدول 3)، بيد أن الاختلافات غير مؤكدة إحصائياً.

المشعّعة (الجدول 4). وقد أشار اختبار تحليل التباين إلى أن الفروقات الملاحظة معنوية ومؤكّدة إحصائياً ($F=22.2, df\ 1;169$).

هذا وقد قمنا بتقسيم نوبة الظلام إلى ثلاث فترات متساوية، مدة كل منها 3 ساعات و 20 دقيقة. تشمل الفترة الأولى ساعات الظلام الأولى، والفترة الثانية ساعات الظلام المتوسطة، والفترة الثالثة ساعات الظلام الأخيرة. وتبيّن لنا أن 74.4% و 80.2% من الذكور المشعّعة والشاهد على التوالي يبدأ تسافدها أثناء فترة الظلام الأولى، بينما 11.9% و 20.3% منها تتسافد خلال فترة الظلام الأخيرة، والفروقات المسجّلة هنا ليست معنوية (الجدول 3).

الجدول 2– متوسط عدد البيوض لكل انثى ±SD نتيجة تزاوج إناث فراشة درنات البطاطا لمرة واحدة أو لمرتين مع ذكور مشعّعة بجرعة 450 غراي، أو طبيعية.

عدد مرات التزاوج	نوع الذكور: مشعّعة أو مشعّعة – مشعّعة	طبيعية أو طبيعية – طبيعية	مشعّعة أو مشعّعة – طبيعية	طبيعية أو طبيعية – مشعّعة
1	63.5±18.8a	81.7±38.1a	n67.6±38.9a	84.7±40.2a
2	102.1±27.8b	127.1±41.8b	125.8±24.1b	122.6±18.4b

المتوسطات (ضمن العمود) التي تحمل نفس الحرف غير مختلفة معنوياً على درجة معنوية 5% حسب اختبار LSD.

الجدول 3– النسبة المئوية للإناث التي لم تضع بيوضاً، ومتوسط الزمن للشروع بأول تزاوج (±SD)، ومتوسط الزمن بين أول تزاوج وبداية وضع البيوض (±SD) عند إناث فراشة درنات البطاطا نتيجة تزاوجها مع ذكور مشعّعة بجرعة 450 غراي، أو طبيعية.

نوع الذكور	النسبة المئوية لإناث متزاوجة ولم تضع بيوضاً	متوسط الزمن للشروع بأول تزاوج (يوم)	متوسط المدة بين أول تزاوج وبداية وضع البيوض (يوم)
ذكور مشعّعة	12.5a	1.5±0.7a	1.9±1.1a
ذكور طبيعية	2.5b	1.1±0.3b	1.8±1.3a

المتوسطات (ضمن العمود) التي تحمل نفس الحرف غير مختلفة معنوياً على درجة معنوية 5% حسب اختبار LSD.
النسب المئوية التي تحمل نفس الحرف غير مختلفة معنوياً على درجة معنوية 5% حسب اختبار تحليل النسب.

الجدول 4– النسبة المئوية للذكور المتزاوجة خلال فترة الظلام من النوبة الضوئية ضوء–ظلام 10:14 ومتوسط مدة التزاوج عند ذكور فراشة درنات البطاطا المشعّعة بجرعة 450 غراي، وذكور الشاهد.

نوع الذكور	بداية فترة الظلام (%)	منتصف فترة الظلام (%)	نهاية فترة الظلام (%)	متوسط مدة التزاوج (دقيقة)
ذكور مشعّعة	80.2a	7.9a	11.9a	117.7±21.1a
ذكور طبيعية	74.4a	5.3a	20.3a	102.4±21.2b

المتوسطات التي تحمل نفس الحرف غير مختلفة معنوياً على درجة معنوية 5% حسب اختبار LSD.
النسب المئوية التي تحمل نفس الحرف غير مختلفة معنوياً على درجة معنوية 5% حسب اختبار تحليل النسب.

كما أظهرت نتائجنا أن نسبة الإناث المتسافدة مع ذكور مشعّعة أولاً، ولم تضع بيوضاً، قد بلغت 12.5%، بينما كانت 2.5% فقط عند الإناث المتسافدة مع ذكور طبيعية أولاً، وكانت الفروقات بين تلك النسب معنوية ($Z=2.2, P<0.05$).

تأثير الأشعة على مدة التسافد وموعده

لقد استطعنا من خلال المراقبة الدورية أثناء فترة الظلام أن نحدد المدة التي تستغرقها عملية التسافد عند أزواج فراشة درنات البطاطا، حيث استغرقت عملية التسافد وسطياً 100 دقيقة عند الذكور الطبيعية، والذكور

المناقشة

يُعدّ التسافد لأكثر من مرة ظاهرة واسعة الانتشار عند الحشرات، ولاسيما عند الأنواع التابعة لرتبة حرشفية الأجنحة [8]. ترجع الأصول الأبوية للجيل الناتج، عند أنواع الحشرات متعددة الأزواج polygamous، إما للذكر الأول؛ أو لعدة ذكور؛ أو للذكر المتسافد أخيراً. وإن لهذه الظاهرة أهمية تطورية بالغة، إذ تخضع ذكور النوع إلى ضغط انتخابي يتم من خلاله استبعاد – في حالة عدم وجود مزج للحيوانات المنوية – ذرّية عدد من الذكور رغم قيامها بعمليات تسافد ناجحة [10,9].

تتيح لنا قراءة النتائج المستخلصة أن نتقدّم بعدد من المعطيات، المبنية على التجربة والملاحظة، والتي تساهم بشكل كبير في نجاح تقانة إطلاق

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

الذكور العقيمة عند فراشة درنات البطاطا. تشير القيمة العالية لدليل (P_2 (0.99 إلى أن هناك سيطرة تامة للتسافد الثاني على التسافد الأول، إذ تقوم إناث فراشة درنات البطاطا، في حالة تسافدها لمرتين، باستعمال الحيونات المنوية العائدة للتسافد الثاني، سواء كان الذكر مشعّعاً أو طبيعياً، وبنسبة تصل إلى 99%، مما يعني عدم وجود عملية مزج أو اختلاط للحيونات المنوية داخل الحافظة المنوية. لقد وجد إيتمان و هوبير [11] هذه الظاهرة عند حشرة Spodoptera litura F.

عند الأنواع الحشرية التي تنقل الذكور فيها إلى الإناث - وقت التسافد - أكياساً منوية، spermatophores تتحرك الحيونات المنوية ضمن قناة الحافظة المنوية Spermathecal duct في الجهاز التناسلي الأنثوي وفق اتجاهين متعاكسين: من القناة المخصبة للبيوض Vestibulum باتجاه الحافظة المنوية من أجل تخزين الحيونات المنوية، ومن الحافظة المنوية إلى القناة المخصبة لحظة إخصاب البيوض. يعتقد ريتناكاران [12] أن سبب سيطرة الحيونات المنوية الناتجة من الذكر الثاني يعود إلى وجود الكيس المنوي الثاني الذي يعيق حركة الحيونات المنوية الناتجة من الكيس المنوي الأول.

إن نموذج استخدام الحيونات المنوية عند إناث فراشة درنات البطاطا قد يؤثر سلباً على تقانة الحشرات العقيمة، ففي حالة قيام ذكر طبيعي من فراشة درنات البطاطا بالتسافد مع أنثى غير مخصبة، ثم عاودت الأنثى ذاتها التسافد مع ذكر مشعّع، فسيتم نتيجة هذه العملية الاستبعاد الكامل لذرّية الذكر الطبيعي، وهذه المحاكمة صالحة في حالة العكس. ولكن في حالة إطلاق أعداد كبيرة من الذكور المشعّعة، كما هي الحال في برامج إطلاق الذكور العقيمة، فإن فرصة تسافد الأنثى مع ذكر مشعّع ومن ثم مع ذكر طبيعي تكون ضئيلة، نتيجة السيطرة العددية للذكور العقيمة على الذكور الطبيعية في موقع الإطلاق.

من أهم العوامل التي تؤثر على درجة المنافسة بين الحيونات المنوية هو الزمن الفاصل بين التسافدين المتعاقبين [12, 13, 14, 15]. خلال هذه الدراسة تمّ تحديد نسبة فقس البيوض بعد التسافد الثاني، مع الأخذ بعين الاعتبار الزمن الفاصل بين التسافدين الأول والثاني. وقد أظهرت النتائج أنه في جميع الحالات كان الارتفاع والانخفاض في نسبة فقس البيوض- رغم اختلاف الزمن الفاصل بين التسافدين- يعود دائماً إلى كون الحيونات المنوية المستعملة عائدة للذكر الثاني، مشعّعاً كان أم طبيعياً، وبالتالي لا يوجد تأثير للزمن الفاصل بين التسافدين على قيمة دليل P_2 عند فراشة درنات البطاطا. وتتفق هذه النتيجة مع ما وجده ماسون و باشلي [16] في دراستهما حول تأثير الزمن الفاصل على نسبة استعمال الحيونات المنوية نتيجة تسافدين عند النوع Pseudoplusia includens Walker (Lep., Noctuidae). بينما يذكر ياماجيشي وزملاؤه [14] أنه يمكن للزمن الفاصل بين التسافدين أن يؤثر على درجة اختلاط أو مزج الحيونات المنوية عند حشرة ذبابة البطيخ Bactrocera cucurbitae Coquillet (Deptera: Tephritidae).

أظهرت النتائج أن الإناث التي تسافدت أولاً مع ذكور مشعّعة تميل لتكرار التسافد بمعدل أعلى من الإناث التي تسافدت أولاً مع ذكور طبيعية. وعلى ما يبدو فإن النوعية والكمية السيئتين لمواد الكيس المنوي، التي تنقلها الذكور المشعّعة بجرعة 450 غراي إلى الإناث أثناء التسافد الأول، تدفع هذه الإناث إلى تكرار التسافد بوتيرة أعلى من الإناث التي تسافدت أولاً مع ذكور طبيعية [17].

أوضحت النتائج أن إناث فراشة درنات البطاطا تبدأ بوضع البيوض بعد يومين وسطياً من تسافدها الأول، وتماثل هذه المدة الزمن الفاصل بين وقوع التسافدين الأول والثاني، في حالة التسافد مع ذكر مشعّع أولاً، وهي في الوقت ذاته أقل من الزمن الفاصل بين التسافدين الأول والثاني، في حالة التسافد مع ذكر طبيعي أولاً (3.3 يوم)، مما يعني أن معظم الإناث المتسافدة مع ذكور طبيعية أولاً ستضع بيوضاً قبل أن تتسافد لمرة ثانية مع ذكر مشعّع أو طبيعي، علماً أن نسبة الإناث المتسافدة لمرة ثانية، رغم تسافدها مع ذكر طبيعي، تصل إلى 15% - 18.5%، وهذه الحالة ستحتم علينا إطلاق أعداد كبيرة من الذكور المشعّعة، مما يضمن أن التسافد الأول سيكون دائماً مع ذكر مشعّع، لأن الأنثى الطبيعية، فيما لو تسافدت مع ذكر طبيعي أولاً، ستضع بيوضاً خصبة قبل أن تتسافد ثانية مع ذكر مشعّع.

ازداد عدد البيوض نتيجة تسافد الإناث لمرتين، سواء مع ذكور مشعّعة أو طبيعية، مقارنة مع الإناث المتسافدة لمرة واحدة. ففي جميع الحالات المدروسة، تفوقت الإناث المتسافدة لأكثر من مرة على نظيراتها المتسافدة لمرة واحدة. وتتفق هذه النتيجة مع ما ذكره فارد ولاندولت [18] عندما أشارا إلى وجود زيادة في درجة خصوبة إناث فراشة الدودة القياسية Tricoplusia ni Hubner (Lep., Noctuidae) المتسافدةلأكثر من مرة، مقارنةً مع تلك المتسافدة لمرة واحدة. وتُعزى زيادة متوسط عدد البيوض، نتيجة لإعادة عملية التسافد، إما: 1- إلى تزويد الإناث بكميات إضافية من الحيونات المنوية التي تستعمل في إخصاب البيوض، مما ينعكس على سلوك وضع البيوض 2- أو إلى حصولها على مواد مغذية، تُنقل إليها بواسطة الأكياس المنوية ومفرزات الغدد الملحقة، وتستعمل في إنتاج البيوض [19, 20, 21, 22]. ونشير إلى أن عدد البيوض الناتجة من الإناث المتسافدة مع ذكور مشعّعة لمرة واحدة أو لمرتين كانت دائماً أدنى من تلك المتسافدة مع ذكور طبيعية (الجدول 2).

تمّت ملاحظة وجود تأخير في بدء عملية التسافد الأول عند الذكور المشعّعة بجرعة 450 غراي، حيث احتاجت هذه الذكور لزمن أطول للشروع في عملية التسافد، مقارنةً مع الذكور الطبيعية، ويصل هذا الفرق إلى حوالي 0.4 يوم وسطياً. أي أن للتشعيع بجرعات عالية تأثيراً سلبياً على قدرة الذكور على مباشرة عملية التسافد في وقت قصير نسبياً، وتتفق هذه النتيجة مع ما ذكره رانانافار وزملاؤه [23] لذلك فإننا ننصح بأن تُحجز الذكور بعد تشعيعها بجرعة 450 غراي لمدة 24 ساعة قبل إطلاقها، حتى تتاح لها فرص أفضل لمنافسة الذكور الطبيعية في الوصول إلى الإناث الطبيعية الموجودة في الحقل.

تبيّن نتائجنا أن عملية التسافد عند فراشة درنات البطاطا تستغرق ما يزيد عن 100 دقيقة وسطياً. بينما نجد أن مدة التسافد عند النوع P.includens تصل إلى 48 دقيقة وسطياً [24] وتبلغ أكثر من 60 دقيقة عند فراشة الغجر Lymantria dispar (L.) (Lep., Lymantriidae) [25]. تتواجد الحيونات المنوية عند الذكور حديثة الظهور ضمن

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

الحويصلات المنوية Seminal vesicles والغدد المزدوجة، وتنتقل فيما بعد إلى الغدد الفردية [26]. وقد تُعزى زيادة مدة التسافد عند الذكور المشعَّعة إلى أن الأشعة المؤينة بجرعات عالية تخلق بعض الحواجز في الجهاز التناسلي الذكري، تعيق حرية الحركة والانتقال للحيوينات المنوية أو للكيس المنوي من الذكور المشعَّعة إلى الإناث وقت التسافد، ضمن الزمن الطبيعي لعملية التسافد [20].

وقعت معظم عمليات التسافد في الفترة الأولى من نوبة الظلام، وتتفق هذه النتيجة مع ما ذكره توث [27] في أن سلوك الدعوة للتسافد عند إناث فراشة درنات البطاطا يقع بمعظمه في الساعات الخمس الأولى من نوبة الظلام، مع إمكانية قيام الإناث بسلوك الدعوة للتسافد في أي وقت من نوبة الظلام، وهذا يفسر جلياً وقوع جزء من التسافدات المسجَّلة لدينا في منتصف نوبة الظلام وآخرها.

تقدّم هذه الدراسة معلومات قيّمة تُضاف إلى ما كنّا قد تقدّمنا به حول تأثير أشعة غاما في إحداث العقم عند فراشة درنات البطاطا، وتشكّل بذلك القاعدة العلمية الصحيحة والضرورية فيما إذا اعتمدنا تقانة الذكور العقيمة كوسيلة لمكافحة هذه الحشرة.

REFERENCES المراجع

[1] FENEMORE, P. G., 1988: Host-plant location and selection by adult potato moth Phthorimaea operculella (Lepidoptera: Gelechiidae): a review. J. Insect Physiol. 34, 175-177.

[2]SAOUR, G., MAKEE, H., 1997: Radiation induced sterility in male potato tuber moth Phthorimaea operculella Zeller (Lep., Gelechiidae). J.Apple. Entomol. 121, 411-415.

[3] MAKEE. H., SAOUR, G., 1997: Inherited effects in Fl progeny of partially sterile male Phthiorimaea operculella Zeller (Lep., Gelechiidae). J. Econ. Entomol. 5, 1097-1101.

[4] ONO, T., 1979: Copulatory behaviour of the potato tuber moth Phthorimaea operculella. Physiol, Entomol. 4, 317-376.

[5] Rananavare, H.D.; Harwalker, M.R; Rahalkar, G.W. 1990: Studies on the mating behaviour of radiosterilized males of potato tuberworm, Phthorimaea operculella (Zeller). J. Nuclear Agric. Biol. 19, 47-53.

[6] RAHALKAR, G. W., HARWALKAR, M. R., RANANAVARE, H. D., 1985: Hand book of Insect Rearing, Vol. H. Ed, by SINGH, P., MOOR R. F. Amsterdam; Elsevier Seience Publishers, 433-451.

[7] ITOU, K., 1992: Studies on the prolonged copulation of the southern green stink bug, Nezara piridula L. (Heteroptera: pentatomidae). MS Thesis, Nagoya, Japan: Nagoya University.

[8] DRUMMOND, B. A. HI. 1984: Multiple mating and sperm competition in the Lepidoptera. In: Sperm Competition and the Evolution of Animal Mating Systems. Ed. by SMITH, R. L. Orlando, FL: Academic Press, 291 370.

[9] McCAULEY, D. E., REILLY, L. M., 1984: Sperm storage and sperm precedence in the milkweed beetle. Tetraopes tetraophtalnws Forster (Coleoptera: Cerambycidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 77, 526-530.

[10] SMITH, R. L., 1984: Sperm Competition and the Evolution of Animal Mating Systems. Orlando, FL: Academic Press

[11] ERMAN. A. A. M., HOPPER. G. H., 1979: Sperm precedence of the last mating in Spodoptera litura. Ann. Entomol. Soc. Am. 72, 119-120.

[12] RETNAKARAN, A., 1974: The mechanism of sperm precedence in the spruce budworm, Choristoneura fumiferana (Lep., Tortricidac). Can, Ent. 106, 1189-1194.

[13] GROMOKO. M. H., GILBERT, D. G., RICHMOND, R. C., 1984: Sperm transfer and use in the multiple mating system of Drosophila. In: Sperm Competition and the Evolution of Animal Mating Systems. Ed. by SMITH, R. L. Orlando, FL: Academic Press, 372-426.

[14] YAMAGISHI. M., ITO, Y., TSUBAKI, Y., 1992: Sperm competition in the melon fly Bactrocera cucurbitae (Diptera: Tephritidae): effects of sperm 'Longevity' on sperm precedence. J. Insect Behav. 5, 599-608.

[15] SUZUKI, N., OKUDA. T., SHINBO, H., 1996: Sperm precedence and sperm movement under different copulation intervals in the silkworm, Bombyx mori. J. Insect Physiol. 3, 199-204.

[16] MASON, L. J., PASHLEY, D. P., 1991: Sperm competition in the soybean looper (Lep., Noctuidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 84, 268-271.

[17] HOLT, G. G., NORHI, D. T., 1970: Effects of gamma irradiation on the mechanisms of sperm transfer in Trichoplusia ni. J. Insect Physiol. 16, 2211-2222.

[18] WARD, K. E., LANDOLT, P. J., 1995: Influence of multiple matings on fecundity and longevity of female cabbage looper moths (Lep., Noctuidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 88, 768-772.

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

[19] FLINT, H. M., KRESSIN, E. L., 1968: Gamma irradiation of the tobacco budworm: sterilization, competitiveness, and observations on reproductive biology. J. Econ. Entomol. 61, 477-483.

[20] -;-; 1969: Transfer of sperm by irradiated Heliothis pirescens (Lep., Noctuidae) and relationship to fecundity. Can. Entomol. 101, 500-507.

[21] BOGGS, C. L., WATT, W. W., 1981: Population structure of pierid butterflies IV. Genetic and physiological investment in offspring by male Colias. Oecologia (Berl.) 50, 320-324.

[22] GREENFIELD, M. D., 1983: The question of paternal nutrient investment in Lepidoptera; male contributed proteins in Plodia interpunctella. Int. J. Invertebr. Reprod. 5, 323-330.

[23] RANANAVARE, H. D., HARWALKAR, M. R., RAHALKAR, G. W., 1989: Control of potato tuberworm, Phthorimaea operculella (Zeller) (Lep., Gelechiiidae): effect of gamma-irradiation on developmental stages. J. Nuclear Agric. Biol. 18, 71-78.

[24] MASON, L. J., JOHNSON, S. J., 1987: Observations of the mating behavior of Pseudoplusia includens (Lep., Noctuidae). Fl. Entomol. 70, 411-413.

[25] WALDVOGEL, M. G., COLLISON, C. H., CAMERON, E. A., 1981: Duration of pre-copulatory periods of laboratory-reared irradiated and non-irradiated male gypsy moths. Environ. Entomol. 10, 388-389.

[26] SHOREY, H., MORIN, K. L., CASTON, L. K., 1968: Sex pheromones of noctuid moth, XV. Timing of development of pheromone-responsivenes and other indications of reproductive age in males of eight species. Ann. Entomol. Soc. Am. 61, 857-861.

[27] TOTH, M., 1985: Temporal pattern of female calling behaviour of the potato tuberworm moth Phthorimaea operculella Zeller (Lep., Gelechiidae). Z. Ang Ent. 99, 322-327.■

☆ ★ ☆

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

التقارير العلمية

إنشاء مكتبة مقاطع عرضية بمجموعتين نترونيتين للمفاعل MNSR*

محمد البرهوم، سلمان محمد
قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

فيما يلي توصيف لطريقة إنشاء مكتبة مقاطع عرضية نووية مجهرية بمجموعتين نترونيتين خاصة بالمفاعل MNSR بشكل عام وبالمفاعل السوري بشكل خاص (مفاعل المنبع النتروني الصغير)، وذلك لتمكين الكود الهدروحراري HYDMN من إجراء الحسابات الهدروحرارية للمفاعل المذكور بأكبر دقة وسهولة ممكنتين. جرى استخدام الكود WIMSD-4 من أجل إجراء حسابات المقاطع العرضية للمنطقة الواحدة في المفاعل، كما تمت كتابة واستخدام برامج أخرى مثل البرنامج TRAN أيضاً من أجل استخلاص المقاطع اللازمة من خرج الكود WIMSD-4 و كتابتها في انتساق المكتبة في الملف HYDMN.LIB وهو الملف الذي يشكل المكتبة التي نتحدث عنها.

وجرى أيضاً تعديل الكود HYDMN ليقبل خيار قراءة المقاطع العرضية الجهرية للمناطق المؤلفة للمفاعل بشكل مباشر.

الكلمات المفتاحية: مكتبة مقاطع عرضية نووية، كود، مفاعل، انتساق

مقدمة

بعد القيام بإنشاء الكود الهدروحراري HYDMN للمفاعل السوري MNSR وتجريبه عليه [4]، وهو برنامج يقوم بدراسة التوزع الحراري في المفاعل المذكور في جميع قنواته وفي العاكس ومياه الحوض في الحالة المستقرة، تبين أن ثمة حاجة لمعرفة المقاطع العرضية لكل تشكيلة configuration من تشكيلات تحميل المفاعل بالوقود. ويفرض هذه الحاجة أيضاً أي تعديل يقوم به المصمم على المفاعل.

هذا الأمر يتطلب حساب مقاطع عرضية جديدة للمفاعل (في الوضعية الجديدة)، وهذا دفع إلى البحث عن طريقة لتوليد مقاطع تلائم الوضع الجديد وتجميعها في مكان يسمى "مكتبة"، يستطيع الكود المذكور الإفادة منها. وفي الفقرة التالية وصف لطريقة التحضير:

طريقة تحضير المكتبة النووية HYDMN.LIB

في المخطط الوارد في الشكل 1 سرد للمراحل التي يمر بها تحضير المكتبة المذكورة، حيث يقصد من "تحضير الكود WIMS" تأهيله وتجهيزه كي يعمل على أجهزة الكمبيوتر المتوفرة لدينا (حواسب شخصية 486 وما فوق). أما تحضير ملف الدخل للكود WIMS فيقصد به كتابته بحيث يوصّف المسألة المطلوبة وهي تحضير المقاطع العرضية بمجموعتين نترونيتين للمناطق المشكلة للمفاعل حسب مفهوم الكود HYDMN للمنطقة [4].

أما عن تشغيل الكود فيقصد منه توصيف الأوامر التي تشغله على الحاسب أو الملفات التجميعية أو أية وسيلة معدّة للغرض. تجدر الإشارة إلى أن الكود WIMS في حالتنا هذه يتم تشغيله بالأمر:

C: > WIMS MMMMM.WII

بفرض أننا نقوم بتشغيله من محرك الأقراص C وأن ملف الدخل هو MMMMM.WII.

الشكل 1- المخطط الصندوقي العام لإنشاء مكتبة المقاطع العرضية للمفاعل MNSR.

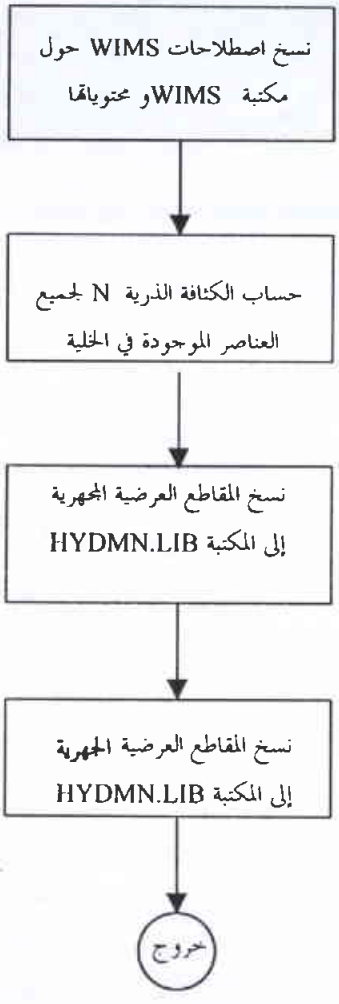
* تقرير مختصر عن دراسة حاسوبية أنجزت في قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

لاحظ أن التمدد WII extension. أساسي في نسخة الكود هذه والكود WIMS لايقبل أي ملف دخل لا يحمل هذا التمدد.

أما عن ملف خرج الكود WIMS فهو ملف من النوع WIO*. ويحتوي على النتائج المطلوبة طباعتها لذا فإن استخلاص الأرقام والنتائج (المقاطع العرضية) المطلوبة يتطلب معالجة ربما أوتوماتيكية للملف تفادياً للأخطاء في القراءة العادية للملف ولنقل النتيجة إلى ملف مكتبة الكود HYDMN مباشرة.

وبخصوص برنامج تحليل خرج الكود WIMS فإن البرنامج RTAN يقوم بتحليل ملف الخرج للكود WIMS حسب المخطط الصندوقي الوارد في الشكل 2.



الشكل 2– المخطط الصندوقي لعمل البرنامج TRAN.

النتائج

بعد تشغيل الكود WIMS للقيام بحل مسألة الخلية، يقوم البرنامج TRAN، وبشكل آلي، بنسخ المقاطع العرضية في ملف المكتبة المسمى اصطلاحاً HYDMN.LIB ونحصل في النهاية على ملف (مكتبة) من الشكل المبين في الشكل 3.

```
Material    Identification Number                Material      Ident. Number
-------------------------------------------------------------------------
Hydrogen    2001,4001,9001                       Natural Hafnium   178
Deuterium   4002,5002,6002,7002,8002,9002        Krypton-83 (FP)   83
Helium-3    3                                    Molybdenum-95(FP) 95
Technetium-99(FP) 99                              Ruthenium-101(FP) 101
Lithium-6   6                                     Ruthenium-103(FP) 1103
Lithium-7   7                                     Rhodium-103 (FP)  103
Beryllium-9 9                                     Rhodium-105 (FP)  105
Boron-10    10 (burnable)                         Palladium-105 (FP)1105
Boron-10    1010 (unburnable)                     Silver-109 (FP)   109
Natuar-boron 11                                   Cadmium-113 (FP)  113
Carbon      12                                    Indium-115 (FP)   115
Graphite damage 1212                              Iodine-127 (FP)   127
Nitrogen    14                                    Xenon-131   (FP)  131
Oxygen      16                                    Caesium-133 (FP)  133
Fluorine    19
Sodium      21                                    Caesium-134 (FP)  134
Aluminium   27                                    Xenon-135   (FP)  135
Silicon     28                                    Caesium-135 (FP)  135
Chromium    52                                    Neodymium-143(FP) 143
Manganese   55                                    Neodymium-145(FP) 145
Iron        56                                    Promethium-147(FP)147,1147
"Heavy" Iron 1056                                 Samarium-147 (FP) 2147
Nickle      58                                    Promethium-148(FP)148,1148
Copper      63                                    Samarium-149 (FP) 149
Zirconium   91                                    Samarium-150 (FP) 150
Cadmium     112                                   Samarium-151 (FP) 151
Dysprosium-164 164                                Samarium-152 (FP) 152
Lutetium-176   176                                Europium-153 (FP) 153
Gadolinium-155 1155                               Europium-154 (FP) 154
Lead        207                                   Europium-155 (FP) 155
Thorium-232 232                                   Pu-239          239,1239,2239,3239
U-233       233                                   Pu-240          240,1240
U-234       234                                   Pu-241          241
U-235       235                                   Pu-242          242
U-236       236                                   Pure 1/v absorber   1000
U-238       238,1238,2238                           "-" negative      2000
Resonance part of 1/v abs.  1999                  Copper-63 (det)     1063
Pure absorber  3000                               Antimony-121        121
Antimony-123   123                                Erbium              167

MN= Material number, D=density(g/cm3), T=temperature (in kelvin)
S= spectrum type: 1=fuel,2=can, 3=coolant, 4=moderater,ID= identification
number in the above WIMS library convention , P=Weight percentage, $= The line
that follows is a continuation line

      MN    D      T    S   ID      P          ID      P
      1   3.403    320  1   235.4  24.831081  2238.4  2.798919        $
                             27     72.37      3239.1  1.E-20
      2   2.699    300  2   27     100.
      3   0.997    309  3   2001   11.1111    16      88.8889
      4   1.E-1    309  1   112    100.
      5   1.85     310  4   9      100.
      6   7.86     310  2   56     37.39      2001    6.9555          $
                            16     53.6545
      7   1.29     300  2   14     80.        16      20.

Microscopic XS for MNSR constituting elements

MN ABSORB 1G NU*FISS 1G SCATTER 1->2  ABSORB 2G NU*FISS 2G DIFF 1G   DIFF 2G   No DENSITY

 1 418668E+00 659350E+00 281431E+00 188085E+02 385533E+02 224909E+01 281431E+00 5711161-01
 2 858299E-02 000000E+00 353146E+01 181891E+00 000000E+00 302307E+01 353146E+01 601981E-01
 3 490170E-02 000000E+00 162174E+00 178184E+00 000000E+00 119272E+01 162174E+00 100066E+00
 4 767988E+00 000000E+00 208860E+00 296136E+04 000000E+00 116970E+03 208860E+00 53768IE-03
 5 112546E-01 000000E+00 439121E+00 503847E 02 000000E+00 674736E+00 439121E+00 123786E+00
 6 704728E-02 000000E+00 312745E-01 293960E+00 000000E+00 234321E+00 312745E-01 519558E+00
 7 595136E-01 000000E+00 626114E+00 122329E+01 000000E+00 245255E+01 626114E+00 541016E-01

Macroscopic XS for reactor zones

ZONE  DIFF.1G    ABSORB.1G   NU*FISS.1G  SCATTER.1->2   DIFF.2G     ABSORB.2G   NU*FISS.2G
 1 .209205E+02 .724196E-03 .000000E+00 .550350E-01 .157800E+00 .185137E+00 .000000E+00
 2 .150178E+01 .417593E-02 .592188E-02 .384710E-01 .406241E+00 .114220E+00 .201893E+00
 3 .150257E+01 .418587E-02 .593786E-02 .384400E-01 .406964E+00 .114506E+00 .202492E+00
 4 .151730E+01 .436156E-02 .622017E-02 .378790E-01 .419799E+00 .119575E+00 .213109E+00
 5 .152592E+01 .446432E-02 .638527E-02 .375510E-01 .427361E+00 .122561E+00 .219364E+00
 6 .152110E+01 .440685E-02 .629294E-02 .377340E-01 .423127E+00 .120889E+00 .215862E+00
 7 .152592E+01 .446432E-02 .638527E-02 .375510E-01 .427361E+00 .122561E+00 .219364E+00
 8 .152248E+01 .442328E-02 .631934E-02 .376820E-01 .424336E+00 .121367E+00 .216862E+00
 9 .151385E+01 .416926E-02 .591045E-02 .376550E-01 .456662E+00 .114262E+00 .202195E+00
10 .152724E+01 .443241E-02 .633400E-02 .376530E-01 .425008E+00 .121632E+00 .217418E+00
11 .151422E+01 .413544E-02 .582478E-02 .381850E-01 .430885E+00 .112617E+00 .198657E+00
12 .169885E+00 .117540E-02 .000000E+00 .657500E-02 .458477E+00 .258326E-02 .000000E+00
13 .128452E+01 .559791E-03 .000000E+00 .473880E-01 .261789E+00 .186322E-01 .000000E+00
```

الشكل 3– مكتبة المقاطع العرضية الناتجة (HYDMN.LIB).

تتألف المكتبة الناتجة من أربعة أجزاء:

1– **الجزء الأول**: وهو يوصّف العناصر الموجودة في مكتبة الكود WIMSD من حيث أرقامها وأسماؤها.

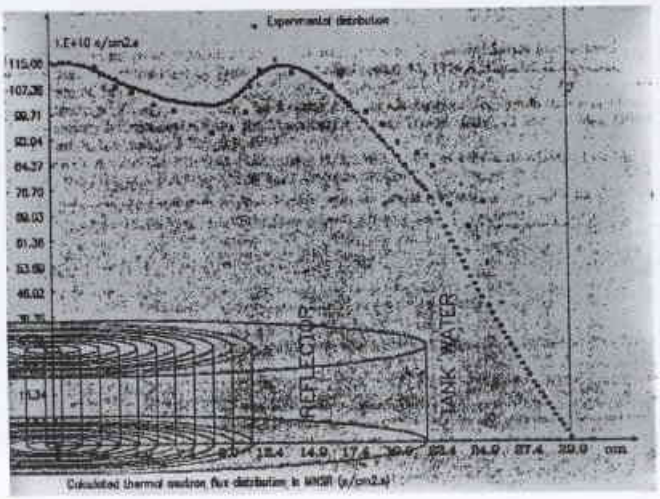
2– **الجزء الثاني**: وهو يصف العناصر المطلوبة (الموجودة في الخلية) ويحدد خصائصها أيضاً.

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

3- **الجزء الثالث:** ويتألف من المقاطع العرضية المجهرية للعناصر المذكورة في الجزء 2.

4- **الجزء الرابع:** ويتألف من المقاطع العرضية المجهرية للمناطق التي يتألف منها المفاعل MNSR.

جدير بالذكر أن الكود HYDMN قادر على التعامل مع كلا النوعين من المقاطع العرضية.



الشكل 4- مقارنة بين القيم التجريبية [3] والمحسوبة بقراءة المقاطع العرضية المجهرية الوسطية للمناطق في المفاعل MNSR.

المناقشة

بالعودة إلى النتائج الملخصة في الفقرة السابقة وبتشغيل الكود HYDMN في حالة المقاطع العرضية المجهرية، فإننا نحصل على النتائج المبينة في الشكل 4. من ملاحظة الشكل 4 نستطيع الاستنتاج أن الحسابات تقترب إلى حد ما من القيم التجريبية، وهذه غاية هذا العمل.

المراجع

REFERENCES

[1] Proceedings of the Workshop on Nuclear Reactors, Physics, Design and Safety. International Center for Theoritical Physics, Trieste, Italy, April 11-May 13, 1994,A. Gandini, S. Ganesan, J. J.Schmidt, 1995

[2] Proceedings of the Workshop on Reactor Physics Calculations for Applications in Nuclear technology. Internationl Center for Theoritical Physics, Trieste, Italy, 12 Feb- 16 Mar, 1990, E. Cullen, R. Muranaka, J. Schmidt, 1991

[3] SAFETY ANALYSIS REPORT FOR MINIATURE NEUTRON SOURCE REACTOR (MNSR) CHINA INSTITUTE OF ATOMIC ENERGY, Code MNSR-GN-2

[4] تطوير الكود الهدروحراري HYDMN بما يلائم حالة المفاعل MNSR المستقرة. محمد البرهوم، سلمان محمد. تقرير عن دراسة حاسوبية قيد الإخراج.■

تطوير الكود الهدروحراري HYDMN ليشمل الحالة العابرة للمفاعل MNSR*

محمد البرهوم، سلمان محمد
قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

في مايلي وصف للإضافات التي نفذت لتطوير الكود الهدروحراري HYDMN من كود يُعنى بالحالة المستقرة هدروليكياً للمفاعل MNSR (بمساعدة قواعد بيانات خارجية) إلى كود يحسب الحالة المستقرة عن طريق قراءة الوضع الابتدائي للمفاعل فقط (الاستطاعة الحرارية مقدَّرة بالكيلواط ودرجة حرارة الماء عند مدخل القلب)، و من ثمّ إجراء دراسة زمنية لتغير كل من درجات حرارة الماء عند مدخل القلب وعند مخرجه وتغير سرعة دفق المبرد عبر القلب وتغير درجة حرارة البركة reactor pool والحاوية reactor tank...الخ، كل هذا للمفاعل MNSR بشكل عام وللمفاعل السوري بشكل خاص (مفاعل المنبع النتروني الصغير)، لكون المعطيات المتوفرة، التصميمية والتجريبية، تعود لهذا المفاعل. يعتمد الكود في دراسة الحالة العابرة على نمذجة المفاعل حسب ما هو وارد في [1] ويقوم بحل جملة المعادلات الناتجة على الزمن بطرائق مختلفة [3] وبعدها يختار الكود اللحظة التي يعتبرها نهاية الحالة العابرة وبداية الحالة المستقرة ليصبح الكود HYDMN بهذا غنياً عن أي مصدر معلومات خارجي للقيام بدراسة الوضع الهدروحراري للمفاعل MNSR.

الكلمات المفتاحية: المفاعل MNSR، الكود HYDMN، الحالة العابرة.

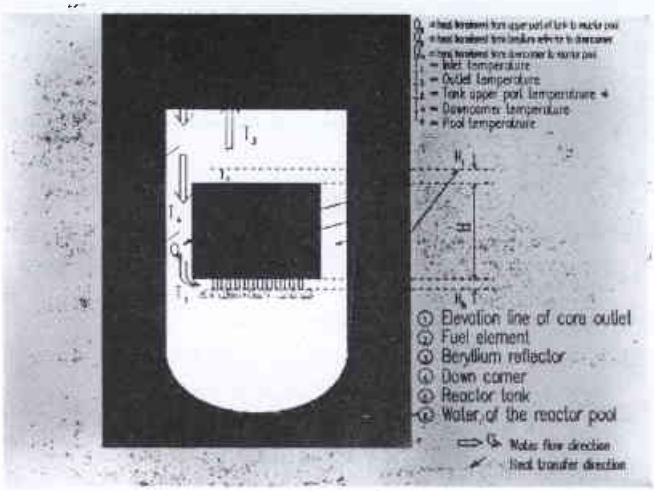
* تقرير مختصر عن دراسة علمية حاسوبية أنجزت في قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

مقدمة

بعد القيام بإنشاء الكود الهدروحراي HYDMN للمفاعل السوري MNSR [2]، لوحظ أن اعتماد الكود على قاعدة بيانات، تعتمد هذه الأخيرة على نتائج حسابات باحثين صينيين [1]، أمر غير مأمون الجانب لأن المفاعل الذي أجريت له دراسة الحالة العابرة قد يكون مختلفاً ولو قليلاً عن المفاعل MNSR السوري [4].

وإذا حصل التطابق بين المفاعلين، فإن الشروط الابتدائية فيهما قد تكون مختلفة. كما أن الكود في هذا الوضع يفتقر قليلاً إلى العمومية في طابعه، وهذا أيضاً أمر غير مستحب. من جهة أخرى فقد كُتِب الكود HYDMN ليستخدم في إجراء حسابات المفاعل MNSR المعدَّل. وهذا الأمر يفرض ثانية على الكود أن يتميز بالعمومية التي تمكّنه من دراسة أوضاع مختلفة للمفاعل في ظروف مختلفة أيضاً مع مراعاة النمذجة (الشكل 1) التي قام على أساسها الكود ومدى صلاحيتها في الظروف المختلفة.



الشكل 1- رسم تخطيطي لنمذجة الحالة العابرة للمفاعل MNSR.

وعلى هذا الأساس فقد كتب الجزء من هذا الكود الذي يدرس الحالة العابرة للمفاعل MNSR ويستخدم نتائجها في دراسة الحالة المستقرة للمفاعل نفسه.

نمذجة وحل مسألة النقل الحراري في المفاعل MNSR للحالة العابرة

لحل مسألة النقل الحراري الموضَّحة في الشكل 1، نتخذ النموذج المقترح في المرجع [1] وهو:

1- افتراض توزع متجانس للطاقة على قضيب الوقود ($Q_V = f(t)$)، وبناءً على معطيات طاقم تشغيل المفاعل MNSR السوري فقد اعتبرت Q(t) تابعاً خطياً للزمن في الدقائق الثمان الأولى حيث تستقر بعدها الاستطاعة على قيمتها الاسمية (ولتكن 30 كيلوواط مثلاً).

2- اعتبار تغير درجة حرارة المبرد الوسطية خطياً على طول قلب المفاعل ($T_{fm} = f(t)$)

3- لا تتغير سرعة المبرد U في قلب المفاعل.

4- لا يوجد فرق في درجة الحرارة بين الوقود وغلاف الوقود ($T_f = T_c$)

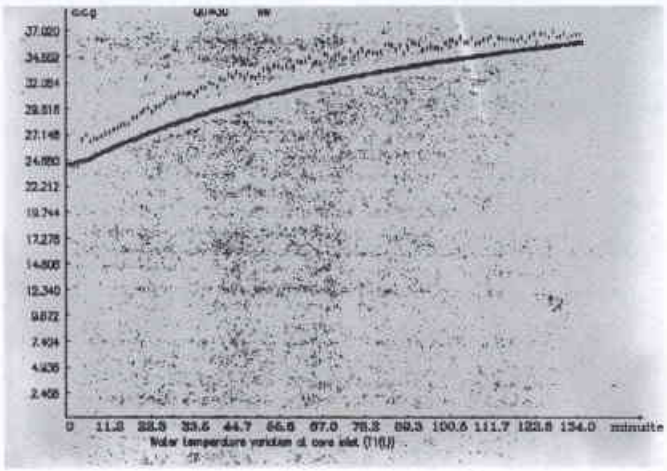
بهذه الافتراضات نقوم بحل جملة المعادلات التفاضلية الممثلة للحالة [1] ونحصل على النتائج المبينة أدناه.

النتائج

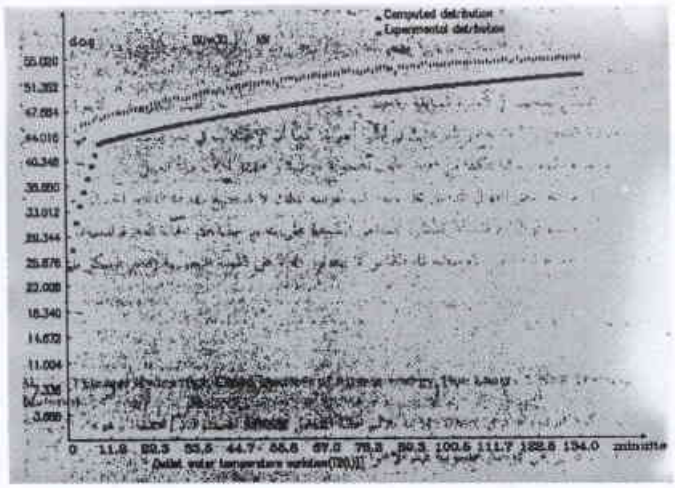
بتشغيل الكود وباختيار طريقة Runge - Kutta [3] من المرتبة الرابعة، نحصل على النتائج المبينة في الشكلين 2 و 3 .

المناقشة

بالعودة إلى النتائج الملخصة في الفقرة السابقة نلاحظ أن الاختلاف في النتائج بين القيم التجريبية والقيم المحسوبة لدرجة حرارة الدخل T_1



الشكل 2- مقارنة بين القيم المحسوبة لدرجة حرارة دخل المفاعل والقيم التجريبية للمفاعل السوري.

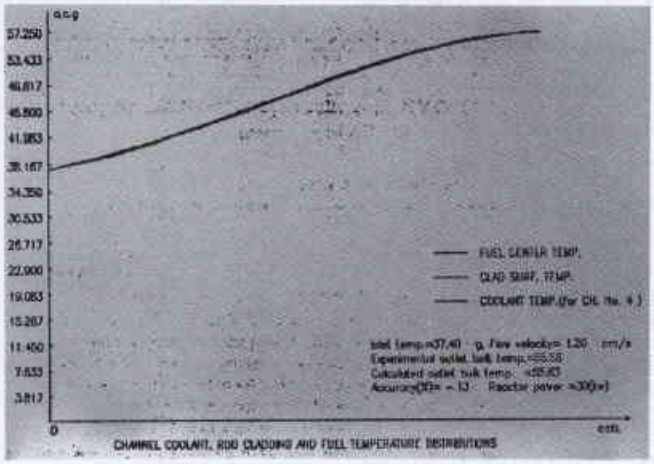


الشكل 3- مقارنة بين القيم المحسوبة لدرجة حرارة خرج المفاعل والقيم التجريبية للمفاعل السوري.

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

لاتتجاوز الدرجتين في أسوأ أحوالها، كما أن الاختلاف في هذا السياق في قيم T_2 هو أيضاً في هذه الحدود، مما يمكننا من اعتبار القيم المحسوبة مرضية ومحققة لهدف هذا العمل.

أما بالنسبة إلى سرعة تدفق الماء في المفاعل فلا توجد قيم تجريبية، لذلك لا نستطيع مقارنة النتائج الحسابية مع تلك النظرية إلا أن حسابات الكود للحالة المستقرة للمفاعل المعتمدة على نتائج حسابات الحالة العابرة للمفاعل تعطي فرقاً في قيمة درجة حرارة الخرج الوسطية لماء المفاعل لا يتجاوز 6% عن القيمة التجريبية (انظر الشكل 4).



الشكل 4– نتائج حسابات الحالة المستقرة للكود HYDMN لتوزع درجة حرارة القنال 4 في المفاعل والمعتمدة على نتائج حسابات الحالة العابرة.

المراجع

REFERENCES

[1] MNSR Thermal Hydraulics, China Institute of Atomic Energy, Hao Laomi, MNSR Training Material

[2] تطوير الكود الهيدروحراري HYDMN بما يلائم حالة المفاعل MNSR المستقرة، محمد البرهوم، وسلمان محمد، تقرير عن دراسة حاسوبية قيد الإخراج.

[3] Numerical Methods for Engineering, Steven C. Chapra, Raymond P. Canale, Mc-Graw-Hill editions, 1988

[4] Safety Analysis Report for Miniature Neutron Source Reactor (MNSR), China Institute of Atomic Energy, CodeMNSR-GN-2.■

دراسة تشكيل الأطوار في الجملة Cr 50% at.Si بطريقة التنشيط الميكانيكي بطاقات عالية★

مقال أبو خزرب، محمد سوقية

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

ملخص

استخدمت في هذا العمل طريقة التنشيط الميكانيكي لتصنيع أطوار مختلفة من الجملة Cr-50% at.Si. أظهر التحليل الطوري تشكل أطوار بلورية مختلفة مثل: $CrSi_2$, CrSi, Cr_5Si_3, Cr_3Si وذلك وفقاً لزمن المعالجة الميكانيكية (في المجال: [5-120]min). اقترح في هذا العمل نموذج كيفي لتفسير تشكل هذه الأطوار بالاعتماد على تشكل العيوب وظواهر الانتشار المحرّضة بالتنشيط الميكانيكي.

الكلمات المفتاحية: التنشيط الميكانيكي، السبك الميكانيكي، المنظومة Cr-Si، التغيرات البنيوية.

مقدمة

تتطلب التقنيات الحديثة تصنيع مواد جديدة ذات خصائص مميزة وبالتالي إيجاد طرائق جديدة لتحضير تشكيلات وبُنى جديدة، تمّ في العقدين الأخيرين اكتشاف طرائق جديدة من أهمها: المعالجات الليزرية، التغطية البلازميّة، الزرع الأيوني وطريقة التنشيط الميكانيكي وغيرها. تعتبر طريقة المعالجة الميكانيكية من التقنيات الجديدة والواعدة، وتتمتع بعدد من الميزات بالمقارنة مع الطرائق الأخرى، فهي لا تحتاج لتحضيرات خاصة للعينات وتكون كمية الطاقة المصروفة أثناء المعالجة قليلة نسبياً. بالإضافة إلى إمكانية تحضير كميات كبيرة من النواتج وتمكن الباحثين من التحكم في شروط المعالجة، وبالتالي إمكانية دراسة آلية تشكل الأطوار. وتتم المعالجة الميكانيكية باستخدام أجهزة خاصة مكونة من حجرات أسطوانية الشكل مملوءة بالكرات الطاحنة مضافاً إليها المواد المراد معالجتها.

الجزء التجريبي

استخدم في هذا العمل جهاز روسي الصنع يعمل بطريقة الطرد المركزي طراز AGO-2 مكون من حجرات أسطوانية وكرات من الفولاذ نوع IIIX-15. تدور الحجرات حول محورها وبجهة معاكسة لدوران الجملة بسرعة دوران حوالي 1200 CPM. الجهاز مزود بمنظومة تبريد مائي. استخدمت في هذا العمل عينات من مسحوق الكروم والسليسيوم

★ تقرير مختصر عن دراسة علمية مخبرية أنجزت في قسم الفيزياء – هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

بنقاوة 99.9%، وأبعاد الحبيبات حوالي 2mm، وبوزن 0.005 g ± 5.250 وبنسبة ذرية 50% لكل منها. قدرت الاستطاعة المصروفة على العينة بحوالي 35.2 g/w. تم اختيار أزمنة المعالجة في المجال: 5-120 min وأجري بعد إنهاء كل مرحلة من المعالجة تحليل طوري للعينات باستخدام جهاز انعراج الأشعة السينية.

النتائج والمناقشة

أظهر التحليل الطوري للعينات الشاهدة أن بنيتها البلّورية هي عبارة عن مزيج من طورين بلّوريين: الطور a-Cr (يملك شبكة من النوع BCC) والطور Si (الذي شبكته من النوع FCC). أظهرت نتائج التحليل الطوري عند معالجة الجملة Cr-50% at Si لأزمنة مختلفة تشكل أطوار بلّورية جديدة مثل: $CrSi_2$ (HCP), CrSi (SC), Cr_5Si_3 رباعي الأضلاع Cr_3Si (SC).

وبنتيجة هذا العمل اقتُرح نموذج لتفسير آلية التحولات الطورية الطارئة في الجملة Cr-50% at Si عند معالجتها ميكانيكياً، يعتمد على تشكل العيوب البنيوية والانتشار المحرضّ ميكانيكياً.■

برنامج دراسة الجدوى الاقتصادية لسخّانات المياه المنزلية*

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

ملخص

يقوم هذا البرنامج بحساب الجدوى الاقتصادية من استخدام منظومات تسخين مياه الاستعمال المنزلي بواسطة الطاقة الشمسية، ويقوم إضافة لذلك بحساب الزوايا الشمسية وكمية الإشعاع الشمسي الساقط على سطح أفقي، كما يستطيع هذا البرنامج إعطاء قيمة تقريبية عن مردود أي لاقط شمسي بعد إدخال بعض القياسات التي يحددها البرنامج.

الكلمات المفتاحية: أنظمة التسخين الشمسي للمياه، الجدوى الاقتصادية، الإشعاع الشمسي.

نتائج

يتضمن العمل المنجز عملاً برمجياً كاملاً لحساب الجدوى الاقتصادية لاستعمال السخّانات الشمسية المنزلية ومقارنتها بالسخانات التي تعمل على الطاقة التقليدية (مازوت، كهرباء...). فمن خلال هذا البرنامج يمكننا وبزمن قصير جداً إجراء تحليل عملي وعلمي كامل لنظام العمل وكذلك حساب عدد سنوات الجدوى الاقتصادية لتشغيل هذه المنظومة. ويمكن هنا أن نلخص المهام التي ينجزها هذا البرنامج كما يلي:

1- حساب المواصفات الهندسية الأساسية لنظام التسخين الشمسي (أبعاد الخزانات وحجومها، مساحة اللواقط، سماكة المادة العازلة...).

2- حساب كمية الطاقة اللازمة لتسخين المياه وكذلك كمية الطاقة المطلوبة من اللواقط وكمية الطاقة المساعدة. ويحسب البرنامج أيضاً السيالة الحرارية الضائعة عبر جدار خزان حفظ الحرارة.

3- تحديد استطاعة مضخة التسريع المناسبة لهذه المنظومة الشمسية استناداً إلى مقدار الضياعات الهدروليكية التي يحسبها البرنامج بعد أن يدخل المستثمر أطوال وأقطار الأنابيب وكذلك مختلف العناصر الأخرى (تيات، أكواع، صمامات....) المستخدمة في توصيلات منظومة التسخين الشمسي.

4- يقوم البرنامج بحساب عدد سنوات الجدوى الاقتصادية لهذه المنظومة استناداً إلى الأسعار التي يدخلها المستثمر في النافذة المخصصة لذلك.

5- يحسب البرنامج وبسرعة فائقة مختلف الزوايا الشمسية في الموقع الذي يختاره المستثمر من نافذة المعطيات في البرنامج (كما يمكن للمستثمر أن يضيف موقعاً جديداً إلى ذاكرة البرنامج بعد أن يدخل كافة المعلومات الجغرافية عن الموقع، التي يطلبها البرنامج من المستثمر). وكذلك يحسب هذا البرنامج قيم الإشعاع الشمسي للموقع المدروس ويقدم أهم المخططات البيانية لعناصر الإشعاع الشمسي.

6- يقوم البرنامج بحساب مردود أي لاقط شمسي بعد أن يُدخِل المستثمر قياسات (درجة حرارة الدخول، درجة حرارة الخروج، التدفق) لسائل نقل الحرارة (الماء في معظم الأحيان). ويُترك الخيار للمستثمر بإدخال معدل الإشعاع الشمسي من جداول الأرصاد الجوية إذا توفرت لديه،

* تقرير مختصر عن دراسة علمية حاسوبية أنجزت في قسم الخدمات العلمية - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

أو اعتماد القيمة النظرية المحسوبة في البرنامج - وفي أغلب الأحيان تكون هذه النتيجة قريبة جداً من القيم الإحصائية.

مناقشة

- يمكن الانطلاق من هذا البرنامج إلى تطوير برنامج آخر يتحكم بنظام ملاحقة شمسية للواقط منظومات التسخين الشمسي، وهذا يعني رفع كفاءة المنظومات الشمسية بشكل ملحوظ.
- يمكن أيضاً صياغة برنامج مهمته إيجاد التصميم الهندسي الأمثل لمنظومة تسخين مياه الاستعمال المنزلي بالاعتماد على الطاقة الشمسية، مما يعطي دفعةً كبيرةً لاستخدام هذه المنظومات. حيث يمكننا من خلال هذا التصميم خفض الكلفة الكلية للمنظومة وذلك باختيار المواد المناسبة لهذه المنظومات.■

طريقة سريعة لتعيين اليورانيوم في المحاليل الحمضية*

محمد سعيد المصري، عامر نشواتي
قسم الوقاية - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

جرى التحري عن إمكانية استخدام تقانة تعداد شيرنكوف لمعايرة محاليل اليورانيوم المحضّرة لغايات تحليلية. تعتمد الطريقة المقترحة على قياس إشعاع شيرنكوف المتولد بواسطة جسيمات بيتا الصادرة عن البروتكتينيوم 234، ابنة اليورانيوم 238، في المحاليل المائية بعدّاد وميض السائل. درست العوامل المؤثرة على كفاءة تعداد شيرنكوف مثل حجم العينة المستخدَم وطبيعة محاليل اليورانيوم المحلّلة. أوضحت النتائج أن الطريقة مناسبة لتعيين التراكيز المرتفعة نسبياً من اليورانيوم في أي من المحاليل الحمضية المعدنية الممددة منها والمركزة والتي لا يقل تركيز اليورانيوم فيها عن 3.8 جزء في المليون. هذا وتتميز الطريقة بسرعتها وسهولة تحضير العينات للقياس ناهيك عن كونها من الطرائق اللاإتلافية. كما وجرت مقارنة نتائج تحليل عينات حقيقية باستخدام الطريقة المقترحة مع نتائج طريقة قياس الفَلْورة fluorometry.

الكلمات المفتاحية: اليورانيوم، تعداد شيرنكوف، محاليل حمضية

مقدمة

يعد تعيين اليورانيوم أمراً هاماً في أي برنامج للتحري عن كمية اليورانيوم في المواد الفسفاتية ومستخلصاتها أو في أي برنامج لتعدين اليورانيوم ومعالجة مواده الخام إضافة للدراسات البحثية التي تستخدم تراكيز منخفضة أو مرتفعة من محاليل اليورانيوم. يجري استخدام طرائق عديدة لتعيين اليورانيوم الكلي في المحاليل المائية والعينات البيئية والجيولوجية المختلفة، ومن هذه الطرائق تلك التي تستخدم تقانة قياس الفَلْورة وتقانة الفلورة بالأشعة السينية والبولاروغراف وكلها تقانات جيدة وحساسة. وعلى الرغم من التطور الهائل لطرائق التحليل الآلي هذه، فإن للطرائق التقليدية أهمية كبيرة لتحليل اليورانيوم في المحاليل المركزة نسبياً. هذا وتعد الطرائق اللونية أكثر الطرائق التقليدية استخداماً لتعيين التراكيز المرتفعة حيث تعتمد على قدرة اليورانيوم في تشكيل المعقدات الملونة مع العديد من الأنيونات. تقاس امتصاصية هذه المعقدات المتشكلة عادةً بواسطة المطيافية الضوئية. تعتمد حساسية وانتقائية هذه المعقدات وشروط تشكيلها على عوامل عديدة يصعب أحياناً ضبطها ناهيك عن الإجراءات الكيميائية لتحضير العينة للقياس. على أية حال تمكّننا هذه الطرائق من تعيين اليورانيوم في محاليله المركزة (5 إلى أكثر من 50 جزءاً في المليون). هذا وتستخدم أيضاً طرائق كيميائية إشعاعية لتعيين اليورانيوم في العينات الصلبة والمحاليل المائية. ومن هذه الطرائق مطيافية ألفا ومطيافية غاما وعدّاد وميض السائل وتقانة تعداد شيرنكوف.

يجري في مخابرنا ومنذ فترة طويلة تعيين اليورانيوم الكلي باستخدام عدة تقانات كقياس الفَلْورة ومخطاط الاستقطاب polarograph ومطيافية غاما ومطيافية ألفا. تستخدم الطرائق السابقة لتعيين التراكيز المنخفضة من اليورانيوم ولا تتوفر طريقة معتمدة لمعايرة وقياس المحاليل الحمضية الممددة والمركزة التي تحوي تراكيز مرتفعة من اليورانيوم والتي تحتاج إلى التمديد مرات عديدة قبل تحليلها. ولهذا هدف العمل الحالي إلى دراسة طريقة سريعة نسبياً لمعايرة وتعيين اليورانيوم الكلي في المحاليل الحمضية المختلفة.

النتائج والمناقشة

تعتمد الطريقة المقترحة على قياس إشعاع شيرنكوف المتولد بواسطة جسيمات بيتا الصادرة عن البروتكتينيوم 234 عبر الثوريوم 234 . ولتعيين

* تقرير مختصر عن تجربة علمية مخبرية أنجزت في قسم الوقاية والأمان - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

اليورانيوم في العينات المائية، يؤخذ بدقة حجم وقدره 15 مل من العينة ويوضع في عبوة تعداد بلاستيكية ويقاس إشعاع شيرنكوف الصادر من العينة بواسطة عداد وميض السائل وذلك باستخدام قناة التريتيوم (يتراوح مجال الطاقة بين 0 إلى 18.6 كيلو إلكترون فولط) ولفترة زمنية قدرها ساعة واحدة على الأقل. هذا ولقد جرى تعيين شروط القياس للطريقة باستخدام محاليل عيارية من اليورانيوم.

تتبع كفاءة تعداد شيرنكوف عدة عوامل منها طاقة جسيمات بيتا وكثافة محلول القياس أو تركيزه ونوعية عبوة القياس وحجم المحلول وغيرها. هذا لابدّ من تثبيت هذه العوامل لدى قياس المحاليل العيارية المستخدمة في معايرة الطريقة والعينات الحقيقية المراد قياسها. ونظراً للاستخدام الواسع لمحاليل اليورانيوم في حمض الآزوت، جرى تعيين كفاءة تعداد شيرنكوف ودراسة العوامل المؤثرة عليها بشيء من التفصيل لاستخدامها لاحقاً. هذا وتتغير كفاءة تعداد شيرنكوف بتغير تركيز الحمض، ويختلف مقدار التغير تبعاً لنوع الحمض، ولوحظ تغير طفيف جداً في كفاءة التعداد عند ارتفاع تركيز حمض الآزوت، ويعود ذلك إلى تساوي فعل الكبت الناجم عن امتصاص إشعاع شيرنكوف من قبل أنيونات النترات وارتفاع شدة إصدار إشعاع شيرنكوف لارتفاع كثافة المحلول. أما في حال استخدام حمض الفسفور كوسط للقياس، فلقد ارتفعت كفاءة تعداد شيرنكوف لغياب عنصر الكبح اللوني (color quenching).

استخدمت شروط ثابتة كحجم للعينة (15 مل)، و 0.1 مول / ل كتركيز لحمض الآزوت في تعيين كفاءة تعداد شيرنكوف في معايرة وقياس المحاليل المحضّرة من أكسيد اليورانيوم في مخابرنا. تراوحت كفاءة تعداد شيرنكوف بين 43.7% و 46.9% وبقيمة وسطية قدرها 46%، وهي قيمة لابأس بها.

بلغت قيمة حد الكشف الأدنى للطريقة حوالي 0.76 بكرل /ل أو 3.8 ملغ/ل. وتُعدّ هذه القيمة مرتفعة نسبياً بالمقارنة مع الطرائق الحساسة كمطيافية ألفا، غير أنها مناسبة للغاية التي جرى التحري عنها وذلك لاستخدامها في تعيين التراكيز المرتفعة نسبياً من اليورانيوم في المحاليل الحمضية المركزة منها أو الممددة. أما مدى تطابق القيمة الوسطية المقيسة بواسطة الطريقة المدروسة مع قيمة موثّقة فتحدد بتحليل عينة عشر مرات ويستدل عليها بحساب الخطأ النسبي لمجموعة القياسات (صحة الطريقة). بلغت القيمة الوسطى للخطأ النسبي حوالي 5.5%.

استخدمت الطريقة المقترحة في معايرة محاليل من اليورانيوم حُضّرت حديثاً من أكسيد اليورانيوم لاستخدامها كمحاليل عيارية في إجراء التحاليل بطريقة قياس الفَلْورة، وأوضحت النتائج توافقاً كبيراً فيما بينها وقربها من القيم النظرية مما يدل على نجاعة الطريقة. كما وبينت نتائج تحليل بعض العينات المجهولة من اليورانيوم في محاليل من حمض الآزوت سهولة الطريقة ودقتها وأنه لا يمكن استخدامها لتعيين تراكيز منخفضة من اليورانيوم.

نستنتج مما سبق أنه يمكن استخدام إشعاع شيرنكوف المتولد بواسطة جسيمات بيتا الصادرة عن البروتكتينيوم 234، ابنة اليورانيوم 238، في تعيين اليورانيوم في محاليله المركّزة ومهما كانت طبيعة هذه المحاليل. هذا وللحصول على نتائج صحيحة، لا بد من تعيين شروط قياس إشعاع شيرنكوف وعلى وجه الخصوص حجم محلول القياس وطبيعة الحمض وتركيزه. تتميز الطريقة المقترحة لتعيين اليورانيوم بسهولتها وسرعتها وكونها من الطرائق اللاإتلافية.■

تحديد تركيز العناصر الثقيلة في الحمأة الناتجة عن معالجة مياه الصرف الصحي*

صلاح الدين تكريتي، عبير القائد
قسم تكنولوجيا الإشعاع - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

تم تحديد تركيز العناصر الثقيلة في الحمأة الناتجة عن معالجة مياه الصرف الصحي لمدينة دمشق بتقنيتي التحليل بالتنشيط النتروني (NAA) وكذلك الفلورة بالأشعة السينية (XRF). وعند مقارنة النتائج مع نتائج المخلّفات الطبيعية الأخرى مثل (الغنم، البقر، الدواجن، القمامة) تبين أن محتوى بعض العناصر الثقيلة فيها أقل من مثيلاتها. وتبين المقارنة مع عينات عيارية (الوكالة الدولية للطاقة الذرّية، والجداول الأوربية) أن بعض هذه العناصر ذات تركيز منخفض.

الكلمات المفتاحية: العناصر الثقيلة، الحمأة، محطة معالجة مياه الصرف الصحي، التنشيط النتروني، الفلورة بالأشعة السينية.

* تقرير مختصر عن دراسة علمية أنجزت في قسم تكنولوجيا الإشعاع - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

المقدمة

أدرك القدماء بالملاحظة فوائد التسميد بالمخلفات الحيوانية، وإن لم يفهموا تفسيرها. فشاهد رعاة الأغنام تحسن نمو النباتات في الأماكن التي راثت فيها أغنامهم. وخمّر الصينيون البقايا النباتية مع الطين وكذلك المصريون والرومان. كما خمّر العرب فضلات الحيوان وخلطوها بالتراب والتبن. وقد اهتم العلماء بدراسة المواد العضوية من حيث انحلالها وفائدتها للتربة والنبات على حد سواء حيث أوضحت الدراسات ما لهذه المواد من أثر كبير في تخصيب الأرض وتحسين الإنتاج.

والمعادن الثقيلة heavy metals هي تلك المجموعة من المعادن أو المعادن الخليطة التي يسبب بعضها التلوث للتربة والتسمم للنبات، بينما يُعدّ بعضها الآخر، بتراكيز ضئيلة جداً ضرورياً لحياة الكائنات الحية. كما أن لبعض العناصر المعدنية الثقيلة تأثيراً سمياً في الكائنات الحية مما يجعلها عناصر ضارة لها. غير أن تعريف المعادن السامة toxic metals هو التعبير البديل للعناصر الثقيلة لكنه أكثر خصوصية في الاستخدام، وينطبق على العناصر التالية: Cd, Pb, As, Hg, Ti, U. ولايستخدم هذا الاصطلاح للعناصر: Ca, Cu, Na, Mn, Se, Zn التي تُعدّ من العناصر الأساسية للنبات.

تُنشر الحمأة بعد خروجها من خزانات التخمر في الهواء لتجفّ ولتُعرّض إلى أشعة الشمس، أي للأشعة فوق البنفسجية (UV-rays)، حيث يعتقد أن هذا التعرض يستطيع أن يخفف من الحمولة الجرثومية، كما يفعل المزارعون في روث الحيوانات (التخمر). وقد أخذت أربع مجموعات من عينات الحمأة تمثل فترات عمل مختلفة، خلال شهر وبعد ثلاثة فستة ثم تسعة أشهر على التوالي.

حُضّرت العينة للقياس عن طريق طحنها ومزجها لتكون متجانسة قدر الإمكان، ثم قُسّمت إلى جزئين وكل جزء إلى عدة عينات صغيرة وزن الواحدة منها 5g وأرسلت للتحليل بالتنشيط النتروني، (مفاعل MNSR) في قسم الفيزياء، وبالفلورة بالأشعة السينية (XRF) في قسم الكيمياء بالهيئة وعلى عدة دفعات لتبيان التكرارية في النتائج.

النتائج

تم إجراء عدة تحاليل بتقنية (XRF) لعينات من الحمأة وكذلك المخلفات التي تستخدم في تسميد الأراضي الزراعية للمقارنة. كما تم إجراء تحليلين بتقنية (NAA)، أولهما لمعرفة العناصر المعدنية الموجودة في الحمأة دون الأخذ بعين الاعتبار التركيز، وثانيهما للمقارنة بين التقنيتين المستخدمتين مع حساب التركيز في كليهما.

ويبين الجدول 1 تركيز العناصر المعدنية الموجودة في العينات المختلفة باستخدام تقنية (XRF). تم حساب التركيز اعتماداً على عينات عيارية.

الجدول 1- تركيز العناصر المعدنية في عينات مختلفة من المخلفات المستخدمة في تسميد الأراضي الزراعية في القطر العربي السوري.

العنصر	مخلفات الدسم	مخلفات البقر	مخلفات الدواجن	الكمامة	الحمأة	عينة عيارية Soil 7	عينة عيارية SL4
K	1.1-1.4%	2.5-3.8%	2.7-3.4 %	0.9-0.95 %	0.73-1.2 %	0.95-1.1 %	0.24-0.32 %
Ca	13.4-14.2 %	3.8-5.6 %	7.3-8.9 %	9.7-10.1 %	11.1-11.6 %	13.2-15.4 %	4.2-4.6%
Ti	1370-1515 ppm	–	–	745-828 ppm	740-770 ppm	0.28-0.37 %	850-920 ppm
Cr	–	–	–	< 10 ppm	< 10 ppm	–	< 10 ppm
Mn	384-426 ppm	316-461 %	469-528 ppm	439-483 ppm	312-323 ppm	655-824 %	590-643 ppm
Fe	1.2-1.4 %	1.1-1.7 %	1174-2006 ppm	1.1-1.3 %	1.20 1.25 %	2.25-2.57 %	4.52-4.95 %
Co	< 10 ppm	< 10 ppm	–	< 10 ppm	< 10 ppm	–	< 10 ppm
Ni	–	31-45 ppm	–	–	35-45 ppm	–	945-993 ppm
Cu	10-15 ppm	20-40 ppm	30-40 ppm	200-250 ppm	240-270 ppm	< 10 ppm	736-788 ppm
Zn	145-163 ppm	125-182 ppm	383-430 ppm	613-677 ppm	1860-1930 ppm	111-115 ppm	0.31-0.32 %
As	–	–	–	–	–	15-22 ppm	< 10 ppm
Br	25-26 ppm	60-90 ppm	38-40 ppm	16-19 ppm	14-22 ppm	< 10 ppm	9-12 ppm
Rb	14-16 ppm	22-30 ppm	14-16 ppm	10 -15 ppm	10-15 ppm	48-51 ppm	< 10 ppm
Sr	157-370 ppm	85-113 ppm	59-65 ppm	185-213 ppm	226-254 ppm	112-120 ppm	110-123 ppm
Pb	14-24 ppm	17-35 ppm	< 10 ppm	25-40 ppm	96-143 ppm	50-83 ppm	426-607 ppm

كما يبين الجدول 2 تركيز عينات من الحمأة مأخوذة من محطة المعالجة على فترات زمنية مختلفة. تم حساب التركيز اعتماداً على عينات عيارية.

الجدول 2- تركيز العناصر المعدنية في عينات مختلفة من الحمأة بعد فترات عمل مختلفة (تقنية XRF).

العنصر	الحمأة بعد تسعة أشهر	الحمأة بعد ستة أشهر	الحمأة بعد ثلاثة أشهر	الحمأة مباشرة خلال شهر	عينة عيارية Soil7	عينة عيارية SL4
K	1.1-1.4 %	0.73-0.86 %	0.45-.050 %	0.38-0.56 %	0.95-1.1 %	0.24-0.32 ppm
Ca	14.2-14.3 %	13.6-13.8 %	12.0-12.5 %	11.1-11.6 %	13.2-15.4 %	4.2-4.6 %
Ti	1370-1415 ppm	1600-1750 ppm	920-970 ppm	740-770 ppm	0.28-0.37 %	850-920 ppm
Cr	—	—	—	< 10 ppm	—	< 10 ppm
Mn	268-292 ppm	192-220 ppm	290-300 ppm	312-325 ppm	655-824 ppm	590-643 ppm
Fe	1.2-1.4 %	1.4-1.5 %	1.25-1.3 %	1.2-1.3 %	2.25-2.57 %	4.52-4.95 %
Co	< 10 ppm	< 10 ppm	< 10 ppm	< 10 ppm	—	< 10 ppm
Ni	40-45 ppm	101-120 ppm	60-65 ppm	35-45 ppm	—	945-993 ppm
Cu	273-285 ppm	460-470 ppm	300-350 ppm	240-270 ppm	< 10 ppm	736-788 ppm
Zn	2111-2130 ppm	2594-2645 ppm	2100-2250 ppm	1860-1930 ppm	111-115 ppm	0.31-0.32 %
As	—	—	—	—	15-22 ppm	< 10 ppm
Br	13-15 ppm	19-21 ppm	15-18 ppm	14-22 ppm	< 10 ppm	9-12 ppm
Rb	< 10 ppm	< 10 ppm	< 10 ppm	< 10 ppm	48-51 ppm	< 10 ppm
Sr	261-265 ppm	273-280 ppm	250-255 ppm	226-254 ppm	112-120 ppm	110-123 ppm
Zr	114-116 ppm	83-90 ppm	70-75 ppm	60—70 ppm	–	–
Nb	< 10 ppm	< 10 ppm	< 10 ppm	< 10 ppm	–	–
Pb	229-240 ppm	163-171 ppm	130-140 ppm	96-123 ppm	50-83 ppm	426-607 ppm

يبين الجدول 3 تركيز العناصر المعدنية الموجودة في الحمأة باستخدام تقنية (NAA). تم حساب التركيز اعتماداً على عينات عيارية.

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

الجدول 3- تركيز العناصر المعدنية في عينة حمأة بتقنية ANN.

تحديد تركيز العناصر في عينة من نفايات مدينة دمشق.

العنصر	ug/g		UNC.
Al	1094	±	14
As	2.98	±	0.42
Ba	602	±	23
Br	13.68	±	1.84
Ca%	10.19	±	0.16
Ce	12.2	±	0.3
Co	6.47	±	0.12
Cr	113.5	±	5.5
Cs	0.44	±	0.03
Cu	464	±	16
Eu	0.17	±	0.01
Fe%	1.24	±	0.046
Hf	1.56	±	0.05
Hg	5.06	±	0.02
K	3321	±	278
La	9.5	±	0.8
Mg	6809	±	45
Mn	185	±	3
Na	2010	±	168
Ni	86.1	±	3.5
Rb	7.69	±	0.13
Sb	3.44	±	0.02
Sc	2.24	±	0.08
Se	5.91	±	0.07
Sm	1.07	±	0.11
Th	3.29	±	0.11
Tl	1355	±	70
V	23.7	±	0.7
Zn	2259	±	84

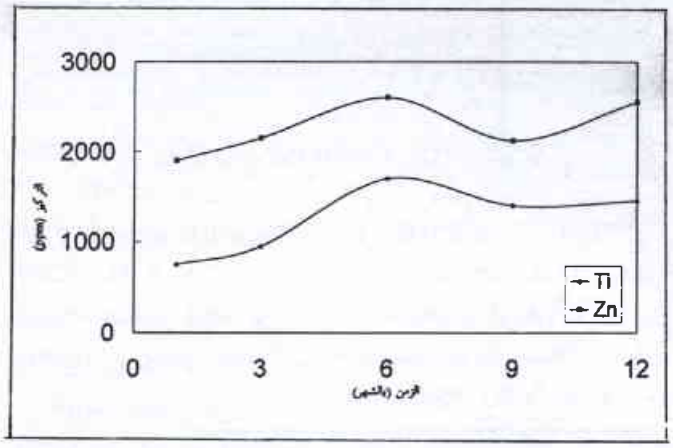
ويبين الجدول 4 مقارنة نتائج التحليل باستخدام التقنيتين المشار إليهما لعينة من الحمأة.

الجدول 4- مقارنة تركيز العناصر المعدنية في عينة حمأة بتقنيتي XRF, ANN.

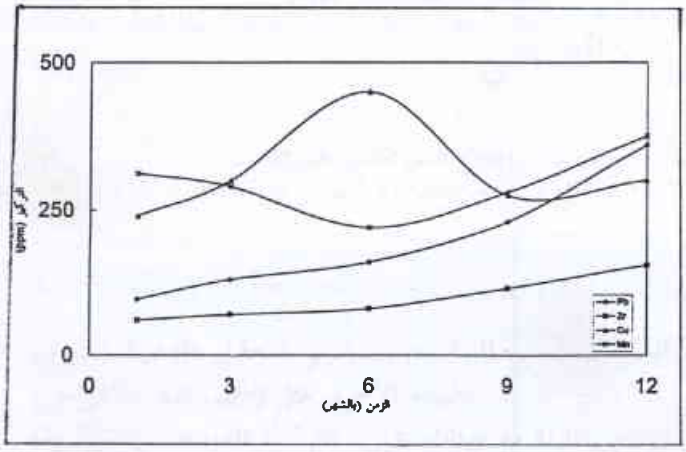
العنصر	حمأة(XRF)	حمأة (NAA)
Al	--	1094 ± 14
As	--	2.98 ± 0.42
Ba	--	602 ± 23
Br	19 ± 2	13.68 ± 1.84
Ca (%)	12 ± 1	10.19 ± 0.16
Ce	--	12.2 ± 0.3
Co	< 10	6.47 ± 0.12
Cr	< 10	113.5 ± 5.5
Cs	--	0.44 ± 0.03
Cu	460 ± 10	464 ± 16
Eu	--	0.17 ± 0.01
Fe (%)	1.4 ± 0.1	1.24 ± 0.05
Hf	--	1.56 ± 0.05
Hg	--	5.06 ± 0.02
K	7300 ± 1300	3321 ± 278
La	--	9.5 ± 0.8
Mg	--	6809 ± 54
Mn	192 ± 18	185 ± 3
Na	--	2010 ± 168
Nb	< 10	--
Ni	101 ± 10	86.1 ± 3.5
Pb	229 ± 11	--
Rb	< 10	7.69 ± 0.13
Sb	--	3.44 ± 0.02
Sc	--	2.24 ± 0.08
Se	--	5.91 ± 0.07
Sm	--	1.07 ± 0.11
Th	--	3.29 ± 0.11
Ti	1370 ± 140	1355 ± 70
V	--	23.7 ± 0.7
Zn	2594 ± 149	2259 ± 84
Zr	110 ± 7	--

بمقارنة نتائج الجدول 1 ، نلاحظ أن محتوى الحمأة من العناصر الثقيلة والهامة مثل Pb, Sr, Zn, Cu, Ca أعلى من باقي المخلفات الأخرى والعكس صحيح مع عنصر K، أي يمكن استخدام الحمأة في تسميد الأراضي الزراعية بشكل عام لاحتوائها على تركيز عالٍ من بعض العناصر الضرورية.

أما مقارنة نتائج الجدول 2، فتبين أن بعض العناصر قد ازداد تركيزها في فصل الصيف وهي (Pb, Ti, Zn, Cu) وربما يعود ذلك إلى درجة الحرارة. كما إنَّ الشكل 1 و الشكل 2 يبينان ذلك. وقد لوحظت هذه الزيادة في دراسة تركيز العناصر الثقيلة في مياه الصرف الصحي أيضاً. إن زيادة تركيز عنصري Zn, Cu ربما تعود إلى إضافة المبيدات.



الشكل 1- تغير تراكيز العناصر الثقيلة في حمأة مياه المجارير.



الشكل 2- تغير تراكيز العناصر الثقيلة في حمأة مياه المجارير.

وبمقارنة نتائج الجدول 4، نلاحظ التوافق في تركيز العناصر المدروسة باستخدام التقنيتين. وهذا يدل على صحة النتائج بشكل عام.■

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

التحري الجيوكيميائي والإشعاعي للرمال الشاطئية ورواسب الوديان في رقعة القرداحة من الساحل السوري باستخدام تحليل الفلزات الثقيلة وعناصر الأثر وقياسات الرادون*

يوسف جيلي، بسام قطاع، محمد الهلال
قسم الجيولوجيا - هيئة الطاقة الذرّية السورية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

يُعدّ المسح الجيوكيميائي للكشف عن المعادن والخامات المشعة وغير المشعة بجمع عينات رواسب المسيلات المائية (الأنهار والوديان) من أكثر الطرائق استخداماً في الاستكشاف الاستطلاعي للعناصر التي تنتشر وتتحرك بفعل عمليات فيزيائية أو كيميائية أو بكليهما، حيث يمكن لعمليات التنقيب الجيوكيميائي تمييز آثار التجوية الميكانيكية الكيميائية التي تقوم بتحرير المعادن [1].

يمكن استخدام الفلزات الثقيلة بطريقتين في أعمال المسح الجيوكيميائي، حيث يتم تحليل الركازات الثقيلة بعد فصلها وجمعها من أجل تعيين محتواها من العناصر المفيدة اقتصادياً (أو تحديد العناصر الدالة) كما يمكن إجراء دراسة فلزية كيفية وكمية للفلزات الدالة [2].

إن دراسة الفلزات الثقيلة بالتكامل مع الطرائق الجيوكيميائية الأخرى – مثل عناصر الأثر وقياس غاز الرادون – تساهم في معرفة مدى أهمية تركيز وتوزع العناصر المشعة الموجودة في منطقة الدراسة [3].

تهدف الدراسة إلى إجراء مسح جيوكيميائي إشعاعي استطلاعي لرواسب الأنهار والوديان والرمال الشاطئية بغية العثور على مناطق ذات قيم عالية للعناصر الأثر والمشعة، كما تهدف إلى وضع خرائط جيوكيميائية إشعاعية لعنصرَي اليورانيوم والرادون لفهم نمط توزع هذين العنصرين وربط توزع تراكيزهما مكانياً في منطقة الدراسة. وقد أشار روسك [4] و شاتسكي وزملاؤه [5] إلى وجود صخور بركانية من البازلت إضافةً إلى وجود الفسفات في مواقع مختلفة من السلسلة الساحلية بما فيها منطقة الدراسة. ودلت نتائج تحاليل عينات الركازات الثقيلة التي تم جمعها على احتمال وجود عدد من الفلزات المفيدة مثل المونازيت والثوريت والسفاليريت ولكن بدون ربط النتائج بنظام توزعها بحيث لم تسمح لهم هذه النتائج بالحصول على تصور مؤكد لها. لذلك فإن هذه الدراسة تهتم بالتقصّي عن وجود هذه الفلزات وغيرها، وتحديد أهميتها إضافةً إلى معرفة تركيز العناصر المشعة في منطقة الدراسة.

تقع منطقة الدراسة في شمال غرب سورية، من السلسلة الساحلية لسورية (الشكل 1). وتبلغ المساحة التقريبية لمنطقة الدراسة 550 km^2.

نُفذ مسح جيوكيميائي استطلاعي وإشعاعي بقياس محتوى الرادون في المياه مع أخذ عينات لفصل الفلزات الثقيلة وقياس عناصر الأثر من رواسب المسيلات المائية الناتجة عن تجوية الصخور المتكشفة في منطقة القرداحة – جبلة، بهدف تقدير محتوى العناصر المشعة وتحديد أنواع الفلزات الثقيلة المشعة وتقييم الأهمية الإشعاعية لصخور المصدر. استخدمت من أجل ذلك التقانات المتاحة في الهيئة.

الكلمات المفتاحية: مسح جيوكيميائي، رسوبيات المسيلات المائية، الفلزات الثقيلة، الرادون، عناصر الأثر، العناصر المشعة، نظم المعلومات الجغرافية، القرداحة – جبلة، سورية.

النتائج

يلاحظ من نتائج قياس الرادون أنّ مجموعة من القيم الشاذة أو العالية عموماً تركّزت بصورة واضحة في شرق نهر الصنوبر وشمال شرق نهر المضيق بالقرب من القرداحة. كما لوحظ تركيز لبعض القيم الشاذة نسبياً على طول فرع من المسار الفالقي لنهر "بعمره" إلى الجنوب الغربي من حمام القراحلة. أما باقي منطقة الدراسة فتمثل الخلفية الطبيعية للإشعاع.

بيّنت نتائج المسح الجيوكيميائي للفلزات الثقيلة أن الفلزات الأساسية هي الماغنيتيت وأكاسيد الحديد الأخرى مثل (هيماتيت، غوتيت) وفلز السيديريت (كربونات الحديد) وفلزات البيروكسين والأوليفين، ولوحظ

* تقرير مختصر عن بحث علمي أنجز في قسم الجيولوجيا - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

الشكل 1– الخريطة الجيولوجية لمنطقة الدراسة، عن [4]: أعدها رقمياً بالحاسب بسام قطاع ويوسف جبيلي.

وجود الأمفيبول كفلز أساسي في عينتين من الكثبان الرملية الواقعة بالقرب من مصب نهر الكبير الشمالي حيث يعود مصدره إلى صخور المعقّد الأوفيوليتي المتكشفة إلى الشمال الغربي من منطقة الدراسة. أمّا الفلزات الثانوية فهي الإيلمينيت والأباتيت والباريت والغرينا والغلوكوني والفلزات النادرة هي الزركون والروتيل، كما بيّنت الدراسة المجهرية وجود مستحاثات مجهرية من المنخربات تعرّضت على الأغلب إلى استبدال وإملاء لاحق Epigenetic بعناصر معدنية ثقيلة (مثل الحديد والمنغنيز والباريوم) كذلك وجود أسنان أسماك صغيرة (mm 2 >) وحديد بيوضي. تشير الدراسة المورفولوجية لحبات الفلزات الثقيلة إلى أن معظمها زاوية إلى تحت زاوية مما يوحي إلى أنها لم تنتقل لمسافات بعيدة، باستثناء حبات الحديد البيوضي الذي يعدّ شكلها الكروي من الصفات المنشئية الترسيبية وليس نتيجة لعمليات النقل والتعرية، وكذلك الأمر بالنسبة لحبات الفسفات والغلوكوني التي تبدي سطوحها استدارة بدون زوايا حادة. إن صخور المصدر لمعظم هذه الفلزات (عدا الأباتيت والغلوكوني والروتيل والزركون) هي صخور البازلت المتكشفة في منطقة الدراسة والمناطق المجاورة، أما صخور المصدر لفلز الأباتيت فهي الصخور الفسفاتية. والصخور الكلسية المفسفتة الموجودة ضمن التتابع الطبقي في بعض المواقع في منطقة الدراسة. أما مصدر الحديد البيوضي فهو تمعدنات الحديد الرسوبي قرب منطقة الدراسة. تم استخدام برنامج نظام المعلومات الجغرافي IL WIS 2.23 لوضع الخرائط الجيوكيميائية والإشعاعية لمنطقة الدراسة بهدف ربط خريطة توزع الشذوذات بالخريطة الجيولوجية وخريطة المسيلات المائية والتكتونيك وغيرها من الشرائح الغرضية الرقمية للعناصر لتحديد المناطق التي توجد فيها بعض التراكيز العالية للعناصر. ووضعت خريطة أنماط توزع الفلزات الثقيلة اعتماداً على نسبة توزع الفلزات الغزيرة مكانياً للمساعدة في فهم طبيعة توزع هذه الفلزات وتحديد صخور المصدر، كما سُجّل بعض التباين في قيم العناصر الأخرى لا تصل إلى درجة الشذوذات الهامة والمؤكدة. إن القيم العالية للعناصر المشعة ناتجة بشكل أساسي عن تجوية وغسل الصخور الفسفاتية والكلسية المفسفتة وبعض الترافقات البركانية. ولا يمكن اعتبار هذه القيم تمعدنات حقيقية بل شذوذات جيوكيميائية تعبر عن جيوكيمياء الصخور lithogeochemistry. تكون عناصر الأثر ضمن الخلفية الطبيعية بشكل عام مع وجود بعض القيم المرتفعة التي تعزى إلى عمليات الامتزاز وغيرها دون وجود مصدر تمعدن لها وهي بذلك تشير بشكل واضح إلى عدم وجود تنوع ليثولوجي مميّز في المنطقة باستثناء بعض التكشفات المحدودة جداً من البازلت. أما الليثولوجيا السائدة فهي الصخور الكربوناتية والمارلية مع بعض التكشفات المحدودة من الفسفات.

أمكن من خلال وضع قيم الخلفية الطبيعية للعناصر المشعة وعناصر الأثر ووضع خرائط جيوكيميائية (باستخدام برنامج نظام المعلومات الجغرافي)، تشكيل قاعدة جيوكيميائية لهذه المنطقة، لذا يمكن الاستفادة منها في تقييم الوضع الجيولوجي والجيوكيميائي للمنطقة وبالتالي المساهمة في مراقبة وحماية البيئة في هذه المنطقة الهامة. وقد عكست هذه القيم المحتوى الوسطي لهذه العناصر في صخور المنطقة، كما عكست الفلزات الثقيلة أيضاً وبشكل مباشر طبيعة صخور المصدر في المنطقة وجوارها ولوحظ وجود محدود للفلزات الاقتصادية مثل الإيلمينيت ووجود نادر

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

جداً للزركون والروتيل. ولم تسجل هذه الدراسة وجود الفلزات التي أشارت إليها الدراسات السابقة مثل السفاليريت والمونازيت والثوريت وغيرها، وهذا يعود على الأغلب إلى ندرة هذه الفلزات. وبالمقابل، بيّنت الدراسة وجود أسنان الأسماك والحديد البيوضي والمستحاثات الحاوية على المعادن الثقيلة في رواسب المسيلات المائية في المنطقة الساحلية للمرة الأولى، ولاشك أنّ هذه المعطيات الجديدة تساهم في إغناء وتطوير الدراسات الرسوبية لهذه المنطقة.

المراجع

REFERENCES

[1] Rose et al., 1976; Levinson, 1980; Solovov, 1987.

[2] IAEA, 1988.

[3] Evans, 1980 and Macdonald, 1983.

[4] Shatsky et al., (1966).

[5] Ruske, (1980)■

☆ ★ ☆

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

كتب حديثة مختارة

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

1- الضوئيات اللاخطّية: مفاهيم أساسية ★
Nonlinear Optics: Basic Concepts

تأليف: د. ل. ميلز
عرض وتحليل: ر. ر. فريمان★★

يمثّل كتاب "الضوئيات اللاخطّية"، لمؤلفه دوغلاس ل. ميلز، الطبعة الثانية لكتاب جامعي معروف نُشر لأول مرة في عام 1991. وفي مقدمة الطبعة الأولى، يعلن المؤلف بوضوح نوعية القُرّاء الذين يستهدفهم هذا الكتاب، وهم طلاب الدراسات العليا الذين أنهوا سنتهم الأولى في حقلي الكهرباء والمغنطيسية (وميكانيك الكم)، ممن يرغبون الإلمام بشيءٍ ما في موضوع الضوئيات اللاخطّية. ويحاول المؤلف، بشكلٍ خاص، أن يُعرّف طالب الدراسات العليا المختص في الفيزياء أو الهندسة الكهربائية بعلم الضوئيات اللاخطّية. ولو أنه لايحاول تغطية هذا الحقل بشيءٍ من التفصيل، كالذي ورد على سبيل المثال في كتاب "الضوئيات الكمومية Quantum Optics" لمؤلفه أمنون ياريف (الطبعة الثانية، Wiley 1975). وباختصار، يمكن القول إن ميلز أخرج كتاباً يُعدّ بمثابة "مراجعة عامة" ذات سويّة عالية.

وتُستمد قوة وضعف هذا الكتاب في كلتا طبيعته من الهدف الذي يسعى إليه المؤلف. وبالفعل، يُغطّي الكتاب جميع مجالات البحوث الرئيسة في العلوم العصريّة اللاخطّية، وهو من حيث الأسلوب والعرض جذّاب للقارىء العادي، ويخدم غرضاً قيماً، إذ يطرح مقدمةً عريضةً سهلةَ المنال لواحدٍ من أهم مواضيع البحث التي تستخدم الليزرات. وتؤكد الطبعة الثانية على الضوئيات اللاخطّية عند سطوح المواد، والتي تمثل موضوعاً تلقّى نشاطاً عظيماً خلال السنوات العشر الماضية، والذي عند اقترانه بالأجزاء التي تعالج ضوئيات لاخطية في الألياف، يمنح القارىء شعوراً حقيقياً بالإثارة وفرصاً في حقل الضوئيات اللاخطية.

ويؤخذ على هذا الكتاب أنه بينما يبذل المؤلف جهوداً كبيرة للتعبير عن العديد من المعادلات بأشكالها الصحيحة، وأنه قد يذهب إلى استنباط مفصّل لبعض النتائج؛ إلا أنه لايثابر على مستوى العمق ذاته عند معالجته لمواضيع أخرى إفرادية. فعلى سبيل المثال، يستهلك المؤلف صفحات عديدة عند اشتقاقه لشروط توفيق الأطوار phase-matching conditions، في حين يترك للقارىء الكثير عند معالجته لمواضيع تتعلق باستنباط المعادلات الأساسية في الألياف الضوئية. ومع قبول مثل هذا التباين كممجازفة ضرورية في أي من كتب المراجعات العامة، يأتي كتاب "الضوئيات اللاخطّية" قريباً، ولكنه ليس بالقدر الكافي، كي يصبح نافعاً ككتاب رئيس للمقرر الذي يرغب ميلز بتدريسه. ولابدّ لمن ينوي استخدام هذا الكتاب، كدليل لمقرر في الضوئيات اللاخطّية بسوية طلاب السنة الثانية – دراسات عليا، أن يرفده بقدرٍ كبير من القراءات الإضافية، أو يدعمه بكتاب آخر أكثر مرجعية ورسوخاً في حقل الاختصاص (ككتاب ياريف، على سبيل المثال).

وكملاحظة تتعلق ببنية هذا الكتاب، فإنني أُفضّل كثيراً لو كان له فهرسٌ أكثر تفصيلاً، وبخاصة فهرس بأسماء المؤلفين يقترن بمراجع تقاطعية cross references عائدة إلى فهرس خاص بالمواضيع. ومع الأخذ بعين الاعتبار جمهور القرّاء الذي يرغب ميلز بمخاطبته، فإن هذه الإضافات سترفع إلى حدٍّ كبير من مستوى الفائدة المرجوة منه.

وختاماً، فإنني أُوصي بهذا الكتاب لأيٍ من طلاب السنة الأولى–دراسات عليا ممن يودّ دراسة الفرص المتعلقة بهذا الحقل المثير. أما إذا كان الغرض هو معرفة ما يجري تحقيقه بالفعل في هذا الحقل وما يتعلق به من مواضيع، فإن الطالب سيحتاج إلى التوجيه من كتاب آخر يعالج الحقل بقدر أكبر من التفاصيل.■

2- فيزياء بيئة الفضاء ★★★
Physics of the Space Environment

تأليف: ت. ي. غومبوزي
عرض وتحليل: غ. د. هولمان★★★★

تعاني فيزياء الفضاء – التي عُرّفت في حدود ضيقة بأنها دراسة بيئة بلازما الأرض – من أزمة تعريفية خلال الفترة القصيرة لوجودها كواحدة من فروع المعرفة، بسبب الأمور التالية:

– تتطلب طبيعة البيانات المحدودة، والتي غالباً ما تكون اتفاقية، أسلوب بحث الفيزيائي الفلكي.

– لكن المراقبات في الموضع والتجهيزات، التي تُعدّ أركاناً أساسية لهذا الحقل، مغايرة تماماً لمراقبات تؤخذ عن بعد، ولتجهيزات الفلكيين.

– بالمقارنة مع الغازات المعتدلة، فإن غزارة الظواهر الإضافية والتعقيد المتلازم مع البلازما المتمغنطة وتآثراتها ستترك القليل من الأشياء المشتركة بين فيزيائي الفضاء وعالم الجو.

– ورغم أن الظواهر المدروسة في فيزياء الفضاء لها، في نهاية الأمر، أهميتها في علم الفيزياء الفلكية، إلا أن القياسات المفصّلة (المتعمقة) لخواص البلازما ستوفر قدراً أعظم من المواءمة مع طرق يستخدمها المختص في فيزياء البلازما.

★ By Douglas L. Mills, Springer-Verlag, New York, 1998. 2nd ed.
★★ ريتشارد ر. فريمان: جامعة كاليفورنيا – ديفس.
– العرض والتحليل عن مجلة *Physics Today*, September 1999. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرّية السورية.
★★★ By Tamas I. Gambosi, Cambridge U.P., New York, 1998.
★★★★ غ. د. هولمان: وكالة NASA – مركز غودارد لطيران الفضاء في مدينة غرينبلت بولاية ماريلاند.
– العرض والتحليل: عن مجلة *Physics Today*, September, 1999. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

وكتاب "فيزياء بيئة الفضاء"، للمؤلف تاماس ي. غومبوزي Tamas I. Gombosi، ينفذ عبر هذا التنوع ليعالج تفسير المراقبات الخاصة بفيزياء الفضاء. وقد أُعدَّ هذا الكتاب ليوائم المحفّزين جيداً من طلاب الدراسات العليا والباحثين والمهندسين؛ وهو في الأساس مصمّم ليلائم مقررات من سوية الدراسات العليا، كان المؤلف يقوم بتدريسها في كلية الهندسة بجامعة ميتشغان. ورغم أن الكتاب لايتطرّق إلى النمذجة العددية لكن اهتمام المؤلف بهذا الموضوع كان واضحاً في أرجائه كافة.

ويُركّز الكتاب على العمليات الفيزيائية أكثر من تركيزه على علم الظواهر؛ وهو يؤكد بشكلٍ خاص على إمكانية تطبيق نظرية النقل transport theory على بيئة الفضاء. ومن المفترض أن يكون القارىء لهذا الكتاب ملماً بفيزياء ورياضيات المرحلة الجامعية الأولى وذلك خلال دراسته لكلٍ من الجبر التنسوري، والمتحولات العقدية، والإحصاء، وحل المعادلات التفاضلية الأساسية المألوفة وكذلك المعادلات التفاضلية الجزئية. كما أن المعرفة بعلمي الكيمياء الأولية والفلك تفيد أيضاً. وفي بعض الأحيان، استخدمت بدون تعليل أو تفسير بعض المصطلحات التي لايمكن اعتبارها جزءاً من منهاج الفيزياء المرجعية، مثل مُصطلح "النوع G2V الطيفي spectral type G2V" و "الإصدار الراديوي من النوع IV type IV radio emission".

والكتاب مقسّم إلى ثلاثة أجزاء، ولايتضمن نظرة عامة أو مقدمة تاريخية (ولابد للقارىء من الرجوع إلى مرجع آخر إن رغب الاطلاع على المنظور التاريخي). استعرض الجزء الأول نظرية الغازات والبلازمات التي تشمل نظرية مدار الجسيم الوحيد، ومعادلة بولتزمان وعبارات التصادم، ومعادلات المائع والهدروديناميا المغنطيسية، وأسس الأمواج الهدروديناميا المغنطيسية (MHD) وأمواج البلازما، وأمواج الصدم والانقطاعات، ونقل الجسيم الطاقي. والجزء الثاني مُكرّس لعلم الغلاف الجوي aeronomy★، كما يتضمن مواضيع تعالج الغلاف الجوي المعتدل والغلاف الجوي الأيوني، والشفق، والتوهّج الجوي airglow★★. أما الجزء الثالث فيركز على الشمس، والرياح الشمسية، والأشعة الكونية، والجسيمات الطاقية، والغلاف المغنطيسي للأرض. ويُختتم الكتاب بأربعة ملاحق تحتوي على ثوابت فيزيائية، وملخصات لمتطابقات شعاعية وتنسورية vector and tensor identities، إضافةً إلى بعض التوابع الخاصة.

وينتهي كل فصل من الفصول الأربعة عشر للكتاب بعددٍ من المسائل أو الواجبات المنزلية التي تعتمد أساساً على اشتقاقات قصيرة وعلى إدخال أرقام إلى نتائج جرى التوصل إليها في النص. ولكي يصبح الطالب خبيراً بمادة الكتاب لابدّ له أن يعالج بنفسه الاشتقاقات الواردة في متنه. هذا، ولم تكن سوية التفصيل متساوية في الاشتقاقات المختلفة، وفي كثير من المواضع تُرِك الكثير للطالب أو المدرّس كي يقوم بإتمامه وتغطيته. وفي عدد من المواضع ضمن الكتاب، كان من الممكن خدمة الطالب بشكل أفضل فيما لو اقترن النص ببضع كلمات إضافية من أجل التفسير والتوضيح بدلاً من الاكتفاء بعبارة على شاكلة: "من الواضح أن ...".

وأعظم نقاط القوة في الكتاب تكمن في شرحه اشتقاق نتائج نوعية من مختلف معادلات النقل التقريبية كمعادلات: MHD، وفوكر-بلانك Fokker - Planck، و نافيير-ستوك Navier-Stokes وأخيراً معادلة بولتزمان. وكثير من أجزاء الفصول، تبدأ بتقديم وصف واضح للمعادلات والافتراضات والتقريبات، التي تؤدي في نهاية المطاف إلى استنباط نتيجة محدّدة؛ وهذا مفيد بشكل خاص للقارىء الذي سيعمد في النهاية إلى متابعة حسابات تحليلية أو عددية أوسع أو أكثر شمولاً.

ولم يكن المؤلف، في كل الأوقات، شديد الحرص في تفسيره أو تقديمه لمواد داعمة، فهو - على سبيل المثال - لم يقم باستنظام المحورين على الرسوم البيانية الخاصة بتابع التوزّع لمكسويل ولو أن ذلك كان مهماً لمناقشة وردت في النص؛ وهناك شكل آخر يبيّن التناقص في طبقة الأوزون (الستراتوسفيرية) مقيساً بوحدات دوبسون، لكن النص لم يذكر تعريفاً لهذا النوع من الوحدات. والجزء الذي يعالج تسارع الجسيمات يترك الانطباع الخاطىء بأن تسارع فِرمي من الدرجة الثانية والتسارع الصدمي هما فقط الآليتان الهامتان في المنظومة الشمسيّة، وبأن التوزع الأسي لطاقة الجسيمات ينطوي على تسارع فِرمي من الدرجة الثانية في حين أن التوزّع الطاقي لقانون القدرة يُشير ضمناً إلى التسارع الصدمي. والأسلوب الذي اعتمده المؤلف ويستشهد فيه مباشرةً، ضمن النص ببعض الكتب والمقالات المنشورة في مجلات علمية فقط، بينما يضع كُتباً أخرى في ثبت المراجع العام، هو أسلوب غالباً ما يترك القارىء عرضة للشك بتراث الموضوع كما يجعله غير واثق بالجهة التي يرغب في الحصول منها على معلومات إضافية.

وسيغدو أمراً مؤسفاً لو شكّل كتاب غومبوزي المرجع الوحيد الذي سيتعرض له الطالب في مجال فيزياء الشمس والأرض. لكن كتاباً آخر بعنوان "مدخل لبيئة الفضاء Introduction to the Space Environment" لمؤلفه توماس ف. تاسيون Thomas F. Tascione (الطبعة الثانية الصادرة عن دار نشر Krieger-1994) يُعدّ مقدمة جيدة ومتقدمة بسوية المرحلة الجامعية الأولى لفيزياء الفضاء، وهو مقارنةً مع الكتاب موضع التقييم أقل تعقيداً في معالجاته الرياضياتية ويتضمن فصولاً تعالج مواضيع ذات علاقة بفيزياء الغلاف الجوي والشمس. وكذلك يتوفر كتاب آخر بعنوان: "الشمس، والأرض، والسماء Sun, Earth, and Sky"- لمؤلفه كنيث ر. لانغ Kenneth R. Lang (صادر عن دار نشر Springer -1995) - والذي يُعدّ مقدمة ممتازة لارياضياتية للعلاقة بين الشمس والأرض والتي تناسب أي قارىء في هذا المجال. وعلى أية حال، وبالنسبة لقارىء ذي سوية علمية متقدمة، يُعدّ كتاب "فيزياء بيئة الفضاء" - موضع التقييم - إضافة مرحّباً بها لأدبيات فيزياء الفضاء.■

★ aeronomy: علم الغلاف الجوي (العلوي)، وهو العلم الذي يعالج فيزياء وكيمياء الغلاف الجوي العلوي للأرض.

★★ airglow: توهج جوي، وهو التوهج الثابت الباهت الملاحظ في السماء أثناء الليل فوق مناطق خطوط العرض المتوسطة والمنخفضة فقط الذي تحدثه جزيئات وذرّات الغلاف الجوي بإطلاقها بعطء طاقة اختزان ضوء النهار.

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

كشاف 2000

باب المقالات

في المجال الفيزيائي	العدد	الصفحة
1) المواد الجزيئية تصنع شهرتها – مقدمة – ترجمة الدكتور محمد خير صبرة	65	7
2) العارضات العضوية – ج. كيلدو – ترجمة هيئة التحرير	65	9
3) الإلكترونيات البلاستيكية – د. دي ليو – ترجمة الدكتور محمد خير صبرة	65	14
4) الإلكترونيات المغنطيسية – ج. بويك، غ. بورغ – ترجمة الدكتور أحمد الحصري	65	19
5) الاستعمالات المفيدة للنظائر وإنتاجها: الوضع الراهن والتوجهات المستقبلية – إ. برتل – ترجمة هيئة التحرير	65	27
6) الكعكة والدمبل – د. آبيل – ترجمة هيئة التحرير	66	7
7) نظرية كل شيء – س. آدمز – ترجمة هيئة التحرير	66	21
8) البلورة الكونية – م. تشاون – ترجمة هيئة التحرير	66	27
9) مساهمة مفوضية الطاقة الذرّية في البرنامج الكهرنووي الفرنسي – ترجمة هيئة التحرير	67	7
10) كيف يمكن رؤية اللامرئي؟ – ج. ديستيفاني، أ. بيري، ب. دارير – ترجمة الدكتور جمال الدين عساف	67	12
11) هل تُولَد فيزياء جديدة عام 2000؟ – ج. بولو، د. هيتلان – ترجمة الدكتور إلياس أبو شاهين	67	18
12) المغانط والجزيئات وميكانيك الكم – ب. بربارة، ل. غنّثر – ترجمة هيئة التحرير	67	25
13) ولادة الليزر – ف. هيل	68	9
14) مبدأ الليزر – ج. كورتيو – ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر	68	15
15) ليزرات ما تحت الأحمر الغازية تغطي طيفاً عريضاً – ج. هخت – ترجمة هيئة التحرير	68	18
16) الأطوار الثلاثة لليزرات: الحالة الصلبة والسائلة والغازية – ت. ف. هيغنس – ترجمة الدكتور محمد درغام زيدان	68	23
17) عالم الديود الليزري الأسرع والأرخص والأصغر – ت. ف. هيغنس – ترجمة الدكتور شريف الحواط	68	29
18) ديودات الليزر تنير الأقراص والاتصالات وعالم الطابعات – إ. ي. ليرنر – ترجمة الدكتور حسن حمادة	68	35
19) ديودات البوليميرات – ر. فرند وآخرون – ترجمة هيئة التحرير	68	40
20) ليزر نصف ناقل ثنائي الاتجاه – ك. جماشل وآخرون – ترجمة هيئة التحرير	68	47
21) الليزرات والضوئيات – ف. جاميسون – ترجمة هيئة التحرير	68	52
22) ليزرات الشلال الكمومي – ف. كاباسو – ترجمة هيئة التحرير	68	54
23) الديودات الليزرية الزرقاء – فوق البنفسجية: آخر ما تم التوصل إليه – إ. تورنيه – ترجمة الدكتور بسام المعصراني	68	63
24) الوسم بالليزر – ر. ستيفنسون – ترجمة الدكتور محمد بهاء الصوص	68	70
25) ليزرات صلبة تُضخّ بالديودات لفصل النظائر – ب. إ. ترو وآخرون – ترجمة هيئة التحرير	68	73
26) ليزر بخار النحاس ومصفوفة 3500 ترانزستور موسفيت: وثوقية في العمل – د. شاترو – ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر	68	78
27) إغناء اليورانيوم بالليزر: طريقة سيلفا – آ. روزنكارد، ف. إلياس – ترجمة هيئة التحرير	68	83
28) استخدام الليزر فمتوثانية في الصناعة – إ. اودوار – ترجمة هيئة التحرير	68	88
29) نبضات ليزرية تضغط المادة: تمثيل أعماق الكواكب في المختبر – م. كوينغ وآخرون – ترجمة الدكتور محمد بهاء الصوص	68	99
30) الليزرة في الأجواف المكروية المتشكلة في البلّورات الفوتونية – ب. غ. ليفي – ترجمة هيئة التحرير	68	104
31) فيزياء الذواكر الكهرحديدية – أ. أوسيلو وآخرون – ترجمة الدكتور حسين اسكيف	69	7
32) تحديات التحليل بالتنشيط النتروني – ن. م. سبايرو – ترجمة هيئة التحرير	70	7
33) فوتونات تَعبر الحواجز – ت. إيسن – ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر	70	21
34) مُركّب السليكون جرمانيوم بثبت أهميته – د. باول – ترجمة هيئة التحرير	70	31
في المجال الكيميائي		
ا)) تقلبات أسواق الفسفات تقترب من اللعبة الأخيرة – م. ماك كوي – ترجمة هيئة التحرير	65	31
2) ومضات أشعة X تمسك بالذرّات السريعة – أ. روس – ترجمة الدكتور عبد المجيد البلخي	66	11
في المجال البيئي		
1) من أين يأتي ماء المنظومة الشمسية؟ – ف. روبير، إيتين دو لول – ترجمة هيئة التحرير	67	37
في المجال البيولوجي		
1) خلايا تصلح لكل الاستعمالات – د. سولتر، ج. جيرهارت – ترجمة الدكتور محمد النعمة	66	11

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

	العدد	الصفحة
2) البصريات الطبية الحيوية – ب. فرنتش – ترجمة هيئة التحرير	68	92
3) الأنزيم الذي يضبط صمتَ المورّثات – م. زيف – ترجمة الدكتور عمار مدنية	69	15
4) احذروا مولّدات الأرجيّة – ب. بركس – ترجمة هيئة التحرير	70	25

في المجال الجيولوجي

1) التأريخ بالكربون 14 يكتسي حلّة جديدة – إ. بارد – ترجمة الدكتور جمال أصفهاني	67	31

باب الأخبار العلمية

في المجال الفيزيائي

1) ذاكرة مغنطيسية أسرع	65	40
2) مستويات جديدة للدقة بالنسبة لليزرات	65	43
3) منابع أشعة X بيكوية توضع على الطاولة	65	45
4) مصادم يستهدف حالة جديدة للمادة	65	46
5) قدرة الثقب	66	36
6) فوتونات وحيدة عند الطلب	66	37
7) الليزرة من غربال جزيئي	66	38
8) النيازك	67	45
9) المواد الفسفورية المتألقة تساعد الكزينون على الإضاءة	67	52
10) الإلكترونات تزاوج نفسها	67	54
11) الفيزيائيون يروضون بقية مملكة الجسيمات، بعد البوزونات	67	56
12) مفاعل لإزالة البلوتونيوم العسكري	67	58
13) حزم الإلكترونات المنخفضة الطاقة تُعدّل سطوح أنصاف النواقل	67	60
14) الحزفيات فائقة القساوة	67	61
15) من ديودات الليزر إلى الشلالات الكمومية	68	109
16) طريقة أرخص لفصل النظائر	68	110
17) البحث من أجل حواسيب كمومية	68	111
18) الفيزياء النووية بالليزرات	68	113
19) وسائط تضخيم أفرزت مكاسب لعلم الضوء الذرّي	70	41
20) بلّورات جديدة من معادن مضغوطة	70	42
21) إعطاء دفع للذرّات	70	49
22) على حافة المجموعة الشمسية	70	51
23) إنماء بلّورات فوتونية كهركيميائياً	70	53
24) أدوات جديدة من أجل التحليل النظيري	70	55
25) طاقة لا محدودة	70	57

في المجال الكيميائي

1) انعكاسات على البوليميرات	66	34
2) الديوكسين	67	49
3) تحول الماس إلى غرافيت	67	63

في المجال البيئي

1) حل لغز الحُلالة الهوائية	65	43
2) تأثيرات الشمس على ظاهرة الاحترار العالمي	65	47
3) العوالق وكوكب الأرض	65	49
4) جرعات الإشعاع المنخفضة والمنخفضة جداً وآثارها على الإنسان	66	40
5) تلوث غذائي بمركبات الـ: PCBs والديوكسينات	70	47

في المجال الزراعي

1) فطور قاتلة للقضاء على نباتات المخدرات	66	32

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

في المجال البيولوجي	العدد	الصفحة
1) شرب الشاي وتثبيطه لظاهرة نشوء الأورام	65	37
2) الدماغ قادر على مداواة نفسه	65	38
3) محسّنات حيوية ضوئية تعالج مشكلة سوء استعمال العقاقير	65	41
4) الخلايا المخلدة تبدو، حتى الآن، خالية من السرطان	65	50
5) الدم	70	44
في المجال الجيولوجي		
1) ما الذي سبّب زلزال إزميت في تركية؟	66	39

باب ورقات البحوث

في المجال الفيزيائي

1) الجديد من سلاسل البورون والبورون هدروجين – ***الدكتور محمد خير صبرة، الدكتور إحسان بستاني*** 65 54

2) التقعّر الإيجابي في الحقل الحرج المقيس بطريقة المقاومة المغنطيسية في الاتجاه المعامد 66 44
على الطبقات للناقل الفائق ذي التطبّق العالي $(LaSe)_{1.14}(NbSe_2)2$ – ***الدكتور عادل نادر وآخرون***

3) التوصيف البنيوي والناقلية الفائقة للمركب المتطبق 66 48
غير المتوافق $(LaSe)_{1.14}(bSe_2)$ – ***الدكتور عادل نادر، آ. لافوند وآخرون***

4) الناقلية الفائقة في المركّب المتطبّق غير المتوافق $(PbSe)_{1.12}(NbSe_2)_2$ – ***الدكتور عادل نادر وآخرون*** 67 66

5) النمذجة الرياضية لليزر CO_2 النبضي – ***الدكتور محمد سوقية، الدكتور بشار عبد الغني، مصطفى حمادي*** .. 67 69

6) الخواص الضوئية الخطية واللاخطية للبولي أسين – ***الدكتور محمد خير صبرة*** 69 24

7) الناقلية الفائقة في المركبات المتطبّقة 69 29
غير المتوافقة $(BiSe)_{1.10}(NbSe_2)$ و $(BiS)_{1.11}(NbS_2)$ – ***الدكتور عادل نادر وآخرون***

8) البرهان على مساهمة عيبين متمايزين في الذروة H4 ..... 70 63
لطيف المصائد العميقة في InP المشعّع بالإلكترونات – ***الدكتور بسام المصراني وآخرون***

9) تحديد عمر الجيل للنترونات اللحظية للمفاعل منسر 70 70
بقياس تابع الانتقال النتروني – ***الدكتور علي حيون، الدكتور إبراهيم خميس***

في المجال الكيميائي

1) تعرية اليورانيوم من المذيب Dehpa في الكيروسين باستخدام 65 58
أوساط مائية مختلفة – ***الدكتور سعد الدين خرفان، الدكتور جمال سطاس، الدكتور محمد قاسم***

2) تحليل عملات فضية إسلامية أموية باستخدام التحليل الآلي 66 52
بالتنشيط النتروني – ***الدكتور إلياس حنا بكرجي، أحمد سرحيل***

3) أفلام رقيقة من الفلّرين –60 للتطبيقات الإلكترونية 66 56
– ***الدكتور علي محمد، الدكتور عبد الوهاب علاف***

4) أفلام رقيقة من تلّوريدات النيوبيوم والزركونيوم 67 76
محضّرة بطريقة الحت المصعدي – ***الدكتور محمد قاسم، د. بابارى، أ. ماتية***

5) مواصفات الكيروسين السوري وتأثيراته على استخلاص اليورانيوم 69 39
من حمض الفسفور التجاري السوري – ***الدكتور عادل حرفوش***

6) دراسة استكيومترية لمعقّد فسفوفانادوموليبدات واستخدامه 70 75
لتحديد تأثير عملية استخلاص اليورانيوم DEHPA/TOPO
على تركيز حمض الفسفور بطريقة المطيافية الضوئية – ***الدكتور رفعت المرعي، رولانه بوظو***

في المجال البيئي

1) سقط البريليوم 7 في مدينة دمشق – ***الدكتور إبراهيم عثمان وآخرون*** 65 62

2) تحديد المعادن الثقيلة في مياه الشرب لمدينة دمشق 67 86
باستخدام الانعكاس الكلي للأشعة السينية المتفلورة – ***الدكتور إلياس حنا بكرجي، جهاد الدين قرجو***

3) الرادون 222 والفعاليات المرافقة في المياه السطحية 69 33
لمقاطعة البحيرات الإنكليزية – ***الدكتور محمد سعيد المصري، ر. بلاك برن***

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

	العدد	الصفحة
في المجال الزراعي		
1) إحداث الشياع المتزامن وتشخيص الحمل المبكر في نعاج أغنام العواس السوري خارج الموسم التناسلي – ***الدكتور معتز زرقاوي، الدكتور محمد ربيع المرستاني، الدكتور محمد فاضل وردة***	65	69
2) التغيرات في معامل هضم ومكونات الجُدُر الخلوية لبعض المنتجات الزراعية الثانوية نتيجة المعاملات بأشعة غاما واليوريا – ***الدكتور محمد راتب المصري، الدكتور كلاوس ديتريش غونتر***	65	73
3) حساسية نباتات البطاطا الناتجة من درنات مشعّة بجرع منخفضة من أشعة غاما لحشرة فراشة درنات البطاطا – ***الدكتور جورج سعور، الدكتورة حياة مكي، الدكتور محمد العودات***	66	61
4) إحداث الشياع المتزامن في الماعز الشامي المحلي خارج الموسم التناسلي – ***الدكتور معتز زرقاوي وآخرون***	66	67
5) الشياع وتشخيص الحمل المبكر في حوليات أغنام العواس – ***الدكتور محمد ربيع المرستاني، الدكتور معتز زرقاوي، الدكتور محمد فاضل وردة***	67	90
6) طريقة جديدة لتحديد الفسفور المحتجز في أكاسيد حديد التربة بعد معالجة أولية مُحسّنة – ***الدكتور رفعت المرعي، محمد الحاميش، الدكتور أحمد فارس أصفري***	69	45
7) تأثير أشعة غاما على قابلية تخزين ثمار التفاح – ***الدكتور محفوظ البشير***	70	80
في المجال الجيولوجي		
1) دور المسح الإشعاعي الجوي في تعديل وتصحيح توزع صخور الفسفات في الصحراء السورية والتدمرية الشمالية – ***الدكتور يوسف جبيلي***	69	51
2) الاختيار الأمثل لتشكيل مسبار غاما-غاما الطيفية البئرية يستخدم مصادر إشعاعية منخفضة جداً لتحديد درجة الرصاص والزنك – ***الدكتور جمال أصفهاني***	70	87

باب التقارير العلمية

في المجال الفيزيائي		
1) كود حساب المقاطع العرضية النووية – ***الدكتور عماد خضير***	65	81
2) دراسة أثر سمّية الكزينون على استطاعة مفاعل البحث – ***الدكتور إبراهيم خميس، الدكتور قاسم خطاب***	65	82
3) تصميم جهاز إزاحة رامان – ***الدكتور محمد درغام زيدان، فارس العوض***	66	72
4) دراسة توابع تحويل الدارات الكهربائية للكاشف النووي – ***الدكتور جمال الدين عساف***	66	73
5) دراسة المادة النووية المتناظرة واللامتناظرة في درجة حرارة محدودة باستخدام الحقل الوسطي النسبوي – ***الدكتور سامي حداد***	67	97
6) حساب غنى تفاعلية الطبقات العلوية للبريليوم العاكس في مفاعل البحث منسر – – ***الدكتور إبراهيم خميس، الدكتور قاسم خطاب***	69	65
7) قياسات على الكاشف الغازي GEM بمرحلتين – ***الدكتور جمال الدين عساف***	70	96
8) الظاهرة الشجرية المضاعفة في الكواشف البلاستيكية لمسارات الشظايا النووية – ***الدكتور عماد خضير، الدكتور إبراهيم عثمان***	70	99
في المجال الكيميائي		
1) معايرة $D_2EHPA + TOPO$ في الوسط العضوي باستخدام مطيافية الأشعة تحت الحمراء – ***الدكتور موسى الإبراهيم***	65	85
2) الفلورة المحرّضة بالليزر لجزيئات اليود – ***الدكتور محمد درغام زيدان، الدكتور عبد الوهاب علاف***	67	98
3) البلمرة الإشعاعية للأكريل أميد المحمل على البولي فينيل الكحول في الحالة الصلبة – ***الدكتور زكي عجمي، علي الزير، هارون القصيري***	67	103
4) تحديد محتوى الطور العضوي من المستخلص ثلاثي بوتيل الفسفات (TBP) باستخدام مطيافية الأشعة تحت الحمراء – ***الدكتور موسى الإبراهيم، هالة الصواف***	69	68
5) دراسة استقرارية الماء الثقيل زمانياً باستخدام مطيافية الأشعة تحت الحمراء – ***الدكتور موسى الإبراهيم، هالة الصواف***	70	98
في المجال البيئي		
1) تعيين النكليدات المشعة الطبيعية في مياه السن – ***الدكتور محمد سعيد المصري، الدكتور عبد الحميد الريس***	65	83
2) دراسة العوالق والعناصر الثقيلة في هواء بعض المدن السورية – ***الدكتور إبراهيم عثمان وآخرون***	67	100

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

	العدد	الصفحة
3) اعتماد طريقة لتعيين نظيري اليورانيوم (^{234}U, ^{238}U)	67	101
في العينات البيئية بواسطة مطيافية ألفا – *الدكتور محمد سعيد المصري، سامر ماميش، محمد عبد الحليم*		
4) تأثير معدل الجرعة على الحساسية الإشعاعية لجرثوم Bacillus Subtilis	67	105
في محلول الفسفات الموقي – *محمد عمار العدوي، معتصم شما*		
5) تأثير نسب مختلفة لبعض موارد الكتلة الحيوية على إنتاج الغاز الحيوي – *الدكتور محمد راتب المصري*	67	108
6) تعيين عناصر الأثر في الجزء المأكول من الأسماك البحرية والنهرية السورية –	69	67
الدكتور محمد سعيد المصري وآخرون		
7) دراسة انتشار غاز الرادون عبر ثخانات مختلفة من الإسمنت المستخدم	70	102
في دفن النفايات المشعة – *الدكتور رياض شويكاني وآخرون*		
في المجال الزراعي		
1) إمكانية إكثار بعض أصول الكرمة في الزجاج في أوساط محتوية على نسب مختلفة	65	86
من ملح كلور الصوديوم – *الدكتور طريف شريجي، عماد نابلسي*		
2) دراسة بعض العوامل المؤثرة في إنتاج درنات البطاطا في الزجاج – *الدكتور بسام الصفدي وآخرون*	65	87
3) قياس تثبيت الآزوت الجوي في الحمّص باستعمال طريقة التخفيف النظيري: دور الهدروكينون	66	74
كمثبط للبوريز وتأثيره على ثبات الإغناء بالنظير ^{15}N لآزوت التربة المتاح – *الدكتور فواز كردعلي*		
4) استجابة نعاج العواس السوري إلى البروستاغلاندين الصنعي، البروسولفين – *الدكتور معتز زرقاوي*	66	76
5) دراسة مقارنة لبعض سلالات وطفرات الشعير Hordeum Vulgare L	66	77
في الظروف البيئية المحلية – *الدكتور محمد عماد الدين عرابي، عماد نابلسي*		
6) تأثيرات إضافة الفسفوجبسوم إلى الترب القابلة للتشقق	69	70
في نمو النباتات وتراكم المواد المشعّة – *الدكتور محمد العودات*		
7) التحريض الإشعاعي للنباتات الزراعية – *الدكتور محمد العودات وآخرون*	69	71
8) استخدام البروجسترون بوساطة المقايسة المناعية الإشعاعية لتقويم	69	74
استجابة إناث الماعز الشامي إلى البروستاغلاندين الصنعي، البروسولفين – *الدكتور معتز زرقاوي*		
9) تأثير أشعة غاما على مدة الحفظ والحمولة المكروبية	69	75
والتبدلات البيوكيميائية والحسية في المرتديلّا الطرية – *الدكتور محفوظ البشير، عادل محيو*		
10) تشعيع بذور الشعير بجرعات منخفضة من أشعة غاما واستزراعها على بيئة مغذية ذات تراكيز	69	76
ملحية مختلفة وتأثير ذلك على النمو والمحتوى المعدني للبادرات – *الدكتور طريف شريجي وآخرون*		
11) تحديد المؤشرات التناسلية وتحليلها في ذكور العواس في القطعان المحسّنة – *الدكتور معتز زرقاوي وآخرون*	70	103
في المجال البيولوجي		
1) تشخيص ومتابعة أورام البروستات: دراسة كيميائية حيوية وومضانية –	70	101
الدكتور محمد عادل باكير وآخرون		
في المجال الجيولوجي		
1) التحري عن اليورانيوم في التشكيلات الجيولوجية الحديثة المتاخمة للتكشفات الفسفاتية	65	89
في موقع الناصرية باستخدام تقانتي الرادون وغاما – *الدكتور يوسف جيلي، محمد الهلال، أحمد العلي*		
2) مسح جيوكيميائي وإشعاعي لمنطقة سبخة الجبول بتحري عناصر الأثر	65	91
وقياسات الرادون ومطيافية غاما – *الدكتور يوسف جيلي، محمد الهلال، موسى عيسى*		
3) دور حركية المحاليل وجيوكيمياء اليورانيوم في التشكيلات الجيولوجية	66	78
لجبل أبو رجمين – التدمرية الشمالية – *الدكتور يوسف جيلي، موسى عيسى، محمد الهلال*		
4) تحري دلائل النيوتكتونيك في أراضي النيوجين والرباعي في المناطق المحيطة بحسيا	66	80
(جنوب حمص) وشمال القلمون – *الدكتور يوسف جيلي، هيثم النجار، إحسان تيوس*		

باب الكتب الحديثة

في المجال الفيزيائي

1) أسس مفاهيم الفيزياء الكمومية: نظرة شاملة من منظور حديث . . (تأليف: د. هوم)	65	95
(عرض وتحليل: ج. كشنغ)		

	العدد	الصفحة
2) هايزنبرغ ومشروع القنبلة الذرّية النازية: دراسة في الثقافة الألمانية. . (تأليف: ب. لورنس روز) (عرض وتحليل: ج. لوغان)	65	96
3) نظرية الحقل الكمومي: من المؤثرات إلى تكاملات المسار. . . . . (تأليف: ك. هوانغ) (عرض وتحليل: م. بيسكين)	70	106
4) الصوتيات: الفيزياء الأساسية، النظرية والطرائق . . . . . .(تأليف: ب. فيليتي وآخرون) (عرض وتحليل: ك. ل. ماسترز)	70	106
في المجال الكيميائي		
5) السيرة التاريخية للماء: H_2O . . . . . (تأليف: ف. بول) (عرض وتحليل: ف. ستيلّنغر)	66	87
6) مقدمة في الديناميّات الكيميائية اللاخطية: الاهتزازات، . . . . . .(تأليف: إ. ر. إبشتاين، ج. بوجمان) الأمواج، الطرُز والشواش (عرض وتحليل: ج. نيكولس)	67	113
في المجال البيئي		
7) حروب المياه: هل تتناقص المياه في العالم؟ . . . . . (تأليف: م. دوفيليه) (عرض وتحليل: ر. غوتليب)	66	88
في المجال البيولوجي		
8) بيولوجيا البريون والأمراض التي يسببها . . . . . (تأليف: س. ب. بروسينر) (عرض وتحليل: ك. ل. ماسترز)	67	113
ملحق: نحو إتقان الكتابة العلمية باللغة العربية – *إعداد الأستاذ الدكتور مكي الحسني*	69	79

كل عام وأنتم بخير

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

تعريف بمنشورات هيئة الطاقة الذرّية المعدّة للبيع

Publications of the AEC of SYRIA

منشورات عامة	الشكل	السعر (ل.س من داخل القطر) ($ من خارج القطر)
1- النظائر المشعة في الحياة اليومية Isotopes Day Life (ترجمة دائرة الإعلام والترجمة والنشر)	كتيب مطبوع Printed Book	15 ل.س $ 3
2- ما يجب أن يعرفه الطبيب الممارس في معالجة المتعرضين للإشعاع What The General Practitioner (MD) Should Know About Medical Handling of overexposed Individuals (ترجمة قسم الوقاية والأمان)	كتيب مطبوع Printed Book	40 ل.س $ 9
3- مستويات التدخل المقدرة لمواجهة تلوث الطعام بالنظائر المشعة (إرشادات للتطبيق بعد الانتشار الواسع للتلوث الإشعاعي الناتج عن حادث نووي كبير) Derived Intervention Levels for Radionuclides in Food (ترجمة الدكتور إبراهيم عثمان)	كتاب مطبوع Printed Book	80 ل.س $ 7
4- تشعيع الغذاء (تقنية لحفظ الغذاء وتحسين سلامته) Food Irradiation (A technique for Preserving and Imporoving the Safety of Food) (ترجمة الدكتور نجم الدين شرابي)	كتاب مطبوع Printed Book	160 ل.س $ 15
5- نظرية الكم وقصتها الغريبة L'étrange Histoire des Quanta (ترجمة محمد وائل الأتاسي)	كتاب مطبوع Printed Book	250 ل.س $ 25
6- حقائق حول تشعيع الأغذية سلسلة نشرات الحقائق صادرة عن المجموعة الاستشارية الدولية لتشعيع الأغذية Facts about Food Irradiation (ترجمة الدكتور نزار حمد)	كتاب مطبوع Printed Book	160 ل.س $ 8
7- الإشعاع: الجرعات -الآثار -المخاطر Radiation: Doses, Effects, Risks (ترجمة الدكتور إبراهيم عثمان-المهندسة مها عبد الرحيم)	كتاب مطبوع Printed Book	100 ل.س $ 10
8- دروس من حوادث وقعت في منشآت التشعيع الصناعية Lessons Learned From Accidents In Industrial Irradiation Facilities (ترجمة الدكتور محمد فعقع)	كتيب مطبوع Printed Book	100 ل.س $ 6
9- الاختبارات اللاتلافية: طريقة التصوير الشعاعي الصناعي Industrial Radiography Method (تأليف الدكتور وفيق حرارة)	كتاب مطبوع Printed Book	200 ل.س $ 10
10- الطاقة الذرّية لأغراض عسكرية Atomic Energy for Military Purposes (ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر)	كتاب مطبوع Printed Book	300 ل.س $ 25
11- معجم المصطلحات العلمية والتقنية في الطاقة الذرّية (إنكليزي-عربي) Dictionary of Technical Terms in the Field of Atomic Energy (طبعة جديدة موسعة)	كتاب مطبوع Printed Book	300 ل.س $ 25

ملاحظة: يمكن طلب هذه المنشورات من مكتب الترجمة والتأليف والنشر في هيئة الطاقة الذرّية -دمشق - شارع 17 نيسان - هاتف 2132580/1/2/3/4/5/6/7.

and distribution of the heavy minerals and trace elements in the study area. Several techniques were used to achieve these objectives. The results of heavy mineral geochemical survey show that the abundant minerals are iron oxides (magnetite, hematite, goehtite and limonite) pyroxene and olivine, less abundant minerals are apatite, ilmenite, garnet, barite, siderite and gloconite, while rare minerals are zircon and rutile. Amphibole is reported as an abundant mineral in sand dunes and is less abundant in samples located in the northern part of the study area. The amphibole seems to be derived from the ophiolitic complex north of the study area. Grain size analysis of heavy minerals revealed that the concentration of economic minerals such as zircon rutile and ilmenite increases with the decrease of the grain size. The microscopic study showed fragments and fossils of foraminifera mostly impregnated with heavy metals such as iron and manganese resulting from diagenetic metasomatism and replacement processes of. Fish teeth (< 2 mm) and oolite of iron were also noticed in most of the samples. The morphologyl of heavy mineral grains shows that most of the grains are angular to subangular suggesting that they were transported for short distance from their source rocks. Normally, phosphate, pellets, gloconite and iron ooids are not considered since their original morphological features show clear roundness that attributed to their sedimentological origin, not to transportation factor. The source rock of most of the heavy mineral assemblage is the basalt. Apatite and gloconite are derived from the phosphorite and phosphatized limestone encountered in the study area. While iron ooids are derived from sedimentary iron mineralization located east of the study area. Radon measurement results outlined several high values in different locations of the study area particularly northwest and south associated with fault zone. Elsewhere, radon concentrations are falling within the background level. A GIS software IL WIS2.2 was used to produce geochemical and radiometric maps of the study area to help in delineating the anomalous areas and to interpret their occurrence in relation to geology, drainage and tectonic layers. These maps show that the relatively high values of uranium are related to phosphatic rocks encountered in and around the study area. Trace elements showed no slight variations reflecting little changes in the lithology and structure of the study area. Several locations of high concentration of few elements were pinpointed. The significance of drainage geochemistry (stream sediments and heavy minerals) and GIS combination for radioactive minerals exploration to establish geochemical database was evident.

Key Words

geochemical survey, stream sediments, heavy minerals, trace elements, radon, radioelements, GIS, Qerdaha-Jableh, Syria.

⋆ A short report on scientific research achieved in the Department of Geology, Atomic Energy Commission of Syria.

☆ ★ ☆

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

higher than 3.8 PPM. In addition, the method is fast and easy to prepare samples for measurement and can be considered as non - destructive method. Moreover, a comparison of results between the suggested method and Fluorometry method has been performed using real samples analysis.

Key Words

uranium, Cerenkov counting, acidic solutions.

⋆ A short report on laboratory scientific study achieved in the Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission of Syria.

DETERMINATION OF HEAVY METALS IN SLUDGE⋆

S. TAKRITI, A. AL-KAID

Department of Radiation Technology, Atomic Energy Commission of Syria, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

The determination of heavy metals in sludge has been investigated. The sludge was separated from waste water sewage by precipitation. The heavy metals analysis has been done using neutron activation (NAA) and X-ray fluorescence.

The existence of some metals (Cu, Fe, Ca, K and Ti) is very important for plants. Otherwise, Pb and Cr had polluted the environment.

The results are compared with sheep dung, rubbish, excreta and cow dung that are used as natural fertilizer.

It is found that the sludge has a low concentration of heavy metals than other.

Two standard samples derived from IAEA have been analyzed with our samples. It is found that our sludge contains some concentration of heavy metals less than the standard.

It is found that the increase of Cu and Zn concentration due to the uses of pesticides.

Key Words

heavy metals, sludge, treatment of sewage waste water plant, neutron activation, X-ray fluorescence.

⋆ A short report on laboratory scientific study achieved in the Department of Radiation Technology, Atomic Energy Commission of Syria.

GEOCHEMICAL RADIOACTIVE INVESTIGATION OF BEACH SANDS AND STREAM SEDIMENTS, USING HEAVY MINERALS, TRACE ELEMENTS AND RADON MEASUREMENTS, (QERDAHA SHEET OF THE SYRIAN COAST)⋆

Y. JUBELI, B. KATTAA, M. AL-HILAL

Department of Geology, Atomic Energy Commission of Syria, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Reconnaissance geochemical radiometric survey of stream sediments resulting from the weathering of outcropped rocks in and around the study area was performed. This survey included heavy mineral sampling, trace and radioelements and radon measurements to evaluate the radioactivity of the source rocks and to understand the nature

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

STUDY OF PHASE FORMATION IN THE EQUIATOMIC COMPOSITION OF Cr-50% at.Si SYSTEM CAUSED BY MECHANICAL ALLOYING IN HIGH-ENERGY BALL MILL.*

M. ABOU-KHARROUB, M. SOUKIEH

Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria, Damascus, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

The mechanical activation method is used in this work to synthesize different phases of the Cr-50% at.Si system. It has been found from phase analysis that different phases such as: Cr Si_2, Cr Si, Cr_5Si_3, Cr_3Si had formed, depending on the time of mechanical activation. A qualitative model is proposed to explain the phase formation based on defect formation and diffusion induced by mechanical activation.

Key Words

mechanical activation, mechanical alloying, Cr-Si system, structural changes.

* A short report on laboratory scientific study achieved in the Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria.

ECONOMIC FEASIBILITY STUDY OF SOLAR DOMESTIC HOT WATER SYSTEMS*

A. AL-MOHAMAD

Department of Scientific Services, Atomic Energy Commission of Syria, Damascus, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

The program calculates the economic feasibility of using solar hot water systems for residential and industrial applications. In addition, it can calculate the incident solar energy on a horizontal surface. Further more, the program is capable of predicting the efficiency of any collector after implementing some parameters required to the program.

Key Words

solar hot water systems, economic feasibility, solar radiation.

* A short report on computer study achieved in the Department of Scientific Services, Atomic Energy Commission of Syria.

FAST METHOD FOR DETERMINATION OF URANIUM IN ACIDIC SOLUTIONS*

M. S. AL-MASRI, A. NASHAWATI

Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission of Syria, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Cerenkov based method has been developed for the standardization of uranium solutions prepared for analytical purposes. The method is based on measurement of Cerenkov radiation produced by high - energy beta particles emitted from ^{234}Pa, a daughter of ^{238}U via ^{234}Th, in aqueous solutions using liquid scintillation counter. Factors affecting Cerenkov counting efficiency such as sample volume used and type of analyzed uranium solutions have been studied. Results have shown that the method is suitable for determination of relatively high concentrations of uranium in any mineral acidic solutions (diluted and concentrated) providing that uranium content in the sample should be

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

Key Words

potato tuber moth, male irradiation, sperm competition.

* This paper appeared in *J. Appl. Entomol.*, JAE 123, August 1999.

REPORTS

FORMING A 2-GROUPS CROSS SECTIONS LIBRARY FOR MNSR*

M. ALBARHOUM, S. MOHAMMAD

Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria, P.O.Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

A 2-groups cross sections library has been generated for MNSR in general and for the syrian MNSR in particular. This is done to enable the HYDMN code achieving the thermal-hydraulic calculations for MNSR easily and efficiently. WIMS code has been employed to reach this objective. Some porgrams like TRAN were written to treat the output file of the WIMS code and to write the useful information in proper format directly in the library (HYDMN.LIB file).

The HYDMN code has also been modified to allow reading macroscopic zone cross sections directly from the library.

Key Words

nuclear cross section library, code, reactor, format.

* A short report on computer study achieved in the Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria.

DEVELOPING THE THERMAL HYDRAULIC CODE HYDMN TO INCLUDE THE TRANSIENT OF MNSR*

M. ALBARHOUM, S. MOHAMMAD

Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria, Damascus, P.O.Box 6091, Syria

ABSTRACT

The following is a description of the programs added to HYDMN code (a code for thermal-hydraulic Steady-State of MNSR) to include the transient of the same MNSR. The code asks the initial conditions for the power (in kW) and the cold initial core inlet temperature (in degrees centigrade). A time - dependent study of the coolant inlet and outlet temperature, its speed, pool and tank temperatures is done for MNSR in general and for the Syrian MNSR in particular. The study solves the differential equations taken from reference [1] by using some numerical methods found in reference [3]. The code becomes this way independent of any external information source.

Key Words

MNSR, HYDMN code, transient state.

* A short report on computer study achieved in the Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria.

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

SEPARATION OF TH, U, PA, RA AND AC FROM NATURAL URANIUM AND THORIUM SERIES*

O. ALHASSANIEH, A. ABDUL-HADI, M. GHAFAR
Department of Chemistry, Atomic Energy Commission of Syria, P.O. Box 6091, Damascus, Syria
A. ABA
Department of Safety and Protection, Atomic Energy Commission of Syria, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

The behavior of radium on ion exchange resins (DOWEX 1X8 and DOWEX 50 WX8) in different acidic media (HCl, HNO_3, $HClO_4$) and of thorium on the anion exchange resin DOWEX 1X8 in HCl medium has been investigated and the distribution coefficients K_d determined. On the basis of these data and those from the literature, three ways for the separation of Th, Ra and Ac from natural thorium series have been proposed; in the first step, Th was adsorbed on the anion exchange resin with HNO_3 as a solvent. In the second step Ac and Ra were separated on the cation exchange resin using HCl, HNO_3 and $HClO_4$. The separation of U, Th, Pa and Ra from the natural uranium series (4n + 2) was carried out as follows: U and Pa were adsorbed on the anion exchange resin in HCl medium; after 2 days ^{234}Pa had decayed and U was eluted. Th and Ra were separated on the cation exchange resin in HNO_3, since Th was adsorbed and Ra was eluted. After 24 h, ^{234}Pa can be generated and eluted.

Key Words

separation; ion exchange resins; distribution coefficient K_d; natural uranium serie (4n + 2); natural thorium serie (4n); radium; thorium; actinium; protactinium; uranium.

* This paper appeared in *Applied Radiation and Isotopes*, 51, (1999), 493-498.

EFFECT OF GAMMA IRRADIATION ON SPERM UTILIZATION IN TWICE-MATED FEMALE PHTHORIMAEA OPERCULELLA ZELLER (LEP., GELECHIIDAE)*

G. SAOUR, H. MAKEE
Department of Agriculture, Atomic Energy Commission of Syria, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

The effects of the second mating on fecundity and fertility of potato tuber moth (PTM) Phthorimaea operculella (Zeller), when females were mated with 450 Gy-irradiated and normal males or vice versa, were studied. The percentage of eggs fertilized by sperm of the second mating (P_2 value) was 0.99, indicating that sperm transferred during the last mating were predominantly utilized in egg fertilization. Females, mated first with irradiated males, remated after 2 days, whereas those mated with normal males, remated after 3.3 days. Fecundity of twice-mated females was higher than those mated only once. Females started to lay their eggs 1.9 days after the first mating, regardless of the type of male. However, virgin females did not lay eggs at all. Duration of copulation varied from 102 to 117 min for normal anbd irradiated males, respectively. The present study elucidated important aspects of mating behaviour of PTM which could improve the efficiency of its control by the sterile insect technique.

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

A COMPARISON STUDY BETWEEN TWO TYPES OF NUCLEAR DETECTORS HAVING (METAL-ORGANIC THIN FILMS-SILICON) AND (METAL-SILICON) STRUCTURES*

J. ASSAF, A. AL-MOHAMAD
Department of Scientific Services, Atomic Energy Commission of Syria, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Nuclear detectors having metal-organic thin film-semiconductor structures have been prepared and tested. The organic thin films (50-200 nm) were thermally sublimed and deposited onto silicon slides (n-type 1000 Ω.cm). The prepared detectors show remarkable performance and their energy resolution was highly improved in comparison to metal-semiconductor (Schottky type) detectors manufactured on identical substrates and under similar conditions.

Key Words

organic thin films, nuclear detectors, surface barrier junctions.

* This paper appeared in *The Radiation Measurements*. 1999.

CORROSION EVALUATION AND WALL THICKNESS MEASUREMENT OF INSULATED PIPES BY TANGENTIAL RADIOGRAPHY USING THEIR OUTER DIAMETERS*

W. HARARA
Department of Scientific Services, Atomic Energy Commission of Syria, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

This paper describes a novel and practical tangential radiography testing method which can be directly applied for internal and external corrosion evaluation of insulated pipes using their external diameters. Also, this method can make the task of measuring the pipe's remaining wall thickness much simpler and easier. Application of this method, on especially designed insulated steel pipe of 100 mm diameter, has proved 98 % accuracy in determining the pipe wall thickness and 96 % accuracy in determining the pipe wall thickness reduction at the areas of internal and external machined slots.

Key Words

corrosion, tangential radiography, insulated pipes, asbestos, fiber glass, calibration blocks.

* This Paper appeared in *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 1999.

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

PAPERS

WAVEMECHANICAL NATURE OF THE ANOMALY IN THE CHARGE RADII OF LEAD ISOTOPES*

S. HADDAD, S. SULEIMAN
Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Results of the relativistic mean-field theory calculations for lead isotopes are compared with the results of its semiclassical appoximations implying the same parameter set. Semiclassical treatments reproduce the average shift in the rms charge radii of lead isotopes, but not the anomalous kink.

Key Words

relativistic mean-field theory, semiclassical approximations, lead isotopes.

* This paper appeared in *Physica Scripta*, Vol.60, 1999.

$CuGaSe_2$ SOLAR CELLS WITH 9.7% POWER CONVERSION EFFICIENCY*

M. SAAD
Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria, P.O. Box 6091, Damascus, Syria
H. RIAZI, E. BUCHER, M. CH. LUX-STEINER
Universität Konstanz, Fakultät für Physik, Postfach 5560, D-78434 Konstanz, Germany

ABSTRACT

Heterojunction, such as ZnO/CdS/$CuGaSe_2$, were fabricated for photovoltaic applications. Optimization of device structures based on monocrystalline $CuGaSe_2$ led to the highest-to-date power conversion efficiencies for $CuGaSe_2$ solar cells. At room temperature under 100 m W/cm^2 AM1.5 illumination a maximum cell efficiency of 9.7% was achieved, given by an open-circuit voltage of 946 m V, a short circuit current density of 15.5 mA/cm^2, and a fill factor of 66.5%. Preparation and performance of the optimum device are described. Current voltage characteristics dependent on illumination intensity and temperature, spectral response and electron-beam-induced current measurements were performed to determine the device parameters as well as to analyse the current transport and loss mechanisms. Tunneling, assisted by defect levels in the CdS layer, seems to play a major role. High injection effects are observed at forward bias of $V > 0.5$ V or an illumination level of $P > 10$ m W/cm^2. Under such conditions, as well as at low temperatures, the non-zero series resistance comes into play. Effects of the shunt resistance, however, are negligible in all cases.

Key Words

photovoltaic, solar cells, chalcopyrites, $CuGaSe_2$.

* This Paper appeared in *Applied Physics A*, 1996.

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

other phenomena. Those particles which occupy the ground state and behave in correlation are called condensates. Lasers were used to cool gases trapped in a magnetic trap until condensation was reached and condensate was obtained, so that Bose - Einstein condensates are an ideal testing ground for quantum field theory in real time and at finite temperatures - basic topics of great importance for diverse physical systems.

Key Words

Bose-Einstein condensation, condensate, Atoms trap, laser-cold atoms interaction, many-body interactions, condensed-matter, collective excitation, Hartree-Fock-Bogoliubov equations, matter-waves, mesoscopic-physics.

*This article appeared in *Physics Today*, December 1999. It has been translated into Arabic by Dr. F. Awad, Department of Physics, Damascus University.

INDUSTRY WARMS TO SUPERCONDUCTORS*

J. TALLON

is at Industrial Research Ltd, P.O. Box 31310. Lower Hutt, New Zealand

ABSTRACT

While theorists have been battling to understand high-temperature superconductivity, industrialists have been developing a wide range of devices that are set to enter a global marketplace that is potentially worth billions of dollars.

Key Words

(HTS) high-temperature superconductors, HTS wires, HTS power cables, HTS motors, transformers.

*This article appeared in *Physics World*, March 2000. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

AIR CREW RADIATION EXPOSURE-AN OVERVIEW*

S. BAILEY

ABSTRACT

Regulators, airlines, and flight crews are paying more attention to cosmic radiation.

But what is the risk, and how can it be managed?

Key Words

cosmic radiation, solar particles events, solar flare, radiation dose, air crew, dosimetry badges, storm shelters.

*This article appeared in *Nuclear News*, January 2000. It has been translated into Arabic by Translation, Composition & Publication Office, Atomic Energy Commission of Syria.

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

ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE

ARTICLES

EXPERIMENTAL STUDIES OF BOSE-EINSTEIN CONDENSATION*

W. KETTERLE
Professor of Physics at MIT in Cambridge, Massachusetts

ABSTRACT

Since first being produced four years ago, Bose - Einstein condensates of dilute gases have provided a rich playground for exploring atomic, quantum, and many - body physics. In this article we sketch the underlying concepts of atomic Bose - Einstein condensation and describe some of the recent experimental advances concerning how to make a Bose - Einstein condensate, atom lasers and their applications, collective excitations in many - body systems, how does a condensate look like and what are multicomponent condensates.

Key Words

Bose - Einstein condensate, multicomponent condensates, atom laser, atom trap, laser cooling, quantum degeneracy, four - wave mixing.

*This article appeared in *Physics Today*, December 1999. It has been translated into Arabic by Dr. B. Maasarany, Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria.

THE THEORY OF BOSE-EINSTEIN CONDENSATION OF DILUTE GASES*

Bose - Einstein condensates are an ideal testing ground for quantum field theory in real time and at finite temperatures - basic topics of great importance for diverse physical systems.

K. BURNETT
professor of physics at the University of Oxford-England
M. EDWARDS
associate professor of physics at Georgia Southern University in Statesboro, Georgia
CH. W. CLARK
chief of the electron and optical physics division at NIST's Gaithersburg facility

ABSTRACT

A. Einstein had predicted theoretically a condensation of a system of particles that have integer spins (Bosons) when its temperature is lowered i.e - a phase transition of a sytem of particles obeying Bose - Einstein statistics, so that a large number of these particles are in the ground state. This theory gave a fair explaination of He - 4 phase tranistion from normal fluid to superfluid. This success was followed by another success in explaining superconductivity and

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

☐ SEPARATION OF TH, U, PA, RA AND AC FROM NATURAL URANIUM AND THORIUM SERIES ..... O. ALHASSANIEH et al 75

☐ EFFECT OF GAMMA IRRADIATION OF SPERM UTILIZATION IN TWICE-MATED FEMALE PHTHORIMAEA OPERCULELLA ZELLER (LEP., GELECHIIDAE) ..... G. SAOUR, H. MAKEE 79

REPORTS (Unpublished works of the Syrian A. E. C. Staff)

☐ FORMING A 2-GROUPS CROSS SECTIONS LIBRARY FOR MNSR ..... M.ALBARHOUM, S. MOHAMMAD 86

☐ DEVELOPING THE THERMAL HYDRAULIC CODE HYDMN TO INCLUDE THE TRANSIENT OF MNSR ..... M. ALBARHOUM, S. MOHAMMAD 88

☐ STUDY OF PHASE FORMATION IN THE EQUIATOMIC COMPOSITION OF Cr-50% at.Si SYSTEM CAUSED BY MECHANICAL ALLOYING IN HIGH-ENERGY BALL MILL ..... M. ABOU-KHARROUB, M. SOUKIEH 90

☐ ECONOMIC FEASIBILITY STUDY OF SOLAR DOMESTIC HOT WATER SYSTEMS ..... A. ALMOHAMAD 91

☐ FAST METHOD FOR DETERMINATION OF URANIUM IN ACIDIC SOLUTIONS ..... M. S. AL-MASRI, A. NASHAWATI 92

☐ DETERMINATION OF HEAVY METALS IN SLUDGE ..... S. TAKRITI, A. AL-KAID 93

☐ GEOCHEMICAL RADIOACTIVE INVESTIGATION OF BEACH SANDS AND STREAM SEDIMENTS, USING HEAVY MINERALS, TRACE ELEMENTS AND RADON MEASUREMENTS, (QERDAHA SHEET OF THE SYRIAN COAST) ..... Y. JUBELI, B. KATTAA, M. AL HILAL 96

SELECTED NEW BOOKS (Review and analysis)

☐ NONLINEAR OPTICS: BASIC CONCEPTS ..... BY: D. L. MILLS. BY: R. R. FREEMAN 101

☐ PHYSICS OF THE SPACE ENVIRONMENT ..... BY: T. I. GOMBOSI. BY: G. D. HOLMAN 101

2000 SUBJECT INDEX 105

ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE IN ENGLISH 120

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

CONTENTS

ARTICLES

☐ EXPERIMENTAL STUDIES OF BOSE - EINSTEIN CONDENSATION ... W. KETTERLE ... 7

☐ THE THEORY OF BOSE - EINSTEIN CONDENSATION OF DILUTE GASES ... K. BURNETT et al ... 15

☐ INDUSTRY WARMS TO SUPERCONDUCTORS ... J. TALLON ... 23

☐ AIR CREW RADIATION EXPOSURE-AN OVERVIEW ... S. BAILEY ... 29

NEWS

1- ELECTRON DYNAMICS AT SURFACES ... *SCIENCE* ... 43

2- VOLCANOS ... *LA RECHERCHE* ... 44

3- LOW-MAINTENANCE WIND TURBINES CAN BE TUCHED AWAY OUT OF SIGHT ... *NEW SCIENTIST* ... 48

4- A SLOW CAROUSEL RIDE GAUGES GRAVITY'S PULL ... *SCIENCE* ... 49

5- LIGHT RUNS BACKWARDS IN TIME ... *PHYSICS WORLD* ... 50

6- LARGE-SCALE SYNTHESIS OF A SILICON PHOTONIC CRYSTAL WITH A COMPLETE THREE-DIMENSIONAL BANDGAP NEAR 1.5 MICROMETRES ... *NATURE* ... 51

7- BOUNCING A C_{60} BALL ... *NATURE* ... 55

PAPERS (Published worldwide by the Syrian A. E. C. Staff)

☐ WAVEMECHANICAL NATURE OF THE ANOMALY IN THE CHARGE RADII OF LEAD ISOTOPES ... S. HADDAD, S. SULEIMAN ... 59

☐ $CuGaSe_2$ SOLAR CELLS WITH 9.7% POWER CONVERSION EFFICIENCY ... M. SAAD et al ... 61

☐ A COMPARISON STUDY BETWEEN TWO TYPES OF NUCLEAR DETECTORS HAVING (METAL-ORGANIC THIN FILMS-SILICON) AND (METAL-SILICON) STRUCTURES ... J. ASSAF, A. AL-MOHAMAD ... 67

☐ CORROSION EVALUATION AND WALL THICKNESS MEASUREMENT OF INSULATED PIPES BY TANGENTIAL RADIOGRAPHY USING THEIR OUTER DIAMETERS ... W. HARARA ... 71

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

Notice: Scientific matters and different inquiries; subscriptions, address changes, advertisements and single copy orders, should be addressed to the journal's address:
Damascus, P.O. Box 6091 Phone 6111926/7, Fax 6112289, Cable; TAKA.

Subscription rates, including first class postage charges: *a) Individuals* ***$ 30 for one year***
b) Establishments ***$ 60 for one year***
c) For one issue ***$ 6***

It is preferable to transfer the requested amount to:
The Commercial Bank of Syria N-13 P.O. Box 16005 Damascus-Syria account N-3012\2
Cheques may also be sent directly to the journal's address.

The views expressed in any signed article in this journal do not necessarily represent those of the AEC of Syria, and the commission accepts no responsibility for them.

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

AALAM AL-ZARRA

JOURNAL OF THE ATOMIC ENERGY COMMISSION OF SYRIA

A journal published in Arabic six times a year, by the Atomic Energy Commission of Syria. It aims to disseminate knowledge of nuclear and atomic sciences and of the different applications of atomic energy.

N° 71 16th Year JANUARY/FEBRUARY 2001

Managing Editor

Dr. Ibrahim Othman

Director General of A. E. C. S.

Editorial Board

Dr. Tawfik Kassam *(Editor In-Chief)*

Dr. Mohammed Ka'aka ***Dr. Fouad Al-Ijel***

Dr. Ahmad Haj Said ***Dr. M. Fouad Al-Rabbat***

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