عالَم الذرة

مجلة هيئة الطاقة الذرية السورية

85

السنة الثامنة عشرة / أيار-حزيران

2003

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

المدير المسؤول

الدكتور إبراهيم عثمان

المدير العام لهيئة الطاقة الذرية

هيئة التحرير

الدكتور توفيق قسام

رئيس هيئة التحرير

الدكتور محمد قعقع

الدكتور فؤاد العجل

الدكتور أحمد الحاج سعيد

الدكتور محمد فؤاد الرباط

الدكتور إلياس أبو شاهين

هيئة الطاقة الذرية السورية

مكتب نظم المعلومات

http://serversmiso.aecs.sy

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 أسطر لكل منهما، ويطلب من كل من المؤلف والمترجم كتابة اسمه كاملاً باللغتين العربية والأجنبية، ولقبه العلمي وعنوان مراسلته.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

E-mail: aalam_al_zarra@aec.org.sy

رسوم الاشتراك

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

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

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

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

أو بشيك باسم هيئة الطاقة الذرّية السورية

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

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

مع بيانٍ يوضح عنوان المراسلة المفضل

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

سعر العدد الواحد

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

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

ISSN 1607-985X

في هذا العدد

المقالات

□ علم قياس التواتر الضوئي . . . . . ث. أودم ، ر. هولزورث، ت. و. هانش 7
ترجمة هيئة التحرير

□ المعالجة الكمومية للمعلومات بالذرات والفوتونات . . . . . س . مونرو 14
ترجمة هيئة التحرير

□ مفعول كازيمير: قوة من لا شيء . . . . . أستريد لامبرشت 27
ترجمة هيئة التحرير

□ الفيزيائيون يستعيدون صورة تشكل الكون . . . . . م. غونين 32
في لحظاته الأولى بُعيد الانفجار العظيم ترجمة هيئة التحرير

أخبار علمية

□ بزوغ فجر إلكترونيات الكربون؟ 48
□ نبائط البوليمير تعيش أطول 49
□ بلّورات سائلة تتكدّس فوق بعضها 51
□ ملامح الوقاية الإشعاعية لصوف العزل المعدني بالنشاط الإشعاعي الطبيعي المعزّز 52
□ استراتيجيات وطرائق أمثلة التعرّض الداخلي للعاملين الناجم عن المصادر الطبيعية والاصطناعية 54
□ الحزم الإلكترونية تصغر في حجمها 56
□ المخرّبون الشريرون 57
□ الراديوم 58

ورقات البحوث (أعمال باحثي الهيئة المنشورة في المجلات العالمية)

□ دور التصوير المقطعي بإصدار البوزترونات (PET) في كشف . . . . د.فادي نجار 61
وتحديد انتشار لمفوما لا هودجكن ضعيفة الخباثة (Low grade NHL)

□ تأثير إضافة النترات على كفاءة استخدام سماد كبريتات . . . . . د. خلف خليفة، د. علي زيدان 69
الأمونيوم على الذرة تحت الظروف المالحة - الجزء الثاني: التجربة الحقلية

□ تأثيرات إصابة بذور الشعير بالعامل الممرض . . . . . د. محمد عماد الدين عرابي، 79
Pyrenophora graminea في بروتينات التخزين (الهوريدين) د.نزار مير علي، محمد جوهر، د. بسام الصفدي

□ تأثير إرجاع الكبريتات ومساهمة غاز CO_2 الأرضي . . . . . د. زهير قطان 83
في تحديد أعمار المياه الجوفية المقدرة بطريقة الكربون ^{14}C- دراسة حالة
لنظام المياه الجوفية في الحامل المائي للباليوجين في شمال - شرق سورية

التقارير العلمية (أعمال باحثي الهيئة غير المنشورة)

- ☐ تصميم مرشحات ضوئية متعددة الطبقات العازلة كهربائياً . . . . . د. محمد بهاء الصوص 96
  لليزر رامان المضخوخ بليزر ND-YAG مضاعف التواتر
  ولليزرات الصباغية المضخوخة ببخار النحاس
- ☐ أحدث الاتجاهات في تطوير الخلايا الشمسية . . . . . د. محسن شحود 97
- ☐ النشاط الإشعاعي الطبيعي في بعض مصادر مياه الشرب . . . . . د. محمد سعيد المصري 99
  في المناطق الساحلية والشمالية والشرقية والجزيرة في سورية عماد بيرقدار، يُسر أمين، سامر أبو بكر
- ☐ دراسة معقدات اليورانيوم في المخلصات العضوية بالـ FTIR . . . . . د. موسى الابراهيم 100
- ☐ الفحص المسحي لقصور الدرق الخلقي عند الأطفال . . . . . د. ندوة حمادة، نور الدين علي، 101
  حديثي الولادة فاطمة الشيخ، إيفاد الغوري
- ☐ توصيف بعض المؤشرات التناسلية عند إناث . . . . . د. معتز زرقاوي 103
  أغنام العواس السوري خلال مراحل مختلفة

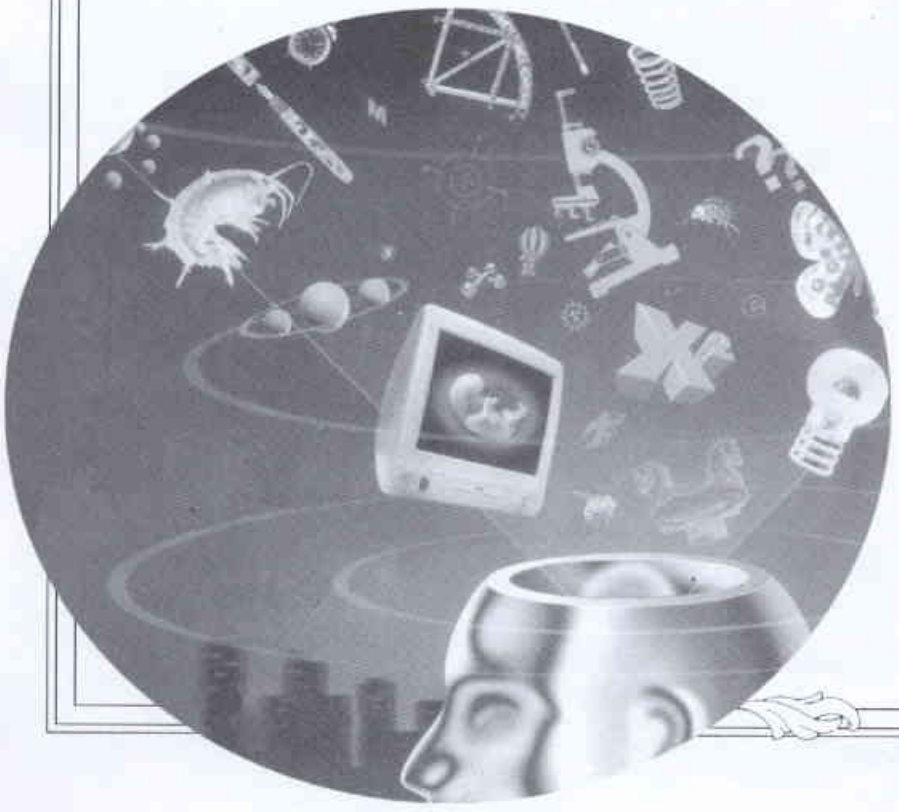
كتب حديثة مختارة

- ☐ أسرار عالم الجسيمات الأولية . . . . . (تأليف: ف.كلوز – م. مارتن – ك. سوتون) 107
  أوديسة الجسيم: رحلة إلى قلب المادة (عرض وتحليل: ك. بيتش)
- ☐ الأكسجين: الجزيء الذي صنع العالم . . . . . (تأليف: ن. لين) 108
  (عرض وتحليل: توماس ب. ل. كيركوود)

ملخصات باللغة الإنكليزية عن الموضوعات المنشورة في هذا العدد. 116

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

المقالات



علم قياس التواتر الضوئي*

ث. أودم ، ر. هولزورث، ت. و. هانش
معهد ماكس بلانك للضوء الكمومي - غارشينغ - ألمانية

ملخص

يمكن للتجاوبات الضوئية الضيقة جداً داخل ذرّات باردة أو أيونات فردية مأسورة أن تقاس بميز عالٍ؛ ويمكن لليزر مثبّت إلى هذا التجاوب الضوئي الضيق أن يعمل بمثابة هزّاز عالي الاستقرار لساعة ذرّية ضوئية كلياً. على أية حال، وحتى عهد قريب لم تتوفّر آلية لساعة موثوقة تستطيع عدّ تواترات ضوئية من فئة مئات التيراهرتز؛ لكن التقنيات، التي طُورت خلال السنوات القليلة الماضية، والتي تستخدِم سلاسل نبضات ليزرية (أمشاط) ذات تواتر من فئة الفمتوثانية استطاعت أن تحلَّ هذه المشكلة. وقد سهّلت القدرةُ على عدِّ اهتزازات ضوئية ذات قيمة أعظم من 10^{15} دورة في الثانية إيجادَ مطيافية ضوئية عالية الدقة، كما أدت إلى بناء ساعة ذرّية ضوئية كلياً يتوقع لها في نهاية المطاف أن تتفوق في أدائها على آخر ما أمكن الوصول إليه في مجال ساعات السيزيوم.

الكلمات المفتاحية: تواتر ضوئي، تواتر راديوي، اهتزازات ضوئية، ليزر فمتوثانية، مشط تواتر، أيون فردي مأسور، ساعة ذرّية ضوئية كلياً، مُركّب تواتر، مطيافية ضوئية.

ظلّت ولأكثر من قرن، المطيافية الدقيقة للذرّات والجزيئات أمراً جوهرياً في اكتشاف قوانين الفيزياء الكمومية، وفي تحديد الثوابت الأساسية، وفي تحقيق المعايير الخاصة بالزمن والتواتر والطول، وكان لقدوم الليزرات أحادية اللون بصورة عالية والقابلة للتوليف إضافة إلى تقنيات المطيافية اللاخطية الخالية من مفعول دوبلر، في أوائل السبعينيات، تأثيرٌ واضحٌ على حقل المطيافية الدقيقة [1،2]. وفي الوقت الراهن، نحن قادرون على رصد تجاوبات ضوئية ضيقة جداً داخل ذرّات باردة أو أيونات فردية مأسورة بميز يتراوح مداه ما بين 10^{-13} و10^{-15}، بحيث يمكن في نهاية المطاف، قياس مركز الخط لواحد من هذه التجاوبات بدقة تصل إلى بضعة أجزاء من 10^{18} جزءاً. وعندئذ، قد تصل التجارب المختبريّة الباحثة عن تغيرات بطيئة لثوابت أساسية إلى حساسية جديدة لا سابق لها. ولا شك بأن استنباط ساعة ذرّية ضوئية كلياً [3] تعتمد على مثل هذه التجاوبات الضوئية سيرضي الطلبات المتنامية في مجال علم قياس التواتر الضوئي، أو الاتصالات عن بعد بالألياف الضوئية، أو الملاحة. من جهة ثانية، وحتى فترة قريبة، فإن الذي حدّ من بناء نبيطة كهذه هو الافتقار لعدّاد تواتر ضوئي يعمل بآلية الساعة.

لا تزال معظم التجارب الطيفية تعتمد على قياس الأطوال الموجية الضوئية بدلاً من اعتمادها على قياس التواترات. وهناك تشوهات لا يمكن تجنُّبها في صدر الموجة الهندسي جعلت من المستحيل، حتى تاريخه، تجاوزَ دقةٍ قدرها بضعة أجزاء في 10^{10} جزءاً باستخدام مقياس تداخل لطول موجي ذي الحجم المختبري. وللحصول على نتائج عالية الدقة، لا بدَّ من قياس تواتر الضوء بدلاً من طوله الموجي؛ وهذا يعود إلى إمكانية قياس الزمن بدقة أعلى بكثير من أيّ كمية فيزيائية أخرى؛ كما يُعدّ تعداد عدد الدورات في الثانية موازياً في دقته لدقة الساعة التي تستخدم لتقدير أمد الثانية. وحيث جرى، في عام 1983، تحديد قيمة دقيقة لسرعة الضوء في الخلاء قدرها 299, 792, 458 متراً/ ثا؛ لذلك أصبح التحويلُ ما بين التواتر والطول الموجي ممكناً دون فقد أو ضياع في الدقة. لكن إمكانيةَ الحصول على دقة عالية لقياس التواتر، كانت، ولسنوات عديدة، محصورةً بشكل رئيس بالتواترات الراديوية (لغاية 100 GHz)؛ كما كان من الصعب جداً مدُّ هذه التواترات لتصل إلى مجال الاهتزازات الضوئية السريعة.

ولقد استفادت المقاربة المبكرة في معالجة هذه المشكلة من استعمال سلاسل التواترات التوافقية، وتبدأ مثل هذه السلاسل بساعة ذرّية للسيزيوم تعمل، حسب تعريف الثانية وفق الجملة الدولية SI، عند تواتر 9,192, 631,770 Hz (أي ما يكافيء الحالة الأساسية الفائقة الدقة لانشطار ذرة السيزيوم)؛ وهذه الساعة تحدد التواتر عند النهاية المنخفضة للسلسلة، والتي تتولد منها توافقيات أعلى في مازجات ديودات لاخطية إضافة إلى بلّورات ونبائط لاخطية أخرى [4-8]. وهنالك حاجة لهزّازات نقل مثبتة – الطور phase-locked transfer oscillators بعد كل خطوة بحيث تغدو سلسلةٌ ما، تجتاز منطقة واسعة للطيف الكهرطيسي، كثيرةَ التعقيد ضخمةً ورهيفة، تتطلب قدراً هاماً من الموارد وجهداً كبيراً لبنائها وتشغيلها. وهذا هو السبب وراء وجود عدد قليل فقط من السلاسل التوافقية التي تمّ بناؤها. كما يوجد عائق هام آخر لهذه المقاربة يتمثل في أن السلاسل مصممة كي تقيس تواتراً ضوئياً واحداً فقط.

ومنذ بناء أول سلسلة، قبل حوالي ثلاثين سنة [4]، لم يجر حلُّ أيٍّ من المشاكل المرافقة للتواتر التوافقي. وفي عام 1998، أعلن مختبرنا عن مقاربة ثورية جديدة تُبسّط إلى حد كبير قياسات التواتر الضوئي [9، 10]،

* نُشِر هذا المقال في مجلة *Nature*, Vol.416, 14 March 2002. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

حيث بيّنا أنه بالإمكان استخدام أنماط ليزر فمتوثانية مثبّت النمط كمسطرة دقيقة في فضاء التواتر عندما تتشكل سلسلة من سفوات spikes التواتر تدعى "مشط التواتر frequency comb" [11، 12]. وقد بلغ عملنا هذا الآن ذروته باستنباط مُركّب تواتر ضوئي - كُلّي الحالة الصلبة all - solid - state optical frequency synthesizer يعتدُّ به متراص، يتطلب فقط ليزراً فردياً مثبّتَ - النمط لكنه، رغم ذلك، قادر من حيث المبدأ على قياس أي تواتر ضوئي [13-17]. وكمُركّب تواتر ضوئي مشطي شامل، فإنه يقدم الوصلة المفقودة ما بين التواترات الضوئية وتواترات الأمواج المكروية. وقد تمكنت مختبرات مطيافية السلم الصغير، ولأول مرة، من قياس أو اصطناع أي تواتر ضوئي وبدقة كبيرة جداً. ومنذ ذلك الحين، بدأت تقنيات التواتر المشطي من رتبة الفمتوثانية تستخدم بشكل واسع النطاق محقّقة قياسات دقيقة في كل من: Rb [13]، وCa [18,19] و CH_4 [20]، و H [15، 16]، و Hg^+ [18]، و I_2 [14، 21-24]، وSr^+ [24، 25] و Yb^+ [24، 26]، و In^+ [27].

كذلك تفتح تقنيات التواتر المشطي من فئة الفمتوثانية تخوماً جديدة في حقل فيزياء السرعات الفائقة. وإن تحكماً في تحول الطور قدره بضع دورات من النبضات الضوئية [9، 17، 28-30] سيوفر أداة جديدة فعّالة لدراسة ظواهر عالية اللاخطية تعتمد على طور الموجة الحاملة بالنسبة إلى غلاف النبضة، كما هو الحال في التأين فوق العتبة [31]، أو في الإصدار الفوتوني القوي الحقل، أو في توليد نبضات أشعة X الليّنة من فئة الأتوثانية بواسطة توليد توافقي عالي الرتبة [32].

نبضات ضوئية من فئة الفمتوثانية

استخدم، ولأول مرة، قبل ما يزيد عن 20 سنة مشطُ تواترٍ ليزرٍ صباغي مثبّت النمط من فئة البيكوثانية كمسطرة في فضاء التواتر لقياس البنية الدقيقة 4d لانشطار الصوديوم [33]. واستمر تتبع الطريق المذكور في الثمانينيات من القرن الماضي [34، 35]، لكن عروض العصابة التي أمكن تحقيقها لم تكن إطلاقاً بقدر كافٍ من الكبر لتجعل منها تقنية واسعة الانتشار في مجال علم قياس التواتر الضوئي. ومنذ أوائل التسعينيات من القرن الماضي، ظهرت إلى الوجود ليزرات سفير: Ti عريضة العصابة من فئة الفمتوثانية؛ وقد بيّنا بشكل قاطع أنه يمكن لهذه الليزرات أن تكون حاسمة في هذا الحقل [11، 12].

ومن أجل فهم بنية النمط لمشط تواتر من فئة الفمتوثانية، ولفهم التقنيات المطبقة لتثبيته، لا بد من الأخذ بعين الاعتبار الحالة المثالية لنبضة تنتشر في تجويف ليزر له طول L وتواتر حامل ω_c، كما هو مبين في الشكل 1. إن خرج هذا الليزر هو تعاقب نبضات تعدُّ من حيث الأساس نسخاً للنبضة ذاتها المفصولة بزمن رحلة الذهاب والإياب $T = v_g/2L$؛ حيث تمثل v_g متوسط سرعة المجموعة للتجويف المعرّفة بزمن رحلة الذهاب والإياب وطول التجويف. لكن النبضات لا تكون متماثلة تماماً؛ والسبب في هذا يعود إلى أن غلاف النبضة A(t) ينتشر بسرعة v_g في حين ترتحل الموجة الحاملة بسرعة الطور الخاصة بها. ونتيجة لما سبق، تنزاح الموجة الحاملة بالنسبة لغلاف النبضة بعد كل رحلة ذهاب وإياب بزاوية طور قدرها $\Delta\varphi$ (الشكل 1). وبخلاف تابع الغلاف الذي يزودنا بتحديد أشد دقة لتكرارية زمن النبضة $T = \omega_r^{-1}$ من خلال المتطلّب A(t) = A(t-

(T، فإنه من غير المتوقّع عموماً أن يكون الحقل الكهربائي دورياً مع الزمن، وإذا ما تمّ افتراض الدورية لتابع الغلاف، فإنّ حساب الحقل الكهربائي يصبح ممكناً عند موقع محدد خارج المجاوب الليزري بموجب المعادلة التالية:

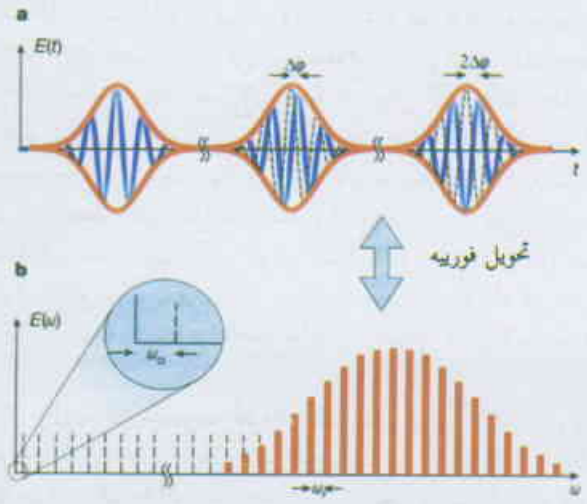
$$E(t) = Re(A(t)\exp(-i\omega_c t)) = Re(\Sigma_n A_n \exp(-i(\omega_c + n\omega_r)t)) \quad (1)$$

حيث A_n مركّبات فوريه لـ A(t). تبيّن هذه المعادلة أنه عند افتراض غلاف نبضة دوري، فإن الطيف الناتج سيتألف من مشط أنماط ليزرية تكون منفصلة بواسطة تواتر النبضة التكراري ω_r.

ولأن التواتر ω_c ليس بالضرورة عدداً صحيحاً مضاعفاً لـ: ω_r، فإن الأنماط تنحاز عن كونها توافقيات دقيقة لتواتر النبضة التكراري بقدرٍ للإزاحة يمكن اختياره ليتفق مع $\omega_o < \omega_r$ ويتمّ ذلك ببساطة من خلال إعادة ترقيم الأنماط

$$\omega_n = n\omega_r + \omega_o \quad (2)$$

مستخدمين عدداً صحيحاً كبيراً n ($\approx 10^5$-10^6). هذا وتنظم المعادلة الأخيرة تواترين راديويين ω_r و ω_o فوق التواترات الضوئية ω_n. ورغم أن ω_r قابلة للقياس بسهولة، وتقع عادة ما بين بضع عشرات من الميغاهرتز وعدد قليل من الغيغاهرتز وذلك بالاعتماد على طول مجاوب الليزر، لكنه ليس من السهل الوصول إلى ω_o إلاّ في حال احتواء مشط التواتر على أكثر من ثمانيّ ضوئي واحد. ويمكن للصورة البديهية المعطاة هنا أن تتعامل حتى مع زقزقة تواترية frequency chirp، أي مع تواتر حامل يتغير عبر النبضة؛ وفي هذه الحالة يصبح تابع الغلاف معقداً من حيث القيمة، كما تظل بنية المشط المشتقة أعلاه صالحة شريطة أن تكون الزقزقة ذاتها لجميع النبضات؛ وبهذه الفرضية التي تُعدُّ معقولة من أجل قطار نبضي مستقر، فإن A(t) ستبقى تابعاً دورياً.



الشكل 1- نبضات متتابعة للقطار النبضي مُصدَرة بليزر مثبّت النمط، والطيف المقابل.
(a) مع سير الموجة الحاملة ذات التواتر ω_c بسرعة الطور يسير الغلاف بسرعة مجموعة مغايرة وبالتالي، فإن الموجة الحاملة (بالأزرق) تنزاح بالنسبة لغلاف النبضة (بالأحمر) بمقدار $\Delta\varphi$ بعد كل رحلة ذهاب وإياب.
(b) يسبب هذا الانزياح المستمر إزاحة تواتر قدرها $\omega_o = \Delta\varphi / T$، والتي تمنع المشط من أن يكون مشتملاً على توافقيات دقيقة للتواتر النبضي التكراري ω_r [9، 10، 29، 56، 57].

والافتراض الرئيس في المعادلة (2) هو أن تباعد النمط يكون متماثلاً عبر مشط التواتر كما يكون مساوياً لمعدّل تكرار النبضة. ولا بد للمرء، كي يكون قادراً على استخدام هذه الخاصة من أجل القياسات العالية الدقة، أن يتأكد من أن الصورة البديهية البسيطة المبينة أعلاه صحيحةٌ وعلى درجة عالية من الدقة. وفي البداية، كان السؤال الملح حول ما إذا كان من الممكن لتأرجحات طورية بين نبضة وأخرى أو لعامل المضاعفة الكبير n أن يخرّب الترابط [36] أو يمنعه كلياً من تكوين مشط. وقد قمنا أولاً بالتحقق من أن هناك بالفعل مشطاً لتواترات ليزر ذي أمواج مستمرة، بإجراء تراكب للحزمة الصادرة عن ليزر فمتوثانية مع ليزر ديودي فردي النمط على مكشاف ضوئي، يمكن من خلاله ملاحظة إشارات خفقان ما بين الأنماط والليزر ذي الموجة المستمرة، ومن أجل اختبار تباعد النمط، استخدمنا ديودَيْ ليزر كانا مثبتَي الطور إلى أنماط بعيدة للمشط. وقد استُعملا في وقت واحد كدخل لما يدعى "مجزِّىء مجال التواتر الضوئي Optical Frequency Interval Divider (OFID) [37، 38]. ويقوم OFID بتثبيت ثلاثة تواترات ليزرية هي f_1، و f_2، و f_3 كي يحقق العلاقة $2f_3 = f_1 + f_2$ بأسلوب طوري مترابط. ويمكن استخدام هذا الأسلوب، على سبيل المثال، من أجل إنتاج خرج (f_3) عند النقطة الوسطى الدقيقة لمجال التواتر المعطى بديودَيْ ليزر الدخل (f_1 و f_2). وإذا جرى توزيع الأنماط بالتساوي على محور التواتر، ووُجِدَ عدد فردي للأنماط بين دخلَيْ الـ OFID، فعندئذ سوف يتوقع المرء أن يتطابق خرج الـ OFID مع نمط آخر للمشط. وبعد حساب متوسط جميع البيانات التي حصلنا عليها، استنتجنا عدم وجود أيّ انحراف من الشبيكة المنتظمة الكاملة يزيد عن 3 أجزاء في 10^{17} جزءاً [11]. وبهذا كانت التجربة المذكورة آنفاً أساسية (مفتاحية) بالنسبة لأي تقدم لاحق.

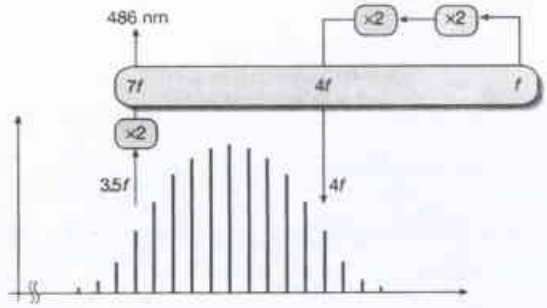
تحسين تعددية الاستعمال لقياسات التواتر

عند هذه المرحلة من التطوير، استطاع مشط التواتر المُولَّد بواسطة ليزرنا Ti: سفير مثبّت – النمط أن يوفر جسراً يقارب 45 THz. أما التوافقي الرابع لليزر He-Ne المثبّت بالميتان، والذي كان يعمل بدقة عالية، فقد استُخدم كمرجع مطلق لتواتر مشط الفمتوثانية، الأمر الذي أتاح لنا إمكانية ولوج أهداف جديدة، فمن هذه الأهداف تواتر انتقال الخط D_1 للسيزيوم [12] الذي نحتاجه لإجراء تقدير جديد للثابت α ذي البنية الدقيقة [39، 40]. وكذلك، فإن تجاوباً حاداً في أيون الإنديوم المأسور فردياً [27] سيعمل، في نهاية المطاف، بمثابة مرجع دقيق لساعة ضوئية [41]. ولا شك في أن صعوبات بالغة كانت ستنجم عن استخدام خطط القياس السابقة في قياس فرجة التواتر من التوافقي الرابع لليزر He-Ne كمرجع لهذه التواترات المستهدفة، لكن استخدام مشط التواتر جعل من هذا القياس عملاً سهلاً مباشراً.

وصل مباشر للتواترين الراديوي والضوئي

يمكن للأمشاط المستخدمة كمساطر في فضاء التواتر أن تقيس فرجات تواتر كبيرة ما بين مرجع ضوئي معروف بدقة وتواتر مجهول. لكن استعمال المشط بشكل مباشر كمرجع لتواتر راديوي معروف بدقة يتحقق برسم خارطة تواتر ضوئي مطلق فوق فرق تواتر بين التوافقيات أو تحت توافقيات الليزر ذاته؛ وفي أبسط حالة من هذا القبيل، فإن هذا سيكون عبارة عن الفاصل بين تواتر ضوئي f ومدروجه الثاني الخاص به 2f [14]. وقد اقتُرح قياسٌ لفرجة التواتر الكبيرة f=2f-f إما بواسطة سلسلة من مجزِّئات مجال التواتر الضوئي (OFIDs) أو بليزر فمتوثانية، لكنه بالإمكان أيضاً استخدام فواصل أخرى، كما هو موضَّح في الشكل 2 الذي يصف تجربة أولى من هذا النوع [15، 42]. ولاتزال التركيبة التجريبية تستخدم المرحلة الرباعية الخطرة إلى حد ما من أجل إحداث التوافقي الرابع 4f لليزر He-Ne المثبّت بالميتان، ويستخدم بعد ذلك مشط التواتر للتحويل من 4f إلى 3.5f تقريباً؛ وبعد الازدواج يتم الحصول على تواتر يقع بالقرب من 7f. وبعد ذلك، تغلق العروة باستخدام مرحلة OFID التي تُثبّت f بطريقة يمكن من خلالها لنسب التواتر f: 4f: 7f أن تتحقق بدقة ($2 \times 4f = 7f + f$). وأسهل طريقة لتوقع ما سبق هي الملاحظة بأن مشط التواتر يثبّت 0.5f = 4f-3.5f (44 THz) إلى عدد صحيح مضاعف لساعة السيزيوم التي ضبطت تباعد النمط. وعندما يجري ضبط 0.5f بساعة السيزيوم الذرية، فإننا نعرف أيضاً التواتر f وكل تواتر آخر في التركيبة، بما في ذلك كل نمط للمشط، وكل ذلك يتحقق بدقة ساعة السيزيوم. وهكذا يُستبدل التثبيت على الميتان بتثبيت جميع التواترات مباشرة إلى ساعة السيزيوم.

وسبق لنا أن استخدمنا خرج الـ 486-nm لهذه التركيبةالتجريبية (مع بعض تعديلات غير مبينة) لقياس التواتر المطلق الخاص بالتجاوب 1S-2S ثنائي الفوتون للهدروجين الذي يحدث عند التوافقي الرابع لهذا الطول الموجي. وجرى ضبط تباعد النمط بواسطة ساعة نضح ذرّية للسيزيوم قام ببنائها أندريه كليرون A. Clairon ومساعدوه العاملون لدى المختبر الأولي للأزمنة والتواترات (LPTF) في فرنسة، وكانت الحصيلة واحداً من أدق القياسات التي سُجِّلت حتى تاريخه [16]، معطياً قيمة تواتر انتقال بقدر من الدقة يعادل 1.9 جزءاً في 10^{14} جزءاً، ومُقيِّداً بتكرارية القياس لمطياف الهدروجين. وبالاشتراك مع تواترات انتقال أخرى في الهدروجين، أنتجت قيمنا الخاصة بالتجاوب 1S-2S قيماً محسنة جداً لثابت رايدبرغ، الذي يُعدّ حالياً واحداً من أدق الثوابت الأساسية، ولانزياح لامب Lamb shift



الشكل 2– أول تحويل مباشر تواتر راديوي – تواتر ضوئي باستخدام ليزر فمتوثانية، كما تمّ شرحه في نص المقال، يقوم مجزىء فاصل التواتر الضوئي (المربع الأزرق) بتثبيت نسب التواتر بشكل دقيق عند f: 4f: 7f. وباستخدام المرحلة الرباعية للتواتر – التي استُخدمت في قياس تواترات أخرى للانتقال الضوئي منسوبة إلى مرجع He-Ne – يعمد مشط التواتر إلى تثبيت الفاصل 0.5f = 4f-3.5f وبالتالي إلى تثبيت f وأي تواتر آخر في التركيبة.

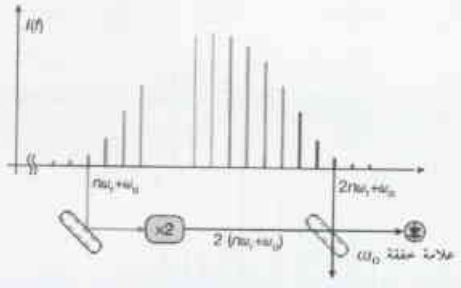
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

لحالة 1S، الذي يوفر حالياً واحداً من أشد الاختبارات دقة لعلم التحريك الكهربائي الكمومي quantum electrodynamics [7].

زيادة عرض الحزمة لأمشاط التواتر

لقد كان أول قياس مطلق لتواتر ضوئي باستخدام مشط تواتر فمتوثانية سبباً لتحقيق مزيد من التقدم السريع في فن علم قياس التواتر. وقد استُخدم تعريض طيفي، ناجم عن تعديل ذاتي الطور self-phase modulation عبر قرينة انكسار تابعة للشدة في ليف ضوئي، لزيادة عروض أمشاط التواتر. ورغم أن التبعثر داخل الليف يغير كثيراً من شكل النبضات إلا أنه يفعل ذلك بالطريقة ذاتها للنبضات كافة. وكما أن المناقشات أعلاه، والتي قادت إلى مشط تواتر ذي تباعد منتظم، قد افترضت الدورية لتابع الغلاف فقط، فإنها لا بدّ من أن تنطبق أيضاً على أي شيء ينجم عن الليف، ومع استخدام الألياف الفوتونية البلورية (PCF) ذات البنية المكروية المكتشفة حديثاً [43-45]، يصبح هذا التعريض الطيفي على درجة من الوضوح بحيث يمكن لمشط التواتر الناتج أن يمتد لأكثر من ثماني ضوئي واحد حتى عند استخدام قدرة الخرج المعتدلة الصادرة عن هزّاز ليزري. وبالتعاون مع الباحثين: فيليب رَسل F. Russell، وجوناثان نايت J. Knight، ووليم وادزورث W. Wadsworth العاملين لدى جامعة باث، قمنا باستخدام هذه الألياف لبناء نسخة معدّلة للتركيبة (التجريبية) أعظم بكثير من حيث تراصّها واكتنازها (الشكل 3).

وقد ظهرت أيضاً مقاربات بديلة لإنتاج أمشاط تواتر بعرض كبير للعصابة. وتُستَخدم حالياً لهذا الغرض "أغماد مستدقة tapers" ليفية قصيرة مصنّعة من ألياف اتصال معيارية عن طريق سحبها في اللهب إلى أن ينكمش قطرها إلى حوالي 2μm، وبشكل مماثل لما عليه الحال في الألياف الفوتونية البلورية، يقوم اللب الصغير، المكوّن من كامل الليف، بتعزيز التأثر اللاخطي، في حين تُسبِّب الموجة المتضائلة المحيطة بالغمد المستدق نوعاً أصغر من تبدد سرعة المجموعة، وهنالك طريقة أخرى تستخدم الشدة العالية داخل تجويف الليزر من أجل إحداث تعريض فعّال للطيف [47].



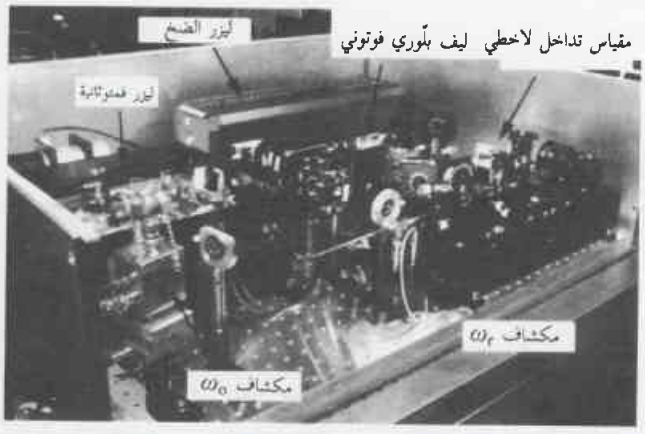
الشكل 3- مبدأ المُركّب الضوئي وحيد الليزر. إن النمط المجهز بعدد نمطي n عند الجناح الأحمر للمشط، والذي يُعطى تواتره بموجب المعادلة (2) بالقيمة: $\omega_n = n\omega_r + \omega_0$، هو نمط مضاعف التواتر داخل بلّورة لاخطية.

إذا قام مشط التواتر بتغطية ثماني ضوئي كامل، فلا بدّ لنمط له العدد 2n أن يهتز في الوقت ذاته عند $\omega_{2n} = 2n\omega_r + \omega_0$. وسوف تُنتج علامةُ الخفقة بين النمط مضاعف التواتر والنمط 2n التواتر المزاح $\omega_0 = (2n\omega_r + \omega_0) - 2(n\omega_r + \omega_0)$.

مُركّب التواتر الضوئي المتراص

نستطيع، باستخدام مشط تواتر تمانيّ - الامتداد (الشكل 3)، التوصل مباشرة إلى الفاصل ما بين تواتر ضوئي f ومدروجه الثاني 2f، حيث يمكن لـ: f أن يكون الخط 1064-nm الخاص بالليزر Nd:YAG؛ وهذا يسبب تبسيطاً كبيراً للتركيبة التجريبية المبينة في الشكل 2، كان أول المعلنين عنه مجموعة جون هول J. Hall العاملة لدى المعهد المتحد للفيزياء الفلكية المخبرية (JILA) في مدينة بولدر بولاية كولورادو، وكذلك مجموعتنا العاملة لدى معهد ماكس بلانك للضوئيات الكمومية (MPQ) في غارتشنغ قرب ميونخ [13-15، 17]. وبينت أيضاً مجموعة JILA أن الليزر الإضافي Nd:YAG ليس ضرورياً في حال اتخاذ إجراء كفيل بجعل الجزء الأحمر لمشط التواتر ذاته مضاعف التواتر.

وباستخدام التركيبة المذكورة آنفاً، يجري تقدير التواترين الراديويين، ω_r و ω_0، الداخلين في المعادلة (1). وبكل بساطة، يُقاس معدّل تكرار النبضة ω_r باستخدام مكشاف ضوئي في أي مكان داخل الحزمة، بينما تُستنتَج ω_0، والتي تكون أصغر في قيمتها من ω_r، كما هو موضح في الشكل 3. وللحصول على مشط مستقر من أجل قياسات مطلقة لتواتر ضوئي، يُفضل تثبيت ω_r و ω_0 كليهما طورياً إلى مرجع تواتر راديوي دقيق مثل ساعة السيزيوم الذرّية أو هزّاز الكوارتز المضبوط بمنظومة شاملة لتعيين الموضع. أما عدد الأنماط n فيمكن تقديره بوساطة قياس فج (تقريبي) للنمط المحدد، كأن يتم ذلك، على سبيل المثال، باستخدام مقياس الموجة. وما أن تُعرف قيمة كل من n، و ω_r، و ω_0 حتى يصبح من الممكن معرفة قيمة كل تواتر موجود داخل المشط وبالدقة ذاتها تقريباً. ويبيّن الشكل 4 الجهاز الفعلي الذي تمّ استخدامه في مختبرنا.



مقياس تداخل لاخطي ليف بلّوري فوتوني

الشكل 4- مُركّب ضوئي داخل صندوق. تتألف المنظومة من ليزر فمتوثانية مزود بالقدرة بواسطة ليزر ضخ أخضر (طراز Verdi، Coherent)، وليف بلّوري فوتوني، ومقياس تداخل لاخطي (كما هو موضح في الشكل 3). يشغل المركب الضوئي المذكور حيزاً قدره $1\ m^2$ فقط فوق منصة ضوئية مع إمكانية مزيد من التنمنة لحجمه مستقبلاً. والمُركّب المذكور قادر على إحداث ربط متماسك، في مرحلة واحدة، لطور مرجعي بتواتر راديوي 10 MHz مع المجال الضوئي، كما يوفر شبيكة تواتر مرجعي عبر معظم الطيف المرئي وتحت الأحمر مجهزة بخطوط للمشط تنفصل بـ 625 MHz. إنّ ما سبق يجعل من مُركّب التواتر الضوئي المذكور آنفاً أداة مختبرية مثالية من أجل مطيافية دقيقة؛ وهو متوفر حالياً على نطاق تجاري من شركة "Menlo Systems GmbH" (w w w. menlosystems. com) التي أسسها كلٌ من المؤلفين الثاني (R. Holswarth) والثالث (T. W. Hansch) لهذا المقال.

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

ومن أجل تفقد سلامة مشط التواتر العريض وتقييم الأداء الإجمالي للمركب الضوئي، قمنا بمقارنته مع المتغير السابق 7f: 4f:f. وعند مقارنة الاثنين، استخدمنا خرجه عند 4f (354 THz)، كما استخدمنا نمطاً عند 354 THz للمُركّب الضوئي 2f :f. وبعد أخذ متوسط البيانات كافة، حصلنا على انحراف وسطي من تواتر الخفقان المتوقع قدره 71±179 mHz عند 353 THz؛ وهذا يتوافق مع ارتياب نسبي قدره 5.1×10^{-16} [17]. وقد أجريت اختبارات دقيقة مماثلة لأنشاط ثمانيّ – الامتداد التي سبق ذكرها قام بها مؤخراً سكوت ديدامز S. Diddams ومساعدوه العاملون لدى المعهد الوطني للمعايير والتقانة (NIST) في مدينة بولدر بولاية كولورادو [48].

الساعة الضوئية كلياً

تتألف الساعة الضوئية، كأي ساعة أخرى، من هزّاز يعيّن الدقات في الزمن ومن عدّاد يقتفي أثر هذه الدورات. وفي ساعة السيزيوم، على سبيل المثال، تكون الاهتزازات هي تلك الخاصة بالإلكترون المبادر حول سبين النواة. ويقوم عدّاد إلكتروني بدفع ساعد الثواني في كل مرة يكمل العدّاد فيها 9, 192, 631, 770 اهتزازاً. وقد اختير هذا العدد عندما أعيد في عام 1967، ولآخر مرة، تعريف ثانية الجملة الدولية SI. وإذا أخذنا بعين الاعتبار تاريخ تتبع قياس الزمن، وقارنّا بين الساعات المختلفة كالساعات الشمسية وساعات النواس وساعات الكوارتز، يبدو واضحاً أن هذه الساعات تزداد دقة مع ازدياد تواتر اهتزازها [3]؛ وهذا، ببساطة، يعود إلى أن تواتر الاهتزاز الأعلى يُقسّم الزمن إلى أجزاء أصغر.

وقد تمّ استخدام هزّاز السيزيوم بتواتر 9.2 GHz منذ أوائل الخمسينيات، لكنه أصبح من الممكن حالياً العمل بتواترات أعلى بكثير بعد أن تحققت، في السبعينيات، إنجازات عظيمة في حقل المطيافية الليزرية [1، 2]، والتي تمخض عنها في الثمانينيات معايير أيونات مأسورة [49] وذرّات مأسورة [50]. وقد أمكن إنقاص الارتيابات المنهجية لتصل في بعض هذه العياريّات إلى 10^{-18} [41]. ولمّا أصبح من الممكن، في أواخر الستينيات، عدّ هذه الاهتزازات الضوئية باستخدام سلاسل تواترات توافقية [4]، بدأ الفيزيائيون يفكرون جدياً بتشغيل ساعة ضوئية. من ناحية أخرى، كان العمل مع هذه العدّادات مرهقاً جداً لدرجة أن معظم السلاسل لم تصل إلى المرحلة التي تستطيع عندها أن تعمل باستمرار، ولو حتى لدقائق معدودة. وهكذا، تمّ استخدام هذه السلاسل فقط لمعايرة بعض التواترات المختارة، كتلك الخاصة بليزرات He-Ne مثبتة اليود أو الميتان، والتي أمكن بعد ذلك توليدها ثانية في مختبرات أخرى لا تستطيع تحمل الجهود والموارد الضخمة اللازمة لإحداث سلسلة تواتر توافقي.

وغالباً ما استخدمت الليزرات المعايرة كمراجع للطول الموجي في أجهزة قياس التداخل وذلك إما للتحقق من المقياس أو كمراجع للتواتر في بعض التجارب العلمية.

ومع ظهور مُركّب تواتر الفمتوثانية، أضحى بالإمكان حالياً إيجاد ساعة ضوئية مستمرة تستطيع، بسبب بساطتها، أن تعمل لعدة ساعات؛ وقد تصبح في نهاية المطاف منظومة مفتاح باليد حقيقية.

وفي الوقت الراهن، فإن التركيبة التي تأتي أقرب ما يكون إلى ساعة ضوئية هي تلك التي يجري تشغيلها في المعهد الوطني للمعايير والتقانة (NIST) [3] والتي تستخدم انتقالاً عند 1.064 THz داخل أيون زئبق فردي مأسور. وقياس استقرارية هذه الساعة محدد أساساً بالمقارنة مع مجموعة مازر maser الهدروجين لدى NIST، والتي تُعدّ واحدة من أعظم التواترات الراديوية المتوفرة استقراراً. وهنالك معاهد وطنية أخرى للمعايير تحرز تقدماً في الاتجاه ذاته، نذكر منها: المؤسسة الفيزيائية التقنية التابعة لحكومة ألمانيا (Physikalisch - Technische Bundesanstalt) التي تقوم بأبحاث على أيون Yb^+ [26]،وكذلك كل من مجلس البحوث الوطني الكندي National Research Council of Canada [25] والمختبر الوطني للفيزياء (في مدينة تدينغتون بالمملكة المتحدة) [24] اللذين يبذلان جهوداً بحثية أخرى على أيون Sr^+. وفي معهد ماكس بلانك للضوئيات الكمومية (MPQ) تقوم مجموعة بحثية يقودها هربرت ولثر H. Walther بتحضير ساعة تعتمد على أيون الإنديوم المأسور [41].

ونحن نعتقد بأن تطوير تركيب تواتر ضوئي دقيق سيحدد البداية فقط لعصر جديد مثير في حقل الفيزياء فائقة الدقة، كما أن الساعات الضوئية ستفتح نافذة جديدة على الطبيعة حيث يمكن أن نتوقع مكتشفات وظواهر جديدة؛ وواحد من الأمثلة على ذلك، والتي تمّ النقاش بشأنها من قبل بعض النظريين [51، 52]، هو البحث المستمر عن ثوابت طبيعية تتغير مكانياً أو تنزاح ببطء مع الزمن أثناء تطور الكون. ولم تستطع الاختبارات التجريبية المختبرية حتى الآن أن تكشف سلوكاً كالذي سبق ذكره [53]، لكنه يُعتقد بأن التجارب الحديثة ستوفر الدليل على تطور كوني لثابت البنية الدقيقة [54]. إضافة لما سبق، ستساعد مثل هذه الساعات على صقل أو تشذيب النسبية العامة التي لا تزال تطرح مشكلة رئيسة في الفيزياء عندما ترفض استكماماً حقيقياً. والمعروف أن دقة أفضل اختبار تكون على درجة من الجودة لا تزيد عن 7 أجزاء في 10^5 جزءاً [55]؛ وهذا قد يكون سبب عدم اكتشاف تصحيحات صغيرة تُعزى إلى نظرية مكممة حتى تاريخه. وفي الختام، نعتقد أنه يمكن لاستخدامات صناعية – كملاحة السواتل، والاتصالات، وتزامن الشبكة – أن تستفيد كثيراً من هذه التقانة.

المراجع

REFERENCES

[1] Bloembergen, N. (ed.)Non-linear, Spectroscopy (Proc. Int. School Phys. "Enrico Fermi") (North Holland, Amsterdam, 1977).

[2] Hansch, T. W & Inguscio, M. (eds) Frontiers in Laser Spectroscopy (Proc. Int. School Phys. "Enrico Fermi") (North Holland, Amsterdam, 1994).

[3] Diddams, S. A. et al. An optical clock based on a single trapped ^{199}Hgion. Science 293. 825-828 (2001).

[4] Evenson, K. M., Wells, J. S., Petersen, F. R., Danielson, B. L. & Day, G. W. Accurate frequencies of molecular transitions used in laser stabilization: the 3.39-μm transition in CH_4 and the 9.33- and 10.18-μm transitions in CO_2. Appl. Phys. Lett. 22, 192-195 (1973).

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

[5] Schnatz, H., Lipphardt. B., Helmcke, J., Riehle, F. & Zinner, G. First phase-coherent frequency measurement of visible radiation. Phys. Rev. Lett. 76, 18-21 (1996).

[6] Udem, Th. et al. Phase-coherent measurement of the hydrogen 1S-2S transition frequency with an optical frequency interval divider chain. Phys. Rev. Lett. 79, 2646-2649 (1997).

[7] Schwob, C. et al, Optical frequency measurement of the 2S-12D transitions in hydrogen and deuterium: Rydberg constant and Lamb shift determinations. Phys. Rev. Lett. 82, 4960-4963 (1999); erratum Phys. Rev. Lett. 86, 4193 (2001).

[8] Bernard, J. E. et al. Cs-based frequency measurement of a single trapped ion transition in the visible region of the spectrum. Phys. Rev. Lett. 82. 3228-3231 (1999).

[9] Udem, Th. Phasenkoharente optische Frequenzmessungen am Wasserstoffatom. Thesis, Ludwig-Maximilians Univ. (1997).

[10] Reichert, J., Holzwarth, R., Udem, Th. & Hansch, T. W. Measuring the frequency of light with modelocked lasers. Opt. Commun. 172, 59-68 (1999).

[11] Udem, Th., Reichert, J., Holzwarth, R. & Hansch, T. W. Accurate measurement of large optical frequency differences with a mode-locked laser. Opt. Lett. 24, 881-883 (1999).

[12] Udem, Th., Reichert, J., Holzwarth, R. & Hansch, T. W. Absolute optical frequency measurement of the cesium D1 line with a mode-locked laser. Phys. Rev. Lett. 82, 3568-3571 (1999).

[13] Jones, D. J. et al. Carrier-envelope phase control of femtosecond mode-locked lasers and direct optical frequency synthesis. Science 288, 635-639 (2000).

[14] Diddams, S. A. et al. Direct link between microwave and optical frequencies with a 300 THz femtosecond laser comb. Phys. Rev. Lett. 84, 5102-5105 (2000).

[15] Reichert, J. et al. Phase coherent vacuum-ultraviolet to radio frequency comparison with a mode-locked laser. Phys. Rev. Lett. 84, 3232-3235 (2000).

[16] Niering, M. et al. Measurement of the Hydrogen 1S-2S transition frequency by phase coherent comparison with a microwave cesium fountain clock. Phys. Rev. Lett. 84, 5496-5499 (2000).

[17] Holzwarth, R. et al. Optical frequency synthesizer for precision spectroscopy. Phys. Rev. Lett. 85, 2264-2267(2000).

[18] Udem, Th. et al. Absolute frequency measurements of the Hg and Ca optical clock transitions with a femtosecond laser. Phys, Rev. Lett 86, 4996-4999(2001).

[19] Stenger J. et al. Phase-coherent frequency measurement of the Ca intercombination line at 657 nm with a Kerr-lens mode-locked femtosecond laser. Phys. Rev. A 63. 021802-1-02'802-4 (2001).

[20] Pokasov, P. V. et al. in Proc. Sixth Symp. Freq. Standards Metrol. (ed. Gill, P.) 510-512 (World Scientific, Singapore, 2002).

[21] Nevsky, A. Yu. et al. Frequency comparison and absolute frequency measurement of I_2 stabilized lasers at 532 nm. Opt. Comum. 263, 192-272 (2001).

[22] Holzwarth, R. et al. Absolute frequency measurement of iodine lines with a femtoscond optical synthesizer. Appl. Phys. B 73, 269 (2001).

[23] Ye, J. et al. Accuracy comparison of absolute optical frequency measurement between harmonicgeneration synthesis and a frequency division femtosecond-comb. Phys. Rev. Lett. 85, 3797-3800 (2000).

[24] Lea, S. N, et al. in Proc. Sixth Symp. Freq Standards, Metrol. (ed. Gill, P.) 144-151 (World Scientific, Singapore, 2002).

[25] Dube, P., Marmet, L., Bernard, J. E., Siemsen, K. J. & Madej, A. A. in Proc. Sixth Symp. Freq. Standards Metrol. (ed. Gill, P.) 489-491 (World Scientific, Singapore, 2002).

[26] Stenger, J., Tamm, Ch., Haverkamp, N., Weyers, S. &Telle, H. R. Absolute frequency measurement of the 435.5 nm ^{171}Yb - clock transition with a Kerr-lens mode-locked femtosecond laser. Opt. Lett. 26, 1589-1591 (2001).

[27] von Zanthier. J. et al. Absolute frequency measurement of the In clock transition with a mode-locked laser. Opt. Lett. 25, 1729-1731 (2000).

[28] Apolonski, A. et al. Controlling the phase evolution of few-cycle light pulses. Phys. Rev. Lett. 85, 740-743 (2000).

[29] Telle, H. R., Steinmeyer, G., Dunlop, A. E., Sutter, D. H.& Keller, U. Carrier-envelope offset phase control: a novel concept for absolute optical frequency measurement and ultrashort pulse generation. Appl. Phys. B 69,327-332 (1999).

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

[30] Xu, L. et al. Route to phase control of ultrashort light pulses. Opt. Lett. 21.2008-2010 (1996).

[31] Paulus, G. G. et al. Evidence of absolute-phase'phenomena in photoionization with few-cycle laser pulses. Nature 414, 182-184 (2001).

[32] Drescher M. et al. X-ray pulses approaching the attosecond frontier. Science 291, 1923-1927 (2001).

[33] Eckstein, J. N., Ferguson, A. I. & Hansch, T. W. High-resolution two-photon spectroscopy with picosecond light. Phys. Rev. Lett. 40, 847-850 (1978).

[34] Chebotayev, V. P. & Ulybin, V. A. Synchronization of atomic quantum transitions by light pulses. Appl. Phys. 50, 1-5 (1990).

[35] Kane, D. M., Bramwell, S. R. & Ferguson, A. I. FM dye lasers. Appl. Phys. B 39,171-178 (1986).

[36] Telle, H. R. in Frequency Control of Semiconductor Lasers (ed Ohtsu,M.) 137-167 (Wiley, New York, 1996).

[37] Hansch, T.W. in The Hydrogen Atom (eds Bassani, G. F, Inguscio, M. & Hansch, T. W.) 93-102 (Springer, Berlin, 1989).

[38] Telle, H. R., Meschede, D. & Hansch, T. W. Realization of a new concept for visible frequency division: phase-locking of harmonic and sum frequencies. Opt. Lett. 15, 532-534 (1990).

[39] Wicht, A., Hensley, J. M., Sarajlic, E. & Chu, S. A preliminary measurement of $\hbar/M_{cs}$, with atom interferometry, in Proc. Sixth Symp. Freq. Standards Metrol. (ed. Gill, P.) (World Scientific, Singapore, in the press).

[40] Hensley, J. M. A Precision Measurement of the Fine Strucure Constant. Thesis, Stanford Univ. (2001).

[41] Becker, Th., von Zanthier, J. & Nevsky, A. Yu. High-resolution spectroscopy of a single In^+ ion: progress towards an optical frequency standard. Phys. Rev. A 63, 051802-1-051802-4 (2001).

[42] Udem, Th., Holzwarth, R. & Hdnsch, T. W, in Proceeding of Joint Meeting of the 13th European Frequency and Time Forum and 1999 IEEE International Frequency Control Sympoium, Besancon, France, 13-16 April 1999 620-625 (IEEE Publications, 1999)

[43] Knight, J. C., Birks, T. A., Russell, P. St. J. & Atkin, D. M. Endlessly single-mode photonic crystal fibre. Opt. Lett. 22, 961-964 (1996).

[44] Wadsworth, W. J. et al. Soliton effects in photonic crystal fibres at 850 nm. Electron. Lett. 36, 53 (2000).

[45] Ranka, J. K., Windeler, R. S. & Steritz, A. J. Visible continuum generation in air-silica microstructure optical fibres with anomalous dispersion at 800 nm. Opt. Lett. 25,25-28 (2000).

[46] Birks, T. A., Wadsworth, W. J. & Russell, P. St. J. Supercontinuum generation in tapered fibres. opt. Lett. 25, 1415-1417 (2000).

[47] Ell, R. et al. Generation of 5-fs pulses and octave-spanning spectra directly from a Tisapphire laser. Opt. Lett, 26,373-375 (2001).

[48] Diddams, S. A., Hollberg, L., Ma, L. S. & Robertson, L. A femtosecond-laser-based optical clockwork with instability 6.3 X 10^{-16} in 1 s. Opt. Lett. 27, 58 (2002).

[49] Madej, A. A. & Bernard, J. E. in Frequency Measurement and Control (ed. Luiten, A. N.) 153-194 (Springer, Berlin, 2001).

[50] Riehie, F. & Helmcke, J. in Frequency Measurement and Control (ed. Luiten, A. N.) 95-129 (Springer, Berlin, 2001).

[51] Dirac, P. A. M. The cosmological constants. Nature 139, 323 (1937).

[52] Karshenboim, S. G. Some possibilities for laboratory searches for variations of fundamental constants. Can. J, Phys. 78, 639-678 (2000).

[53] Salomon, Ch. et al. in Atomic Physics 17: XVII Int. Conf. Atom. Phys.; ICAP 2000 (eds Arimondo, E., De Natale, P. & Inguscio, M.) 23 - 40 (AIP Conf. Proc. Vol. 551) (American Institute of Physics, 2001).

[54] Webb, J. K. et al. Further evidence for cosmological evolution of the fine structure constant. Phys. Rev. Lett. 87, 091301-1-091301-4 (2001).

[55] Vessot, R. F. C. et al. Test of relativistic gravitation with a space-borne hydrogen maser. Phys. Rev. Lett. 45, 2081-2084 (1980).

[56] Ferguson, A. I., Eckstein, J. N. & Hansch, T. W Polarization spectroscopy with ultrashort light pulses. Appl. Phys. 18, 257 (1979).

[57] Wineland, D. J., Bergquist, J. C., Itano, W. M, Diedrich, F. & Weimer, C. S. in The Hydrogen Atom (eds Bassani, G. F., Inguscio, M. & Hansch, T. W.) 123-133 (Springer, Berlin, 1989).■

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

المعالجة الكمومية للمعلومات بالذرات والفوتونات*

س . مونرو
مركز FOCUS –قسم الفيزياء – جامعة ميتشيغان – ميتشيغان – USA

ملخص

تَستخدِم مُعالجات المعلومات الكمومية الميزات الكمومية للانضمام والتشابك من أجل تطبيقات غير ممكنة في النبائط التقليدية، متيحة الفرصة لتحسينات ملموسة في الاتصالات ومعالجة المعلومات. إن التحقيق التجريبي لمعالجات المعلومات الكمومية على نطاق واسع يبقى حلماً على المدى الطويل، إذ إن السلوك الكمومي الصرف تقريباً المطلوب هو الذي نشاهده فقط في عتاد الحاسوب الدخيل مثل الذرات المبرَّدة بالليزر المفردة والفوتونات المعزولة. لكن التقدم النظري والتقدم التجريبي اللذين حصلا مؤخراً يقترحان أن الذرات الباردة والفوتونات المفردة قد تشق طريقاً نحو معالجات معلومات كمومية أكبر وأفضل، مشيّدين وبصورة فعالة نسخاً نصف مجهرية لـ "قطة شرودينغر" بدءاً من القاعدة.

الكلمات المفتاحية: تعمية (تشفير) كمومية، معالج معلومات كمومي، بتة كمومية، إلكتروديناميك كمومي جوفي، شبيكة ضوئية، شبيكة كمومية، نقل كمومي من بُعد.

في عام 1948 اكتشف كلاود شَنّون Claude Shannon كيف يقيس ويحدد المعلومة quantify information [1] – وهي نتيجة جدّ أساسية وثورية بحيث أننا أدركنا متأخرين أنه من المدهش عدم وضع صيغة لها من قبل. أصبحت بِتَّةُ bit شنون، أو الرقم الثنائي binary digit، الوحدة الأساسية للمعلومة، موفرة مقياساً أو معياراً للقياس لمقارنة أشكال للمعلومة وتحسين كمية المصادر اللازمة لتنقل بأمان وصدق كمية محددة من المعلومات، حتى بوجود الضجيج.

إن عمل شَنّون الرائد لم يكن متصدراً عصر المعلومات بصورة غير عرضية. اكتشفت البِتّات في الطبيعة، بدءاً من الأنابيب المخلاّة الضخمة في أربعينيات القرن العشرين وحتى ترانزستورات أنصاف النواقل الحديثة التي يقل حجمها عن 10^{-5}cm. في ظل هذا التقدم الرائع للتقانة، استمتعنا بالنمو الأسّي الذي حصل في قدرة الحوسبة وفي السرعة التي تعالج بها المعلومات التي يعطيها " قانون مور" الشهير، الذي ينص على أن كثافة العناصر على جذاذات chips الحاسوب تتضاعف كل سنة أو سنتين. ولسوء الحظ، فإن أيام (أو سنوات) قانون مور معدودة. ولما كان حجم البتّات يتقلص باستمرار، فإنها ستصل في النهاية إلى حجم الذرات المفردة – يُتوقع ذلك مع حلول عام 2020 إذا استمر النمو الحالي على ما هو عليه. عند مقاييس الطول النانومترية هذه، تبدأ قوانين ميكانيك الكم بالتذبذب. وفي الحقيقة، يبقى في مقدورنا خزن البتات التقليدية ومناولتها هنا، كما تحقق بالعمل النظري الرائد الذي قدمه بول بِنيوف Paul Beinioff [2 ، 3] وريتشارد فاينمان Richard Feynman [4] في أوائل الثمانينيات من القرن العشرين، وفيما تنبأ به فاينمان في مقالته المتميزة عام 1959 داعياً فيها إلى تقانة نانوية وعنوانها : توجد أماكن كثيرة في القاع There's Plenty of Room at the Bottom [5]. ولكن إذا تمكنا بطريقة ما من الوصول إلى القاع، حيث الحالات الكمومية لكل ذرة في جذاذة حاسوب تستضيف بتات تقليدية، فلن يبقى مزيد من الأماكن لكسب أكثر من دون شطر الذرة.

القواعد الكمومية

إذا ركزنا على السمات الكمومية الصرفة لمجموعة من البتات كل بتة فيها بحجم الذرة، فإننا نجد بالفعل مزيداً من الأماكن. فمن أجل منظومة كمومية معزولة، تكون الوحدة الأساسية للمعلومة هي البتة الكمومية quantum bit أو اختصاراً "بتةكم qubit". إن بتات الكم ليست سوى منظومات كمومية بسويتين مثل السبين لإلكترون أو الاستقطاب لفوتون، ويمكن تحضيرها في حالة ذات تراكب مترابط للصفر 0 والواحد 1:

$$|\Psi> = \alpha|0> + \beta|1> \qquad (1)$$

وهنا α و β هما السعتان العقديتان لحالتي بتة كم $|0>$ و $|1>$

ويتحلل التراكب إلى أيٍّ من الحالتين المحددتين $|0>$ و $|1>$ عند القياس باحتمالين $|\alpha|^2$ و $|\beta|^2 = 1-|\alpha|^2$ على التوالي. إنَّ هذه من جهة مجرد بتة واحدة من المعلومات. لكن السعتين المستمرتين α و β، من جهة أخرى، يحملان قدراً لانهائياً من المعلومات، تماثل حاملات معلومات تماثلية analogue كالفولطية المستمرة المخزونة على المكثفات. لكن المنظومات التماثلية معروفة بأنها تعاني من البنية المتراكمة للضجيج، على عكس النماذج الرقمية كمنطق ترانزستور – ترانزستور التي تنغلق أمام سوياتها العالية أو المنخفضة من خلال قياس ثابت وتغذية راجعة. وبالمثل

* نُشِر هذا المقال في مجلة *Nature*, Vol.416, 14 March 2002. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

فإن البتات الكمومية تكون حساسة للضجيج التماثلي [6]، لكنها تستطيع أن تقدم الكثير بدورها: تشابكاً (شَرَكاً) كمومياً. نحن نحتاج في المنظومة التماثلية التقليدية إلى N مكثِّفة كي نخزن N فولطية مستمرة. أما مع N بتة كم فإن الحالة الأكثر تعميماً تعرّف بـ 2^N سعة مستقلة هي $\gamma_0,\ldots,\gamma_{2^N-1}$

$$|\Psi> = \gamma_0|0_1 0_2 0_3 \ldots 0_N> + \gamma_1|0_1 0_2 0_3 \ldots 1_N> + \ldots$$
$$+ \gamma_{2^N-1}|1_1 1_2 1_3 \ldots 1_N> \qquad (2)$$

وعليه فإن مجموعة من بتات الكم (بتات كمومية) لها القدرة على التخزين وبصورة أسية معلومات أكثر مما تفعله مجموعة مشابهة من حاملات المعلومات التقليدية. (من البديهي، أن تكون الحيلة هي استخلاص هذه المعلومة باتباع قياس، كما هو مبين في التطبيقات أدناه.) إن الحالة السابقة أعلاه مشبوكة، مادامت على العموم غير قابلة للتفريق إلى جداء حالات بتات كم إفرادية. إن الترابطات الضمنية الناتجة عن هذا التشابك تعطي معالج معلومات كمومي قوته (المرجع 7، انظر أيضاً المؤطر 1).

الذرات والفوتونات: عتاد حاسوبي كمومي جيّد

المتطلبات الرئيسية للعتاد الحاسوبي من أجل معالج معلومات كمومي هي [8]:

1- ينبغي أن تُستَهل المنظومة الكمومية(أي مجموعة بتات كم) بحالة مُعَرَّفة تماماً مثل $|0_1 0_2 0_3 \ldots 0_N>$

2 - ينبغي أن تكون مؤثرات الواحدة الاعتباطية متوفرة ويمكن التحكم بها لتطلق الحالة الابتدائية نحو حالة مشبوكة بصورة اعتباطية (المعادلة 2).

3 - ينبغي أن يتم إنجاز قياسات البتات الكمومية بكفاية كمومية عالية.

المطلبان الأوليان يتطلبان أن تكون البتات الكمومية معزولة جيداً عن الوسط المحيط لنضمن حالات كمومية ابتدائية صرفة ونحافظ على ميزتها الانضمامية، ولكن ينبغي عليها أن تتأثر بقوة فيما بينها كي تصبح متشابكة. ومن ناحية أخرى، يتطلب الشرط الأخير أقوى تأثر ممكن مع الوسط الذي ستنقل إليه حسب الرغبة.

ولسوء الحظ فإن هذا المطلب الصارم للعتاد الحاسوبي يَحكم معظم المنظومات الفيزيائية المعروفة. إن البنى المألوفة المصنوعة من الحالة الصلبة كالسليكون مثلاً تعد مثالية من أجل المعلومات التقليدية للسبب ذاته الذي تكون فيه غير ملائمة للمعلومات الكمومية. وكما ناقشنا أعلاه، فإن استقراريتها تعطي إغلاق سويات منطقية، أو مراقبة مستمرة من قِبل الوسط [6]. إن المُرَشَّحات الأكثر جذباً لصنع معالجات معلومات كمومية تأتي في الوقت الراهن من نطاق الفيزياء الذرية والضوئيات الكمومية [9]. يتم هنا مناولة الذرات والفوتونات المفردة في وسط محكوم باقترانات مفهومة جيداً، فيتوفر بذلك عزل يئي لايمكن الحصول على أفضل منه في منظومات فيزيائية أخرى.

المؤطر 1:

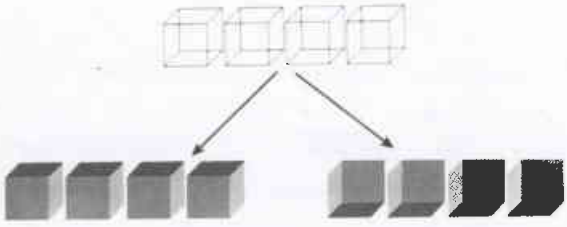
التشابك وقطة شرودينغر وإزالة الترابط

يمكن تحضير البتات الكمومية المتعددة في حالات متشابكة غير قابلة للتحليل إلى عوامل هي جداء لحالات كمومية إفرادية. تعد حالات "قطه شرودينغر" ذات الـ N بتة كمومية، صنفاً مهماً من حالات متشابكة، ويكتب على النحو

$$|\Psi>_{cat} = |0_1 0_2 0_3 \ldots 0_N> + |1_1 1_2 1_3 \ldots 1_N> \approx |\text{live cat}> + |\text{dead cat}>$$

تعرف هذه الحالة بحالة قطة شرودينغر النصف جهرية، لأن مكونات الانضمام (التراكب) هي مماثلة للسنّور الحي والميت مهما تكن متباعدة، وكما أشار شرودينغر نفسه، وهو يصف جسماً جهرياً مثل قطة بدلالات كمومية، هو أمر سخيف بالطبع، أما من أجل المنظومات النصف جهرية حيث N ليست كبيرة جداً، تكون الحالة المذكورة أعلاه مفيدة في التمسك بتشابك على نطاق واسع.

إن البتات الكمومية في حالة قطة شرودينغر تكون متعالقة بصورة تامة، ومع ذلك فإن كل بتة كمومية تكون عشوائية بالكامل عندما ننظر إليها لوحدها. إن هذه الشبكة المخبّأة من التشابك، مسؤولة عن الربح في المعالجة الكمومية للمعلومات، يمكن رؤيتها بصورة تقريبية في الشبه التالي [89]. لننظر في $N = 4$ مكعبات متجاورة ثلاثية الأبعاد مرسومة في منظور غامض.



بعد برهة، يقف ذهنك عند واحد من المنظورين، وسترى بكل تأكيد مكعبات تخرج ولها نفس المنظور. وهذا مشابه تقريباً لقياس تراكب متشابك.

إن حالة قطة شرودينغر أيضاً تلقي الضوء على الصعوبة في الحفاظ على التراكبات الكمومية المتشابكة المعقدة. إذا تم قياس واحد فقط من البتات الكمومية N من قبل الوسط المحيط، فإن كل بتة كمومية تفقد ترابطها. إن إزالة الترابط تزيد من صعوبة هندسة حالات متشابكة ضخمة، حيث يتضاءل احتمال بقاء الترابط بصورة أسية مع عدد البتات الكمومية [90]. وإذا أجرينا استقراءاً خارجياً بجعل $N \approx 10^{28}$ بتة كمومية في قطة شرودينغر حقيقة، فإننا نجد أن تراكب الحية والميتة سينهار آنياً تقريباً إلى واحدة أو إلى الأخرى.

يمكن توليد الحالات المتشابكة المعقدة كالمعادلة (2) بتطبيق أوليات البوابات المنطقية الكمومية بشكلٍ متسلسلٍ على أعداد قليلة من البتات الكمومية، مماثل لاستعمال سلسلة متعاقبة من البوابات المنطقية العالمية مثل البوابة NAND (أي 'not-and') في الحوسبة التقليدية. وفي الحقيقة، تَبيّن أنه يمكن توليد حالات مشبوكة بصورة اعتباطية من تسلسلات لبوابات منطقية بسيطة ذات بتات كمومية تؤثرعلى أي واحدة أو اثنتين من بتات الكم في كل مرة [10, 11]. إن هذا النموذج التسلسلي للحساب الكمومي يتلاءم بصورة طبيعية مع المنظومات الذرية والضوئية والكمومية، حيث التأثرات غالباً ما تكون ضعيفة وتتضمن بتّتين كموميتين على الأكثر بصورة نموجية.

تتطلب معالجة المعلومات كمومياً بتات كمومية كي تتصرف كذواكر كمومية من أجل تخزين طويل الأجل ومن أجل تطبيقات كثيرة. كي تتصرّف كأجهزة إرسال كمومية للاتصالات الطويلة المسافة وتعدّ الذرات المفردة الباردة والمتموضعة الخيار الطبيعي لذواكر بتات الكم ومنابع (مصادر) للتشابك المحلي من أجل معالجة المعلومات كمومياً. إن استقرارية الحالات الكمومية في الذرات الباردة لانظير لها، ويؤكد ذلك حقيقة أن هذه المنظومات الكمومية تستضيف حالياً معايير التواتر الأفضل في العالم (انظر المراجعة التي كتبها Udem, Holzwarth and Häsch في الصفحة 7 من هذا العدد). ومن جهة أخرى، فإن الفوتونات المفردة هي المصدر الطبيعي للاتصالات ذي المعلومات الكمومية، لأنها تستطيع أن تنتقل مسافات طويلة عبر الغلاف الجوي أو الألياف الضوئية بأقل اضطراب.

الاتصالات الكمومية

لنتصور فريقين بعيدين، أليس وبوب، يتقاسمان بتّتين كموميتين مشبوكتين مشابهتين لحالة آينشتاين- بودولسكي - روزن (EPR) [12]

$$|\Psi_{AB}> = |0_A 0_B> + |1_A 1_B> \qquad (3)$$

(مالذي يستطيع أليس وبوب فعله بزوجهما المشبوك؟ قد يحاولان، للوهلة الأولى، أن يستغلا التعالقات القوية في حالتيهما المشبوكتين من أجل اتصال مباشر (أو بسرعة تفوق سرعة الضوء). إن قياساً يقوم به أليس أو بوب يَنقل مباشرة حالة البتة الكمومية الأخرى، لكن مثل هذه القياسات لاينتج عنها سوى سلسلة من البتات الكمومية العشوائية بصورة تامة (ومع ذلك فهي متعالقة)، التي لاتنقل معلومات وفق شانون. ومن جهة أخرى، فالمقاطع (strings) العشوائية المتعالقة مفيدة إلى أبعد الحدود من أجل توزع أساسي مُشفَّر، كما في "لِبادة الأيام الغابرة one-time pad" التقليدية [13].

توزع أساسي مشفَّر (مكوَّد) كمومي

طور تشارلز بِنّيت Ch. Bennett وجِلز براسارد G. Brassard أول اتفاقية للتوزع الأساسي المشفَّر الكمومي (QKD) في عام 1984 [14]، متبعاً الأفكار المبكرة لـ ستيفن وايزنر Steven Wiesner [15]. استخدمت هذه الخطة إرسال الحالات غير المتعامدة transmission of non-orthogonal states لبتات الكم أحادية الفوتون (ذات الفوتون المفرد) single-photon qubits [16]، بأمان أو ضمان مُستمَد من استحالة متنصّت تمييز الحالتين من دون أن يتم فحصهما (الكشف عنهما) (وسطياً). لقد طَبقت عدة مجموعات هذه الاتفاقيات على مدى عشرات الكيلومترات في ألياف تحت الأرض [17 - 20]. استخدَمت هذه التجارب منابع ليزرية عالية التوهين ذات احتمال محدود لإصدار فوتونات متعددة في كل نبضة، بدلاً من منابع فوتونات إفرادية. ويؤدي هذا إلى حل وسط (تسوية) بين معدل الاتصال بالبتات والأمان ،ناتج عن الإمكانية للتنصت على الفوتونات الفائضة.

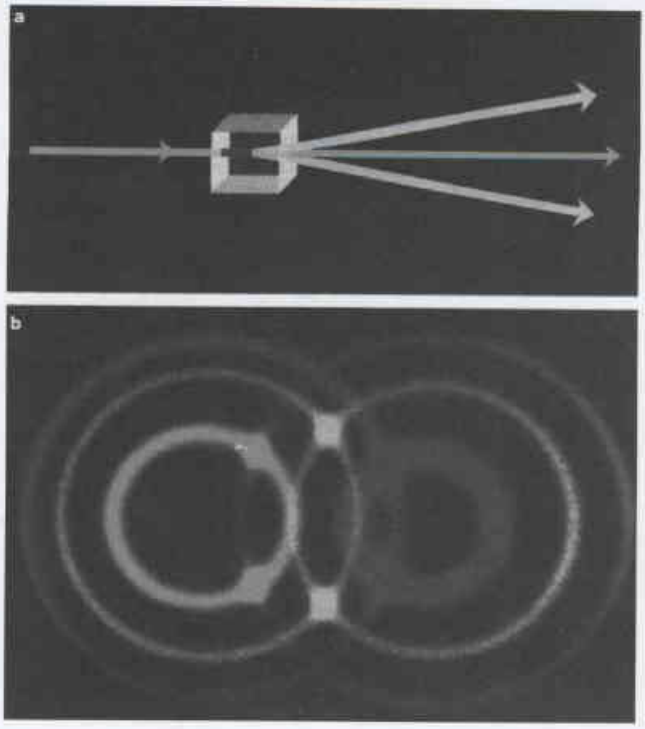
إن استخدام بتات الكم المتشابكة يستطيع أن يلغي هذه التسوية ويحسّن بصورة جذرية QKD. وعلى سبيل المثال، بتكويد أو تشفير بتات الكم في حالات متعامدة لاستقطاب الفوتونات في الشكل الذي تأخذه المعادلة (3)، فإن الحضور المقيس لأحد الفوتونات عند أليس يشير إلى أن بوب لديه بالضبط فوتون واحد يمكن أن يُستخدم لتحسين أمان خطة QKD ذات بتة الكم الأحادية المذكورة أعلاه. كما تُقدم بتات الكم المتشابكة أيضاً خطة QKD بديلة، أشار إليها أول مرة أرتور إيكِرت .A Ekert في عام 1991 [21]، ونفذتها مجموعات تعمل في كل من جامعة فيينا [22]، والمختبر الوطني في لوس ألاموس [23] وجامعة جنيف [24]. والأمان أو الضمان هنا (في جامعة متشيغان) مُستمَد من حقيقة أن وجود متنصّت محتمل يشوش التشابك الذي يسهم فيه أليس وبوب.

استعملت هذه التجارب التبديل الوسيطي الضوئي اللاخطي الخافض للتواتر nonliear optical parametric down-conversion (PDC) بمثابة مصدرها من الأزواج المتشابكة الشبيهة بـ EPR (آينشتاين- بودولسكي- روزن). تُوجّه فوتونات الضخ فوق البنفسجية نحو بلّورة لا خطية تؤدي إلى احتمال قليل بحدوث تبديل خافض ينتج عنه أزواج من الفوتونات الأبناء من المجال المرئي أو تحت الأحمر، كما هو مرسوم في الشكل 1. تظهر هذه الفوتونات الأبناء دائماً بصورة متزامنة، ويمكن أن تُشبك في درجات حرية استقطابها بتوافق طوري وانتقاء نمط ملائمين. ولسوء الحظ، فإن المصادر الفوتونية PDC لها عدة عوائق في تطبيقات المعلومات الكمومية. ومثل حالة منبع الليزر العالي التوهين، هناك احتمال قليل لإصدار أزواج من فوتونات مستبدَلة بتواتر أخفض والتي تقدم أيضاً وسيلة للتنصت الممكن. وفضلاً عن ذلك فإن الـ PDC تعاني من كفاية ضعيفة، لأن احتمال التبديل الخافض من أجل كل فوتون ضخ هو دون 10^{-10} بصورة نموذجية [25]. لا يمكن معرفة وجود زوج مشبوك إلا بعد إجراء قياس (بعد الانتقاء)، لذا فإن حالات كهذه لا يمكن أن تتساقط من أجل معالجة لاحقة لتوليد حالات فوتونية متشابكة على نطاق واسع. ومهما يكن فإن المصادر PDC مفيدة جداً لبيان خطط اتصال كمومي بدائية، مثل QKD.

النقل الكمومي من بعد

كيف يمكن نقل بتات كم بين مواقع متباعدة؟ إحدى الطرائق هي ببساطة أن ننقل بتات الكم عبر الفضاء، بصورة مماثلة لإرسال البتات التقليدية بواسطة التيارات الكهربائية. إلا أن هذه الطريقة يمكن أن تكون صعبة جداً عند التطبيق العملي، وبخاصة على مدى مسافات طويلة، كما ينبغي أن يُعمل من دون إزعاج أو قياس حالة البتة الكمومية. إن النقل الكمومي من بعد، الذي اكتشفه بِنّيت في عام 1993 [26]، يقدم طريقة بديلة للإرسال بدون تماس فيزيائي [27]، كما هو موصوف في المؤطر 2.

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



الشكل 1– مبدّل وسيطي ضوئي خافض للتواتر. a، يرد فوتون أشعة فوق بنفسجية على بلّورة لاخطية، يستطيع أحياناً أن ينشطر تلقائياً إلى فوتونين بنتين. تصدر الفوتونات على الجوانب المقابلة لحزمة الضخ، على امتداد مخروطين، أحدهما له استقطاب أفقي، والآخر له استقطاب شاقولي. b، توجد على امتداد المحور الضوئي عدة أزواج مخاريط يمكن رؤيتها. إن أزواج الفوتونات الصادرة على امتداد تقاطعات المخاريط متشابكة في الاستقطاب.

العائق هو أن المرسِل والمستقبِل يجب أن يمتلكا مسبقاً بتات كمومية متشابكة، وهو وضع قد يكون بصعوبة تحريك بتات الكم تحريكاً فيزيائياً من A إلى B في الوهلة الأولى، لأن التشابك ينشأ دوماً بين بتات الكم المتجاورة. القدرة الحقيقية للنقل الكمومي من بعد هي أنه يسمح للمعلومات الكمومية أن تنتقل على قناة قد لاتكون ملائمة للإرسال الفيزيائي المباشر في وقت الاتصال، أو قناة لاتستطيع أن تستضيف بصورة موثوقة شكل البتة الكمومية المخزونة في كل نهاية. على سبيل المثال قد يسمح النقل من بعد للحالات الكمومية في الذرات أن تُنقل بين المواضع المتباعدة التي تمتلك فوتونات متشابكة من قبل.

قامت مجموعات من جامعتي إنسبروك [28] وروما [29] كانت الأولى التي دلّت على بعض النواحي الحرجة للنقل الكمومي من بعيد في عام 1997. في هذه التجارب تمّ نقل من بُعد بتات كم الاستقطاب للفوتونات المفردة بين مواقع منفصلة مكانياً باستخدام PDC. إن الكفاية الضعيفة لهذه المصادر أعاقت تنقيل أعداد كبيرة من بتات الكم أو إعادة تدويرها [30 ، 31]. وبعد ذلك بقليل، تمكّن فريق من معهد كاليفورنيا للتقانة (Cal Tech) أن ينقل بكفاية الحالة الكمومية المستمرة لحقل ضوئي وحيد النمط [32]، معتمداً على التشابك الحتمي لزوج من أنماط الحقل ، مظهراً دقة تبلغ 58% من دون الحاجة إلى انتخاب لاحق.

المؤطر 2:

النقل الكمومي من بعد

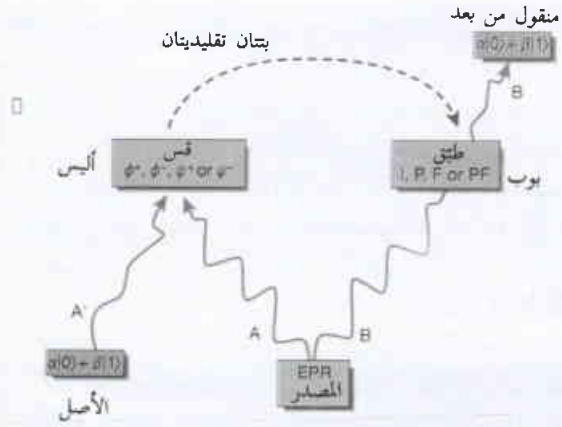
النقل الكمومي من بعد، وهو "نقل محرّر من الجسم" disembodied tramsport لحالة كمومية من مكان إلى أخرى [91]، بسيط في مفهومه، كما هو ملخص في الشكل أدناه. تصور أن أليس وبوب يمتلك كل واحد منهما مسبقاً بتة واحدة من بتتين كموميتين مهيأتين في حالة متشابكة مثل المعادلة (3). إذا هيأت أليس بتة كمومية أخرى A' في الحالة الكيفية، $\alpha|0>_{A'}+\beta|1>_{A'}$، فتكون الحالة الكلية للبتات الكمومية الثلاث.

$$\begin{aligned}|\Psi\rangle &= (\alpha|0\rangle_{A'}+\beta|1\rangle_{A'})(|0_A\rangle|0_B\rangle+|1_A\rangle|1_B\rangle)\\ &= |\phi^+\rangle_{A'A}(\alpha|0\rangle_B+\beta|1\rangle_B)+|\phi^-\rangle_{A'A}(\alpha|0\rangle_B-\beta|1\rangle_B)\\ &+|\psi^+\rangle_{A'A}(\alpha|1\rangle_B+\beta|0\rangle_B)+|\psi^-\rangle_{A'A}(\alpha|1\rangle_B-\beta|0\rangle_B)\end{aligned} \quad (5)$$

حيث تعرّف حالات "بل Bell" الأربعة لبتات أليس الكمومية كما يلي:

$$\begin{aligned}|\phi^\pm\rangle &\equiv |0_A 0_A\rangle \pm |1_A 1_A\rangle\\ |\psi^\pm\rangle &\equiv |0_A 1_A\rangle \pm |1_A 0_A\rangle\end{aligned} \quad (6)$$

كي نمرّر المعلومة الكمومية لبتة أليس الكمومية (السعتان α و β) إلى بوب، تقوم أليس بإجراء تجربة إسقاطية مثالية لزوج بتاتها الكمومية على هذا الأساس الكامل لحالات بل. يمكن عمل هذا بعمليات بسيطة لبوابات منطقية كمومية على بتات كمومية A و A' مع قياس كفيء (فعّال) للبتتين الكموميتين، كما يتنبأ الشكل بذلك. يُسقط هذا القياس وفي الحال بتة بوب الكمومية المنعزلة على واحدة من أربع حالات متعالقة بالحالة التي تقيسها أليس المعطاة في المعادلة (5)، الناتجة في بتته الكمومية الآن تحمل المعلومات الكمومية α و β. وبعد أن تنقل أليس أية حالة Bell قاستها هي إلى بوب مستعملة وسائل تقليدية (مكالمة تلفونية، على سبيل المثال)، يجري بوب مناولة بتات كمومية محلّية مفروضة على بتته الكمومية الوحيدة ليضاعف الحالة الابتدائية $\alpha|0>+\beta|1>$ في بتته الكمومية. وعلى سبيل المثال، إذا سجلت أليس قياساً $|\phi^+>$، فإن بوب لا يفعل شيئاً لبتته الكمومية (عملية 1)، ولوسجلت أليس قياساً $|\psi^->$ بدلاً من ذلك، فإن بوب يقلب بتته الكمومية (عملية F). وإضافة على ذلك يضيف انزياحاً في الطور قدره π (عملية P). وبهذه الطريقة، فإن البتة الكمومية $\alpha|0>+\beta|1>$ "منقولة من بعد" من أليس إلى بوب من دون تشويش أو قياس البتة الكمومية.



هل سنصبح في يوم ما قادرين على نقل من بعدلأجسام ذات درجات حرّية كمومية أكثر من أحادية؟ الجواب نعم، مادامت المتطلبات الثلاث لعتاد الحوسبة الكمومية محققة. ولكن ماذا عن نقل من بعد لأجسام جهرية حقيقية ربما تحتوي على 10^{28} بتة كمومية فعالة؟ إن هذا التوقع، الذي هو مثل تحضير قطة شرودينغر حقيقية حيّة وميّتة، "سخيف" وضوحاً كما قال شرودينغر ذلك بنفسه [33]. وبدلاً من ذلك، فإنه من المثمر أكثر أن ننظر فيما يمكن أن نفعله مع منظومات أكثر اعتدالاً تتألف ربما من 300 بتة كمومية، حيث لاتزال الحالات الكمومية المتوفرة والبالغة حوالي 10^{90} أكثر من عدد الجسيمات في الكون .

الحوسبة الكمومية

بين ديفيد دوتش D. Deutsch في عام 1985 كيف يمكن للانضمام الكمومي والتشابك أن يسخّرا لمعالجة معلومات بصورة أكثر كفاية من أي آلة تقليدية [34]. إن " التوازي الكمومي "quantum parallelism" لـ دوتش يسمح لحاسوب ذي N بتة كمومية أن يعمل على حالات انضمام كمومي لكل المداخل 2^N. إن استخلاص المعلومات في حاسوب كمومي ليس بديهياً، لأن قياس بسيط لحالة كمومية كالمعادلة (2) مثلاً بعدد أسي لسعات غير معدومة سيُعطي نتيجة عشوائية إلى حد كبير. بَيدَ أن بوابات منطقية كمومية مناسبة في بعض الخوارزميات تجعل السعات تتداخل بحيث لاتبقى سوى بضع سعات في النهاية. باتباع قياس (أو عدد محدود من القياسات المتكررة على إجراءات مماثلة)، يمكن أن تعتمد النتيجة (أو توزع النتائج) على خاصية شاملة للمداخل 2^N كلها.

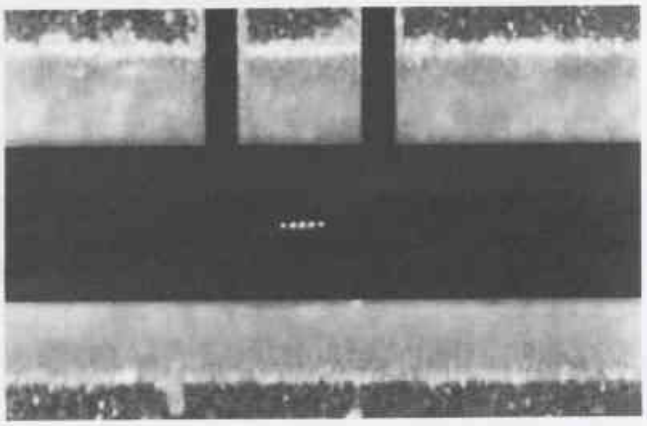
إن أفضل مثال معروف عن هذا الإجراء هو خوارزمية التحليل إلى عوامل العدد 1994 لـ بيتر شور P. Shor [35]، حيث يكون حاسوب كمومي قادراً على أن يُحلل إلى عوامل أعداداً كبيرة أسرع بصورة أسية من أي خوارزمية حاسوب تقليدي معروفة. إن التحليل الكمومي السريع للأعداد إلى عواملها الأولية قد عمّق التطبيقات في التحليل المعمّى (المُشَفَّر)، حيث أن العديد من خوارزميات التعمية الشائعة مثل RSA (Rivest-Shamir - Adleman) [36] تعتمد على عدم المقدرة على تحليل الأعداد الكبيرة إلى عوامل أولية. في عام 1996 اكتشف لوف غروفر L. Grover خوارزمية كمومية تقوم بالبحث في قاعدة معلومات غير مصنفة ذات M عنصر في زمن يقيس مايقارب $M^{1/2}$ أسرع من أي خوارزمية بحث تقليدية ممكنة [37]. لقد قادت هذه الاكتشافات إلى هبّة في النشاط النظري الذي يفتش عن تطبيقات مفيدة أخرى للحاسوب الكمومي .

كان التطوير الرئيس الذي حصل في عام 1995 هو تصحيح الخطأ الكمومي [39، 38]، وهو توسّع لنظرية التكويد المفعم بالضجيج الشهيرة التي وضعها شانون عام 1948 [1] للمجال الكمومي. يعمل تصحيح الخطأ الكمومي على كشف وتصحيح أخطاء بوابات كمومية طفيفة أو تأثرات ضعيفة مع الوسط من خلال تكويد مُسْهب لبتات الكم. وهذا يعني أنه لا حاجة بأن تكون التجارب مثالية؛ فكل ما تتطلبه هو أن تكون سويات الضجيج أدنى من عتبة محددة، بتوفيق وتسوية ما بين كمية البتات الكمومية الإضافية اللازمة وسوية العتبة للخطأ؟ وبموجب بعض النماذج [40]، تستطيع الحوسبة الكمومية ذات الطول الكيفي أن تتقدم خالية من الخطأ بسقف كثير الحدود فقط في الزمان والمكان، ما بقي احتمال الخطأ في كل عملية أساسية أدنى من 10^{-5} تقريباً. إن ما يتبع هو مراجعة للأساليب الأكثر وعداً المتبعة في إنشاء وبناء حواسيب كمومية قد تصل في يوم من الأيام إلى هذا المستوى من الدقة.

المصائد الأيونية

تمثل الأيونات الذّرية المبردة بالليزر والمأسورة واحدة من أكثر المرشحات جذباً للحاسوب الكمومي على نطاق واسع [41 - 44]. تقوم الحقول الكهرمغنطيسية هنا بحصر الذرات المفردة في الفضاء الحر في حجرة مخلّاة، وعندما تُحصَر أيونات عديدة وتُبرّد بالليزر، فإنها تشكل بُنى بلورية مستقرة بسيطة معطاة بتوازن قوة الحصر الخارجية للمصيدة مع قوة التدافع المتبادل للذرات (الشكل 2). تخزن بتات الكم في حالات إلكترونية داخلية للذرات، من الناحية النموذجية هي الحالات فائقة الدقة مديدة الأجل ذاتها التي تستخدم في الساعات الذرّية. عندما يُوجه إشعاع ليزر مناسب نحو الأيونات الذرّية، يمكن لحالات بتّات الكم أن تُرسَم بصورة مترابطة على الحالة الكمومية للحركة الإجمالية للذرات وبالتالي تُرسم إلى ذرات أخرى. وهكذا فإن نمطاً طبيعياً مفرداً لحركة بلورة إجمالية يسلك سلوك ناقل معطيات كمومي، مما يسمح للمعلومات الكمومية أن تكون عرضة للمشاركة والتشابك بين بتات الكم الذرّية البعيدة في البلّورة. وأخيراً، يمكن قياس الحالات الداخلية للأيونات المأسورة الفردية بكفاية كمومية تبلغ 100% تقريباً [45] بتطبيق إشعاع ليزر مناسب وتجميع فلورة - حالة بتة كم واحدة تكون ساطعة والأخرى معتمة.

لقد أوضحت البوابات المنطقية الكمومية ببتات كمومية من أيونات ذرّية مأسورة يصل عددها حتى أربعة وذلك في المعهد الوطني للمقاييس والتقانة (NIST) بمدينة بولدر في ولاية كولورادو [46، 47]. ورغم أن هذه الخطة يمكن تنفيذها مبدئياً من أجل عدد كبير وكيفي من البتات الكمومية، إلا أن المشاكل الأساسية تتعلق بالحركة الإجمالية للذرات. إن



الشكل 2- بلّورة من خمسة أيونات بريليوم ذرّية (فقط بيضاء صغيرة عند الوسط) محجوزة في مصيدة أيونية ذات تواتر راديوي. توازن هذه الأيونات تدافعها الكولوني المتبادل فيما بينها مع قوة الحجز التي تولدها الحقول الكهربائية من الإلكترودات المحيطة (باللون البني). تتفلور الأيونات بقوة تحت تأثير إشعاع ليزر مناسب مطبّق بالقرب من الطول الموجي 313 nm. تبلغ الفرجة الأفقية بين الإلكترودين حوالي 0.2 mm وتبلغ المسافةالفاصلة بين أيونين متجاورين حوالي 5 µm.

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

سرعة البوابة الكمومية محدودة بتواتر الحركة، ومجالها النموذجي يقع في جوار الميغاهرتز تقريباً. وبإضافة بتات كمومية أكثر إلى المجموعة، تصبح كثافة بالونات الحالات الحركية motional states balloons، وعزل نمط وحيد من الحركة (مركز الكتلة، على سبيل المثال) أكثر بطئاً وصعبة. وفضلاً عن ذلك، تسعى الحقول الكهربائية الضجيجية الخارجية لتُوفّق وتسوّي بين الترابط الحركي لأعداد كبيرة من أيونات ذرّية مأسورة [48].

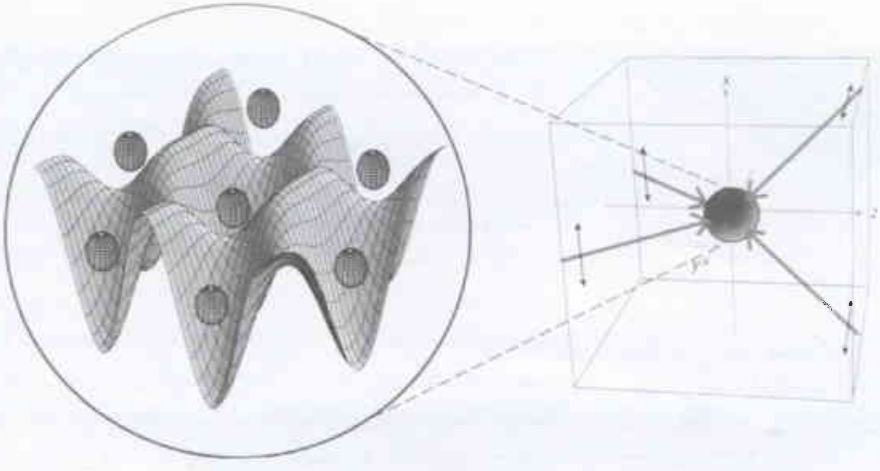
توجد طريقة واعدة تتصدى لكلا المشكلتين وهي نبيطة كمومية مقرونة بالشحنة quantum charge - coupled device (CCD)، حيث تكون أيونات ذرّية إفرادية متشابكة كما هو أعلاه، ولكن فقط بين مجموعة قليلة (تحت العشرة) من الأيونات الذرّية في مُرَكِّم accumulator [43]. إن التقييس بأعداد أكبر يكون مصحوباً بمقايضة فيزيائية لذرات إفرادية بين المُرَكِّم وخزان "الذاكرة" من بتات كمومية لذرات مأسورة. يمكن عمل ذلك بسرعة بتطبيق حقول كهربائية من الخارج على أشكال هندسية لإلكترودات أسر أيوني مُتْقَنة. إن الخصائص الأساسية لـ CCD الكمومية هي أنّ توسّعَ (حركة ذهاب وإياب) الأيونات يمكن أن يتم من دون أن نشوش البتات الكمومية الداخلية، وأن الحالة الكمومية الحركية للأيونات تتحلل إلى عوامل من حالات البتات الكمومية الداخلية متبعة عملية تشغيل البوابة الكمومية. ولكي نقلّص طاقة الحركة من توسّع سريع ونسمح لبوابات منطقية لاحقة، يمكن تبريد أيونات إضافية في المركّم بالليزر بين عمليات تشغيل البوابات. وبذلك فإن أيونات البتات الكمومية تبرَّد بالتأثير [49] وذلك من خلال تأثرها الكولوني القوي مع أيونات البراد الإضافية. يمكن للتبريد بالتأثير أن يلغي أيضاً إزالة الترابط الحركي motional decoherence أثناء تشغيل البوابات المنطقية [43، 50، 51].

ذرات وثنائيات قطب باردة في شبيكات ضوئية

إن بتات كم الذرات المعتدلة تنعم باقتران ضعيف مع الوسط المحيط، وذلك على حساب الاقتران ثنائي القطب - ثنائي القطب الضعيف فيما بينها. ولكي نستفيد من هذا الاقتران للتشابك، ينبغي أن تكون الذرات محصورة بإحكام ويمكن التحكم فيها إلى أبعاد ما تحت المكرون. إن حشداً طبيعياً من الذرات المعتدلة بغرض المعلومات الكمومية هو الشبيكة الضوئية - وهي صفيف من الذرات الباردة محصورة في فضاء حر بواسطة نموذج من حزم ليزرية متقاطعة [52]. تنتج قوة ثنائي القطب بين الذرات القابلة للاستقطاب والحقل في نموذج منتظم من آبار الكمون، المسافة بينها من مرتبة الطول الموجي الضوئي (الشكل 3). لقد قامت مجموعات عديدة بتبريد الذرات بالليزر إلى أخفض الحالات المقيدة في آبار الشبيكة [53 - 55] وتحكمت بحالات الرزم الموجية الكمومية المتوضعة لهذه الآبار [56، 57].

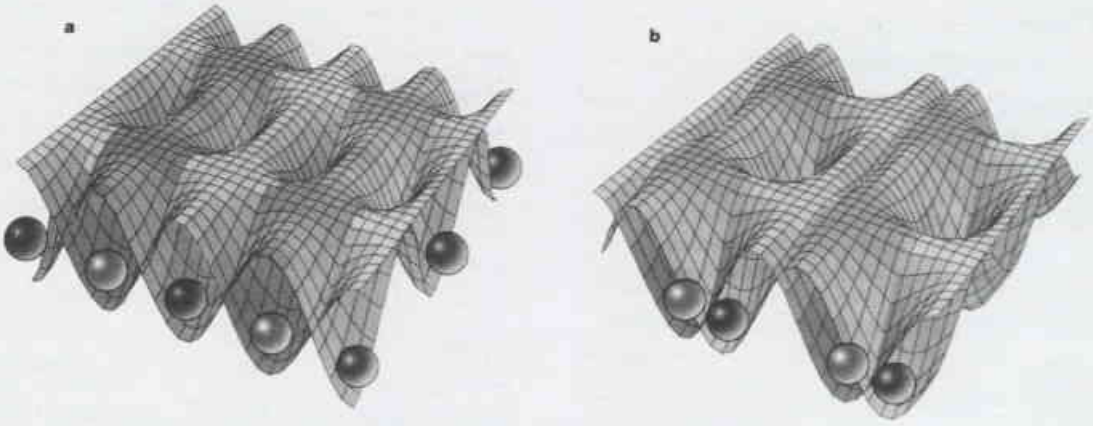
تعتمد كمونات الشبيكة الضوئية في الحالة العامة على سوية البتة الكمومية (وعلى سبيل المثال، يمكن لوادي إحدى الحالات أن يكون هضبة لحالة أخرى). وعليه يمكن للذرات في الشبيكات أن تُزاح إلى ما يقارب التراكب مع جيرانها، وذلك رهن الحالة الداخلية لبتاتها الكمومية، بتعديل استقطاب ضوء الشبيكة أو تعديل شدته كما هو مبين في الشكل 4. أحد الاقتراحات [58] يقضي بتزويج (قَرْن) ذرات متجاورة مع إحدى الذرات التي أعدت في حالة مثارة قصيرة العمر. إن التآثر ثنائي القطب - ثنائي القطب المجاوب الناتج، الذي تتوسطه الإثارة المشتركة، يسمح بتشابك على طريقة التزويج. ينبغي أن تكون سرعة هذه البوابة الكمومية أسرع من زمن تضاؤل الحالة المثارة، وهذا يعني أن الذرات ينبغي أن تكون متموضعة ومتراكبة في البئر في شروط الطول الموجي الضوئي. هناك اقتراح آخر ذو صلة سيجلب بصورة انتقالية (عابرة) الذرات المتجاورة إلى بعضها اعتماداً على سويات بتاتها الكمومية الداخلية، ولكنها، بدلاً من ذلك، تعتمد على "تصادمات باردة" لتشبيك بوابات منطقية [59]. إذا كانت الذرات باردة بما فيه الكفاية، فإن تصادمات أمواج s هذه ستؤدي إلى انزياح طور شرطي لحالاتها الكمومية، أو بوابة الطور الكمومي.

هناك طريقة أخرى تستخدم عزوم ثنائيات الأقطاب الكهربائية الكبيرة لذرات ريديبرغ [60] أو حتى جزيئات نووية لا متجانسة بسيطة heteronuclear molecules [61] في حقل كهربائي مطبق من الخارج. وعلى سبيل المثال، يمكن لذرات منتخبة صامدة في شبيكة ضوئية أن تُشبَك بحثّها على بلوغ حالات ريديبرغ والاعتماد على تآثرها المتبادل ثنائي القطب - ثنائي القطب . يمكن لشدات التآثر على مدى مسافات



الشكل 3– صورة تخطيطية لشبيكة ضوئية. نموذج لحزم ليزرية متقاطعة (على اليمين) تشكل صفيفاً من آبار كمون تستطيع أن تحتجز ذرات مفردة مُبَرَّدة بالليزر (على اليسار). إن المسافة الفاصلة بين أيونين متجاورين هي من مرتبة الطول الموجي الضوئي.

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



الشكل 4- كمونات شبيكة ضوئية. a، تستطيع كمونات شبيكة ضوئية أن تعتمد على الحالة الداخلية (أحمر أو أزرق) لبتات الكم الذرّية المحتجزة. b، يمكن التحكم بهذه الكمونات الشبيكية المتمّمة بتغير استقطاب أحد حقول ضوء الشبيكة، وبإزاحة نموذج التداخل وجلب الذرات إلى بعضها بعضاً في أزواج من أجل بوابات منطقية كمومية.

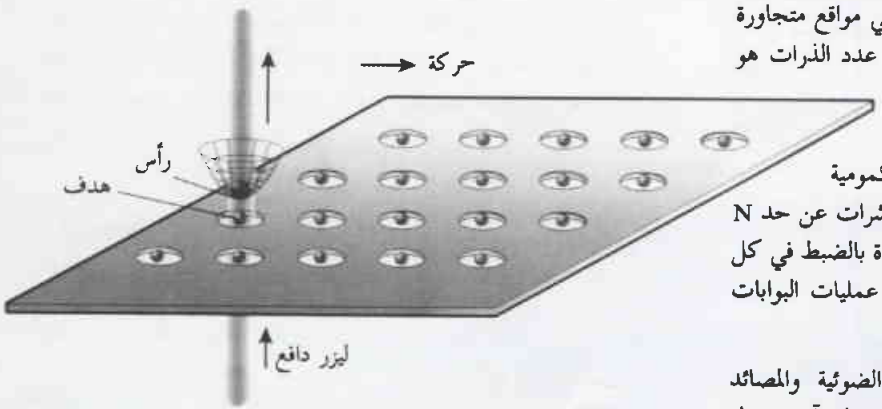
مكرومترية أن تكون في نظام الجيغاهرتز، وهذا يعني تشغيلاً سريعاً جداً للبوابات الكمومية.

بعودة مهمة إلى الوراء بشأن استخدام شبيكات ضوئية في المعلومات الكمومية وهي أن مواقع الشبيكة لم تكن بصورة نموذجية مصرورة بانتظام.. بيد أن الخواص الإحصائية ذاتها للبوزونات المسؤولة عن متكثف بوز - آينشتاين (انظر المراجعة التي كتبها أنغلين و كتّيرل في العدد 84 من مجلة عالم الذرّة) يمكن الاستفادة منها من أجل تحكّم أفضل بعدد الذرات في الشبيكات الضوئية. يستطيع تفاعل دقيق بين تأثر تبعثر موجة s دفعي بين ذرات بوزونية والعبور النفقي لذرات في مابين مواقع الشبيكة أن تلطّف إحصاء عدد الذرات بين الآبار، وهي ظاهرة تعرف باسم انتقال طور عازل موت Mott-insulator phase transition [62، 63]. ولقد شوهدت بصمات هذا السلوك في شبيكة ضوئية مُحمَّلة بمكثف بوز-آينشتاين. قاس باحثون من جامعة يال [64] الترجّحات في عدد الذرات N في كل موقع شبيكة بجمع ذرات بصورة مترابطة في مواقع متجاورة في مقياس تداخل ذرّي، وأعلنوا عن وجود انتشار في عدد الذرات هو عامل يقارب 40 تحت سوية الضجيج الطلقي shot - noise العياري $N^{1/2}$. كما قامت أخيراً مجموعة من معهد ماكس بلانك للضوئيات الكمومية (MPQ) في غارشينغ بالقرب من ميونيخ، بمشاهدة مؤشرات عن حد N الصغير لحالات "مضغوطة العدد"، حيث تقيم ذرة واحدة بالضبط في كل موقع [65]. وهذا يُحدّد المرحلة للتقدم المستقبلي في عمليات البوابات الكمومية باستخدام شبيكات ضوئية.

هناك اقتراح آخر يجمع خصائص الشبيكات الضوئية والمصائد الأيونية، حيث تكون الأيونات الإفرادية متشابكة من خلال تأثر مشترك مع شبيكة ضوئية نبضية ذات قوة عالية [66]. ترجّ الشبيكة أيونين بحيث تُنظّم حالات البتات الكمومية الداخلية لكل أيون في مواضع مكانية مُرَحَّلة، مُخفين توزعات شحنتها [67]. إن التآثر بين ثنائيات القطب "المهندسة" هذه يسمح بعدئذ لبوابات منطقية كمومية متشابكة ويمكنها أن تكون أسرع من تواتر المصيدة الأيونية. وفضلاً عن ذلك، فإن الحالات الكمومية النقية للحركة ليست ضرورية، مادامت الأيونات محصورة في حيّز أقل بكثير من المسافة الفاصلة بين الأيون والأيون. وأخيراً، لا حاجة بأن تكون الأيونات قريبة من بعضها أو حتى في المصيدة نفسها، مما يوفر طريقة ملائمة للتدريج بأعداد كيفية من بتات الكم في صفيف من مصائد أيونية منفصلة (الشكل 5).

الشبكات الكمومية

مع العرض الزائد من بروتوكولات الاتصالات الكمومية المعقدة سيكون هناك حاجة ملحة لخزن معلومات كمومية في ذواكر طويلة الأمد. ولبناء شبكات كمومية يُعوَّل عليها لكل من المرسلات الكمومية والذواكر الكمومية، سنكون بحاجة إلى حواسيب كمومية صغيرة عند العقد، تعمل كتابعات routers، ومعيدات repeaters ومفاتيح switches.



الشكل 5- مخطط لمصيدة أيونية قابلة للتسلّق وحاسوب كمومي ذي شبيكة ضوئية. صَفيف من مصائد أيونية مستقلة (ذاكرة) مقرونة من خلال تآثر مع مصيدة أيونية متجوّلة (رأس). يعمل حقل ليزري قوي من شبيكة ضوئية على تشابك رأس الأيون مع ذاكرة معطاة أو أيون هدف

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

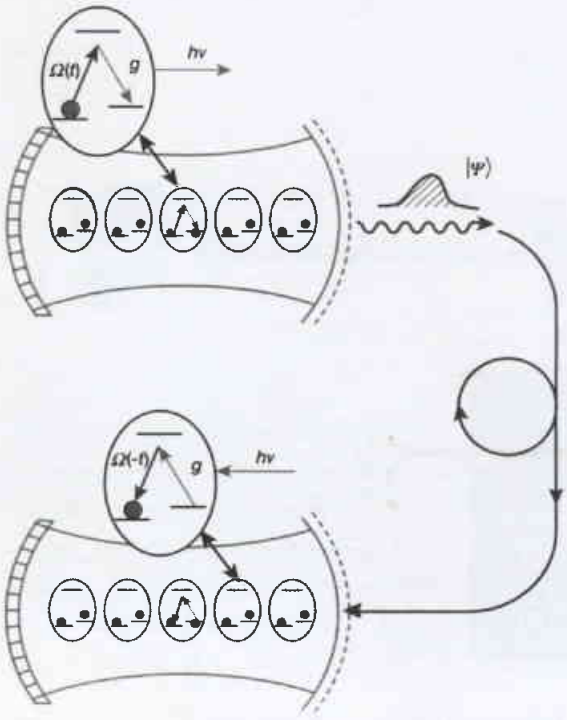
إن تدنّي المعلومة الكمومية واقع لا محالة عندما تُرسل البتات الكمومية إلى مسافات كبيرة أو عبر قنوات مفعمة بالضجيج، وهذا سيتطلب "معيدات" كمومية تُوضع بصورة دورية على طول القناة بحيث يمكن تصحيح أخطاء البتات الكمومية. يمكن لهذه المعيدات أن تأخذ شكل حواسيب كمومية مصحّحة للأخطاء، أو محطات تتقاسم أزواج بتات كمومية متشابكة غير تامة مع مواقع متجاورة [68]. وهنا، تقوم عمليات الحواسيب الكمومية عند العقد "بتنقية أو تصفية" الحالات المتشابكة بحيث يمكن نقل الحالات من بعد بصورة فعّالة على مدى مسافات بعيدة. ومن الملاحظ أن بعض هذه البروتوكولات تتطلب وثوقيات تشغيل محلّيه تبلغ 98% فقط من أجل إرسال ناجح [69].

إن التحويل الصادق والمترابط للمعلومة الكمومية بين منظومات مختلفة هو المكون الأساسي لمثل هذه الشبكة الكمومية. ومن الأشياء ذات الاهتمام الخاص رسم خريطة عكوسة للبتات الكمومية من الحالات الفوتونية إلى الحالات الذرّية. يمكن لهذا أن يسمح بالتضمين لمعيدات كمومية فوتونية وكذلك نقل بتات كمومية من بعيد من ذرات موضوعة بعيداً من خلال أزواج EPR مألوفة لفوتونات.

إلكتروديناميك كمومي جوفي وذرات باردة

هناك اقتراح رائع بتزويج البتات الكمومية الذرية والضوئية في إلكتروديناميك كمومي للأجواف الضوئية optical cavity quantum electrodynamics (QED) وُضع في عام 1997 [70]. وبموجب هذه الخطة، يتم حصر عدد قليل من الذرات الباردة إلى بطون حقل أمواج مستقرة أحادية الفوتون في جوف ضوئي لـ فابري - بيرو شديد الدقة. يمكن لحالات البتات الكمومية المخزونة في الحالات الداخلية للذرات أن تُنظّم إلى بتة كمومية تُقاس بواسطة عدد الفوتونات (0 أو 1) في الجوف من خلال تطبيق نبضة ليزر ملائمة من الجانب. يمكن جعل الفوتون يتسرب من الجوف في غضون نافذة زمنية موضوعة مسبّقاً، فينتج عن ذلك مصدر فوتونات أحادية مثالي للاستعمال في الاتصال الكمومي [71]. وفضلاً عن ذلك، وبعد أن يتسرّب الفوتون من الجوف، يمكن "التقاطه" بصورة حتمية في جوف آخر بتطبيق نبضة ليزر أخرى، مُغلّفُها منعكس زمنياً بالنسبة للنبضة الأولى، كما يبين ذلك الشكل 6. تستطيع التعميمات التي تتضمن أكثر من ذرة واحدة في كل جوف أن توزع التشابك إلى عقد عديدة وهي أيضاً تصور بتصحيح الخطأ الناجم عن المسامحة في الغلط [72].

بتطبيق تقنيات QED للأجواف على المعلومة الكمومية يتطلب اقتراناً بين ذرة أحادية / فوتون أحادي يغمر أي معدل فَقْد أو معدل عدم ترابط، بما فيه الإصدار الذري التلقائي وتسرب الفوتونات من خلال المرايا. وهذا يؤدي إلى أجواف صغيرة الحجم (من أجل شدة عالية للفوتونات الأحادية) وانعكاسية عالية إلى أبعد حد للمرآة (لإبقاء الفوتون في الجوف). تشرع مجموعات من معهد كاليفورنيا للتقانة [73، 74] ومعهد ماكس بلانك MPQ [75] بفهم هذه التقانة الصعبة والسيطرة عليها

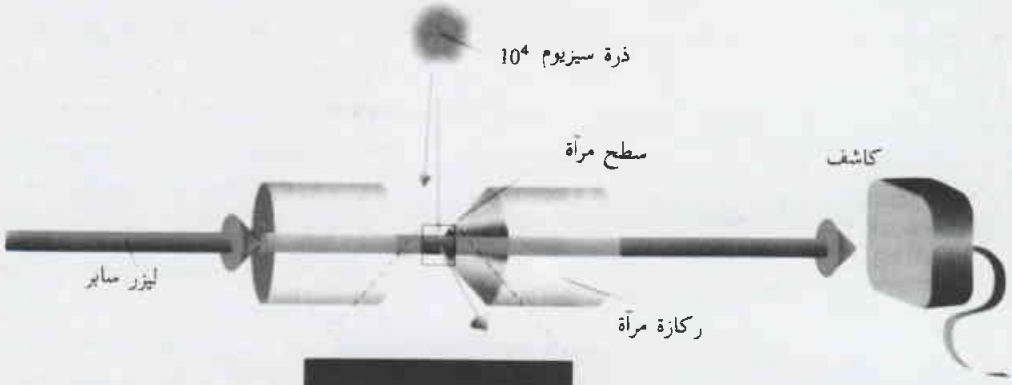


الشكل 6– شبكة كمومية ذرّية – فوتونية. ذرة منتقاة داخل الجوف الضوئي العلوي تنقل بصورة مترابطة بتتها الكمومية الداخلية على بتة كمومية للفوتون الفرد في الجوف من خلال تطبيق نبضة ليزر تقليدية يمثّلها الاقتران Ω(t). يقع الاقتران g بين حقل الفوتون الفرد في الجوف والذرّة . يتسرّب الفوتون الفرد من الجوف العلوي كي يُلتقط في الجوف السفلي بواسطة نبضة ليزر تقليدية معكوسة الزمن ومتزامنة Ω(-t).

وذلك بأسر ذرات مبرّدة بالليزر بصورة إفرادية (كل على حدة) داخل أجواف عالية الدقة منمنمة (الشكل 7). تنشأ الذرات في حد "الاقتران الشديد" الضروري، حيث تستطيع حتى فوتونات أحادية في الجوف أن تؤثر بصورة ملموسة على دينامية الحركة الذرّية [76]. وعلى كل حال، فإن المسارات الذرّية لاتزال طويلة عند مقارنتها بالطول الموجي الضوئي، الذي يجعل اقتران ذرة – فوتون عشوائياً بشكل فعّال ويؤدي إلى إزالة الترابط. تتقدم الآن مجموعة MPQ أخرى في عملها على منظومة متمّمة، حيث الأيونات الذرّية الفردية مربوطة بإحكام داخل جوف ضوئي أكبر مما يجعل المسار الذري دون الطول الموجي الضوئي بقدر كبير [77]. لكن منظومة ذرة – فوتون هنا ليست مقترنة اقتراناً قوياً، لأن السطوح العازلة لجوف أصغر تستطيع أن تتداخل مع الحقول الآسرة للأيونات. تشير هذه التجارب، مع مقاربات لمجموعات أخرى عديدة، إلى طريق نحو هدف نهائي في التعامل مع شبكات المعلومات الكمومية – تلك التي تتبادل بصورة مترابطة ذرات أحادية وفوتونات أحادية.

إيقاف الضوء

تمخضت تجارب عديدة أجرتها مؤخراً جامعات هارفَرد [78، 79] وبيركلي [80] عن تبطيء الضوء بل حتى إيقافه باستخدام تقنيات الشفافية المحرّضة كهرمغنطيسياً [81] في بخار ذري. قد يبدو إيقاف الضوء أمراً عادياً للوهلة الأولى – يمكن إنجازه بسهولة بوضع شاشة سوداء



الشكل 7- تجربة الإلكترووديناميك الكمومي لجوف الذرة الفرد. تُسقط ذرات سيزيوم باردة في جوف ضوئي ذي دقة عالية وله تباعد محوري يبلغ حوالي 10 µm. أُعيد بناء المسار الذي تسلكه ذرة فرد تقطع الجوف (الصورة المُدَرّجة) بمراقبة الحقل الذي يتسرب من الجوف.

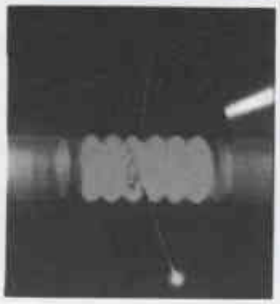
معتمة (غير مُنفذة للضوء) أمام منبع ضوئي. وبدلاً من تخريب الفوتونات تخريباً غير عكوس، تقدم هذه التجارب إمكانية مسح (رسم خريطة) حالات كمومية للفوتونات على حالات كمومية جماعية للبخار الذري [82]. وعلى سبيل المثال، يمكن مسح (رسم خريطة) بتات كمومية لفوتونات إفرادية على بتة كمومية مفردة ممتدة فوق كل السبينات N في بخار:

$$[\alpha|0>_\gamma + \beta|1>_\gamma]|0_{exc}> \rightarrow |0>_\gamma [\alpha|0_{exc}> + \beta|1_{exc}>] \quad (4)$$

حيث $|1>_\gamma$ و $|0>_\gamma$ يمثلان وجود وغياب الفوتون على التوالي، و $|1_{exc}> = [|\uparrow_1\downarrow_2\downarrow_3...\downarrow_N> + |\downarrow_1\uparrow_2\downarrow_3...\downarrow_N> + ... + |\downarrow_1\downarrow_2\downarrow_3...\uparrow_N>]/N^{1/2}$ و $|0_{exc}> = |\downarrow_1\downarrow_2\downarrow_3...\downarrow_N>$ هي الحالات المتناظرة للإثارة صفر وواحد على التوالي. لقد أظهر العمل الحديث الذي جرى في هارفارد ترابطاً تقليدياً في هذه العملية [83]، وإن يكن الترابط الكمومي الذي يشمل عدداً قليلاً من الفوتونات لم يلاحظ بعد.

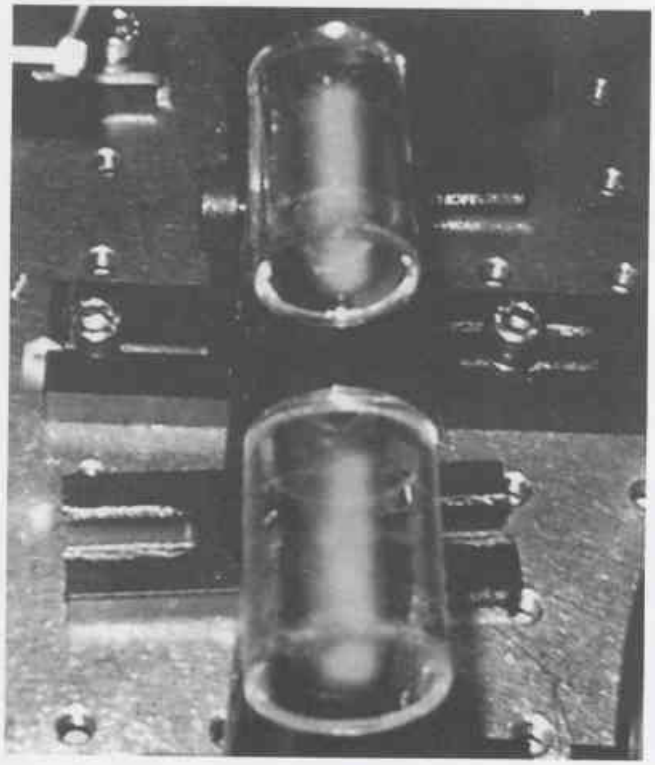
إن العائق في هذا المسح هو مطلب عدد حالات كمومية للفوتونات في المقام الأول، الذي قد يتطلب في النهاية منظومات الذرات الباردة والإلكترووديناميك الكمومي QED للأجواف المشار إليها أعلاه. من الطرق المستعملة للالتفاف حول هذا المطلب استخدام التآثر بين الذرات في البخار لتوليد حالات كمومية للإثارة . إذا أثارت نبضة ليزر تقليدي ذرات إلى حالات ريدبرغ على سبيل المثال، فإن تأثراً تجاورياً قوياً بين ثنائي القطب - ثنائي القطب يمكنه أن يمنع (يزيح بصورة طيفية) مزيداً من الإثارات، تاركاً الحالة $|1_{exc}>$ أو ذرة ريدبرغ واحدة بالضبط مثارة في المجموعة، وهي ظاهرة تدعى "حصار ثنائي القطب" [84].

إن شبكة كمومية بديلة قد تمسح درجات الحرية المستمرة لحقل ضوئي (مثل الاستقطاب أو ترييعات الحقل الكهربائي) على مجموعة من الذرات. وبهذه الطريقة، يمكن للذرات أن تتشابك في حالات متناظرة (مضغوطة السبينات) بإثارات عديدة، وهو توسّع لحالات تشبه $|1_{exc}>$ أعلاه [85، 86]. قامت حديثاً مجموعة في جامعة آرهس Aarhus وشبكت مكانياً مجموعات منفصلة من الذرات من خلال تآثر مشترك مع حقل ضوئي يعترض كلتا المجموعتين [87]، (انظر الشكل 8). وفي هذه الحالة، يُجبر عدد جهري من الذرات على أن يسلك سلوك درجة حرية كمومية مفردة، ويؤمّل من هذه المنظومة أن تكون واعدة من أجل نقل من بعد حالات ما بين ذواكر كمومية يتم وضعها بصورة متباعدة [88]. يمكن لهذه التجارب أن تكون بسيطة بشكل ملحوظ، ولايتطلب الأمر سوى معدات ضوئية عادية وعيّنات حرارية من ذرات في خلايا بخار.



استنتاجات

يُنتظر من تقانة المعلومات الكمومية أن تلعب دوراً مهماً في معالجة المعلومات بعد توقف قانون مور Moores law. إن اتساع هذا الدور غير معلوم، إذ أن معالجات المعلومات الكمومية ليس لها في الوقت الراهن



الشكل 8- زوج من خلايا بخار الروبيديوم مُستخدمة للتخزين والتشابك. تجتاز حزمة ليزرية عادية كلتا الخليتين، فتؤدي إلى توهج تفلور أرجواني. إن القياسات الخاصة لاستقطاب ضوء الخرج يُسقط المجموعات الذرّية في حالة "سبين مضغوط" حيث التمغنط الإجمالي للعينتين الجهريتين مشبوك بصورة ضعيفة.

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

سوى عدد محدود من التطبيقات مثل بروتوكولات تحليل العدد إلى عوامل، وبحوث قواعد البيانات ووسائل الاتصال المعزّزة. وفضلاً عن ذلك، قد يستغرق الأمر عقوداً كي نتعلم كيف نبني عتاداً حاسوبياً كمومياً على نطاق واسع، إذ إن هذا الشكل الثوري لمعالجة المعلومات يتطلب أن تتم هندسة النبائط الثورية والغريبة. إن النبائط الموجودة حالياً تأتي بصورة أولية من مجالات الضوئيات الكمومية والفيزياء الذرّية، التي تشمل في العادة ذرّات مبرّدة بالليزر ومأسورة. بيد أن الصفة الأكثر إثارة لهذا الحقل ربما تكون في أنّ أول حاسوب كمومي على نطاق واسع من المحتمل أن يُبنى من منظومة فيزيائية ليست معلومة حالياً.

لنستشهد بقول ريتشارد فاينمان: " أعتقد أنه من المأمون أن نقول لا أحد يفهم ميكانيك الكم." إن التجارب الجارية التي تتحكم بالذرّات والفوتونات المفردة ستستمر في قيادة المظاهر الغريبة للأسس الميكانيكية الكمومية إلى الصدارة. وفي النهاية، فإن المنظومات قيد الدراسة هي بالضبط تجارب فكرة تخيلها آينشتاين، وبور وغيرهم من الآباء المؤسسين للفيزياء الكمومية. وباللغة الجديدة للمعلومات الكمومية، ربما يكون بوسعنا أن نتطلع إلى مزيد من التبصر في مبادىء الفيزياء الكمومية الأساسية، تماماً كما بشّرت نظرية شانون عن المعلومات التقليدية بتقدم في الفيزياء مسؤول عن عصر الرقميات الحالي.

REFERENCES المراجع

[1] Shannon, C. E. A mathematical theory of communication. Bell Syst. Tech. J. 27,379-423; 623-656 (1948).

[2] Benioff, P., The computer as a physical system: a microscopic quantum mechanical model of computers as represented by Turing machines. J. Stat. Phys. 22, 563-591 (1980).

[3] Benioff, P. Quantum mechanical Hamiltonian models of Turing machines that dissipate no energy. Phys. Rev. Lett. 48, 1581-1585 (1982).

[4] Feynman, R. Simulating physics with computers. J. Theor. Phys. 21, 467-488 (1982).

[5] Feynman, R. P. Theres plenty of room at the bottom. Eng. Sci. February 1960 issue (produced by the CalTech Office of Public Relations) (1960); also available at <http:// WWW.zyvex.com/nanotech/ feynman.html>.

[6] Landauer, R. in Proc. Drexel-4 Symp. Quantum Nonintegrability (eds Feng, D. H. & Hu, B. ·L.) 44-53 (International Press, Boston, 1997).

[7] jozsa, R. in The Geometric Universe (ed. Huggett, S. et al.) 369-379 (Oxford Univ. Press, Oxford, 1998); preprint quant-ph/9707034 (Entanglement and quantum computation) at http://xxx.lanl.gov (1997).

[8] DiVincenzo, D. The physical implementation of quantum computation. Fortschr. Phys. 48, 771-783 (2000).

[9] Special issue on experimental proposals for quantum computation. Fortschr. Phys. 48 (2000).

[10] DiVincenzo, D. Two-bit gates are universal for quantum computation. Phys. Rev. A 51, 1015-1022 (1995).

[11] Lloyd, S. Almost any quantum logic gate is universal. Phys. Rev. Lett. 75, 346-349 (1995).

[12] Einstein, A. Podolsky, B. & Rosen, N. Can quantum-mechanical description of reality be considered complete? Phys. Rev. 47, 777-780 (1935).

[13] Kahn, D. The Codebreakers. The Story of Secret Writing (Macmillan, New York, 1967).

[14] Bennett, C. & Brassard. G. Quantum cryptography: public key distribution and coin tossing. Proc. IEEE Int. Conf. Comp. Syst. Signal Proc. 11, 175 - 179 (1984).

[15] Wiesner, S. Conjugate coding. Sigact News 15, 78-88 (1983).

[16] Bennett, C. Quantum cryptography using any two nonorthogonal states. Phys. Rev. Lett. 68, 3121-2124(1992).

[17] Franson, J. & Ilves, H. Quantum cryptography using optical fibers. AppL Opt. 33, 2949-2954 (1994).

[18] Marand, C. & Townsend, P., Quantum key distribution over distances as long as 30 km. Opt. Lett. 20, 1695-1697 (1995).

[19] Muller, A., Zbinden H. & Gisin, N. Quantum cryptography over 23 km in installed under-lake telecom fiber. Europhys. Lett. 33, 335-339 (1996).

[20] Hughes, R. J., Morgan, G. L. & Peterson, C. G., Quantum key distribution over a 48 km optical fibre network. J. Mod. Opt. 47, 533-547 (2000).

[21] Ekert, A. K. Quantum cryptography based on Bells theorem. Phys. Rev. Lett. 67, 661-663 (1991).

[22] Jennewein, T., Simon, C., Weihs, G., Weinfurter, H. & Zeilinger, A. Quantum cryptography with entangled photons. Phys. Rev. Lett. 84,4729-4732 (2000).

[23] Naik, D. S., Peterson, C. G., White, A. G., Berglund, A. J. & Kwiat, P. G. Entangled state quantum cryptography: eavesdropping on the Ekert protocol. Phys. Rev. Lett. 84, 4733-4736 (2000).

[24] Tittel, W., Brendel, J., Zbinden, H. & Gisin, N. Quantum cryptography using entangled photons in energy-time Bell states. Phys. Rev. Lett. 84.4737-4740 (2000).

[25] Kwiat, P. G., Waks, E., White, A. G., Appelbaum, I. & Eberhard, P. H. Ultrabright source of polarization-entangled photons. Phys. Rev. A 60, 773-776 (1999).

[26] Bennett, C. H. et al. Teleporting an unknown quantum state via dual classical and Einstein-Podolsky - Rosen channels. Phys. Rev. Lett. 70,1895-1899 (1993).

[27] Braunstein, S. L. A fun talk on teleportation. <WWW. informaties. bangor. ac. uk/ ~ schmuel/tport.html> (5 February 1995).

[28] Bouwmeester, D. et al. Experimental quantum teleportation. Nature 390, 575-579 (1997).

[29] Boschi, D., Branca, S., De Martini, F., Hardy, L. & Popescu, S. Experimental realization of teleporting an unknown pure quantum state via dual classical and Einstein-Podolsky-Rosen channels. Phys. Rev. Lett. 80,1121-1125 (1998).

[30] Braunstein, S. L. & Kimble, H. J. A posteriori teleportation. Nature 394,840-841 (1998).

[31] Bouwmeester, D. et al Reply to "A posteriori teleportation" by S. L. Braunstein and H. J. Kimble. Nature 394,841 (1998).

[32] Furusawa, A. et al. Unconditional quantum teleportation. Science 282, 706-709 (1998).

[33] Schrodinger, E. The present situation in quantum mechanics. Naturwissenschaften 23,807-812; 823-828: 844-849 (1935).

[34] Deutsch, D. Quantum theory, the Church-Turing principle and the universal quantum computer. Proc. R. Soc. Lond. A 400,97-117 (1985).

[35] Shor, P. Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer. SIAM J. Comp. 26, 1484-1509 (1997).

[36] Rivest, R., Shamir, A. & Adleman, L. A method for obtaining digital signatures and public-key cryptosystems. Commun. Assoc. Comput. Mach. 21, 120-126 (1978).

[37] Grover, L. Quantum mechanics helps in searching for a needle in a haystack. Phys. Rev. Lett 79, 325-328 (1997).

[38] Shor, P. Scheme for reducing decoherence in quantum computer memory. Phys. Rev. A 52, 2493-2496 (1995).

[39] Steane, A. Error correcting codes in quantum theory. Phys. Rev. Lett. 77, 793-797 (1996).

[40] Preskill, J. Battling decoherence: the fault-tolerant quantum computer. Phys. Today 52, 24 - 30 (1999).

[41] Cirac, I. & Zoller, P. Quantum computations with cold trapped ions. Phys. Rev. Lett. 74, 4091 - 4094 (1995).

[42] Steane, A. The ion trap quantum information processor. Appl. Phys. B 64, 623-642 (1997).

[43] Wineland, D. et al. Experimental issues in coherent quantum manipulation of trapped atomic ions. J. Res. Natl Inst. Stand. Tech. 103, 259-328 (1998).

[44] SØrensen, A. & MØlmer, K. Quantum computation with ions in thermal motion. Phys. Rev. Lett. 82, 1971-1975(1999).

[45] Blatt, R. & Zoller, P. Quantum jumps in atomic systems Eur. J. Phys. 9, 250 (1988).

[46] Monroe, C., Meekhof, D. M. King, B. E., Itano, W. M. & Wineland, D. J. Demonstration of a universal quantum logic gate. Phys. Rev. Lett. 75, 4714 - 4717 (1995).

[47] Sackett, C. et al. Experimental entanglement of four particles. Nature 404, 256-259 (2000).

[48] Turchette, Q. A. et al. Heating of trapped ions from the quantum ground state. Phys. Rev. A 61, 063418-1-063418-8 (2000).

[49] Larson, D. J. et al Sympathetic cooling of trapped ions: a laser-cooled two-species nonneutral ion plasma. Phys. Rev. Lett 57, 70 (1986).

[50] Kielpinski, D. et al. Sympathetic cooling of trapped ions for quantum logic. Phys. Rev. A 61, 032310 -1-032310-8 (2000).

[51] Morigi. G. & Walther, H. Two-species Coulomb chains for quantum information. Eur. Phys. J. D 13, 261-269(2001).

[52] Jessen, P. & Deutsch, I. Optical lattices. Adv. At Mol. Opt. Phys. 37,95-138 (1996).

[53] Hamann, S. et al Resolved-sideband Raman cooling to the ground state of an optical lattice. Phys. Rev. Lett. 80, 4149-4152 (1998).

[54] Vuletic, V., Chin, C., Kerman, A. J. & Chu, S. Raman sideband cooling of trapped cesium atoms at very high densities. Phys. Rev. Lett. 81, 5768-5771 (1998).

[55] Perrin, H., Kuhn, A., Bouchoule, I. & Salomon, C. Sideband cooling of neutral atoms in a far-detuned optical lattice. Europhys. Lett. 42, 395-400 (1998).

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

[56] Raithel, G., Phillips. W. D. & Rolston, S. L. Coherence decay of wave-packets in optical lattices. Phys. Rev. lett. 81, 3615 (1998).

[57] Haycock, D. L., Alsing, P. M., Grondalski, J., Deutsch, I. H. & Jessen, P. S. Mesoscopic quantum coherence in an optical lattice. Phys. Rev. Lett. 85, 3365 (2000).

[58] Brennen, G., Caves, C., Jessen, P. & Deutsch, I. Quantum logic gates in optical lattices. Phys. Rev. Lett. 82, 1060 - 1063 (1999).

[59] Jaksch, D., Briegel, H. J., Cirac, J. I., Gardiner, C. W. & Zoller, P. Entanglement of atoms via cold controlled collisions. Phys. Rev. Lett. 82, 1975-1978 (1999).

[60] jaksch, D. et al. Fast quantum gates for neutral atoms. Phys. Rev. Lett. 85, 2208-2211 (2000).

[61] DeMille, D. Quantum computation with trapped polar molecules. Preprint quant-ph/0109083 at http:// XXX.lanl.gov (2001).

[62] Jaksch, D., Bruder, C., Cirac, J. I., Gardiner, C. W. & Zoller, P. Cold bosonic atoms in optical lattices. Phys. Rev. Lett. 81, 3108-3111 (1998).

[63] Spekkens, R. W. & Sipe, J. E. Spatial fragmentation of a Bose-Einstein condensate in a double-well potential. Phys. Rev. A 59, 3868-3877 (1999).

[64] Orzel, C., Tuchman, A. K., Fenselau, M. L., Yasuda, M. & Kasevich, M. A. Squeezed states in a Bose - Einstein condensate. Science 291, 2386-2389 (2001).

[65] Greiner, M., Mandel, O., Esslinger, T., Hansch, T. W. & Bloch, I. Quantum phase transition from a superfluid to a Mott insulator in a gas of ultracold atoms. Nature 415,39 - 44 (2002).

[66] Cirac, I. & Zoller, P. A scalable quantum computer with ions in an array of microtraps. Nature 404, 579-581(2000).

[67] Monroe, C., Meekhof, D. M., King, B. E. & Wineland, D. J. A Schrodinger cat superposition state of an atom. Science 272, 1131-1136 (1996).

[68] Bennett, C. H. et al. Purification of noisy entanglement and faithful teleportation via noisy channels. Phys. Rev. Lett. 76, 722-725 (1996).

[69] Briegel, H. - J., Dur, W., Cirac, J. I. & Zoller, P. Quantum repeaters: the role of imperfect local operations in quantum communication. Phys. Rev. Lett. 81, 5932-5935 (1998).

[70] Cirac, I., Zoller, P., Kimble, H. & Mabuchi, H. Quantum state transfer and entanglement distribution among distant nodes in a quantum network. Phys. Rev. Lett. 78, 3221 - 3224 (1997).

[71] Law, C. & Kimble, H. Deterministic generation of a bit-stream of single-photon pulses. J. Mod. Opt. 44,2067-2074 (1997).

[72] van Enk, S., Cirar, I. & Zoller, P. Ideal quantum communication over noisy channels, a quantum optical implementation. Phys. Rev. Lett. 78,4293-4296 (1997).

[73] Ye, J., Vernooy, D. W & Kimble, H. J. Trapping of single atoms in cavity QED. Phys. Rev. Lett. 83, 4987-4990 (1999).

[74] Hood, C. J., Lynn, T. W, Doherty, A. C., Parkins, A. S. & Kimble, H. J. The atom-cavity microscope: single atoms bound in orbit by single photons. Science 287,1447-1453 (2000).

[75] Pinske, P., Fischer, T., Maunz, P. & Rempe, G. Trapping an atom with single photons. Nature 404, 365-368 (2000).

[76] Doherty, A., Lynn, T. W., Hood, C. J. & Kimble, H. J. Trapping of single atoms with single photons in cavity QED. Phys. Rev A 63, 013401-1-013401-24 (2001).

[77] Guthohrlein, G. R., Keller, M., Hayasaka, K., Lange, W. & Walther, H. A single ion as a nanoscopic probe of an optical field. Nature 414, 49-51 (2001).

[78] Liu, C., Dutton, Z., Behroozi, C. H. & Hau, L. V. Observation of coherent optical information storage in an atomic medium using halted light pulses. Nature 409,490-493 (2001).

[79] Phillips, D. F., Fleischhauer, A., Mair, A., Walsworth, R. L. & Lukin, M. D. Storage of light in atomic vapor. Phys. Rev. Lett. 86,783-786 (2001).

[80] Budker, D., Kimball, D. F, Rochester, S. M. & Yashchuk, V. V. Nonlinear magneto-optics and reduced group velocity of light in atomic vapor with slow ground state relaxation. Phys. Rev Lett. 83, 1767-1770(1999).

[81] Lukin, M. & Imamoglu, A. Controlling photons using electromagnetically induced transparency. Nature 413, 273-276 (2001).

[82] Fleischhauer, M. & Lukin, M. Dark-state polaritons in electromagnetically induced transparency. Phys. Rev. Lett. 84,5094-5097 (2000).

[83] Mair, A., Hager, J., Phillips, D. F., Walsworth, R. L. & Lukin, M. D. Phase coherence and control of stored

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

photonic information. Preprint quant-ph/0108046 at http://xxx. lanl.gov (2001).

[84] Lukin, M. et al. Dipole blockade and quantum information processing in mesoscopic atomic ensembles. Phys. Rev. Lett 87,037901-1-037901 - 4 (2001).

[85] Hald, J., Sørensen, J. L., Schori, C. & Polzik, E. S. Spin squeezed atoms: a macroscopic entangled ensemble created by light. Phys. Rev. Lett. 83, 1319-1322 (1999).

[86] Kuzmich, A., Mandel, L. & Bigelow, N. Generation of spin squeezing via continuous quantum nondemolition measurement. Phys. Rev. Lett. 85, 1594-1597 (2000).

[87] Julsgaard, B., Kozhekin, A. & Polzik, E. Experimental long-lived entanglement of two macroscopic objects. Nature 413,400-403 (2001).

[88] Duan, L. -M., Lukin, M. D., Cirac, J. I. & Zoller, P. Long-distance quantum communication with atomic ensembles and linear optics. Nature 414, 413-418 (2001).

[89] Wolf, F. A. Taking the Quantum Leap (Harper and Row, San Francisco, 1981).

[90] Zurek, W. H. Decoherence and the transition from quantum to classical. Phys. Today 44, 34-44 (1991).

[91] Braunstein, S. L., D'Ariano, G. M., Milburn, G. J. & Sacchi, M. F. Universal teleportation with a twist. Phys. Rev. Lett. 84, 3486-3489 (2000).■

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

مفعول كازيمير: قوة من لا شيء*

أستريد لامبرشت
مختبر كاستلر بروسل - جامعة بيير وماري كوري - باريس - فرنسة

ملخص

يمكن لقوة التجاذب بين سطحين في الخلاء، والتي أول من تنبأ بها هندريك كازيمير منذ ما يزيد عن الخمسين عاماً، أن تؤثر في كل شيء بدءاً من الماكينات المكروية إلى النظريات الموحّدة للطبيعة.

الكلمات المفتاحية: مفعول كازيمير، ضغط إشعاع الحقل، خلاء.

ماذا يحصل عندما تأخذ مرآتين وترتبهما بحيث تقابل كل منهما الأخرى في حيّز فارغ؟ قد يكون الانطباع الأول لديك هو "لا شيء إطلاقاً". في الحقيقة، تنجذب المرآتان كل منهما إلى الأخرى بصورة متبادلة بمجرد وجودهما في الخلاء. لقد تمّ التنبؤ أولاً بهذه الظاهرة المروّعة عام 1948 من قِبل الفيزيائي النظري الهولندي هندريك كازيمير عندما كان يعمل في مختبرات أبحاث فيليبس في آيندهوفن عن كل ما يتعلق بالمحاليل الغروية (انظر المؤطر). يطلق على هذه الظاهرة حالياً اسم مفعول كازيمير بينما تعرّف القوة بين المرآتين بقوة كازيمير.

بقي مفعول كازيمير لعدة سنوات ليس أكثر من حب استطلاع نظري، ولكن الاهتمام بالظاهرة أزهر في السنوات الأخيرة. لقد أدرك الفيزيائيون التجريبيون أن قوة كازيمير تؤثر في أعمال نبائط الماكينات المكروية، في الوقت الذي مكّن التقدمُ في صنع الآلات وتطويرها من قياس القوة بدقة أكبر من أي وقت مضى.

أثارت الفيزياء الأساسية أيضاً هذا الحماس الجديد. فقد تنبأ العديد من النظريين بوجود أبعاد إضافية "كبيرة" من نظريات الحقل المُوحد ذي الأبعاد 10 و11 من القوى الأساسية. ويقولون بأن هذه الأبعاد تستطيع أن تعدّل الثقالة النيوتونية التقليدية إلى مسافات تحت المِلّيمتر. ولذلك يمكن أن يساعد مفعول كازيمير الفيزيائيين في اختبار صحة مثل هذه الأفكار الجوهرية.

فهم قوة كازيمير

بالرغم من أن قوة كازيمير تبدو أنها مضادة للحدس كلّياً إلا أنها في الحقيقة مفهومة بشكل جيد. كانت فكرة الخلاء في الأيام الغابرة للميكانيك التقليدي بسيطة وسهلة. فكان الخلاء هو ما يتبقى بعد تفريغك للحاوية من جميع الجسيمات وتخفيضك درجة الحرارة إلى الصفر المطلق.

وعلى أي حال، فإن مجيء الميكانيك الكمومي قد غيّر فكرتنا عن الخلاء إلى حدٍّ كبير. فكل الحقول، وبخاصة الحقول الكهرطيسية، لها تأرجحات. أي بمعنى آخر إن قيمتها الحقيقية تتغير عند كل لحظة حول ثابت وهو القيمة الوسطية، وحتى أن الخلاء التام عند الصفر المطلق له حقول متأرجحة تعرف باسم "تأرجحات الخلاء vacuum fluctuations"، وهي الطاقة الوسطية التي توافق نصف طاقة الفوتون.

على أي حال، ليست تأرجحات الخلاء عبارة عن تجريد عقل فيزيائي. إن لها نتائج منطقية ملحوظة يمكن أن تبدو للعيان مباشرة في تجارب تجري على مقياس مجهري. فمثلاً لا تبقى الذرّة في حالة الإثارة على حالها إلى الأبد، بل تعود إلى حالتها الأساسية بإصدارها فوتوناً بصورة تلقائية. هذه الظاهرة هي نتيجة لتأرجحات الخلاء. تصوّر أنك تُجرّب جعل قلم رصاص واقفاً بشكل عمودي بنهاية إصبعك، إنه سيبقى كذلك إذا كانت يدك ثابتة تماماً ولا شيء يقلق التوازن. ولكن أقل اضطراب سيجعل القلم يسقط إلى وضع أكثر توازناً. وبالمشابهة، فإن تأرجحات الخلاء تسبب سقوط الذرّة المثارة إلى حالتها الأساسية.

قوة كازيمير هي أكثر التأثيرات الميكانيكية شهرة لتأرجحات الخلاء. خذ بعين الاعتبار الفرجة بين مرآتين مستويتين كتجويف (الشكل 1). جميع الحقول الكهرطيسية لها "طيف" مميز يحتوي على تواترات مختلفة عديدة. ويكون في الخلاء الحر لجميع التواترات أهمية متساوية. ولكن في داخل التجويف حيث ينعكس الحقل ذهاباً وإياباً بين المرآتين، فإن الوضع يختلف. فالحقل يتضخم إذا ما استطاعت مضاعفات صحيحة من نصف طول الموجة أن تناسب داخل التجويف بشكل كامل. يوافق طول الموجة هذا "تجاوب التجويف". وبالمقابل فإن الحقل عند أطوال الأمواج الأخرى يتخامد. تتخامد تأرجحات الخلاء أو تتعزّز اعتماداً على كون تواترها موافقاً لتجاوب التجويف أم لا.

توجد عند مناقشة قوة كازيمير كمية فيزيائية مهمة وهي "ضغط إشعاع الحقل"، كل حقل - حتى حقل الخلاء - يحمل طاقة. ولما كانت جميع الحقول الكهرطيسية تستطيع أن تنتشر في الفضاء فإنها تمارس أيضاً ضغطاً على السطوح، تماماً كما يضغط ماء النهر الجاري على مسرب الفيضان. يزداد ضغط الإشعاع هذا مع طاقة الحقل الكهرطيسي، وبالتالي مع تواتره. وعند تواتر تجاوب التجويف يكون ضغط الإشعاع داخل التجويف أقوى من خارجه وبالتالي تتدافع المرآتان بعيداً عن بعضهما.

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

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

وبالمقابل، خارج التجاوب، يكون ضغط الإشعاع داخل التجويف أصغر من الضغط خارجه وبالتالي تقترب المرآتان بعضهما من بعض.

ينتج عن ذلك أن مكوّنات التجاذب، بالموازنة، يكون لها تأثير أقوى بقليل من مكونات التدافع. وهكذا تكون قوة كازيمير من أجل مرآتين متوازيتين مستويتين تماماً قوة تجاذب وتقترب المرآتان من بعضهما. تكون القوة F متناسبة مع مساحة المقطع الفعّال A للمرآتين وتزداد بمقدار 16 ضعفاً في كل مرّة تنقص فيها المسافة d بين المرآتين إلى النصف $F \sim A/d^4$. وبصرف النظر عن هذه المقادير الهندسية فإن القوة تعتمد فقط على قيمتين أساسيتين هما ثابت بلانك وسرعة الضوء.

وبالرغم من كون قوة كازيمير صغيرة جداً وتصعب ملاحظتها من أجل مرآتين بعيدتين بعضهما عن بعض عدة أمتار، إلّا أنه يمكن قياسها إذا كان بُعْدُ المرآتين عن بعضهما في حدود المكرونات. فمثلاً تبلغ قوة كازيمير، من أجل مرآتين مساحة كل منهما $1\ cm^2$ مفصولتين بعضهما عن بعض بمسافة قدرها 1 µm، حوالي $10^{-7}\ N$ - أي تقريباً بوزن قطرة ماء قطرها نصف ملّيمتر. وعلى الرغم من أن هذه القوة يمكن أن تبدو صغيرة عند مسافات أقل من المكرومتر إلّا أنها تصبح الأقوى قوة بين جسمين معتدلين. الحقيقة أن قوة كازيمير - عند مسافة فاصلة تبلغ 10 نانومتر - وهي أكبر بحوالي مئة مرة من الحجم النموذجي للذرّة - تنتج ما يعادل ضغطاً جوياً واحداً.

وبالرغم من أننا لا نتعامل مباشرة مع مثل هذه المسافات الصغيرة في حياتنا اليومية، إلّا أن هذه المسافات مهمة في البنى النانوية القياس وفي المنظومات الكهرميكانيكية المكروية (MEMS). إن هذه المنظومات هي نبائط مكرونية الحجم "ذكية"، حيث العناصر الميكانيكية والأجزاء المتحركة، كالمجسّات الدقيقة جداً والمشغلات، محفورة على ركازة سليكون. تُربط المكوّنات الإلكترونية إلى النبيطة لمعالجة المعلومات التي تحسّ بها أو لتشغيل حركة أجزائها الميكانيكية. لـ MEMS عدة تطبيقات ممكنة في العلوم والهندسة، وقد استُخدمت سابقاً كمجسّات ضغط كيس الهواء في السيارات.

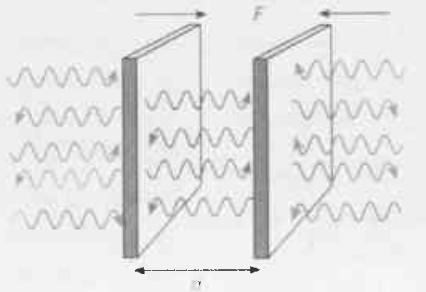
ولما كانت نبائط MEMS قد صُنّعت بمقياس المكرون ودون المكرون، فإن قوة كازيمير تستطيع أن تجعل العناصر الدقيقة جداً في النبيطة تلتصق بعضها مع بعض، كما أخبر بذلك حديثاً ميشيل روكس M. Roukes وزملاؤه في معهد كاليفورنية للتقانة (Phys. Rev. B63 2001). ولكن يمكن لقوة كازيمير أيضاً أن تسخّر لعمل جيد. فقد بيّن فيدريكو كاباسّو F. Capasso ومجموعته في تقانات لوسنت في العام الفائت كيف يمكن استخدام القوة في ضبط الحركة الميكانيكية لنبيطة MEMS (Science 291 1941 2001). علّق الباحثون صفيحة من السليكون المتعدد بقضيب فتل - قطره عدة مكرونات - (الشكل 2). فعندما كانوا يقربون كرة ممعدنة إلى الصفيحة، فإن قوة كازيمير الجاذبة بين الجسمين تجعل الصفيحة تدور. لقد درسوا أيضاً السلوك الدينامي لنبيطة MEMS بجعل الصفيحة تهتز، فخفّضت قوة كازيمير سرعة الاهتزاز وأدّت إلى ظاهرة لاخطية كما هو الحال في البطاء وإلى الاستقرارية الثنائية في استجابة التواتر للهزّاز. وطبق ما أفاد به الفريق، فإن سلوك المنظومة اتفق تماماً مع الحسابات النظرية.

قياس مفعول كازيمير

عندما تمّ التنبؤ بمفعول كازيمير لأول مرة عام 1948 كان من الصعب قياسه باستخدام المعدّات التي كانت معروفة في ذلك الوقت. تمّت إحدى أولى التجارب عام 1958 من قِبَل ماركوس سبارني M. Spaarnay في معامل فيليبس في أيندهوفن، حيث تحرّى قوة كازيمير بين مرآتين معدنيتين مسطحتين مصنوعتين من الألمنيوم أو الكروم أو الفولاذ. استخدم سبارني في قياسه الميزان النابضي، الذي عينت استطالته بالمواسعة بين الصفيحتين. ولمنع قوة كازيمير من أن تغيب ولا تظهر نتيجة القوة الكهراكدية كان من الضروري إبقاء المرآتين معتدلتي الشحنة وذلك بملامستهما بعضهما البعض أولاً قبل القيام بكل قياس. كان على سبارني أيضاً أن يتأكد بأن المرآتين المستويتين متوازيتان تماماً، حيث إن قوة كازيمير حسّاسة جداً لتغيرات المسافة. استطاع سبارني أن يتجاوز هذه الصعوبات واستنتج أن نتائجه "لم تتعارض مع تنبؤ كازيمير النظري".

وعلى أي حال، ومنذ تلك الأيام المبكرة؛ فإن المعدّات المتطورة التي تمّ تصنيعها جعلت دراسة مفعول كازيمير أسهل. بدأ جيل جديد من القياسات عام 1997. حيث قاس ستيف لامورو S. Lamoreaux، الذي صار بعدئذ في جامعة واشنطن في سياتل، قوة كازيمير بين عدسة كروية قطرها 4 سم وصفيحة ضوئية مقطعها 2.5 سم وكلاهما مغلفتان بالنحاس والذهب. تمّ وصل العدسة والصفيحة إلى نواس فتل - قضيب فتل أفقي معلق بسلك من التنغستين - موضوع في وعاء أسطواني تحت الخلاء. وعندما قَرّب لامورو العدسة والصفيحة من بعضهما البعض إلى عدة مكرونات، جذبت قوة كازيمير الجسمين معاً وتسببت في فتل النواس. لقد وجد أن قياساته التجريبية متفقة مع النظرية بدقة تصل إلى 5%.

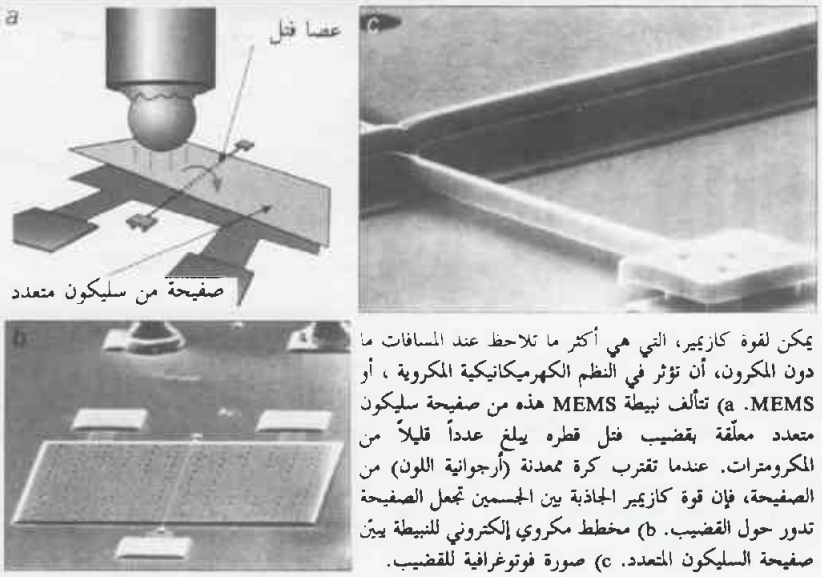
1 قوة كازيمير



إنه الفيزيائي النظري الهولندي هندريك كازيمير (1909-2000) الذي أول من أدرك أنه عند وضع مرآتين متقابلتين في الخلاء، فإن التأرجحات في الخلاء تمارس "ضغطاً إشعاعياً" عليهما. وبصورة وسطية يكون الضغط الخارجي "الأسهم الحمراء" أكبر من الضغط الداخلي "الأسهم الخضراء". تنجذب كلا المرآتين بعضهما إلى بعض بما يسمى بقوة كازيمير. تعطى القوة بالعلاقة $F \sim A/d^4$ حيث تدل A على مساحة المرآتين وتدل d على المسافة بينهما.

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

2 قوة كازيمير في النبائط المكروية



يمكن لقوة كازيمير، التي هي أكثر ما تلاحظ عند المسافات ما دون المكرون، أن تؤثر في النظم الكهرميكانيكية المكروية ، أو MEMS. a) تتألف نبيطة MEMS هذه من صفيحة سليكون متعدد معلّقة بقضيب فتل قطره يبلغ عدداً قليلاً من المكرومترات. عندما تقترب كرة ممدنة (أرجوانية اللون) من الصفيحة، فإن قوة كازيمير الجاذبة بين الجسمين تجعل الصفيحة تدور حول القضيب. b) مخطط مكروي إلكتروني للنبيطة يبيّن صفيحة السليكون المتعدد. c) صورة فوتوغرافية للقضيب.

المؤطّر 1:

قوة كازيمير والغروانيات

أول من تنبأ بحقيقة وجود قوة تجاذبية بين صفيحتين معدنيتين ناقلتين هو هندريك كازيمير عام 1948 في مختبرات فيليبس للبحوث في الأراضي المنخفضة (هولندة). وفي الوقت نفسه، على أي حال، كان كازيمير يدرس خواص "المحاليل الغروية"، وهي مواد لزجة مثل الدهان والميونيز التي تحوي جسيمات أبعادها من رتبة المكرون في حامل سائل. تُعيّن خواص مثل هذه المحاليل بقوى فان درفالس v. der Waals وهي قوى تجاذب بعيدة المدى توجد بين الذرّات والجزيئات المعتدلة. أدرك أحد زملاء كازيمير وهو ثيو أوفربيك T. Overbeek أن النظرية التي استُخدمت في ذلك الوقت في تفسير قوى فان درفالس، والتي طورها فريتز لندن F. London عام 1932، لم تفسّر بشكل صحيح القياسات التجريبية التي أجريت على الغروانيات. ولذلك سأل أوفربيك كازيمير أن يتحرى المشكلة. اكتشف كازيمير، بعمله مع ديرك بولدر D. Polder أن التأثر بين جزيئين معتدلين يمكن أن يوصف بشكل صحيح فقط إذا أخذت بعين الاعتبار حقيقة أن الضوء يسير بسرعة محدودة. وبعد ذلك بقليل، لاحظ كازيمير أنه من الممكن تفسير هذه النتيجة على ضوء تأرجحات الخلاء. وسأل نفسه بعد ذلك ماذا يمكن أن يحدث إذا كانت هنالك مرآتان - بدلاً من ذرّتين - تقابل كل منهما الأخرى في الخلاء. إن هذا العمل هو الذي قاد إلى تنبئه الشهير عن قوة التجاذب بين صفيحتين عاكستين.

وبتشجيع من الاختراق الذي حققه لامورو، جرّب كثير من الباحثين الآخرين قياسات كازيمير جديدة، فمثلاً وصل عمر محي الدين U. Mohideen وزملاؤه من جامعة كاليفورنية في مدينة ريفرسايد كرة بولسترين قطرها 200 مكرومتر إلى الرأس المستدق لمجهر القوة الذرّية (الشكل 3). وبسلسلة من التجارب قربوا الكرة، المطلية إما بالألمنيوم أو الذهب، إلى حدود 0.1 مكرومتر من قرص منبسط مطلي أيضاً بهذين المعدنين. أُجري التحكم بالتجاذب الحاصل بين الكرة والقرص بواسطة انحراف حزمة الليزر. وقد استطاع الباحثون أن يقيسوا قوة كازيمير إلى حدود 1% من القيمة النظرية المتوقعة.

استخدم توماس إديرث T. Ederth أيضاً، من المعهد الملكي للتقانة في ستوكهولم في السويد، مجهر القوة الذرّية لدراسة مفعول كازيمير. لقد قاس القوة بين أسطوانتين مطليتين بالذهب ومشكّلتين زاوية 90° كل إلى الأخرى ومفصولتين بعضهما عن بعض بأقل ما يقرب من 20 نانومتراً. لقد كانت نتائجه متفقة مع النظرية إلى حدود 1% (الشكل 4).

على أي حال، استخدمت قلّة من التجارب الحديثة التشكيلة الأصلية المؤلفة من مرآتين مستويتين متوازيتين في قياس قوة كازيمير. ويعود السبب في ذلك إلى ضرورة أن تكون المرآتان متوازيتين تماماً أثناء إجراء التجربة، وهذا ما يصعب تحقيقه. إنه من الأسهل بكثير تقريب كرة إلى المرآة لأن المسافة بينهما هي ببساطة المسافة بين أضيق اقتراب بينهما. السيئة الوحيدة في استخدام كرة ومرآة مستوية هي في أن حسابات قوة كازيمير في هذه الحالة لا تكون دقيقة كما هو الحال بين مرآتين مستويتين، وخاصة أنه من المفترض أن تكون المساهمات في القوة بين الكرة والصفيحة مستقلة تماماً عند كل نقطة. ويكون هذا صحيحاً فقط إذا كان نصف قطر الكرة أكبر بكثير من المسافة بينها وبين الصفيحة.

أجرى التجربة الوحيدة الحديثة في تكرار التصميم الأصلي لكازيمير المؤلف من مرآتين مستويتين متوازيتين جياتي كاروغنو G. Carugno و روبرتو أونوفريو R. Onofrio ومعاونوهما في جامعة بادوفا في إيطالية. لقد قاموا بقياس القوة بين صفيحة صلدة مغلفة بالكروم وسطح منبسط من دعامة مؤلفة من المادة نفسها مفصولة بمسافة تتراوح بين 0.5-3 مكرومتر. وجد الباحثون أن قياس قوة كازيمير متفق مع القيمة النظرية إلى حد 15%. لقد عكس هذا التلاؤم النسبي الصعوبات التقنية التي تتضمنها هذه التجربة.

الحسابات المحسّنة

إن المشكلة في دراسة مفعول كازيمير هي أن المرايا الحقيقية لا تشبه المرايا المستوية الناعمة تماماً والتي اعتبرها هندريك كازيمير في الأصل، وخاصة أن المرايا الحقيقية لا تعكس جميع التواترات بشكل تام، بل إنها تعكس جيداً - أو قريباً من الجيد - بعض التواترات بينما تنعكس التواترات الأخرى بشكل رديء. وبالإضافة إلى ذلك، تصبح جميع المرايا شفافة عند التواترات العالية جداً. وعند حساب قوة كازيمير يجب أن نأخذ بعين الاعتبار معاملات الانعكاس المتعلقة بالتواتر للمرايا. وهي المشكلة التي عالجها إيفغني ليفشتز E. Lifshitz في منتصف القرن الماضي، ومن بعده جوليان شفنغر J. Schwinger وآخرون.

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

يتّضح في النهاية أن قوة كازيمير المقيسة بين المرايا المعدنية الحقيقية المفصولة بعضها عن بعض مسافة 0.1 مكرومتر تبلغ فقط نصف القيمة النظرية المتنبأ بها من أجل المرايا الكاملة. وإذا لم يؤخذ هذا التضارب بعين الاعتبار عند مقارنة البيانات التجريبية والنظرية، فإنه من الممكن للقياس التجريبي أن يُفسر خطأً كقوة جديدة. لقد أخذت بعين الاعتبار أنا وزميلي سيرج رينود S. Reynaud السلوك الحقيقي للمرايا في حساباتنا مستخدمين الخواص الفيزيائية للمعادن نفسها. لقد وجدنا أن نماذج الحالة الصلبة البسيطة للمرآة تتماشى مع السلوك الحقيقي فقط عندما تكون المسافة أكبر من 0.5 مكرومتر.

هنالك مسألة أخرى عند حساب قوة كازيمير المتوقعة من أجل منظومة حقيقية وهي حقيقة أن التجارب لا تُجرى في درجة الصفر المطلق - كما جرى تصوُّرها أصلاً في حسابات كازيمير - بل في درجة حرارة الغرفة. وهذا ما يسبب في أن تلعب التأرجحات الحرارية دورها، بالإضافة إلى تأرجحات الخلاء. يمكن أن تُنتِج هذه التأرجحات الحرارية ضغط الإشعاع الخاص بها وتخلق قوة كازيمير بأكبر مما هو متوقع. فمثلاً تبلغ قوة كازيمير بين مرآتين مستويتين مفصولتين بعضهما عن بعض مسافة 7 مكرومتر ضعف القيمة عند إجراء التجربة في درجة حرارة الغرفة بدلاً من إجرائها عند الصفر المطلق. ولحسن الحظ فإن التأرجحات الحرارية عند درجة حرارة الغرفة مهمّة فقط عند المسافات التي تزيد عن مكرومتر واحد، وأما دون هذه المسافة فإن طول موجة التأرجحات يكون كبيراً جداً ليلائم داخل التجويف.

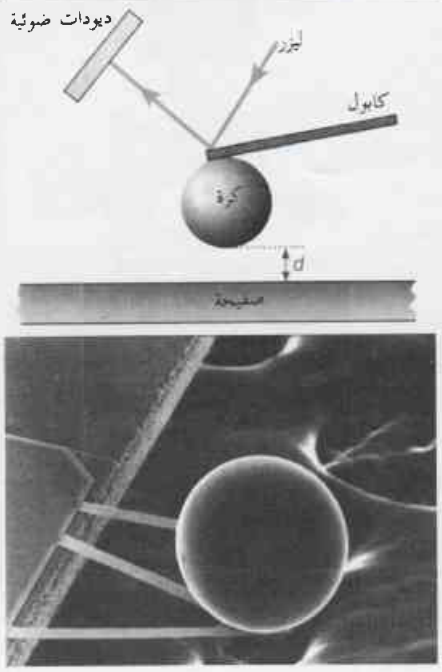
بالرغم من أن اعتماد قوة كازيمير على درجة الحرارة لم يدرس بالتفصيل من الناحية التجريبية إلّا أن ذلك يجب أن يُتضمَّن في حسابات القوة عندما تكون مسافة الفصل أكبر من مكرومتر واحد. عالج العديد من الباحثين هذه المسألة من أجل المرايا العاكسة تماماً بما فيهم ليفشتز وشفنغر في خمسينيات القرن الماضي. كما جرى فحص ذلك أيضاً منذ زمن أكثر حداثة من قِبل ميشيل بورداغ M.Bordag في جامعة لايبزغ، وبوسيرنيليوس B. Sernelius في جامعة لينكوبنغ في السويد، وغالينا كليمتشتسكايا G. Klimchitskaya وفلاديمير موستبانتكو V. Mostepanenko في جامعة بارابا في البرازيل، ومجموعتنا في باريس. وبالفعل كان اعتماد قوة كازيمير على درجة الحرارة قد أثار في زمنٍ ما نقاشاً حاداً بين المجموعات المختصة. يبدو، على أي حال، أن التعارضات المختلفة قد تمّ حلّها في الوقت الحاضر، وهذا ما أعطى دفعاً إضافياً للملاحظات التجريبية عن تأثير درجة الحرارة على قوة كازيمير.

المسألة الثالثة والأخيرة في حساب قوة كازيمير هي أن المرايا الحقيقية ليست ناعمة بشكل كامل. تُصنّع معظم المرايا بطلي الركازة بفلم معدني رقيق باستخدام تقنية "الرش". وعلى أي حال، تعطي هذه الطريقة فلماً خشونته حوالي 50 نانومتراً، وبينما لا تُرى مثل هذه الخشونة في العين المجردة إلّا أنها تؤثر حقاً في قياسات قوة كازيمير التي هي حساسة جداً للتغيرات الصغيرة في المسافة.

استخدم محي الدين ومجموعته في كاليفورنية حالياً تشوهات السطح ليبيّنوا أن في مقدور سطحين أن يكون لهما أيضاً قوة كازيمير جانبية تعمل باتجاهٍ موازٍ - مفضلة ذلك عن الاتجاه العمودي - لسطح المرايا. لقد حضّروا في التجارب مرايا مموجة خصّيصاً، سطوحها منحنية بشكل جيبي ثم قاموا بتحريك المرايا بعد ذلك بصورة موازية بعضها إلى الأخرى بحيث إن قمة مرآة ما مرّت بصورة متتالية على قمم وأغوار المرآة الأخرى. وجد الباحثون أن قوة كازيمير الجانبية تتباين جيبياً مع فرق الطور بين التموّجين. كان حجم القوة أصغر بحوالي عشر مرات من قوة كازيمير العادية بين المرآتين المفصولتين بعضهما عن بعض بالمسافة نفسها. تعود القوة الجانبية أيضاً إلى تأرجحات الخلاء.

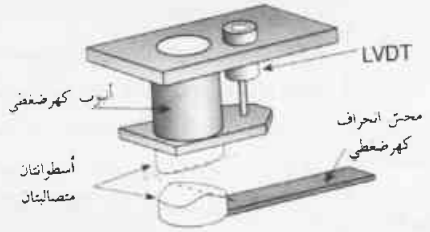
حسَب مهران كادار M. Kadar ومعاونوه في معهد ماساشوتس للتقانة القيمة النظرية للقوة بين مرآتين مُموّجتين عاكستين بشكل كامل، بينما قدّر محي الدين وزملاؤه القوة الجانبية من أجل المرايا المعدنية ووجدوا توافقاً جيداً مع التجربة. يمكن لقوة كازيمير الجانبية فوق ذلك أن يكون لها نتيجة أخرى من أجل الماكينة المكروية.

3. قوة كازيمير تميل الميزان



نقيس هذه التجربة قوة كازيمير بين صفيحة ممعدنة وكرة ممعدنة مثبتة على رأس كابول مجهر القوة الذرّية. عندما تُقرَّب الكرة من الصفيحة تُسبب قوة كازيمير التجاذبية انحناء الكابول. يجري التحكّم بهذا الانحناء بارتداد شعاع ليزر من على رأس الكابول وباستخدام ديودات ضوئية لتسجيل الضوء المنعكس. يبين المخطط المكروي الإلكتروني كرة ممعدنة متصلة برأس كابول مثلثي لمجهر القوة الذرّية.

4. التجاذب الأسطواني



تقيس هذه التجربة قوة كازيمير بين أسطوانتين مطليتين بالذهب متعامدتين. يمكن خفض الأسطوانة العليا باستخدام أنبوب كهرضغطي، الذي يغير شكله عند تطبيق فولطية عليه. الأسطوانة السفلية محمولة على محس انحراف كهرضغطي (يعرف باسم لولب ثنائي الشكل)، يولد شحنة عند تحنيه. عندما تكون الأسطوانتان قريبتين بعضهما من بعض، تسبب قوة كازيمير انجذاب الأسطوانة السفلية إلى الأسطوانة العلوية، وبذلك تحرف اللولب عند العملية. يتحكم محوال الانزياح المتغير خطياً (LVDT) بالتمدد اللاخطي لأنبوب الضغط.

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

فيزياء جديدة؟

يمكن أن يلعب مفعول كازيمير أيضاً دوراً في قياسات دقيقة للقوى تقع مجالات قياسها بين النانومتر والمكرومتر. لقد جرى اختبار قانون التربيعي العكسي في التثاقل لنيوتن Newton مرات عديدة وعند مسافات جهرية بمراقبة حركة الكواكب. ولكن لم يقم أحد بعد ذلك بالتحقق من القانون عند سلالم طول من مرتبة المكرون، بأي دقة كبيرة. هنالك أهمية لمثل هذه الاختبارات لأن كثيراً من النماذج النظرية التي حاولت أن توحّد القوى الأربع الأساسية في الطبيعة قد تنبأت بوجود قوى غير مكتشفة من قبل تعمل عند مثل هذه السلالم. إن أي انحراف بين التجربة والنظرية يمكن أن يكون مؤشراً على وجود قوى جديدة. ولا يمكن أن يفتقدها كلّها حتى ولو اتفقت القيمتان: ويجب عندئذ أن تضع القياسات حدوداً جديدة على النظريات الموجودة.

استعمل جينز غوندلش J. Gundlach وزملاؤه مثلاً في واشنطن نواس الفتل لتعيين قوة التثاقل بين كتلتي اختبار مفصولتين بعضهما عن بعض بمسافة 10 ملّيمتر وحتى 220 مكرومتراً. أثبتت قياساتهم أن التثاقل النيوتوني يعمل في هذه المنطقة ولكن قوة كازيمير تسود عند المسافات الأقصر. وفي غضون ذلك جَرّب جوشو لونغ J. Long وجون برايس J. Price وزملاؤهم في جامعة كولورادو – مع إفرام فيشباخ E. Fischbach ومعاونيه من جامعة بوردو Purdue – حذف مفعول كازيمير كلياً من اختبارات التثاقل تحت الملّيمترية وذلك باختيارهم بعناية المواد المستعملة في التجربة.

يقدم هذا المقال فقط نكهة مميزة للتجارب العديدة وللدراسات النظرية عن مفعول كازيمير. هنالك العديد من التطورات المثيرة حول هذا الموضوع أيضاً. فمثلاً هنالك العديد من المجموعات التي تبحث عمّا سيحصل إذا كان التآثر بين المرآتين متوسطاً ليس بحقل كهرطيسي – مكوّن من بوزونات لا كتلة لها – بل بحقول من فرميونات لها كتلة، مثل الكواركات أو النترينوات. وفي الوقت نفسه تَدرُس مجموعات أخرى مفعول كازيمير بطبولوجيات مختلفة مثل شرائط موبيُس Möbius وأجسام ذات أشكال سوارية.

وبالرغم من الجهود المكثّفة التي يبذلها الباحثون في هذا الحقل من الدراسة، لا يزال هنالك العديد من المسائل عن مفعول كازيمير لم تُحلّ بعد، وبخاصة السؤال الذي على ما يبدو بسيطاً عن قوة كازيمير داخل كرة مجوفة مفردة، وهو الموضوع الذي لا يزال النقاش حوله قائماً. لم يتم التأكد حتى الآن فيما إذا كانت القوة فيها تجاذبية أم تدافعية. لقد فكّر هندريك كازيمير نفسه في هذه المسألة منذ عام 1953 عند بحثه عن نموذج مستقر للإلكترون. وبعد مرور نصف قرن، فإن الغموض الذي يلّف قوة كازيمير لا يزال قابلاً لأن يشغلنا ويجعلنا نفكر لعدة سنوات قادمة.■

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

الفيزيائيون يستعيدون صورة تشكل الكون في لحظاته الأولى بُعيد الانفجار العظيم*

م. غولين
أستاذ الفيزياء - مدرسة البوليتكنيك - باريس - فرنسة

ملخص

هل يُمكننا تسخين المادة بصورة كافية لنحرّر منها المكوّنات الأكثر أوّلية المُحبسة في جسيمات مركّبة بعد بضع لحظات فقط من نشوء الكون؟ لقد توصّل فيزيائيون إلى هذا الأمر بعد جهود دامت نحو عشرين سنة.

الكلمات المفتاحية: الانفجار العظيم، الكون الابتدائي، المادة، الجسيم، الكوارك، المصادم.

في 10 شباط من عام 2000 كان المختبر الأوروبي لفيزياء الجسيمات (سيرن CERN)، المُقام على الحدود الفرنسية السويسرية بالقرب من جنيف، يُعلن للصحافة بعد خمس عشرة سنة من البحث أنّه تمّ إيضاح حالة للمادّة لم تُلاحظ مطلقاً ألا وهي بلازما من الكواركات والغلوونات، مزيج مضطرب من الجُسيمات الأولية. ففي خمس عشرة سنة، نكون هكذا قد عدنا من حيث الزمن إلى ما قبل اثني عشر مليار سنة. حيث كانت بلازما من الكواركات والغلوونات تحتل فعلاً حجم الكون كله بعد بضعة أجزاء من مليون جزء من الثانية من حدوث "الانفجار العظيم Big Bang" (الشكل 1).

لم يكن تاريخ إعلان مختبر فيزياء الجسيمات بدون أهمية. فقد سبق بأربعة أشهر وضع الولايات المتحدة المسرّع الجديد "ريك RHIC" (مصادم الأيونات الثقيلة النسبوية Collisionneur d'ions lourds relativistes) في الخدمة المخصّص بكلّيته لاكتشاف ودراسة الكواركات والغلوونات. وأقل ما يمكن قوله أنّ إعلان "سيرن" للصحافة لم ينل الإجماع بين فرقاء الفيزيائيين المُشاركين منذ نحو اثنتي عشرة سنة في تصميم وبناء المصادم "ريك". بالطبع، إنّ قراءة متأنية للنص تكشف عن حكمة ما في اختيار الكلمات. فالكلمة "اكتشاف" لم تُذكر على الإطلاق في نص الإعلان: إذ تُرك الباب مفتوحاً لفيزيائيي "ريك" الذين يطمحون إلى المطالبة "باكتشاف مشترك" محتمل للبلازما الأوّلية. ولكن "سيرن" رغب في أن يتحقّق من أنّ هنالك حقاً مُشاركة في هذا الاكتشاف، وأنه سوف لن يغفل عن ذلك.

تأثير الإعلان

في فيزياء الطاقات العالية، إنّ هذا الإجراء إلى حدٍّ ما يكون اعتيادياً. فمع مشاريع تمتد عشرات السنين، تتطلّب هذه الفيزياء إدارة مُعينة للوقت ولتأثيرات الإعلان التي يصفها البعض أحياناً بالمفرطة. وتستند هذه الإعلانات دوماً إلى "مستوى من الثقة" مُقيّم من الناحية الرياضياتية، ولكن الحدود بين التأكيد والتخمين يمكن أن تكون، في بعض الحالات ومن أجل زمن معيّن، غامضة. والتحقّق من النتائج، عند تمديد مدة التجارب أو مع تجارب جديدة كان قد حمل معه دائماً جواباً واضحاً ونهائياً عن التساؤل حول أبوية الاكتشاف. في حالة بلازما الكواركات والغلوونات، يمكننا أن نؤكّد، بعد سنتين ونصف، أنّ إعلان "سيرن" مبرّر تماماً نظراً لكمّية ونوعية وأصالة النتائج المتحصّلة. ومع ذلك، فإنّ برنامج "ريك"، الذي بدأ لتوّه، لن يكتفي بتأكيد بيانات "سيرن". ففي البداية، هناك تجارب عليها أن توضّح وجود البلازما بطريقة مختلفة، وهذا ما بدأ بالفعل. وبعد ذلك، ومن الآن حتى بضع سنوات، سيسمح "ريك" بتحرّي الكثير من تفصيلات سلوك الكواركات التي هي اللّبِنات النهائية للمادة.

يؤكد تحليل معطيات سيرن، الذي أُجري منذ أكثر من اثنتي عشرة سنة، تشكل بلازما من كواركات وغلوونات

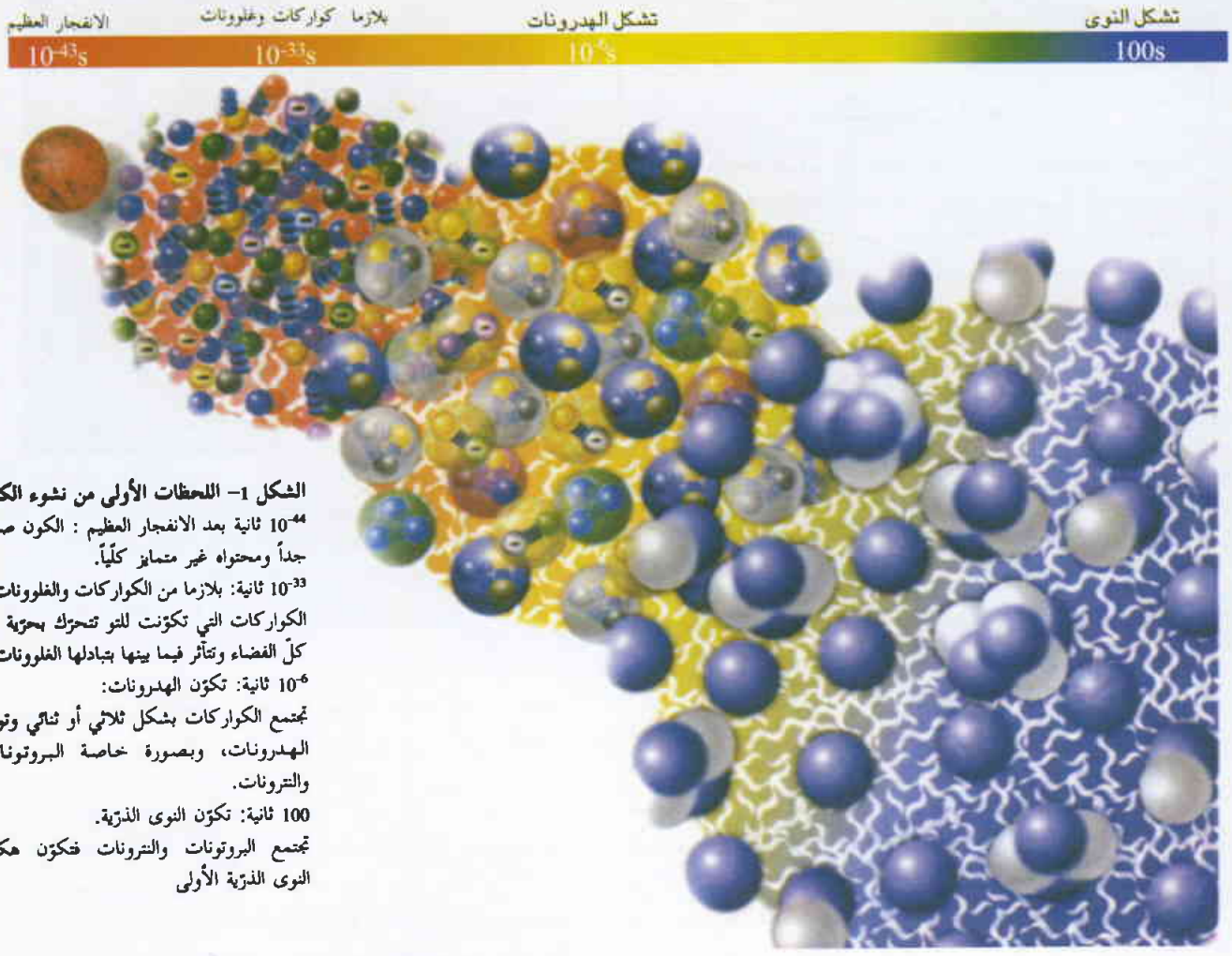
ذرّات مفكّكة

إنّنا نعرف منذ بداية القرن العشرين، أنّ الجسيمات التي نُسمّيها ذرّات لاتتوافق مع التعريف الذي كان يُعلنه ديموقريط في القرن الرابع قبل الميلاد: إذ يمكن أن نُفكّكها إلى مكوّنات أكثر أولية، أي إلى الإلكترونات والنواة. وفيما بعد، اكتشف الفيزيائيون بصورة تدريجية أن النواة نفسها مكوّنة من بروتونات ونترونات، وأنّ البروتونات والنترونات بدورها مكوّنة من كواركات (الشكل 2). وهذه الأخيرة تتجمّع بفضل التأثرات "القوية fortes"، التي تنقلها جسيمات تُدعى غلوونات gluons.

ويبدو أنّ الكواركات والغلوونات هي جسيمات أولية بالفعل، بدون بنية داخلية، مثل الإلكترون. ولكنّها لاتزال غير معروفة تماماً: وعلى عكس البروتونات والنترونات، التي يمكن أن نستخرجها من النوى الذرّية ونلاحظها بصورة منعزلة، فإنّ الكواركات والغلوونات لا توجد بالحالة المنفردة (انظر المؤطّر 1)، فهي تتجمّع غالباً في جُسيمات تُدعى هدرونات hadrons، حيث النترون والبروتون ليسا إلاّ المثالين الأكثر شيوعاً. وإذا نجحنا في طرد كوارك أو غلوون من هدرون، مثلاً عند تصادم عنيف جداً بين البروتونات، فإنّه عندئذٍ يُحيط نفسه مباشرة بكواركات وغلوونات أخرى، تتكوّن بدءاً من تأرجحات التأثر القوي في الخلاء الكمومي (الذي

* نُشير هذا المقال في مجلة *La Recherche*, 357 October 2002. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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



الشكل 1– اللحظات الأولى من نشوء الكون

10^{-44} ثانية بعد الانفجار العظيم : الكون صغير جداً ومحتواه غير متمايز كلّياً.

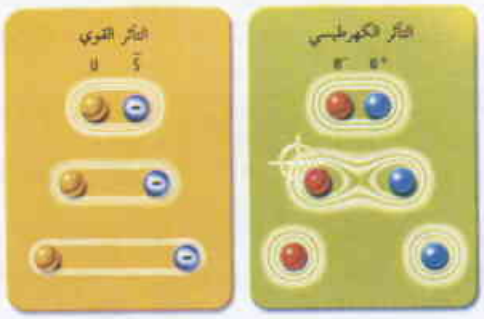
10^{-33} ثانية: بلازما من الكواركات والغلوونات . الكواركات التي تكوّنت للتو تتحرّك بحرّية في كلّ الفضاء وتتأثر فيما بينها بتبادلها الغلوونات .

10^{-6} ثانية: تكوّن الهدرونات:
تجتمع الكواركات بشكل ثلاثي أو ثنائي وتولّد الهدرونات، وبصورة خاصة البروتونات والنترونات.

100 ثانية: تكوّن النوى الذرّية.
تجتمع البروتونات والنترونات فتكوّن هكذا النوى الذرّية الأولى

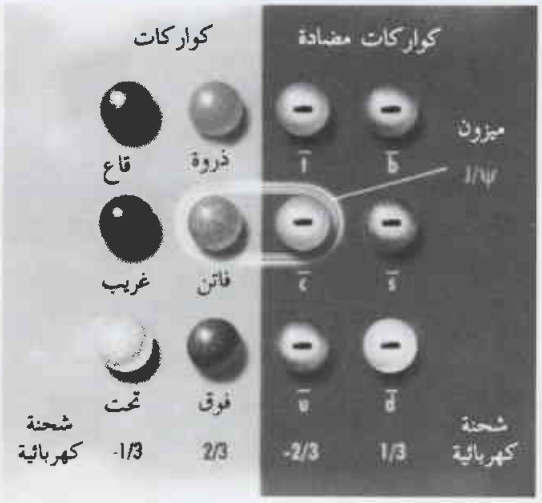
المؤطر 1:

التآثر القوي



تحمل الكواركات، مثل الإلكترونات، شحنات كهربائية فتتجاذب او تتدافع فيما بينها بحسب إشارة هذه الشحنة. ولكنها تحمل أيضاً نوعاً آخر من الشحنات اقل شيوعاً، وهي شحنة اللون، وسُمّيت كذلك لأنها يمكن أن تأخذ ثلاث قيم حيث يكون "مجموعها" الصفر، بل قلّ لاشيء (مثل جمع الألوان الأحمر والأزرق والأصفر الذي يُنتج اللون الأبيض). يتحكّم التآثر القوي بالعلاقات بين شحنات اللون، حيث تُسمّى النظرية، التحريك الكمومي اللوني chromodynamique quantique، يتآثر كواركان بتبادل الغلوونات، التي تحمل أيضاً شحنات اللون. وإحدى خاصيات التآثر القوي هي ضعفه الشديد على مسافة قصيرة. فهو يربط كواركين على طريقة "مطّاطة élastique"، فهي رخوة وغير فعّالة عندما يكون الكواركان متقاربين (في الأعلى)، ونشعر بوجودها أكثر فأكثر بمقدار ما نحاول أن نباعدهما (في الأسفل). وهذا بعكس التآثر الكهرطيسي أو تآثر الثقالة، حيث تختلف الشدة بتابعية مقلوب المسافة بين الجُسيمات. وأحد الرهانات في دراسة بلازما الكواركات والغلوونات هو في فهم زيادة التآثر القوي هذه على مسافات كبيرة.

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



الشكل 2- تتوزّع الكواركات، التي يبلغ عددها ستة كواركات، في ثلاث زمر مع الكواركات المضادة الستة: مقابلاتها من المادة المضادة. الكواركان الأخفّ هما الكواركان فوق u وتحت d ويكوّنان المادة العادية: وهما وحدهما يدخلان في تركيب البروتونات والنترونات في ذرّاتنا. ويمكن أن تشكّل المشاركة بين كوارك فاتن c وكواركه المضاد مجسيم J/ψ، الذي درسه بصورة خاصة المتخصصون في بلازما الكواركات والغلوونات.

في الحقيقة لا يكون خالياً على الإطلاق في هذا المستوى). ونتيجة لذلك، لايمكننا أبداً أن نلاحظ مباشرة كواركاً منفرداً أو غلووناً في مكشاف المختبر.

ومع ذلك، فإنّ النظرية التي تأخذ بالحسبان هذه التآثرات القوية بين الكواركات والغلوونات تتنبأ أيضاً أنّه في درجات عالية جداً من الحرارة (نحو 100 ألف مرة أكبر من درجة الحرارة الأعظمية لشمسنا)، ستجد هذه الجسيمات حُريتها من جديد. وهذا الوجود هو صحيح لأنّه بعد بضعة أجزاء من مليون جزء من الثانية من نشوء الكون، كانت الكواركات والغلوونات قد تآثرت بحُرّية فيما بينها، بدون إجهاد أكبر مما تكون عليه كرات البلياردو التي تتصادم. فهذه الجُسيمات كانت أيضاً حرّة في أن تتحرّك في حجم ذي كبر غير محدود بالنسبة إلى حجم الهدرونات $10^{-45}m^3$، حيث أدّى تبريد كوننا إلى حبسها بصورة نهائية. والذي حدث تماماً خلال هذه المرحلة من الحرّية كان قد استطاع أن يتحكّم بكلّ التطوّر اللاحق لكوننا، مثلاً إحداث اللاتجانس في توزّع المادة، التي هي مصدر المجرّات والمنظومات النجمية.

الانفجار العظيم المُصغّر

لفهم التآثرات بين الكواركات والغلوونات بصورة أفضل، وفي الوقت نفسه تقديم وصف أفضل للمراحل الأولى لتطوّر الكون، أطلق مختبر "سيرن" في عام 1986 البرنامج التجريبي "لإنتاج بلازما الكواركات والغلوونات". وهذا البرنامج، الذي سُمّي أيضاً الانفجار العظيم المُصغّر، الذي جنّد عدة مئات من الفيزيائيين، استُعدّ له منذ نهاية السبعينيات. وبفضل حلقتي تسريع متعاقبتين، وسنكروترون* وسنكروترون فائق،

المؤطر 2:

بكلمتين فقط

ينتقل الفيزيائيون في الزمن مع مُسرّعات جُسيماتهم. وبفضل عمليات التصادم الشديد جداً بين نوى الرصاص أو الذهب يُعيد الفيزيائيون على مستوى صغير إحداث الحالة التي كان عليها الكون بُعيد تكوّنه ببضعة أجزاء من مليون جزء من الثانية. وتعود الحرارة ثانية إلى نحو ما كانت عليه بحيث تنتقل أولى الجسيمات الأولية، أي الكواركات، بحرّية في الفضاء، فتكوّن بلازما غير متمايزة مع الغلوونات التي هي الجسيمات التي تنقل تآثراتها. فمن المستحيل عليها عادة، في الوقت الحاضر، أن تخرج بصورة منعزلة من الجسيمات المركّبة التي تكون فيها مُحتبسة، وبصورة خاصّة، في البروتونات والنترونات. وهذا التحرّر، مع ذلك، قصير جداً للدرجة أنّ الشواهد غير المباشرة والخفية فقط هي التي تكشفه بعد وقوعه.

أوصل مهندسو وفيزيائيو "سيرن" نوى ذرّية إلى سرعات قريبة من سرعة الضوء وقذفوا بها إلى درايا ثابتة. وبنتيجة التصادم الجبهي بين هذه الأيونات ونوى الدرايا الذرّية كان ينبغي أن تتولّد درجات حرارة مرتفعة جداً في حجم أكبر بصورة واضحة من الحجم الذي تحتلّه الكواركات المحصورة في بروتون أو نترون بحيث تتكوّن البلازما. كانت الدرايا محوطة بمجموعة من المكاشيف التي كانت تسجّل لكلّ تصادم مجموعة الجُسيمات المُنبعثة المستقرّة أو غير المستقرّة، وكذلك أجزاء النوى البدئية التي لم تتآثر أو التي تآثرت بصورة ضعيفة (الشكل 3).

إن لبلازما الكواركات والغلوونات وجوداً قصيراً جداً: فلا نكتشف منها إلّا البقايا بين الجسيمات التي تنتجها.

بدأت التجارب بنوى الأُكسجين والكبريت. وبعد ذلك، بدءاً من عام 1994، استُخدمت نوى ذرّية من الرصاص كقذائف (أثقل بحوالي ست مرّات من نوى الكبريت واثنتي عشرة مرّة من نوى الأكسجين). سمحت هذه الزيادة في الكتلة بإنتاج تصادمات بكثافات من الطاقة أعلى بثلاث أو أربع مرّات من كثافات الطاقة المتحصّل عليها من قبل. فقد سمح تصادم هذه النوى من الرصاص مع درايا من العنصر نفسه بالوصول إلى درجات حرارة أعلى بنحو مئتي مرّة من حرارة نواة ذرّية عادية.

2 000 مليار درجة حرارة

شاركت في هذا البرنامج سبع تجارب، وكانت تستخدم أنواعاً مختلفة من المكاشيف بأحجام مختلفة، وكلّ تجربة كانت تدرس مظاهر مختلفة من إنتاج البلازما الأولية مع بعض الإطناب أحياناً. بيّنت معطيات التجارب السبع أنّ عمليات التصادم بين النوى الذرّية، التي لها عدد من البروتونات والنترونات أعلى أو يساوي عددها في الكبريت، كانت كافية لإنتاج البلازما الأولية. تؤكّد هذه البيانات تجريبياً بعض التنبؤات النظرية

* السنكروترون هو مسرّع جسيمات على شكل دائري يسمح بالحصول على طاقات كبيرة إلى حدٍّ بعيد.

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

لعمليات التآثر القوي، حيث درجات الحرارة الدنيا (نحو 2000 مليار درجة) اللازمة لتحرير الكواركات والغلوونات لتكوين البلازما. إنَّ مدة حياة البلازما الأولية التي ولّدها مختبر "سيرن" (أي 10^{-24}s) كانت مع ذلك أقصر بكثير من مدة حياة البلازما التي وُجدت خلال اللحظات الأولى من كوننا (بضعة أجزاء من مليون جزء من الثانية). وهذه الأخيرة تبرّدت حقاً ببطء أشدّ من المادة المحرّرة التي تمّ توليدها في "سيرن"، لأنَّ حجمها كان أكثر امتداداً، وانتشارها كان أبطأ.

والبرهنة التجريبية على أن هذه الحالة السريعة الزوال قد وُجدت هو شيء مستحيل. فمكاشيفنا ليست، في الواقع، سريعة لدرجة كافية للإمساك بالبلازما قبل أن تتبرّد وتتحوّل إلى مادة ذرّية عادية مؤلّفة من البروتونات، والنترونات وجسيمات أخرى. ففي دفق الجُسيمات المُكتشفة، فقط بعض الشذوذات تكشف أنَّ الكواركات والغلوونات قد تحرّرت خلال وقت قصير، تقريباً مثل المستحاثات المحفوظة بصورة جيدة تقريباً التي تدلّ على وجود أنواع منقرضة من الكائنات الحية.

وعندما ينجح العلماء النظريون في البرهنة على أنَّ إحدى هذه الشذوذات لايمكن أن تجد أصولها في أحداث أخرى، فإنها تكتسب عند ذلك وضعية "بصمة signature" الكواركات والغلوونات. كان ذلك بدقة عمل النظريين، خلال تحضير البرنامج، الذي مفاده تحديد "البصمات" الأكثر تميزاً، بدلالة أداء المسرّعات. لقد جرى تصميم التجارب السبع في جزئه الكبير من الخيارات المنفّذة من بين هذه "البصمات".

الإشعاع الكاشف

إنَّ إحدى البصمات الأكثر أصالة والأقلّ غموضاً هي في إنتاج إشعاع كهرطيسي، ذي طيف مشابه لطيف إشعاع "الجسم الأسود". ففي لغة

هذا المنظر الجوي لمختبر بروكهافن يبيّن معجّل حلقة المسرّع ريك الكبرى (في المستوى الثاني)، حيث يصل طول المحيط إلى 4 كيلومترات.

المؤطر 3:

فيزيائيون فرنسيون في بروكهافن

تميزت السنة الأولى من الألفية الثالثة بالنسبة إلى مختبر "سيرن" بتفكيك مصادم الإلكترونات ومضادات الإلكترونات (البوزيترونات) (Large Electron Positron collider LEP)، الذي كان قيد التشغيل منذ عام 1989، كما أنها تميزت بختام البرنامج المخصص للأيونات الثقيلة. وسيكون خليفة المُصادم LEP مُصادمُ البروتونات الكبير (large hadron collider LHC)، الذي ينبغي استخدامه بدءاً من عام 2007 أو 2008. وفي هذا المصادم، سيتم أيضاً تسريع الأيونات الثقيلة، لدراسة البلازما الأولية بدرجات حرارة عالية جداً بفضل اختبار أليس (A Large Ion Collider Experiment) ALICE). ونظراً إلى نشر برنامج العمليات التقنية في سيرن، قرّرت المعاهد الوطنية المشاركة في بحث البلازما الأولية في فرنسة وألمانية وإيطالية، وبصورة عامة في البلاد الأخرى الأوربية، تركيزَ جهودها حصراً على تحضير برنامج مُصادم البروتونات الكبير LHC وعدم المُشاركة في برنامج "ريك". وجد هذا التوقّف الطويل في أبحاثنا مبرّراً إضافياً في الإعلان الرسمي الذي أعلنه مختبر "سيرن"، في بداية عام 2000، حول تأكيد وجود البلازما الأولية، وهكذا بدا برنامج "ريك" كأنّه محكوم بأنَّ دوره ثانوي. وبينما بدا مصادم البروتونات الكبير LHC على أنّه الأرضية المهنة القادمة لبحثنا، فإنَّ المعاهد الوطنية قبلت على الأكثر مشاركة "تقنية" في برنامج عبر الأطلسي، بتجربة ستار Star مثلاً، في إطار دراسات "بحث وتطوير المكاشيف" للمصادم LHC.

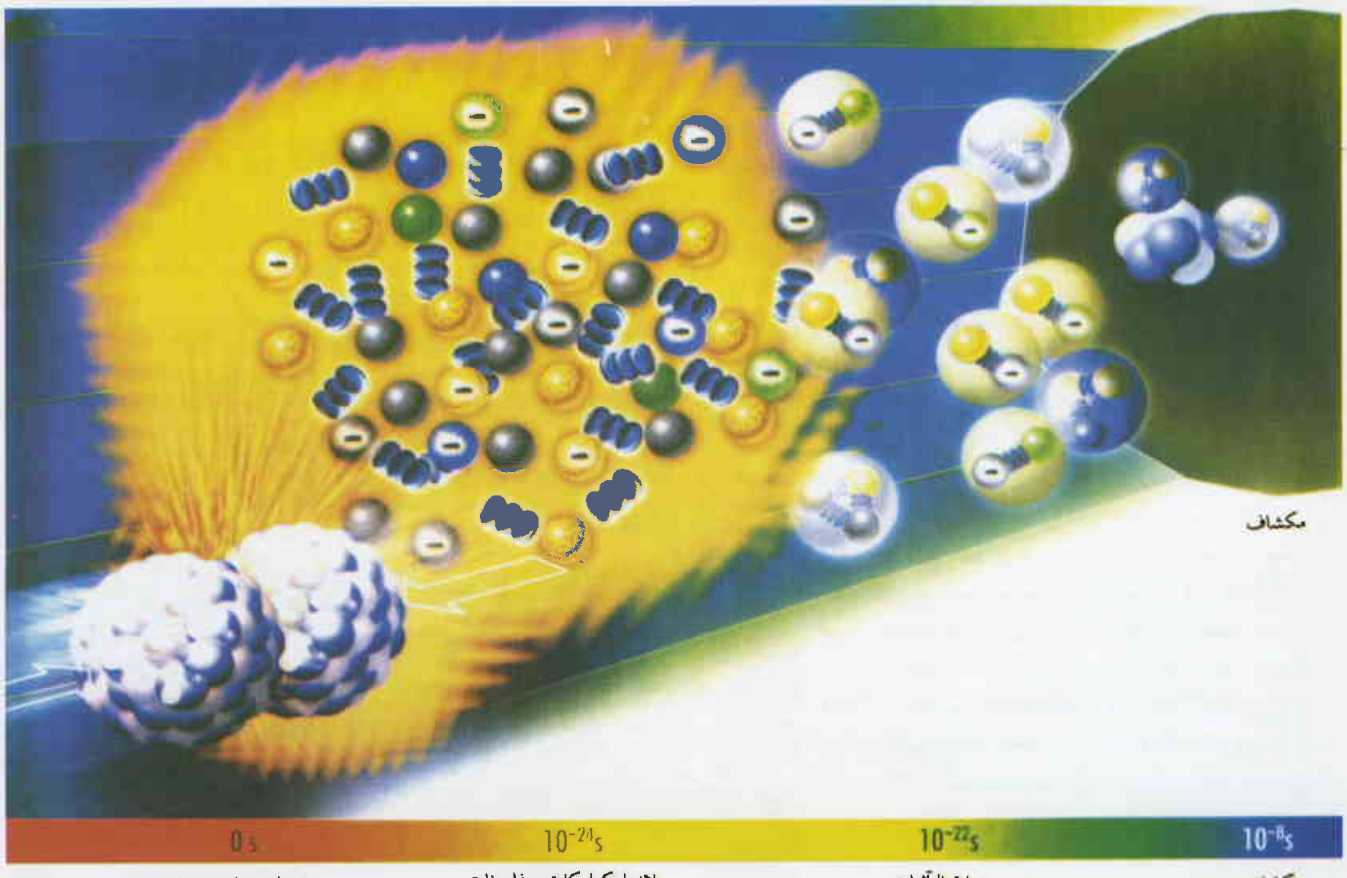
وفي منظور عدم ترك بحث البلازما الأولية بصورة كاملة حتى عام 2008 لزملائنا الأمريكيين، وحتى نقيم استمرارية بين برامج البحث المختلفة، اقترح، في عام 1999، بعضُ الفيزيائيين الفرنسيين من المعهد الوطني للفيزياء النووية وفيزياء الجسيمات ومفوضية الطاقة الذرية الفرنسية أن تُؤخذ بالحسبان مشاركة جدّية في مشروع "ريك". إنَّ إدارة المشاريع الكبرى، مثل تحضير تجارب المصادم المستقبلي LHC، تتطلّب تنظيماً علمياً مُعيناً، ولكن هذا لاينبغي أن تُستبعد منه المرونة. ففي وقت قصير، تألفت مجموعة فرنسية لحلقة مصادم الأيونات الثقيلة في بروكهافن. والحقيقة أنَّ فيزياء الطاقات العليا التي تُدار بمساعدة مجالس اللجان العلمية قد سهّلت هذا المسعى. وهذه اللجان، المؤلّفة من شخصيات علمية، تعمل بصورة "متعاقبة" في مستوى المختبرات الوطنية، والمعاهد والمختبرات العالمية. فهي تضمن، من جهة، ضبط جودة البرامج المقترحة، ومن جهة أخرى، تبادل الأفكار والمشاريع الأساسية (أي الفيزيائيين) في إدارة معاهدنا ومراكز أبحاثنا. وبعد الحصول على الضوء الأخضر، التحقت مجموعة من ثلاثين فيزيائياً ومهندساً فرنسياً ببرنامج البحث في بروكهافن. ولم تُتح لزملائنا من البلدان الأوربية الأخرى هذه الفرصة. فالمشاركة الإيطالية والألمانية، مثلاً، معدومة أو قليلة جداً في المصادم "ريك".

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

الفيزيائيين، الجسم الأسود هو جسم يعيد إصدار كلّ الطاقة التي يمتصها. وطيف هذا الإشعاع لايعتمد إلّا على درجة حرارته. وبصورة خاصة، إنّ قياس التواتر الموافق للشدّة الأعظمية يسمح بحساب درجة حرارة الجسم الأسود. ففي البلازما، تُصدر الكواركات والغلوونات هذا الإشعاع عند تصادمها، على شكل فوتونات حيث طاقتها كبيرة لدرجة فلا يمكن أن تنتج عند تبرّد البلازما اللاحق، وأنّ امتصاص الهدرونات لها قليل جداً. كشفت التجربة WA98 في الواقع عن قرائن مهمّة لإشعاع من نمط "الجسم الأسود" للتصادمات الأشدّ بين نوى الرصاص [1]. ومع مقارنة طاقة هذه الفوتونات بالتنبؤات النظرية، يتبيّن أنّه تمّ إصدارها بدرجة حرارة أعلى من درجة الحرارة الحرجة لتشكيل البلازما الأولية، وهكذا فهي لاتُشير فقط إلى تلك التي تشكّلت وإنّما أيضاً تشير إلى أنّها سُخّنت.

وتمّت البرهنة أيضاً على تكوّن البلازما المسخّنة هذه ببصمة أخرى لوحظت تجريبياً في مختبر "سيرن": إنّ انخفاض إنتاج الجسيمات J/ψ (انظر المؤطّر 4: "أسمان للجسيم J/ψ") حين تصادمات النوى [2]. يتكوّن الجسيم J/ψ من كواركين، من نوع كوارك c (فاتن) ومضاد كوارك c، اللذين يتمتعان ببعض الطاقة. ولدى الجسيمات J/ψ احتمال ضعيف جداً (من مرتبة جزء من عشرة آلاف جزء) في أن تتكوّن في تصادم بين النوى، لأنّ كتلتها أكبر بثلاث مرّات من كتلة البروتونات، وخاصّة أنها أكبر بعشرين مرّة من كتلة أزواج الكواركات الأخرى التي تتكوّن عند عمليات التصادم. ولكن هذا الاحتمال ليس معدوماً: إذ نلاحظ بالفعل تكوّن الجسيمات J/ψ. وبالمقابل، إذا تكوّنت بلازما الكواركات والغلوونات، ووصلت إلى درجات حرارة مرتفعة بصورة كافية، فإنّ هذا الاحتمال ينخفض إلى الصفر، لأنّ الاضطراب المتواصل للبلازما يُنتج مفعول الحجب effet d'écran بين هذين الكواركين ويمنعهما من ارتباط أحدهما بالآخر.

مفعول الحجب هو ظاهرة عامة جداً: إنّ قوة التجاذب (أو التدافع) بين جسمين فيزيائيين مشحونين تنخفض بفعل تراكم شحنات بينهما تتحرك بغير انتظام. إنّنا نلاحظه مثلاً بين الذرّات أو الجزيئات المشحونة كهربائياً في المحاليل أو في الجوامد. وكلّ ذلك يجري كما في المشهد النهائي لفِلم "أطفال الجنّة" لمارسيل كارنه. ففي أحد شوارع باريس، يصادف الزوجان، نجما الفِلم، وهما الممثّل الإيمائي بابتيست والشابة الجميلة غارانس، استعراضاً كرنفالياً. يعترض الجمهور غير المنظّم بينهما، وبنتيجة حركات مستمرة، ينفصل الزوجان بصورة نهائية بإبعاد أحدهما عن الآخر رغماً عنه. وإذا استبدلنا كواركين، الكوارك c بجان لويس بارو



الشكل 3– عندما تتصادم نواتان ذرّيتان من الرصاص أو من الذهب في مسرّع بطاقة كافية (على اليسار) فإنّ الكواركات والغلوونات التي تحتوي عليها البروتونات والنترونات ستتحرّر ثانية خلال بضعة أجزاء من مليار مليار مليون جزء من الثانية (في الوسط). تكون هذه الحالة قصيرة جداً لدرجة لايمكن كشفها مباشرة: تسمح فقط القياسات الدقيقة لطبيعة وتوزّع الجسيمات الناتجة من التصادم (على اليمين) بتحديد فيما إذا تكوّنت بلازما أم لا (بتجاهل هذا الشكل التأثيرات النسبوية؛ تظهر النوى في طاقات عالية جداً كأقراص رقيقة جداً).

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

المؤطر 4:

اسمان للجسيم J/ψ

اجتمع، في 11 تشرين الثاني عام 1974، بورتون ريختر B.Richter، من مسرّع ستانفورد الخطّي، وصاموئيل تينغ S.Ting، من مختبر بروكهافن الأمريكي؛ لمقارنة نتائج أبحاثهما الأخيرة. عمل الفريقان بإدارتهما بصورة مستقلة للبرهنة على وجود الكوارك الفاتن c، الذي تنبأ العلماء النظريون بوجوده، ولكنه لم يُلاحظ مطلقاً. فقد كشف كلا الفريقين آثار جسيم جديد. فقد أطلق ريختر وفريقه عليه اسم بسي psi (ψ)، في حين أطلق تينغ وزملاؤه على ما اكتشفوه اسم J. وبسرعة، لاحظوا أنّ ψ و J هما شيء واحد، كوارك c مرتبط بمضاد الكوارك c. وبعد قليل، نشروا بحثين الواحد بعد الآخر في مجلة Physical Review Letters [5].

شاءت المصادفة من حيث الترتيب الهجائي أن يكون الاسمان الأوّلان من المشاركين في هذين البحثين لفرنسيين اثنين أسهما في التجارب، وهما جان جاك أوبر J.J. Aubert وجان أود أوغوستان J-E. Augustin. ولكن ريختر وتينغ هما اللذان نالا بعد عامين، وذلك في عام 1976، مناصفة جائزة نوبل في الفيزياء لهذا الاكتشاف.

ومضاد الكوارك c بأرليتي وبلازما الكواركات والغلوونات بالجمهور، نلاحظ، بمفعول الحجب، انعدام التأثرات القوية والكهرطيسية بين الكواركين: فالزوجان ينفصلان ولا يتحوّلان إلى جسيم J/ψ. يتطلّب الحجب الكامل للتأثر الكهرطيسي بين كواركين، الكوارك c ومضاد الكوارك c، درجة حرارة أعلى بحوالي 1.2 مرّة أعلى من درجة الحرارة الحرجة اللازمة لتشكيل البلازما.

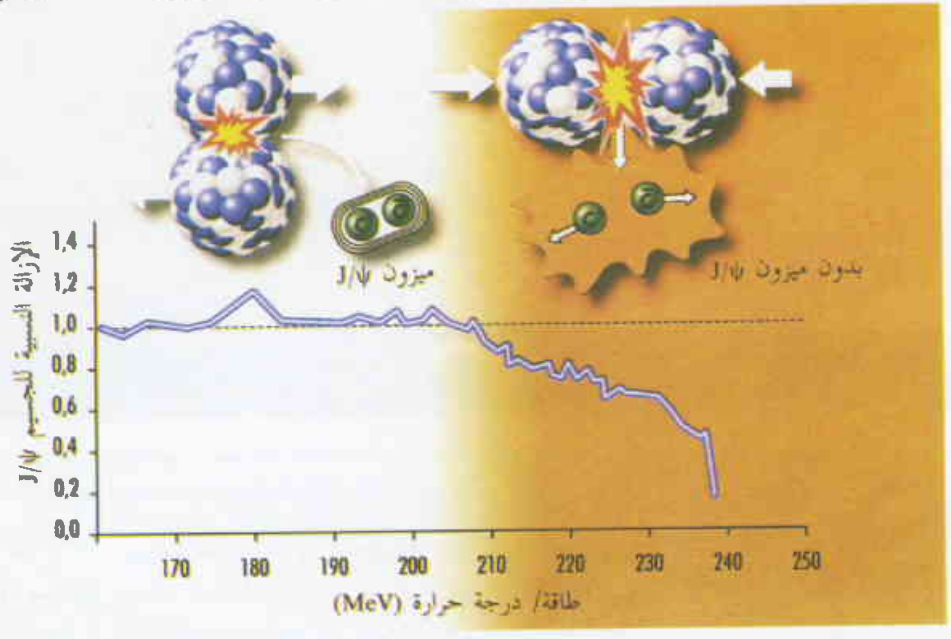
الحاجب المميّز

يؤدّي مفعول الحجب هذا، طبعاً، إلى انفصال كلّ الأزواج من الكواركات التي ربّما تكون قد تكوّنت عند عملية التصادم، مهما كان نوع الكواركات. ولكن، بالنظر إلى كتلته الكبيرة، فإنّ زوجاً من الكواركين c ومُضاد c ليس بإمكانه أن يتكوّن إلّا في اللحظات الأولى تماماً من التصادم بين النوى الذرّية عندما تكون الطاقة المتاحة هي الأعلى: وعلى نقيض الأزواج الأخرى من الكواركات الأخف، فإنّه لايتكوّن خلال تبرّد بلازما الكواركات والغلوونات. فعدد جسيمات J/ψ الصادرة في تصادم بين النوى بخاصة سريع التأثّر بتكوّن بلازما الكواركات والغلوونات.

لُوحظ حقاً مثل هذا الحذف في عدد جسيمات J/ψ بالتجربة NA50، في تصادم نوى الرصاص، ومن أجل حوادث مميزة بدرجات حرارة أعلى من درجات الحرارة الحرجة للتحرر، لوحظ أنه يتفق تماماً مع التنبؤات النظرية (الشكل 4). تؤكّد هذه النتيجة المثيرة تولّد البلازما الأولية، وتشير إلى أنّ هذا يستمر على الأقل مدة بطول المدة التي فيها يمكن أن تتكوّن الجسيمات J/ψ، أي 3.10^{-24} ثانية.

وأخيراً، لُوحظت أيضاً بصمات أخرى وتمّ قياسها في "سيرن". وهكذا، ازداد إنتاج الكواركات الغريبة s إلى درجة كبيرة. وبالإضافة إلى ذلك، فإنّ النسب بين الغرارات النهائية لأنواع الجسيمات المختلفة المتولّدة في اللحظة التي تتكثّف فيها البلازما إلى هدرونات هي ثابتة في كلّ التجارب، مهما كانت شدة التصادم. ولمّا كانت هذه النسب تعتمد، نظرياً، فقط على كتل الجسيمات وعلى درجة حرارة تكثيف البلازما، فقد قدّرنا هذه الدرجة من الحرارة بقياس هذه النسب لأكثر من عشرين جُسيماً بكتلٍ مختلفة. أعطت كلّ التقديرات النتيجة نفسها (بتقريب 16%): وهي 2000 مليار درجة تقريباً. وهذا يعني أن غزارة كلّ الجسيمات كانت تعيّنت بالفعل في الدرجة نفسها، التي تتوافق مع الانتقال بين الحصر وإزالته أي التحرر، وهذه القيمة من درجة الحرارة الحرجة تتوافق تماماً مع تنبؤات نظرية التأثرات القوية.

وبعد أربعة أشهر من إعلان "سيرن" في بروكهافن، في لونغ أيلند، بالقرب من نيويورك، كان "ريك" بالخدمة. إنّ هذا المسرّع الجديد، الذي يتكوّن في الواقع من ثلاث حلقات حيث محيط أكبرها 3800م، هو المسرّع الأول الذي تُقذف فيه بأيونات ثقيلة على أيونات مماثلة تدور في



الشكل 4– عند حصول تصادم معتدل الشدة نسبياً (على اليسار) بين نواتين، فإنّ احتمال تكوّن جسيم J/ψ هو احتمال ضعيف ولكن غير معدوم. وبالمقابل، إذا كان التصادم شديداً بصورة كافية حتى تتشكّل بلازما الكواركات والغلوونات (على اليمين)، فإنّ هذا يمنع الكواركات c ومضاد c من التفاعل، كما أنّ كتلة الجسيم J/ψ المتشكّلة تنقص بشدة قبل أن تزول بكاملها عندما تصل البلازما المتشكّلة إلى درجات حرارة مرتفعة بصورة كافية (1 مليون إلكترون فولط = 1MeV).

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

المؤطر 5:

بلازما أحفورية في النجوم ؟

هل قاومت، في بعض المواضع، بلازما الكواركات والغلوونات، التي كانت تملأ الكون بعد الانفجار العظيم لمدة بضعة أجزاء من مليون جزء من الثانية، اختبار الزمن؟ هذا ما أثاره في عام 1984 إدوارد ويتن E. Witten من معهد بريستون للدراسات المتقدّمة. فقد حسب بالفعل أنّه في بعض الشروط من درجات الحرارة والكثافة بإمكان بلازما الكواركات u، و d، و s أن تكون أكثر استقراراً من المادة النووية العادية [6]. فعندما أخذت البلازما الأولية بالتبرّد الذي أدى إلى تكاثف الكواركات في الهدرونات، ربّما استمرت جزيرات صغيرة مكوّنة نجوماً تتصف بالغرابة بسبب التركيز القوي بالكواركات s الغريبة.

بالطبع، حاول علماء الفلك منذ ذلك الحين، تعرّف هذه النجوم. فقد تمّ الإعلان عن آخر اثنين منها RXJ1863.5-3754 و 3C58 في ربيع عام 2002 بدءاً من ملاحظات تمّت بالساتل شندرا في مجال الأشعة السينية. ومع الأسف، إن النجوم الغريبة تشابه كثيراً من الناحية النظرية النجوم بالنترونات. وبصورة خاصة، يتحدّد الإشعاع الكهرطيسي الصادر عن النجم الغريب في جزئه الأكبر بقشرة المادة العادية التي تغطيه. وقد تسمح فقط بعض الاختلافات في درجات الحرارة أو في الحجم أو في دينامية الدوران بتعرّفه. وأخيراً، وحتى البرهان على غرابة نجم قد لايكفي لإثبات قِدمه ، فقد اقترحت أيضاً عدة آليات فيزيائية لتكوّن النجوم الغريبة بدءاً من النجوم بالنترونات.

في لب النجم 3C58، بقايا مستعر فائق شاهده علماء فلك صينيون وهو ينفجرعام 1181، استقبل الساتل الأمريكي شندرا إصدار أشعة X لنجم صغير جداً فليس، إذاً، نجماً ذا نترونات. هل يحتمل أن يكون بقايا لبلازما أولية من الكواركات والغلوونات؟

اتجاه معاكس. ويسمح هذا النمط من التشغيل وهو نمط المصادم للفيزيائيين بالوصول إلى درجات حرارة أعلى مما هي عليه في المختبر "سيرن"، وبالتالي إنتاج بلازما كواركات وغلوونات أكثر تواتراً واستقراراً. وستسمح هذه الشروط الجديدة في المهلة الأولى بتأكيد نتائج "سيرن"، وفيما بعد دراسة خواص هذه الحالة للمادة المتحررة، وكذلك آليات حبس الكواركات في الجُسيمات، غير معروفة الآن: إنّنا لا نعرف بصورة جيدة التآثر القوي إلّا عندما يكون "ضعيفاً" نسبياً، أي على مسافة قصيرة في الهدرونات!

يجب أن ينتهي الطور الأول من البرنامج خلال أربع أو خمس سنوات من الآن. وقد أقيمت أربع "تجارب" على "ريك" لإنتاج ودراسة "تحرير" الكواركات والغلوونات. وهذه التجارب تتصل مع أربع مجموعات من المكاشيف ونحو 1100 فيزيائي وعدد كبير من المهندسين وزعوا في جماعات متعاونة: اثنتين رئيستين، فنيكس Phenix وستار Star واثنتين أصغر، براهمس Brahms وفوبوس Phobos.

تأكيد عام

سمح "ريك" منذ السنة الأولى من تشغيله بجمع بعض النتائج، ولكن لم يتوصّل المسرّع إلى طاقته العظمى إلّا خلال استلام المعطيات المنفّذة في عام 2001. وبصورة عامة، تؤكّد النتائج الأولى بعض النتائج التي تمّ الحصول عليها في "سيرن": زيادة كبيرة في إنتاج جسيمات تحوي كواركات من النوع s ونسب الغزارة الثابتة لأنواع الجسيمات المختلفة المنتجة خلال تبريد البلازما الأوّلية.

ومع ذلك أعطت هذه الحملة الأولى من القياسات في "ريك" نتائج أكثر إثارة، مثلاً ملاحظة بصمة يصعب الوصول إليها بلا شك في "سيرن": إزالة نفثات jets الجسيمات [3]. ففي تصادم بين بروتونين، يمكن أن تطرد بعض الكواركات من الحيّز الذي يحتله الجسيمان.

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

وبحسب مبدأ "الحصر confinement" للتأثرات القوية، يجب أن "تكتسي قبل خروجها" بالغلوونات والكواركات الأخرى. ففي الطاقات العالية جداً ينتج إكساء أحد الكواركات زُمرة من الجسيمات كثيرة العدد جداً يمكن كشفها في منطقة محدّدة جيداً من الفضاء، مخروط، يُلبس بنفث. إنّ ملاحظة هذه" النفثات " كوّنت بحدّ ذاتها في السبعينيات برهاناً تجريبياً على وجود الكواركات (الشكل 5).

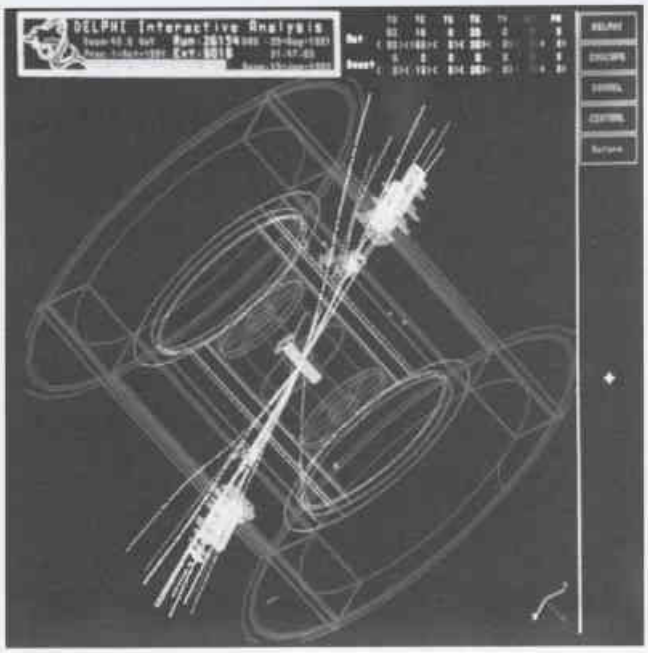
نفثات مُخمَّدة

في البلازما الأولية ، يصعب جداً على كوارك أو غلوون أن يخرج بطاقة كبيرة جداً، لأنّه يتخلّى قبل ذلك عن جزء كبير منها إلى الوسط اللامحصور. وعند ذلك يكون إكساؤه بسيطاً. ونتيجة لذلك، بالمقارنة بتصادم البروتونات بعضها مع بعض، من الواجب لتوليد البلازما الأولية، في تصادم بين النوى، إلغاء إنتاج نفثات الجسيمات. لُوحظت بصمة البلازما الأولية هذه لأول مرّة في "ريك" بتجارب فنيكس وستار فأدّت إلى نشرات علمية متعدّدة: كلّما ازدادت شدة التصادمات ازدادت ندرة النفثات. يجب أن تُدرس هذه البصمة بدلالة درجات الحرارة التي يتم التوصل إليها في التصادمات بين النوى [4].

إنّ تواتر تصادمات النوى ليس إلّا 10% من قيمته الأعظمية، التي يجب أن يبلغها في عام 2003. وعندها سيتمكّن الفيزيائيون من استئناف دراسات مفاعيل الحجب في إنتاج الجُسيمات النادرة مثل الجسيم J/ψ. وتُنتظر النتائج الأولى في عام 2004. فالطور الأوّل لاستثمار "ريك" ستنتهي في عام 2006 مع تحليل المُعطيات حول الاشعاع الكهرطيسي الذي تُصدره البلازما الأولية في الدرجات العالية من الحرارة، ومفاعيل الحجب في إنتاج بعض الجُسيمات الأكثر ندرة من الجسيم J/ψ والأثقل منه التي يتعذر بلوغها في "سيرن". إنّ المقصود هو جُسيمات أوبسيلون Upsilon المكوّنة من كواركين من نوع b ومضاد b. ومع زيادة جديدة بعامل 40 في تواتر التصادمات يستطيع الفيزيائيون أن يبدؤوا باستكشاف، بواسطة "ريك" في بروكهافن، والمصادم LHC في "سيرن" بجنيف فيما بعد (انظر المؤطر 3 فيزيائيون فرنسيون في بروكهافن)، الخواص الفيزيائية لهذه الحالة الغريبة والقديمة جداً. وعند ذلك لا بدّ أن يبدأ برفع جزء من الستار حول انحباس الكواركات والغلوونات.

البصمات الرئيسة لبلازما الكواركات والغلوونات		
بصمات	ملاحظة في "سيرن"	مؤكّدة في "ريك"
فوتونات حرارية	قد تلاحظ	لم تؤكّد بعد
إزالة الجسيمات J/ψ	لُوحظت	لم تؤكّد بعد
إزالة النفثات	لم تُلاحَظ	تأكّدت
زيادة في الجسيمات الغريبة	لوحظت	تأكّدت
غزارة ثابتة للجسيمات	لوحظت	تأكّدت

إن البصمات الأكثر أهمية لبلازما من الكواركات والغلوونات التي تمّت ملاحظتها في تجارب "سيرن" لم تتأكّد كلّها في "ريك" . وبالمقابل، سمحت تجارب "فنيكس" و"ستار" المقامة على هذا المسرّع بملاحظة إزالة النفثات التي تعذّر بلوغها في مختبر "سيرن".



الشكل 5– إن نفثتي الجسيمات اللتين تندفعان الواحدة مقابل الآخرة تَفْضَحُ انقداف كوارك ومضاد الكوارك بعد عملية تصادم إلكترون وجسيمه المضاد في هذه التجربة التي نفّذها مختبر "سيرن" في عام 1991. نلاحظ أيضاً مثل هذه النفثات عند تصادم النوى الذرّية، إلّا أننا لانلاحظها عندما تتكوّن بلازما من كواركات وغلوونات.

المراجع

REFERENCES

[1] M.M.Aggarwal et al. Phys. Rev. Lett., 85, 3595, 2000.

[2] NA50 Collaboration, Physics Letters B, 477, 28, 2000.

[3] K.Adcox et al. Phys. Rev. Lett. 88, 022301, 2002.

[4] C.Adler et al. nud-ex/0206011, arXiv. org. 2002.

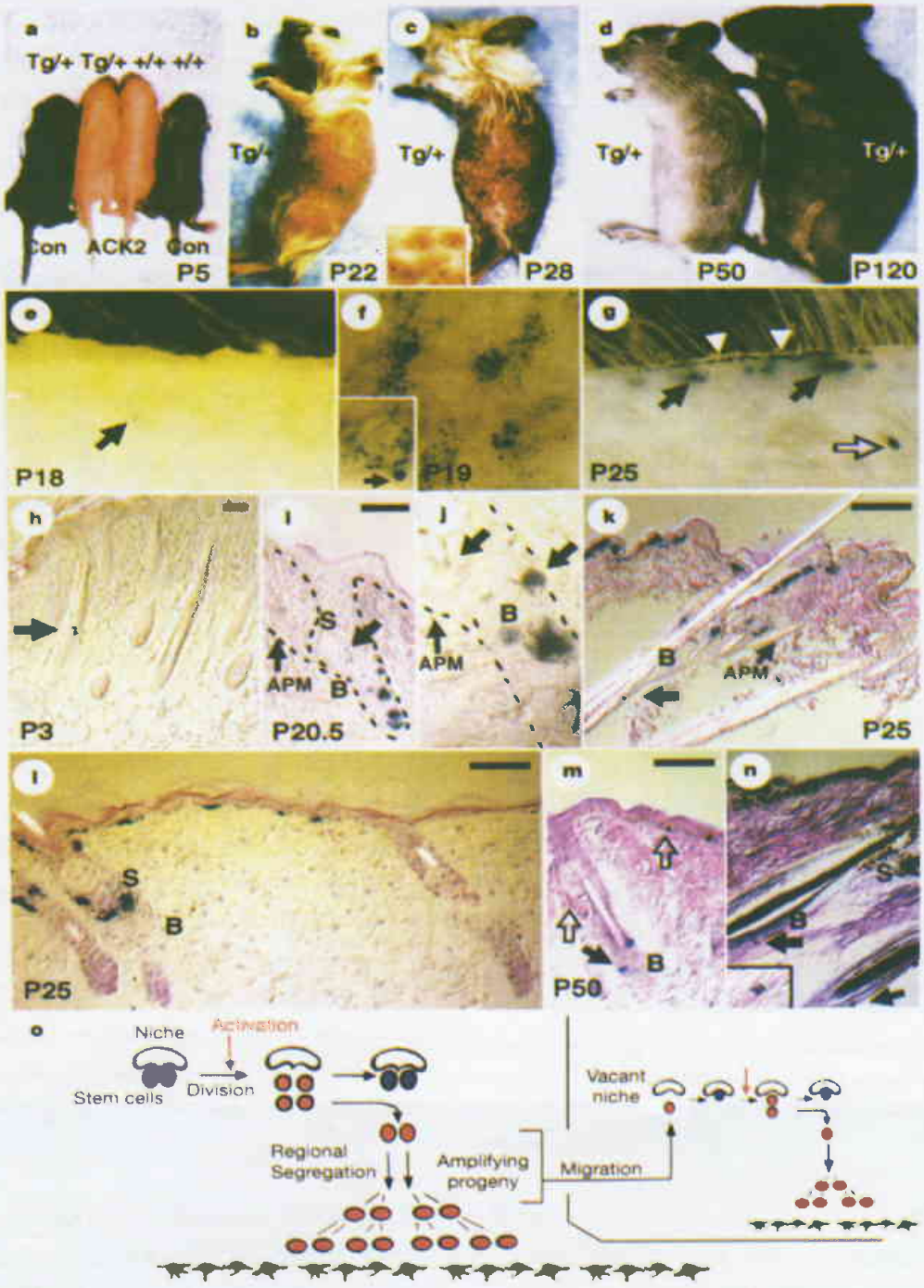
[5] J.- J. Aubert et al. Phys. Rev. Lett., 33, 1404, 1974.; J.E. Augustin et al. Phys. Rev. Lett. 33, 1406, 1974.

[6] E. Witten, Phys, Rev, D, 30, 272, 1984.■

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

أخبار علميّة

ترقبوا في العدد الخاص (الخلايا الجذعية)



استخدام الفئران المحوَّرة وراثياً في الكشف عن الخلايا الجذعية الصباغيّة التي تؤدي الى عودة اصطباغ بَشرة وشعر هذه الفئران

1- بزوغ فجر إلكترونيات الكربون؟*

يشكّل الكربون النقي بصورة طبيعية نوعين بلّوريين مختلفين هما: الماس، حيث تكون كل الروابط بين ذرّات الكربون هي ذاتها، والغرافيت حيث الروابط بين ذرّات الكربون على نوعين مختلفين. ولمّا كان الماس هو الشكل ذو الطاقة الأعلى بين النوعين البلّوريين، فإن وجوده في الطبيعة يكون نادراً إذا ما قورن مع النوع الثاني وهو الغرافيت. وبالمقابل، فإن البنية البلّورية للشكل الأقل طاقة للعناصر ذات الصلة بالكربون مثل السليكون (Si) والجرمانيوم (Ge) شبيهة بالماس، مع عدم وجود شكلٍ شبيه بالغرافيت في الطبيعة.

إن خاصية الطبيعة التي جعلت الغرافيت الشكلَ الأقل طاقة للكربون هو السبب الرئيس الذي منع من استخدامه في النبائط الإلكترونية، على خلاف كبير مع جاره Si في الجدول الدوري للعناصر. ويأمل تقرير لإيسبرغ Isberg وزملائه أن الوقت قد حان من أجل إلكترونيات الماس [1].

ينبغي للمادة المناسبة للنبيطة الإلكترونية أن لا تنقل التيار الكهربائي في درجة حرارة الغرفة وهي في حالتها النقية. ومع ذلك، من الممكن أن تُوالف ناقليتُها بصورة قابلة للتحكم بها بإضافة كميات قليلة من ذرّات شائبة (تطعيم) إليها. تُصنَّف هذه المواد تحت اسم "أنصاف النواقل".

ينقل الغرافيت الكهرباء في درجة حرارة الغرفة. وبالمقابل، فإن الماس نصف ناقل ذو خواص فيزيائية (مثل حقل كهربائي أعظمي، سرعة إشباع، ناقلية حرارية وفرجة عصابية) مما يجعله المادة المثالية للنبائط الإلكترونية [2، 3]. إن العائق الكبير لتحقيق هذه القدرة للماس هو الصعوبة في اصطناعه بشكل نقي وكامل بصورة كافية من أجل الإلكترونيات.

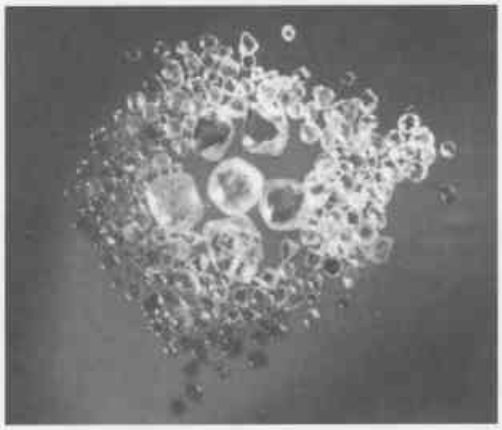
هنالك في الماس الطبيعي (انظر الشكل) الكثير جداً من العيوب والشوائب لاستخدامه كنصف ناقل، بغض النظر عن سعره الناجم عن ندرة وجوده. فالمواد نصف الناقلة والمصنعة فقط هي التي تملك الجودة المناسبة التي تتطلبها الإلكترونيات. تحوي رقائق Si البلّورية المستخدمة في الإلكترونيات كثافات شوائب وعيوب بلّورية أقل من الكثافة الذرّية بعامل يبلغ من 10^{-11} إلى 10^{-12}. إن Si هو من حيث المرتبة الإلكترونية أنقى الكتل المادية المعروفة.

نُشِر أول تركيب صنعي للماس عام 1955 [4]. وقد تمّ إنجازه بتعريض الغرافيت إلى ضغط وحرارة عاليين (HPHT) بوجود حفّاز من معدن انتقالي. وتعتبر هذه الطريقة حالياً العملية الصناعية المعيارية. إنها تعطي ماساً تبلغ أبعاده ما دون المكرومتر إلى ما دون الملّيمتر تستخدم كحبيبة كاشطة في التطبيقات الميكانيكية مثل الصقل أو التلميع. تستغلّ هذه التطبيقات القساوة العالية جداً والعطالة الكيميائية للماس. ولكن حتى الآن فإن الشوائب والعيوب في الماس HPHT - المصنّع وحجم حباته الصغير تحول دون استخدامه في الإلكترونيات.

هدفت طرائق أخرى بديلة لتصنيع الماس من الطور الغازي [5، 6]. الطريقة العملية الأولى لترسيب الماس من الطور الغازي استخدمت بلازما الهدروكربون [7]. آذنت هذه الدراسة بتفجير فعالية بحوث هدفت إلى استثمار خواص الماس في النبائط الإلكترونية [8].

على أي حال، الماس المترسب من البلازما ليس بلّورة أحادية. إنه مؤلف من عدة حبيبات بلّورية أحادية قطر الواحدة يتراوح من 1 إلى 10 مكرومتر وهي ذات توجهات متباينة. يكون الماس المترسب من البلازما متعدد التبلور عندما يُنمّى على مادة ركازة غير كربونية عالية النقاوة، وعادة ما تكون رقاقة من Si. أُنجِز بعض النجاح بتنمية حبيبات الماس التي لها التوجه نفسه على ركازة مختلفة (β-SiC) وبيّن الفِلم الناتج خواص إلكترونية واعدة [9]. مع العلم بأن تصنيع β-SiC صعب أيضاً، وقد أضعف التقدمَ الشامل عدمُ الحصول على الماس الملائم بالنوعية المتوخاة.

تمّ في السنتين الأخيرتين إيجاد أسس جديدة نحو تفاؤل حذر، فقد أصبح الحصول على ماس HPHT ذي نوعية مرتفعة وبشكل مصقول وبأبعاد تبلغ عدة ملّيمترات متاحاً، وهذا ما يسمح بتشكيل ركازات يمكن لماس فائق النقاوة أن ينمو عليها مع مصدر بلازما هدروكربونية [10]. إن اندماج كلتا الطريقتين من أجل اصطناع ماس صنعي قد قاد إلى إنتاج طبقات ماسٍ وحيدة البلّورة تصل في نوعيتها إلى النوعية التي تتطلبها النبائط الإلكترونية [11 - 13]. ومن المهم أنه أصبح من الممكن أيضاً التحكم في ناقلية طبقات الماس بدمج عنصر البور أثناء نمو البلازما. وعلى هذا، فإن عنصرين من العناصر الأساسية الضرورية لمادة نصف ناقلة مناسبة للنبائط الإلكترونية - بلّورة عالية النوعية يمكن تطعيمها - قد أصبح من الممكن تحقيقهما في الماس حالياً.



ماسات طبيعية خشنة. أكبر هذه الماسات هي من منجم في منطقة نهر الأوراغ جنوب إفريقية تزن 32 قيراطاً، وبرغم نفاسة هذه الماسات العالية جداً كأحجار كريمة إلا أنها ليست نقية بصورة كافية من أجل النبائط الإلكترونية.

يمكن أن تصبح النتائج التي حصل عليها إيسبرغ وزملاؤه [1] مصدراً تُستمد منه المعلومات من أجل إلكترونيات الكربون. لقد صنّع المؤلفون ماساً يتمتع بخواص إلكترونية فاقت تلك المتوقعة من النظريات والقياسات التي تمّت حتى الآن. وبصورة خاصة، فقد قاسوا حركية الثقوب والإلكترونات μ في ماسِهم ذي النقاوة العالية. والحركية هي ثابت التناسب الذي يربط السرعة v، التي يكتسبها حامل شحنة متحرك - إلكترون (−) أو ثقب (+) - في جسم صلب خاضع لحقل قوة كهربائية E ($v = \mu E$).

* نشر هذا الخبر في مجلة *Science*, Vol. 297, September 2002. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

آفاق حركيات الماس بالمقارنة مع أنصاف النواقل الأخرى

نصف ناقل	الحركية	الحقل الكهربائي الأعظمي	فرجة العصابة
	$cm^2 V^{-1} s^{-1}$ (μ)	$V\ cm^{-1}$ (E_m)	eV (E_g)
الماس (C)	4500 (إلكترون) 3800 (ثقب)	10^7	5.5
كربيد السليكون (SiC)	700 (إلكترون)	3.0×10^6	3.26
نتريد الغاليوم (GaN)	2000 (إلكترون)	3.0×10^6	3.0
أرسينيد الغاليوم (GaAs)	8500 (إلكترون)	4.0×10^5	1.42
سليكون (Si)	1500 (إلكترون) 450 (ثقب)	3.7×10^5	1.12
Ge	3900 (إلكترون) 1900 (ثقب)	2.0×10^5	0.66

قاس إيسبرغ وزملاؤه قيمَ حركيةٍ من أجل حقول كهربائية ضعيفة تبلغ $4500\ cm^2V^{-1}s^{-1}$ من أجل الإلكترونات و $3800\ cm^2V^{-1}s^{-1}$ من أجل ثقوب في الماس المنتمي في البلازما. وهذه القيم الأعلى للحركية أمكن قياسها في الماس. إن حركية الثقب التي قيست في الماس أكبر بكثير من حركية الإلكترون المقيسة في SiC و GaN (انظر الجدول). وقد استُكشف في الوقت الحاضر نصفا ناقل ذواتا فرجة عصابية عريضة من أجل تطبيقات تواتر عالٍ (10 GHz <) وكثافة قدرة عالية [14، 15].

في الوقت الحاضر، يمكن فقط تحقيق التحكم في تغيير ناقلية الماس من خلال زيادة تركيز الثقب بالتطعيم بالبور. تقترح النتائج أن نبائط الماس (من نوع – p) يمكن أن تكون عملية، وهي أفضل خيارٍ من نبائط SiC أو GaN (من نوع – n) للحصول على نبائط إلكترونية عالية التواتر وعالية القدرة.

المراجع REFERENCES

[1] J. Isberg et al., Science 297, 1670 (2002).

[2] M. W. Geis, N. N. Efremow, D. D. Rathman, J. Vac. Sci. A6, 1953 (1988).

[3] K. Shenai, R. S. Scott, B. J. Baliga, IEEE Trans, Electron. Devices 36, 1811 (1989).

[4] F. P. Bundy et al., Nature 176, 51 (1955).

[5] J. C. Angus, H. A. Will, W. S. Stanko, J. Appl. Phys. 39, 2915 (1968).

[6] B. V. Derayaguin et al., J. Cryst. Growth 2, 380 (1968).

[7] S. Matsumoto, Y. Sato, M. Kamo, N. Setaka, J. Mater. Sci. 17, 3106 (1982).

[8] G. Sh. Gildenblat, S. A. Grot, A. Badzian, Proc. IEEE 79, 647 (1991).

[9] H. Kawarada et al., Appl. Phys. Lett. 72, 1878 (1998).

[10] H. Okushi, Diamond Relat. Mater. 10, 281 (2001).

[11] B. A. Fox et al., Diamond Relat. Mater. 4, 622 (1995).

[12] A. V. Vescan, P. Gluche, W. Ebert, E. Kohn, IEEE Electron Device Lett. 18, 222 (1997).

[13] H. Taniuchi et al., IEEE Electron Device Lett. 22, 390 (2001).

[14] S. H. Ryu et al., IEEE Electron Device Lett. 23, 321 (2002).

[15] L. Shen et al., IEEE Electron Device Lett. 22, 457 (2001).■

2- نبائط البوليمير تعيش أطول*

تستطيع السوائل الأيونية أن تحسّن بشكل مُثير أداء وثبات النبائط البلاستيكية التي تُغيّر لونها أو شكلها عند تطبيق فرق كُمون عليها.

أصبح البلاستيك جُزءاً من حياتنا اليومية بسبب قُوّته، وخفّة وزنه وسهولة صنعه. وعلاوة على ذلك فإن أنواعاً معيّنة منه قد استرعت الكثير من الاهتمام في السنوات القليلة الماضية بسبب إمكانية جعلها أنصاف نواقل ونواقل كاملة للكهرباء. لقد أوجد العديد من صانعي الإلكترونيات ترانزستورات وحتى دارات متكاملة مصنّعة من مواد بلاستيكية غير عازلة وليس من السليكون. ومن التطبيقات الأخرى لهذه تلك، التي يطلق عليها اسم البوليميرات المترافقة، المواد "الكهرلونية" التي تستطيع أن تغيّر اللون بسرعة عند تحويل البدّال والمشغّلات الكهرميكانيكية. وعلى أي حال، فإن الهدف من إنتاج التطبيقات التجارية القائمة على هذه المواد قد تكشّف عن حيرة ومراوغة لأن النبائط تميل إلى البطء وأداءها يتردّى بمرور الزمن.

طوّر حالياً بنيامين ماتّيس B. Mattes من شركة سانتافي للعلوم والتقانة الأمريكية وزملاؤه في جامعة وولونغونغ وجامعة موناش في استرالية نبائط كهرلونية قائمة على البوليمير ومشغّلات كهرميكانيكية بزّت التصاميم البلاستيكية الموجودة حالياً. وعلاوة على ذلك، يبدو أن حياة النبائط الجديدة تحت شروط تشغيل عادية تكون أطول (WLu وزملاؤه، Science 2002).

حقق التعاون الأمريكي الاسترالي تحسينات باستخدام بوليمير ناقل مع "سائل أيوني"، وهو مائع مصنوع من جزيئات محتوية على أيونات مشحونة بصورة متعاكسة يمكنها نقل الكهرباء.. يمكن لهذا التقدم، مع التقدم التقني الذي يستطيع تحفيزه، أن يكون قابلاً لإحداث تأثير مهم على النطاق التجاري.

استثمر بعض صانعي السيارات حالياً قابلية المواد الكهرلونية في تغيير اللون عند تطبيق كمون كهربائي في الحصول على مرايا مضادة للإبهار أو الوهج. ومن أمثلة البلاستيك الكهرلوني مادةُ متعددة الأنيلين، الذي يغمق لونه تدريجياً من الأصفر الشفاف إلى البني نصف الشفاف عندما يطبق

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

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

عليه كمون مقداره فولط واحد. ينشأ تغيّر اللون هذا من تعديل في البنية الإلكترونية عند حذف أو إضافة إلكترونات للبوليمير.

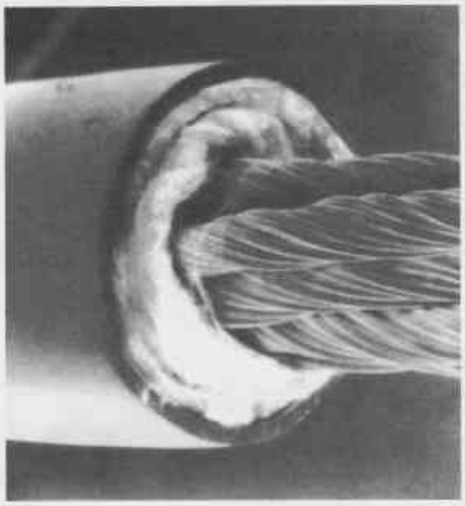
تتألف النبائط الكهرلونية عادة من عدة طبقات مؤلفة من أفلام رقيقة للمواد. تتألف النوافذ والعارضات التي طورها ماتّيس ومعاونوه من فِلم بوليمير كهرلوني تمّ توضعه كهربائياً على قطعة من زجاج مطلي بطبقة ناقلة من أكسيد معدن مطعم. توضع طبقة أخرى من الزجاج الناقل على فِلم البوليمير وتُملأ الفرجة بين الصفيحتين الزجاجيتين بسائل أيوني. وعندما تطبّق فولطية على إلكترودي الزجاج الناقل، يتلقى البوليمير حقنة إلكترونات من الإلكترود وحقنة أيونات من الكهرليت.

يمكن للبوليميرات الناقلة أيضاً أن تغيّر حجمها عند تطبيق فولطية عليها مما يجعلها موضع إثارة لاستخدامها في النبائط الكهرميكانيكية. ويمكن لكمون لا يتعدى فولطاً واحداً أن يولّد إجهاداً يزيد بعامل يساوي 10 عن تلك الموجودة في عضلات الحيوانات الثديية. ينشأ هذا المفعول الكهرميكانيكي عندما تُضاف أو تُحذف الإلكترونات من البوليمير، مما يؤدي إلى نقل الأيونات وجزيئات المذيب بين البوليمير والكهرليت ككل.

تمركزت معظم الجهود البحثية حتى الآن على تعميم وتحضير بوليميرات نقل جديدة، بينما بُذل عمل قليل نسبياً على كهرليتات جديدة. تمثلت بصيرة ماتّيس ومعاونيه الثاقبة في إدراك أن العديد من القيود الموجودة على نبائط البوليمير الناقل تعود إلى اختيار الكهرليت أكثر من البوليمير نفسه. فالمشغّلات السابقة القائمة على متعدد الأنيلين في كهرليت سائل مثلاً فشلت بعد تشغيلها عدة دورات بسبب التفاعلات الكيميائية التي كانت السبب في تحطّم البوليمير.

لفت ماتّيس ومعاونوه النظر إلى أن أفضل الكهرليتات للنبائط الكهرلونية والكهرميكانيكية هي التي يجب أن تمتلك ناقلية عالية وحركية أيونية عالية وتطايرية منخفضة. وعلاوة على ذلك يجب أن تكون هذه المواد من الناحية الكيميائية ثابتة عند تطبيق حقل كهربائي وعندما تعمل تحت شروط بيئية متباينة. يرى التعاون الأمريكي الاسترالي أن السوائل الأيونية تحقق جميع هذه المتطلبات.

تتألف السوائل الأيونية النموذجية، مثل إتيل نترات الأمونيوم، من أيونات موجبة الشحنة محتوية على النتروجين وأيونات لا عضوية سالبة الشحنة. إن هذه السوائل لا تتطاير ولا تحترق وتتمتع باستقرارية حرارية عالية. وبالإضافة إلى الخواص التي تجعلها محط الأنظار ككهرليت، فإن السوائل الأيونية آمنة أيضاً ورخيصة نسبياً للتصنيع. اعترفت بهذه الميزة المجموعات التي تطوّر نوافذ كهرلونية وعارضات تقوم على أفلام أكسيد معدن نانوية البنية. وفعلاً فإن السوائل الأيونية قد حسّنت بشكل كبير من ثبات هذه النبائط التي دخلت الأسواق التجارية في الوقت الحاضر. بيّن ماتّيس ومعاونوه أن السوائل الأيونية قد جلبت الفوائد ذاتها للنبائط القائمة على البوليميرات، مع جميع نماذجها الأولية التي تبشّر بنجاح فائق.



ليف بوليمر ناقل يتمدد عندما يطبق عليه كمون كهربائي ويتقلص عند عكس الكمون. لقد جرى تحسين أداء هذه الألياف والمشغّلات الكهرميكانيكية التي تبنى منها بشكل كبير باستخدام السوائل الأيونية بدلاً من المحاليل الكهرليتية التقليدية.

أحد المشغّلات الكهرميكانيكية، الذي دُرس من قِبَل الفريق الأمريكي الاسترالي، كان عبارة عن ليف مكروي طوله 10 ملّيمتر مصنوع من 20 فتيلاً من البوليمير مفتولة معاً (انظر الشكل). عند تطبيق فرق كمون على الليف تهاجر الإلكترونات والأيونات ذات الشحنات المضادة والمذيب إلى داخل الليف مما يجعله يتمدد. يؤدي عكس الكمون إلى خروج الأيونات والمذيب من الليف مما يؤدي إلى تقلّصه. وجد ماتّيس ومعاونوه أن الليف تمدّد وتقلّص 10 000 مرة بدون أي تدهور ملحوظ في أدائه. وبالمشابه، فقد تمّ إنجاز نتائج مثيرة من أجل نوافذ وعارضات البوليميرات الكهرلونية.

وبالرغم من هذا التقدم المهم والواعد بنتائج مثيرة مستقبلية إلا أن أداء هذه النماذج الأولية المخبرية يقلّ عن تلك المطلوبة من نبيطة تجارية. وعلاوة على ذلك، فإن كثيراً من الأشياء الباقية المرتبطة بثبات النبائط القائمة على البوليميرات توجد في المواد البوليميرية نفسها.

يشير ذلك إلى أن البحث الأخير لماتّيس ومعاونيه مهم جداً لأنه يقدّم بدون شك دعماً نشيطاً بين الباحثين المتطلعين إلى تطوير النبائط القائمة على البوليميرات. وبناءً على خبرة المجموعات التي تسوّق حالياً تقانات النوافذ والعارضات الكهرلونية التي تُدخل تلك الكهرليتات، فإن العمل الأخير سيقود إلى ظهور نبائط ثابتة في الأسواق.

يفيد العمل التعاوني الأمريكي الاسترالي أيضاً في تذكيرنا بأن الكهرليتات مكونات فعّالة، وليست ببساطة المواد الخاملة التي آخر ما توصل إليه عمل المواد أو الجزيئات. وكنتيجة لذلك فإن اختيار الأمثل من الكهرليتات وخواصها يستحق أن نوليه كامل عنايتنا واهتمامنا.■

3- بلّورات سائلة تتكدّس فوق بعضها*

خذ كرة باكي bucky ball الكربونية الكروية، قطّعها feather إلى جزيئات قضيبية الشكل، والنتيجة أنها تصبح على شكل ريشة طائرة shuttlecock متميّزة التي يمكن أن تتكدّس فوق بعضها بسهولة لتشكيل أعمدة. وأطوار البلّورات السائلة المتشكلة هكذا يجب أن يكون لها خواص غير عادية.

* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol.419, 17 October 2002. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

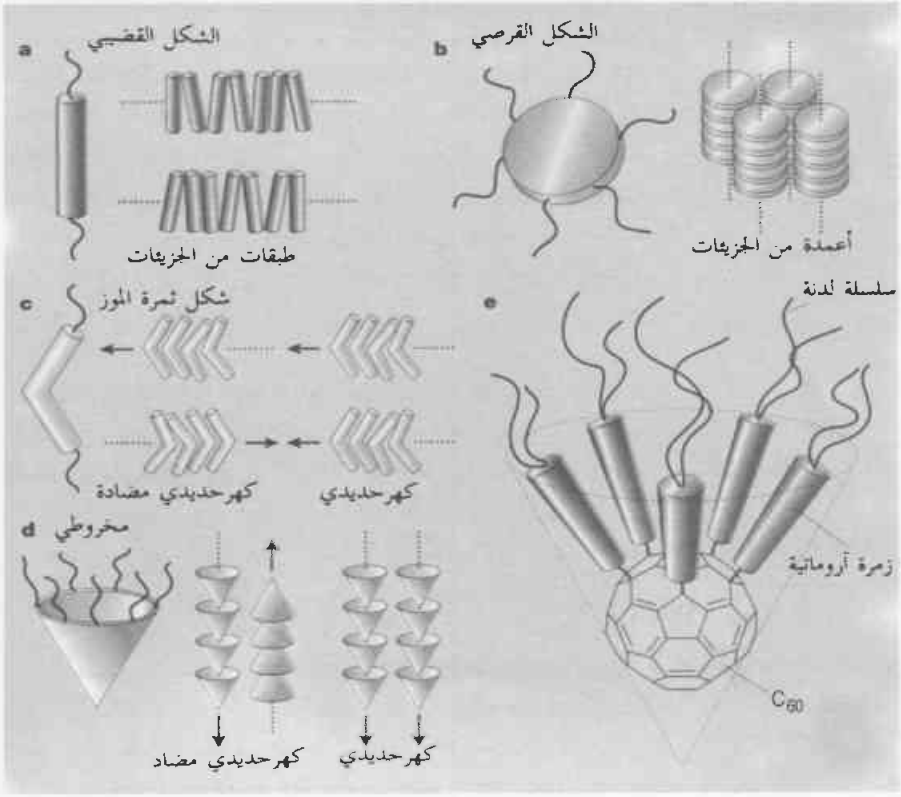
البلّورات السائلة

LCs هي مواد يمكن أن تتدفّق كالسوائل، إلا أنها تتمتع أيضاً ببعض خواص البلّورات التي تتعلق بالتوجيه والترتيب. وهذا الجمع بين الترتيب والحركية يجعل هذه المنظومات تتجاوب مع المنبهات الخارجية، مثل الحقل الكهربائي المطبّق، وتُغيّر ترتيبها. ولهذا السبب فهي مكوّنات مثالية في نبائط اللوحات المسطّحة في الحواسيب، والهواتف المنقولة والتلفزيونات، ولكن هناك تطبيقات متعددة يمكن تصوّرها مستقبلاً في الضوئيات اللاخطية، والإلكترونيات الجزيئية والفوتونيات الجزيئية [1]. فقد وصف ساوامورا وزملاؤه [2] نموذجاً جديداً من مادة بلّورية سائلة، فركبوا جزيئات بشكل ريشة الطائرة التي تستعمل في اللعبة المسماة بالاسم نفسه وكدّسوها بعضاً فوق بعض بأسلوب موجه.

تتشكل مواد البلّورات السائلة المتعارف عليها conventional في الأغلب من جزيئات على شكل قرص أو قضيب ذات سلاسل مرنة ملتصقة بألباب صلدة (الشكل 1a,b). وفي معظم الحالات، تنتظم الجزيئات القضيبية الشكل في طبقات (معروفة بأطوار البلّورات السائلة السمكتية smectic)، بينما تشكل الجزيئات القرصية الشكل أعمدة (أطوار البلّورات السائلة العُمُدانية). تكون السلاسل مائعة وتؤمن الحركية الضرورية، التي تمنع في مدى معين من درجات الحرارة تشكيل بلّورات صلبة.

وإذا انخفضت درجة تناظر هذه الجزيئات، يمكن لأطوار البلّورات السائلة المختلفة أن ترفعها. وعلى سبيل المثال إن عمل ثنية بزاوية حوالي 140° - 110 في منتصف جزيئات قضيبية الشكل يُعطي جزيئات منحنية بشكل ثمرة الموز (الشكل 1c) التي يمكن أن تترتّب لتعطي أطواراً من البلّورات السائلة التي لا توجد في الجزيئات الخطية القضيبية الشكل [3]. وعندما تترتّب هذه الجزيئات المنحنية - اللبية bent - core في طبقات، فإن شكلها النوعي يتراصف مسبّباً ترتيباً قطبياً في كل طبقة. يعطي هذا الترتيب القطبي مع طور التناظر المنخفض ظاهرة مهمة إلى أبعد الحدود، مثل التشكيل التلقائي للبنى الفائقة الكيرالية Chiral والحلزونية وخواص كهرحديدية وكهرحديدية مضادة [3-6]. في الأطوار الكهرحديدية، تشير الاتجاهات القطبية للطبقات المتجاورة إلى الاتجاه نفسه، مؤدية إلى ترتيب قطبي مكروي، بينما في الأطوار الكهرحديدية المضادة فإن الاتجاه القطبي في الطبقات المجاورة يكون في اتجاه معاكس، وهكذا تُلغى العزوم القطبية (الشكل 1c). إن مثل هذه الأطوار الكهرحديدية والكهرحديدية المضادة تكون من الناحية الإمكانية نافعةً، لأنه يمكن تحويلها بحقول كهربائية بين حالات متميّزة.

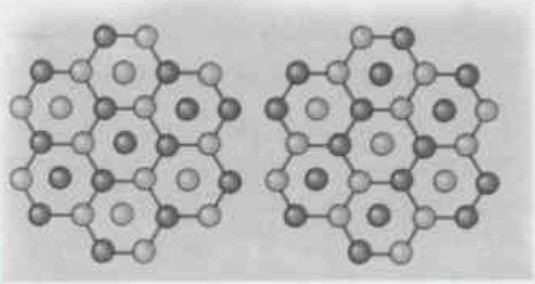
فقد أُجريت عدة محاولات لتنفيذ ترتيب قطبي في أطوار البلّورات السائلة العمدانية [7، 8] - التي يمكن أن نتوقعها إذا كانت الأشكال المنبسطة للجزيئات القرصية الشكل منحنية على شكل الطاس أو أشكال مخروطية مجوفة (الشكل 1d). قدّم ساوامورا وزملاؤه فكرة جديدة لتصميم جزيئات مخروطية مجوّفة باستخدام جزيئة بكمنسترفلرين buckminsterfullerene (C_{60}) [9] كوحدة مركزية. يكون للكربون C_{60} خواص أكسدة وإرجاع وفيزيائية ضوئية خاصة، وهكذا نجد أهمية كبيرة بدمجه في مواد البلّورات السائلة [10]. فقد ثبّت ساوامورا وزملاؤه خمس وحدات آروماتية Aromatic قضيبية الشكل، وكل وحدة تحمل سلسلتين مرنتين غير آروماتيتين، على أحد جانبي جزيئة الكربون C_{60} لتشكيل جزيئة مخروطية الشكل تشبه الريشة الطائرة المستخدمة في اللعبة التي تحمل الاسم نفسه (الشكل 1e).



الشكل 1- أطوار البلّورات السائلة.

a، تنظّم الجزيئات قضيبية الشكل نفسها في طبقات بينما في b، تشكل الجزيئات قرصية الشكل أعمدة يمكنها أن تترتّب متوازية فيما بينها في شبيكة ثنائية الأبعاد. c، إدخال ثنية في اللب الصلد أدّى إلى جزيئات موازية الشكل. إنّ دوران هذه الجزيئات حول محورها الطويل يكون محدوداً وتبقى هذه الجزيئات ترتيباً موجهاً ضمن الطبقات. واعتماداً على اتجاه الثني في الطبقات المتجاورة يمكن أن تُنتج أطوارٌ إمّا كهرحديدية أو كهرحديدية مضادة. d، يمكن أن تؤدي جزيئات مخروطية الشكل إلى ترتيب قطبي ضمن أعمدة. ويمكن أن يكون الاتجاه القطبي للأعمدة المتجاورة متوازياً أو مضاد التوازي. e، قام ساوامورا وزملاؤه [2] بصنع جزيئة بشكل ريشة الطائرة تعتمد على جزيئة الكربون C_{60} حيث يؤدي شكلها المميّز إلى ترتيب موجه في الأعمدة.

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



الشكل 2- أمثلة على الشبيكات السداسية مع أعمدة موجهة (ملوّنة بالأخضر والأزرق للاتجاهين). لاحظ أنه لايمكن ترتيب الأعمدة في طريقة بحيث يكون لكل عمود قطبي فقط جوار من الاتجاه القطبي المقابل.

تتوافق تماماً قمة الكربون C_{60} لكل من هذه الجزيئات مع تجويف الجزيئة المجاورة. وكنتيجة لذلك ترتّب الجزيئات نفسها في أعمدة يكون فيها رأس كل جزيئة ملتصقاً بذيل الجزيئة التي قبلها، أمّا الأعمدة فترتّب بصورة متوازية فيما بينها بطريقة منتظمة مشكلة شبيكة مسدسة الشكل ثنائية الأبعاد. وتملأ السلاسل المرنة في المحيط الفراغ بين الأعمدة وتؤمّن الحركية اللازمة لتشكيل البلّورات السائلة. ولكن، على عكس الطبقات القطبية للجزيئات المنحنية التي يمكنها أن تتبنّى بسهولة ترتيباً كهرحديدياً مضاداً غير قطبي بتناوب الاتجاه القطبي للطبقات المجاورة (الشكل 1c)، فإن ترتيب الأعمدة القطبية في الشبيكة المسدسة الشكل ثنائية الأبعاد يكون أكثر تعقيداً. وهناك الكثير من الطرائق لترتيب الأعمدة القطبية (انظر الأمثلة في الشكل 2) ولكن ليس بالإمكان ترتيبها بطريقة بحيث يتمتع فيها كل عمود فقط بجوارٍ ذي اتجاه قطبي مضاد. ولهذا السبب يمكن أن نتوقع في هذه المنظومات العديد من أطوار البلّورات السائلة القطبية الجديدة.

وحتى تُستثمر مثل هذه الأطوار من البلّورات السائلة في عمليات التبديل (التحويل) switching يجب أن تتمتع الجزيئات بحركية كافية لتستجيب بسرعة إلى المنبّهات الخارجية. وتعدّ اللزوجة العالية مشكلة عامة في الأطوار العمدانية columnar ويمكن أن تُخفّض بإضافة مذيبات تذيب ما حول وما بين السلاسل المرنة [11- 12]. إضافة إلى أنها تنقص اللزوجة التي يمكن أن تقود إلى تغيير الترتيب في طور البلّورات السائلة: في الحالة التي ذكرها ساواموراوزملاؤه [2]، حلّ الطور النماتي العمداني محل الطور العمداني السداسي للبلّورات السائلة وذلك في تراكيز للمذيب وللحرارة بدرجات أعلى. ففي هذا الطور تختفي الشبيكة السداسية واسعة المدى وتتراصف الأعمدة في الوسط فقط متوازية فيما بينها. وبالرغم من كل ذلك، يمكن لهذه الأطوار أن يكون لها خواص مميّزة خاصة ناتجة من الترتيب القطبي ضمن الأعمدة [13].

جرى تشجيع الكثير من التقدم في أبحاث البلّورات السائلة وذلك بتصميم جزيئات جديدة كوّنت أطواراً جديدة من البلّورات السائلة. ففي جزيئاتها التي هي على شكل ريشة الطائرة أعطى ساواموراوزملاؤه من غير أدنى شك مبدأ تصميم جديد لتعمل به فرق البحث.

المراجع REFERENCES

[1] Boden, N.& Movaghar, B. in Handbook of Liquid Crystals Vol.2B (eds Demus, D., Goodby, J., Gray, G. W., Spiess, H. W. & Vill, V.) 781-798 (Wiley-VCH, Weinheim, 1998).

[2] Sawamura,M. et al. Nature 419, 702-705 (2002).

[3] Niori, T., Sekine, F., Watanabe, J., Furukawa, T.& Takezoe, H. J. Mater. Chem. 6, 1231-1233 (1996).

[4] Pelzl, G., Diele, S. & Weissflog, W. Adv. Mater. 11, 707-724 (1999).

[5] Walba, D. M. et al. Science 288, 2181-2184 (2000).

[6] Dantlgraber, G. et al. Angew. Chem. Int. Edn. 41, 2408-2412 (2002).

[7] Malthete, J. & Collet, A. J. Am. Chem. Soc. 109, 7544-7545 (1987).

[8] Xu, B. & Swager, T. M. J. Am. Chem. Soc. 115, 1159-1160 (1993).

[9] Diederich, F. & Gomez-Lopez, M. Chem. Soc. Rev. 28, 263-277 (1999).

[10] Chuard, T. & Descheneux, R. J. Mater. Chem. 12, 1944-1951 (2002).

[11] Usol'tseva, N., Hauck, G., Koswig, H. D., Praefcke, K. & Heinrich, B. Liq. Cryst. 20, 731-739 (1996).

[12] Kruerke, D., Rudquist, P., Lagerwall, S. T., Sawade, H. & Heppke, G. Ferroelectrics 243, 207-220 (2000).

[13] Takezoe, H. & Watanabe, J. Mol. Cryst. Liq. Cryst. 328, 325-332 (1999).■

4- ملامح الوقاية الإشعاعية لصوف العزل المعدني بالنشاط الإشعاعي الطبيعي المعزّز*

مقدمة

وُضِعت في العديد من مناطق تجميع الخردة في هولندة أجهزة مراقبة إشعاعية محمولة عند المداخل من أجل مراقبة مصادر الإشعاع في الخردة. فإذا ما أُطلقت هذه الأجهزة بوساطة حمولة الخردة، يتم رفض المادة وتُبلَّغ المفتشية الهولندية عن الحادث. وخلال السنوات القليلة الماضية تسبّب خليط من الخردة "غير الملوّثة" ومواد عزل مع مركّزات مكثفة من النكليدات المشعة الطبيعية في إحداث سلسلة من هذه الإنذارات. وفي جميع هذه الحالات لم تُقبل الخردة وأعيدت إلى مالكها ونُشر تقرير عن الحادث. لقد غطت الحوادث مجموعة متنوعة من المنشآت المفككة التي يتراوح حجمها بين الصغيرة والضخمة، وتشترك فيما بينها في أن الصوف

* نشر هذا الخبر في مجلة *European ALARA Network*, Issue 11 August 2002. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

المعدني تمّ استخدامه من أجل العزل الحراري للأبواب، والخزّانات، والأفران، وشبكات الأنابيب. إن تراكم هذه الحالات قاد إلى دراسة لاكتشاف أصل مشكلة صوف الخبث ومدى تأثيرها المحتمل، وقد نوقشت الجوانب الإشعاعية لهذه المشكلة في هذه الورقة.

النشاط الإشعاعي في صوف الخبث

قدّم مسحٌ حول إنتاج الصوف المعدني في هولندة دليلاً قوياً على أن صوف الخبث تمّ إنتاجه على الأرجح من منتَج ثانوي (وهو الخبث) من عملية صهر القصدير بين عامي 1948 و 1960. وقد لُخّصت المعطيات التحليلية عن صوف الخبث في الجدول 1.

الجدول 1– نكليدات مُشعّة طبيعية في عينات من صوف الخبث مأخوذة من منشآت هولندية. التراكيز مقدرة بـ Bq/g

نوع المعطيات	U-238 and Ra-226	Pb-210	Th-232nat	Ratio Th-232 / U-238	Ratio Pb-210 / Ra-226
عدد النتائج	40	32	40	40	32
الحد الأعلى	6.2	3.8	16	4.2	1.0
الحد الأدنى	2.6	1.7	5.9	1.8	0.4
المتوسط	4.0	2.9	11.2	2.8	0.8
الانحراف المعياري	0.8	0.5	2.1	0.5	0.1

يتبيّن من الجدول أن تراكيز النكليدات المشعة الناتجة من تفكك سلاسل U-238 و Th-232 تغطي مجالاً صغيراً نسبياً وأن Pb-210 قد استُنفِد بالنسبة إلى U-238 و Ra-226. وتبلغ النسبة الوسطية لـ Th-232/U-238 حوالي 3. ومن خلال النسبة الوسطية لـ Pb-210/Ra-226 التي تبلغ 0.8 يمكن استنتاج العمر الوسطي المقدر بحوالي 50 عاماً إذا فرضنا أن Pb-210 كله قد تطاير عند إنتاج الخبث أو صوف الخبث.

الجوانب الإشعاعية لتفكيك المنشآت الحاوية صوف الخبث

في مرسوم الوقاية الإشعاعية الهولندية الجديد تُحدَّد سويات تنظيف وإزالة U-238 و Th-238 و Ra-226 بـ 1 Bq/g من أجل إعداد التقارير المتعلقة بذلك وبـ 10 Bq/g عند الترخيص. من الواضح أن المادة تخضع للتشريعات، وفي حالات كثيرة أخرى تتجاوز سويات الترخيص أيضاً. تقضي السلطات الهولندية بإزالة صوف الخبث من العناصر المهملة أو من الأجزاء المتبقية من المنشآت التي يجري تفكيكها. ولابد من الإشراف على عملية الإزالة من خلال خبراء مؤهلين في الوقاية الإشعاعية ومزوّدين باحتياطات لمواجهة التعرّض الداخلي للإشعاع على غرار الاحتياطات المتخذة عند إزالة الأسبستوس.

إن وجود صوف الخبث في المنشآت التي تُفكّك ينطوي على تعرّض خارجي للإشعاع بالإضافة إلى تعرّض داخلي من خلال استنشاق جسيمات صوف الخبث. إن معدلات الجرعة الخارجية على سطح تجهيزات صوف الخبث المعزولة لاتتجاوز 1µSv/h، ويبدو أن متوسط معدل الجرعة عند المسافة التشغيلية (العاملة) الذي يبلغ 0.3 µSv/h يُعدّ تقديراً جيداً من أجل تقييم الجرعة. إن الجرعات الإشعاعية الناتجة من التعرّض الداخلي تعتمد بشكلٍ كبير على معرفة الخواص الإشعاعية لصوف الخبث قبل بدء عملية التفكيك. وكما هو مبيّن في الجدول 2 فإن مُعامِل الجرعة لاستنشاق جسيمات صوف الخبث بتراكيز عالية ومتوسطة من النكليدات يتراوح بين 1 mSv و 1.5 mSv لكل غرام مستنشق، حيث تساهم سلسلة تفكك Th-232 بجزء رئيس في التعرّض الداخلي.

وبناءً على المعطيات المتعلقة بالتعرّض الداخلي والخارجي الموصوف أعلاه يمكن تقدير الجرعة بالنسبة إلى ثلاثة سيناريوهات تعرّض مختلفة ومحددة في الجدول 3. ويُفترض أن يكون صوف الخبث الذي تمّت إزالته من المنشأة قد تمّ تخزينه مؤقتاً بعيداً عن مكان العمل أو تمّ التخلص منه على الأغلب.

الجدول 2– معاملات الجرعة (DC) المتعلقة باستنشاق النكليدات الناتجة من صوف الخبث اعتماداً على 5 µm AMAD والنوع البطيء Type Slow

النكليد	معامل الجرعة Sv/Bq	متوسط التركيز Bq/g	معامل الجرعة في الشهيق Sv/g	تركيز عال Bq/g	معامل الجرعة في الشهيق Sv/g
U-238 _ Ra-226	$6.4 .10^{-5}$	4	$2.6 .10^{-4}$	6	$3.8\ 10^{-4}$
Pb-210 _ Po-210	$8.1 .10^{-6}$	3	$2.4 .10^{-5}$	4	$3.2\ 10^{-5}$
Th-232 _ Po-212	$6.3 .10^{-5}$	11	$6.9 .10^{-4}$	16	$1.0\ 10^{-3}$
Total			$9.7 .10^{-4}$		$1.4\ 10^{-3}$

الجدول 3– شروط السيناريو والوسطاء من أجل التعرّض الداخلي والخارجي لصوف الخبث عند تفكيك المنشآت

السيناريو	النشاط الإشعاعي	حجم المحطة	مدة التعرّض h/y	تركيز غبار صوف الخبث mg/m^3	معدل الشهيق m^3/h
A	لا يوجد	صغير	20	1	1.2
B	يوجد	كبير	200	n.r. [1]	n.r. [1]
C	لا يوجد	كبير	400	2	1.2

[1] n.r.: لا شأن لها بسبب الوقاية التنفسية المفترضة

يقدم الجدول 4 نتائج حسابات السيناريو. تبيّن هذه النتائج، في ظل شروط غير مرغوب فيها لكن في تراكيز نشاط متوسطة، أن التعرّض الإشعاعي الذي يتلقاه العاملون في الهدم يُقدر بحوالي 1 mSv/a. ومن أجل التراكيز العظمى المعطاة في الجدول 1 فإن التعرّض المقدر لايتجاوز 2 mSv/a.

تبين النتائج، كما هو الحال في عدد من حالات التعرض للمواد المشعة بطبيعتها (NORM)، أن معرفة المشكلة التي تؤدي إلى اتخاذ إجراءات وقائية مناسبة (الوقاية التنفسية، منع الغبار) هي مطلب أولي لتخفيض الجرعات المهنية إلى سويات منخفضة جداً.

الجدول 4– التعرّضات الإشعاعية المقدّرة لصوف الخبث عند تفكيك المنشآت

السيناريو	التعرّض الخارجي mSv/a	التعرّض الداخلي mSv/a	التعرّض الإجمالي mSv/a
A	0.006	0.024	0.03
B	0.06	------	0.06
C	0.12	1.0	1.1

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

التكاليف

من الواضح أن التكاليف المرافقة لاكتشاف الطبيعة الإشعاعية لصوف الخبث، الناتجة من التخلص منه ومن إجراءات مراقبة الإشعاع تعتبر كبيرة. وبموجب التشريعات الهولندية ينبغي نقل صوف الخبث إلى المنظمة المركزية للنفايات المشعة (كوفرا COVRA) من أجل التخزين بتكاليف عالية. وهذا موضح في ثلاثٍ من القضايا الهولندية، فهي تشترك في أن صوف الخبث تمّ الكشف عنه، كالعادة، بجهاز كشف الإشعاع الخاص بالمتعاملين مع الخردة وأن تكاليف نقل صوف الخبث إلى COVRA تُقدَّر واقعياً بحوالي 18 يورو للكيلوغرام الواحد.

مولّد بخار البيوت الزجاجية

استناداً إلى قراءات معدّات مراقبة الإشعاع التي تُحمَل باليد يُشتبَه بأن صوف الخبث المنطلق من مولد البخار الصغير نسبياً يتجاوز سوية 100 بكريل/ غرام. وقد كانت تكاليف COVRA المقدَّرة من رتبة 18 000 يورو، باستثناء تكاليف إزالة صوف الخبث تحت المراقبة الإشعاعية وتعبئته في براميل COVRA المعيارية سعة كل منها 100 لتر.

فرن الخَبَز

بعد كشف صوف الخبث الإشعاعي أثناء تفكيك أحد أفران الخَبز، تستمر عملية التفكيك المذكورة تحت المراقبة الإشعاعية وتُنقل كمية الخردة المختلطة مع صوف الخبث بكاملها من الموقع من أجل إزالة صوف الخبث وتعبئته في براميل COVRA. ينتج من هذه العملية 1000 برميل COVRA تقريباً، وتبلغ تكاليفها 105 000 يورو، باستثناء التكاليف الكبيرة لفصل صوف الخبث عن الخردة وتعبئته في براميل COVRA.

محطة الطاقة

لقد استخدم صوف الخبث أيضاً لعزل شبكات الأنابيب والمراجل الضخمة في محطات الطاقة الكبيرة التي تُزوَّد بالوقود الأحفوري، وإن جمع صوف الخبث الناتج من عملية التفكيك غير المراقبة إشعاعياً ومن إتمام عملية التفكيك تحت المراقبة الإشعاعية يستغرق عدة أشهر، وتكون الكمية الإجمالية من صوف الخبث الناجم عن هذه العملية 36 طناً مضغوطة ومعبأة في أكياس بلاستيكية حيث تبقى مخزنة في الموقع. وتُقدَّر تكاليف نقل صوف الخبث إلى COVRA بعد تعبئته في براميل بـ 650 000 يورو تقريباً.

منشأ صوف الخبث

أُجري مسحٌ حول أصل مشكلة صوف الخبث ومدى تأثيرها المحتمل. وفي بداية المسح اتضح أن تراكيز النكليدات المشعة والنسبة بين النكليدات المشعة لسلاسل تفكك U-238 وTh-232 تضاهي الخبث الذي ينتجه فرن صهر القصدير الهولندي والمخزّن في COVRA بعد إغلاق الفرن. وهنالك تحقيقات أخرى تشير إلى أن منتجي صوف العزل المعدني استخدموا في الواقع الخبث الذي ينتجه فرن صهر القصدير الهولندي خلال مرحلة معينة، ربما كانت بين عامي 1946 و 1960. إن كتلة الصوف المعدني التي تمّ إنتاجها خلال هذه الفترة كانت مصنوعة من مواد خام أخرى، وقد تمّ إنتاج الخبث من الفولاذ والبازلت بتراكيز أدنى بكثير من النكليدات المشعة الطبيعية. ويقدّر المسح الكمية الإجمالية للصوف المعدني الناتج مع الخبث الناجم عن صهر القصدير بين 800 و 2200 طن.

وجهات النظر العالمية

لم يتوفر حتى الآن أي دليل على أن استخدام الصوف المعدني الناتج من خبث القصدير قد لفت الانتباه عالمياً للأسباب ذاتها كما هو الحال في هولندة. وفي الماضي كان يتم إنتاج القصدير على نطاق واسع في غرب أوربة، لاسيما في المملكة المتحدة وإسبانية. يوجد معظم الركاز في جنوب شرق آسية حيث يُعالَج ركاز القصدير ذو النسبة المنخفضة بطرائق فيزيائية للحصول على ركاز كَستيريت (casserite) وناتج ثانوي (amang). إن ركاز القصدير لايحتوي فقط على القصدير الذي يحمل الكستيريت بل يحتوي أيضاً على معادن أخرى ثقيلة بما فيها الإلمنيت ($Fe\ O.TiO_2$)، والزركون ($ZrSiO_4$)، والمونازيت ([Ce, La, Y,Th]PO_4) التي تحوي جميعها العناصر المشعّة بطبيعتها كالثوريوم واليورانيوم. وقد تمّت معرفة مدى احتمال التعرّض الإشعاعي الواضح الذي يصيب الجمهور والعاملين في تعدين القصدير، وصناعة تحضير الركاز، وأفران صهر القصدير بماليزية.

أجرى باكستر Baxter وزملاؤه دراسة تلخص تقارير غير منشورة حول فرن كبير لصهر القصدير في شمال إنكلترة. ومع أن التقرير ركّز بشكل أساسي على عمليات التفريغ والتعرّض لـ Po-210 المتطاير من المادة الخام، فإنه يحوي معلومات مهمة حول نطاق إنتاج الخبث في الموقع. وقد بلغ متوسط الدخل intake السنوي من المواد الخام 82 000 طن ومتوسط الخرج output السنوي من خبث النفايات 60 000 طن. فالخبث الناتج من التخزين في الموقع يباع على نحوٍ دوري من أجل رصف الطرق أو لتغطية موقع النفاية المنزلية. يُعزَل بعضه في مواقع ردم النفايات المحلية ويباع بعضه إلى مصانع السحج المحلية. إن تنظيف الموقع عند تدميره يشمل التخلص من أنقاض الهدم وخبث النفايات في موقع ردم النفايات أو في موقع محلي تحدّده السلطة للتخلص من النفايات.

في موقع آخر سابق لأحد أفران صهر القصدير في المملكة المتحدة في بوتل Bootle قرب ليفربول تعادل سويات الإشعاع أكثر من عشرة أضعاف إشعاع الخلفية العادية الذي تمّ اكتشافه على الصخور في مصبات الأنهار. وقد اتضح أن الصخور تتركب من خبث النفايات الناجم عن مصانع الصهر المحلّية. ومن المفيد أن نلاحظ أن الفريق المعارض من الجمهور يُحتمل أن يكون أفراده من أصحاب الكلاب الذين يدربون حيواناتهم في المنطقة الساحلية. ونظراً لوجود خطط التطور المتعلقة بموقع فرن صهر القصدير السابق تمّ إجراء مسح فأشار إلى معدلات جرعة تصل إلى 10 µSv/h على ارتفاع 1 م عن السطح. وقد وُجِد أن المنطقة كانت مغطاة بالخبث والحصى إلى عمق 1.5 م تقريباً. وكانت هنالك مساحة بحوالي $1000\ m^2$ مغطاة بـ 1900 طن من الخبث الأسود الذي يتميز بنشاط أكثر. وبراوح تركيز اليورانيوم 238 في أربع عيّنات من الخبث الأسود بين 5.0 و 6.2 بكريل/ غرام، وبراوح تركيز الثوريوم 232 بين 12.1 و 14.7 بكريل/غرام. إن نسبة معدل Th-232/U-238 تراوح بين 2.4 ± 0.2. وقد قدرت النشاطات الكلية بـ 11.3 GBq بالنسبة لليورانيوم 238 و 26.9 GBq بالنسبة للثوريوم 232. وينصح الخبراء بتسوير

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

المنطقة وتنظيفها تحت المراقبة الإشعاعية من قبل العاملين وإيجاد طريقة للتخلص من الحصى والخبث الذي تمّ استخراجه بالحفر.

وفي نشرة معلومات النشاط الإشعاعي Radioactivity Information قامت شركة UK DETR بتزويد 30 مليون طن من الزجاج كما استُخدم خبث القصدير كركام من أجل أعمال الهندسة المدنية العامة في شمال غرب إنكلترة، وتضيف قائلة إن إمكانية التضرر من هذه المادة يُحتَمل أن تكون قليلة.

مناقشة وخاتمة

إن إيقاف المنشآت العازلة لصوف الخبث لم يؤدِ إلى عمليات تعرّضات زائدة للإشعاع حتى عندما لاتلاحظ الخواص الإشعاعية للمادة. ومع ذلك فإن الوقاية التنفسية ينبغي أن تكون إجراءً معيارياً ضد التعرّض الذي يمكن تحاشيه أثناء عملية الهدم. فالجانب الأساسي لمشكلة صوف الخبث يتمثل بالكلفة الزائدة لعملية التخلص منه، عندما تعتبر المادة كنفايات مشعة. وقد يكون من الصعب تبرير سبب هذه التكاليف للأفراد وللمجتمع بناء على التعرّضات الإشعاعية كونها يمكن تفاديها بهذه الطريقة للتخلص منها. وتسمح الخاصة الزجاجية المستقرة لصوف الخبث بخيارات أخرى تستخدم للنفايات غير المشعة بغية التخلص منه كالردم أو التخزين في مستودعات، أو بخلط صوف الخبث بالأنواع الأخرى من الخبث من أجل إعادة استعماله في رصف الطرقات. وبصورة واضحة يمكن إيجاد مثل هذه الحلول المقبولة إشعاعياً واقتصادياً عندما يكون مقياس المشكلة كبيراً إلى حدٍّ كافٍ كما هو الحال في المملكة المتحدة.■

5- استراتيجيات وطرائق أمثلة التعرّض الداخلي للعاملين الناجم عن المصادر الطبيعية والاصطناعية*

حتى الوقت الحاضر، وبالمقابلة مع التعرّضات الخارجية، هنالك بعض الجهود المبذولة نسبياً كُرّست مباشرة لتنفيذ طريقة ALARA (التعرّض لأدنى حدٍّ معقول من الإشعاعات) فيما يتعلق بالتعرّضات الداخلية. على أي حال، يمثل التعرّض الداخلي في حالات كثيرة وسيلة التعرّض المحتمل والسائد في الصناعات التي تتعامل مع النشاط الإشعاعي الطبيعي، مع أن هذا لم يُسلَّم به دائماً. تتباين حالات التعرّض تبايناً واضحاً تبعاً لشروط مكان العمل، والنكليدات المشعة ذات العلاقة، والأشكال الفيزيائية والكيميائية للركازات التي تندمج فيها النكليدات المشعّة. ولدى اتباع توصيات ورشة عمل شبكة ALARA الأوربية الثالثة التي من شأنها أن تلفت الانتباه إلى طريقة ALARA المنهجية فيما يتعلق بالتلوث الداخلي، خصوصاً في صناعات المواد المشعة بطبيعتها NORM، فإن المفوضية الأوربية نظمت مشروع SMOPIE (استراتيجيات وطرائق أمثلة التعرّض الداخلي للعاملين الناجم عن المصادر الطبيعية والاصطناعية) بإشراف البرنامج الهيكلي الخامس (اتفاقية - no FIGMCT 2001 00176). ويُنفَّذ المشروع بالتعاون الوثيق بين المعاهد العلمية وقطاع الصناعة. ويأتي الدخل العلمي في الدراسة من شركات NRG (هولندة)، و CEPN (فرنسة) و IRSN (فرنسة) و NRPB (المملكة المتحدة). يورد الجدول 1 الدخل الصناعي. بدأ المشروع في تشرين الثاني 2001 وسينتهي في تشرين الثاني 2003.

الصناعة	العملية	
شركة Thermphos الدولية B. V. Flushing، هولندة	إنتاج الفسفور الأولي من ركاز الفسفات	^{210}Po, ^{210}Pb
شركة Kerr-McGee Rotterdam، هولندة	إنتاج TiO_2 من الروتيل	^{238}U, ^{232}Th
شركة COMURHEX Malvesi، فرنسة	إنتاج UF6 من ركازات فلز اليورانيوم	^{238}U
شركة Johnson Matthey Zircon المملكة المتحدة.	معالجة رمل الزركون	^{232}Th
شركة Huntsman Tioxide المملكة المتحدة	إنتاج TiO_2 من الروتيل والاستفادة منه	^{238}U, ^{232}Th, $^{226,228}Ra$

والهدف الرئيس من هذه الدراسة إعطاء التوصيات لمراقبة الاستراتيجيات والطرائق المتعلقة بأمثلة التعرّض الداخلي في مجموعة كبيرة من حالات التعرّض المهني المتوقعة. وسيتم إنجاز ذلك بالخطوات التالية:

- إعداد ملخص معلومات عن عدد العاملين المعرّضين للتلوث الداخلي وسويات الجرعة ذات العلاقة.
- تطبيق عدد من دراسات حالة مختلفة على حالات التعرّض الداخلي الحقيقي من خلال التعاون الوثيق مع الصناعات ذات العلاقة.
- تحديد وتصنيف الخواص الرئيسة لحالات التعرّض اعتماداً على دراسات الحالة.
- تقييم إمكانيات وحدود استراتيجيات المراقبة والطرائق فيما يتعلق بأمثلة حالات التعرض الداخلي.
- استنباط استراتيجيات مراقبة موصى بها وطرائق لأمثلة التعرّض الداخلي في حالات التعرّض الرئيسة.

تغطي الدراسة مجموعة كبيرة من الحالات العملية بما فيها إنتاج الغبار (والتعرض له)، سواء أكان التعرّض متواصلاً أم متقطعاً، وسواء أكان عاملاً محرّضاً أم عملية محرضة، ووجود تنوع في الجرعات بين العاملين. إن تشخيص هذه الحالات العملية سيجري في دراسات الحالة التي تصف حالات التعرّض الحقيقية الفعلية التي تواجهها الصناعات المختلفة بما فيها النكليدات المشعّة الطبيعية. وقد أنجزت الدراسات المتعلقة بهذه الحالة بالتعاون الوثيق بين المعاهد العلمية وشركائها الصناعيين، ويذكر الجدول 1

* نشر هذا الخبر في مجلة *European ALARA Network*, Issue 11 August 2002. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر - هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

الشركاء والعمليات الصناعية والتكليدات المشعّة الرئيسة الطبيعية ذات العلاقة.

وفي كل منشأة من المنشآت الصناعية تُقدَّم جميع حالات التعرّض، التي تنطوي على تعرّضات داخلية مهمة وممكنة، حالات منفصلة. وتقديم تقرير عن دراسات الحالة سيعتمد على صيغ عيارية. ويستلزم الهدف من ذلك تحديد خواص التعرّض الرئيسة المتعلقة بحالات التعرّض التي توضحها دراسات الحالة ومن ثم دمجها في عدد محدود من أصناف التعرّض ذات الخواص المشتركة التي تتعلق بتنفيذ مبدأ ALARA في تعرّض العمال الداخلي للنكليدات المشعّة الطبيعية.

وعلى غرار دراسات الحالة يتم إجراء دراسة شاملة وتقييم نقدي لاستراتيجيات المراقبة والطرائق التي تقبل مبدئياً التطبيق في عملية أمثلة حالات التعرّض الداخلي. إن المراجعة النقدية ستلائم إمكانيات وحدود الاستراتيجيات والطرائق كما ستلائم التطورات الجديدة فيما يتعلق بأدوات المراقبة. وهنالك تقنيات مراقبة مختلفة متاحة تسمح بتقييم الجرعات الداخلية، مثل أجهزة اعتيان الهواء الساكن (SAS)، وأجهزة اعتيان الهواء الشخصي (PAS)، ودراسة الرئة أو الجسم بكامله وتحليل المفرزات. وستبذل الجهود لتوضيح مدى ملاءمة خواص هذه التقنيات مع المتطلبات النوعية لأمثلة الوقاية الإشعاعية.■

6- الحزم الإلكترونية تصغر في حجمها*

يستخدم الفيزيائيون نبضات فائقة القصر من الضوء للتحكّم في حركة الإلكترونات المنبعثة من الجزيئات ولإنتاج حزم إلكترونات طولها عدّة نانومترات.

يبدو أن أحد قوانين الفيزياء غير المدوّنة هو أن ملاحظة الأجسام الصغيرة فالأصغر تتطلّب بالتأكيد تجارب كبيرة فأكبر. لقد جرى تشييد مسرّعات أضخم وأضخم لسبر بنية الجزيئات والذرّات والنوى والجسيمات ما تحت النووية. وعلى أي حال، يبدو حالياً أن هذا الاتجاه قد بدأ يسير بشكل معاكس. فقد بدأت المسرّعات المكتبية وحلقات تخزين الجسيمات، التي هي بحجم صحفة الفنجان، تظهر في المختبر، حتى أن الذرّات أمكن اقتناصها على جذاذة مكروية. ومن الممكن أيضاً في الوقت الحاضر مشاهدة تخفيض جذري آخر للحجم يتبع إنشاء حزم إلكترونية قياسها مجرد عدد قليل من الذرّات.

لقد قام حديثاً بول كوركم P. Corkum ومعاونوه لدى مجلس الأبحاث الوطني (NRC) في أوتوا في كندة وجامعة شيربروك في كندة أيضاً بتوليد وتناول حزم إلكترونية تمتد إلى أقل من نانومتر واحد - وهذا يعني أقل من حوالي عشرة أقطار ذرّية - في جميع الأبعاد الثلاثة. وعمر هذه الحزم قصير جداً يدوم عدة مئات من الأتوثانية فقط (10^{-18} من الثانية)، وهذا ليس أطول بكثير من الزمن الذي يستغرقه الإلكترون في دورانه حول النواة (هـ. نيكورا H. Nikura وزملاؤه، مجلة Nature 2002).

في الطريق إلى فيزياء الأتو

أعطى توليد هذه الحزم النانوية الإلكترونية للفيزيائيين أداة قوية أخرى في حقل فيزياء الأتو الذي ينمو بسرعة، والذي يُشتق اسمه من أقصر قياس زمني قادرين في الوقت الحاضر على التعامل معه في المختبر (انظر مجلة Physics World أيلول 2001). إن الأداة الأساس التي نستطيع بها التحكّم بمثل هذه الأزمان القصيرة هي النبضة الليزرية الفائقة القصر العالية القدرة.

وبعد تطوير الليزرات ذات القدرة العالية بصورة كافية في بدايات التسعينيات من القرن الماضي، تمّ إدراك أن التأثرات اللاخطية لحقل الليزر وغازٍ ممدَّد يمكن أن تكون قوية بصورة كافية لتوليد سلسلة من نبضات من الضوء فوق البنفسجي الذي عمرها دون الفمتوثانية. يمكن توليد مثل هذه النبضات في الحقل الليزري بطريقة كثيرة الشبه بتلك التي تُولَّدُ فيها تشوهات توافقية في الأمواج الصوتية بواسطة مضخم راديوي رديء جُعل صوته عالياً. تأخذ هذه التشوهات شكل نتوءات ضيقة مجاورة للقمم وللأغوار في الحقل الليزري المهتز. وعندما نطرح الجزء الطويل من طول الموجة من الموجة المشوهة نبقى على سلسلة من النتوءات القصيرة التي تكون حسب النظرية قصيرة إلى حوالي 200 أتوثانية.

قدّم أوّلَ إثبات تجريبي على نبضات الأتوثانية في السنة الماضية تعاونٌ فرنسي هولندي بقيادة هارم غيرت مولر H. G. Muller من معهد FOM للفيزياء الذرّية والجزيئية في أمستردام وبيير أغوستيني P. Agostini من مركز الدراسات في ساكليه قرب باريس. وقدم في الوقت نفسه تقريباً، فريق فيرنس كراوز F. Krausz من معهد الفوتونيات في فيينا تقنية مختلفة لكشف نبضات الأتوثانية وذلك بقياس تأثيرها في طاقة الإلكترونات المنبعثة من غاز.

وفي التجربة الأخيرة في أوتوا، استكشف كوركم ومعاونوه إمكانية التحكم في حركة الإلكترون باستخدام نبضات ليزر قصيرة. أضاؤوا نبضة ليزر مدتها 50 فمتوثانية على عينة من جزيئات الهدروجين ودرسوا كيف تتحرك الإلكترونات المنبعثة من الغاز في حقل الليزر. وعوضاً عن البحث عن آثار نبضات الضوء الأتوثانية حلّل فريق أوتوا تركيب زمن الأتوثانية لحزم الإلكترون. استخدم فريق كوركم لقياس مثل هذه الأزمنة القصيرة جداً الاهتزاز السريع للجزيء المؤين الذي يبقى بعد النبضة كميقت (clock) فائق السرعة.

كيف يتم هذا العمل؟ يرتبط في جزيء الهدروجين البروتونان الموجبا الشحنة معاً بواسطة الإلكترونين السالبي الشحنة. وفي اهتزازة واحدة يدفع الحقلُ الكهربائي الشديد لليزر إلكتروناً بعيداً عن النواة ثم يسرّعه. يُخفِّض النزع المفاجيء للإلكترون القوةَ الرابطة بين البروتونين مما يسبب ابتعادهما

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

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

بعضاً عن بعض مسافة أكبر. وهذه تُطلق الميَقت الجزيئي. وعندما ينعكس حقل الليزر في النصف الثاني من الدورة يستطيع الإلكترون المحرّر أن يتسارع راجعاً نحو الجزيء المؤين، يقف الميقت عندما يضرب الإلكترون الأيون ويقذف الإلكترون المتبقي بعيداً. تحطّم هذه العملية الرابطة بين البروتونين وتدفع القوة الكهربائية التنافرية الشحنتين الموجبتين بعضاً عن بعض.

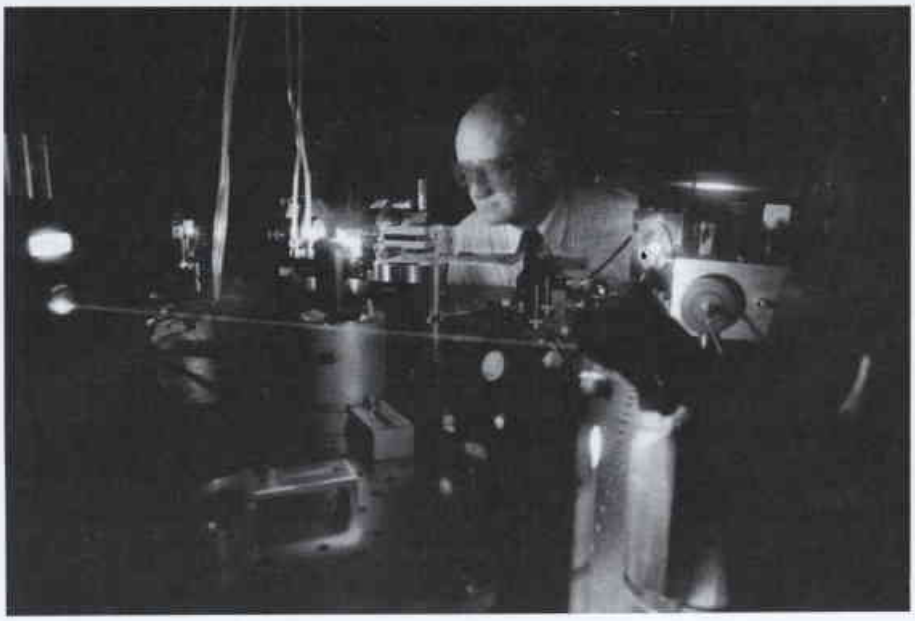
يُقرأ الميقت بقياس سرعة البروتونين على أساس الزمن الذي يحتاجان إليه للاصطدام مع مكشاف موضوع على بُعْدٍ معين. وإذا ما انتُزع الإلكترون الثاني بعد وقت قصير من الأول مثلاً، فإن البروتونين عندئذ يبقيان قريبين بعضاً عن بعض ويقوم تدافعهما المتبادل القوي بتسريعهما إلى سرعات عالية نسبياً. على أي حال، فإذا ما تمت إزاحة الإلكترون بوقت متأخر فإن الفصل سيكون أكبر ويكون تسريع البروتونين بسرعة أقل.

تدلُّ سرع البروتونات الملاحظة في التجربة على أن الإلكترون يصدم الأيون مرتين أو ثلاث مرات خلال ثلاثة فمتوثانية بعد التأثر الأول. وتدل الحسابات على أن كل تصادم يدوم فقط عدة مئات من الأتوثانية ويولّد حتى ثلاث قمم قصيرة لتيار الإلكترون عند الأيون. وبعدّ المجموع الكلّي للبروتونات المتحررة من عينة الهدروجين، حسَب كوركم ومعاونوه أن التيار في وحدة المساحة عالٍ جداً حتى أنه من الممكن مقارنته مع كثافات التيار التي نصل إليها في مسرّعات الإلكترون الكبيرة.

تقوية الطاقات

استخدمت في تجربة جديدة طريقة مختلفة لتوليد حزم فائقة القصر من الإلكترونات في فيينا (ر. كينبرغر وزملاؤه في مجلة Science 2002). استخدم كراوز ومعاونوه أيضاً ليزر فمتوثانية للتحكم في حزم الإلكترون القصيرة في غاز ذرّي. وعوضاً عن طرد إلكترون من ذرّة مباشرة بالليزر، فقد طرده فريق فيينا بمساعدة دفقة مفردة من إشعاع فوق بنفسجي شديد دام عدة مئات من الأتوثانية. تمّ الحصول على نبضة الأتوثانية هذه بإمرار نبضة فمتوثانية خلال عينة منفصلة من غاز ثم ترشيح الإشعاع التوافقي الخارج. يمكن قذف الإلكترون بدقة في اللحظة المناسبة بتغيير المسافة التي تنتقل فيها نبضة الأتوثانية قبل أن تضرب الهدف. واستطاع فريق فيينا بهذه الطريقة أن يختار وبدقة تامة لحظة تعريض الإلكترون لحقل الليزر الفمتوثانية وبالتالي تعديل توزيع طاقة واندفاع الإلكترونات.

الطريقة البسيطة لتعزيز طاقة الإلكترونات يجب أن تتم بزيادة شدة الليزر. تستطيع الليزرات في الوقت الحاضر أن تولّد حقولاً أقوى بمئة مرة على الأقل من الحقول التي تربط الإلكترونات بالمادة العادية. ويمكن للإلكترون، أثناء اهتزازة مفردة لحقل الليزر، أن يُسرَّع إلى سرعة الضوء



يقوم دافيد فيلينيوف من NRC في أوتوا بتعديل الليزر في تجربة الحزمة النانوية

ويمكن لطاقته أن تكون كبيرة بحيث تكفي، من حيث المبدأ، لسبر بنية النوى. وعلى أي حال، فإننا حتى هذه اللحظة غير قادرين على التحكم بنبضات ليزر عالي القدرة بدقة كافية لتوجيه الإلكترونات عكسياً نحو النوى. يقوم الفيزيائيون المختصون بالليزر مع الفيزيائيين النظريين المختصين بالذرّة بتحرّي مخططات أو مشاريع جديدة تسمح باستخدام حزم نانوية عند مثل هذه الطاقات العالية.

أكثر من كونها مجرد حزم إلكترونية

بالرغم من إمكانية وصف المميزات الأساسية لهذه الحزم الإلكترونية بلغة حزمة تقليدية إلا أنه يوجد أكثر من ذلك في الحزم النانوية من حيث وسطائها المفضّلة وحجمها الصغير. وبسبب حجمها فإن الحزم النانوية هي أجسام كمومية. وبتعبير آخر إنها تشكل مجموعة من الجسيمات مرتبطة بشكل غامض بموجة مترابطة وحيدة لها طول موجي قصير نوعاً ما.

استكشف ميشا إيفانوف M. Ivanov من NRC في أوتاوا وأولغا سميرنوفا O. Smirnova من جامعة موسكو الحكومية في الوقت الحاضر طرائق للاستفادة من ترابط الحزم النانوية في قياسات يتعذّر إجراؤها بحزم جسيمات تقليدية. وأحد الأمثلة المشهورة للتقانة التي تعتمد على الحزم المترابطة هو التصوير التجسيمي الليزري holography الذي يسمح بتسجيل وإعادة إنتاج الصور الثلاثية الأبعاد. يخفض الطول الموجي الصغير لموجة الإلكترون المترابط ميز الحزمة النانوية إلى السلّم الذرّي والجزيئي.

هكذا، فإن الترابط والكثافة الإلكترونية العالية والتوقيت الدقيق بإمكانها أن تسمح لنا بتسجيل لقطاتٍ متتابعة للغيمة الإلكترونية بالأبعاد الثلاثة. وعليه يمكن في النهاية أن تصبح رؤية الإلكترونات في الذرّة وهي تتحرك حقيقة.■

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

7- المخرّبون الشريرون*

إنها تلتهم النجوم على وجبة الفطور مستهزئة بقوانين الفيزياء. لكن هل تعتبر هذه الثقوب السود موجودة بالفعل ومارأيك فيما لو سقطتَ في أحدها؟ سيجيبنا هازل مير على ذلك من خلال اكتشافاته.

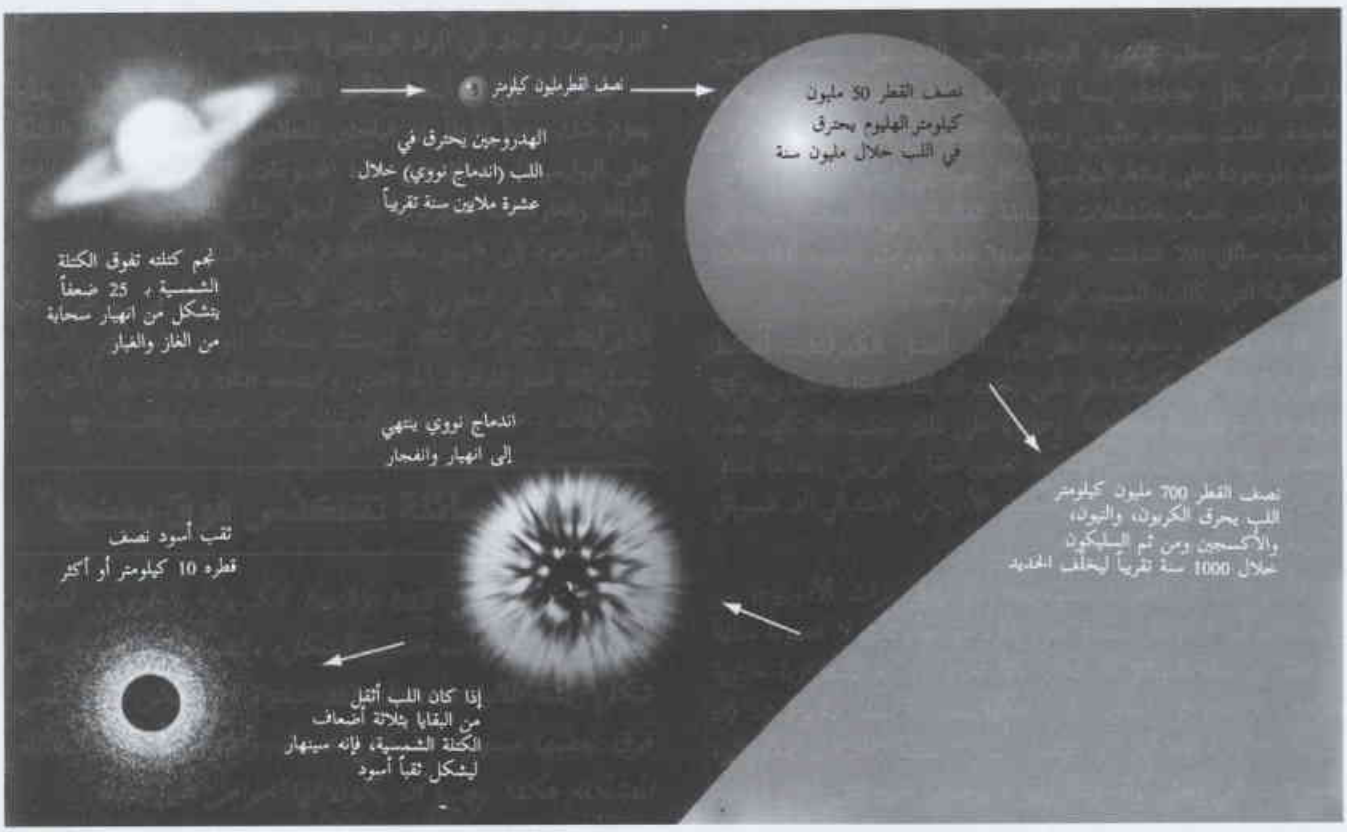
لا شك أن الثقوب السود تُعدّ أكثر المخلوقات غرابة في حديقة المخلوقات الفلكية في هذا الكون. فهي تتشكل عندما ينهار نجم إلى نقطة مفردة بحيث تمارس مثل هذه القوة التثاقلية الكبيرة، وبالتالي لايمكن لأي شيء أن يفلت منها حتى الضوء. ورائد الفضاء الذي تاه قرب ثقب أسود سيتمدد كالسباغيتي ومن ثم يتمزق إلى قطع صغيرة.

وعلى مدى عقود والعلماء ينظّرون حول وجود هذه الوحوش الغريبة، فالمقاريب المدارية أتاحت لهم أن يتخذوا مقراً لهم على العديد من الثقوب السود المحتملة، بدءاً من الثقوب الصغيرة التي تجوب الفضاء بحرية وحتى الثقوب الضخمة التي تقبع في مراكز المجرات. ولكن يبقى العديد من الأسئلة بلا جواب. فعلى سبيل المثال، ماذا يجري في قلب الثقب الأسود حتى تصبح قوانين الفيزياء المعروفة غير سليمة؟ وهل تستطيع الثقوب السود أن تشكّل أنفاقاً إلى الأكوان الجديدة؟ وكيف أصبحت الثقوب السود الضخمة كبيرة بهذا الشكل؟

تعود فكرة الثقوب السود إلى عام 1783 عندما فكّر القسّ والعالم الهاوي البريطاني، جون ميتشل John Michell بسرعة الإفلات escape velocity أي السرعة الدنيا التي ينبغي أن يحققها الجسم لتحرير نفسه من قبضة التثاقل لأي كوكب أو نجم. فقد أوضح أن سرعة الإفلات بالنسبة لنجم له كتلة معينة تصبح أعلى كلما كان النجم أصغر وأكثر كثافة. وهذا يعود إلى أن الجذب التثاقلي بين جسمين متناسب عكساً مع مربع المسافة بين مركزيهما؛ لذلك فالثقالة على سطح نجم صغير وكثيف أعلى بكثير منها على سطح نجم كبير له الكتلة نفسها.

يفترض ميتشل أنه إذا قمتَ بتقليص نجم صغير تقليصاً كافياً، فإن سرعة الإفلات ستصل بالنهاية إلى سرعة الضوء. بمعنى آخر، إن الضوء ذاته لايمكنه الإفلات بحيث يبدو النجم أسودَ من الخارج. ويطلق ميتشل على مثل هذا الجسم اسم النجم الأسود. لكن فكرته بقيت غامضة طيلة قرنٍ من الزمن لسبب أساسي وهو أنها لم توضّح ما إذا كان للثقالة التأثير ذاته على الضوء كتأثيرها على المادة العادية.

في عام 1915 تغيّر كل هذا، عندما أصدر أينشتاين كتابه النظرية العامة للنسبية general theory of relativity يصف فيه الثقالة على أنها انحناءات في تركيب الزمكان. وفي السنة التالية قام فلكي ألماني يدعى كارل شفارتزشيلد Karl Schwarzschild بحلّ معادلات أينشتاين عندما كان يخدم على الجبهة الشرقية في الحرب العالمية الأولى. وقد بيّن شفارتزشيلد أن ميتشل كان على صواب تماماً؛ فإذا ما انضغط نجم كبير



* نشر هذا الخبر في مجلة *New Scientist*, 19 October 2002. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

في فضاء صغير إلى حدٍّ كافٍ، سيحدث مثل هذا الحقل التثاقلي القوي بحيث لم يعد أي شيء – حتى الضوء – قادراً على الإفلات من قبضته.

اعتقد أينشتاين وكثيرون غيره أن هذه الأجسام، التي سُميت فيما بعد بالثقوب السود، كان وجودها يفوق الخيال. علاوة على ذلك، فإن النجوم بحسب أينشتاين لاتتقلص لتصل إلى هذا الحجم الصغير. لكن العلماء اقتنعوا تدريجياً بأنها تتقلص. إذا انفجر نجم ضخم جداً في نهاية حياته، تاركاً لباً كتلته تقريباً ثلاثة أضعاف الكتلة الشمسية أو أكثر – أي ثلاثة أضعاف كتلة الشمس أو أكثر– فليس هناك قوةٌ معروفة تمنع انهيار اللب إلى نقطة ذات كثافة لانهائية، وتدعى **نقطة مفردة** singularity (انظر الشكل 1).

وهذه النقطة ستحاط **بأفق الحدث** event horizon؛ وهو يمثل حدّاً كروياً يميّز نقطة اللاعودة. وأشياء غريبة ستظهر بالنسبة لرائد الفضاء الذي يسقط عبر الأفق، وستلعب الثقالة الزائدة دور المخرّب مع مرور الزمن وتشوّه رؤيته للنجوم، وقبل أن يصل إلى النقطة المفردة سيكون قد تمدّد وتمزق إلى قطع صغيرة.

وثمة قياس بسيط لحجم الثقب الأسود، هو نصف قطر **شفارتزشيلد** Schwarzschild radius، ويمثل نصف قطر أفق الحدث عندما يُنظَر إليه من الخارج. ويعادل نصف قطر شفارتزشيلد بالكيلومترات تقريباً ثلاثة أضعاف وزن الثقب الأسود (بالكتل الشمسية). ولذلك فالثقب الأسود، الذي يزن عشرة أضعاف الكتلة الشمسية، له نصف قطر شفارتزشيلد، على سبيل المثال، حوالي 30 كم.

وكما هو الحال بالنسبة لأي كرة، فإن محيط أفق الحدث يعادل 2π مرة نصف قطر شفارتزشيلد.

لكن الثقوب السود تتوزع هنا وهناك بحسب هندسة كل يوم. وإذا كان بإمكان فريق من روّاد الفضاء القفز والدخول إلى الثقب وقياس المسافة بين الأفق والنقطة المفردة، فسيكون هذا عملاً أعظم من نصف قطر شفارتزشيلد. وبحسب مارآه الدكتور Who في نظريته TARDIS، قد يكون في الداخل حيّز أكبر مما يبدو من الخارج. وهذا يعود إلى أن الفضاء في الثقب الأسود يكون ملتوياً جدّاً بحيث إن كل قواعدنا الهندسية اليومية بالنسبة للمكان غير الملتوي المسطح لم تعد مطبقة (انظر الشكل 2).

مع ذلك، إن نموذج شفارتزشيلد البسيط للثقب الأسود لم يقدم وصفاً دقيقاً للثقوب السود الحقيقية لأنه يتجاهل خاصّتين من خواصّها: الأولى هي أن الثقوب السود يمكن أن يكون لها شحنة كهربائية، والثانية أنها تدور بسرعة كبيرة. هذا يعني أن الثقوب السود الدوّامة، على سبيل المثال، ستسحب معها الفضاء المجاور لها، وأن القوى النابذة ستجعل خط الاستواء لأفق الحدث ينتأ نحو الخارج.

ولكن بغضّ النظر عن كتلتها وشحنتها وسبينها، فإن جميع الثقوب السود غير قابلة للتمييز فيما بينها. فإذا كان هنالك ثقبان لهما الكتلة والسبين والشحنة نفسها فإنهما سيكونان متطابقين في كل شيء، وقد لايكون هنالك أثر لطبيعة المادة الأصلية التي تسقط فيهما، فقد تكون نجوماً، أو سحباً من الغبار، أو مركبة فضائية غريبة؛ وهذا ماترك العلماء في حيرة من أمرهم حول مايفعله الثقب الأسود بكل تلك المعلومات حول هذه المواد، لأن الميكانيك الكمومي يخبرنا أن المعلومات مصونة دوماً. وحتى بعد حدوث انفجار يمكنك رغم ذلك أن تستخرج المواد الأصلية من الأنقاض التي خلّفها. لكن الحال ليس كذلك مع الثقوب السود.

"إن كوننا يمكن أن يتبنّاه ثقب أسود في كون آخر موجود مسبقاً"

وثمة حلٌّ غريب لهذه المفارقة يتمثل بأن المعلومات تتسرب بعيداً إلى كونٍ آخر. والفكرة هي أنه عندما ينهار لبّ نجم ليشكّل ثقباً أسود فإنه لايتقلص إلى نقطة مفردة، بل يُنشئ، عوضاً عن ذلك، منطقة جديدة من الزمكان المتوسّع الذي يمثّل بالفعل كوناً آخر. وإذا كان الأمر كذلك، فإن كوننا يمكن أن يتبنّاه ثقب أسود في كون آخر موجود مسبقاً. ويمكن أن يكون هنالك منطقة مزدحمة بالأكوان – **تعدد أكوان** multiverse – مرتبطة بالثقوب السود.

يتناول لي سمولن Lee Smolin، من معهد بيريميتر perimeter للفيزياء النظرية في واترلو بكندة، مفهوم تعدّد الأكوان بصورة أكبر، ويتوقّع أن الأكوان يمكن أن "تتطور" كالمتعضيات (الكائنات الحية). فعندما يلد ثقب أسود كوناً طفلاً، يمكن أن تكون له ثوابت فيزيائية مختلفة قليلاً بالنسبة إلى الكون الأب، ويمكن أن تكون كتل الجسيمات الأساسية أو عزوم القوى، على سبيل المثال، مختلفة قليلاً فيما بينها. ولكي ينتج الكون الطفل أعداداً كبيرة من ذريته، يجب أن تكون قيم ثوابته ملائمة لإنتاج حمولات من النجوم الضخمة التي تنهار لتشكّل ثقوباً سوداً.

وطالما أن عمليات توالد الأكوان في تقدم مستمر، فإن النوع "الأنسب" هو الذي يسيطر ويبقى. وعلى فرض أن كوننا هو أحد الأكوان الحديثة في سلسلة طويلة من الأكوان، ينبغي

المؤظر 1:

لامبرر للهلع...

هنالك فكرة خاطئة شائعة مفادها أن الثقوب السود تشبه منظفات الخلاء الكوني التهديدية إذ تمتص الأجسام من مسافات بعيدة. لكن السَحب غير العادي للثقب الأسود ينشأ من حقيقة أنه ينضغط في فضاء صغير جداً. وبعيداً عن أي ثقب أسود، لن تكون الثقالة ذات شأنٍ خاص.

إذا انهارت الشمس مستقبلاً لتشكل ثقباً أسود، فلن تسقط الأرض فيه. إن أفق الحدث في الثقب الأسود - وهو منطقة اللاعودة - لايتجاوز قطره بضعة كيلومترات وسحبه التثاقلي على بعد 150 مليون كيلومتر وعند المدار الحالي للأرض سيكون هو ذاته كما هو عليه الآن. وطبعاً على حين غرة سيصبح عاتماً وبارداً جداً..

2 أثر TARDS

يبين الشكل كيفية تشويه الثقب الأسود للزمان والمكان (الزمكان)

يلتف الفضاء حول الثقب الأسود كالتشويه في صفيحة مطاطية مع كرة رخامية يأخذ وزنها بالتناقص. إن محيط الدائرة على سطح الصفيحة أقل بكثير من 2π ضعف نصف قطرها "radius". كذلك فإن محيط أفق الحدث في الثقب الأسود أقل بكثير من 2π ضعف نصف قطره.

عندها أمثّلته كي ينتج من الثقوب السود بقدر المستطاع.

وثمة حلّ محتمل للمفارقة في المعلومات يعتمد على حقيقة مفادها أن الثقوب السود ليست سوداً تماماً - إذ يمكنها أن تسرّب الإشعاع إلى الفضاء. ويمكن أن تكون المعلومات التي ابتلعها الثقب الأسود قد تركت بصمتها على إشعاع هاوكنغ هذا Hawking radiation. وهذه الفكرة جاء بها الفيزيائي البريطاني ستيفن هاوكنغ Stephen Hawking الذي أثبت رياضياتياً أن الثقوب السود تتبخر تدريجياً. وبحسب الميكانيك الكمومي تأتي الجسيمات والجسيمات المضادة باستمرار وتظهر فجأة إلى الوجود في خلاء الفضاء وتختفي بعد لحظة قصيرة. هذه العملية "تستعير" الطاقة أولاً من الخلاء، ومن ثم تعيدها. ولكن عندما يظهر فجأة مثل هذا الزوج على أفق الحدث في

3. كيف تقع السماء في الثقب الأسود

الحافية تبثر الضوء، ضاغطة السماء

الثقب الأسود، يمكن أن يسقط فيه جسيم بينما يهرب جسيم آخر. ويفقد الثقب الأسود بالفعل كمية من الطاقة تعادل كتلة الجسيم المهرّب.

على أي حال، تقوم الثقوب السود بتسريب الطاقة على شكل إشعاع هاوكنغ بصورة بطيئة تكاد لاتصدق. ويستغرق تبخّر الثقب الأسود (في سنوات) زمناً يعادل تقريباً مكعب كتلته (بالكتل الشمسية) مضروباً بـ 10^{66}. لذلك، فالثقب الأسود الذي يزن عشرة أضعاف الكتلة الشمسية يستغرق 10^{69} سنة كي يتبخر- أي أطول بكثير من العمر الحالي للكون الذي يبلغ 14 بليون سنة تقريباً. وخلال هذا الزمن سيخفي أكثر مما يفقد من المادة الموجودة في محيطه.

لكن إذا كان الثقب الأسود أصغر من ذلك بكثير، فسوف يتبخر بسرعة أكبر بكثير وفي النهاية سينفجر. ومثل هذه الثقوب الصغيرة جداً ربما وُجدت مع بداية تشكّل الكون في الشروط القصوى للكرة النارية في الانفجار العظيم.

المؤطر 2:

رائد الفضاء يتحول إلى سباغيتي

قد لانمتلك التقانة الكافية لإرسال رواد الفضاء إلى مسافة مئات السنين الضوئية لاستكشاف الثقوب السود. ومن المحتمل أن يكون سبب ذلك هو أنهم يموتون ميتة مخيفة. ولكن بفرض أن سفينة فضائية مجهّزة بطاقم استطاعت أن تدور حول ثقب أسود على مسافة آمنة وترسل رائد فضاء جريئاً عبر أفق الحدث، ماذا يحدث جراء ذلك؟

إن الثقب الأسود الأجدر اكتشافه قد يكون من ذلك النوع العملاق الذي يسيطر على مراكز المجرات والذي يزن 10 بليون مرة كتلة الشمس ويمكن لرائد الفضاء أن يكتشفه داخل أفق الحدث لمثل هذا الثقب الضخم قبل أن يختفي ببضع ساعات.

وقبل أن يسقط رائد الفضاء في الأفق، سوف يرى النجوم تدوم فوقه بطريقة غريبة جداً. ويبدو الأمر وكأن هناك رؤية نفقية، فكل النجوم والمجرات ستبدو محتشدة في بقعة ساطعة فوق رأسه عندما تحني ثقالة الثقب الأسود الضوء الصادر من نجوم بعيدة لتدخله إلى فضاء أصغر بكثير (انظر الشكل 3).

وستصبح أيضاً النجوم الصفر ذات لون أزرق تدريجياً بسبب وجود تأثير يدعى الانزياح الأزرق الذي يزيد من طاقة وتواتر الضوء الوارد إلى الثقب. تقوم الثقالة بعصر الأمواج بشكل فعال، بحيث تدفع أطوالها الموجية إلى الطرف الأزرق للطيف. وبصورة عكسية، إذا كان لدى رائد الفضاء مشعل وأضاءه في الخارج ووجّهه نحو زملائه في المركبة الفضائية، فإنهم سيرون التأثير المعاكس (الانزياح الأحمر)، وسينتشر الضوء الوارد من المشعل عند محاولته الهروب من الثقب فاقداً الطاقة ومتحولاً إلى الأحمر.

وبعد ذلك سيراه زملاؤه في المركبة وهو يتلاشى عندما يقترب من أفق الحدث، لأن الضوء المنعكس عنه سيكون منزاحاً للأحمر ليدخل في التواترات غير المرئية بالنسبة للعين المجردة. فإذا كانوا يستخدمون آلات تصوير حساسة لهذه التواترات، فإن صورته، مع ذلك، ستبدو مجمّدة في الفضاء وإلى الأبد. وهذا يعود إلى أن هذه العملية ستستغرق وقتاً أطول فأطول لكي يصل كل فوتون إلى المراقب عندما يسقط، وبالنهاية تستغرق وقتاً لامحدوداً أي انزياحاً لامحدوداً نحو الأحمر.

وفي غضون ذلك، سيعبر رائد الفضاء أفق الحدث ولايلاحظ أي شيء غير عادي. وبدون أن يدرك، يمضي الوقت أبطأ فأبطأ بينما يقترب أكثر فأكثر من النقطة المفردة.

وخلال بضع ساعات يبدأ يشعر بعدم الارتياح بسبب "قوى المد والجزر". ونظراً لازدياد القوة الثقالية قرب الثقب الأسود بسرعة كبيرة عندما تقترب من النقطة المفردة، فإن السحب عند قدميه سيكون أكبر بكثير منه عند رأسه (ويُفترض أنه قفز على أقدامه أولاً). ويمكن للبالغ النموذجي أن يقاوم الاختلاف في التسارع من الرأس إلى القدم بحوالي 12 ضعف التسارع الناتج بسبب الثقالة على الأرض. لكن بالقرب من الثقب الأسود، تصبح قوى المد والجزر أكبر من تلك، لذلك خلال ساعات من عبور أفق الحدث سيتمدد رائد الفضاء طولاً، ويعصر من الجانبين ويتمزق إلى قطع صغيرة في عملية تدعى "تقطيع السباغيتي".

وبعد يومين تقريباً ستندفع بقايا رائد الفضاء الميت تماماً والطويل والنحيف جداً إلى النقطة المفردة المركزية.

ويمكن للبقع الكثيفة من المادة أن تنسحق لتدخل squidged الثقوب السود بحجم البروتون وتزن بليون طن.

هذا من الناحية النظرية، لكن كيف نتأكد من وجود الثقوب السود حقيقة؟ مع أن الدليل النظري بالنسبة لها كان قد تمّ فرضه في الخمسينيات من القرن الماضي، فلم يكن واضحاً مدى سهولة اكتشافها. مع ذلك، اعتقد الفلكيون أنه ينبغي أن يكونوا متفقين في مجرتنا. وكان تفكيرهم ينصبّ على أن درب التبانة يحوي حوالي ألف بليون نجم، وأن واحداً منها أو اثنين ينفجر في انفجارات المستعر الفائق supernova explosions كل مئة سنة. وعندئذ إذا انهارت نسبة كبيرة من هذه الانفجارات لتشكل ثقوباً سوداً، يمكن أن يكون هنالك مئة مليون منها في درب التبانة، وربما أكثر من ذلك.

ولكن كيف يمكنك أن ترى جسماً أسود داكناً؟ فالثقوب السود بالتعريف لاتصدر ضوءاً. وبالنسبة لأفق حدث نموذجي قطره 50 كم فقط، مثلاً، تكون الثقوب صغيرة جداً كأنها أجسام فلكية تتحرك؛ أي صغيرة إلى حدٍّ يصعب معه تحديد موقعها من خلال البحث عن بقعة عاتمة مقابل خلفية ضوء النجم على سبيل المثال .

في ستينيات القرن الماضي أدرك الفلكيون أنهم يستطيعون البحث عنها بشكل غير مباشر. فإذا كان الثقب الأسود في **منظومة ثنائية** binary system – أي إذا كان له نجم مرافق يدور حوله – فإن ثقالة الثقب ستسحب المادة من النجم المرافق. وعندما تسقط المادة نحو الثقب، فإنها ستشكّل قرصاً دوّاماً حارّاً يدعى قرص التنامي accretion disc حول الثقب قبل أن تختفي عبر الأفق، كالماء الذي يبتلعه **ثقب سدادي** (انظر الشكل 4). ويكون قرص التنامي حارّاً جداً بحيث يُصدر أشعة X.

ليس من السهل على المقاريب الموجودة على الأرض كشف مثل هذه الأشعة، لأن الغلاف الجوي المحيط بالأرض يشكّل عائقاً في وجه معظمها. ولذلك أعدّ الفلكيون مكاشيف أشعة X وأطلقوها في الفضاء. وتمّ إطلاق أول ساتل أشعة X – أورو Uhuru في عام 1970. وبعد ذلك مباشرة، توصّل الفلكيون إلى مرشحهم الأول القوي لثنائية ثقب أسود: Cygnus X-1، الذي يبعد حوالي 8000 سنة ضوئية. فهو جسم مظلم يدور حول نجم مضيء ويزن على الأقل ثلاثة أضعاف الكتلة الشمسية؛ وهذا مايجعله ثقيلاً وعاتماً جداً إلى حدٍّ يصعب معه أن يكون أي شيء باستثناء الثقب الأسود. وهنالك أكثر من عشرة ثقوب سود مشتبه بها تمّ تحديدها في المنظومات الثنائية في مجرتنا وفي المجرة الساتلية المرافقة لدرب التبانة تدعى سحابة ماجلان الكبرى.

لكن هنالك نسل آخر للثقب يزن ملايين المرات من كتلة الشمس. وقد بدأ يتضح تدريجياً للفلكيين أن هذه الأجسام الضخمة أخذت طريقها إلى الوجود. في ستينيات القرن الماضي اكتشفوا مجرّات مضيئة جداً على مسافات هائلة عن الأرض. وكان خرج الطاقة لهذه الأجسام، التي سمّيت فيما بعد بالكوازارات، مذهلاً؛ حيث كان سطوعها أكثر بحوالي مئة مرة من سطوع المجرّات المعروفة الأكثر سطوعاً في الكون، لكن الطاقة تأتي من منطقة في مركزها حجمها لايتعدى حجم منظومتنا الشمسية (أي أن قطرها حوالي بليون كيلومتر).

فيما بعد خلص الفلكيون إلى أن مصدر الطاقة الوحيد والممكن لمجرة ساطعة كهذه لابد أن يكون ثقباً أسود فائق الضخامة، أثقل من الشمس بملايين المرات، يلتهم النجوم والغازات من حوله. ومن المعتقد حالياً أن الثقوب السود الضخمة هي مصدر الطاقة لمجموعة كاملة من الأجسام ذات التألق الشديد والبعيدة جداً التي تدعى بمجموعها **النوى المجرّية النشطة** active galactic nuclei وعندما تقوم الثقوب السود العملاقة بابتلاع النجوم والغاز والغبار، فإن قرص التنامي لديها يصدر إشعاعاً فائق السطوع. وهنالك بعض النوى المجرّية النشطة ترسل أيضاً نفثات من الجسيمات الطاقية تمتدّ مئات الآلاف من السنين الضوئية في الفضاء.

الثقوب السود الهائلة في محيطنا

يمكن أن تكون هنالك ثقوبٌ سودٌ ضخمة أقرب إلى موطنها. والآن يشير العلماء بالإجماع إلى أن لمعظم المجرات الكبيرة إن لم يكن لجميعها ثقباً أسود واحداً. على سبيل المثال، اكتشف مقراب هبل الفضائي قرص تنامٍ لولبي في مركز مجرة تدعى NGC 4261. وبما أن القرص يدور، يستطيع الفلكيون تحديد مراكز وسرعات المادة التي تدور حول نفسها داخله، الأمر الذي يستطيعون من خلاله التوصّل إلى السحب التثاقلي ومن ثم إلى كتلة الجسم في مركزه، فالجسم يكون كبيراً كمنظومتنا الشمسية، لكنه يزن حوالي 1.2 بليون مرة كتلة الشمس. ولإدخال تلك الكتلة بكاملها في مثل هذه المنطقة الصغيرة نسبياً، لابد أن تكون حتماً ثقباً أسود.

وينطبق الأمر ذاته على مجرتنا، فبعد مراقبة نجوم تتحرك قرب مركز درب التبانة، خلص الفلكيون إلى أن هناك جسماً يدعى ساغيتاريوس Sagittarius A* ما هو إلا ثقب أسود يزن 2.6 مليون مرة كتلة الشمس.

لايعرف أحد تماماً كيفية ولادة الثقوب السود الضخمة، فربما تكون أسبق زمنياً من المجرة حيث تشكّلت عندما انهارت السحب العملاقة في الكون اللانجمي المظلم، أو أنها تشكّلت فيما بعد داخل مجرات النجوم عندما اندمجت أعدادٌ كبيرة من الثقوب السود الصغيرة. ويبدو أن مراقبات مقراب هبل الحديثة أيّدت ذلك، فقد أعلن الفلكيون هذا العام أن لديهم دليلاً كافياً على وجود ثقوب سود متوسطة الوزن تعادل كتلها آلاف المرات الكتلة الشمسية في الحشود الكثيفة من النجوم وتدعى التجمعات الكروية. وبنهاية الأمر يمكن أن تودع التجمعات ثقوبها السود المتوسطة الحجم في المراكز المجرّية، حيث تندمج مع بعضها وتتحول إلى ثقوب سود ضخمة.

هنالك الكثير من الأسرار الأخرى التي ينبغي حلها. وأبرزها يكمن في طبيعة النقطة المفردة حيث تبتعد الفيزياء العادية عن المقياس لأن الكثافة لانهائية. فاللانهائيات غير معروفة في أي مكان آخر من الكون؛ لذلك عندما تظهر قيمة لانهائية فجأةً في حسابات الفيزيائيين فإنهم يميلون إلى الشك فيها. وإلى أن يتوصلوا إلى **نظرية للثقالة الكمومية** Theory of quantum gravity – أي النظرية التي توحّد بين النظرية الكمومية والنسبية العامة – فلن يكونوا قادرين على معرفة ماهية قلب الثقب الأسود، فالعديد منهم يعتقد أنه عندما تكون لديهم بالنهاية مثل هذه النظرية، سيتحول الوضع لتصبح الثقوب السود مأوى لبعض البنى التي ستفعل فعلها إلى حدٍّ ما.

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

المؤطّر 3:

مصانع الثقب الأسود على الأرض

إذا كان هنالك الكثير مما يقال حول الثقوب السود في الفضاء، فماذا يقال عن الثقوب السود في سويسرة؟ لقد دهش العلماء من أنهم ربما يكونون قادرين على إحداثها هنا على الأرض، وسيكون البدء بذلك في عام 2006 عندما يتم تشغيل محطّم الجزيئات الجديد الذي يدعى المصادم الهدروني الضخم LHC في سيرن CERN المركز الأوربي لفيزياء الجسيمات بالقرب من جنيف.

في الفضاء تتشكل الثقوب السود فقط عندما تنضغط كمية هائلة من المادة في فضاء صغير جداً بحيث تكون هنالك ثقالة كافية لعصرها إلى نقطة معينة. ومع ذلك، إذا استطعت أن تدير الثقالة في مختبر على الأرض، عندئذ يمكنك أن تصنع ثقباً أسود خارج جسيم صغير جداً. هنالك بعض النظريات الغريبة تشير إلى أن الكون ينطوي على الكثير من الأبعاد المخفية، ويمكن ان يكون نتيجة هذا ان تصبح الثقالة قوية بشكل مذهل عندما تتصادم الجسيمات عند طاقات عالية - وربما عند طاقات تكون في متناول المصادم الهدروني الضخم، الذي سيحطم البروتونات الطنانة مع بعضها. وتشير الحسابات إلى أن المصادم الهدروني الضخم ربما يصنع آلاف الثقوب السود يومياً ، كل منها أثقل من البروتون بـ 5000 ضعف.

لحسن الحظ ستكون هذه الثقوب صغيرة جداً قطرها حوالي 10^{-18} متر، وستعيش جزءاً من الثانية قبل ان تنفجر في دفقة إشعاع هاوكنغ. فإذا كانت ثقيلة ومستقرة، فسوف تلتهم سيرن وسويسرة والأرض بأكملها. ولكن إذا نجح سيرن في خلق ثقوب سود، فهذا ينبئنا انه بهذه العملية قد تمّ حلّ لغز الكرة النارية عالية الطاقة في الانفجار العظيم. وهذا ما يتيح للعلماء أيضاً مراقبة الثقوب السود عن قرب واختبارها في مواجهة نظرياتهم.

هنالك سؤال يطرح نفسه حول وجود الثقوب السود. يقول الفلكيون إنه بالرغم من أن لديهم دليلاً كافياً على انضغاط أجسام ثقيلة جداً في فضاءات صغيرة، فليس هناك دليل مباشر على أن لديهم آفاق حدث تأسر الضوء. ونظراً لعدم انفلات أي شيء من أفق الحدث، فمن غير المحتمل إثبات حقيقة وجود الثقوب السود مئة بالمئة.

ويؤكد آخرون أن الحقيقة التي توصلوا إليها تمّ إثباتها بعد شك معقول. على سبيل المثال، أشاروا إلى أنه إذا كان هنالك مبدأ فيزيائي صارم وسريع يمنع النجوم المنهارة من التقلص داخل أفقها الحدثي فإن مثل هذه الأجسام سيكون لها سطح يمكننا اكتشافه، طالما أن المادة التي تسقط عليها ستسبب أحياناً انفجارات مرئية، ونحن لانرى مثل هذه الانفجارات من الثقوب السود المرشحة في المنظومات الثنائية.

ويمكن أن يصبح الوضع مع الثقوب السود أقوى بمساعدة أحدث المراصد المدارية لأشعة X: مرصد شاندرا Chandra لأشعةX والتابع لوكالة ناسا NASA وكان قد تمّ إطلاقه في تموز عام 1999، ومرصد XMM-Newton التابع لوكالة الفضاء الأوربية ESA، والذي تمّ إطلاقه في كانون الأول من العام ذاته. ويمكن لهذه السواتل قياس النماذج التفصيلية للأطوال الموجية لأشعة X التي تصدرها أقراص التنامي. وقد وجدوا مؤخراً دليلاً على أن الثقالة القوية خارج أفق الحدث تماماً لثقب أسود فائق الضخامة تستنزف الطاقة من الضوء، تماماً مثلما تنبأت به النسبية العامة.

ولاشك أن لدى وكالة ناسا NASA ووكالة الفضاء الأوربية ESA خططاً طموحة فيما يتعلق بالمقاريب المستقبلية لأشعة X. فوكالة ESA تدرس حالياً تصميماً يدعى XEUS وهو اختصار لبعثة المطيافية الكونية المتطورة لأشعة X، والتي تفوق حساسيتها حساسية مرصد XMM-Newton بـ 200 ضعف. وسيستخدم هذا التصميم مرآة قطرها 4.5 متر لتبئير أشعة X على مكشاف مستقل يطير 50 متراً في الأمام. وسيبيّن تصميم XEUS ما إذا كانت الثقوب السود العملاقة موجودة خلال الأزمنة الكونية المظلمة، أي قبل أن تضيء النجوم المجرات. في غضون ذلك، تأمل وكالة ناسا إطلاق بعثة تدعى Constellation-X في نهاية هذا العقد. وهنالك خطة حالية قيد التنفيذ تتجه نحو إطلاق أربعة سواتل أشعة X.

وليست مقاريب أشعة X هي المشروع الوحيد في المنطقة. **فالمكاشيف الموجية الثقالية** Gravitational wave detectors يمكن أن تساعد أيضاً في كشف المستوى الذي وصلت إليه الثقوب السود. وعندما تنشأ الثقوب السود في الانفجارات النجمية، أو عندما تتصادم مع النجوم المرافقة لها، تنتشر تموّجات صغيرة في تركيبة الأمواج الثقالية الزمانية – المكانية بسرعة الضوء. على أي حال، لن تصبح مكاشيفنا حساسة لدرجة أنها تلتقط مثل هذه التموّجات الصغيرة جداً قبل عقد من الزمن.

من يدري أننا في يوم من الأيام سنغدو قادرين على إيجاد ثقوب سود تصميمية على الأرض. ويمكن لهذه الثقوب المروّضة أن تثبت مدى أهميتها الكبيرة في سبر أسرار مثيلاتها المتوحشة والأكبر حجماً. ومهما يكن الأمر، سيستمر البحث في فهم الوحوش الأكثر ظلمة وغرابة في الكون.■

4 إشارات من منظومة ثنائية

المادة تندفع من النجم المرافق للثقب الأسود لتشكل قرص تنام حار ودوّامي

الراديوم*

ما هو الراديوم؟

الراديوم هو عنصر مشع يوجد في الطبيعة بتراكيز منخفضة جداً في القشرة الأرضية (حوالي جزء واحد من التريليون جزء). وهو في حالته النقية معدن أبيض - فضي اللون ثقيل يتأكسد حالاً عند تعرضه للهواء. تبلغ كثافته حوالي نصف كثافة الرصاص، ويوجد في الطبيعة بصورة أساسية بشكل راديوم-226 رغم وجود عدة نظائر إضافية أخرى. (النظائر عبارة عن أشكال مختلفة من العنصر تحوي العدد نفسه من البروتونات في النواة وعدداً مختلفاً من النترونات). لقد اكتُشف الراديوم عام 1898 لأول مرة من قبل ماري وبيير كوري واستخدم كأساس لتعيين نشاط العديد من النكليدات المشعة. يساوي كوري واحد من النشاط معدّل اضمحلال النشاط الإشعاعي لغرام واحد (g) من الراديوم-226.

الرمز	Ra
العدد الذرّي (عدد البروتونات في النواة)	88
الوزن الذرّي (الموجود بالطبيعة)	226

من بين النظائر الخمسة والعشرين المعروفة للراديوم يوجد اثنان فقط - الراديوم-226 والراديوم-228 - يبلغ عمر النصف لكليهما أكثر من سنة وهما مهمان بالنسبة لمواقع أقسام الإدارة البيئية للطاقة. الراديوم-226 هو ناتج اضمحلال النشاط الإشعاعي ضمن سلسلة اضمحلال اليورانيوم-228 وهو السلف للرادون-222. والراديوم-228 هو ناتج اضمحلال النشاط الإشعاعي ضمن سلسلة اضمحلال الثوريوم-232. يسبب كلا النظيرين عدة نكليدات مشعّة إضافية قصيرة العمر منتجة طيفاً عريضاً من إشعاعات ألفا وبيتا وغاما. إن الرصاص-210 الذي يبلغ عمر نصفه 22 سنة مُتضمّن في قائمة النكليدات المشعة ذات العمر القصير المترافقة مع الراديوم-226، ومتمم لها، حيث إن هذا النظير ونواتج اضمحلاله ذات العمر القصير موجودة بشكل عادي مع الراديوم-226. يضمحل الراديوم-226 ببطء (عمر النصف 1600 سنة) مصدراً جسيم ألفا. والراديوم-228 له عمر نصف أقصر بكثير (5.8 سنة) ويضمحل مصدراً جسيم بيتا. وبينما يشكل الراديوم-226 خطراً ناشئاً عن عمر نصفه الطويل، فإن الراديوم-228 يشكل خطراً على المدى البعيد فقط إذا ما كان النكليد السلف (الثوريوم-232) موجوداً.

خواص النشاط الإشعاعي لنظائر الراديوم الأساسية والنكليدات المشعة المرافقة

النظير	عمر النصف	الوفرة في الطبيعة (%)	النشاط النوعي (Ci/g)	نمط الاضمحلال	طاقة الإشعاع (MeV/d) ألفا (α)	بيتا (β)	غاما (γ)
Ra-226	1,600 yr	>99	1.0	α	4.8	0.0036	0.0067
Rn-222	3.8 days		160,000	α	5.5	<	<
Po-218	3.1 min		290 مليون	α	6.0	<	<
Pb-214	27 min		33 مليون	β	-	0.29	0.25
Bi-214	20 min		45 مليون	β	-	0.66	1.5
Po-214	0.00016 sec		330 تريليون	α	7.7	<	<
Pb-210	22 yr		77	β	-	0.038	0.0048
Bi-210	5.0 days		130,000	β	-	0.39	-
Po-210	140 days		4,500	α	5.3	<	<
Ra-228	5.8 yr	<< 1	280	β	-	0.017	<
Ac-228	6.1 hr		2.3 مليون	β	-	0.48	0.97
Th-228	1.9 yr		830	α	5.4	0.021	0.0033
Ra-224	3.7 days		160,000	α	5.7	0.0022	0.010
Rn-220	56 sec		930 مليون	α	6.3	<	<
Po-216	0.15 sec		350 مليون	α	6.8	<	<
Pb-212	11 hr		1.4 مليون	β	-	0.18	0.15
Bi-212	61 min		15 مليون	α, β	2.2	0.47	0.19
Po-212 (64%)	0.00000031 sec		180,000 تريليون	α	8.8	-	-
Tl-208 (36%)	3.1 min		300 مليون	β	-	0.60	3.4

Ci= كوري، g= غرام، MeV= مليون إلكترون فولط، الشحطة تعني أن الدخول غير قابل للتطبيق. "<" تعني أن طاقة الإشعاع أقل من 0.001MeV. يضمحل البزموت-212 بإصدار جسيم ألفا (36%) وجسيم بيتا (64%). هنالك صفات معينة لبعض النكليدات المشعة الإضافية متضمنة هنا لكونها ترافق اضمحلال الراديوم. القيم معطاة لرقمين معنويين.

من أين يأتي الراديوم؟

يتوزع الراديوم بكميات قليلة في مساحات عريضة من القشرة الأرضية. إنه موجود في جميع فلزات اليورانيوم والثوريوم. يبلغ تركيزه في خامات اليورانيوم حوالي جزءاً واحداً من الراديوم إلى ثلاثة ملايين جزء من اليورانيوم. يشبه الراديوم في خواصه الكيميائية عنصر الباريوم، ويُستخلص العنصران من خام اليورانيوم بالترسيب وبعمليات كيميائية أخرى. استُحصل على الراديوم في الأصل من خام البتشبلند الذي وُجد في بوهيميا. تحتوي رمال الكارنوتيت في كولورادو على قليل من الراديوم ولكن أغنى الخامات توجد في جمهورية الكونغو (زائير سابقاً) وفي منطقة البحيرة الكبرى في كندة. يعتبر الراديوم الملوّث الرئيس في المناجم ونفايات الطحن مثل بقايا طحن اليورانيوم، ويوجد في النفايات المشعة المختلفة المرافقة لفعاليات معالجة اليورانيوم السابقة.

كيف يُستخدم الراديوم؟

الراديوم-226 هو النظير الوحيد المستخدم تجارياً. إن الاستخدام الرئيس للراديوم تاريخياً كان كمكوّن في الدهان المتألق المستعمل في أقراص الساعات والمواقيت والأدوات الأخرى، رغم أنه لم يعد يستخدم حالياً لهذه الأغراض. يُستخدم الراديوم في الوقت الحاضر في المعالجة من قرب لمعالجة مختلف أنواع السرطان (المعالجة من قرب هي طريقة معالجة إشعاعية تُستخدم فيها منابع محكمة الإغلاق تعطي جرعة إشعاعية من مسافة لا تزيد عن بضعة سنتمترات من السطح، داخل تجويف أو تطبيق بيني).

* نشر هذا الخبر في مجلة *ANL*, October 2001. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

كيف يوجد الراديوم في الطبيعة؟

يوجد الراديوم في الطبيعة بصورة رئيسة على الشكل راديوم-226. ويكون وجوده في التربة والصخور والمياه السطحية والمياه الجوفية والنباتات والحيوانات بتراكيز منخفضة على وجه العموم - من رتبة جزء من التريليون جزء، أو 1 بيكو كوري بالغرام pCi)/g). ويوجد بتراكيز أعلى في خامات اليورانيوم والفلزات الجيولوجية الأخرى. ونتيجة لعمليات الفصل المستخدمة في استخلاص اليورانيوم من الخامات، يشكل الراديوم-226 الملوّث الرئيس في نفايات طحن اليورانيوم. يبلغ تركيز الراديوم في النباتات بصورة عامة حوالي 0.03 (أو 3%) من تركيزه في التربة. على أي حال، يحوي الجوز البرازيلي في المناطق التي يكون فيها الراديوم الطبيعي عالياً نسب تراكيز أعلى بكثير (عدة مراتب من المقادير). قُدِّر التركيز الوسطي للراديوم في الطعام بأقل من 0.03-0.01 pCi/g. وبشكل مفضّل يلتصق الراديوم بشكل جيد بجسيمات التربة بتراكيز تبلغ بشكل عام في التربة الرملية 500 مرة أعلى من تركيزه في المياه البينية (المياه الموجودة في الحيّز المسامي بين جسيمات التربة). وهو أقل تحركاً في التربة الغضارية إذ تزيد نسب تراكيزه على 9000. تبلغ سوية التلوّث العظمى للراديوم التي كشفت عنها وكالة حماية البيئة (الراديوم-226 والراديوم-228 مجتمعين) في مصادر مياه الشرب 5pCi في اللتر (pCi/L).

ماذا يحصل للراديوم في الجسم؟

يدخل الراديوم إلى الجسم عن طريق الطعام، أو شرب الماء أوتنفس الهواء. إن معظم الراديوم الذي يدخل الجسم عن طريق الطعام (حوالي 80%) سيُطرح بغير إبطاء عن طريق البراز، بينما تدخل الـ 20% الباقية إلى الدم حيث تُحمل إلى أجزاء الجسم. يمكن أن يبقى الراديوم المستنشق في الرئتين عدة أشهر حيث يدخل بالتدريج إلى الدم الذي يحمله إلى كل مكان في الجسم. يشبه السلوك الاستقلابي للراديوم في الجسم ما يتم للكالسيوم. ولهذا السبب، يتوضّع قسم كبير من الراديوم في العظام والأسنان. تتناقص كمية الراديوم في العظام بمرور الزمن منذ التعرض إذ تنخفض بشكل عام إلى ما تحت الـ 10% خلال أشهر قليلة وإلى 1% وأقل خلال سنوات قليلة. إن تحرّر العظام من الراديوم بطيء حيث إن قسماً من الراديوم المستنشق والراديوم الداخل عن طريق الهضم سيبقى في العظام طيلة حياة الإنسان.

ما هي التأثيرات الصحية الرئيسة؟

يشكل الراديوم خطراً خارجياً بالإضافة إلى الخطر الصحي الداخلي. إن إشعاع غاما الخارجي القوي المرافق لنواتج اضمحلال قصيرة العمر متعددة للراديوم-226 و الراديوم-228 يجعل من التعرّض الخارجي أمراً ذا شأن، وغالباً ما يُحتاج إلى التدرّع عند تداول النفايات والمواد الأخرى المحتوية على تراكيز عالية من هذه النكليدات المشعة. يُستقى القسم الأعظم من المعطيات المتعلقة بعلم الأوبئة عن التأثيرات الصحية للراديوم-226 والراديوم-228 على الإنسان من الدراسات التي يقوم بها رسّامو المزاول الشمسية بالراديوم، والكيميائيون الذين يستخدمون الراديوم، والتقنيون الذين تعرّضوا للراديوم من خلال المعالجات الطبية في أوائل التسعينيات من القرن الماضي. بيّنت هذه الدراسات بالإضافة إلى التجارب على الحيوانات أن التعرض المزمن للراديوم يمكن أن يحرّض الورم الخبيث في العظام. تبلغ فترة الكمون الدنيا سبع سنوات بعد التعرّض الأول، ولكن الأورام يمكن أن تستمر طيلة فترة الحياة.

ترتبط المخاطرة التنفسية بشكل أولي بنواتج اضمحلال الراديوم ونعني الرادون ووليداته ذات العمر القصير. يضمحل كل من نظيري الراديوم إلى نظير الرادون الغازي. الرادون-222 هو ناتج اضمحلال قصير العمر للراديوم-226، والرادون-220 هو ناتج اضمحلال قصير العمر للراديوم-228. ينشأ الخطر الأولي المرتبط بالرادون مع استنشاق نواتج اضمحلاله ذات العمر القصير، التي هي عبارة عن أيونات مشحونة ترتبط بسرعة بجسيمات الغبار. يمكن أن يتم استنشاق هذه الجسيمات إلى داخل الرئتين حيث تتوضع على بطانة الغشاء المخاطي للمجرى التنفسي. تميل نواتج الاضمحلال المنفصلة لأن تستنشق إلى عمق أكبر في الرئتين حيث تبقى مدة إقامتها أطول. وعندما تصدر جسيمات ألفا ضمن الرئة فإن البطانة التي تغلف مجاري الهواء يمكن أن تتلف، مؤدية بشكل كبير عبر الزمن إلى سرطان الرئة.

معاملات المخاطر الإشعاعية

يعطينا الجدول معاملات مخاطر مختارة من أجل الاستنشاق والامتصاص استعملت أنواع امتصاص مختلفة وموصى بها من أجل الاستنشاق، وقيم تغذية من أجل الطعام. تتضمن هذه القيم إسهامات نواتج اضمحلال الراديوم ذات العمر القصير. المخاطر هي من أجل الوفيات بالسرطان مدى الحياة بالنسبة للوحدة المأخوذة pCi، وهي محسوبة على وسطي جميع الأعمار ولكلا الجنسين (10^{-9} تعني جزءاً من البليون جزء). القيم الأخرى، المتضمنة للوفيات، متاحة أيضاً

النظير	مخاطر الوفيات بالسرطان على مدى الحياة	
	الاستنشاق (pCi^{-1})	الطعام (pCi^{-1})
Ra-226	2.4×10^{-9}	2.9×10^{-9}
Ra-228	9.0×10^{-9}	1.3×10^{-9}

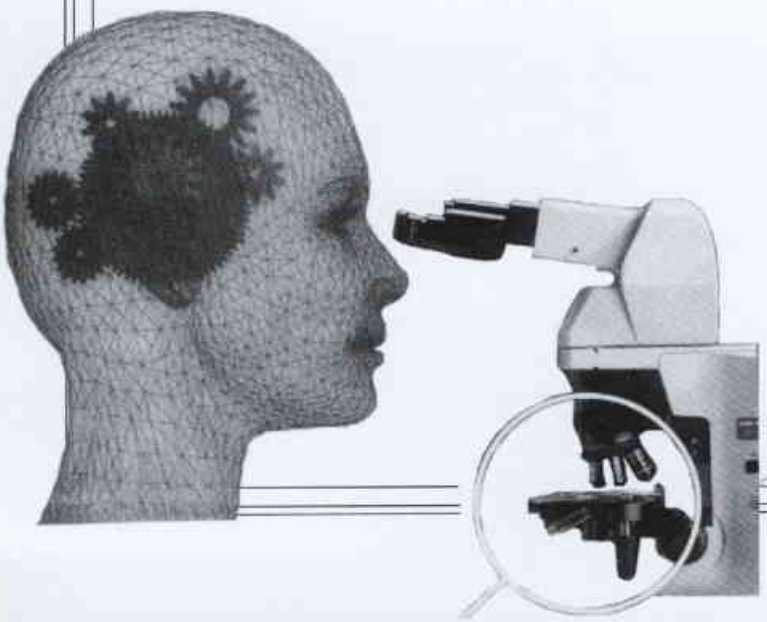
ماهي المخاطرة؟

حُسبت معاملات مخاطر الوفيات بالسرطان مدى الحياة من أجل جميع النكليدات المشعّة تقريباً بما فيها الراديوم (انظر المؤطر). يبدو أن معاملات تناول الطعام والاستنشاق من أجل الراديوم-226 و الراديوم-228 قابلة للمقارنة بشكل عام. وبينما يكون تناول الطعام هو أكثر الطرائق الشائعة لدخول الراديوم إلى الجسم، فإن معاملات المخاطر الخاصة بهذا الطريق من التعرّض تكون أقل منها في حالة الاستنشاق. ومشابهة بالنكليدات المشعة، فإن معاملات المخاطر من أجل مياه الصنبور تبلغ حوالي 75% من تلك المبينة من أجل طعام الغذاء.

وبالإضافة للمخاطر الناتجة من التعرّض الداخلي، فإن المخاطرة الناتجة من التعرّض الخارجي مترافقة مع هذين النظيرين. وباستخدام معاملات خطر أشعة غاما الخارجية في تقدير مخاطر الوفيات بالسرطان مدى الحياة، فإننا إذا فرضنا أن 100.000 شخص قد تعرّضوا باستمرار إلى طبقة كثيفة من تربة بتركيز متوسط بدني يساوي 1 pCi/g، فمن المتوقع أن 40 من هؤلاء الأشخاص معرّضون إلى سرطان مميت فيما إذا كانت التربة محتوية على الراديوم-226، و 7 منهم معرّضون لذلك إذا كانت التربة محتوية على الراديوم-228 (وهذا بالمقارنة مع 25 000 شخص من المجموعة المتوقع موتها بالسرطان من جميع الأسباب من متوسط الولايات المتحدة). إن هذه المخاطر مترافقة مع أشعة غاما الصادرة عن نواتج الاضمحلال المختلفة لهذين النظيرين من الراديوم.■

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

ورقات البحوث



دور التصوير المقطعي بإصدار البوزترونات (PET) في كشف وتحديد انتشار لمفوما لا هودجكن ضعيفة الخباثة (Low grade NHL) ★

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

ملخص

على الرغم من أن فائدة التصوير المقطعي بإصدار البوزترونات (PET) قد اتضحت في تشخيص وتحديد انتشار لمفوما لا هودجكن متوسطة أو شديدة الخباثة، فإن المعلومات المتوفرة حول دوره في اللمفومات ضعيفة الخباثة لا تزال قليلة. لذلك قمنا بدراسة 36 مريضاً مصابين بلمفوما لاهودجكن ضعيفة الخباثة مثبتة نسيجياً. لقد تمّ إجراء فحص التصوير المقطعي بإصدار البوزترونات باستخدام الفلورين – 18 فلورروديوكسي غليكوز (^{18}F-FDG) لكامل الجسم عند التشخيص الأولي للمفوما لدى 21 مريضاً وعند النكس لدى 15 مريضاً وذلك قبل البدء بأية معالجة. لقد قمنا بمقارنة نتائج الـ PET مع نتائج الفحص السريري والتصوير الطبقي المحوري (CT). هذا وقد تمت قراءة فحوصات الـ PET بدون الأخذ بعين الاعتبار المعلومات السريرية المتوفرة عن المريض بحيث اعتبرت أية فعالية زائدة للـ ^{18}F-FDG وفق احتمالية لأن تكون خبيثة باستخدام معيار تدرج الكثافة من الدرجة 0: كثافة طبيعية إلى الدرجة 4: كثافة خبيثة بشكل أكيد.

لقد توفرت الخزعة لـ 31 إصابة وصلت حساسية الـ PET فيها إلى 100% ونوعيته إلى 87%، في حين وصلت حساسية الـ CT إلى 100% ونوعيته إلى 90%، أما الفحص السريري فقد وصلت حساسيته ونوعيته إلى 100% في هذه الحالات. بالإضافة إلى ذلك، فإن 42 إصابة عقدية لمفاوية من أصل الـ 97 التي تمّت ملاحظتها بوساطة الـ PET، لم تُكشف بالفحص السريري، في الوقت الذي أظهر فيه الفحص السريري 23 إصابة إضافية. هذا وقد أظهر كل من التصوير الطبقي المحوري والـ 12 PET إصابة حشوية بالإضافة إلى 7 إصابات حشوية أخرى تم كشفها بالـ PET فقط مقابل 5 إصابات حشوية إضافية أظهرها التصوير الطبقي المحوري. وبالنظر إلى ارتشاحات الأورام اللمفية في نِقْي العظام، فإن نتائج الـ PET كانت مطابقة لنتيجة خزعة نِقْي العظام لدى 24 مريضاً منهم 11 أظهروا نتائج إيجابية حقيقية (TP) و 13 أظهروا نتائج سلبية حقيقية (TN)، في حين لم تؤخذ خزعة نِقْي العظام من أي مريض.

يظهر من خلال هذا البحث أن دمج نتائج الـ PET والـ CT والفحص السريري أكثر حساسية من نتائج الطرائق التقليدية المتبعة في تشخيص لمفوما لاهودجكن ضعيفة الخباثة، إلاّ أن حساسية الـ PET كانت ضعيفة في كشف ارتشاحات نقي العظام.

الكلمات المفتاحية: التصوير المقطعي بإصدار البوزترونات (PET)، الفلورين –18 فلورروديوكسي غليكوز (^{18}F-FDG)، لمفوما لاهودجكن (NHL).

مقدمة

إن التصوير الذي يعتمد على المبادئ الاستقلابية للأنسجة، وهو ما يتميز به الـ PET باستخدام الفلورروديوكسي غليكوز، قد أضاف معلومات هامة حول الخصائص الوظيفية لهذه الأنسجة دون الاعتماد على المعايير الشكلية التي تظهرها طرائق التصوير التقليدية. فهو يسمح بكشف أية بقعة تتميز بفعالية غليكوزية استقلابية عالية [1]، والذي يعتبر علامة هامة في استقلاب الأورام [2]. هذا ويمكن كشف الأورام الخبيثة بالـ PET على اعتبار أنه يستخدم الـ ^{18}F-FDG الذي يتراكم داخل الخلايا كنتيجة لزيادة ناقلات الغليكوز البروتينية على سطح الخلايا الورمية بالإضافة إلى زيادة فعالية خميرة الهيكسوكيناز داخل هذه الخلايا [3].

لقد تبين اليوم دور الـ PET باستخدام الـ ^{18}F-FDG كطريقة قيّمة لتشخيص بعض الأورام السرطانية [4، 5]، وبشكل خاص قدرته على إظهار ارتشاحات اللمفوما سواءً أورام هودجكن أو لاهودجكن اللمفية وهو ما أظهرته عدة دراسات [6-10]. على الرغم من أن التمييز بين الأورام اللمفية الشديدة والضعيفة الخباثة يعتبر هاماً من الناحية السريرية، إلاّ أن فائدة الـ PET في تشخيص وتحديد انتشار لمفوما لاهودجكن ضعيفة الخباثة بقيت محصورة في بعض الدراسات القليلة [6، 9، 11]. بالإضافة إلى ذلك، فإن تحت الأنماط النسيجية الموجودة في لمفوما لاهودجكن ضعيفة الخباثة تترافق عادة مع تطورات سريرية متغايرة وهو ما يجعل إنذار هذا النوع من الأورام اللمفية متغايراً خاصة أنه يمكن أن تتحول إلى أورام

★ نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Cancer Biotherapy and Radiopharmaceuticals*, Vol 16. No 4 (2001).
– تم تقديم جزء من هذا البحث في المؤتمر الأوربي السنوي للطب النووي في باريس 2000 م.

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

لمفية أكثر خباثة. لقد اقترح Rodriguez وفريقه [12] أن وجود اختلاف نوعي في قبط uptake الـ ^{18}F-FDG بين الأورام اللمفية الشديدة والضعيفة الخباثة النسيجية، إلاّ أن ذلك لم يتم إثباته بعد. كما اقترح أيضاً وجود علاقة ما بين قبط الـ ^{18}F-FDG وإنذار اللمفومات والفعّالية التكاثرية للخلايا الورمية [13]. إن الهدف من هذا البحث هو مقارنة الدقة التشخيصية لـ PET باستخدام الـ ^{18}F-FDG مع دقة الفحص السريري والتصوير الطبقي المحوري لتحديد ارتشاحات الأورام اللمفية سواء منها العقدية أو الحشوية في لمفوما لاهودجكن ضعيفة الخباثة.

الطرائق والمواد

المرضى

تمت دراسة 36 مريضاً مصابين بلمفوما لاهودجكن منهم 21 مريضاً في مرحلة التشخيص الأولي و 15 مريضاً في مرحلة النكس عقب المعالجة. جميع المرضى الذين تمت دراستهم في مرحلة النكس كانوا قد وصلوا إلى مرحلة الهجوع الكامل للمرض بعد خطة المعالجة الأولى. تمّ إثبات وجود لمفوما لاهودجكن ضعيفة الخباثة لدى جميع المرضى بوساطة الخزعة. إن إمكانية التحول إلى ورم لمفي شديد الخباثة لدى المرضى المدروسين عند النكس قد تمّ استبعادها بوساطة خزعة جديدة. بلغ العدد الكلي للمرضى 36 مريضاً (13 امرأة، 23 رجلاً) بعمر وسطي بلغ 62.4 سنة (38-76 سنة). أظهرت الخزعات المأخوذة من المرضى وجود الورم اللمفي المنتشر الصغير الخلايا لدى 9 مرضى والورم اللمفوم الجريبي الصغير الخلايا لدى 7 مرضى والورم اللمفي الجريبي المختلط الصغير والكبير الخلايا لدى 14 مريضاً وأنماط غير مصنفة من الأورام اللمفية لدى 6 مرضى وذلك وفق التصنيف السريري لـ Working Formulation: الورم اللمفي ذو الخلايا الحجابية mantle cell lymphoma لدى 3 مرضى والورم اللمفي من نمط MALT لدى 3 مرضى. تمّ إجراء الفحص السريري والتصوير الطبقي المحوري وفحص الـ PET لدى جميع المرضى المدروسين خلال أسبوع واحد قبل البدء بالمعالجة. أشارت الفحوص المجراة على هؤلاء المرضى أن 4، 3، 5، 24 منهم كانوا في المرحلة السريرية I، II، III، IV على الترتيب حسب تصنيف Ann-Arbor السريري (الجدول 1). كما تم إجراء خزعة نقي العظم ثنائية الجانب لدى 35 مريضاً.

التصوير بالـ PET

تمّ إجراء الفحص لكامل الجسم باستخدام كاميرا PENN PET 240H بعد 6 ساعات من الصيام قبل الحقن الوريدي لـ (6-8) ملّي كوري من الـ ^{18}F-FDG. تمّ تسجيل المسح الناجم عن الإصدار بعد (45-90) دقيقة. تمّ اكتساب المعطيات لكامل الجسم من المنطقة الرقبية إلى المنطقة الإربية بحيث تضمنت (10-12) وضعية متراكبة مغطية 12.8 سم لكل منها. استغرق اكتساب هذه المعطيات حوالي 50 دقيقة أثناء تصوير المريض.

تمّ تركيب الصور باستخدام مرشح الإصدار الراجع ومرشح Hanning بحيث تمّ الحصول على صور بوضعيات سهمية وإكليلية ومعترضة. لم يتم اعتبار تصحيح التخامد Attenuation correction عند تحليل الصور التي تمّ الحصول عليها لأنه لم يكن متوفراً سوى لدى 10 مرضى فقط.

تمّ اللجوء إلى تفسير صور الـ PET من قبل أخصائي في الطب النووي بغض النظر عن أية معلومات سريرية أخرى. إن أية بقعة تظهر قبطاً زائداً للـ ^{18}F-FDG خارج مناطق التوضع الفيزيولوجي أو الإطراح لهذا المركب يُحتمل أن تكون خبيثة التوضع وفق معيار تدرج الكثافة ذي الدرجات الخمس وذلك حسب مظهر وحجم وكثافة وتوضع هذه البقعة على النحو التالي:

0: سليمة حتماً.

1: طبيعية أو سليمة غالباً.

2: مجتمل أنها طبيعية أو سليمة.

3: خبيثة غالباً.

4: خبيثة حتماً.

ولم تؤخذ بعين الاعتبار القيم العيارية لقبط الـ ^{18}F-FDG (SUV) في تحليل الصور لأن تصحيح التخامد لم يكن متوفراً دائماً.

الجدول 1- حالات المرضى المدروسين

عدد الحالات	
مرحلة التشخيص الأولي	21 مريضاً
مرحلة النكس	15 مريضاً
العمر	38 - 76 سنة
التشريح المرضي:	
1- حسب التصنيف السريري (Working Formulation)	
الأورام اللمفية ذات الخلايا الصغيرة (A)	9 مرضى
الأورام اللمفية الجريبية ذات الخلايا الصغيرة المسيطرة (B)	7 مرضى
الأورام اللمفية الجريبية المختلطة ذات الخلايا الصغيرة والكبيرة (C)	14 مريضاً
أنماط من الأورام اللمفية غير مصنّفة	6 مرضى
2- حسب تصنيف REAL:	
الأورام اللمفية ذات الخلايا المشبهة بالخلايا المصورية اللمفاوية	9 مرضى
الأورام اللمفية جريبية المركز درجة I	7 مرضى
الأورام اللمفية جريبية المركز درجة II	14 مريضاً
أورام لمفية الخلايا الحجابية	3 مرضى
أورام لمفية من نمط MALT	3 مرضى
المرحلة السريرية حسب تصنيف Ann-Arbor	
مرحلة I	4 مرضى
مرحلة II	3 مرضى
مرحلة III	5 مرضى
مرحلة IV	24 مريضاً

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

التصوير الطبقي المحوري والفحص السريري

تمَّ إجراء الفحص الطبقي المحوري للصدر والبطن أو الحوض بشكل منفصل لدى 30 و35 مريضاً على الترتيب. ولم يُجرَ التصوير الطبقي المحوري لدى جميع المرضى لأن الطبيب الفيزيائي كان يرى أن صورة الصدر كانت كافية في بعض الأحيان. في كل الأحوال، لم تدخل نتائج الـ PET للإصابات الصدرية في تحليل المعطيات في المجالات التي لم يتم فيها إجراء التصوير الطبقي المحوري. حُقنت المادة الظليلة وريدياً في كل الحالات لتحسين نوعية صور التصوير الطبقي المحوري. تم تقييم المناطق العقدية اللمفاوية المحيطية (الرقبية، الإبطية، فوق الترقوة، الأربية) بوساطة الفحص السريري مع مقارنته بالنتائج التي أظهرها التصوير المقطعي بإصدار البوزترونات PET في هذه المناطق، في حين تم تقييم المناطق العقدية اللمفاوية داخل الصدر (تحت الترقوة، المنصفية، السرية الرئوية) والبطن (الجانب الأبهرية، المساريقية، السرية الكبدية والطحالية) والحوض (الوركية) بوساطة التصوير الطبقي المحوري و التصوير المقطعي بإصدار البوزترونات PET.

أجري التصوير الطبقي المحوري للصدر والبطن والحوض باستخدام جهاز PQ 5000 scanner من شركة Picker. خضع جميع المرضى إلى حقن 120 ملّي لتر من اليود 30% المنتج من قبل شركة Xenetix, Guerbet الفرنسية في الدراسات الصدرية، بينما تم حقن 170 ملّي لتر من اليود 30% في الدراسات البطنية الحوضية بنسبة تدفق 2 و 3 ملّي لتر/ ثانية للدراسات الصدرية والبطنية على الترتيب. تبدأ المرحلة الأولى من اكتساب المعطيات بعد (15–20) أو 30 ثانية بعد الحقن للدراسات الصدرية والبطنية على الترتيب. تبدأ المرحلة الثانية من اكتساب المعطيات بعد 60 أو 90 ثانية من الحقن. كان المتر 512 × 512 resolution. تمَّ الرجوع إلى الصور الظليلة المحسَّنة فقط في الدراسات الصدرية، بينما تمَّت قراءة ومقارنة الصور مع وبدون حقن مواد ظليلة في الدراسات البطنية الحوضية. كانت سماكة المقاطع 5-10mm في الدراسات الصدرية و 10mm في الدراسات البطنية الحوضية.

تمَّ تفسير صور التصوير الطبقي المحوري من قبل طبيب أخصائي كجزء من عمله السريري الروتيني. كل عقدة لمفاوية وصل قطرها 1 سم أو أكثر اعتبرت مرضية في التصوير الطبقي المحوري [14]. وبشكل مشابه فإن كل عقدة لمفاوية تجاوز قطرها 1 سم أو مجموعة عقد لمفاوية بقطر 1 سم تمَّ كشفها في الفحص السريري قد اعتبرت مشتبهة بالإصابة بالورم اللمفي.

تحليل المعطيات

درسنا التطابق ما بين نتائج الـ PET ووجود ضخامة عقدية لمفاوية في الفحص السريري أو صور التصوير الطبقي المحوري. تمَّ الرجوع في حالات تناقض المعطيات إلى نتائج الخزعات عند توفرها. إلاّ أنه لم يتم إجراء خزعات لمختلف الإصابات المكتشفة إلاّ عندما اعتبر ذلك ضرورياً لتحديد المرحلة السريرية للورم اللمفي. تمَّ تقييم مناطق العقد اللمفاوية المحيطية (الرقبية، الإبطية، فوق الترقوة والإربية) بوساطة الفحص السريري والـ PET. بينما تمَّ تقييم المناطق العقدية اللمفاوية داخل الصدر (تحت الترقوة، المنصفية، السرية الرئوية) والبطن (الجانب الأبهرية، المساريقية، السرية الكبدية والطحالية) والحوض (الوركية) بوساطة التصوير الطبقي المحوري والـ PET. بلغ المجموع الكلي للخزعات المتوفرة 89 عينة منها 23 عقدة لمفاوية و 23 خزعة هضمية و 35 خزعة من نقي العظام بالإضافة إلى 8 عينات حشوية من أعضاء مختلفة. إن الإصابات المكتشفة بوساطة الـ PET ، الـ CT أو الفحص السريري والتي لم تتوفر لها خزعات، قد اعتبرت غير مثبتة وتمَّ عرضها بشكل منفصل عن بقية النتائج المثبتة.

النتائج

كان مجموع الإصابات التي توفرت لها خزعات 31 إصابة لدى 26 مريضاً وذلك بعد استبعاد خزعات نقي العظام والخزعات الهضمية التي تجرى عادة بشكل روتيني في الأورام اللمفية، حيث كان هناك 23 عقدة لمفاوية مصابة (20 محيطية و 3 بطنية حوضية) و 8 إصابات حشوية (الجدول 2). أظهرت طرائق ROC الإحصائية أن حساسية الـ PET وصلت إلى 100% ونوعيته إلى 87% عندما اعتُبرت إيجابية الإصابات الموصوفة على أنها غالباً أو حتماً خبيثة وفق معيار تدرج الكثافة (درجة 3 أو 4) لدى قراءة فحوصات الـ PET.

باستخدام هذه العتبة، كانت هناك نتائج سلبية كاذبة للـ PET في 4 حالات (2 لعقد لمفاوية، حالة رئوية واحدة و أخرى جنبية). وقد بلغت حساسية التصوير الطبقي المحوري 90% ونوعيته 100%، في حين أن حساسية ونوعية الفحص السريري وصلتا إلى 100% لمجمل الـ 31 إصابة التي توفرت فيها الخزعات التشريحية المرضية.

أ – العقد اللمفاوية المحيطية

تمَّ كشف 55 موقعاً مشتبهاً لارتشاح عقدي لمفاوي بالورم اللمفي بوساطة الفحص السريري والـ PET معاً و 42 موقعاً تم كشفه بوساطة الـ PET فقط، في حين أن الفحص السريري وحده تمكن من كشف 23 ارتشاحاً عقدياً لمفاوياً (الجدول 3). أظهر تحليل النتائج صحة الـ PET في 18 حالة (18 TP)، في حين عجز الـ PET عن كشف الإصابة في حالتين (2 FN) بينما ظهرت صحة نتائج الفحص السريري في الـ 20 إصابة (20 TP).

ب – العقد اللمفاوية الصدرية والبطنية الحوضية

أظهر التصوير الطبقي المحوري والـ PET معاً 38 إصابة عقدية لمفاوية. في حين تمَّ كشف 24 إصابة عقدية لمفاوية بوساطة الـ PET وحده مقابل 21 إصابة إضافية مشتبهه بالتصوير الطبقي المحوري (الجدول 4). أظهرت الخزعات الـ 3 المتوفرة صحة موجودات الـ PET والـ CT (3 TP).

لقد كانت النتائج متطابقة بين الطريقتين (الـ PET والطرائق التقليدية) لدى 6 مرضى، منهم 4 تمَّت دراستهم عند التشخيص الأولي و 2 عند النكس. أشارت الطرائق التقليدية (الفحص السريري والـ CT) إلى وجود 31 ارتشاحاً إضافياً للورم اللمفي لدى 9 مرضى (6 في مرحلة التشخيص الأولي و 3 عند النكس). وبالعكس، أظهر التصوير بالـ PET وجود 44 إصابة إضافية لدى 14 مريضاً (8 عند التشخيص الأولي و 6 عند النكس). لوحظت نتائج متناقضة بشكل كامل بين الطريقتين لدى 7 مرضى (3 عند التشخيص الأولي و 4 عند النكس)، حيث أظهرت

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

الجدول 2- موجودات التصوير بالـ PET والطرق التقليدية (الفحص السريري PE أو التصوير الطبقي المحوري CT) حسب موجودات التشريح المرضي

مكان الإصابة	النمط النسيجي للمفوما (تصنيف WF)	حجم الورم (القطر الأكبر للإصابة الورمية بالملم)	نتائج الـ PET	نتائج الـ CT أو الـ PE
١-إصابات العقد اللمفاوية:				
إبطية	A	20	-	+
رقبية	A	10	-	+
رقبية	A	15	+	+
إربية	A	25	+	+
رقبية	A	10	+	+
رقبية	A	15	+	+
إربية	C	45	+	+
إربية	C	35	+	+
إربية	C	15	+	+
خلف بيرتوانية	C	20	+	+
إبطية	C	10	+	+
خلف بيرتوانية	B	10	+	+
رقبية	B	20	+	+
إبطية	B	60	+	+
إربية	B	50	+	+
إربية	B	40	+	+
إربية	B	15	+	+
إربية	C	28	+	+
إربية	C	12	+	+
إربية	C	35	+	+
فوق الترقوة	C	30	+	+
رقبية	C	10	+	+
منصفية	لمفوما الخلايا الحجابية	8	+	+
٢-الإصابات الحشوية:				
الجنب	A	انصباب	-	+
الرئتان	MALT	عقد مجهرية	-	+
اللوزة البلعومية	MALT	45	+	+
الأنبوب الهضمي	لمفوما الخلايا الحجابية	2	+	+
الرئتان	لمفوما الخلايا الحجابية	40	+	+
الطحال	A	230	+	+
الكبد	C	12	+	+

الجدول 3- نتائج الفحص السريري (PE) والتصوير بالـ PET لكشف إصابات العقد اللمفاوية المحيطية

مناطق العقد اللمفاوية المصابة	$PE^{\oplus}$ & $PET^{\oplus}$	$PET^{\oplus}$	$PE^{\oplus}$
الرقبية	14	7	8
الإبطية	14	13	7
فوق الترقوة	4	15	1
الإربية	23	7	7
المجموع	**55**	**42**	**23***

* توفرت الخزعة في حالتين فقط مشيرة إلى صحة نتائج الـ PE، في حين أن الإصابات المتبقية سواء ما ظهر منها في الـ PET أو الـ PE كل على حدة، بقيت دون إثبات.

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

الجدول 4- موجودات التصوير الطبقي المحوري والـ PET لكشف إصابات العقد اللمفاوية الصدرية والبطنية الحوضية

مناطق العقد اللمفاوية المصابة	CT⊕ & PET⊕	PET⊕	CT⊕
المنصفية	11	3	4
السرية الرئوية	4	14	3
داخل البيرتوانية	2	0	6
خلف البيرتوانية	10	2	4
الوركية	11	5	4
المجموع	**38**	**24**	**21**

الطرائق التقليدية والـ PET وجود 13 و 23 إصابة إضافية على الترتيب (الشكلان 1، 2).

ج - الإصابات الحشوية

1- الطحال والكبد

كانت نتائج الـ PET والـ CT متطابقة في كشف إصابات الطحال لدى 5 مرضى (3 عند التشخيص الأولي و 2 عند النكس). كانت هذه الارتشاحات الطحالية منتشرة لدى 4 مرضى و موضّعة لدى مريض واحد. أظهر الـ PET وحده وجود ارتشاحات طحالية لدى 3 مرضى (1 عند التشخيص الأولي و 2 عند النكس)، في حين أشار الـ CT لوحده إلى وجود ضخامة طحالية لدى مريض واحد تمّت دراسته عند التشخيص الأولي.

أظهر الـ PET والـ CT معاً وجود ارتشاح كبدي منتشر لدى مريض واحد في حالة النكس، في حين أشار الـ PET لوحده إلى وجود ارتشاح كبدي للمفوما لدى مريضين (1 عند التشخيص الأولي و 1 عند النكس).

أشار التحليل التشريحي المرضي في الحالات الثلاث التي توفرت فيها الخزعات إلى صحة نتائج كلتا الطريقتين (2 TP, 1 TN).

2- الرئتان والجنب

أظهر الـ PET و الـ CT معاً ارتشاحات للورم اللمفي في الرئتين لدى مريضين في حالة النكس. أشار الـ CT إلى وجود ارتشاحات رئوية إضافية لدى 3 مرضى (2 عند التشخيص الأولي، 1 عند النكس). كانت هذه الإصابات أقلّ من 1 سم في حالة واحدة، في حين لوحظت الارتشاحات الأخرى لدى مريضين من نمط الورم اللمفي صغير الخلايا والـ MALT.

أشار الـ PET إلى وجود ارتشاحات جنبية ثنائية الجانب لدى مريض واحد في حالة النكس، كان الـ CT لديه سلبياً، في حين أظهر الـ CT لوحده ارتشاحاً جنبياً وحيد الجانب لدى مريض واحد في حالة التشخيص الأولي.

أشارت نتائج الخزعات المتوفرة إلى صحة نتائج الـ CT في جميع هذه الحالات (3 TP)، في حين كانت نتائج الـ PET صحيحة في حالة واحدة منها فقط (1 TP, 2 FN).

3- إصابات الرأس والعنق

كشف الـ PET والـ CT معاً وجود إصابات بالورم اللمفي لدى 3 مرضى في مرحلة التشخيص الأولي (2 مع إصابات في مستوى اللوزتين، 1 في مستوى البلعوم).

الشكل 1- أورام لمفية جريبية في مرحلة النكس لدى مريض عمره 42 سنة. تظهر إصابات متعددة في المناطق الإبطية والرقبية وخلف البيرتوان بالإضافة إلى ارتشاح طحالي شديد ومنتشر.

الشكل 2- مقطع إكليلي لـ PET يظهر ارتشاحاً عقدياً لمفاوياً منتشراً لدى مريض عمره 37 سنة مصاب بأورام لمفية جريبية في مرحلة التشخيص الأولي. تُلاحظ فعالية لـ FDG بشكل واضح في المناطق الرقبية والمنصفية والإبطية وخلف البيرتوان والإربية.

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

أثبتت الخزعة واحدة من هذه الإصابات الثلاث.

4- الأنبوب الهضمي

كانت نتائج الـ PET صحيحة في كشف الارتشاحات الهضمية في مستوى الكولون والمستقيم لدى مريضين (1 عند التشخيص الأولي، و1 عند النكس)، وهو ما تمّ إثباته بوساطة الخزعة. أظهر الـ CT واحدة من هذه الارتشاحات الهضمية لدى مريض واحد في مرحلة التشخيص الأولي.

النتائج الكلّية

إذا استبعدنا إصابات نقي العظام ، فقد أظهر الـ PET والـ CT معاً 12 إصابة حشوية. الموضع الأكثر شيوعاً لهذه الارتشاحات كان في الطحال (5 حالات). كشف الـ PET وجود ارتشاحات إضافية للورم اللمفي في مستوى الطحال (3 حالات)، والكبد (2 حالة)، والجنب (1 حالة)، وأنبوب الهضم (1 حالة). أما الـ CT فقد أظهر وجود 5 إصابات حشوية إضافية (3 رئوية، 1 جنبية و1 هضمية) (الجدول 5).

5- نِقْيُ العظام

لوحظ وجود تطابق بين صور الـ PET ونتائج خزعة نِقْي العظام لدى 24 مريضاً (70% من المرضى المدروسين)، منها TN 13 و TP 11. من جهة أخرى، لم يكشف الـ PET الارتشاحات العظمية المثبتة بالخزعة لدى 11 مريضاً، في حين لم تجرِ خزعة نقي العظام لدى مريض واحد قبل البدء بمعالجته. وفي كلّ الأحوال، إن الـ PET أشار إلى تقييم خاطئ للمرحلة السريرية للورم اللمفي لدى 6 مرضى (17% من المرضى المدروسين)، بسبب النتائج السلبية الكاذبة لـ PET في كشف إصابات نِقْي العظام.

المناقشة

إن قبط الـ ^{18}F-FDG الذي تتميز به أورام لاهودجكن اللمفية متوسطة أو شديدة الخباثة يسمح للتصوير بالـ PET بكشف ارتشاحات الورم اللمفي، الأولية منها أو الناجمة عن النكس. أثبتت دراسات سابقة أن الـ PET يتمتع على الأقل بحساسية التصوير الطبقي المحوري نفسها، لكنه يتفوق عليه في النوعية في تشخيص وتحديد المرحلة السريرية للأورام اللمفية [7، 15، 16]. ويبدو أن الـ PET أكثر دقة من الـ CT في كشف ارتشاحات العقد اللمفاوية بشكل خاص في حالات الورم اللمفي البدئي قبل المعالجة [16]. اقترحت دراسات عديدة سابقة أن الـ PET قادر على تقييم الاستجابة المبكرة للمعالجة وكشف البقايا الورمية الكيماوية [17، 18]. ورغم اكتشاف وجود زيادة في قبط الـ ^{18}F-FDG في حالات الورم اللمفي شديد أو ضعيف الخباثة، إلاّ أن حساسية الـ PET لكشف إصابات العقد اللمفاوية كانت أقلّ في الورم اللمفي ضعيف الخباثة بالمقارنة مع الأورام اللمفية شديدة الخباثة. بالإضافة إلى ذلك، إن نتائج الـ PET كانت غير مشجعة في تقييم المرضى المصابين بلمفوما لاهودجكن من نمط MALT [19].

إن المعلومات المنشورة عن دور الـ PET في تقييم المرضى المصابين بلمفوما لاهودجكن ضعيفة الخباثة تبقى محدودة، وتتركز في مجموعات غير متجانسة وأعداد قليلة من المرضى [6، 9، 13]. ويُعدُّ هذا البحث هو الأول الذي تضمن نسبياً عدداً كبيراً ومتجانساً من المرضى. لقد وجدنا أن الـ PET قادر على كشف إصابات العقد اللمفاوية أكثر من قدرة الطرائق التقليدية على ذلك، وخاصة تلك المتوضعة في المناطق الإبطية وفوق الترقوة. يمكن أن يعود ذلك إلى حجم الإصابات في مثل هذه المناطق، إلاّ أن تحديد ذلك لم يكن دقيقاً نظراً لعدم توفر الخزعات دائماً، كما أن هذه المناطق لا يمكن استقصاؤها بشكل متقن عن طريق الفحص السريري، وخاصة في حالات المرضى ذوي الوزن الزائد. بالنظر إلى الارتشاحات الحشوية، ونلاحظ أن الـ PET كان بكفاءة الـ CT نفسها، حيث أن بعض ارتشاحات الورم اللمفي قد تمّ كشفها بوساطة الـ PET لوحده وبعضها الآخر اكتُشف بوساطة الـ CT فقط.

إذا استبعدنا نتائج الـ PET في كشف الارتشاحات العظمية، فإن حالتين من الحالات الأربع السلبية الكاذبة كانت الإصابات فيهما أقل من 1 سم، كما لم يكشف الـ PET عن انصباب الجنب في حالة أخرى. أما النتيجة السلبية الأخيرة الكاذبة فكانت لعقدة لمفاوية بحجم 2 سم لدى مريض مصاب بنمط الورم اللمفي المنتشر ذي الخلايا اللمفاوية الصغيرة.

كانت حساسية الـ PET في دراستنا هذه لكشف الارتشاحات العظمية أقلّ من تلك التي تمّ تسجيلها من قِبَل Moog وفريقه [20]، إلاّ أن هذا الفريق قام بدراسة حالات ورم لمفي ضعيف وشديد الخباثة معاً، كما أنه تمّ الاعتماد على تصحيح التخامد في تفسير صور الـ PET في هذه الدراسة.

ورغم أن هذا البحث يشمل عدداً كبيراً نسبياً من المرضى، إلاّ أن هنالك الكثير من العقبات التي واجهتنا فيه:

الجدول 5- مواقع الإصابات الحشوية المحددة بالتصوير الطبقي المحوري والـ PET

مكان الإصابة	PET⊕ & CT⊕	PET⊕	CT⊕
إصابات الرأس والعنق	3	0	0
إصابات الرئتين	2	0	3
إصابات الجنب	0	1	1
إصابات الطحال	5	3	1
إصابات الكبد	1	2	0
إصابات الأنبوب الهضمي	1	1	0
المجموع	12	7	5

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

1 – عدم التمكّن من أخذ الخزعات من كلّ المواقع المشتبه بإصابتها، سواءً بالـ PET أو بالطرائق التقليدية، من أجل إثبات أو نفي وجود إصابات (عقبة من عقبات أبحاث الأورام اللمفية بشكل عام).

2 – عدم إجراء قياسات قيم القبط العيارية SUV للإصابات المشبوهة بالـ PET.

3 – عدم توفر تصحيح التخامد بشكل دائم في دراسات الـ PET.

يبقى التأثير السريري لتصحيح التخامد في هذه التقنية قابلاً للنقاش، حيث وجد أن الدقة التشخيصية للـ PET في الأورام لم تختلف بين الصور المأخوذة مع أو بدون تصحيح للتخامد [21]. قام Kotzerke وفريقه [22] بدراسة 51 مريضاً من أجل تقييم تأثير هذه التقنية مع وبدون تصحيح للتخامد في تشخيص وتحديد انتشار الأورام اللمفية، حيث وجدوا نتائج سريرية متشابهة جداً بين الطريقتين، مما دفعهم للقول بأن تصحيح التخامد لم يكن ضرورياً على الإطلاق. وفي كلّ الأحوال، إن دراسة حديثة لتأثير تصحيح التخامد على الموجودات السريرية أظهرت أن دمج النتائج التي تمّ الحصول عليها مع أو بدون تصحيح للتخامد قد حسّن، وبشكل نوعي، من دقة الـ PET في تشخيص وتحديد انتشار الأورام البطنية الخبيثة [23].

وكما هو الحال بالنسبة للقيم العيارية لقبط الـ ^{18}F-FDG، فإن استخدام طريقة ROC الإحصائية في دراستنا هذه قد أظهر أن حساسية الـ PET لم تكن لتزداد عندما أخذت عتبة أدنى بعين الاعتبار لتحديد احتمالية الإصابة في المناطق المشبوهة في صور الـ PET. إن هذا الأمر يقترح أن إصابات الورم اللمفي ضعيف الخباثة تُظهر بشكل متناسب زيادة قبط الـ ^{18}F-FDG. وبشكل عام، إن نتائج هذا البحث تقترح أن الـ PET، باستخدام الـ ^{18}F-FDG، قدّم معلومات إضافية، إلاّ أن التأثير السريري لهذه التقنية يبقى بحاجة إلى تقييم بوساطة إجراء دراسات مستقبلية أكثر.

الخلاصة

يبدو أن دمج نتائج الفحص السريري والتصوير الطبقي المحوري مع الـ PET باستخدام الـ ^{18}F-FDG كان أكثر حساسية من الطرائق التقليدية في تشخيص وتحديد انتشار لمفوما لا هودجكن ضعيفة الخباثة. وفي كلّ الأحوال، لوحظ أن حساسية الـ PET بدون تصحيح للتخامد كانت ضعيفة لكشف ارتشاحات نِقْي العظام. ويُعدُّ إجراء دراسات مستقبلية إضافية ضرورياً، حيث يتم من خلالها تحديد فائدة التحليل الكمّي لقبط الـ ^{18}F-FDG في دراسات الـ PET لدى تقييم المرضى المصابين بلمفوما لاهودجكن ضعيفة الخباثة. إن تأثير الـ PET في تدبير المرضى وتطور الورم اللمفي وإنذارها لديهم يبقى بحاجة إلى تقييم عن طريق استقصاءات إضافية.

المراجع REFERENCES

[1] Som, P, Atkims, HL, Bandophadhayah, D., A fluorinated glucose analog, 2 f- fluoro-deoxy-glucose (F-18). J Nucl Med, 21: 670-675 (1980).

[2] Warburg, O. On the origin of cancer cells. Science, 123: 309-314 (1956).

[3] Warburg, O; Wind, F, Neglers, E. On the metabolism of tumors in the body. In: Metabolism of tumors (Warburg O, ed). Constable, London, 1930: 254-270.

[4] Rigo, P, Paulus P; Kaschten, BJ. et al. Oncological applications of positron emission tomography with fluorine-18 fluorodeoxyglucose. Eur. J. Nucl. Med; 23: 1641-1674 (1996).

[5] Conti, PS; Lilien, DL, Hawley, K. et al. PET and (18F)-FDG in oncology: A clinical update. Nucl. Med. Biol, 23: 717-735 (1996).

[6] Moog, F., Bangerter, M; Diederichs, CG. et al. Lymphoma: role of whole-body 2-deoxy-2- (F-18) fluoro-D-glucose positron emission tomography (FDG) PET in nodal staging. Radiology, 302: 795-800 (1997).

[7] Hoh, CK; Glapsy, J; Rosen, P. et al. Whole-body FDG-PET imaging for staging of Hodgkin's and lymphoma. J Nucl. Med; 38: 343-348 (1997).

[8] Bangerter, M; Moog, F., Buchmann, I. et al. Whole-body 2-deoxy-2- (F-18) fluoro-D-glucose positron emission tomography (FDG-PET) for accurate staging of Hodgkin's disease. Ann Oncol, 9: 1917-22 (1998).

[9] Jerusalem, G; Warland V; Najjar, F. et al. Whole-body 18-FDG PET for the evaluation of patients with Hodgkin's disease and non-Hodgkin's lymphoma. Nucl. Med. Com; 20: 13-20 (1999).

[10] Najjar, F; Jerusalem, G; Paulus, P. et al. Whole-body FDG-PET for the evaluation of patients with aggressive non-Hodgkin's lymphoma. Mèd. Nucl. Imag. Fonc. Mèt; 23: 281-290 (1999).

[11] Newman, JS; Francis, IR; Kamiski, MS; Wahl, RL., Imaging of lymphoma with PET with 2-(F-18)-fluoro-D-glucose: correlation with CT. Radiology, 190: 111-116 (1994).

[12] Rodriguez, M; Rehn, S; Ahlström, H et al. Predicting malignancy grade with PET in non-Hodgkin's lymphoma. J. Nucl. Med; 36: 1790-1796 (1995).

[13] Okada, J; Yoshikawa, K; Imazcki, K. et al. The use of FDG-PET in the detection and management of malignant lymphoma: Correlation of uptake with prognosis. J. Nucl. Med; 32: 686 (1991).

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

[14] Castellino, RA; Blank, N; Hoppe, RT. et al. Hodgkin's disease: contribution of chest CT in the initial staging evaluation. Radiology, 27: 603-605 (1986).

[15] Stumpe, KD. M; Urbinelli, M; Steinert, HC. et al. Whole-body positron emission tomography using fluorodeoxyglucose for staging of lymphoma: Effectiveness and comparison with computed tomography. Eur. J. Nucl. Med; 25: 721-728 (1998).

[16] Moog, F; Bangerter, M; Diederichs, CG. et al. Extranodal malignant lymphoma: detection with FDG-PET versus CT. Radiology, 206: 475-481 (1998).

[17] Jerusalem, G; Beguin, Y., Fassotte, MF. et al. Persistant tumor 18F-FDG uptake after few cycles of polychemotherapy is predictive of treatment failure in non-Hodgkin's lymphoma. Haematologica, 85: 613-618 (2000).

[18] Jerusalem. G, Beguin, Y., Fassotte, MF. et al. Positron emission tomography using 18-FDG for post-treatment evaluation of Hodgkin's disease and non-Hodgkin's lymphoma has higher diagnostic and prognostic values than classical CT-scan imaging. Blood, 94,2: 429-433 (1999).

[19] Hoffmann, M; Kletter, K; Diemling, M. et al. Positron emission tomography using fluorine-18-fluoro-deoxy-D-glucose (F18-FDG) does not visualise extranodal B-cell lymphoma of the mucosa-associated lymphoid tissue (MALT)-type. Ann Oncol, 10: 1185-1189 (1999).

[20] Moog, F., Bangerter, M; Kotzerk, J. et al. 18-F-Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography as a new approach to detect lymphomatous bone marrow. J Clin. Oncol., 16: 603-609 (1998).

[21] Bengel, FM; Ziegler, SI; Avril, N. et al. Whole-body positron emission tomography in clinical oncology: Comparaison between attenuation-corrected and uncorrected images. Eur. J. Nucl. Med; 24: 1091-1098 (1997).

[22] Kotzerke, J; Guhlmann, A; Moog, F. et al. Role of attenuation correction for fluorine-18-fluorodeoxyglucose positron emission tomography in primary staging of malignant lymphoma. Eur. J. Nucl.Med; 26: 31-38 (1999).

[23] Hustinx, R; Dolin, RJ; Bènard, F. et al. Impact of attenuation correction on the accuracy of FDG-PET in patients with abdominal tumors: A free-response ROC analysis. Eur. J. Nucl. Med; 27: 1365-1371 (2000).■

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

تأثير إضافة النترات على كفاءة استخدام سماد كبريتات الأمونيوم على الذرة تحت الظروف المالحة
الجزء الثاني: التجربة الحقلية*

د. خلف خليفـة
قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرية - ص.ب 6091 دمشق - سورية
علي زيدان
قسم علوم الأراضي - جامعة تشرين - ص.ب 2230 اللاذقية - سورية

ملخص

نُفِّذت تجربتان حقليتان خلال موسمين متتاليين على الذرة (صنف غوطة 82) بزراعتها في تربة مالحة تحت نظام الري بالغمر في محطة بحوث المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة (أكساد) التي تقع في وادي الفرات بمحافظة دير الزور شرق سورية. كان الهدف من هذا العمل هو دراسة تأثير إضافة نسب مخلوطة مختلفة من الأسمدة النتراتية NO_3-N والأمونياكية NH_4-N في إنتاج المادة الحيّة للذرة.

استُعملت خمسة تراكيز للآزوت: 0,50,100,150,200 كغ N/ هـ سواء في صورة أسمدة آزوتية موسومة (^{15}N) مفردة أو مختلطة من كبريتات الأمونيوم الموسومة $(NH_4)_2SO_4$ ونترات الكالسيوم الموسومة $Ca(^{15}NO_3)_2$. ودُرِست الوسطاء: الآزوت الكلي (T.N) و الآزوت الموسوم (^{15}N) وكفاءة استخدام الآزوت (الآزوت المسترجع) وإنتاج المادة الجافة.

بيّنت النتائج:

1- أنّ التراكيز العالية من الأمونيوم NH_4-N خفّضت إنتاج المادة الجافة.
2- كانت النترات (NO_3-N) أكثر فعالية في زيادة محتوى الآزوت الكلي في أنسجة النبات بالتركيز نفسه للأمونيوم NH_4-N.
3- أعطت المعاملات المركّبة دائماً أعلى إنتاج وأعلى محتوى للآزوت في أنسجة النبات من المعاملات المفردة للأمونيوم NH_4-N.
4- زادت الصورة NH_4-N النترات الممتصة، وكان لصورة النترات NO_3-N تأثيرٌ في امتصاص الأمونيوم NH_4-N.
5- كانت كفاءة استخدام الآزوت على صورة نترات NO_4-N أعلى بكثير من كفاءة استخدام الآزوت على صورة أمونيوم NH_4-N تحت ظروف التربة المالحة.

الكلمات المفتاحية: الآزوتات، الأمونيوم، الآزوت 15، نسبة الآزوتات / الأمونيوم، كفاءة استخدام الآزوت.

مقدمة

تُنقِص ملوحة التربة إنتاجية النباتات في كثير من المزارع في مناطق واسعة من العالم. حيثُ تؤثر الملوحة في المناطق الجافة وكذلك في المزارع المروية. أشارت دراسات فيزيولوجية النبات أن أعلى إنتاج للمحاصيل يمكن الحصول عليه باستعمال خليط من النترات والأمونيوم أكثر من إضافة كل منهما على حدة [1،2،3]. وإن إضافة كمية مناسبة من البوتاسيوم K يشجع على الاستفادة من الأمونيوم NH_4 وبالتالي يُحسن الإنتاج، خاصة عند استعمال خليط من الآزوت على صورة NH_4-NO_3. تتمثل النترات NO_3-N الممتصة من قبل جذور النبات بعدة عمليات إرجاع من الآزوت الأميني [4]. يتوقف نقص النترات في جذور النباتات والأوراق معاً على نوع النبات. أشارت دراسات أولسن [3] و[5] أن إضافة الأمونيوم إلى جذور النبات مع النترات أعطت أعلى إنتاج للنبات وأعلى محتوى للآزوت من إضافة كل من NO_3 و NH_4 كل على حدة. وهناك سببٌ واحدٌ ممكنٌ لإضافة الخليط من النترات NO_3-N والأمونيوم NH_4-N لإظهار الحالة السابقة (زيادة الإنتاج والمحتوى الآزوتي في النبات). فيحدث التراكم الأعظمي للحمض الأميني في أنسجة النبات عند إضافة النترات NO_3 والأمونيوم NH_4 معاً [6].

يُنَشِّط البوتاسيوم K أنزيمات النبات المسؤولة عن تمثيل الأمونيوم NH_4 وبالتالي يساعد على منع تراكم التركيزات السمّية للأمونيوم NH_4 في أنسجة النبات. كان إنتاج نبات الذرة لا يتأثر بمعدلات إضافة البوتاسيوم عندما كان الآزوت الممتص على صورة أمونيوم NH_4 ويتناقص ضرر الأنسجة مع زيادة معدل البوتاسيوم المضاف [7] . وُجِدَ في تجربة

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة Commun. Soil SCI. Plant Anal, 32 (15&16) 2001.

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

الأصص [8] أن الوزن الجاف للذرة في المعاملات التي تلقّت إضافة خليطة (Combination) من النترات NO_3-N والأمونيوم NH_4-N قد أعطت أعلى إنتاج للمادة الجافة من المعاملة المفردة بمصدر واحد من الآزوت، لكن النترات NO_3-N كانت أكثر تأثيراً في تحسين الإنتاج من الأمونيوم NH_4-N.

يتأثر نمو النبات بواحد أو أكثر من العوامل التالية: التأثير الأسموزي ، التأثير السمي ، خلل وتأثيرات غير مباشرة تنتج من الخواص العكسية للتربة المالحة [9]. بيّنت نتائج بعض التجارب على محاصيل مختلفة زُرِعَت في أوساط ملحية مختلفة أن إضافة العناصر المغذية نفسها يمكن أن تنقص من تأثير الملوحة في النبات ،وبناء على ذلك يجري تحسين إنتاج النبات في بعض الأراضي المالحة، وهذا يمكن أن يتمّ من خلال استخدام الأسمدة الفسفورية (P) و البوتاسية (K). كان دور تركيز البوتاسيوم في نباتات السورغم بعمر 30 يوماً قد اقتُرح كدليل لتحمل الأملاح [10]. تمتص النباتات الآزوت من التربة غالباً على صورة أيونات الأمونيوم NH_4 والنترات NO_3 ولكن ديب وَوليش [7] قد أشارا إلى أن المحاصيل لا تصل إلى إنتاجيتها العظمى إذا اعتمدت على الأمونيوم NH_4 بدون وجود النترات ،خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة المسمّدة بأي من اليوريا أو كبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2SO_4$. إن ظروف التربة في مثل هذه المناطق ليست مثالية للنشاطات المكروبية [11،12]. هذا يعني أن النباتات يجب أن تعتمد غالباً على الأمونيوم NH_4-N لسدّ حاجتها من الآزوت N [13]. وجد باور [14] إن النترات NO_3-N ضرورية لتمثيل الأمونيوم NH_4-N في خلية النبات.

وجد زيدان [15،16] عند إحلال الأمونيوم NH_4-N محل النترات NO_3-N في المحاليل الملحية أن نمو بادرات الشعير قد توقف. لذلك اقترح إضافة النترات NO_3-N لخلق وسط توازن أيوني أفضل. ووجد أن إضافة النترات NO_3-N والأمونيوم NH_4-N معاً بشكل دائم يعطي إنتاجاً أعلى في المناطق الجافة من إضافة الأمونيوم منفرداً [17،18،19،20،21]. تختلف النباتات بشكل واسع في قابليتها لتحمل الأملاح في التربة، حيث يكون معدّل تحمل الأملاح على أساس انخفاض أو نقص الإنتاج في الأراضي المتأثرة بالأملاح عند مقارنتها بإنتاج نفس التربة غير المتأثرة بالأملاح وعلى أساس أيضاً زيادة الأملاح الذائبة في المحلول الأرضي [22].

وكنتيجة لتسرّب أقل للماء من التربة إلى النبات ، ونقص كمية ماء التربة المُيَسَّر (المتاح) للنبات نُفِّذت هذه التجربة لبحث مدى الحاجة إلى إضافة صورة الآزوت النتراتي NO_3 إلى السماد تحت الظروف الحقلية ولإيجاد أفضل نسبة بين النترات والأمونيوم لكي نحصل على أعلى إنتاج لمحصول الذرة.

المواد والطرائق

المكان والمناخ

نُفِّذت تجربة حقلية على أراض متأثرة بالأملاح ولمدة موسمين متتاليين (1990 - 1991) في المحطة التجريبية لأكساد (المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة) التي تقع في وادي الفرات الأسفل في محافظة دير الزور، شرق سورية. كان موقع التجربة جزءاً من حقل زُوِّد بشبكة صرف تحت سطحي خلال السبعينيات (من القرن الماضي) على عمق 1.5 م وتقع على خط عرض شمال 11.40° وخط طول شرق 22.35° وعلى ارتفاع 203م من سطح البحر، ووفقاً للبيانات المناخية تتلقى هذه المنطقة أمطاراً بحدود 160م سنوياً حيث يهطل أكثر من 90% منها ما بين شهري تشرين أول وأيار. بينما يزداد متوسط الحرارة الشهري باستمرار بعد شهر كانون الثاني لتصل أقصاها خلال شهري تموز وآب. عموماً، أبرد شهر في سورية هو شهر كانون الثاني في حين أكثر الأشهر حرارة هما شهرا تموز وآب. حيث ترتفع درجة الحرارة العظمى المطلقة بسرعة خلال الصيف مثال: درجة الحرارة في المنطقة الشرقية (دير الزور) يمكن أن تصل إلى 40°C خلال شهر أيار وترتفع إلى أكثر من 45°C خلال شهري تموز وآب. من جهة أخرى درجة الحرارة الصغرى المطلقة يمكن أن تنخفض من - 2 إلى - 10°C في الجزء الشمالي الشرقي من سورية. ونتيجة لارتفاع درجة الحرارة وانخفاض الرطوبة النسبية، فإن التبخر يكون عالياً جداً في موقع التجربة خلال الصيف وتتراوح قيم التبخر ما بين 1100 م و 2900 م وتزداد عند التحرك من الغرب إلى الشرق ومن الشمال إلى الجنوب.

مواصفات التربة

تُصنَّف تربة موقع التجربة وفقاً للتقسيم الأمريكي USDA [23] بأنها بتروجبسيك خشن، جبسي (أورثيدز)، ومستوى التربة، أريد سول، مجموعة الجبسي أورثيدز وأرض مرتبطة هيبر جبسيك جبسي أورثيدز.

كانت تربة موقع الدراسة قد تطوّرت من الرواسب الطمية. الطبقة السطحية (حوالي 30سم) كان قوامها طُفال رملي إلى طفال رملي طيني. الكربونات كانت متماثلة في الأعماق المختلفة. وعند وجود عملية صرف متوسط تراوح الصوديوم المتبادل ما بين (14.2-15.1%) في الأعماق المختلفة للقطاع الأرضي، تتناقص نسبة المادة العضوية مع العمق وتراوحت ما بين (0.47% - 0.37) وتناقص الآزوت الكلي أيضاً مع العمق (0.065%-0.05). كانت الناقلية الكهربائية لمستخلص عجينة التربة تتراوح ما بين 10.0 -8.5 ملموس/سم لطبقة التربة ذات العمق (0-15) سم، ومن 7.5-6.5 ملموس/ سم للطبقة ذات العمق (15-30) سم و 6.2-5.50 ملموس/ سم للطبقة ذات العمق (30-45) سم.

ومواصفات التربة الأخرى كانت: pH=(8.19-8.26)، الفسفور P=(2.89-8.72) جزء بالمليون، السعة التبادلية الكاتيونية CEC=(29.1-35.0) ملّي مكافئ/100 غرام تربة، الجبس=(0.80%-0.60)، كربونات الكالسيوم =(19.5%-17.4).

زراعة الذرة، إضافات السماد والعمليات الزراعية

زُرِعت بذور الذرة (صنف غوطة 82) على خطوط المسافة بينها (70-30) سم والمسافة بين النباتات 30 سم (الكثافة النباتية كانت 5 نباتات / م^2 تقريباً أو 50 ألف نبات /هـ). حجم القطع الحقلية كانت (2X5)م وفصلت كل عن الأخرى بـ 70 سم. أضيفت الأسمدة قبل الزراعة مباشرة بشكل متماثل لجميع المعاملات. كانت معدّلات الأسمدة المضافة 80كغ من P_2O_5/هـ على صورة سوبر فسفات ثلاثي و 80 كغ K_2O على صورة كبريتات بوتاسيوم. الناقلية الكهربائية لماء الري كانت 0.5 ملموس/ سم. جدولة الري تمّت على أساس فاصل (7-8) أيام بين

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

الرية والأخرى أو حسب الحاجة. عند مرحلة النضج حُصِدَت كامل القطعة وسُجِّل الوزن الجاف هوائياً للبذور و المادة الحية. حُصِدَت عيّنات الذرة بعد 120,76,56 يوماً من الزراعة في الموسم الأول وبعد 120,92,52, يوماً بعد الزراعة في الموسم الثاني.

تصميم التجربة والتحليل الإحصائي

استخدم تصميم القطاعات العشوائية (تحليل التباين) مع خمس معاملات آزوت وثلاثة مكررات ولمصدرين من السماد الآزوتي سلفات الأمونيوم $(NH_2)_2SO_4$ (A) ونترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$ (N). كانت المعاملات A = 0، A1 = 5، A2 = 10، A3 = 15، A4 = 20 غرام آزوت/م^2 لكبريتات الأمونيوم $(NH_4)_2SO_4$ و N = 0, N1 = 5. N2 = 10, N3 = 15, N4 = 20 غرام آزوت/م^2 لنترات الكالسيوم $Ca(NO_3)_2$.

الوسطاء المقيسة

قُدِّرت المادة الجافة، الآزوت الممتص [24]، والآزوت ^{15}N في أنسجة النبات بجهاز الانبعاث الطيفي لتحليل الآزوت موديل N-150 بطريقة الحرق الجاف (Dumas). حُسِبت كفاءة استخدام الآزوت (الآزوت المسترجع بواسطة النبات) وفقاً لنشرة الوكالة الدولية للطاقة الذرية للدورات التدريبية ،السلسلة رقم 2 [25]. جُمِعت العينات الترابية قبل الزراعة مباشرة (تماماً) بواسطة حفارة يدوية (أوجر) بقطر قدره 5 سم وبفاصل عمق قدره 15سم للأسفل وحتى العمق 45 سم، ومن ثم جُفِّفَت هوائياً ثم طُحِنت (سحقت) ومُرِّرت خلال منخل قطر 2مم وحُلِّلت الصفات الكيميائية والفيزيائية للتربة متضمنة تقدير الآزوت بطريقة كلداهل والفسفور بطريقة أولسن والناقلية الكهربائية EC بواسطة جهاز تقدير الناقلية والكربونات الكلية بواسطة المكلاس (الكالسيمتر) وتفاعل التربة pH بجهاز تقدير pH والتوزيع الحجمي الحبيبي (التحليل الميكانيكي للتربة) بطريقة مكثاف التربة (طريقة الهدرومتر).

النتائج

إنتاج المادة الجافة

السنة الأولى

يبيّن الجدول 1 إنتاج المادة الجافة للمجموع الخضري خلال المرحلة الأولى بعمر 56 يوماً من الزراعة المتأثرة بتراكيز مختلفة من النترات NO_3-N والأمونيوم NH_4-N. يزداد تأثير النترات و الأمونيوم في إنتاج المادة الجافة بازدياد مستويات الإضافة للنترات و الأمونيوم وكان أعلى إنتاج عند المستوى N4 للنترات (47غرام/ نبات). والمستوى A4 للأمونيوم (38غرام/ نبات) وبشكلٍ عامٍّ كان إنتاج المادة الجافة للمعاملات المتداخلة للنترات مع الأمونيوم أعلى من إنتاج النترات أو الأمونيوم بشكل منفصل. كان الإنتاج الأعلى للمعاملة المركبة A1N3 (58 غرام/نبات). وقد كان أقل فرق معنوي 11.45 للتركيب A × N و 0.1 لكل من النترات N والأمونيوم A كل على حدة. أخذ إنتاج المادة الجافة للمجموع الخضري في المرحلة الثانية (76 يوماً بعد الزراعة) نفس النظام الذي ساد في المرحلة الأولى (56 يوماً بعد الزراعة) حيث ازداد إنتاج المادة الجافة بازدياد النترات والأمونيوم المضافة وكان أعلى إنتاج 152 غرام / نبات و 100غرام /نبات عند مستويات N3 وA4. كان إنتاج المادة الجافة الناجم عن إضافة النترات والأمونيوم معاً أعلى من إضافة النترات أو الأمونيوم بشكل منفصل وإن أعلى إنتاج كان 155 غرام / نبات للمعاملة المركبة A2N2 وأقل فرق معنوي عند 0.05٪ هو 27 للتركيب A × N و 12.2 لكل من النترات أو الأمونيوم بشكل منفصل (الجدول 1). تشير النتائج في الجدول 1 للمرحلة الثالثة (124 يوماً بعد الزراعة) إلى أن الإنتاج الخضري الجاف اتبع نفس الاتجاه الذي كان سائداً في المرحلتين الأولى و الثانية (56 و 76 يوماً بعد الزراعة) حيث كان إنتاج المادة الجافة يزداد بازدياد النترات NO_3 أو الأمونيوم NH_4 المضاف للتربة. كان الإنتاج الأعظمي للنترات NO_3 والأمونيوم NH_4 354 غرام/ نبات و 316 غرام/ نبات على التوالي وأعلى إنتاج كان للإضافة المشتركة للنترات مع الأمونيوم 374 غرام/ نبات (N1A3). وبيّنت نتائج التحليل الإحصائي أنه لاتوجد اختلافات معنوية بين المعاملات .

السنة الثانية

أشارت النتائج عند 52 يوماً من الزراعة أن الإضافة المنفردة للنترات NO_3 أو الأمونيوم NH_4 إلى التربة تزيد إنتاج المادة الجافة بزيادة الإضافة للنترات أو الأمونيوم وكان أعلى إنتاج 50 و 42 غرام / نبات لمعدّلي النترات (N_4) والأمونيوم (A3) على التوالي. كان أعلى إنتاج للمعاملات المركبة المشتركة N × A 48 غرام/ نبات للمعاملة المتداخلة A1 × N3. كان أقل فرق معنوي 4.85 و 2.16 للمعاملات N × A و A أو N على التوالي (الجدول 1). عند عمر 92 يوماً من الزراعة كان إنتاج المادة الجافة للمجموع الخضري يتأثر معنوياً بأي من الإضافة المنفردة للنترات NO_3 أو الأمونيوم NH_4 أو باستخدام الاثنين معاً N × A (الجدول 1). يزداد تأثير النترات في إنتاج المادة الجافة عند المعدل N2 ثم يقل عند المعدلات الأخرى (N3,N4) بينما إضافة الأمونيوم NH_4 يزيد الإنتاج بزيادة معدل الأمونيوم المضاف إلى التربة وكان أعلى إنتاج 85.3 و 81.7 غرام/ نبات للنترات NO_3(معدّل N2) والأمونيوم NH_4 (معدّل A4) على الترتيب. كان أعلى إنتاج للمعاملة الخليطة (المشتركة) (N3 × A1) 96.33 غرام / نبات. بلغ أقل فرق معنوي 12.34 و 5.5 للمعاملات المشتركة (N × A) وللمعاملة A أو N على التوالي. يبيّن الجدول 1 أيضاً إنتاج المادة الجافة للمجموع الخضري عند 120 يوماً من الزراعة. تشير البيانات إلى أن إنتاج المادة الجافة يزداد بازدياد معدّل النترات NO_3 ما عدا المعدّل N4 ولكن الأمونيوم NH_4 يزيد الإنتاج (A2,A1) ويتناقص مع المعاملة (A3 و A4). كان أعلى إنتاج 161.97 و 113.33 غرام/نبات للنترات NO_3 معدّل N3 والأمونيوم NH_4 (معدّل A2) على التوالي. كما كان أعلى إنتاج للمعاملة المشتركة 141.67 (N3 × A1) غرام/ نبات .وكان أقل فرق معنوي 16.10 للمعاملة المشتركة N × A و 7.20 للمعاملة المفردة من الأمونيوم A أو النترات N.

إنتاج الحَبّ

يبيّن الجدول 2 إنتاج الحب/ نبات للمعاملات المتأثرة بإضافة النترات NO_3 أو الأمونيوم NH_4 أو الاثنين معاً. وُجد اتجاه لزيادة إنتاج الحبوب في السنة الأولى مع زيادة النترات المضافة وكان المستوى N3 هو الأفضل لإنتاج الحبوب 119 غرام/نبات ،بينما كان إنتاج الحبوب تحت إضافة الأمونيوم NH_4 يتناقص عند المستوى A4,A3,A2 (79,94,98 غرام/نبات) على التوالي. كان الإنتاج الأعلى الذي تمّ الحصول عليه 110 غرام/نبات

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

الجدول 1- تأثير إضافة سماد النترات، الأمونيوم، والاثنين معاً في إنتاج المادة الجافة للذرة (أوراق وسوق غرام/نبات) خلال السنة الأولى والثانية.

المعاملات	السنة الأولى					السنة الثانية				
$NH_4 \setminus NO_3$	N_0=0	N_1=5	N_2=10	N_3=15	N_4=20	N_0=0	N_1=5	N_2=10	N_3=15	N_4=20
	المرحلة الأولى									
	عمر 56 يوم					عمر 52 يوم				
A_0=0	33.00	38.00	43.00	39.00	47.00	38.00	41.50	48.00	41.50	50.00
A_1=5	35.00	46.00	50.00	58.00	58.00	37.00	47.50	44.50	48.00	45.00
A_2=10	37.00	49.00	55.00	41.00	45.00	37.50	43.50	44.50	44.00	40.50
A_3=15	37.00	39.00	42.00	43.00	55.00	42.00	44.00	40.00	39.50	44.50
A_4=20	38.00	39.00	38.00	41.00	41.00	37.50	44.00	44.00	36.50	43.50
$LSD_{0.05}$	A=5.1	N=5.1	AxN=11.45			A=2.2	N=2.2	AxN=4.8		
	المرحلة الثانية									
	عمر 76 يوم					عمر 92 يوم				
A_0=0	79.00	90.00	145.00	152.00	84.00	59.00	81.33	85.33	81.67	74.67
A_1=5	95.00	98.00	120.00	122.00	103.00	64.33	76.67	82.67	96.33	78.67
A_2=10	85.00	155.00	128.00	144.00	107.00	59.00	81.67	78.33	91.33	69.00
A_3=15	93.00	147.00	126.00	131.00	110.00	67.00	86.67	74.33	89.67	85.67
A_4=20	100.00	90.00	83.00	103.00	107.00	81.67	84.00	82.00	85.00	75.00
$LSD_{0.05}$	A=12.2	N=12.2	AxN=27.4			A=5.5	N=5.5	AxN=2.3		
	المرحلة الثالثة									
	عمر 124 يوم					عمر 120 يوم				
A_0=0	274.00	280.00	308.00	354.00	337.00	102.00	111.33	122.67	161.67	123.67
A_1=5	312.00	325.00	342.00	341.00	336.00	100.00	128.00	132.33	141.67	111.33
A_2=10	316.00	335.00	344.00	353.00	354.00	113.33	132.67	136.76	134.67	126.67
A_3=15	307.00	374.00	342.00	361.00	332.00	109.67	123.67	107.33	131.00	113.00
A_4=20	268.00	306.00	322.00	345.00	336.00	93.67	106.33	126.33	136.00	108.67
$LSD_{0.05}$	A=43.0	N=43.0	AxN=79.0			A=7.2	N=7.2	AxN=16.1		

للمعاملة A1. إن إنتاج الحبوب للمعاملة المشتركة A x N غالباً أعلى من أي من النترات أو الأمونيوم. كان أقل فرق معنوي 41.2 و 18.4 للمعاملة المشتركة A x N والمعاملة المفردة لكل من النترات أو الأمونيوم على الترتيب. في السنة الثانية كان الإنتاج الأعلى للحبوب 114 و 103 غرام/نبات للمعاملة المفردة لكل من النترات NO_3 (N3) والأمونيوم (A1) NH_4 على الترتيب، بينما كان أعلى إنتاج للحبوب للمعاملة المشتركة (A3N1) هو 115 غرام/نبات (الجدول 2). كان أقل فرق معنوي 4.7 و 2.1 للمعاملة المشتركة من النترات والأمونيوم A x N ومعاملة النترات أو الأمونيوم على الترتيب.

الآزوت الكلي

السنة الأولى

يشير الجدول 3 إلى أن الآزوت الممتص بواسطة نبات الذرة من التربة ومصادر السماد المضافة على صورة نترات NO_3 أو أمونيوم NH_4 يزداد بازدياد معدل النترات أو الأمونيوم عند (56 يوماً من الزراعة). كانت الكمية الأعلى للآزوت الممتص 27.48.54.49 غرام/كغ مادة جافة للنترات NO_3 و الأمونيوم NH_4 على الترتيب. كان الآزوت الكلي الممتص من التربة و السماد في المعاملة المشتركة أعلى من الكمية الممتصة على صورة NO_3 أو أمونيوم NH_4 كل على حدة.

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

الجدول 2- تأثير إضافة سماد النترات، الأمونيوم، والاثنين معاً في إنتاج حبوب الذرة (غرام/نبات) خلال السنة الأولى والثانية.

المعاملات	السنة الأولى					السنة الثانية				
$NH_4 \setminus NO_3$	N_0=0	N_1=5	N_2=10	N_3=15	N_4=20	N_0=0	N_1=5	N_2=10	N_3=15	N_4=20
A_0=0	90	83	116	119	108	73	86	110	114	95
A_1=5	110	114	111	108	112	103	106	103	112	104
A_2=10	98	114	114	116	97	94	99	100	108	94
A_3=15	94	137	110	124	92	94	115	107	113	91
A_4=15	79	107	98	101	96	76	102	87	98	83
$LSD_{0.05}$	A=18.4	N=18.4	AXN=41.2			A=2.1	N=2.1	AXN=4.7		

كانت الكمية الأعلى للآزوت الممتص 57.17 و 58.7 غرام /نبات مادة جافة للمعاملة A4N2 و A4N4 على التوالي . لقد لاحظنا زيادة في الآزوت الممتص من قبل نبات الذرة مع زيادة الآزوت المضاف على صورة نترات NO_3 أو على صورة أمونيوم NH_4، أما قيم الآزوت الممتص من قبل نبات الذرة للمعاملات المشتركة فقد كانت أعلى من الكمية المتصة من النترات NO_3 أو الأمونيوم NH_4.

عند عمر 120 يوماً من الزراعة زاد الآزوت الممتص من قبل نبات الذرة بزيادة إضافة النترات NO_3 أو الأمونيوم NH_4. كانت الكميات العظمى للآزوت الممتص 29.03,23.3,24.83 غرام /كغ مادة جافة للنترات NO_3(N4) و الأمونيوم NH_4 (A4) والاثنين معاً A3 × N3 على الترتيب. كان الآزوت الكلي في نبات الذرة في المعاملة المشتركة أعلى من الآزوت الممتص من أي من النترات أو الأمونيوم بشكل منفرد (الجدول 3).

السنة الثانية

عند عمر 52 يوماً بعد الزراعة زاد الآزوت الكلي بزيادة الآزوت المضاف على صورة نترات NO_3 أو على صورة أمونيوم NH_4. كانت

الجدول 3- تأثير إضافة سماد النترات، الأمونيوم، والاثنين معاً في الآزوت الكلّي (غرام /نبات) خلال مراحل النمو للسنة الأولى والثانية.

المعاملات	السنة الأولى					السنة الثانية				
$NH_4 \setminus NO_3$	N_0=0	N_1=5	N_2=10	N_3=15	N_4=20	N_0=0	N_1=5	N_2=10	N_3=15	N_4=20
المرحلة الأولى										
	عمر 56 يوم					عمر 52 يوم				
A_0=0	30.01	39.86	42.57	47.11	49.54	24.80	32.00	38.57	40.50	33.66
A_1=5	38.10	41.63	46.46	50.26	51.96	29.20	30.09	36.30	37.66	38.23
A_2=10	43.21	45.00	52.03	52.06	55.31	29.03	32.43	32.96	32.00	31.73
A_3=15	47.17	47.57	52.04	53.34	54.26	30.17	32.38	33.07	32.90	31.68
A_4=20	48.27	50.94	57.17	54.73	58.70	29.37	31.11	31.46	31.18	32.24
المرحلة الثانية										
	عمر 120 يوم					عمر 120 يوم				
A_0=0	16.46	20.47	21.47	22.33	24.83	10.57	13.50	19.53	19.74	16.66
A_1=5	18.96	21.76	23.63	24.53	25.67	13.73	16.76	16.87	17.11	19.63
A_2=10	22.24	13.88	25.00	25.81	27.73	13.04	17.70	18.33	17.77	17.10
A_3=15	22.79	25.87	28.54	29.03	18.44	15.96	19.54	20.04	19.80	18.93
A_4=20	23.30	13.63	26.47	26.86	27.96	16.17	21.59	20.30	20.54	18.53

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

الكمية الأعلى للآزوت الممتص 40.50 و 30.17 غرام/كغ مادة جافة للنترات NO_3 (N3) والأمونيوم NH_4 (A3) على التوالي. كانت الكمية العظمى للمعاملة المشتركة (A1N4) 38.23 غرام/كغ مادة جافة (الجدول 3).

عند عمر 120 يوماً من الزراعة زاد الآزوت الكلي بزيادة النترات NO_3 أو الأمونيوم NH_4 المضافة. كانت القيمة الأعلى للمعاملة 21.59 (A1N4) غرام /كغ مادة جافة (الجدول 3). وكان الآزوت الأعظمي الممتص للمعاملة (N2 x A4) 21.59 غرام /كغ مادة جافة.

الآزوت الممتص من السماد

السنة الأولى

زاد الآزوت السمادي الممتص من قبل نباتات الذرة على صورة نترات NO_3-N أو أمونيوم NH_4-N مع زيادة معدّل الإضافة للتربة عند عمر 56 يوماً من الزراعة، وكانت أعلى كمية ممتصة (N4) 22.53 و (A4) 18.26 غرام /كغ مادة جافة على الترتيب. كانت أعلى كمية أمكن الحصول عليها للمعاملة المشتركة (A4N4) 28.56 غرام/كغ مادة جافة (الجدول 4).

في مرحلة 120 يوماً من الزراعة، أخذ الآزوت الممتص من قبل نباتات الذرة من النترات NO_3 أو الأمونيوم NH_4 نفس الاتجاه الذي وجد في مرحلة الـ 56 يوماً من الزراعة. يبيّن الجدول 4 أن كمية النترات و الأمونيوم الممتصة تزداد بازدياد المعدّلات المضافة للتربة وأعلى كمية من الآزوت الممتص كانت (N4) 8.37 و (A4) 6.84 غرام /كغ مادة جافة للنترات NO_3 والأمونيوم NH_4 على التوالي حيث إن أعلى قيمة للنتروجين الممتص من المعاملة A3N3 كان 12.57 غرام /كغ مادة جافة (الجدول 4).

السنة الثانية

عند عمر 52 يوماً من الزراعة زاد الآزوت السمادي الممتص من النترات بشكل واضح بزيادة مستوى النترات المضاف إلى التربة وكانت الكمية العظمى للمعدّل N3 حيث بلغت 15.7 غرام/كغ مادة جافة ،بينما في حالة الأمونيوم المضاف للتربة كان للمعدّل A3 5.37غرام/كغ مادة جافة. كان معدّل (متوسط) الآزوت الممتص من النترات و الأمونيوم معاً في حدّه الأعظمي للمعاملة (A1N4) 13.43 غرام/كغ مادة جافة.

عند 120 يوماً من الزراعة كانت أعلى كمية ممتصة من النترات والأمونيوم (N3) 9.17 و 5.60 (A4) غرام/كغ مادة جافة على التوالي. في حين كان 11.02 غرام/كغ مادة جافة في المعاملة المشتركة A4N4 (الجدول 4).

الأمونيوم NH_4-N الممتص من السماد Ndff

السنة الأولى

يبيّن الجدول 5 الآزوت الممتص من الآزوت السمادي من قبل نبات الذرة على صورة أمونيوم عند إضافة الآزوت النتراتي إلى التربة. فعند عمر

الجدول 4- الآزوت المستمد من السماد (الآزوت الأمونيومي+ الآزوت النتراتي المستمد من السماد) غرام آزوت /كغ مادة جافة.

المعاملات	السنة الأولى					السنة الثانية				
$NH_4 \setminus NO_3$	N_0=0	N_1=5	N_2=10	N_3=15	N_4=20	N_0=0	N_1=5	N_2=10	N_3=15	N_4=20
	المرحلة الأولى									
	عمر 56 يوم					عمر 52 يوم				
A_0=0	0.00	9.85	12.56	17.10	22.53	0.00	7.20	13.77	15.70	8.86
A_1=5	8.09	11.60	16.45	20.25	21.95	4.40	5.29	11.50	12.86	13.43
A_2=10	13.20	14.99	22.02	22.59	25.30	4.23	7.63	8.16	7.20	6.93
A_3=15	17.16	17.56	22.03	23.33	24.25	5.37	7.58	8.27	8.10	6.88
A_4=20	18.26	20.93	27.16	24.74	28.65	4.57	6.31	6.66	6.38	7.44
	المرحلة الثانية									
	عمر 120 يوم					عمر 120 يوم				
A_0=0	0.00	4.01	4.78	5.87	8.37	0.00	2.93	8.96	9.17	6.09
A_1=5	2.50	5.30	7.17	8.07	9.21	3.16	6.19	6.30	6.54	9.06
A_2=10	5.78	7.42	8.54	9.35	11.27	2.47	7.13	7.80	7.20	6.53
A_3=15	6.33	9.41	12.08	12.57	11.98	5.39	8.97	9.47	9.23	8.36
A_4=20	6.84	7.17	10.00	10.40	11.50	5.60	11.02	9.73	9.97	7.96

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

56 يوماً بعد الزراعة ،لاحظنا أن الأمونيوم $N\text{-}NH_4$ المتص زاد بزيادة الأمونيوم المضاف. كان الأمونيوم المتص $N\text{-}NH_4$ من قبل نبات الذرة أعلى عند خلطه مع النترات $NO_3\text{-}N$ مقارنة بالأمونيوم المضاف لوحده. كانت الكمية الأعلى للأمونيوم $NH_4\text{-}N$ المتص من قبل نباتات الذرة 4.59 غرام/كغ مادة جافة للمعاملة A4 و 5.18 غرام /كغ مادة جافة للمعاملة A3N2.

أما عند عمر 120 يوماً من الزراعة فقد زاد الآزوت المتص من الأمونيوم $NH_4\text{-}N$ المتص من قبل نبات الذرة بزيادة مستوى الآزوت الأمونياكي $(NH_4\text{-}N)$ 2.35 غرام/كغ مادة جافة للمعاملة (A3). وُجدت الكمية الأكبر من الأمونيوم $(NH_4\text{-}N)$ المتص عند إضافة $NO_3\text{-}N$ إلى التربة 2.80 غرام/كغ مادة جافة في المعاملة (A3N4) (الجدول 5).

السنة الثانية

عند 52 يوماً من الزراعة ،كميات الأمونيوم $NH_4\text{-}N$ المتص من السماد من قبل نباتات الذرة مبينة في الجدول 5 لمختلف تراكيز السماد الأمونيومي. لوحظ بشكل عام أن الأمونيوم $NH_4\text{-}N$ المتصة زادت بزيادة كميات الأمونيوم المضافة إلى التربة وكانت أعلى كمية في المعاملة (A3) 3.29 غرام/كغ مادة جافة بينما في المعاملة المشتركة (A1N3) كانت 4.15 غرام /كغ مادة جافة.

عند 120 يوماً من الزراعة، كميات الأمونيوم $NH_4\text{-}N$ المتص من قبل نبات الذرة مبينة في الجدول 5، وكانت الكمية العظمى 2.19 غرام / كغ مادة جافة للمعاملة المشتركة A4N2.

النترات المتصة من السماد Ndff

السنة الأولى

تشير النتائج عند عمر 56 يوماً من الزراعة إلى أن النترات المتصّة تزداد بازدياد معدّل إضافة النترات و الأمونيوم كانت القيمة الأعلى 24.42 غرام/ كغ مادة جافة في المعاملة N4 كانت النترات $NO_3\text{-}N$ المتصة تحت إضافة معدّلات مختلفة من الأمونيوم أعلى من معاملة الأمونيوم المضاف إليها النترات فقط (الجدول 6).

قيم النترات $NO_3\text{-}N$ المتصة من قبل نباتات الذرة من السماد وتحت معدلات آزوت أمونيومي مختلفة وعند مراحل نمو مختلفة مبينة في (الجدول 6). عند عمر 120 يوماً من الزراعة كانت قيم الآزوت المتص على شكل نترات NO_3 أكبر من المتصة على شكل أمونيوم NH_4. كانت القيمة الأعلى 10.60 غرام/كغ مادة جافة للمعاملة A3N3 والكميات المتصة من النترات عند عمر 56 يوماً من الزراعة كانت أعلى من الأمونيوم $NH_4\text{-}N$.

السنة الثانية

بيّنت النتائج عند عمر 52 يوماً من الزراعة أن النترات $NO_3\text{-}N$ المتصة من السماد كانت أعلى مقارنة بالمعاملات الأخرى (10.86 غرام/ كغ مادة جافة للمعاملة N3). وجدنا أن الكمية الأكبر من النترات NO_3 المتصة تحت إضافة الأمونيوم كانت A1N4 10.53 غرام /كغ مادة جافة وتزداد بازدياد النترات المضافة (الجدول 6).

الجدول 5– الأمونيوم المستمد من السماد (غرام آزوت/كغ مادة جافة) خلال مراحل النمو للسنة الأولى والثانية.

المعاملات	السنة الأولى					السنة الثانية				
NH4 \ NO3	N_0=0	N_1=5	N_2=10	N_3=15	N_4=20	N_0=0	N_1=5	N_2=10	N_3=15	N_4=20
	المرحلة الأولى									
	عمر 56 يوم					عمر 52 يوم				
A_0=0	0.00	2.25	2.88	2.96	3.79	0.00	4.56	4.90	4.48	2.64
A_1=5	2.39	3.05	3.81	3.20	3.62	2.32	2.66	3.23	4.15	2.90
A_2=10	3.79	3.13	3.72	3.47	4.58	2.65	3.17	3.33	3.03	2.28
A_3=15	4.11	3.83	5.18	4.94	5.08	3.29	2.61	2.60	2.72	2.90
A_4=20	4.59	4.59	4.14	4.18	4.13	2.87	2.24	2.90	2.82	2.15
	المرحلة الثانية									
	عمر 120 يوم					عمر 120 يوم				
A_0=0	0.00	1.24	1.18	1.40	1.47	0.00	1.20	2.40	2.00	1.93
A_1=5	1.36	1.64	1.69	1.68	1.82	1.28	1.73	1.43	1.81	1.76
A_2=10	1.89	1.96	1.89	1.88	2.44	1.12	1.79	1.39	1.92	1.33
A_3=15	2.35	2.29	2.56	2.51	2.80	1.21	1.41	2.11	1.47	1.70
A_4=20	2.07	2.29	2.72	2.68	2.75	1.52	1.95	2.19	1.71	1.90

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

الجدول 6- النترات المستمدة من السماد (غرام آزوت/كغ مادة جافة) خلال مراحل النمو للسنة الأولى والثانية.

المعاملات	السنة الأولى					السنة الثانية				
$NH_4 \setminus NO_3$	N_0=0	N_1=5	N_2=10	N_3=15	A_4=20	N_0=0	N_1=5	N_2=10	N_3=15	A_4=20
	المرحلة الأولى									
	عمر 56 يوم					عمر 52 يوم				
A_0=0	0.00	7.60	9.68	14.14	16.74	0.00	2.64	8.87	10.86	6.22
A_1=5	5.70	8.57	13.15	17.06	18.33	2.08	2.63	8.27	8.71	10.53
A_2=10	9.39	11.85	18.32	19.12	20.72	1.85	4.46	4.83	4.17	4.65
A_3=15	13.04	13.72	17.83	19.37	19.17	2.08	4.97	5.67	5.38	3.98
A_4=20	13.66	16.33	23.02	20.54	24.42	1.70	4.07	3.76	3.56	5.29
	المرحلة الثانية									
	عمر 120 يوم					عمر 120 يوم				
A_0=0	0.00	2.77	3.60	4.47	6.90	0.00	1.73	6.56	7.17	4.16
A_1=5	1.14	3.66	5.50	6.39	7.39	1.88	4.46	4.87	4.73	7.30
A_2=10	3.89	5.46	6.66	7.47	8.38	1.35	5.34	6.41	5.28	5.20
A_3=15	3.98	7.12	9.52	10.60	9.38	4.18	7.56	7.36	7.76	6.66
A_4=20	4.77	4.88	7.28	7.54	8.75	4.08	9.37	7.54	8.26	6.06

عند عمر 120 يوماً من الزراعة كانت أعلى قيمة للنترات NO_3-N المتصة 9.37 غرام/كغ مادة جافة (A4N1) وتزداد بازدياد الأمونيوم والنترات المضافة إلى التربة وتتناقص عند المستوى A4N4 (الجدول 6).

النسبة المئوية لكفاءة استخدام الآزوت

كان معدّل الاستفادة من الآزوت خلال موسمين متتالين في وقت الحصاد أعلى في النباتات التي أضيفت لها النترات من تلك التي أضيف لها الأمونيوم NH_4. وتراوحت ما بين 41.47-100% لمختلف معاملات النترات (الشكل 1) ومن 57.28% - 15.78% لمعاملات الأمونيوم (الشكل 2).

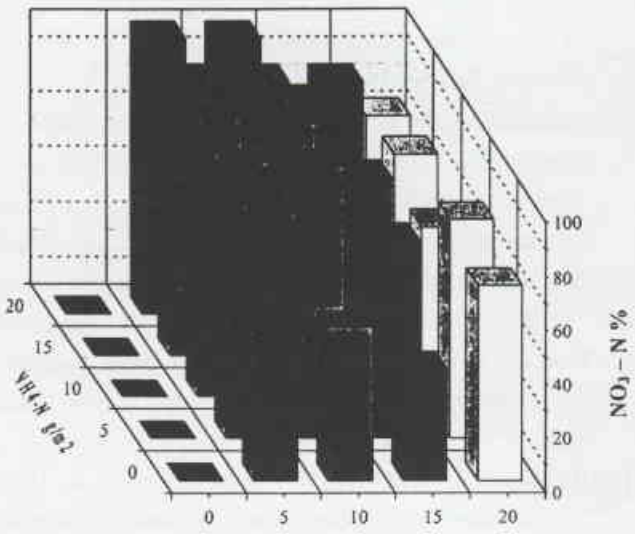
المناقشة

العلاقة بين مختلف أشكال الآزوت في التربة ونمو النباتات: بيّنت نتائج الدراسة أنه يوجد ارتباط إيجابي بين مستويات إضافة الأمونيوم NH_4-N و النترات NO_3-N إلى التربة ونمو النبات. من ناحية ثانية، كان تأثير الأمونيوم غير واضح مثل النترات في معدّل النمو ومختلف مراحله. كان لمستوى إضافة الأمونيوم (A3 = 15 غرام N/م^2 وA4 = 20 غرام N/م^2) تأثير معنوي (باحتمال 0.05) سلبي على إنتاج المادة الجافة عند الحصاد. المستويات الأعلى من A3 و A4 يمكن أن تؤثر بشكل سلبي على النشاطات البيولوجية في التربة [26]، مؤدية إلى تناقص تحويل الأمونيوم إلى نترات. وبناءً على ذلك يتمُّ تراكم الأمونيوم حول الجذور في تركيزات سامة ينتج منها تثبيط النمو.

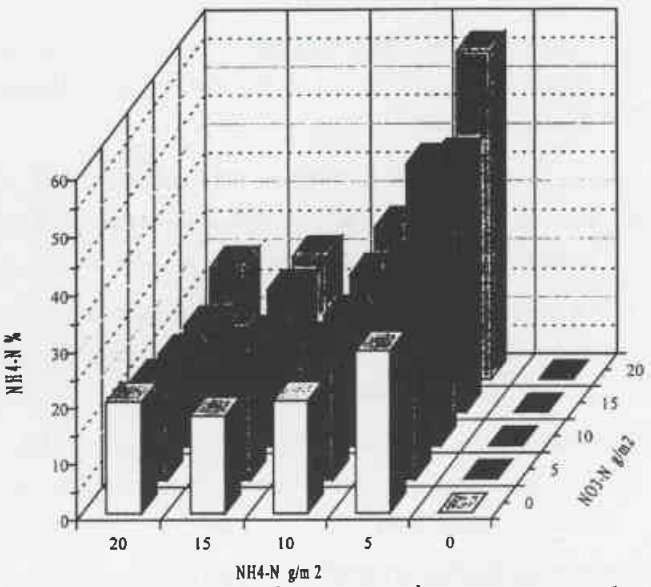
يستمر تأثير الشكل النتراتي على زيادة إنتاج المادة الجافة حتى التركيز (N3 = 15 غرام/م^2) ثم تنخفض عند المستوى (N4 = 20 غرام N/م^2). لوحظ أن التركيز العالي النسبي للنترات لم يكن من العوامل المحددة للنمو مثل نفس تركيز الأمونيوم. التركيز المنخفض من الأمونيوم في خلايا النبات يمكن أن يسبّب سميّة للنباتات أي أن زيادة النترات في الخلية البروتوبلازمية لاتسبب تأثيراً ضاراً على نمو النبات [27]. وُجد أن أغلب القيم العليا التي أمكن الحصول عليها من المادة الجافة وفي جميع مراحل النمو تركّزت في المعاملات التي تحتوي على خليط من شكلي الآزوت النترات NO_3 و الأمونيوم NH_4 المضافين للتربة.

هذه النتائج تتوافق مع النتائج التي حصل عليها مازيندار وبارساد [28]. عند مقارنة نتائج هذه الدراسة الحقلية خلال الموسمين المتتاليين مع النتائج السابقة لتجربة الأصص التي استُخدمت فيها نفس تربة حقل الدراسة. وهناك تشابهٌ في الحصول على أعلى إنتاج للمادة الجافة عند إضافة خليط من النترات NO_3-N والأمونيوم NH_4-N وبنسبة 3:1, 1:1 تحت الظروف الحقلية. كما لُوحظ أيضاً أن الكمية المتصة من الآزوت من قبل مختلف أجزاء الذرة (سوق ،جذور، أوراق ، عرانيس ،حبوب) من شكل نترات كان أعلى من الممتص من شكل أمونيوم خلال مراحل النمو المختلفة.

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



الشكل 1– كفاءة استخدام النترات (الآزوت النتراتي المسترجع في نباتات الذرة) المتأثرة بمعدّلات استعمال مختلفة من سمادي الآزوت النتراتي والأمونيومي والاثنين معاً.



الشكل 2– كفاءة استخدام الأمونيوم (الآزوت الأمونيومي المسترجع في نباتات الذرة) المتأثرة بمعدّلات استعمال مختلفة من سمادي الآزوت النتراتي والأمونيومي والاثنين معاً.

تشير النتائج إلى أن الإنتاج المستحصل عليه من إضافة النترات للذرة المزروعة في أرض مالحة كانت أعلى من المستحصل عليه من إضافة الأمونيوم NH_4 لها. هذا يمكن أن يساهم في إذابة وحركة النترات مع ماء الري إلى منطقة نمو الجذور بالمقارنة مع الأمونيوم المتحول إلى نترات. تراوحت كفاءة استخدام الآزوت ما بين 67.12% و 93.82% للنترات تحت ظروف إضافة الأمونيوم بمعدلات مختلفة ، كما تراوحت ما بين 11.11% و 43.83% للأمونيوم تحت ظروف إضافة النترات بمعدلات مختلفة. لذلك يمكن القول بأن النترات المضافة للتربة كانت أيسر في الامتصاص من قبل نباتات الذرة ويمكن أن تكون مفضلة عن الأمونيوم تحت الظروف المالحة. هذا يؤكد دور التعاون لشكلي النترات NO_3-N و الأمونيوم NH_4-N عند إضافتهما معاً في نمو الذرة حيث كان كل شكل يساهم في زيادة معدّل الاستفادة من الشكل الآخر .

النتيجة

يمكن الاستنتاج بأن الذرة صنف غوطة 82 يستجيب بشكل مؤكد لزيادة إضافة النترات و الأمونيوم كل على حدة أو معاً. زاد إنتاج المادة الجافة و الحبوب بزيادة الكمية المضافة لكل منهما على حدة. كانت الاستجابة أفضل عند إضافة النترات منها عند إضافة الأمونيوم في أغلب الحالات . لذلك زيادة الإنتاج كانت أحسن عند إضافة النترات و الأمونيوم معاً كما لوحظ أيضاً أن إضافة الآزوت السمادي زاد معدل الآزوت الممتص من التربة. و بالنتيجة يوصى بعدم إضافة الأمونيوم منفرداً للذرة في المناطق الجافة المتأثرة بالأملاح لذلك فإن إضافة خليط من شكلي الآزوت (نترات NO_3-N وأمونيوم NH_4-N معاً) وبنسبة 1:1 – 3:1 تحسن كفاءة استخدام الأمونيوم للحصول على الإنتاج الأعظمي تحت الظروف المدروسة.

المراجع REFERENCES

[1] Bock, B.R. 1986 Increasing cereal yield with higher ammniumm / nitrate ratios : reviews of potentials and limitations . J.Environ. Sci. Helth , A21, 723-758.

[2] Hageman, R.H. 1984. Ammonium versus nitrate nutrition of higher plants.P. 67-85. In Hauck, R.D. (ed) Nitrogen in Crop Production. Am. Soc. Agron. Madison WI.

[3] Olsen, S.R. 1986. Using soil and fertilizer chemistry to improve corn productivity. Potash and Phosphate Institute, Maximum yield corn research roundtable St. Louis, Mo. Nov. 1985.

[4] Schrader, L.E., D. Domska, P.E. Jung, Jr., and L. A. Peterson. 1972. Uptake and assimilation of ammonium-N and their influence on the growth of corn (Zea Mays L.). Agron. J. 64:690-695.

[5] Goyal, S.S. and Huffaker R. C. 1984. Nitrogen toxicity in plants P. 97-118 in: R. D. Hauck (ed) Nitrogen in crop production. Am. Soc. Agron., Madison WI.

[6] Weissman, G.S. 1964. Effect of ammonium and nitrate nutrition on protein level and exudate composition. PL. Physiol. 39: 947-952.

[7] Dibb, D.W. and L.F. Welch. 1976. Corn growth as affected by ammonium and nitrate absorbed from soil. Agron. J. 68:89-94.

[8] Khalifa, Kh. And Zidan, A. 1999, Effect of Nitrate Addition on Efficient use of Ammonium Sulfate Fertilizer

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

on Corn under Saline Conditions. I. Pot Experiment, Commun. Soil Sci. Plant Anal. 30:2145-2156.

[9] Al-Zubaidi, A.and K. Al-Semak 1997. Effect of Potassium application in saline soils on the growth and salt tolerance of corn. Abstract volume, International Symposium on Sustainable Management of Salt-Affected Soils in the Arid Ecosystem, 22-26 September 1997, Cairo, Egypt.

[10] Tandon, H.L.C. and G.S. Sekhon. 1988. Potassium Research and Agricultural Production in India. Fertilizer Development and Consultation Organization, New Delhi, India.

[11] El-Shinnawi, M.M. and W.T. Frankenberger, Jr. 1998. Salt inhibition of free-living diazotroph population density and nitrogenase activity in soil. Soil Sci. 146:176-184.

[12] McClung, G. and W.T. Frankenberger, Jr. 1985. Soil nitrogen transformations as affected by salinity. Soil Sci. 139:405-411.

[13] Lewis, O.A.M, D.M. James, and E.J. Hewitt. 1982. Nitrogen assimilation in barley (Hordum vulgare, L.cv. Mazurka) in response to nitrate and ammonium nutrition. Ann. Bot. 49:39-49.

[14] Power, J.F. 1983. Recovery of N and P from wheatgrass. Agron. J. 75:249-254.

[15] Zidan, A. 1980 Effect of K, B, and Si on the growth and composition of barley seedlings under saline conditions. Ph. D. dissertation, University of Aberdeen, Aberdeen, Scotland.

[16] Zidan, A. 1984. Effect of nitrogen addition to sea water dilutions on the growth of barley seedlings. Higher Educ. Coun. Sci. Publ. (Syria) 24:455-466.

[17] Knowles, R.P., and D.A. Cook. 1952. Response of bromegrass to nitrogen fertilizer. Sci. Agric. 32:548-554.

[18] Gouny, P., J. Picard, and S. Meriaux. 1959. Comparison of the effect of ammonia and nitrate fertilizers on temporary grassland. C.R. Acad. Agric. (Fr). 45:889-893.

[19] Laughlin, W.M. 1963. Bromegrass response to rate and source of nitrogen applied in fall and spring in Alaska. Agron. J. 55:60-62.

[20] Laurence, M. and R. Kilcher. 1964. Effect of time of fertilizer application on the seed and forage yield of Russian wild ryegrass. J. Range Mgt.,17:272-273.

[21] Russell, E.W. 1973. The individual nutrients needed by plants (nitrogen). PP. 31-37. In: Soil Conditions and plant Growth. 10th ed. Longman, London, England.

[22] Follet, R. H., L. S. Murphy, and R.L. Donahue. 1981. Fertilizers and soil Amendments. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ.

[23] USDA, Soil Survery Staff. 1975. Soil Taxonomy. A Basic Interpreting Soil Survery. SCS-USDA Handbook No. 43. U.S. Government Printing Office, Washington, DC.

[24] Bremner, J. M. and C.S. Mulvaney. 1982. Total nitrogen. PP. 595-624. In: C.A. Black (ed.), Methods of soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. American Society of Agronomy, Madison, WI.

[25] Hardarson, G. (ed). 1990. Use of Nuclear Techniques in Studies of Soil-plant Relationships. Training Course Series No. 2. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.

[26] Fayez, M. 1991. Bacterial composition and N2-fixation of some Egyption soils cultivated with wheat. Irrigation and Drainage Abstracts. 017-02671.

[27] Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2 nd ed. Academic Press, London, England.

[28] Mazundar, B. and G. Parasad. 1988. Performance of late sown wheat at different sowing methods and different sources of N in coastal saline soils of Orissa. Envieronment and Ecology. 6, 3, p. 638-640.■

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

تأثيرات إصابة بذور الشعير بالعامل الممرض Pyrenophora graminea في بروتينات التخزين (الهوريدين)*

د. محمد عماد الدين عرابي – د.نزار مير علي – محمد جوهر – د. بسام الصفدي
قسم البيولوجيا الجزيئية و التقانة الحيوية – هيئة الطاقة الذرية – ص . ب 6091 – دمشق – سورية.

ملخص

يُعدّ Pyrenophora graminea من العوامل الممرضة البذرية المسببة لمرض تخطط أوراق الشعير. استخدمت خمسة أصناف شعير مختلفة في مستويات مقاومتها، لكشف إصابة البذور بالعامل الممرض اعتماداً على طريقة الرحلان الكهربائي SDS-PAGE [حزم الهوريدين (المجموعتان B و C)]. تمّ الحصول على ثلاث مجموعات تحت وحدات: غياب تحت وحدات في البذور المصابة ولجميع الأصناف المستخدمة. وجود بعض تحت الوحدات في الأصناف المقاومة. تحطم حزم الهوريدين B ممثلة في تحت الوحدات ذات الأوزان الجزيئية المنخفضة في الأصناف الحساسة.

تميزت هلامات الهوريدين بتكرارية عالية، حيث يمكن استخدام تحت وحدات الهوريدين لتبيان مدى إصابة بذور الشعير بالعامل الممرض P. graminea.

الكلمات المفتاحية: نبات الشعير، العامل الممرض P. graminea، بروتينات التخزين (هوريدين)

مقدمة

يُعدّ العامل الممرض P. graminea من العوامل الممرضة البذرية والعامل المسبب لمرض تخطط الأوراق على الشعير (Hordeum vulgare L.)، و غالباً ما يسبب المرض انخفاضاً في الغلة الحَبية [1]. يبقى الفطر داخل الحبوب، على شكل ميسليوم داخل خلايا (parenchymatical) من طبقة البيريكارب (pericarp). تحدث الإصابة الشديدة بالمرض في المراحل الأولى لتشكل البذرة، حيث تبدو البذور المصابة سليمة [2].

بما أن العامل الممرض P. graminea مرض بذري حصراً، فإن زراعة بذور غير مصابة تعتبر الطريقة الأنجع في السيطرة على المرض [3]. يُجرى عادة اختبار البذور للتحرّي عن إصابتها بالعامل الممرض P. graminea باستخدام طريقة (freezing blotter) حسب [4]، و يحتاج تطبيق هذه الطريقة إلى خبرة في علم التصنيف و ذلك لكون الكونيدي الواحد مؤلفاً من عدة خلايا وبالتالي يمكن للمحتوى الوراثي أن يكون مختلفاً، علاوة على ذلك فإنه من الصعوبة بمكان معرفة المصدر الوراثي للبذور المختبرة باتباع هذه الطريقة.

يمكن لبروتينات التخزين (الهوريدين) في الشعير أن تكون ذوات تعددية شكلية عالية حيث استخدم [5] طريقة SDS-PAGE في تصنيف أصناف الشعير مستخدماً بذرة واحدة من كل صنف حيث إن حزم بروتينات التخزين لا تتأثر بشكل كبير بالظروف البيئية. ونظراً لكون انتقال هذا المرض عن طريق البذور حصراً فإن إيجاد طريقة تحليلية لكشف الإصابة يمكن أن تكون مفيدة. على قدر معرفتنا فإنه لا توجد دراسات تناولت تأثير إصابة بذور الشعير بالعامل الممرض P. graminea على بروتينات التخزين. هدفت دراستنا الحالية إلى تقصي إمكانية استخدام حزم الهوريدين في تمييز البذور المصابة بالعامل الممرض P. graminea من تلك غير المصابة.

المواد والطرائق

المادة النباتية والمرضية

استخدمت خمسة أصناف من الشعير في هذه الدراسة (الجدول 1). اختيرت تبعاً لاختلاف إصابتها بالمرض، لصفاتها الزراعية و لتنوع مصادرها. استخدمت العزلة SY3 من العامل الممرض P. graminea لكونها الأكثر قدرة على إحداث الإصابة من بين مجموعة العزلات التسع

الجدول 1– شدة إصابة 5 أصناف من الشعير لقحت بذورها بالعزلة SY3 من العامل الممرض P. graminea

WI2291	الولايات المتحدة	100a*
Arrivate	الولايات المتحدة	94a
Furat1	سوريا	81b
Thibaut	فرنسا	21c
CI5791	اثيوبيا	14d

* تختلف القيم المتبوعة بأحرف مختلفة معنوياً P=0.001 حسب (Newman-keuls test).

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة Plant Varieties and Seeds (2001) 14.

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

المختبرة من قِبَل [6]. جرى تنمية الفطر ضمن أطباق بتري احتوت على بيئة بطاطا دكستروز آغار (PDA) وذلك بتحضينها لمدة 8 أيام على درجة حرارة 20 – 22 درجة مئوية في الظلام بغية تحفيز نمو الميسليوم.

تلقيح البذور

استُخدمت طريقة [7] المعدلة في تلقيح البذور. حيث عقمت بذور الشعير بمحلول هيبوكلوريد الصوديوم (2%) لمدة 5 دقائق ثم تركت تجف مدة 3 – 4 ساعات. نقلت 50 بذرة إلى طبق بتري احتوى على ميسليوم الفطر بعمر 8 أيام ثم حضنت لمدة 14 يوم على درجة حرارة 6 درجة مئوية. أخذت البذور من الأطباق ليجري تحضيرها لاختبار الرحلان الكهربائي بطريقة SDS-PAGE ومقارنة نتائجها مع بذور الشاهد (غير الملقحة).

التجربة الحقلية

زرعت بذور ملقحة بالمرض بظروف التجربة الحقلية ضمن قطاعات عشوائية كاملة تكونت من ثلاثة مكررات. تكون كل مكرر من خط واحد احتوى 40 نبات. جرى اختيار مكان التجربة ليكون مناسباً لانتشار و تطور المرض على نبات الشعير. سجل عدد النباتات السليمة و المصابة في مرحلة الإسبال. ثم جرى تحديد مستوى الإصابة اعتماداً على النسبة المئوية لسطح النبات المصاب حسب السلم الموضوع من قِبَل [8].

الرحلان الكهربائي

استخلاص البروتين

جرى استخلاص البروتين من كل صنف في 17.5% (وزن/حجم) بولي أكريلاميد حُلّ حسب طريقة [9] والمعدلة من قِبَل [10]. حُلّ حوالي 20 ملغ من مسحوق البذور المصابة وغير المصابة في محلول مكون من 2% (وزن/حجم) SDS، 5% حجم/حجم، 2-mercaptoethanol، 0.001% وزن/حجم pyronin، 10% حجم/حجم glycerol، 0.063 M Tris-HCl (pH6.8).

تركت العينات لمدة 90 دقيقة في درجة حرارة الغرفة ثم رُجّت كل 15 دقيقة. وضعت بعدها في حمام مائي لمدة 2 دقيقة. ثم تركت لتبرد ثم وضعت في أنابيب أبندروف و ثفلت لمدة 5 دقائق بمعدل 14000 دورة في الدقيقة.

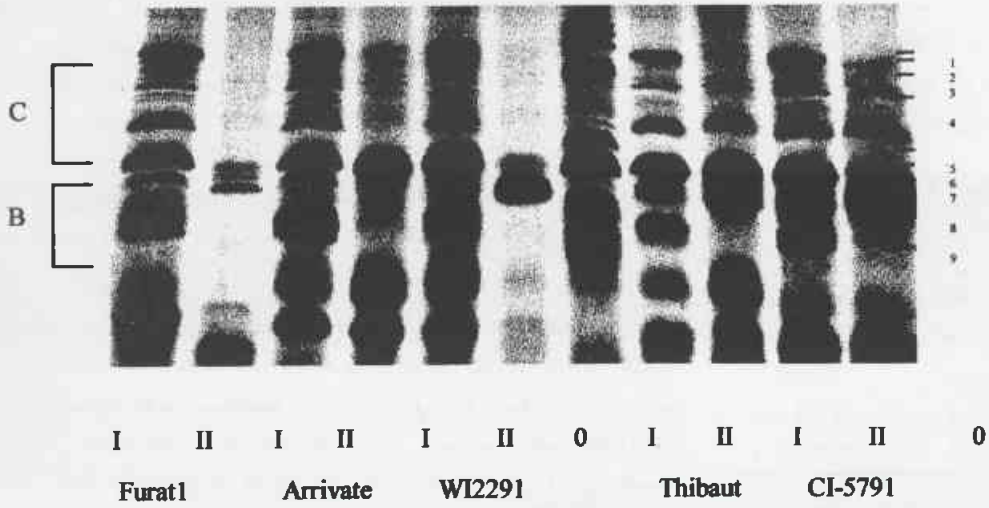
طريقة SDS-PAGE

جرى وضع مستخلصات البروتين بمعدل 20 مكروليتر ضمن كل بئر من المشط الهلامي العمودي المتشكل في جهاز رحلان كهربائي (160 × 180 × 1.5 مم، Hoefer SE-600). استخدم تيار ثابت ذو شدة 15 ملّي أمبير في الترحيل على هلامتين معاً لمدة 20 ساعة. اتبعت الطريقة الموضوعة من قِبَل [10] مستخدمين 5% من هلامة ثانوية (stacking gel) ذات درجة حموضة pH 6.8 و 17.5% من هلامة رئيسية (running gel) و درجة حموضة pH 8.8. استخدم صنف القمح الكندي ماركيز كمرجع لتقدير الأوزان الجزيئية للحزم حسب [11]. جرّت صباغة الهلامات لمدة 24 ساعة مستخدمين Coomassie blue R250، إيتانول 5% و TCA 6%. أجري صبغ إضافي لمدة 5 ساعات مستخدمين TCA 6% غمست بعدها الهلامات في الماء حيث جرى تصويرها ثم تجفيفها لمدة 24 ساعة. أعيدت التجربة عدة مرات حيث تمّ الحصول على نفس النتائج لنفس المجموعة.

النتائج و المناقشة

أظهرت النتائج وجود اختلافات عالية المعنوية ($P<0.001$) بين الأصناف المدروسة تحت الشروط الحقلية. يُظهر الجدول 1 درجات مقاومة هذه الأصناف معبراً عنها كنسبة مئوية لعدد النباتات المصابة. يمكن تقسيم هذه الأصناف إلى مجموعتين: المجموعة الأولى شملت الأصناف عالية الحساسية تجاه المرض وهي WI2291, Arrivate و Furat 1 و بشدة مرضيّة تراوحت ما بين 80% و 100%. المجموعة الثانية شملت الصنفين CI-5791 و Thibaut و بشدة مرضيّة تراوحت ما بين 14% و 21%.

يظهر من بروفيل الهوريدين للبذور المصابة وغير المصابة لطرز الشعير المستخدمة (الشكل 1)، تأثر حزم الهوريدين في البذور الملقحة بالعامل الممرض P. graminea وذلك في جميع الأصناف المدروسة. وقد تجلى هذا التأثير بشكل واضح في مجموعة الأصناف الحساسة (يسار المعلم). اختفت في هذه المجموعة ثلاث حزم رئيسية (هوريدين C) في البذور المصابة وذلك بالمقارنة مع الشاهد للأصناف الثلاثة (WI2291، Arrivate، Furat 1). تراوحت الأوزان الجزيئية لهذه الحزم ما بين 60 و 90 كيلو دالتون. في حين أظهرت البذور المصابة في الصنفين CI-5791 وThibaut حساسية أقل تجاه المرض (14% و 21% على التوالي) (الجدول 1). لم يظهر من بروفيل الهوريدين C وجود اختلاف كبير في



الشكل 1- بروتينات التخزين (هوريدين) لخمسة أصناف من الشعير ناتجة عن SDS-PAGE. I: الشاهد (بذار غير ملقحة). II: بذار ملقحة بالعزلة SY3 من العامل الممرض Pyrenophpra graminea. 0: صنف القمح ماركيز (المعلم البروتيني). حيث:[11] 1≈145, 2≈112, 3≈98, 4≈83, 5≈72, 6≈60, 7≈54, 8≈50, 9≈49 and 10≈37 KD.

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

البذور المصابة لهذين الصنفين كتلك الموجودة في المجموعة الأولى. اختفت بشكل واضح في البذور المصابة للصنفين CI-5791 و Thibaut الحزم ذات الوزن الجزيئي العالي فقط من هوريدين C (وزن جزيئي 90 كيلو دالتون). بينما لم تتأثر الحزم ذوات الوزن الجزيئي المنخفض من هوريدين C (وزن جزيئي 60 كيلو دالتون) و تجلى ذلك بشكل واضح لدى الصنف Thibaut الأكثر مقاومة للمرض.

يظهر الشكل 1 بالنسبة للهوريدين B (وزن جزيئي من 40 إلى 55 كيلو دالتون) اختفاء الحزم ذوات الوزن الجزيئي المنخفض (وزن جزيئي 45 كيلو دالتون) في البذور المصابة و لجميع الأصناف. بينما اختفت كلياً الحزم ذوات الأوزان الجزيئية العالية في الصنفين WI2291 و Furat 1. وقد ظهرت وبشكل ملفت للانتباه حزم ذوات أوزان جزيئية منخفضة (وزن جزيئي حوالي 50 كيلو دالتون). في البذور المصابة لهذين الصنفين مغايرة بذلك الشواهد (البذور غير المصابة).

تظهر نتائج هذه الدراسة إمكانية تمييز البذور المصابة للأصناف الحساسة عن طريق غياب عدة حزم في الهوريدين C و B معاً. يمكن تمييز ثلاث مجموعات نتيجة إصابة البذور بالعامل المرض P.graminea.

المجموعة الأولى: اختفاء بعض الحزم في منطقتي الهوريدين C و B معاً في البذور المصابة لجميع الأصناف المدروسة بغض النظر عن مستويات حساسيّاتهم المختلفة للمرض. وكمثال واضح لهذه الحالة الحزم الجزيئية الأولى للهوريدين C (وزن جزيئي 90 كيلو دالتون) ومنخفضة الوزن الجزيئي للهوريدين B (وزن جزيئي 45 كيلو دالتون).

المجموعة الثانية: ظهور بعض الحزم مرتبطة بمستويات المقاومة مثل الحزم الجزيئية 2 و 3 في منطقة الهوريدين C وبوزن جزيئي يتراوح تقريباً ما بين 75 و 60 كيلو دالتون على التوالي. ظهرت هذه الحزم في البذور المصابة للأصناف المقاومة نسبياً CI-5791 و Thibaut في حين غابت كلياً في البذور المصابة للأصناف الحساسة (WI2291, Arrivate و Furat 1) (الشكل 1).

المجموعة الثالثة: لوحظ لدى صنفين من الأصناف الحساسة اختفاء الحزم الأولى للهوريدين B (وزن جزيئي 58 كيلو دالتون) و استبدالها بحزم ذوات أوزان جزيئية (وزن جزيئي 50 كيلو دالتون) لم تكن موجودة في البذور الطبيعية. أشار [12] إلى أنّ تفعيل المورثات المنظمة للعامل الممرض يؤدي إلى تركيب و تراكم بروتينات ذوات علاقة بالعامل الممرض. ومن المعروف بأن منطقتي الهوريدين C وB تتحددان بمورثتين هما: Hor-1 و Hor-2 على التوالي متوضعتين على الذراع القصير للصبغي 5 [13]. أشارت توقعات أولية إلى وجود عامل وراثي واحد مسؤول عن المقاومة [14]. بينما ترجح الأبحاث الحديثة ارتباط الوراثة الكمية بستة من صبغيات الشعير السبعة [12]. ومن المثير للانتباه اكتشاف موقع chS مرتبط مع الموقع Hor-1.

ترجح نتائج هذه الدراسة وجود عدة مورثات متضافرة في عملية المقاومة. حيث وجدت اختلافات وراثية بين أصناف الشعير تراوحت من عالية الحساسية إلى عالية المقاومة [8، 15]. أشار [16] إلى أنّه على الرغم من اعتبار المعلم الجزيئي SDS-PAGE أكثر ملاءمة من المعلم A-PAGE فإنه من الصعب استخدامه كمؤشر وحيد في تمييز أصناف الشعير.

نقترح استخدام المعلم الجزيئي SDS-PAGE في كشف فيما إذا كانت بذور الشعير مصابة بالعامل الممرض P. graminea وفي إمكانية تقويم مستوى مقاومة صنف ما موضوع الدراسة. إن كشف إصابة بذور الشعير بالعامل الممرض P. graminea يمكن أن يكون ذا أهمية في كشف مصدر العدوى وحصر انتشار المرض مع المادة النباتية، إضافة إلى تحديد المصدر الوراثي للبذور المختبرة. يمكن لنتائج هذه الدراسة أن تكون مفيدة في تأسيس مراكز حجر زراعية وحماية بذور الشعير النظيفة في سفن الشحن من التلوث بالعامل الممرض P. graminea.

المراجع REFERENCES

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

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

[3] - Metz, S.G., & Scharen, A.L, Potantial for the development of Pyrenophora graminea on barley in a semi-arid environment. Plant Disease Reports. 63: 671-675 (1976).

[4] - Johnston, R.H., Metz, S.G., & Riesselman, J.H., Seed treatment for control of Pyrenophora leaf stripe of barley. Plant Disease 66: 1120-1124 (1982).

[5] - Shewry, P.R., Pratt, H. M., Faulks, A. J., Parmar, S., & Milfin, B. J., The Storage protein (hordein) polypeptide pattern of barley (Hordeum vulgare L.) in relation to varietal identification and disease resistance. Journal of the National Institute of Agricultural Botany. 15: 34-50 (1979).

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

[7] - Hammouda, A.M., Modified technique for inoculation in leaf stripe of barley. Acta Phytopathologica et Entomologica Hungarica. 21: 255-259 (1986).

[8] - Delogu G., Porta-Puglia, A. & Vannace, G., Resistance of winter barley varieties subjected to nature of Pyrenophora

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

graminea. Journal of Genetics & Breeding. 43: 61-66 (1989).

[9] - Laemmli, U K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. Nature 22: 680-685 (1970).

[10] - Payne, P.I; Corfield, K.D; Holt L. M.; & Blackman, JA. Correlation between the inheritance of certain high molecular weight subunits of glutenin and bread making quality in progenies of six crosses of bread wheat. Journal of Science Foods and Agriculture. 32: 51-60 (1981).

[11] - Ng, P.K.W. & Bushuk W. Glutenin of Marquis wheat as a reference for estimating molecular weights of glutenin subunits by sodium dodecyle sulfate polyacrylamide gel electrophrosis. Cereal Chemistry. 64: 324-327 (1987).

[12] - Pecchioni, N., Vale, G., Toubia-Rahme, H., Faccioli, P., Terzi V. & Delogu, G., Barley -Pyrenophora graminea interaction: QTL analysis and gene mapping. Plant Breeding. 118,29-35 (1999).

[13] - Shewry, P. R. & Miflin, B.J., Genes for the storage proteins of barley. Qualitas Plantarum. Plant Foods for Human Nutrition. 31, 251-67 (1982).

[14] - Skou, J. P., & Haahr, V., Screening for and inheritance of resistance to barley leaf stripe (Drechslera graminea). Riso. Report 554, Riso National laboratory, Roskilde, Denamark. (1987).

[15] - Tekauz A., Reaction of Canadian barley cultivars to Pyrenophora graminea, the incitant of leaf stripe. Canadian Journal of Plant Pathology. 5: 294-301(1983).

[16]- Riggs, T. J., Sanada, M., Morgan, A. G. & Smith, D. B., Use of acid gel electrophoresis in the characterization of B proteins in relation to malting quality and mildew resistance of barley. Journal of the Science of Foods and Agriculture. 34, 576-586 (1983).■

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

تأثير إرجاع الكبريتات ومساهمة غاز CO_2 الأرضي في تحديد أعمار المياه الجوفية المقدرة بطريقة الكربون ^{14}C- دراسة حالة لنظام المياه الجوفية في الحامل المائي للباليوجين في شمال - شرق سورية*

د. زهير قطان
قسم الجيولوجيا - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب 6091 - دمشق - سورية.

ملخص

تمَّت دراسة المياه الجوفية في الحامل المائي للباليوجين في شمال شرق سورية باستخدام الطرائق الكيميائية والنظائرية بهدف تحديد تأثير انحلال الكربونات وإرجاع الكبريتات ومساهمة غاز CO_2 الأرضي في تمديد فعالية الكربون ^{14}C، ولاحقاً من أجل تصحيح الأعمار الظاهرية للمياه، المقدرة بطريقة الكربون ^{14}C. والسبب وراء تطبيق هذه المنهجية غير التقليدية في التصحيح هو أن المياه الجوفية في هذا الحامل المائي الكربوناتي الكارستي والنومولیتي موجودة في ظروف مضغوطة كلياً أو جزئياً، وواقعة على مقربة كبيرة من صدوع وفوالق عميقة. علاوة على ذلك، فإن وجود اتصال بين تشكيلات الكريتاسي الأعلى، الحاوية على صخور جصية ومواد هدروكربونية، تساعد على تسهيل عمليات إرجاع الكبريتات ومساهمة غاز CO_2 الأرضي، والتي لا يمكن إغفالها. تمَّ تقدير عامل التمديد المرتبط بانحلال الكربونات بحوالي 0.75-0.60. وكان عامل التمديد المترافق مع عمليات إرجاع الكبريتات، الذي يعتمد فقط على محتوى غاز H_2S، ضعيفاً (حوالي 0.095). ولكن كنتيجة للوضع البنيوي أو التكتوني القائم في المنطقة، كانت مساهمة غاز CO_2 الأرضي كبيرة بوضوح. يتراوح معامل التمديد المرتبط بهذا التأثير بين 0.24 و 0.64. وبالمحصلة انخفضت أعمار المياه الجوفية المقدرة وفق تقانة الكربون ^{14}C بالمقارنة مع تلك الأعمار التي تمَّ تحديدها بواسطة نماذج التصحيح التقليدية. وبناءً عليه يمكن أن تقسم المياه الجوفية في منطقة الدراسة إلى ثلاث مجموعات رئيسة: (1) مياه جوفية عذبة وضحلة وباردة وذات عمر أقل من ألف سنة؛ (2) مياه جوفية متوسطة الملوحة وحارة وعميقة وذات عمر قديم (12.3-10.9 ألف سنة) و (3) مياه جوفية مختلطة وذات نوعية وعمر انتقاليين (6.7-1.9 ألف سنة قبل الزمن الحالي).

الكلمات المفتاحية: هدروجيولوجيا - جيوكيمياء النظائر - مياه قديمة - سورية - مياه حارة.

مقدمة

يُعدّ الكربون المشع (^{14}C) - وهو نظير بيئي - ذا أهمية كبيرة في تأريخ المياه الجوفية. يُستخدم هذا النظير (عمر النصف = 5730 ± 30 سنة) بشكلٍ واسع من أجل تحديد أعمار المياه الجوفية التي تتراوح بين ألف و 40 ألف سنة [1-10]. ولكن على اعتبار أن هذه الطريقة ترتكز على محتوى ^{14}C في الكربون اللاعضوي المنحل (DIC)، فإن الاستخدام الملائم لهذه الطريقة ما يزال صعباً بسبب تعدد مصادر الكربون [4، 6، 11، 12، 13، 14، 15، 16]. في الحقيقة تعود صعوبة تأريخ أعمار المياه الجوفية بطريقة الكربون ^{14}C إلى أسباب عدة تتعلق بتعدد العمليات المتحكمة بالجيوكيمياء النظيرية للكربون خلال رشح المياه عبر النطاق غير المشبع (تفاعلات في نظام مفتوح) ولاحقاً ضمن الحامل المائي ذاته (تفاعلات في نظام مفتوح). تترافق هذه التفاعلات بشكلٍ رئيس مع عدة عمليات جيوكيميائية، كانحلال أو ترسب الكربونات، أكسدة وتفسخ الكربون العضوي الرسوبي (SOC)، المزج والتبادل النظيري والكيميائي، بالإضافة إلى التمايز النظيري.

ولهذا السبب، تمَّ اقتراح عدة نماذج تصحيح من أجل الأخذ بعين الاعتبار تأثيرَ العمليات الجيوكيميائية المشار إليها أعلاه [5، 12، 17-25]. وتبين في دراسات حديثة [10، 26، 27، 28] أن هناك صعوبات أخرى قد تبرز بفعل دور غاز CO_2 الأرضي (داخلي المنشأ) وإرجاع الكبريتات. تدخل هذه العمليات مجتمعة في تقدير قيمة الفعالية البدائية للكربون ^{14}C، التي تعد المعامل الرئيس في تصحيح أعمار المياه الجوفية الظاهرية. فبسبب العمر المديد لزمن الكربون العضوي، تكون فعالية الكربون ^{14}C في الكربون العضوي الرسوبي عملياً مساوية للصفر، ومن هنا، يمكن أن يكون محتوى الكربون ^{14}C في DIC بشكل عام ممدداً، تبعاً لكمية الكربون العضوي في DIC. يترافق هذا التمديد بشكل عام مع تغيرات مماثلة في محتوى الكربون ^{13}C. ومن هنا يستطيع النظير المستقر (^{13}C) أن يلعب دوراً هاماً في التقدير الكمي للمصادر المختلفة للكربون في الكربون اللاعضوي المنحل (DIC). وبناءً عليه، ومن أجل تقدير أكثر دقةلأعمار المياه الجوفية بطريقة الكربون ^{14}C، من الضروري معرفة المصادر الممكنة للكربون في DIC وأيضاً تقدير كمية كل مركبة مساهمة. أما تحديد

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة Hydrogeology Journal, 2002.

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

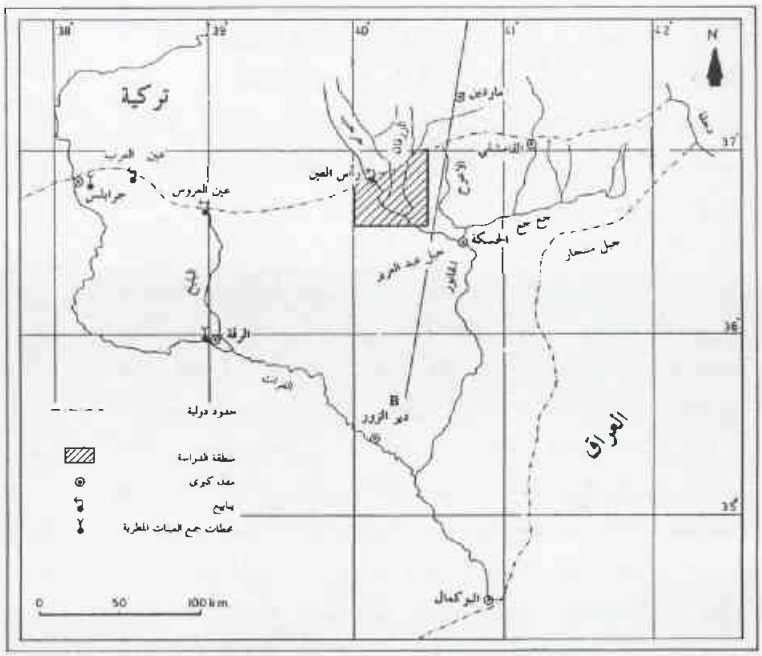
أعمار المياه الجوفية بدون الأخذ بعين الاعتبار لمختلف العمليات الآنفة الذكر، وذات العلاقة مع الكربون العضوي، سيقود إلى أعمار قديمة غير واقعية.

يناقش هذا العمل تأثير عمليات انحلال الكربونات وإرجاع الكبريتات ومساهمة غاز CO_2 الأرضي في تمديد الفعالية الإشعاعية للكربون ^{14}C لعينات مياه جوفية حارة، تم جمعها من الحامل المائي الكلسي للباليوجين في منطقة رأس العين (الجزيرة السورية).

الخصائص العامة لمنطقة الدراسة

تقع المنطقة المختارة لهذه الحالة الدراسية في الجزء الشمالي الشرقي من سورية (الشكل 1). تتمثل التضاريس المحلية بسهول فسيحة (340-400 م فوق منسوب سطح البحر)، وتحاط بجبل عبد العزيز (حتى 950 م)، وجبل سنجار (1460 م). بشكلٍ عام، تتدرج منطقة الدراسة ضمن النطاق شبه الجاف، حيث يكون المناخ انتقالياً بين المناخين المتوسطي والقاري. يتميز فصل الشتاء بكونه رطباً ومعتدلاً (0-10°C)، في حين يكون فصل الصيف حاراً (30-45 °C) وجافاً تماماً. تتراوح قيم الهطولات فوق منطقة الجزيرة السورية، والتي تحصل بصورةٍ عامة على شكل أمطار، بين 250 و 600 مم/ سنة. وعلى الرغم من أن غالبية الحوادث المطرية تكون مترافقة مع جبهات متوسطية، يوجد هناك أيضاً عواصف مطرية تكون مرتبطة بالمنخفضات الجوية للبحر الأحمر والجبهات القطبية. تتغير القيمة المتوسطة السنوية طويلة الأمد للتبخر الكامن بين 1000 و 1300 مم/ سنة، في حين تكون القيمة المتوسطة السنوية للرطوبة النسبية منخفضة نسبياً (42-48 %).

تتأثر شبكة الصرف في منطقة الجزيرة العربية السورية بوجود أنهار الخابور ودجلة والبليخ والفرات. ويعد نهر الخابور (الطول حوالي 486 كم ومتوسط التصريف = 42 م^3/ ثا)، المصدر الرئيس للمياه السطحية في منطقة الدراسة [29، 30]. يتلقى هذا النهر معظم مياهه من عددٍ من الينابيع الكارستية المتدفقة من الحامل المائي الكلسي للباليوجين قرب مدينة رأس العين.



الشكل 1– خريطة توضيحية تبين منطقة الدراسة وخط المقطع الجيولوجي (AB)

الإطار الجيولوجي والهدروجيولوجي

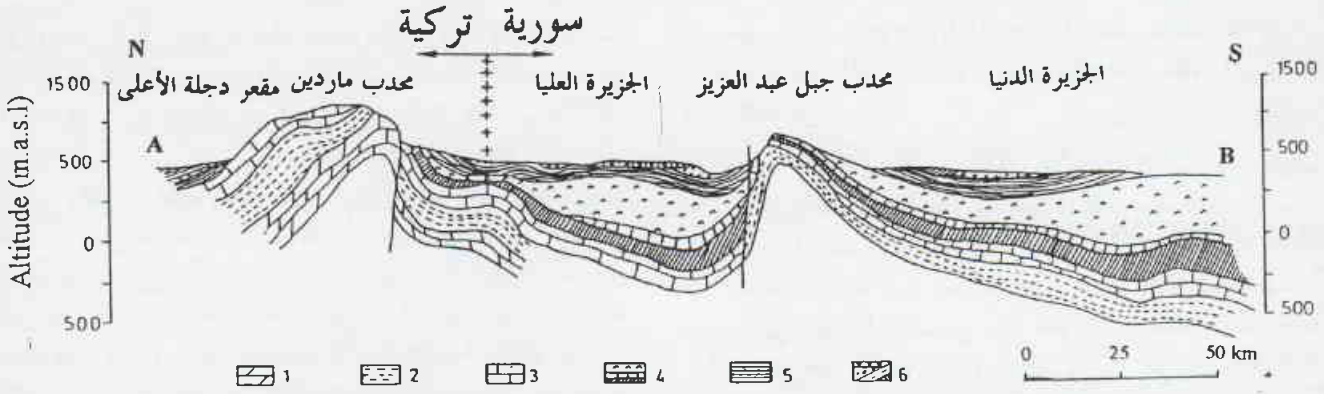
تقع منطقة الدراسة عند الاتصال بين السطيحة العربية ونظام الطي الألبي، المتمثل بسلسلة جبال طوروس [29، 30]. يحدها من جهة الشمال فالق ماردين ومن الجنوب فالق جبل عبد العزيز (الشكلان 2 و3). ويعد محدب جبل عبد العزيز البنية الأكبر في المنطقة. قطعت هذه البنية بعدد من الصدوع الرئيسة، المحاطة بعددٍ من الفوالق الثانوية. استناداً إلى معطيات جيوفيزيائية، تمَّ الاستنتاج بأن ركيزة السطيحة العربية تتكون من صخورٍ بلّورية، تزداد عمقاً من الجنوب إلى الشمال [31]. وتبين وفقاً لمعطيات حفر العديد من الآبار العميقة في المنطقة، أن العمود الطبقي يتمثل بتوضعات الحقب القديم والحقبين المتوسط والحديث [29، 31، 32، 33، 34]. تتمثل توضعات الحقب القديم (السماكة حوالي 1200 م) بتشكيلات الأوردوفيسي والسيلوري والكربوني والبرمي، المكونة بشكلٍ غالب من صخور شيستية مع رقاقات من الحجر الرملي والغضار والحجر الكلسي والغضار الرملي.

يتمثل الحقب المتوسط بصخور مجموعة الترياسي–الجوراسي وتوضعات الكريتاسي. تتألف صخور مجموعة الترياسي–الجوراسي (السماكة الكلية حوالي 707 م) بشكلٍ أساسي من الحجر الرملي الدولوميتي، الغضار، والغضار الدولوميتي، الأنهدريت والدولوميت البيتومي والأنهدريت المترافق مع رقاقات من الغضار. وتقسم توضعات الكريتاسي (السماكة حوالي 400 – 600 م) إلى الكريتاسي الأسفل (رسوبيات رملية) والكريتاسي الأوسط (مارن وحجر كلسي وحجر كلسي كتلي) والكريتاسي الأعلى (رسوبيات حوارية).

تتمثل توضعات الحقب الحديث بتشكيلات الباليوجين والنيوجين والرباعي.

يتألف الباليوسين (Pg_1) غالباً من حجر كلسي غضاري وحجر كلسي مع غضار بيتومي. وتكون توضعات الأيوسين (Pg_2) مكونة بشكلٍ رئيس من الحجر الكلسي الغضاري الحاوي على الصوان والحجر الكلسي النوموليتي الكتلي والأبيض المترافق مع تداخلات مارنية. تتميز توضعات الأيوسين المتكشفة في رقعة ماردين التركية (السماكة من 200 إلى 300 م) بامتدادها الكبير وبتعاقب صخور الحجر الكلسي الكتلي القاسي والمصفر مع صخور المارن والحجر الكلسي الحواري. وتتألف توضعات الأوليغوسين (Pg_3)، التي تتراوح سماكتها بين 20 و160 م، من المارن والحجر الكلسي والدولوميت. تتكشف توضعات النيوجين على رقعة شاسعة من أراضي الجزيرة، وتتغير من سحنة مارنية في الشمال إلى سحنة بحيرية في الوسط إلى سحنة قارية سميكة (السماكة حتى 1000 م) في الجنوب. تتألف توضعات الرباعي من رسوبيات

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



الشكل 2– مقطع جيولوجي باتجاه شمال جنوب على امتداد أراضي الجزيرة السورية، وفقاً لـ UNDP-FAO (1966).

لحقية نهرية وريحية وبحيرية، بالإضافة إلى صبات الصخور البازلتية. تتمثل التوضعات اللحقية النهرية والريحية بالحصى والطمي والغضار والرمل. تشكلت صبات الصخور البازلتية (السماكة من 3 إلى 20 م) كنتيجة لعدة نشاطات بركانية حصلت خلال فترتي الرباعي الأسفل (βQ_1) والرباعي الحديث (βQ_4).

الشكل 3– خريطة هدروجيولوجية (UNDP-FAO, 1966) تظهر الصدوع الرئيسة [31] ومواقع جمع عينات المياه الجوفية في منطقة الدراسة.

من وجهة نظر هدروجيولوجية، يمكن التمييز بين عدة أنظمة حوامل مائية (البرمي، الكريتاسي الأوسط والأعلى، الباليوجين، الميوسين الأوسط والأعلى، البليوسين والرباعي) في المنطقة [29]. توجد أنظمة الحوامل المائية كافة، باستثناء حاملي الباليوجين والرباعي، اللذين يشكلان حاملين مائيين جيدين، على أعماق كبيرة (200 – 3500 م)، وتحوي على مياه شديدة الملوحة (الأملاح الذائبة الكلية حتى 95 غ/ ل).

يتكون الحامل المائي للباليوجين من حجر كلسي نومولیتي كتلي يعود للأيوسين الأوسط والأعلى والأوليغوسين. يحاط هذا الحامل من الأسفل بصخور مارنية من الكريتاسي والباليوسين والأيوسين الأسفل. أما من جهة الأعلى، فتغطيه تشكيلات غضارية وحجر كلسي غضاري ومارن غضاري وصخور جصية كتيمة، تعود للميوسين الأسفل والأوسط. يعد هذا الحامل المضغوط، الموجود على أعماق ضحلة (عدة أمتار) في الجزيرة العليا، والمتطور بشكلٍ كبير في الأراضي التركية، من أهم أنظمة الحوامل المائية في الجزيرة السورية [29، 35، 36]. تختفي تشكيلة الغطاء في بعض المواقع، وبذلك يصبح الحامل محلياً غير مضغوط. تتراوح سماكة هذا الحامل في تركية بين 200 و 300 م. أما في سورية، فتزداد سماكته شرقاً إلى حوالي 1035 م قرب مدينة القامشلي. تتجلى أهمية هذا الحامل بوجود مخارج تصريف كبيرة وعديدة كينابيع رأس العين، عين العرب وعين العروس، الواقعة على امتداد الحدود السورية – التركية (الشكل 1). يمكن أن يتجاوز التصريف الكلي لمجموعة هذه الينابيع 52 م/ ثا [29].

يتطور الحامل المائي للرباعي بشكلٍ واسع في وديان نهر الخابور وروافده. ويتكون من الرمل، الحجر الرملي، الحصى، الطمي الرملي، الكونغلوميرا الجصية والبازلت. يتصف هذا الحامل في حالتي الكونغلوميرا والبازلت بمسامية تشققية عالية. تعود عملية تغذية هذا الحامل المائي إما إلى الرشح المباشر لمياه الأمطار أو إلى التغذية الجانبية في وادي النهر. وعلى مقربة من جبل عبد العزيز تصبح مياه هذا الحامل مالحة (الملوحة حوالي 6 غ/ لتر)، في حين يتغير منسوب المياه الجوفية فيه من 7 – 65 م تحت سطح الأرض. يبين الشكل 3 الخريطة الهدروجيولوجية لمنطقة الدراسة.

جمع العينات والتحاليل

تمّ تنفيذ جولتين حقليتين في منطقة الدراسة. بدأت الجولة الحقلية الأولى (الممثلة لفصل الأمطار) في حزيران 1992. تمّ جمع العينات المائية من ثلاثة ينابيع رئيسة (النبع الكبريتي، عين الزرقاء وعين البانوس، المواقع 1

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

و 2 و4، على التتالي) ومن أربعة آبار مضغوطة أو ارتوازية [السفح (العمق 150 م)، الزرقان (315 م)، المرندية (360 م)، والجنيدية (250 م): المواقع ذات الأرقام 5 و 6 و7 و8، على التتالي]. تمّ من أجل هذه العينات تحليل محتوى الأيونات الرئيسة ومحتويات نظائر الـ $\delta^{18}O$ والـ $\delta^{2}H$ والـ $\delta^{13}C$ و التريتيوم والكربون المشع ^{14}C. وفي الجولة الحقلية الثانية (الممثلة لفترة الجفاف)، والتي بدأت في أيلول 1992، تمّ سحب العينات المائية من ذات المواقع، بالإضافة إلى عينة جديدة من نبع عين المودي (الموقع رقم 3)، الذي كان جافاً خلال الجولة الحقلية الأولى. تمّ تحليل العينات المأخوذة خلال هذه الجولة من أجل محتويات الأيونات الرئيسة وتراكيز نظائر الـ $\delta^{18}O$ والـ $\delta^{2}H$ والتريتيوم. يبين الشكل 3 مواقع جمع عينات المياه الجوفية في منطقة الدراسة.

علاوة على ذلك، تمّ جمع عينتين مائيتين من حامل مائي، كربوناتي ونوموليتي قليل العمق في حوض دمشق، وذلك من أجل أخذهما كعينات ممثلة لمنطقة تغذية حامل الباليوجين. تمّ تحليل هاتين العينتين من أجل محتويات الأيونات الرئيسة وتراكيز نظائر الـ $\delta^{13}C$ والتريتيوم والكربون ^{14}C. أجريت التحاليل النظيرية لـ $\delta^{18}O$ و$\delta^{2}H$ و$\delta^{13}C$ والتريتيوم والكربون المشع ^{14}C في مخبر سلطة المياه الأردنية بعمان. وتمّ ترسيب عينات الكربون اللاعضوي المنحل الكلي (TDIC) في الحقل من حوالي 120 لتر ماء بطريقة التفاعل مع كلور الباريوم في درجة pH عالية. وفي المخبر تمّ الحصول على غاز ثنائي أكسيد الكربون من الكربون اللاعضوي المنحل الكلي (TDIC) بطريقة التحميض ومن ثم التحويل إلى بنزن. وأخذت عينات الكربون ^{13}C على شكل غاز ثنائي أكسيد الكربون من خط استخلاص البنزن. تمّ قياس محتوى النظائر المستقرة (ضمناً ^{13}C) باستخدام جهاز مطياف كتلة من طراز Delta-E Finnigan Mat. وتمّ قياس محتوى التريتيوم (بعد عملية إغناء) والكربون ^{14}C بجهاز عد وميضي سائل (Packard 3253). أعطيت طريقتا الإغناء بالتحليل الكهربائي والعد باستخدام العداد الوميضي السائل من قِبل Florkowski (1981 [37])، واتُّبع فيما يتعلق بتحضير عينات الكربون ^{14}C الإجراءات الموضحة من قبل Brown et al. (1981 [38]). تبلغ دقة قياسات كلٍّ من $\delta^{18}O$ $\delta^{2}H$ و$\delta^{13}C$ والتريتيوم 0.1 ‰ ± 1 ‰، 0.1 ‰ ± و1 TU±، على التتالي.

وضعت العينات الخاصة بتحليل الأيونات الرئيسة في عبوات بلاستيكية جديدة، بعد غسلها بماء العينة، وذلك بعد أن تم ترشيحها باستخدام ورق بقطر 0.45 مكرومتر. وسجلت قراءات درجة حرارة المياه، قيم الناقلية الكهربائية وقيم درجة الـ pH في الحقل أثناء جمع العينة. تمّ إجراء تحاليل الأيونات الرئيسة في مخبر مديرية الري العامة لحوضي دجلة والخابور، في حين تمّ تحديد محتوى النترات وتراكيز غاز H_2S فقط بطرق المعايرة التقليدية في مخبر وزارة الإسكان والمرافق.

النتائج والمناقشة

أعطى قطان (2001 [30]) تفصيلات أكبر حول تقييم وتفسير الخصائص الهدروكيميائية ومحتويات النظائر البيئية في المياه الجوفية لنظام الحامل المائي الكلسي للباليوجين في منطقة رأس العين. سيتم في هذا العمل عرض بعض تلك النتائج.

كيمياء المياه الجوفية

يضم الجدول 1 القيم المتوسطة للمعطيات الجيوكيميائية لعينات المياه الجوفية المأخوذة من هذا الحامل المائي، بالإضافة إلى المعطيات المتعلقة بمياه التغذية المعتبرة. تمّ حساب قيم الضغط الجزئي لغاز ثنائي أكسيد الكربون ($\log pCO_2$)، إلى جانب قيم قرائن إشباع المياه إزاء ترسب فلزات كلٍّ من الكالسيت والدولوميت والجص (SI_{cal}، SI_{dol}، SI_{gyp} على التتالي)، باستخدام البرنامج WATEQF [39].

استناداً إلى قطان [30]، كانت محتويات الأملاح الذائبة الكلية (TDS) في عينات مياه الأمطار المأخوذة من مناطق مجاورة لمنطقة الدراسة قليلة (TDS أقل من 110 ملغ/ ل). ولكن، وبسبب وفرة الغبار الكربوناتي

الجدول 1– القيم المتوسطة للمعطيات الجيوكيميائية للمياه الجوفية المأخوذة من الحامل المائي للباليوجين في الجزيرة السورية. σ، تمثل قيمة الخطأ في التحليل الكيميائي. SI_{cal} و SI_{dol} و SI_{gyp} ، تمثل قيم قرائن إشباع المياه إزاء ترسب فلزات الكالسيت والدولوميت والجص، على التتالي.

رقم الموقع	اسم الموقع	T	pH	E.C	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	Cl^{-}	NO_3^{-}	TDS	Mg/Ca	SI_{cal}	SI_{dol}	SI_{gyp}	pCO_2	σ
		°C		µS cm^{-1}	meq l^{-1}	meq l^{-1}	meq l^{-1}	meq l^{-1}	meq l^{-1}	meq l^{-1}	meq l^{-1}	meq l^{-1}	mg l^{-1}					atm	%
	مياه التغذية	23.0	7.14	442	2.70	2.64	0.39	0.06	3.30	1.46	0.60	0.40	415	0.98	-0.07	-0.03	-1.85	$10^{-2.14}$	0.3
1	نبع الكبريت*	25.4	7.19	829	5.39	4.61	1.57	0.15	4.00	3.75	3.02	0.32	757	0.86	+0.04	+0.16	-1.30	$10^{-1.84}$	2.8
2	نبع الزرقاء	23.1	7.37	423	2.59	2.39	0.39	0.05	3.39	1.21	0.59	0.39	402	0.92	-0.10	-0.13	-1.93	$10^{-2.08}$	1.4
3	نبع المودي	23.2	7.43	441	2.99	2.47	0.43	0.05	3.00	1.58	0.71	0.39	410	0.82	-0.04	-0.06	-1.77	$10^{-2.20}$	2.4
4	نبع الفلوس	22.5	7.44	464	2.50	3.04	0.35	0.08	3.51	1.60	0.51	0.47	436	1.22	-0.06	+0.08	-1.85	$10^{-2.14}$	1.0
5	بئر السفح*	39.2	6.77	2765	14.47	9.55	10.83	0.64	4.39	11.03	20.03	1.29	2268	0.66	+0.01	+0.10	-0.70	$10^{-1.42}$	1.7
6	بئر الزرقان*	26.3	7.20	1316	12.48	6.01	3.56	0.18	4.39	14.78	5.02	0.18	1579	0.48	+0.32	+0.48	-0.56	$10^{-1.82}$	4.6
7	بئر المرندية*	38.1	6.92	2540	14.97	6.01	8.53	0.49	4.00	9.00	16.02	0.18	1843	0.40	+0.25	+0.35	-0.73	$10^{-1.52}$	1.3
8	بئر الجنيدية	23.7	7.10	2940	30.94	18.02	6.96	0.23	3.20	41.97	10.52	0.18	3603	0.58	+0.26	+0.43	0.00	$10^{-1.92}$	0.2

* مياه تحوي على غاز H_2S (التركيز المتوسط حوالي 7.5 ملغ/ ل).

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

في الغلاف الجوي للمنطقة [40، 41] كان نمط مياه الأمطار بيكربوناتياً كلسياً.

تُعدّ المياه الجوفية لينابيع الزرقاء والمودي والبانوس (المواقع ذات الأرقام 2 و 3 و4 على التتالي) عذبة (TDS أقل من 0.5 غ/ ل)، مع متوسط درجة حرارة للمياه بحدود 23 °C ± 1. أمّا درجة pH هذه المياه فكانت أعلى من 7.3، في حين كانت قيم الضغط الجزئي لغاز ثنائي أكسيد الكربون منخفضة ($10^{-2.08}$ - $10^{-2.20}$). باستثناء مياه بئر الجنيدية (الموقع رقم 8) التي من أجلها كانت حرارة المياه مماثلة لحرارة مياه الينابيع الباردة (23.7 °C ± 0.7)، وجد أن المياه الجوفية في بقية الآبار كانت أكثر ملوحةً وحرارة (26.3 °C ± 0.2 - 39.2 ± 0.1). وأوحت القيم المتوسطة لدرجة حرارة ومحتوى الأملاح في المياه الجوفية لنبع الكبريت (الموقع رقم 1) بوجود مزج بين مياه الينابيع الباردة والمياه الحارة. نذكر هنا، أن نقطة الفصل المفترضة بين المياه الباردة والحارة كانت بحدود 23 °C ± 1. على قاعدة درجة حرارة المياه الباردة (22.5 °C) والمياه الحارة (39.2 °C)، يمكن تقدير مساهمة كل مركبة من مركبتي مزج المياه. فبفرض أن حجم المياه الممزوجة ($V_{admixed}$) هو حاصل جمع حجمي المياه الباردة والحارة (V_{cold} و $V_{thermal}$ على التتالي)، يمكن كتابة ميزان الكتلة التالي:

$$V_{admixed}.T_{admixed} = V_{cold}.T_{cold} + V_{thermal}.T_{thermal} \quad (1)$$

وأيضاً

$$V_{admixed} = V_{cold} + V_{thermal} = 100\% \quad (2)$$

وبناءً عليه، يمكن حساب حجم المياه الحارة وفق العلاقة التالية:

$$V_{thermal} = \frac{100.(T_{admixed} - T_{cold})}{(T_{thermal} - T_{cold})} \quad (3)$$

حيث T، درجة حرارة المياه مقدرة بـ °C وV النسبة المئوية لحجم المياه.

تمّ تقدير مساهمة مركبة المياه الحارة في نبع الكبريت (درجة حرارة مياه المزج = 25.4 °C) بحوالي 17%. حيث يحتمل أن يعود السبب الرئيس للارتفاع النسبي لدرجة حرارة مياه الآبار الحارة إلى تعمق صخور هذا الحامل المائي لمسافة كبيرة. في الحقيقة، تقدر القيمة المتوسطة لتدرج الحرارة الإقليمي بحدود 3°C لكل 100 م عمق [31]. وكانت المياه الجوفية المرتبطة ببئر الجنيدية مشابهة لمياه الينابيع الباردة، بشكلٍ رئيس، فيما يتعلق بدرجة حرارة المياه والتركيب النظيري (الجدول 2). ولكنها تختلف بشدة عن مياه الينابيع الباردة بمحتواها المرتفع من الكالسيوم والكبريتات، اللذين يمكن عزوهما لمعدلٍ مرتفع في انحلال صخور الجص. حيث كانت مياه هذه البئر فقط في حالة توازنٍ مع فلز الجص (الجدول 1). وكانت المياه الجوفية لبئري السفح والزرقان متماثلةً في خصائصها الكيميائية والنظيرية (الجدول 2)، مما يدل على وجود مصدرٍ واحد وخطوط جريانٍ متماثلة.

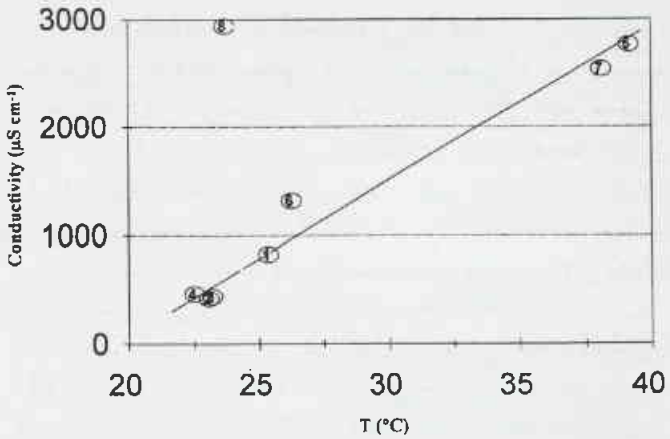
أظهرت المعطيات أيضاً أن قيم الناقلية الكهربائية (EC) للمياه الجوفية تزداد بتابعية الحرارة (الشكل 4)، في حين تنخفض قيم درجة الـ pH بشكلٍ ملحوظ (الشكل 5). وفي حين يمكن تفسير ارتفاع قيم الناقلية الكهربائية بزيادة معدل انحلال الصخور مع ارتفاع درجة حرارة المياه، يمكن أن يعزى انخفاض قيم الـ pH إلى تأثير عمليات إرجاع الكبريتات ومساهمة غاز CO_2 الأرضي. حيث يمكن البرهان على هاتين الآليتين من خلال وجود غاز H_2S في المياه الجوفية الحارة كافة، ضمناً المياه الجوفية لنبع الكبريت. علاوةً على ذلك، يمكن أن يلعب الوضع البنيوي الإقليمي، المتمثل بوجود صدوع وتشققاتٍ عميقة في المنطقة [29]، دوراً هاماً في الحركة النهوضية للمياه الحارة العميقة باتجاه السطح. وما الارتفاع في قيم الضغط الجزئي لغاز ثنائي أكسيد الكربون ($10^{-1.42}$-$10^{-1.52}$، الجدول 1)، ومحتويات الكربون $\delta^{13}C$ (الجدول 2)، إلا دعماً إضافياً لصحة هذه التفسيرات.

الجدول 2– القيم المتوسطة للمعطيات النظيرية للمياه الجوفية المأخوذة من الحامل المائي للباليوجين في الجزيرة السورية، بالإضافة إلى الأعمار الإشعاعية غير المصححة، والعمر المصحح الكلي من أجل انحلال الكربونات، إرجاع الكبريتات ومساهمة غاز CO_2 الأرضي. d، تمثل قيمة فرط الدوتيريوم؛ f_1 و f_2 و f_3 و f_4، تمثل قيم معاملات التمديد بفعل انحلال الكربونات وإرجاع الكبريتات ومساهمة غاز CO_2 الأرضي والتمديد الكلي، على التتالي. n.d.، تمثل تحليل غير محدد.

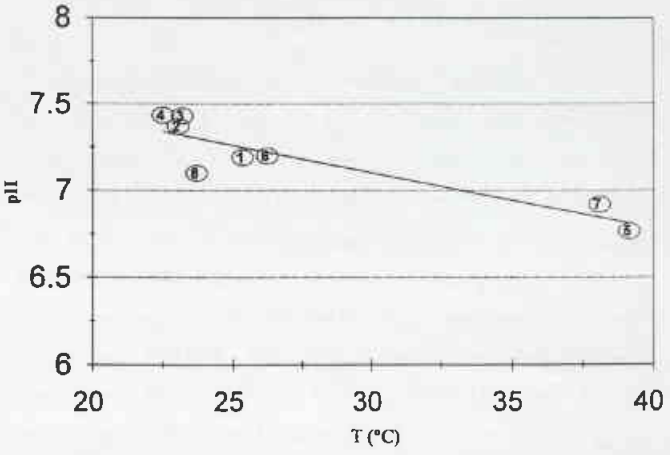
رقم الموقع	اسم الموقع	$\delta^{18}O$	$\delta^{2}H$	d	^{3}H	$\delta^{13}C$	^{14}C	العمر غير المصحح	f_1	f_2	f_3	f_4	العمر المصحح
		(‰, SMOW)	(‰, SMOW)	(‰, SMOW)	TU	(‰, PDB)	pmC	سنة					سنة
	مياه التغذية	n.d	n.d	n.d	8.4±0.6	-10.09±0.7	74.5±2.0	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
1	نبع الكبريت*	-6.84 ± 0.07	-39.4 ± 0.3	15.4 ± 0.8	<1	-7.98	24.9 ± 1.8	11493 ± 577	0.675	0.948	0.490	0.314	1905
2	نبع الزرقاء	-6.54 ± 0.12	-36.8 ± 0.2	15.5 ± 1.1	<1	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
3	نبع المودي	-6.42	-37.0	14.4	<1	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
4	نبع البانوس	-6.69 ± 0.01	-37.7 ± 0.3	15.9 ± 0.3	<1	-8.27	33.8 ± 2.3	8967 ± 544	0.593	1.000	0.642	0.381	995
5	بئر السفح*	-8.03 ± 0.09	-44.8 ± 0.3	19.4 ± 0.4	<1	-7.37	5.7 ± 0.9	23683 ± 1212	0.675	0.952	0.390	0.251	12240
6	بئر الزرقان*	-8.15 ± 0.10	-45.0 ± 0.5	20.3 ± 1.3	<1	-6.98	5.6 ± 0.9	23829 ± 1232	0.675	0.952	0.325	0.209	10900
7	بئر المرتدية*	-7.16 ± 0.14	-41.8 ± 0.6	15.5 ± 1.7	<1	-6.47	6.9 ± 0.8	22103 ± 907	0.675	0.948	0.242	0.155	6675
8	بئر الجنيدية	-6.28 ± 0.06	-36.9 ± 1.0	13.4 ± 0.5	1.2 ± 0.5	-7.06	27.0 ± 1.7	10824 ± 504	0.748	1.000	0.405	0.303	950

* مياه تحوي على غاز H_2S (التركيز المتوسط حوالي 7.5 ملغ/ ل).

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



الشكل 4– العلاقة بين درجة حرارة المياه والقيمة المتوسطة للناقلية الكهربائية لعينات المياه الجوفية المأخوذة من مختلف المواقع في منطقة الدراسة



الشكل 5– العلاقة بين درجة حرارة المياه والقيمة المتوسطة لـ pH لعينات المياه الجوفية المأخوذة من مختلف المواقع في منطقة الدراسة

بشكلٍ عام، يمكن أن يتشكل غاز H_2S بفعل عملية إرجاع للكبريتات بوجود الجص ومواد هدروكربونية، والتي تنتشر بكثرة في توضعات الكريتاسي الأعلى في منطقة الدراسة [42]. وكقيمةٍ متوسطة، كان تركيز غاز H_2S في المياه الحارة كافة بحدود 7.5 ملغ/ل، إلا أن قيمة هذا التركيز يمكن أن تبلغ 18 ملغ/ل، كما سبق أن بُيِّن في تقرير UNDP-FAO (1966، [29]) وقد بينت نتائج التحليل لعينةٍ غازية مأخوذة من بئرٍ عميق (492 م) في المنطقة وجود حوالي 91.9% من غاز الميتان و1.7 % من غاز H_2S [31]. كما لوحظ أيضاً وجود مظاهر مماثلة في المياه الحارة المرتبطة بصخور الكريتاسي الأعلى في شمال الأردن [10، 43].

نظائر الأكسجين والهدروجين في المياه الجوفية

يبين الجدول 2 القيم المتوسطة لكلٍّ من $\delta^{18}O$ وδD في عينات المياه الجوفية المأخوذة من مختلف المواقع في منطقة الدراسة. تظهر هذه المعطيات أن المياه الجوفية في بئري السفح والزرقان (الموقعان 5 و6 على التتالي) تمتلك، من الوجهة النظيرية، المحتويات الأكثر نضوباً في النظائر المستقرة الثقيلة، بالإضافة إلى القيم الأكثر ارتفاعاً في فرط الدوتيريوم ($d = \delta D - 8\,\delta^{18}O \cong 20$ ‰). وتمتلك المياه الجوفية للينابيع الباردة وبئر الجنيدية التراكيب النظيرية الأكثر غنىً في النظائر المستقرة الثقيلة، والقيم الأكثر انخفاضاً في فرط الدوتيريوم (‰ 13 > d > ‰ 16). في حين تحتل المياه الجوفية لنبع الكبريت (الموقع 1) وبئر المرندية (الموقع 7) موقعاً بينياً بين جسمي المياه الجوفية المشار إليهما أعلاه، مما يشير إلى إمكانية تشكلهما بفعل عمليات مزج. فعلى قاعدة محتوى النظائر المستقرة، تتراوح مركبة المياه الحارة في حالة نبع الكبريت بين 20-25 % حيث يمكن، إلى حدٍ ما، مقارنة هذه المركبة مع تلك المركبة التي تمَّ تقديرها على قاعدة درجة حرارة المياه (17 %). أما في حالة بئر المرندية، فيبدو أن هذه المركبة تكون أكبر، حيث تتراوح بين 50-60 %.

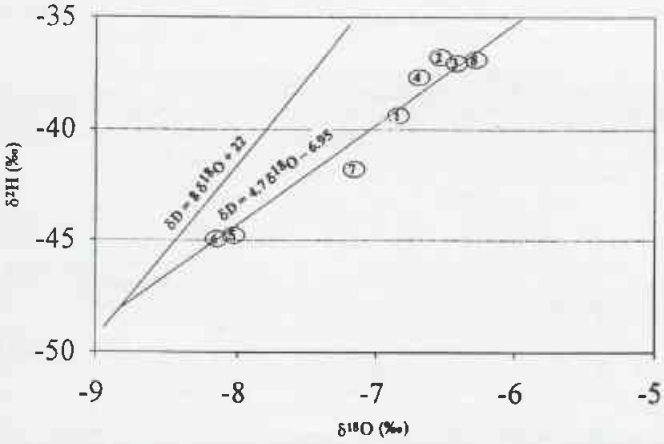
تتوافق العلاقة القائمة بين δD-$\delta^{18}O$ لعينات المياه الجوفية المأخوذة من منطقة الدراسة مع خط مزجٍ تعطى علاقته بالتالي (الشكل 6):

$$\delta D = (4.7 \pm 0.4)\delta\,^{18}O - (6.95 \pm 1.03) \quad (R^2 = 0.92, N = 15) \quad (4)$$

يتقاطع مستقيم المزج هذا مع خط مياه الهطول المتوسطي (MMWL)، الذي يتميز بالعلاقة التالية [44]:

$$\delta D = 8.\delta\,^{18}O + 22 \quad (5)$$

عند قيمةٍ تساوي 0.2 ± 8.77- ‰ في محتوى $\delta^{18}O$ وقيمة تعادل 3 ± 48.18- ‰ في محتوى δD. تمثل هاتان القيمتان، في الحقيقة، التركيب النظيري البدائي للمياه المتغلغلة قبل حدوث أية عمليات تَبَخُّر. في حين تشير قيمة ميل مستقيم المزج الضعيفة (0.4 ± 4.7) إلى خضوع مياه الينابيع الباردة لعمليات تبخر[45-48]. ومن هنا، يرجح أن تكون المياه الجوفية الموجودة على تماس مع هذا الخط، قد خضعت لعمليتي المزج والتبخر كلتيهما، وبشكلٍ أكبر من خضوعها لعملية تبخر فقط [7،48]. وتكون المياه الجوفية في الجزء المحصور من الحامل المائي (الموقعان 5 و6) موجودة على مقربة من خط مياه الهطول المتوسطي MMWL. وعلى ما يبدو فإن هذه المياه تشكلت بفعل الرشح المباشر لمياه الأمطار، دون عمليات تبخر أو مع تبخرٍ ضعيف. في حين يبدو أن المياه الجوفية المرتبطة بالجزء الحر (غير المضغوط) من الحامل المائي (حالة الينابيع الباردة وبئر الجنيدية)، قد تشكلت بفعل مياهٍ تعرضت لعمليات مزجٍ بين مياه الأمطار



الشكل 6– العلاقة بين القيم المتوسطة لـ $\delta^{18}O$ وδD لعينات المياه الجوفية المأخوذة من مختلف المواقع في منطقة الدراسة

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

وذوبان الثلوج ومياه الري المدورة الخاضعة بدورها لعمليات تبخر، وضمن أراضٍ ترتفع لحدود 700 م [30].

وبناءً عليه، تتكشف معظم مناطق تغذية الحامل المائي للباليوجين في تركية على ارتفاع يتراوح بين 700 و950 م فوق منسوب سطح البحر. يمكن الحصول على معلومات أكثر تفصيلاً حول تقييم معامل الارتفاع النظيري وعلاقته مع مناطق التغذية في عمل قطان [30].

ويبدو أن عمليات المزج بين المياه الباردة والحارة، قد ازدادت سهولة بفعل المظاهر البنيوية الإقليمية السائدة في المنطقة، كوجود الصدوع والفوالق العميقة [29، 31، 35]. حيث سمحت هذه البنية بالحركة الصاعدة للمياه الجوفية الحارة للحامل المائي المحصور، ومزجها مع المياه الضحلة. علاوة على ذلك، يوحي انخفاض قيم الـ pH وارتفاع قيم الضغط الجزئي لغاز الكربون، بالإضافة إلى معطيات نظائر الكربون [10، 26، 27] بوجود عملية تبادلٍ مع أنظمة الحوامل المائية العميقة للكريتاسي الأعلى.

كانت محتويات التريتيوم في العينات الخمسة عشر التي جرى تحليلها، بشكلٍ عام، دون حد الكشف المقدر بحوالي 1 TU (الجدول 2)، وهذا يدل على عمرٍ سابق للعام 1950 [6، 11، 49]. مع ذلك فإن الاستثناء الذي وجد من أجل عينةٍ واحدة فقط مأخوذة من بئر الجنيدية ($^3H = 1.7 \pm 1$ TU)، يمكن أن يدل على عمر مياهٍ أحدث. هذا وقد دلت نتائج محاكاة منحنيات خرج التريتيوم على أن زمن إقامة المياه الجوفية في الجزء غير المضغوط من الحامل المائي للباليوجين يتراوح في المجال 500 – 1000 سنة [30]. في حين أن زمن إقامة المياه الجوفية في الجزء المضغوط منه يزيد عن 1000 سنة. تمَّ تأكيد هذه النتائج بحسابات تقدير العمر بطريقة الكربون ^{14}C (الجدول 2). قدم Kattan [30، 49] شروحاً أكثر تفصيلاً حول طريقة تقدير أعمار المياه الجوفية باستخدام التريتيوم.

نظائر الكربون في المياه الجوفية

يبين الجدول 2 القيم المتوسطة لنظائر الكربون في عينات المياه الجوفية المأخوذة من الحامل المائي للباليوجين في الجزيرة السورية، إلى جانب تلك المياه الحاوية على التريتيوم ($^3H = 8.4 \pm 0.6$ TU) في المياه الجوفية الضحلة (الممثلة لمياه التغذية). يتراوح محتوى الكربون ^{13}C في المياه الجوفية بين 6.47 - ‰ (بئر المرندية) و 8.27 - ‰ (عين البانوس). تتوافق القيم الأكثر غنىً في ^{13}C مع المياه الجوفية العائدة للآبار المضغوطة. وتبدو قيم محتوى الكربون ^{13}C هذه أكثر غنىً بالمقارنة مع تلك المحتويات ($-8.5‰ > \delta^{13}C > -16$) من أجل المياه الجوفية في أنظمة الحوامل المائية البازلتية والكلسية لحوض اليرموك في كلٍّ من سورية والأردن [10، 50]. حيث يحتمل أن يعزى هذا الغنى في محتوى ^{13}C إلى تأثير غاز ثنائي أكسيد الكربون الأرضي [10، 27]. واستناداً إلى القائمين على تنفيذ هذين العملين، يمكن أن يتميز هذا المصدر، بشكلٍ عام، بمحتوى أكثر غنىً ($-3‰ > \delta^{13}C > -8$). يتراوح محتوى الكربون ^{13}C في مياه التغذية الضحلة، التي جمعت من الحامل المائي الكلسي النوموليتي في حوض دمشق، بين 9.4 - ‰ و 10.8 - ‰ (المتوسط $\cong 0.7 \pm 10.09$ - ‰). يبدو هذا المجال، نسبياً، أكثر غنىً بالمقارنة مع محتوى الكربون ^{13}C (11.1- إلى 13.3 - ‰) المقاس في مياه التغذية الضحلة في شمال الأردن [10]. سيتم استخدام القيمة المتوسطة للكربون ^{13}C (0.7 ± 10.09 - ‰) لاحقاً في حسابات معاملات تمديد الكربون ^{14}C.

كانت قيم الكربون ^{14}C في المياه الجوفية لآبار السفح والزرقان والمرندية منخفضة (6.9-5.6 % كربون حديث (pmC))، في حين كانت في مياه بقية المواقع الأخرى، نسبياً، أكثر ارتفاعاً (24.9 - 33.8 pmC). وتراوح محتوى الكربون ^{14}C في مياه التغذية الجوفية الضحلة ($A^{14}C_{rech}$)، بين 1.6 ± 65 و2.4 ± 82 pmC (القيمة المتوسطة = 2 ± 74.5 pmC). يبدو هذا المجال، إلى حدٍ ما، قابلاً للمقارنة مع ذلك المجال ($0.7 \pm 61.4 - 1.7 \pm 73.4$ pmC) المقاس في مياه التغذية في شمال الأردن [10].

حساب عمر المياه الجوفية

استناداً إلى القانون الأساسي للتفكك الإشعاعي، يمكن حساب زمن إقامة المياه الجوفية t في نظامٍ مغلق بالعلاقة التالية:

$$t = \frac{\tau}{\ln 2} \ln\left(\frac{A_0\,{}^{14}C}{A_t\,{}^{14}C}\right) \qquad (6)$$

حيث: τ، عمر النصف للكربون ^{14}C ($\tau = 5730 \pm 30$ y)، A_0 الفعالية البدائية للكربون ^{14}C (بشكلٍ عام تؤخذ مساوية لـ 100 pmC) و A_t الفعالية المقيسة للكربون ^{14}C في عينات المياه الجوفية.

وعند الأخذ بعين الاعتبار مختلفَ معاملات التمديد، كانحلال الكربونات (f_1)، وإرجاع الكبريتات (f_2) ومساهمة غاز CO_2 الأرضي (f_3)، سيكون معامل التمديد الكلي حاصل جداء المعاملات كافة المشار إليها أعلاه ($f_t = f_1.f_2.f_3$). وبذلك تصبح العلاقة (6) كما يلي:

$$t = 8267 \ln\left(\frac{f_t.A_0\,{}^{14}C}{A_t\,{}^{14}C}\right) \qquad (7)$$

تقدير معامل انحلال الكربونات (f_1)

في الحلقة الهدرولوجية، تستطيع التفاعلات القائمة بين حمض الكربون والكربونات الصلبة للتربة (مثال الكالسيت والدولوميت) إنتاج كميات هائلة من صنفي البيكربونات والكربونات، تبعاً لقيمة pH المياه الجوفية [51]. يمكن كتابة معادلة هذين التفاعلين كيميائياً بما يلي:

$$H_2CO_3 + CaCO_3 \rightleftarrows 2HCO_3^- + Ca^{2+} \qquad (8)$$

$$2H_2CO_3 + CaMg(CO_3)_2 \rightleftarrows 4HCO_3^- + Ca^{2+} + Mg^{2+} \qquad (9)$$

حيث تحوي البيكربونات الناتجة من جراء هذين التفاعلين على نظيري الكربون ^{13}C و ^{14}C. وبناءً عليه، فإن انحلال 1 مول من الكالسيت أو الدولوميت يمكن أن يعطي 2 مول من البيكربونات في حالة انحلال الكالسيت، و4 مول من البيكربونات في حالة الدولوميت. تنتج نصف كمية البيكربونات هذه عن الكربونات الصلبة، في حين يعود النصف الآخر إلى حمض الكربون أو غاز CO_2 للتربة. ويكون كربون غاز CO_2

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

في التربة، والمشتق من تحلل أو تفسخ المادة العضوية وتنفس الجذور، أشد نضوباً بمحتوى الكربون ^{13}C بالمقارنة مع ذلك المحتوى في الكربونات الصلبة. ففي مقياس $^{13}C_{PDB}$ تكون القيمة في غاز CO_2 للتربة بحدود 22- ‰ إلى 1 ± 25 - ‰، في حين يكون هذا المحتوى في الكربونات الصلبة بحدود 0 ± 1 ‰ [6].

يرتبط مصدر التمديد في حالة انحلال الكربونات بالكربونات البحرية، التي تكون أعمارها بشكلٍ عام من مرتبة ملايين السنين، ومن هنا، فهي غالباً لا تحوي على الكربون ^{14}C (كربون ميت). وبالتالي، تستطيع أن تزيد من عمر المياه الجوفية. في حين أن العمليات البيوجينية (الحيوية) المترافقة مع أكسدة المادة العضوية في نطاق التربة والتفاعلات مع غاز CO_2 في الغلاف الجوي يمكن أن تؤثر أيضاً على محتوى الكربون ^{14}C، لكن الكربون المنحدر من هذين المصدرين يكون ذا محتوىً مرتفع في الكربون ^{14}C. ومن هنا فإن أكسدة الكربون العضوي المتراكم في مستويات التربة، يستطيع أن ينتج غاز CO_2 في التربة، يكون ذا فعّالية عالية في الكربون ^{14}C، ولكن أقل فعّالية من الكربون الحديث [6].

ومن أجل تحديد معامل التمديد لفعّالية الكربون ^{14}C بفعل انحلال الكربونات (f_1)، لابد من الأخذ بعين الاعتبار تحولاتِ جيوكيمياء نظائر الكربون ضمن منطقة التغذية [28، 43]. والسبب هو أن محتوى الكربون ^{13}C المقاس في المياه الحارة يمكن أن يكون قد تغير، ولهذا لا يمكن استخدام محتوى ^{13}C بشكلٍ مباشر في التحديد الكمي لانحلال الكربونات. على الرغم من ذلك، يمكن وفقاً لنهج بسيط [10، 43] حساب معامل التمديد المرتبط بانحلال الكربونات كما يلي:

$$f_1 = \frac{A^{14}C_{rech}}{A^{14}C_{atm} \times \varepsilon} \qquad (10)$$

حيث: $A^{14}C_{atm}$، فعّالية الكربون ^{14}C في الغلاف الجوي. $A^{14}C_{rech}$، فعّالية الكربون ^{14}C في المياه الجوفية لمنطقة التغذية وε تأثير التمايز النظيري خلال عملية التحول ($\varepsilon = 0.96$).

وبفرض أن قيمة فعالية الكربون ^{14}C في الغلاف الجوي مماثلة لتلك القيمة التي تعادل 6 ± 114 pmC، والتي تم تحديدها من قبل [43]، من أجل شمال الأردن، فعندها يمكن أن يتراوح معامل التمديد بفعل الكربونات (f_1) بين 0.02 ± 0.59 و 0.04 ± 0.75 (الجدول 1). يتوافق هذا المجال مع ذلك المجال (0.65 - 0.75) المعطى من قبل [28]، من أجل صخور الأنظمة الكارستية.

تقدير معامل إرجاع الكبريتات (f_2)

إن بلوغ تراكيز غاز H_2S في المياه الطبيعية قيماً مرتفعة يُعدّ أمراً شائعاً في بعض المواقع الجيولوجية الخاصة، كالمناطق الجيوحرارية وأنظمة الحوامل المائية العميقة ذات المياه من النمط الكلوري والمياه المرافقة للحقول النفطية [52]. ويعود السبب الرئيس لوجود غاز H_2S إلى عمليات إرجاع الكبريتات، التي تبدو بطيئة، طالما أن الوسط كان خالياً من العضويات الدقيقة [53]. ففي مثل هذه الحالات، تستخدم البكتريا الكبريتات كمستقبلٍ للإلكترونات [28] أو تستخدم عملية إرجاع الكبريتات كمصدر طاقة في نظام لا هوائي [52]. يمكن الحصول على معلومات إضافية أكبر حول كيمياء الكبريت في البيئة في أعمال كلٍّ من [54] و [55].

من وجهة نظر جيوكيميائية، تبين أن الكبريتات تكون غير مستقرة في ظل وجود مركبات هدروكربونية [52]. حيث تقود عملية إرجاع الكبريتات بوجود الكربون العضوي (غاز الميتان CH_4 أو الكيروجين) إلى تشكيل أيوني الكبريت HS^- وH_2S وفقاً للتفاعلات التالية [10]:

$$SO_4^{2-} + CH_4 \rightleftarrows HS^- + HCO_3^- + H_2O \qquad (11)$$

$$CaSO_4(H_2O)_2 + CH_4 \rightleftarrows CaCO_3 + H_2S + 3H_2O \qquad (12)$$

$$CaSO_4(H_2O)_2 + CH_4 \rightleftarrows \qquad (13)$$

$$Ca^{2+} + HCO_3^- + 3H^+ + H_2S + H_2O + O_2$$

$$CaSO_4(H_2O)_2 + CaMg(CO_3)_2 + Ca^{2+} + CH_4 \rightleftarrows \qquad (14)$$

$$3CaCO_3 + Mg^{2+} + H_2S + 3H_2O$$

$$2CaSO_4(H_2O)_2 + 2CaMg(CO_3)_2 + 2CH_4 \rightleftarrows \qquad (15)$$

$$4CaCO_3 + 2Mg^{2+} + 2H_2S + 4H_2O + 2HCO_3^- + 2H^+ + O_2$$

ترموديناميكياً، بات معروفاً أن أيون H_2S يوجد بوفرة عند درجة pH منخفضة، أقل من 7. وبأن صنفي HS^- و S^{2-} يكونان أكثر وفرة عند درجة pH أعلى [28، 52]. ويوجد الصنف S^{2-} عند درجة pH عالية جداً أكبر من 12.6. استناداً إلى المعادلات ذات الأرقام 11 و 13 و 15، فإن إرجاع الكبريتات بوجود الكربون العضوي يستطيع أن ينتج أيون البيكربونات HCO_3^-، الذي يُعدّ الصنف الأكثر وفرة في المياه الجوفية الطبيعية، والصنف الذي يتم تحليله بشكلٍ رئيس من أجل حسابات عمر المياه الجوفية. وفي كافة الحالات، فإن إرجاع مول واحد من الكبريتات SO_4^{2-} من أجل إنتاج مول واحد من H_2S أو HS^- يترافق مع إنتاج مول واحد من البيكربونات HCO_3^-. وبناءً عليه، نستطيع حساب معامل التمديد المرتبط بإرجاع الكبريتات (f_2) بالعلاقة التالية:

$$f_2 = \frac{mDIC_{meas}}{mDIC_{meas} + mH_2S} \qquad (16)$$

حيث: $mDIC_{meas}$، قيمة المولية الوزنية molality المقيسة للكربون اللاعضوي المنحل، وmH_2S، قيمة المولية الوزنية المقيسة لغاز H_2S في عينة المياه الجوفية.

في الحقيقة، لم يأخذ ميزان الكتلة هذا بعين الاعتبار تأثيرَ ترسب فلز البيريت وإعادة أكسدة غاز H_2S. ومن هنا، فإن كمية الكبريت في الحالتين الأخيرتين، تم افتراضها مهملة، بالمقارنة مع كمية الكبريت المنتج على شكل غاز H_2S. وكما نستطيع أن نرى في الجدول 2، يتراوح معامل التمديد العائد لإرجاع الكبريتات (f_2) بين 0.952 - 0.948. يشير هذا المجال إلى تأثيرٍ ضعيف لهذه العملية بالمقارنة مع تلك العملية المرتبطة بانحلال الكربونات. وكان معامل التمديد بفعل إرجاع الكبريتات من أجل المياه الجوفية لنبع البانوس وبئر الجنيدية، التي خلت من أية محتويات لغاز H_2S، معدوماً ($f_2 = 1$).

ومن أجل الأخذ بعين الاعتبار تأثيرات التمديد اللاحقة، من الضروري المقارنة مع قيمة التوازن ($\delta^{13}C_{f2}$)، الناتجة عن عملية إرجاع

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

الكبريتات بوجود مصدر عضوي للكربون ($\delta^{13}C_{org}$) في الكربون اللاعضوي المنحل (DIC). يمكن حساب هذه القيمة من خلال ميزان الكتلة النظيري التالي:

$$\delta^{13}C_{f2} = \frac{\delta^{13}C_{rech} \times mDIC_{rech} + \delta^{13}C_{org} \times mH_2S}{mDIC_{meas} + mH_2S} \quad (17)$$

حيث: $mDIC_{rech}$ و $\delta^{13}C_{rech}$ تمثلان، على التالي، قيمتي المولية الوزنية المقيسة و$\delta^{13}C$ للكربون اللاعضوي المنحل في مياه التغذية.

بشكلٍ عام، تتراوح قيمة $\delta^{13}C_{org}$ ضمن المجال 25- و 30- ‰، [6، 27] في حين تكون تلك القيمة في الكيروجين حوالي 26- ‰ [10]. أشارت قيم $\delta^{13}C_{f2}$ (11.1- إلى 10.1- ‰)، في الحقيقة، وهي قيمٌ أكثر نضوباً بالمقارنة مع القيم المقيسة ($\delta^{13}C_{meas}$ = -8.27 to -6.47 ‰) إلى وجود مركبة دخلٍ لمصدرٍ أكثر غنىً. والاحتمال الأغلب لهذا المصدر يعود إلى مساهمة غاز CO_2 الأرضي.

تقدير معامل مساهمة غاز CO_2 الأرضي (f_3)

يُعدّ غاز CO_2 الأرضي مصدراً شائعاً لغاز ثنائي أكسيد الكربون في المناطق البركانية، والنطاقات ذات الصدوع العميقة في القشرة الأرضية [26، 27، 28، 56، 57]. ولهذا السبب، فهو غالباً يترافق مع المياه الحارة ذات الضغط الجزئي المرتفع في محتوى غاز CO_2 والقيم الأكثر غنىً في الكربون $\delta^{13}C$، التي تعكس مساهمة مصدرٍ أرضي (داخلي المنشأ). ومن أجل حساب مساهمة هذا المصدر في الكربون اللاعضوي المنحل (DIC) تمت العودة إلى ميزان الكتلة التالي [10]:

$$mCO_{2geogenic} = \frac{mDIC_{meas} \times \delta^{13}C_{meas} - mDIC_{meas} \times \delta^{13}C_{f2}}{\delta^{13}C_{geogenic} - \delta^{13}C_{f2}} \quad (18)$$

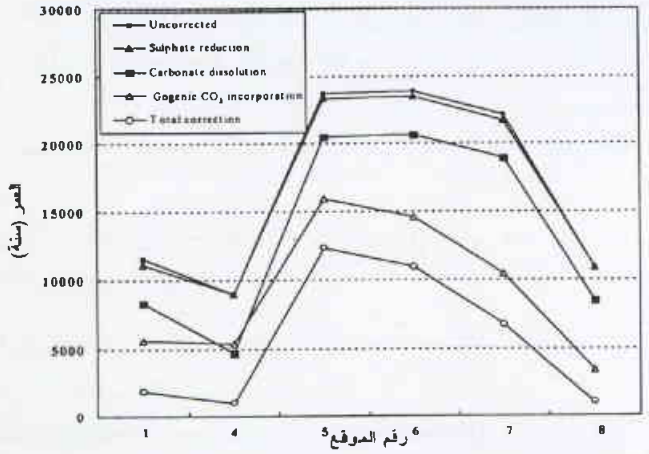
حيث: $\delta^{13}C_{geogenic}$، هي قيمة $\delta^{13}C$ في غاز CO_2 الأرضي و $\delta^{13}C_{f2}$، هي قيمة التوازن الناتجة بفعل إرجاع الكبريتات.

وبناءً عليه، فإن حسابات مساهمة غاز CO_2 الأرضي كانت ضمن المجال بين 1.25 (الموقع رقم 4) و3.03 ملّي مول/ كغ (الموقع 7). بشكلٍ موازٍ، يمكن تحديد معامل التمديد المرتبط بمساهمة غاز CO_2 الأرضي (f_3) كما يلي:

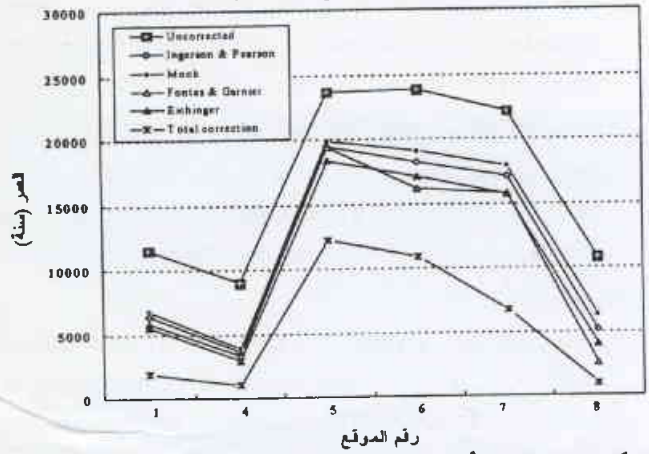
$$f_3 = \frac{\delta^{13}C_{meas} - \delta^{13}C_{geogenic}}{\delta^{13}C_{f2} - \delta^{13}C_{geogenic}} \quad (19)$$

وباستخدام قيمةٍ مساوية لـ 5- ‰، كمتوسطٍ لتركيب $\delta^{13}C_{geogenic}$، يلاحظ أن قيم معامل التمديد بفعل مساهمة غاز CO_2 الأرضي (الجدول 2) تتراوح بين 0.242 (بئر المرندية) و0.642 (نبع البانوس). تؤكد هذه النتيجة أن المياه الباردة والمختلطة كانت أقل تأثراً بهذا المصدر الأرضي، بالمقارنة مع المياه الحارة (المواقع ذات الأرقام 6 ,5 و7). كما تفسر هذه النتيجة، مرةً ثانية، تأثير المظاهر التكتونية المحلية السائدة في منطقة الدراسة.

يبين الجدول 2 قيم معامل التصحيح الكلي (f_t)، بالإضافة إلى أعمار المياه الجوفية المصححة وغير المصححة، كما يظهر الشكل 7 مقارنة بين أعمار المياه الجوفية المصححة وفق مختلف هذه العوامل. استناداً إلى هذه النتائج يقدر زمن الإقامة المتوسط للمياه الجوفية في نبع البانوس بحوالي ألف سنة. يتشابه هذا العمر، بشكلٍ واضح، مع عمر المياه في بئر الجنيدية (950 سنة)، وهذا يدل على تماثل كلٍّ من المصدر وخط الجريان. وتتوافق أزمنة إقامة المياه الجوفية التي تزيد عن 10 آلاف سنة مع المياه الحارة لبئري السفح والزرقان، التي تمتلك خصائصَ كيميائية ونظيرية متماثلة. في حين تعكس أعمار المياه الجوفية لنبع الكبريت وبئر المرندية (1900 و6700 سنة، على التالي) تشكل مياه هذين الموقعين بعملية مزج. فاستناداً إلى أعمار المياه الجوفية المحسوبة، تكون مركبة المياه الباردة العذبة المساهمة في تشكل مياه نبع الكبريت (حوالي 90-92 %) أدنى قليلاً من مساهمة تلك المركبة المحسوبة على قاعدة التركيب النظيري ودرجة حرارة المياه (75-83 %). على العكس من ذلك، تتوافق مركبة المياه الباردة (42-50 %) المحسوبة في حالة مياه بئر المرندية، وبشكلٍ جيد، مع تلك المركبة التي تم حسابها على قاعدة تركيب النظائر المستقرة. يبين الشكل 8 رسماً مقارناً بين أعمار المياه الجوفية غير المصححة والأعمار المصححة بفعل انحلال الكربونات، وإرجاع الكبريتات ومساهمة غاز CO_2 الأرضي (التصحيح الكلي)، وذلك جنباً إلى جنب مع أعمار المياه المصححة وفق نماذج التصحيح



الشكل 7– مقارنة بين الأعمار الإشعاعية غير المصححة والمصححة من أجل انحلال الكربونات، إرجاع الكبريتات ومساهمة غاز CO_2 الأرضي والتمديد الكلي لعينات المياه الجوفية المأخوذة من منطقة الدراسة



الشكل 8– مقارنة بين الأعمار الإشعاعية غير المصححة والمصححة باستخدام أهم نماذج التصحيح الشائعة في هيدرولوجيا النظائر، بالإضافة إلى التمديد الكلي لعينات المياه الجوفية المأخوذة من منطقة الدراسة

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

الأخرى. وكما هو واضح، فإن الأعمار المصححة لتأثير مختلف العوامل المشار إليها أعلاه، التي يجب التعامل معها كأعمار عظمى، كانت أدنى بكثير بالمقارنة مع المياه المصححة وفق مختلف نماذج التصحيح الأخرى. تؤكد هذه النتائج وجود ثلاثة أجسام من المياه: (1) مياه عذبة وباردة وضحلة لا يتجاوز عمرها 1000 سنة (تمت تغذيتها على الأغلب بعد حقبة الهولوسين الباكرة، الحاصلة قبل 4500 سنة قبل الزمن الحالي)؛ (2) مياه متوسطة الملوحة وعميقة وحارة وذات عمر أقدم (تمت تغذيتها على الأغلب خلال الظروف المناخية القديمة الرطبة لحقبة البليستوسين الحاصلة بين 9000 و18000 سنة قبل الزمن الحالي [58]) و(3) مياه مختلطة ذات نوعية وعمر انتقاليين.

الاستنتاجات

تمّ بشكلٍ كمي مناقشة تأثير انحلال الكربونات وإرجاع الكبريتات ومساهمة غاز CO_2 الأرضي، كعوامل تمديد في تحديد الأعمار بطريقة الكربون ^{14}C للمياه الجوفية الحارة في شمال - شرق الجزيرة السورية. نورد أدناه الاستنتاجات الرئيسة التي تمخضت عن هذه الحالة الدراسية:

1 - يتراوح معامل التمديد بفعل انحلال الكربونات بين 0.6 و 0.75 يمثل هذا العامل مساهمة في الكربون العضوي الميت من مرتبة 25-40 %.

2 - يكون دور إرجاع الكبريتات متواضعاً (5%)، وهذا بسبب ضعف معامل التمديد المرتبط بهذا العامل والذي تراوح بين 0.948 و0.952.

3 - كانت مساهمة غاز CO_2 الأرضي (1-3 ملّي مول/ كغ ماء) هامة بشكلٍ واضح. يشكل هذا المصدر كمياً مساهمة في الكربون العضوي الميت ضمن الكربون اللاعضوي المنحل الكلي DIC ما يعادل 35-60 %.

4 - انخفضت الأعمار النهائية المصححة بواسطة هذا النهج بشكلٍ كبير بالمقارنة مع تلك الأعمار التي تمّ حسابها باستخدام نماذج التصحيح الشائعة [25، 24، 12، 18].

5 - كانت أعمار المياه العذبة الضحلة والباردة أقل من 1000 سنة قبل الزمن الحالي، في حين كانت أعمار المياه الحارة ومتوسطة الملوحة أكثر قدماً (10500 - 12500 سنة قبل الزمن الحالي). وكانت أعمار المياه الجوفية المختلطة لبئر المرندية ونبع الكبريت 6700 و1900 سنة، على التتالي. تعكس هذه الأعمار مبدئياً مركبتي المياه الحارة والباردة المساهمتين في عملية المزج.

6 - كانت مركبة المياه الباردة المحسوبة على قاعدة ميزان العمر في حالة بئر المرندية (40-50 %) متوافقة بشكلٍ جيد مع تلك القيمة التي تمّ حسابها على قاعدة استخدام النظائر المستقرة الثقيلة (40%). في حين كانت مساهمة هذه المركبة في حالة مياه نبع الكبريت (90-92 %) أعلى بشكلٍ طفيف من تلك المركبة التي تمّ حسابها على قاعدة كلٍّ من درجة الحرارة وتركيب النظائر المستقرة (75-83 %).

7 - على الرغم من المنهجية المطبقة اعتمدت جزئياً على قيم مفترضة لبعض المعاملات، ومأخوذة من دراسات حالة مشابهة، ليس هناك أدنى شك بأن القياس الحقلي لهذه المعاملات سيعطي تقديراً أفضل لقيم معاملات التمديد المختلفة، وبالمحصلة أعماراً أكثر دقة للمياه الحارة في هذه المنطقة.

المراجع REFERENCES

[1] Fontes JC, Pouchon P, Saliege JF, Zuppi GM (1980) Environmental isotope study of groundwater systems in the Republic of Djibouti. In: Arid zone hydrology: investigations with isotope techniques, Proceedings of an advisory group meeting, IAEA, Vienna, 265 pp.

[2] Fritz P, Fontes JC (1980) Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. Elsevier, Amsterdam, 545 pp.

[3] Geyh MA (1980a) Interpretation of environmental isotopic groundwater data, Arid and semi-arid zones. In: Arid zone hydrology: investigations with isotope techniques, Proceedings of an advisory group meeting, IAEA, Vienna, 265 pp.

[4] Geyh MA (1980b) Hydrogeologic interpretation of the 14C content of groundwater - a status report. Fizika 12 (S2): 87-106.

[5] Salem O, Visser JH, Dray M, Gonfiantini R (1980) Groundwater flow patterns in the western Libyan Arab Jamahiriya, evaluated from isotopic data. In: Proceedings of an advisory group meeting on arid zone hydrology, investigations with isotope techniques, IAEA, Vienna, 265 pp.

[6] Fontes JC (1983a) Dating of groundwater. Guidebook on nuclear techniques. Technical report series no 91. IAEA, Vienna, 439 pp.

[7] Fontes JC (1983b) Groundwater in fractured rocks. Guidebook on nuclear techniques. Technical report series no 91. IAEA, Vienna, 439 pp.

[8] Clark ID, Fritz P (1987) Modern and fossil groundwater in an arid environment: A look at the hydrogeology of southern Oman. In: Proceedings of a symposium on isotope techniques in water resources development, IAEA, Vienna, 815 pp.

[9] Wassenaar LI, Aravena R, Fritz P (1991) Radiocarbon contents of dissolved organic and inorganic carbon in shallow groundwater systems, Implication for groundwater dating. In: Proceedings of a symposium on isotope techniques in water resources development, IAEA-SM-319/5, IAEA, Vienna, 789 pp.

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

[10] Clark ID, Phipps GC, Bajjali WT (1995) Constraining carbon-14 ages in sulphate reducing groundwaters. Two case studies from arid regions. In: Proceedings of a symposium on isotopes in water resources management, IAEA-SM-336/10, vol 1, Vienna, 463 pp.

[11] Fritz P, Reardon EJ, Barker J, Brown RM, Cherry JA, killey RWO, Mcnaughton D (1978) The carbon isotope geochemistry of a small groundwater system in north Ontario. Water Resour Res 14 (6): 1059-1067.

[12] Fontes JC, Garnier JM (1979) Determination of the initial 14C activity of total dissolved carbon: a review of the existing models and a new approach. Water Resour Res 15 (2): 399-413.

[13] Pearson FJ (1990) Effects of parameter uncertainty in modeling C-14 in groundwater. In: Taylor RE, Long A, Kra R (eds) Radiocarbon after four decades. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp 262-276.

[14] Fritz SJ, Drimmie RJ, Fritz P (1991) Characterizing shallow aquifers using tritium and 14C periodic sampling based on tritium half-life. Appl Geochem 6: 17-33.

[15] Verhagen BT, Geyh MA, Fröhlich K, Wirth K (1991) Isotope hydrological methods for the quantitative evaluation of ground water resources in arid and semi-arid areas, development of methodology. Research report of the Federal Ministry for Economic Cooperation of the Federal Republic of Germany, 164 pp.

[16] Geyh MA, Bender H, Rajab R, Wagner W (1995) Application of 14C groundwater dating to non-steady systems. In: Proceedings of a symposium on application of tracers in arid zone hydrology, IAHS Publ. no 232: 225-234.

[17] Vogel JC, Ehhalt D (1963) The use of carbon isotopes in groundwater studies. In: Proceedings of a symposium on radioisotope in hydrology, IAEA, Vienna, 383 pp.

[18] Ingerson E, Pearson FJ (1964) Estimation of age and rate of motion of groundwater by the carbon-14 method. In: Recent researches in the fields of atmosphere, hydrosphere, and nuclear geochemistry. Sugawara Festival Volume, Maruzen Co., Tokyo, pp 263-283.

[19] Vogel JC (1967) Investigation of groundwater flow with radiocarbon. In: Proceedings of a symposium on isotopes in hydrology, IAEA, Vienna, pp 255-368.

[20] Vogel JC (1970) Carbon-14 dating of groundwater. In: Proceedings of a symposium on isotope hydrology, IAEA, Vienna, 225 pp.

[21] Pearson FJ, Hanshaw BB (1970) Sources of dissolved carbonate species in groundwater and their effects on carbon-14 dating. In: Proceedings of a symposium on isotope hydrology, IAEA, Vienna, 271 pp.

[22] Pearson FJ, Swarzenki WW (1974) Carbon-14 evidence for the origin of arid region groundwater, Northeastern Province, Kenya. In: Proceedings of a symposium on isotope techniques in groundwater hydrology, vol 2, IAEA, Vienna, 95 pp

[23] Tamers MA (1975) Validity of radiocarbon dates on groundwater. Geophys Survey, vol 2, 271 pp.

[24] Mook WG (1980) Carbon-14 in hydrogeological studies. In: Fritz P and Fontes JC (eds) Handbook of environmental isotope geochemistry, vol 1, The terrestrial environment. Elsevier, New York, pp 49-74.

[25] Eichinger L (1983) A contribution to the interpretation of carbon-14 groundwater ages considering the example of a partially confined sandstone aquifer. Radiocarbon, 25: 347-356.

[26] Allard P (1986) Geochimie isotopique et origine de l'eau, du carbone et du soufre dans les gaz volcaniques: zones de rift, marges continentales et arcs insulaires. PhD Thesis, University of Paris VII, 390 pp.

[27] Gasparini A, Custudio E, Fontes JC, Jimenez J, Nunez JA (1990) Exemple d'etude geochimique et isotopique de circulations aquiferes en terrain volcanique sous climat semi-aride (Amurga, Gran Canaria, Iles Canaries). J Hydrol 114: 61-91.

[28] Clark ID, Fritz P (1997) Environmental isotopes in hydrogeology. Lewis publishers, New York, 331 pp.

[29] UNDP-FAO (1966) Etude des Ressources en Eaux Souterraines (Republique Arabe Syrienne). Rapport Final, FAO/SF:17/SYR, 276 pp.

[30] Kattan Z (2001) Use of hydrochemistry and environmental isotopes for evaluation of groundwater in the Paleogene limestone aquifer of the Ras Al-Ain area (Syrian Jezireh). J. Environ. Geol. 41 (1/2): 128-144.

[31] Ponikarov VO (1967) The geology of Syria. Explanatory notes on the map of Syria, Scale 1/500,000, Part II, mineral deposits and water resources. Technoexport, Moscow, 120 pp.

[32] Dubertret L (1932) L'Hydrologie et apercu sur l'Hydrographie de la Syrie et du Liban dans leurs relations avec la geologie, Revue de Geographie Physique et de Geology Dynamique, TVI fas 4.

[33] Dubertret L, Keller A, Vautrin H (1932) Contribution a la geologie de la Jezireh (territoires Syriens de la rive gauche de l'Euphrate), CR Acad Sci Paris 194: 1254-1256.

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

[34] Mortier F, Safadi C (1965) Phenomenes karstiques dans les gypses de Jezireh (north-east de la Syrie). Extrait de "Hyrologie des roches fissurees" Colloque de Dubrovnik, pp 334-338.

[35] Burdon D, Safadi C (1963) Ras El-Ain (the great karst spring of Mesopotamia). J Hydrol 1 (1): 58-95.

[36] Burdon D, Safadi C (1964) The karst groundwaters of Syria. J Hydrol 2: 324-347.

[37] Florkowski T (1981) Low-level tritium assay in water samples by electrolytic enrichment and liquid-scintillation counting in the IAEA laboratory. In: Proceeding of an international symposium on methods of low-level counting and spectrometry, IAEA-SM-252/63, IAEA, Vienna, 558 pp.

[38] Brown RM, Andrews HR, Ball GC, Burn N, Davies WG, Imahori Y, Milton JCD (1981) Radiocarbon measurement with the Chalk River MP Tandem accelerator. In: Proceeding of an international symposium on methods of low-level counting and spectrometry, IAEA-SM-252/61, IAEA, Vienna, 558 pp.

[39] Plummer LN, Jones BF, Truesdell AH (1976) WATEQF-a FORTRAN IV version of WATEQ. US Geol Survey Water Resour Investigation, no 13, 61 pp.

[40] Rosenthal E (1987) Chemical composition of rainfall and groundwater in recharge areas of Bet Shean-Harod multiple aquifer system, Israel. J Hydrol 89: 329-352.

[41] Kattan Z (1997a) Chemical and environmental isotope study of precipitation in Syria. J Arid Environments, 35: 601-615.

[42] Safadi C (1951) A geological report on the sulfuric Ras Al-Ain area (in Arabic). Ministry of public works and transport, Damascus, unpublished report, 9 pp.

[43] Bajjali W, Clark ID, Fritz P (1997) The artesian thermal groundwaters of northern Jordan: insights to their recharge history and age. J Hydrol 187: 355-382.

[44] Nir A (1967) Development of isotope methods applied to groundwater hydrology. In: Proceeding of a symposium on isotope techniques in hydrological cycle, Am Geophys Union Monogr Series, no 11.

[45] Gat JR (1974) Local variability of the isotopic composition of groundwater. In: Proceedings of a symposium on isotope techniques in groundwater hydrology, vol 2. IAEA, Vienna, 51 pp.

[46] Gat JR, Tzur Y (1967) Modification of the isotopic composition of rain water by processes which occur before groundwater recharge. In: Proceedings of a symposium on isotope hydrology, nos 49-60. IAEA, Vienna, 740 pp.

[47] Gat JR, Carmi I (1970) Evolution of the isotopic composition of atmospheric water in the Mediterranean Sea Area. J Geophys Res 75: 3039-3048.

[48] Gat JR, Dansgaard W (1972) Stable isotope survey of the fresh water occurrence in Israel and the northern Jordan rift valley. J Hydrol 16: 177-212.

[49] Kattan Z (1997b) Environmental isotope study of the major karst springs in Damascus limestone aquifer systems: case of the Figeh and Barada springs. J Hydrol 193: 161-182.

[50] Kattan Z (1995) Chemical and environmental isotope study of the fissured basaltic aquifer systems of the Yarmouk Basin (Syrian Arab Republic). In: Proceedings of a symposium on isotopes in water resources management, IAEA-SM-336/28, vol 2, Vienna, 530 pp.

[51] Stumm W, Morgan JJ (1981) Aquatic chemistry: an introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters. Wiley, New York, 583 pp.

[52] Hem JD (1992) Study and interpretation of the chemical characteristics of natural waters. US Geol Surv, Water-Supply Pap 2254.

[53] Krouse HR, Cook FD, Sasaki A, Smeijkal V (1970) Microbial isotope fractionation in springs in western Canada. In: Ogata K, Hayakawa T (eds), Recent development in mass spectroscopy, Proceeding of International Conference on Mass Spectroscopy, Kyoto, Japan, pp 629-639.

[54] Nriagu JO, Hem JD (1978) Chemistry of pollutant sulfur in natural waters. In: Nriagu JO (ed) Sulfur in the environment, vol II. Ecological impacts, Wiley Interscience, New York, pp 211-270.

[55] Krouse HR (1980) Sulfur isotopes in our environment. In: Fritz P and Fontes JC (eds) Handbook of environmental isotope geochemistry, vol I. The terrestrial environment, Elsevier, Amesterdam, The Netherlands, pp 435-472.

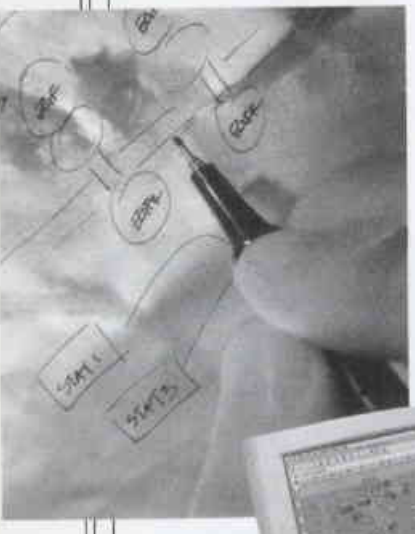
[56] Barnes I, Irwin WP, White DE (1978) Global distribution of carbon dioxide discharges and major zones of seismicity. US Geological Survey Water Resource Investigation Open File Report 78-39, 12 pp.

[57] Marty B, Jambon A (1987) C/3He in volatile fluxes from the solid earth: implications for carbon geodynamics. Earth and Planet Sci Lett, 83 (16): 26.

[58] Gat JR, Magaritz M (1980) Climatic variations in the eastern Mediterranean Sea area. Naturwissenschaften 67: 60-87.■

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

التقارير العلمية



تصميم مرشحات ضوئية متعددة الطبقات العازلة كهربائياً لليزر رامان المضخوخ بليزر ND-YAG مضاعف التواتر وللّيزرات الصباغية المضخوخة ببخار النحاس*

د. محمد بهاء الصوص
قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب 6091- دمشق - سورية

ملخص

جرى في هذا العمل تصميم مرشحات ضوئية متعددة الطبقات العازلة كهربائياً لاستخدامها كمرايا ضمن مجاوبات ليزر رامان المضخوخ بليزر Nd-YAG مضاعف التواتر للحصول على ليزر رامان عند الأطوال الموجية 435، 369.9، 319.8، 953.6، 683 نانومتر، وفي تصنيع مجاوبات الليزرات الصباغية المضخوخة ببخار النحاس من مجزئات للحزمة ومضادات انعكاس وفلاتر ضيقة العصابة. وكان من اللازم أن تكون هذه المرشحات سهلة التصنيع وأن تتحمل طاقات عالية كطاقات ليزر Nd-YAG النبضي (200 ملّي جول/نبضة) وطاقات ليزر بخار النحاس، لذلك فقد تم اختبارها بالضرب الليزري واعتماد التصميمات المناسبة لذلك.

الكلمات المفتاحية: مرشحات متعددة الطبقات العازلة كهربائياً، معادلات ماكسويل، نفوذية، انعكاسية، قرينة الانكسار.

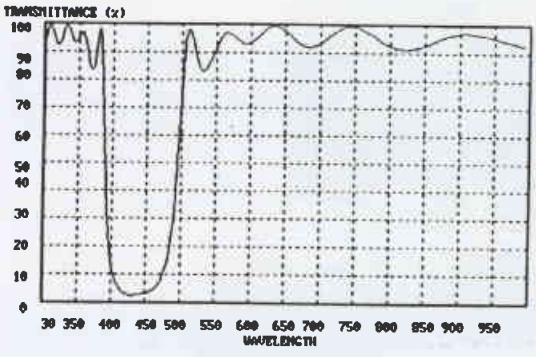
تصميم المرشحات المطلوبة

يتضمن هذا الجزء تصميم المرشحات التي صنعت في مركز البحوث العلمية لاستخدامها في الليزرات الصباغية وليزرات رامان. ونوضح أن تصميم مرشح مضاد الانعكاس والمرشحات ضيقة الطيف تم بالتعاون مع المختصين في مركز البحوث العلمية بعد مناقشة التصميم الأولي الذي وضعوه واعتماده مع بعض التعديلات الطفيفة. بينما جرى تصميم مرشحات رامان كلياً في الهيئة بعدما تبين فشل التصميم الأولي في المركز بسبب الصعوبة التقنية في إنجازه، فتم تعديل الشروط المطلوبة من الفلاتر لتسهيل تصميمها وإنجازها.

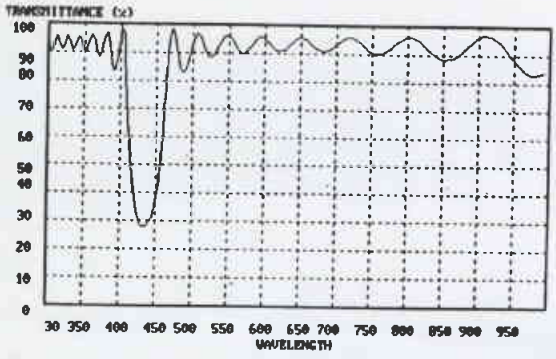
ولعل من الأسباب التي أدت إلى تعقيد التصاميم هو قلة عدد المواد التي يمكن استخدامها في هذا المشروع نظراً لعدم تحمل الكثير منها للطاقات الليزرية العالية. ومن المواد التي يمكن استخدامها أكسيد الزركونيوم والسيليس والألومين وأكسيد التيتانيوم وفلور المغنزيوم، وهذه المواد سهلة الاستعمال ويمكن اعتبار قرينة انكسارها ثابتة في المجال المرئي وتحت الأحمر القريب. وسنعرض في هذا التقرير مثالاً من هذه التصاميم يتعلق بمرشحي الدخل والخرج لليزر رامان عند طول الموجة 435 نانومتر.

مرشحات ليزر رامان

جرى في دائرة الفيزياء الذرّية والجزيئية تصنيع أنبوبة ليزر رامان باستخدام غاز الهدروجين وضمن مجاوب مؤلف من نافذتين زجاجيتين متوازيتين، وجرى تسجيل طيف الليزر وخطوط إصداره وطاقاتها. وتنتج هذه الخطوط عن انزياح Stocks عند أطوال الموجة: (نذكر فقط الأطوال الموجية للخطوط القوية أو التي تهمنا) 683 نانومتر و953.6 نانومتر، وعن انزياح AntiStocks عند 435 نانومتر و369.9 نانومتر. وقد لوحظت عند تسجيل طيف الليزر جميع الخطوط بنفس الوقت وذلك أن النوافذ تعكس جميع الخطوط بشكل متماثل مما يؤدي إلى تضخيمها جميعاً، ولوحظ أن طاقات الخطوط كانت متفاوتة بشكل كبير، وهذا ما دعا إلى التفكير باستخدام مرشحات خاصة لكل خط تسمح بتضخميه نسبة إلى الخطوط الأخرى عند الحاجة إلى استخدام ليزر رامان عند هذا الخط.



مرشح الدخل عند 435 nm



مرشح الخرج عند 435 nm

* 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

كانت الشروط الموضوعة بالنسبة لتصميم مرشحات الدخل هي: أن تسمح جميعها بعبور موجة الضخ عند 532 نانومتر، وأن يعكس مرشح الدخل الخاص بكل خط طول موجة الخط بشكل كامل ليتم تضخيمه أكثر ما يمكن، وأن يسمح هذا المرشح لبقية الخطوط بالعبور خارج المجاوب حتى لا يجري أي تضخيم لها.

وعلى سبيل المثال كان تصميم مرشح الدخل عند 435 نانومتر: $2M(LH)^{8}2M$ عند طول موجة التحكم 435 نانومتر (التحكم أثناء عملية التبخير) حيث M هي طبقة ربع موجة من Al_2O_3، وH هي طبقة ربع موجة من ZrO_2، وL هي طبقة ربع موجة من SiO_2.

أما بالنسبة لمرشحات الخرج فيجب أن يعكس مرشح الخرج الخاص بكل خط حوالي 60-70% من طاقة الخط، وأن يسمح هذا المرشح لبقية الخطوط بالعبور خارج المجاوب حتى لا يجري أي تضخيم لها.

وكان مرشح الدخل لطول الموجة 435 نانومتر $(2H2L)^{5}$ عند طول موجة التحكم 650 نانومتر.

نتائج الضرب الليزري

حاولنا قدر المستطاع خفض عدد طبقات المرشحات للتقليل من الامتصاص والعيوب داخل المرشح مما يسمح باستخدامه مع طاقات عالية. ومن المعلوم أن احتمال تضرر المرشح عند عكسه لأشعة ليزر بطاقة معينة هو أكبر من احتمال تضرره عند نفوذ أشعة ليزرية عبره (بطول موجة اخر) وبالطاقة نفسها.

قيست طاقة المدروج الثاني لنبضة واحدة لليزر Nd-YAG فكانت حوالي 160 ملّي جول وبقطر 5 ملّيمتر وكان عرض النبضة الزمني 7 نانو ثانية، أي باستطاعة ذروة 68 ميغاواط. وقد وضعنا عدداً من المرشحات المختلفة (مضاد عاكسية، مرايا،...) أمام عدد كبير من النبضات الليزرية وبتواترات مختلفة، ثم دُرس سطحها ونفوذيتها بالمجهر الضوئي وبأجهزة القياس المتوفرة في المركز فلم يلاحظ أي تغير في مواصفاتها. ثم أجريت تجربة أخرى في مركز البحوث باستطاعة ذروة 250 ميغاواط ولم تتأثر المرشحات المصنعة.

كذلك جرى وضع مرشحات متنوعة أخرى أمام حزمة خرج ليزر بخار النحاس بطاقة 15 واط لخطّي الإصدار معاً بعد تبئير الحزمة الليزرية قدر المستطاع باستخدام عدسات مناسبة (تم الحصول على بقعة مضيئة في المحرق قدرها بضعة ملّيمترات مربعة)، وبعد توصيف المرشحات من جديد تبين عدم تأثرها بالضرب الليزري.

وهكذا وبعد إجراء عدد من التجارب المتكررة التي كانت نتيجتها عدم تأثر المرشحات المتنوعة تم اعتماد التصاميم المقدمة وتبخيرها على القطع البصرية المطلوبة.■

أحدث الاتجاهات في تطوير الخلايا الشمسية*

د. محسن شحود
قسم الخدمات العلمية – هيئة الطاقة الذرّية – ص. ب. 6091 – دمشق – سورية

ملخص

على الرغم من الخطوات الكبيرة التي حققها الباحثون في مجال تطوير الخلايا الشمسية ما زالت أسعار الطاقة الكهربائية التي يتم الحصول عليها من المصادر التقليدية للطاقة مثل البترول والمفاعلات النووية أقل بكثير من تلك التي يتم الحصول عليها من الخلايا الشمسية. لذلك فسوف يستغرق الأمر سنوات كثيرة قبل أن تصبح الطاقة الشمسية منافساً حقيقياً لمصادر الطاقة التقليدية.

أهم الصفات المميزة لخلية شمسية هي المردود والعمر وزمن استرداد الطاقة المستهلكة في التصنيع.

أظهرت خلية مُركّبة من مادتي زرنيخيد الغاليوم والأنديوم أنتيموان الرقم القياسي فيما يتعلق بالمردود وهو 37%. يقابل هذا المردود العالي سلبية كبيرة هي الكلفة العالية في إنتاج هذا النوع من الخلايا.

تعتبر خلية غريتسل وهي خلية كهركيميائية أفضل أنواع الخلايا فيما يتعلق بزمن استرداد الطاقة اللازمة للتصنيع إلا أن وجود سائل إلكتروليتي فيها يقود إلى مشاكل عدة مرتبطة بالعزل على المدى البعيد.

أما الخلايا الشمسية المصنعة من أفلام رقيقة فتتميز بأن كلفة إنتاجها ضئيلة جداً بالمقارنة مع الخلايا السيليكونية وحيدة البلورة. لهذا السبب فإن هذا النوع من الخلايا يعتبر اختياراً جيداً لدول العالم الثالث على الرغم من المردود الضئيل الذي تمتلكه.

الكلمات المفتاحية: الخلايا الشمسية، السليكون، فسفات الأنديوم، زرنيخيد الغاليوم، كلوريد الكدميوم، سيلينيت النحاس والأنديوم.

* تقرير مختصر عن دراسة علمية مكتبية أنجزت في قسم الخدمات العلمية – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

لقد حقق الباحثون في مجال الخلايا الشمسية تطوراً كبيراً تمثل في الارتفاع المستمر للمردود والانخفاض المتواصل في تكاليف الإنتاج وذلك لمختلف أنواع الخلايا الشمسية. وقد أدى ذلك إلى انخفاض أسعار الخلايا الشمسية والازدياد المطرد في انتشارها فقد انخفض سعر الألواح الشمسية في العشرين عاماً الماضية بمعدل 7.5% وارتفع الطلب عليها بمعدل 18% سنوياً. رغم ذلك مازالت أسعار الطاقة الكهربائية المنتجة بواسطة الخلايا الشمسية أكبر بكثير من أسعار تلك المنتجة بالطرق التقليدية (الغاز، الفحم، البترول، المفاعلات النووية) وسوف يستغرق الأمر عشرات السنين حتى تصبح الطاقة الشمسية قادرة بشكل فعلي على منافسة المصادر التقليدية للطاقة.

إن المقارنة بين أنواع الخلايا الشمسية المختلفة التي تم تطويرها حتى الآن من قبل العلماء يجب أن تأخذ بعين الاعتبار أموراً عدة أهمها:

- **المردود:** وتحدد قيمته مساحة وعدد الخلايا الشمسية الواجب استعمالها للحصول على استطاعة معينة.
- **العمر:** وهو الفترة الزمنية الكلية التي يمكن للخلية فيها أن تقدم الاستطاعة المطلوبة.
- **زمن استعادة طاقة التصنيع:** وهو الفترة الزمنية التي تحتاجها الخلية لإنتاج الطاقة المستهلكة من أجل تصنيعها.

يبين الجدول (1) المواصفات الثلاث السابقة لأهم الخلايا التي تم عرضها في هذه الدراسة.

فيما يتعلق بالمردود فقد أظهرت خلية مركبة من مادتي الGaAs والـ InSb الرقم القياسي وهو 37% ولهذا السبب فإن هذا النوع من الخلايا على الرغم من كلفته الكبيرة يعتبر مناسباً للتطبيقات التي تحتاج إلى نسبة عالية بين الاستطاعة والوزن كالتطبيقات الفضائية.

الجدول 1: المواصفات الأساسية لأهم الخلايا الشمسية.

نوع الخلية	المردود (%)		العمر (عام)	زمن استعادة طاقة التصنيع (شهر)
	مخبرياً	صناعياً		
السليسيوم وحيد البلورة	24	14	30	36-72
السليسيوم متعدد البلورات	18	14	30	24-120
السليسيوم الأمورفي المهدرج	13	8	10-20	12-120
CdTe	16	10	20	12-24
CIS	18.8	11	20	24-36
خلية غريتسل	15	10	10-20	2-3
GaAs/InSb	37		-	-

تتمتع خلية غريتسل بمواصفات ممتازة فيما يتعلق بزمن استعادة طاقة التصنيع (3 -2 أشهر) كما أن مواصفاتها الأخرى شبيهة بمواصفات معظم الخلايا المتبقية ولذا فمن المتوقع أن يلعب هذا النوع من الخلايا مستقبلاً دوراً مهماً في مجال استغلال الطاقة الشمسية إذا أمكن التغلب على المشاكل المرتبطة باستعمال سائل إلكتروليتي في تركيب الخلية.

أما الخلايا الشمسية من الأفلام الرقيقة Cds و CIS فما زال انتشارها محدوداً بالمقارنة مع الخلايا الشمسية من مادة السليكون والسبب في ذلك أن مردودها مازال ضئيلاً وكلفة إنتاجها لم تنخفض بعد إلى الدرجة التي تعوض فيها عن المردود الضئيل.

تتحكم العوامل الاقتصادية بشكل كبير بتطوير الخلايا الشمسية بالنسبة للدول النامية ومن بينها القطر العربي السوري. ولذا فإن الاتجاه السائد في تلك الدول هو تطوير خلايا شمسية ذات كلفة ضئيلة ولو كان ذلك على حساب المردود. وهنا تبدو الخلايا ذات الأفلام الرقيقة (السليسيوم الأمورفي المهدرج -CdTe- CIS) أكثر الخيارات ملائمة لهذا الغرض.■

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

النشاط الإشعاعي الطبيعي في بعض مصادر مياه الشرب في المناطق الساحلية والشمالية والشرقية والجزيرة في سورية*

د. محمد سعيد المصري – عماد بيرقدار – يُسر أمين – سامر أبو بكر
قسم الوقاية و الأمان – هيئة الطاقة الذرّية – ص.ب. 6091 – دمشق – سورية

ملخص

جرى في العمل الحالي تعيين أهم النكليدات المشعة الطبيعية في مياه الشرب للمناطق الساحلية والشمالية والشرقية والجزيرة في سورية. جمعت العينات خلال العام 2000 وذلك على فترتين من المواقع الأساسية التي تجرّ منها المياه للاستخدام كمياه للشرب، أو من المنازل. دلت النتائج على أن معظم تراكيز النكليدات المشعة الطبيعية المقيسة (غاز الرادون والراديوم 226 والبولونيوم 210 واليورانيوم (^{234}U, ^{238}U) في معظم العينات المائية كانت ضمن الحدود الطبيعية وأقل من الحدود العظمى المسموح بها في مياه الشرب من قبل منظمات عالمية، ولوحظ تباين في التراكيز بين منطقة وأخرى عُزِيَت للتشكيلات الجيولوجية ونوع مصدر المياه (بئر، نبع، مياه سطحية). هذا ويمكن استخدام القيم المسجلة في الدراسة الحالية والنتائج المنشورة للمناطق الأخرى لرسم الخارطة الإشعاعية للنشاط الإشعاعي الطبيعي في مياه الشرب في سورية.

الكلمات المفتاحية: النشاط الإشعاعي الطبيعي، مياه الشرب، سورية.

مقدمة

نظراً لأهمية مياه الشرب في الحفاظ على الحياة، تقوم هيئة الطاقة الذرية السورية بمراقبة مستويات النشاط الإشعاعي فيها للوقوف عند المستويات التي تزيد عن الحدود المسموح بها، هذا وقد بُدىء بتنفيذ برنامج لمراقبة النكليدات المشعة الطبيعية والصنعية في البيئة السورية منذ العام 1987 بهدف وضع خارطة إشعاعية شاملة لسورية، وتحديد مقدار تعرض عموم الناس للنشاط الإشعاعي البيئي. ولهذا جُمعت عينات مياه الشرب من قرابة 48 موقعاً من المنطقة الجنوبية والوسطى فلوحظت تراكيز منخفضة في معظم المناطق إلا في تلك العينات التي جمعت بالقرب من مناجم الفوسفات في وسط سورية وأوضحت دراسة مياه بحيرة السن وبحيرة مزيريب أيضا قيما متقاربة وضمن الحدود المسموح بها عالميا من النكليدات المشعة الطبيعية، هذا ولا تتوفر لدينا أية قياسات لهذه النظائر في مياه شرب المنطقة الساحلية والشمالية والشرقية والجزيرة، ولهذا هَدَفَ العمل الحالي إلى تحديد سويات النكليدات المشعة الطبيعية في مياه الشرب للمناطق الشمالية والشرقية والساحلية والجزيرة وتبيان فيما لو كانت ضمن الحدود المسموح بها عالمياً، واستكمال الخارطة الإشعاعية في سورية.

النتائج والمناقشة

تراكيز غاز الرادون

تراوح وسطي تراكيز غاز الرادون في مياه المنطقة الساحلية بين 200 ملّي بكريل/ل و2350 ملّي بكريل/ل في مياه عين الدالية بكسب حيث بلغت أعلى قيمة 4150 ملّي بكريل/ل بينما سجلت أعلى قيمة في الدراسة لغاز الرادون في عينة عين الطيبوت في المنطقة الشمالية والتي بلغت قرابة 10500 ملّي بكريل/ل وهي أيضا أعلى من كثير من القيم المسجلة في الدراسة السابقة لمياه الشرب في المنطقة الجنوبية والوسطى. هذا ولوحظت أخفض القيم في المنطقة الشرقية والجزيرة حيث تراوح وسطي تركيز الرادون بين 200 ملّي بكريل/ل و 1075 ملّي بكريل/ل هذا وربما يعود سبب الانخفاض إلى أن معظم مياه الشرب تجرّ من مياه نهر الفرات أو من آبار ليست عميقة و مياهها متجددة. على أية حال، تعد هذه القيم منخفضة بالمقارنة مع القيم المسجلة عالمياً وتقع ضمن القيم التي تم الحصول عليها في ينابيع وآبار المنطقة الوسطى والجنوبية في سورية وبالإضافة إلى أنها أقل من الحدود العظمى المسموح بها من قبل المنظمات العالمية والتي تبلغ حوالي 11 بكريل/لتر.

تراكيز الراديوم 226

تراوح وسطي تركيز الراديوم 226 في مياه المنطقة الساحلية بين 70 و500 ملّي بكريل/ل (سد بلّوران) ولوحظت قيم مماثلة في المنطقتين الشمالية والجزيرة ولوحظت في الدراسة بعض القيم المنخفضة بالمقارنة مع بعض القيم المسجلة للمنطقة الجنوبية و الوسطى، وبعضها الآخر مرتفعة نسبياً (1350 ملّي بكريل/ل كما هو الحال في مياه الرقة)، وهي أعلى من الحدود العظمى المسموح بها من قبل المنظمات العالمية والتي تبلغ حوالي 185 ملّي بكريل/ لتر. ولهذا تحتاج المصادر التي تحوي تراكيز مرتفعة إلى مراقبة دائمة للتحري عن التغيرات الدورية (كل شهر مثلاً)، على الرغم من انخفاضها في الفترة الثانية.

* تقرير مختصر عن دراسة علمية ميدانية أُنجزت في قسم الوقاية والأمان – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

تراكيز البولونيوم 210 والرصاص 210

تراوح تركيز البولونيوم 210 في مياه المنطقة الساحلية بين 0.93 ملّي بكريل/ل و5.74 ملّي بكريل/ في مياه صافيتا وبلغت أعلى قيمة له والتي سجلت في منطقة المالكية (منطقة الجزيرة) حوالي 59.36 ملّي بكريل/ل بينما تراوح وسطي تركيز البولونيوم 210 في المنطقة الشمالية بين 0.87 و26.55 ملّي بكريل/ل وبين 1.32 و30.30 ملّي بكريل/ل في المنطقة الشرقية والجزيرة. ولدى مقارنة القيم المسجلة في هذه الدراسة والتراكيز المقيسة في مياه المنطقة الجنوبية والوسطى لوحظ أنها أعلى بأكثر من ثلاثة أضعاف. على أية حال، تبقى القيم المسجلة في الدراسة الحالية منخفضة بالمقارنة مع المستويات الطبيعية فمثلا يتراوح تركيز البولونيوم 210 في مياه الأمطار بين 4 و70 ملّي بكريل/ لتر.

أما وسطي تركيز الرصاص 210 فتراوح بين 11.95 و86.36 ملّي بكريل/ل في مياه سد بلّوران وسجلت أعلى قيمة في مياه المالكية (84.21 ملّي بكريل/ل) ولا تعد القيم المسجلة بشكل عام مرتفعة وتقع ضمن السويات الطبيعية.

تراكيز اليورانيوم

كان وسطي تراكيز اليورانيوم منخفض جداً في كافة العينات المحللة. فتراوح بين 2.12 ملّي بكريل/لتر و18.2 ملّي بكريل/ لتر في مياه مصياف بالمنطقة الساحلية ووصلت قيمة عظمى وقدرها 88.99 ملّي بكريل/ل في مياه دير حافر بحلب (المنطقة الشمالية) وهي أقل بكثير من الحدود العظمى المسموح بها لليورانيوم في مياه الشرب (1100 ملّي بكريل/ لتر).■

دراسة معقدات اليورانيوم في المخلصات العضوية بالـ FTIR ★

د. موسى الابراهيم
قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرّية - ص. ب. 6091 - دمشق - سورية

ملخص

حضرت معقدات اليورانيل المستقرة من نترات اليورانيل مع 2 - ثلاثي بوتيل الفسفات $UO_2(NO_3)_2$2TBP ونترات اليورانيل مع 2 - ثلاثي أكتيل أكسيد الفسفين $UO_2(NO_3)_2$.2TOPO ودرست أطيافها بتقنية مطيافية الأشعة تحت الحمراء FTIR. استُنتج أن الرابطة الاهتزازية ν(TBP)P=O = 1288 cm^{-1} أقوى من الرابطة الاهتزازية ν(TBP)P-O-U = 1178 cm^{-1}، وأن الرابطة الاهتزازية ν(TOPO)P=O = 1165 cm^{-1} أقوى من الرابطة الاهتزازية ν(TOPO)P-O-U = 1097 cm^{-1}. نوقش كذلك تأثير التعقيد على المسافة الرابطية وثابت القوة والتردد الإمتطاطي للرابطة U-O في مثل هذه المعقدات.

الكلمات المفتاحية: مطيافية الأشعة تحت الحمراء، ثابت القوة، المسافة الرابطية، معقدات.

مقدمة

درست أملاح اليورانيل للمرة الأولى بمطيافية الأشعة تحت الحمراء من قبل ج. لوكومت (J. Lecomte) ور. فريمان (R. Freymann). ونشرت أطياف الأشعة تحت الحمراء للهالوجينات غير المميهة من نوع UO_2X_2 (X=Cl,Br) من قبل ج. لوكاس (J. Lucas). وتعاقبت النشرات في هذا المجال، وجرى الاهتمام بشكل واسع بدراسة أملاح نترات اليورانيل طيفياً، لتزداد الأهمية فيما بعد من أجل الحصول على هذا الملح بعمليات الاستخلاص سائل- سائل عن طريق تشكيل معقدات مع المستخلص أو المستخلصات المستخدمة في ذلك. ومن أجل هذا زاد الاهتمام بدراسة معقدات ملح نترات اليورانيل مع المخلصات في الأوساط العضوية طيفياً. درس ب. ذارلي ومجموعته B. Zarli et al بعض معقدات اليورانيل مع هكسا ميتيل فسفور أميد (HMPA)، حيث وجد أن نترات اليورانيل تشكل معقداً مع هكسا ميتيل فسفور أميد من الشكل $UO_2(NO_3)_2$.2HMPA، وأن التردد الامتطاطي للرابطة P=O في طيف الأشعة تحت الحمراء لـ $UO_2(NO_3)_2$.2HMPA يتزاح نحو الترددات الأدنى بحدود 100 cm^{-1} بالنسبة للتردد الإمتطاطي للرابطة P=O في حالة HMPA النقية. عيّن كذلك ذارلي ومجموعته قيم الترددات الامتطاطية غير التناظرية للرابطة U-O (يورانيل) في بعض معقدات اليورانيل مع HMPA، حيث كانت هذه القيم 902 cm^{-1}، 900 cm^{-1}، 910 cm^{-1}، 928 cm^{-1} لكل من $UO_2(DSC)_2$.HMPA، $UO_2(DTC)_2$.HMPA، $UO_2(NO_3)_2$.2HMPA، $[UO_2(OAC)_2.HMPA]_2$ على التوالي.

هدف عملنا تعيين الروابط الأساسية (الرؤوس القطبية P=O) لكل مستخلص على حدة (بدون يورانيوم)، ومن ثم تعيين الموقع الترددي الامتطاطي للمعقد المتشكل على الرؤوس القطبية للمستخلصات المدروسة TBP أو TOPO نتيجة وجود اليورانيوم في الوسط العضوي. ووسعت الدراسة أيضاً لتشمل التفسيرات المختلفة لروابط المعقد وبالتالي مقارنة نتائج التعقيد طيفياً بالنسبة للمستخلصين. ونوقش كذلك تأثير التعقيد على

★ تقرير مختصر عن دراسة علمية مخبرية أنجزت في قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

المسافة الرابطية وثابت القوة والتردد الامتطاطي الاهتزازي للرابطة U-O التي توجد في مركز هذه المعقدات.

النتائج والمناقشة

يشير طيف الأشعة تحت الحمراء لمعقد اليورانيل- ثلاثي بوتيل الفسفات بتركيز 2000 $mg.L^{-1}$ يورانيوم بـ TBP 0.125 mol في الكيروسين، إلى أن المعقد المتشكل $UO_2(NO_3)_2.2TBP$ أدى إلى إزاحة الرابطة الاهتزازية الامتطاطية P=O للـ TBP من العدد الموجي 1288 cm^{-1} إلى العدد الموجي 1178 cm^{-1}. وبالمثل يشير طيف الأشعة تحت الحمراء لمعقد اليورانيل- ثلاثي أكتيل أكسيد الفسفين بتركيز 2000 $mg.L^{-1}$ يورانيوم بـ TOPO 0.125 mol في رابع كلور الكربون، أن المعقد المتشكل $UO_2(NO_3)_2.2TOPO$ يؤدي إلى إزاحة الرابطة الاهتزازية الامتطاطية P=O للـ TOPO من العدد الموجي 1169 cm^{-1} إلى العدد الموجي 1097 cm^{-1}. ومن هنا تؤكد مطيافية الأشعة تحت الحمراء أن التردد الامتطاطي للرابطة P=O في معقدات $UO_2(NO_3)_2.2TBP$ و $UO_2(NO_3)_2.2TOPO$ أقل مما هو عليه في حالة التردد الامتطاطي الموافق للرابطة الحرة P=O في TBP وTOPO بحدود 70-110) cm^{-1}). إن تناقص التردد الإمتطاطي لمجموعة الفسفوريل يدل على أن اليورانيوم يرتبط بذرة الأكسجين من الرأس القطبي P=O للـ TBP أو TOPO.

أظهرت أطياف الأشعة تحت الحمراء لمعقدات اليورانيل المدروسة $UO_2(NO_3)_2.2TBP$ و $UO_2(NO_3)_2.2TOPO$، وجود امتصاص شديد عند العدد الموجي 939 cm^{-1} والعدد الموجي 929 cm^{-1} بالترتيب. يعود هذان الامتصاصان إلى التردد الامتطاطي غير التناظري لمجموعة اليورانيل UO_2^{2+}. أما التردد الامتطاطي التناظري، فهو ذو امتصاص ضعيف حيث حدد موقعه في حالة نترات اليورانيل النقية عند العدد الموجي 837 cm^{-1}، أما في حالة المعقدات المدروسة، لا يمكن تحديد موقعه بسبب وجود عدة امتصاصات في نفس المنطقة.

يظهر أن الزيادة أو النقصان في التردد الامتطاطي غير التناظري لمجموعة اليورانيل UO_2^{2+} (في الحالة النقية وفي حالة المعقدات المدروسة) تعود إلى التغير في طول الرابطة U-O. إن ظهور التردد الامتطاطي الأساسي غير التناظري بشدة قوية جداً عند العدد الموجي 939 cm^{-1} في حالة المعقد $UO_2(NO_3)_2.2TBP$ وعند العدد الموجي 939 cm^{-1} في حالة المعقد $UO_2(NO_3)_2.2TOPO$، يشير إلى أن الخطية تبقى مصانة لمجموعة اليورانيل UO_2^{2+} في مثل هذه المعقدات. ومن المؤكد أنه عندما يتناقص طول الرابطة U-O فإن قيمة التردد الامتطاطي غير التناظري تزداد، كما في حالة المعقد $UO_2(NO_3)_2.2TBP$، حيث تزداد قيمة التردد الامتطاطي غير التناظري للرابطة U-O من الحالة النقية لنترات اليورانيل عند العدد الموجي 935 cm^{-1} إلى القيمة 939 cm^{-1} نتيجة تشكيل المعقد $UO_2(NO_3)_2.2TBP$. ويرافق هذا الازدياد بالتردد الامتطاطي غير التناظري للرابطة U-O تناقصاً بطول الرابطة U-O. يتغير طول الرابطة U-O بشكل عام في حالة أملاح اليورانيل من 1.60 Å إلى 1.92 Å. بالإضافة لما سبق فإن زيادة التردد الامتطاطي غير التناظري للرابطة U-O في المعقد $UO_2(NO_3)_2.2TBP$ يرافقه أيضاً ازدياد في ثابت القوة.

عندما يزداد طول الرابطة U-O فإن قيمة التردد الامتطاطي غير التناظري تتناقص، كما في حالة المعقد $UO_2(NO_3)_2.2TOPO$، حيث تتناقص قيمة التردد الامتطاطي غير التناظري للرابطة U-O من الحالة النقية لنترات اليورانيل عند العدد الموجي 935 cm^{-1} إلى القيمة 929 cm^{-1} نتيجة تشكيل المعقد $UO_2(NO_3)_2.2TOPO$، ويرافق هذا التناقص بالتردد الامتطاطي غير التناظري للرابطة U-O ازدياد بطول هذه الرابطة. ونتيجة لذلك فإن تناقص التردد الامتطاطي غير التناظري للرابطة U-O في المعقد $UO_2(NO_3)_2.2TOPO$ يرافقه أيضاً تناقص في ثابت القوة.■

الفحص المسحي لقصور الدرق الخلقي عند الأطفال حديثي الولادة*

د. ندوة حمادة – نور الدين علي – فاطمة الشيخ – إيفاد الفوري
قسم الطب الإشعاعي – هيئة الطاقة الذرّية – ص. ب. 6091 – دمشق – سورية

ملخص

كل الدول المتقدمة تقريباً لديها الآن برامج فحص مسحي لحديثي الولادة لتقصي قصور الدرق، حيث تُجمع عينات الدم على ورق ترشيح بعد الولادة ويعايَر في هذه العينات تركيز كل من هرمون التيروكسين TT4 والهرمون الحاث للدرق TSH.

تكون طريقة المسح المثالية بمعايرة الـ TSH والتيروكسين الحر FT4، بيد أن معايرة FT4 لا تزال غير ممكنة لعينات الدم على ورق الترشيح.

لقد تبنّت هيئة الطاقة الذرّية السورية بمساعدة الوكالة الدولية للطاقة الذرية وبالتعاون مع كل من وزارة الصحة والتعليم العالي وإدارة الخدمات الطبية لدى الجيش والقوات المسلحة برنامجاً للفحص المسحي لقصور الدرق الخلقي عند الأطفال حديثي الولادة في سوريا. ضمن فعاليات هذا البرنامج جُمعت عينة الدم على ورق الترشيح الخاص في اليوم الرابع بعد الولادة. وعويرت تراكيز كل من TT4

* تقرير مختصر عن دراسة علمية ميدانية أُنجزت في قسم الطب الإشعاعي – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

وTSH باستخدام طريقتي الـ RIA للـ TT4 والـ IRMA للـ TSH وهما طريقتان موثقتان.

ومنذ عام 1995 وحتى الآن تم تأسيس مخبر متخصص مركزي في هيئة الطاقة الذرية وتدريب عناصر بكفاءة عالية لإجراء هذه التحاليل. وأحدثت ستة مراكز، خمسة منها في دمشق وآخر في طرطوس. وخلال هذه الفترة (لحين إعداد التقرير) تم فحص 43184 طفلاً وشُخّصت وعولجت 19 حالة بعد أن تم تحديد القيم الطبيعية لكل من TT4 و TSH.

الكلمات المفتاحية: قصور الدرق الخلقي، التيروكسين، الهرمون الحاث للدرق، الأطفال حديثو الولادة، المقايسة المناعية الإشعاعية، المقايسة المناعية الإشعاعية المترية.

مقدمة

يعتبر القصور الدرقي واحداً من الاضطرابات المتعلقة بالغدد الصماء الأكثر شيوعاً في مرحلة الطفولة. إن لهذا المرض آثاراً مأساويةً على نمو وتطور الطفل حديث الولادة، وهذا ما جعل تقصي حالات القصور الدرقي الخلقي خلال العقد الأخير نشاطاً صحّياً هاماً وضرورياً في معظم الدول المتقدمة، حيث بدأ برنامج الفحص المسحي لقصور الدرق الخلقي عند حديثي الولادة في كندا عام 1973 ومما شجع هذا المشروع وجود مشاريع مشابهة لأمراض أخرى عند حديثي الولادة ناتجة عن خلل استقلابي، مثل مشروع تقصي مرض فينول كيتويوريا PKU، الذي تطور منذ عام 1960 باستخدام عينات الدم المجموعة بشكل بقع على ورق نشاف والمأخوذة من كعب القدم باستخدام الواخزة المعدنية، وهذا بدوره شجع مشروع الفحص المسحي لقصور الدرق الخلقي نظراً للجمع الروتيني لعينات الدم من الأطفال حديثي الولادة وكذلك نظراً لتطور المقايسات المناعية الإشعاعية الحساسة.

كما تنالت الدول الصناعية في تبني هذا المشروع منذ بداية الثمانينيات، ويتم هذا المسح في جميعها الآن و قد أقامت الوكالة الدولية للطاقة الذرية عدة مشاريع إقليمية لإدخال هذا المسح في الدول النامية خلال أواخر الثمانينيات وأوائل التسعينيات، حيث انتشر الآن في أمريكا اللاتينية وشرق آسيا وتبنت هذه الفعالية كل من المملكة العربية السعودية وبعض دول الخليج.

وقد تم تحديد نسبة انتشار هذا المرض في معظم البلدان ففي الولايات المتحدة نسبة الانتشار:

(4000/1) للأطفال حديثي الولادة البيض.

(30000/1) للأطفال حديثي الولادة السود.

ويحدث الخلل الوظيفي في الغدة الدرقية بنسبة 2% - 1 من حديثي الولادة الخُدَّج وتصاب الإناث بنسبة 2 إلى 1 من الذكور، ويحدث نتيجةً لما يلي:

1- عدم وجود غدة درقية إطلاقاً.

2- عدم اكتمال تطور الغدة الدرقية.

3- عدم القدرة على اصطناع هرمون التيروكسين بسبب عوز اليود.

حيث وجدت الفحوصات بالومضان المشع أنه لا يوجد غدة درقية بنسبة 3/1 من حديثي الولادة المصابين بالقصور في حين وجدت آثار (بداءة) من النسيج الدرقي في البقية وذلك بعد استخدام تقانات حساسة في الفحص، وقد وجدت البداءة الدرقية بشكل متكرر وبوضع مهاجر في أمكنة مختلفة ما بين قاعدة اللسان وحتى مكانها الطبيعي في الرقبة، كما لوحظ أن إعطاء اليود المشع خلال فترة الحمل للأم بهدف علاج سرطان الدرق أو علاج قصور الدرق يسبب خللاً جنينياً للغدة الدرقية.

إن عوز هرمون الـ TSH (الهرمون الحاث للدرق) وقصور الدرق يمكن أن يحدث في أي حالة تكون مصحوبة بخلل تطوري متعلق بالغدة النخامية، أو بمنطقة تحت المهاد، أو عند الأطفال المصابين بقصور في الغدة النخامية غامض المنشأ.

يعتبر التشخيص المخبري هو الوحيد القادر على كشف هذا المرض في الوقت المناسب وقبل ظهور الأعراض السريرية غير القابلة للعكس والتي تكون غائبة أو غير نوعية لأن الطفل المصاب يبدو طبيعياً بشكل كلي عند الولادة وفقط 20% من المصابين يبدون أعراضاً تساعد في التشخيص السريري قبل فوات الأوان.

النتائج

تحسب النتائج آلياً باستخدام برنامج حاسوبي معد لمعالجة البيانات من شركة Oakfield تحت اسم RIASTAT.

يتم حفظ النتائج بتسجيلها في سجلات خاصة ويعاد اختبار العينات ذات القيم المرتفعة عن المجال الطبيعي حيث أنه من (0.5- 30 mu/l) بالنسبة لـ TSH ومن (30-18 nmol/l) بالنسبة لـ T4.

وفي حال تكرار النتيجة يتم إحضار عينة دم بعد زيارة منزلية للطفل حيث تملأ استمارة خاصة للأطفال المشتبه بقصور درق لديهم يدوّن عليها جميع الأعراض والحالات المرضية في العائلة وتحفظ في سجلات خاصة كما يتم إعلام أهل الطفل المصاب ليصار إلى معالجة الطفل في حال ثبت قصور درق خلقي لديه حتى يخضع للعلاج اللازم في الوقت المناسب وقبل فوات الأوان.

ومما سبق نستنتج أن البرنامج المسحي لتقصي قصور الدرق عند الأطفال حديثي الولادة هو برنامج أساسي وضروري وتزداد أهميته في البلدان النامية ولاسيما سورية.

تبنت هيئة الطاقة الذرّية السورية هذا المشروع منذ بدايته وحتى الآن، مما ساعد على زيادة عدد عينات حديثي الولادة التي يتم تحليلها في مخبرنا المركزي في هيئة الطاقة الذرّية.

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

والجدول الآتي يوضح ذلك:

عدد الأطفال الخاضعين للفحص المسحي حتى نهاية عام 2001	عدد الأطفال المصابين بقصور الدرق الخلقي	عدد الأطفال الذين تم علاجهم	عدد الوفيات	المفقودون
43180	19	13	3	1

من الجدول السابق نلاحظ أن عدد الحالات المرضية كانت 19 حالة فيها 3 وفيات وهناك حالة واحدة تم كشفها ولكن لم نستطع إعادة التحليل مرة أخرى بسبب سفر الأهل خارج القطر.

أما باقي الحالات المرضية فهي قيد العلاج الآن وتتم مراقبة مستوى هرموني الـ T4 و TSH كل فترة مع مراقبة دائمة لنموهم وتطورهم.

مناقشة النتائج

ولدى مقارنة النتائج لوحظ:

- انتظام توزع العياريات على المنحني العياري الذي يأخذ شكلاً تنازلياً والذي يعد من خصائص المقايسة المناعية الإشعاعية RIA.
- تناقص العد الإشعاعي مع تزايد التركيز بشكل متناسب مما يضمن صلاحية الحبيبات المحضرة وموثوقية طريقة التحضير المتبعة إضافة لضمان صلاحية كافة الدارئات المستخدمة لهذه الغاية.
- كانت قيم معامل التباين ضمن الحدود المسموح بها (أقل من 10%)
- تزايد العد الإشعاعي مع تزايد التراكيز بشكل متناسب مما يضمن صلاحية الحبيبات المحضرة وموثوقية طريقة التحضير المتبعة إضافةً لضمان صلاحية كافة الدارئات المستخدمة لهذه الغاية.
- تقارب توزع كل عياري حول المتوسط على المنحني العياري.
- تطابق تراكيز العياريات المحضرة مع التراكيز الأولية مما يضمن صلاحية الكواشف.
- موثوقية التحضير من خلال تكرار النتائج بتكرار استخدام العياريات في مقايسات متتالية.
- تطابق المنحني العياري ومنحني الدقة مع تكرارية المقايسة.
- جودة تحضير دارئات المقايسة.
- دقة العمل الفني.

هذا فيما يتعلق بالعمل التقني والفني والمعايرة، أما فيما يتعلق بنسبة انتشار المرض في سوريا فلا نستطيع في الحقيقة أن نعمم هذه النسبة على أنها نسبة الانتشار في كامل القطر نظراً لأن العينة إحصائياً لا تغطي كامل القطر بالرغم من أن الأطفال من بعض مشافي دمشق وطرطوس ولكنهم من محافظات مختلفة ولكن تبقى هذه النسبة كنسبة أولية قد ترتفع أو تنخفض عند تعميم الفحص على كامل سوريا.■

توصيف بعض المؤشرات التناسلية عند إناث أغنام العواس السوري خلال مراحل مختلفة*

د. معتز زرقاوي
قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرية - ص. ب. 6091 - دمشق - سورية.

ملخص

أجريت تجربتان على إناث أغنام العواس السوري لتوصيف بعض المؤشرات التناسلية خلال مراحل تناسلية مختلفة.

كان متوسط العمر الإجمالي عند بداية مرحلة البلوغ الجنسي، معبراً عنه بالارتفاع الحاد في تركيز هرمون البروجستيرون متبوعاً بدورات شبق منتظمة، 18.0 شهراً، وحدث بين أشهر أيار وآب. لم توجد فروقات مؤكدة إحصائياً بالنسبة للعمر عند بداية مرحلة البلوغ الجنسي بين الحملان الإناث فيما يتعلق بشهر الولادة، نوع الولادة أو وزن الفطام.

بلغ متوسط الوزن الحي للحملان عند بداية مرحلة البلوغ الجنسي 53.7 كغ، بينما بلغ متوسط تركيز هرمون البروجستيرون 6.32 نانو مول/ل.

في التجربة الثانية، قسمت الحيوانات إلى مجموعتين متساويتين، مجموعة تجريبية (P)، ومجموعة شاهدة (C). عوملت الإناث في كلتا المجموعتين بإسفنجات مهبلية. ولكن، فقط إناث المجموعة P حقنت عضلياً بهرمون مصل دم الفرس الحامل. بلغت نسبة الولادات التوأمية 37.5% عند النعاج التي حقنت بهرمون مصل دم الفرس الحامل، بالمقارنة مع 12.5% عند النعاج التي لم تحقن بالهرمون المذكور.

استنتج أن إناث حملان العواس السوري تصل إلى مرحلة البلوغ الجنسي خلال الفصل التناسلي الثاني لولادتها بعمر 18 شهراً،

* تقرير مختصر عن تجربة استطلاعية ميدانية أنجزت في قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

وبوزن حي يقارب 54 كغ، حيث تصبح قادرة على التزاوج. علاوة على ذلك، لم يلاحظ تأثير لشهر، وزن أو نوع الولادة، أو وزن الفطام للحملان على بداية مرحلة البلوغ الجنسي. كما استنتج أنه يمكن رفع نسبة التوائم عند إناث أغنام العواس السوري في حملها الأول باستخدام هرمون مصل دم الفرس الحامل دون التأثير على صحة كل من الأمهات والمواليد.

الكلمات المفتاحية: إناث أغنام عواس، وزن حي، وزن فطام، فصل تناسلي، نوع الولادة، بلوغ جنسي، بروجستيرون، مقايسة مناعية إشعاعية، اسفنجات مهبلية، نسبة توائم.

مقدمة

تعد مرحلة البلوغ الجنسي من المراحل الهامة في حياة الحيوان الإنتاجية والتناسلية. من ناحية هرمونية، يعرّف البلوغ الجنسي بأنه أول ارتفاع حاد لتركيز هرمون البروجستيرون متبوعاً بدورات شبق منتظمة. يتضمن الشرط الأساسي لإطلاق البلوغ الجنسي عند إناث الأغنام الوصول إلى وزن جسم معين، ويرتبط هرمونياً بزيادة تكرارية نبضات الهرمون اللوتيئيني الذي ينشط نمو الجريبات المبيضية وبالتالي، زيادة في إفراز الاستروجينات، والارتفاع الحاد في تركيز الهرمون اللوتيئيني قبيل الإباضة، فالإباضة.

وجد اختلاف في عمر ووزن إناث الأغنام عند بداية مرحلة البلوغ الجنسي وذلك باختلاف العرق. كان الهدف الرئيس من التجربة (1) تحديد عمر بداية مرحلة البلوغ الجنسي والذي يصبح التناسل عنده ممكناً عند إناث أغنام العواس السوري وتأثير بعض العوامل على تلك المرحلة. كما هدفت التجربة أيضاً إلى (2) تقييم استجابة إناث أغنام العواس السوري للمعاملة بالاسفنجات المهبلية وتأثير ذلك على معدل التلقيح والحمل وعلى صحة كل من الأم والمواليد؛ و(3) تقييم تأثير استخدام هرمون مصل دم الفرس الحامل في نسبة التوائم عند إناث أغنام العواس السوري في حملها الأول.

نتائج ومناقشة

يستخدم تقدير تركيز هرمون البروجستيرون في الدم بنجاح كمؤشر أساسي في الدراسات المتعلقة بفيزيولوجيا التناسل عند الحيوان خلال مراحل مختلفة، ومن بينها التحري عن بداية موعد البلوغ الجنسي عند أنواع حيوانية عدة مثل الماعز الشامي في سورية، وعجلات Yak في الصين، والغزال الأحمر في بريطانيا، وعند بعض عروق الأغنام مثل عرق Chios في قبرص، وعرق Rasa Aragonesa في إسبانيا وغيرها.

التجربة الأولى

كان متوسط الوزن الحي للحملان عند بداية مرحلة البلوغ الجنسي 23.7±7.2 كغ، ومتوسط تركيز هرمون البروجستيرون 6.32±3.69 نانو مول/ل. كان متوسط العمر الإجمالي عند بداية مرحلة البلوغ الجنسي عند الحملان 18.0±1.1 شهراً، وحل في الفصل التناسلي الثاني بعد ولادة الإناث وكان موزعاً على الأشهر الأربعة: أيار، حزيران، تموز وآب. لم توجد فروقات مؤكدة إحصائياً بالنسبة للعمر عند بداية مرحلة البلوغ الجنسي بين كل من الحملان التي ولدت بشكل مفردٍ وتلك التي ولدت بشكلٍ توأمي، وبين الحملان التي ولدت قبل الأول من شهر كانون الثاني وبعده. كما لم يؤثر وزن الفطام المرتفع بالمقارنة مع الوزن المنخفض للفطام على بداية موعد البلوغ الجنسي، بالرغم من أن الفرق بين الوزنين كان مؤكداً إحصائياً.

التجربة الثانية

كان تركيز هرمون البروجستيرون في مصل الدم عند سحب الإسفنجات منخفضاً جداً حيث بلغ بالمتوسط 0.43±0.19 نانو مول/ل، وارتفع إلى تراكيز أعلى من 3.18 نانو مول/ل خلال 5 أيام، واستمرت التراكيز مرتفعة. بلغت نسبة الولادات التوأمية 37.5% عند النعاج التي حقنت بهرمون مصل دم الفرس الحامل، بالمقارنة مع 12.5% عند النعاج التي لم تحقن بالهرمون المذكور، وكانت صحة الأمهات الوالدة والمواليد جيدة.

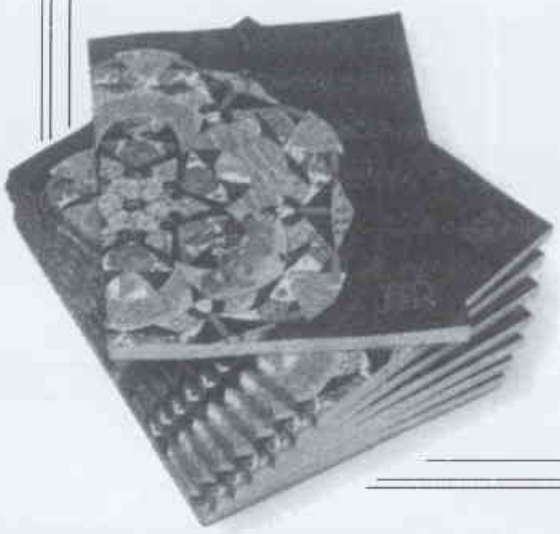
يمكن الاستنتاج أن إناث حملان العواس السوري تصل إلى مرحلة البلوغ الجنسي وتصبح قادرة على التزاوج خلال الفصل التناسلي الثاني لولادتها بعمر 18 شهراً، وبوزن حي يقارب 54 كغ، وأنه لا يوجد تأثير لشهر أو نوع الولادة، أو وزن الفطام على بداية مرحلة البلوغ الجنسي.

كما يمكن الاستنتاج أن إناث أغنام العواس السوري تستجيب، بعيد مرحلة البلوغ الجنسي، إلى المعاملات الهرمونية، وأنه يمكن رفع نسبة التوائم في حملها الأول باستخدام هرمون مصل دم الفرس الحامل دون التأثير عل صحة كل من الأمهات والمواليد.

وأخيراً، يمكن اعتبار قياس تركيز هرمون البروجستيرون بالدم للتحري عن موعد بداية البلوغ الجنسي عند الأغنام وغيرها من الأنواع الحيوانية الأخرى بوساطة المقايسة المناعية الإشعاعية أحد أدق الطرائق بالمقارنة مع الطرائق الأخرى.■

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

كتب حديثة مختارة



1- أسرار عالم الجسيمات الأولية

The secrets of the world of Elementary particles*

أوديسة الجسيم: رحلة إلى قلب المادة

The particle odyssey: A Journey To the Heart of Matter

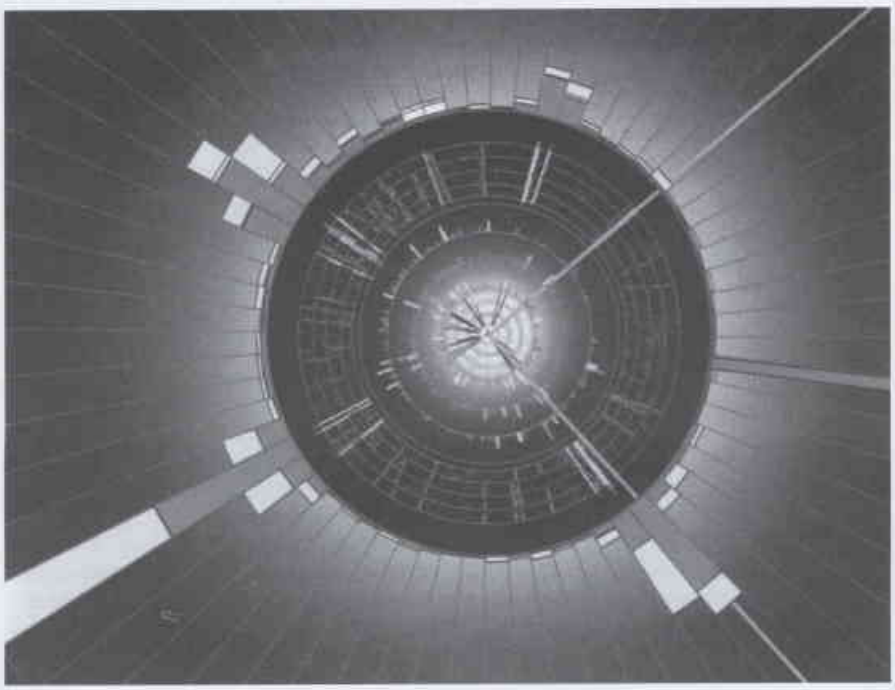
تأليف: ف.كلوز - م. مارتن - ك. سوتون
عرض وتحليل: ك. بيتش**

يعدّ تطور النموذج المعياري للجسيمات وتآثراتها أحد الإنجازات العلمية الرئيسة في القرن العشرين، فقد كان الإلكترون أول "جسيم أولي" اكتشفه ج. ج. تومسون J. J. Thomson في عام 1897، والكوارك ذروة آخر "الفرميونات الأساسية" في النموذج المعياري التي اكتشفها فريقان كبيران في التيفاترون Tevatron قرب شيكاغو في عام 1995. وخلال هذه المدة، عملت النسبية العامة والخاصة، والميكانيك الكمومي، والفهم العميق للتناظر (المكشوف والمخفي، المحلي والعالمي، الكامل والمنقوص تلقائياً) على تغيير مفهومنا لدينامية الكون، ففي هذا الإطار تمّ تقديم وصف كامل تماماً لآلية عمل الكون، كما تمّ التحقق تجريبياً من جميع مقوماته باستثناء واحدٍ منها، وهو جسيم هيغز المحيّر الذي لم يُكتَشَف بعد.

يقدم كتاب أوديسة الجسيم وصفاً للاكتشافات والإبداعات على مدى قرن من الزمن عبر سلسلة من الصور التعبيرية الجميلة والصور الفوتوغرافية المذهلة، وتشرح نصوصه بوضوح وبطريقة غير رياضياتية أهمية هذه الاكتشافات في سياق تطوير النموذج المعياري. فكل واحد من المقوّمات الأساسية (كواركات، ليبتونات، بوزونات عيارية، وأجسام أخرى غريبة مرافقة لفيزياء الطاقة العالية) تمّ وصفه وتوضيحه بالاستعانة بصور فوتوغرافية وتفاصيل بيوغرافية للأشكال الأساسية في الكتاب.

يقع الكتاب في اثني عشر فصلاً تغطي موضوعات عريضة متّبعةً بسلاسة التطور التاريخي للموضوع. فموضوع التقانة - مسرّعات ومكاشيف - يغطيه فصلان من فصول الكتاب، بينما يغطي فصل ثالث تطبيقاتها في فروع أخرى من العلوم والمجتمع. إن أسلوب الكتاب تحادثيّ، حيث التصوير التعبيري فيه حيويّ أحياناً كالصور الفوتوغرافية ذاتها. وعلى الرغم من أن هنالك بعض المخططات البيانية التوضيحية أوالحاسمة والحبكات المنتشرة هنا وهناك ("الصورة" التي يريد الفيزيائي رؤيتها بالفعل)، فإن التأكيد يكون على الجمهور والحوادث والتجهيزات. لقد أُعِدّ الكتاب ليكون تاريخاً من ناحية وقصة بوليسية من ناحية أخرى، مفسراً كلمة "مَن" و"ماذا" و" لماذا" و "متى"، وسيكون مصدراً مفيداً لمؤرخي

الاستدلال على جسيم سيعما الفاتن من المسارات التي تركتها الجسيمات الأخرى.



الجسيم المشكلة: الكوارك ذروة، الذي يضمحل إلى ميونات، لم يتم اكتشافه إلا في عام 1995.

* F. Close, M. Marten & C. Sutton: Oxford University, 2002.

** ك. بيتش: قسم فيزياء الجسيمات - مختبر CLRC - روزرفورد أبلتون - المملكة المتحدة.

- العرض والتحليل عن مجلة *Nature*, VOL 419, 31 October 2002. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

علوم القرن العشرين في المستقبل لايحدّ منه سوى نقص المراجع للأبحاث الأصلية.

يعتمد الكتاب الحالي على كتاب انفجار الجسيم الذي أصدره المؤلفون ذاتهم منذ 15 عاماً. ومع أن فصوله تحمل عناوين مشتركة مع الكتاب الأول فإنه يتجاوز "انفجار الجسيم II - السيكويل". ومن السهل أن ننسى تماماً مدى التقدم الكبير الذي تمّ إحرازه في فيزياء الطاقة العالية خلال 15 عاماً الماضية. فقد تمّ آنذاك اكتشاف المقومات الرئيسة للنموذج المعياري، لكن لايزال هناك مجال للتفسيرات البديلة. وقد أغلقت معظم المنافذ في ذلك الحين؛ إذ تمّ حالياً اكتشاف الكوارك ذروة top، واستأنف القطاع الكهرضعيف عملية البحث الدقيق في المصادم الإلكتروني - البوزتروني الضخم في سيرن CERN، وتمّ استكشاف التحريك اللوني الكمومي بالتفصيل باستخدام تجارب هيرا HERA في ديزي DESY، كما تمّ إظهار اهتزاز نترينوات الغلاف الجوي المحيط بالأرض والنترينوات الشمسية، ولوحظت نترينوات التاو، كما لوحظت آثار بلازما الكوارك - الغلوون، وقيست لاتناظرات المادة والمادة المضادة في ميزونات - B في مصانع KEK-B و PEP-IIB. وقد أدى هذا إلى تقوية التفاعل بين فيزياء الطاقة العالية وعلم الكون. وانعكس كل ذلك في الكتاب الجديد، حيث أُفرد ثلثه مع أكثر من 250 صورة جديدة لتوضيح هذا التقدم. وإذا كان كتاب انفجار الجسيم قد نقل صورة الطاقة الإبداعية، ولو اتسمت بالفوضى، فإن كتاب أوديسة الجسيم يقدم انطباعاً عن رحلة قُدِّم تقرير عنها من وجهة نظر يستطيع المرء من خلالها رؤية الطريق المتعرّجة المقطوعة إلى هذا الحدّ ويتأمل الطريق المباشر.

باختصار يُعدّ كتاب أوديسة الجسيم مدخلاً واضحاً وجديراً بالقراءة بشكل جيد لفيزياء الطاقة العالية، فهو يقدم للمتخصص في فيزياء الطاقة العالية وللقارئ العادي على حدٍّ سواء جواباً رائعاً عن السؤال المشترك بأن فيزيائيي الطاقة العالية يجدون صعوبة أحياناً في الإجابة عن السؤال: ماالذي تفعله بالضبط؟■

2- الأكسجين: الجزيء الذي صنع العالم

Oxygen: The Molecule that Made The World ★

تأليف: ن. لين

عرض وتحليل: توماس ب. ل. كيركوود ★★

من المعتقد أن الكيميائي الفرنسي البارز، أنطوان لافوازيه A. Lavoisier، هو أول من أشار إلى أهمية الأكسجين في العالم، مبيتاً في تجربة شهيرة له أن ماسات الإمبراطور الروماني المقدس كانت في منأى عن التخريب بدرجة حرارة عالية عندما أُبعد الأكسجين عنها. تراجيدياً، استأنف لافوازيه هذه التجربة على الرغم من خطر إعدامه في الثورة الفرنسية بناءً على اتهامات ملفّقة ضده في تقرير كاذب. وعلى مدى القرون اللاحقة، أصبح الأكسجين، الذي سمي بسبب قدراته "على تشكيل الحموض"، عنصراً يتمتع بقيمة كبيرة على نطاق واسع نظراً لخواصه التي تحافظ على استمرار الحياة. ونحن نميل لفهم الأكسجين من وجهة نظر إيجابية، مع النجم المتألق، مايكل جاكسون، M. Jackson، الذي قضى لياليه في خيمة من الأكسجين. وهنالك عناصر أخرى قليلة تستطيع أن تدعي هذا المستوى من الموافقة على الشهرة، لكن الحقيقة تكمن في كون الأكسجين نعمة ونقمة. فأي واحد تعرّض في حياته لحريق يعرف مدى خطورة الأكسجين مع أننا نموت بدونه سريعاً، مما يشكّل دليلاً واضحاً على أن الأكسجين يلعب دوراً رئيساً في عملية الشيخوخة. إنه يمثل ذلك التوازن بين الخير والشر الذي يجعل من الأكسجين جزيئاً مهماً بهذا الشكل.

إن كتاب نيك لين N. Lane التثقيفي الممتع سيجعلنا نعتقد أن "الحياة بدون تهديد سُمّية الأكسجين لن تتطور". ومع أننا نعتمد عليه الآن، يبدو من المرجّح أن الحياة نشأت في بدايتها بغياب الأكسجين الحر. يقوم الأكسجين بنزع الإلكترونات من الجزيئات العضوية وعندها ستكون أولى البوليميرات الحيوية التناسخية عديمة القدرة على الدفاع ضد هجومه. وهكذا، بدأت الحياة بدون أكسجين، وخلال الفترات السابقة من التطور البيولوجي الأولي بدأت البكتريا التي تقوم بالتركيب الضوئي تخفي الأكسجين كنفاية استقلابية "سامة". وليست المرة الأخيرة التي يخلق فيها شكل الحياة السائد على الكوكب اضطراباً في البيئة. إن هذا الإجهاد البيئي فرض ضغطاً انتقائياً قوياً ومن ثم نشأت المتعضيات التي لم تقاوم سُمّية الأكسجين فقط، بل وجدت في هذه المادة الملوِّثة مصدر إمداد من طاقة جديدة. وقد أفضت الفسفرة المؤكسدة إلى وجود سلالة جديدة في الحياة، وفي الوقت المناسب جئنا إلى الحياة.

في النصف الأول من الكتاب يستعرض المؤلف بشيء من التفصيل الدليل على وجود هذا الدور للأكسجين في تطور الحياة. ومع أنه يوافق على العناصر الرئيسة في الرواية التقليدية، فهو يميل نحو خط شائك يُعتبر جديداً نسبياً. فبدلاً من غلاف جوي أساسي مكوّن بشكل رئيس من الميتان والأمونيا والهدروجين، نجد أن لين يؤيد فكرة أن الغلاف الجوي المحيط بالأرض كان يتألف قبل أربعة بلايين سنة على الأغلب من النتروجين، كما هو الحال اليوم، مع وجود بعض ثنائي أكسيد الكربون وبخار الماء وآثار من غازات أخرى بما فيها الأكسجين. تتمثل وجهة النظر العامة - ووجهة نظري قبل قراءة هذا الكتاب - بأن الموارد الفعّالة في عمليات الحماية من سُمّية الأكسجين في المتعضيات الحالية تطورت لتواجه الخطر المتزايد عندما يتراكم الأكسجين الحر في الغلاف الجوي. والبديل المفضّل لدى لين هو أن الإجهاد المؤكسد عُرِف قبل أن يصبح الأكسجين الحر خطراً بفترة طويلة. وثمة مصدر مهمّ للإجهاد المؤكسد

★ N. Lane: Oxford University Press: 2002.

★★ توماس ب. ل. كيركوود: جامعة نيوكاسل أبون تاين، المملكة المتحدة.

- العرض والتحليل عن مجلة *Nature*, VOL 419, 24 October 2002. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر - هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

يأتي من تأثيرات الأشعة فوق البنفسجية على جزيئات الماء. فإذا أثبتت الحياة وجودها المبكر في سطح المحيط المعرّض للإشعاع، حيث يمكن أن تكون عملية التركيب الضوئي التي تشطر الماء قد تطورت بشكلٍ معقول، فإن الخلايا ينبغي لها أن تكون قد اكتسبت على الأغلب أنزيمات كامنة مضادة للأكسدة كالكاتالاز؛ لذلك ففي الوقت الذي أصبح فيه الأكسجين الجوي تهديداً، كانت المناعات المضادة للأكسدة هي المناسبة إلى حدٍّ ما.

في الوقت الحالي، يبقى الإجهاد المؤكسد المحرّض بالأشعة فوق البنفسجية مصدراً كاماً للجذور الحرة، بحيث يهاجم أيّة خلية معرّضة لضوء الشمس. ومن المعتقد أن هذا الإجهاد سيلعب، على سبيل المثال، دوراً في التنكس اللطخي المتعلق بالعمر، الذي يعتبر أحد أهم أسباب إضعاف الرؤية عند الأشخاص المسنين.

وهذا ما يأخذنا إلى النصف الثاني من كتاب لين، الذي يتمحور حول دور الأكسجين في القضاء علينا. ومما يدعو للأسف أن هذا الجانب المهم من الكتاب لم يشر إليه العنوان الثانوي، لأن كتاب الأكسجين يقدم تقريراً ممتعاً ومقنعاً عن كيفية توافق الإجهاد المؤكسد مع معرفتنا المتزايدة بسرعة حول التقدم في السن. ويصف لين أيضاً العمل في ظروف متردية كالخرف، ويشرح بوضوح مثير للإعجاب كيفية الإسهام في زيادة مخاطر الأعراض المشابهة لمرض الألزهايمر عن طريق الاختلال في الجهاز المناعي المضاد للأكسدة عند الأشخاص الذين يعانون من أعراض داون Down والذين لديهم نسخة إضافية من الجينة المتعلقة بأنزيم الدسميوتاز فائق الأكسدة، وهو أنزيم يتعقب الجذر فائق الأكسدة الخطير ولكنه يشكل فوق أكسيد هدروجيني ضار في العملية.

ونقطة الضعف الوحيدة في الكتاب هي أن لين يدفع جزيئاً لاعباً إلى الساحة، بهدف استبعاد الجزيئات الأخرى، أكثر مما هو صحيح. ومن الصعب فهم الجدال الذي يفيد بأن الأكسجين هو الجزيء الذي صنع العالم، والإجهاد المؤكسد ليس هو العامل الوحيد الذي يجعلنا نكبر في السن. ومع ذلك، يقدم لين تقريراً لطيفاً عن مكانة عنصر مهم في حياتنا. ويستحق كتابه أن يُقرأ على نطاق واسع حتى لو استوجب الأمر، في الوقت المناسب، أن يشغل حيّزاً على رف الكتب مع الكتب الأخرى المماثلة المتعلقة بالكربون والنتروجين والحديد وغيرها.■

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

تعريف بمنشورات هيئة الطاقة الذرّية المعدَّة للبيع
Publications of the AEC of SYRIA

منشورات عامة	الشكل	السعر (ل.س من داخل القطر) ($ من خارج القطر)
1- النظائر المشعة في الحياة اليومية Isotopes Day Life (ترجمة دائرة الإعلام والترجمة والنشر)	كتيب مطبوع Printed Book	15 ل.س $ 3
2- ما يجب أن يعرفه الطبيب الممارس في معالجة المتعرضين للإشعاع What The General Practitioner (MD) Should Know About Medical Handling of overexposed Individuals (ترجمة قسم الوقاية والأمان)	كتيب مطبوع Printed Book	40 ل.س $ 9
3- مستويات التدخل المقدرة لمواجهة تلوث الطعام بالنظائر المشعة (إرشادات للتطبيق بعد الانتشار الواسع للتلوث الإشعاعي الناتج عن حادث نووي كبير) Derived Intervention Levels for Radionuclides in Food (ترجمة الدكتور إبراهيم عثمان)	كتاب مطبوع Printed Book	80 ل.س $ 7
4- تشعيع الغذاء (تقنية لحفظ الغذاء وتحسين سلامته) Food Irradiation (A technique for Preserving and Imporoving the Safety of Food) (ترجمة الدكتور نجم الدين شرابي)	كتاب مطبوع Printed Book	160 ل.س $ 15
5- نظرية الكم وقصتها الغريبة L'étrange Histoire des Quanta (ترجمة محمد وائل الأتاسي)	كتاب مطبوع Printed Book	250 ل.س $ 25
6- حقائق حول تشعيع الأغذية سلسلة نشرات الحقائق صادرة عن المجموعة الاستشارية الدولية لتشعيع الأغذية Facts about Food Irradiation (ترجمة الدكتور نزار حمد)	كتاب مطبوع Printed Book	160 ل.س $ 8
7- الإشعاع: الجرعات -الآثار -المخاطر Radiation: Doses, Effects, Risks (ترجمة الدكتور إبراهيم عثمان-المهندسة مها عبد الرحيم)	كتاب مطبوع Printed Book	100 ل.س $ 10
8- دروس من حوادث وقعت في منشآت التشعيع الصناعية Lessons Learned From Accidents In Industrial Irradiation Facilities (ترجمة الدكتور محمد قعقع)	كتيب مطبوع Printed Book	100 ل.س $ 6
9- الاختبارات اللاتلافية: طريقة التصوير الشعاعي الصناعي Industrial Radiography Method (تأليف الدكتور وفيق حرارة)	كتاب مطبوع Printed Book	200 ل.س $ 10
10- الطاقة الذرّية لأغراض عسكرية Atomic Energy for Military Purposes (ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر)	كتاب مطبوع Printed Book	300 ل.س $ 25
11- معجم المصطلحات العلمية والتقنية (إنكليزي-عربي) Dictionary of Technical Terms in the Field of Atomic Energy (طبعة جديدة موسعة)	كتاب مطبوع Printed Book	300 ل.س $ 25
12- التثبيت الحيوي للآزوت الجوي Biological Nitrogen Fixation (تأليف الدكتور فواز كرد علي)	كتاب مطبوع Printed Book	350 ل.س $ 15

ملاحظة: يمكن طلب هذه المنشورات من مكتب الترجمة والتأليف والنشر في هيئة الطاقة الذرّية -دمشق - شارع 17 نيسان -هاتف 6111926/7.

ABSTRACT

Virtually all developed countries now have neonatal screening programs for hypothyroidism where capillary blood specimens collected on filter paper soon after birth. These specimens are analysed for TSH or T4. The ideal screening procedure would be measurement of both TSH and FT4, however measurement of FT4 on filter paper specimen is not yet feasible.

The Atomic Energy Commission of Syria with the aid of the International Atomic Energy Agency and the collaboration of the ministries of Higher Education, Health and Defense adopted a screening program for congenital hypothyroidism in Syria. In this program blood specimen were collected on filter paper on the 4th of birth and then the specimen are analysed for TT4 and TSH using RIA and IRMA techniques respectively. Between 1995 and the present time six centres, for sample's collection, were opened. A well equipped laboratory for the analysis was established with highly trained staff. During this period of time (six years) 41341 babies were screened with 19 cases diagnosed after determination of the local normal values for both TSH and TT4.

Key Words

Congenital Hypothyroidism, Thyroxin, TSH, Neonatals, RIA, IRMA

* A short report on an exploratory scientific experiment achieved in the Department of Radiation Medicine, Atomic Energy Commission of Syria.

CHARACTERIZATION OF CERTAIN REPRODUCTIVE PARAMETERS IN SYRIAN FEMALE AWASSI SHEEP DURING DIFFERENT STAGES*

M. ZARKAWI

Department of Agriculture, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTARCT

Two experiments were conducted on Syrian female Awassi sheep to characterize some reproductive parameters during different reproductive stages.

The overall average age at puberty, as indicated by the sharp increase in progesterone concentration followed by regular oestrous cycles, was 18.0 months, occurring between May and August. There were no significant differences in the time to attain puberty among the ewe lambs in terms of their month of lambing, type of birth or weaning weight.

The average live weight of ewe lambs at the attainment of puberty was 53.7 kg, while the average serum progesterone concentration was 6.32 nmol l^{-1}.

In the second experiment, animals were divided into 2 equal groups, experimental (P) and control (C). All animals in both groups were treated with intravaginal sponges. However, only females in the P group were injected intramuscularly with pregnant mare serum gonadotropin (PMSG). The twinning percentage was 37.5% in the females that were injected with PMSG as compared to 12.5% in the females that were not injected.

It was concluded that Syrian Awassi ewe lambs attain puberty during the second breeding season of their life at an age of about 18 months and at an average live weight of around 54 kg at which they become capable of reproduction. In addition, no effects were observed for the month of lambing, birth weight or type, or weaning weight of lambs on the time to attain puberty. It was also concluded that it is possible to improve the twining percentage of the animals in their first pregnancy using PMSG without an adverse effects on either the lamed ewes or the born lambs.

Key Words

Awassi ewe lambs, live weight, weaning weight, breeding season, birth type, puberty, progesterone, radioimmunoassay, intravaginal sponges, twinning percentage.

* A short report on an exploratory field experiment achieved in the Department of Agriculture, Atomic Energy Commission of Syria.

☆ ★ ☆

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

NATURAL RADIOACTIVITY IN SOME DRINKING WATER SOURCES OF COASTAL, NORTHERN, EASTERN AND ALJAZERA REGIONS IN SYRIA*

M. S. AL-MASRI, E. BYRAKDAR, Y. AMIN, S. ABU BAKER
Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Naturally occurring radionuclides in drinking water sources of coastal, northern, eastern and aljazera regions in Syria have been determined. Samples were collected during the year of 2000 at two periods from the main water sources, from which water being transported for drinking or from houses. Results have shown that most concentrations of the measured naturally occurring radionuclides (^{222}Rn, ^{222}Ra, ^{210}Po, ^{234}U, ^{238}U) were within the natural levels and below the higher permissible limits of International Organizations. In addition, variations in concentrations from region to another have been observed; these variations may be due to differences in geological formations and water sources (well, spring, surface water). Moreover, the obtained data in this study and other published data for other regions can be used for establishing the radiation map for natural radioactivity in drinking water in Syria.

Key Words

natural radioactivity, drinking water, syria.

* A short report on a scientific study achieved in the Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission of Syria.

INVESTIGATION OF INFRARED SPECTRA IN URANIUM COMPLEXES*

M. ALIBRAHIM
Department of Chemistry, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria.

ABSTARCT

Stable complexes of uranyl nitrat 2-tri buthyl phosphate and uranyl nitrat 2-tri octyl phosphine oxide have been prepared and studied by FTIR. It can be concluded that vibration bond of P=O(TBP) = 1288 cm^{-1} is stronger than vibration bond of P-O-U(TBP) = 1178 cm^{-1} and vibration bond of P=O(TOPO) = 1165 cm^{-1} is stronger than vibration bond of P-O-U(TOPO) = 1097 cm^{-1}. The complexation effect on U-O force constant, vibration bond and bond distance in these complexes have also been briefly discussed.

Key Words

FTIR, force constant, bond distance, complexes.

* A short report on a scientific study achieved in the Department of Chemistry, Atomic Energy Commission of Syria.

THE FINAL REPORT ON NEONATAL SCREENING OF CONGENTIAL HYPOTHYROIDISM*

N. HAMADEH, N. EDDIN ALI, F. AL SHEIKH, I. GHOURI
Department of Radiation Medicine, Atomic Energy Commission, P.O. BOX 6091, Damascus, Syria

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

REPORTS

DESIGN OF MULTI-DIELECTRIC-FILM OPTICAL FILTERS FOR FREQUENCY-DOUBLED-ND-YAG PUMPED RAMAN LASERS AND FOR CVL PUMPED DYE LASERS*

M. B. ALSOUS
Department of physics, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

we have designed multi-dielectric-film optical filters as mirrors for frequency-doubled-Nd-YAG pumped Raman lasers at wavelengths 435, 369.9, 319.8, 953.6, 683 nm, and for use in CVL pumped dye lasers: as beam-splitters, antireflection filters, and narrow-band filters. These filters should be easy to make and able to work safely with the high energy of the pulsed Nd-YAG laser (200mJ/pulse) and the output power of the CVL. Thus, only few suitable materials like MgF_2, SiO_2, Al_2O_3, ZrO_2, and TiO_2 could be used in such an application.

we have tested these filters with laser shots using a 150 MW peak power of a frequency doubled Nd - YAG laser. Besides, The 15 W output power of a CVL was focused in a few square millimeters for testing these filters. It was found that our designs were convenient and able to support the laser power.

Key Words

multi-dielectric-film filters, Maxwell equations, transmittance, reflectance, refraction index.

* A short report on a scientific computer study achieved in the Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria.

THE LATEST TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF SOLAR CELLS*

M. CHAHOUD
Department of Scientific Services, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091; Damascus, Syria

ABSTRACT

Despite the large steps made by researchers in the development of solar cells, the prices of electricity produced by conventional methods (oil, atomic reactors,.) are still much lower than those produced by solar cells. Therefore many years will be needed before solar energy becomes a really competitor to conventional energy sources.

The most important properties of a solar cell are its efficiency, life expectancy and energy pay-back time.

A tandem solar cell consisting of GaAs and InSb shows the highest efficiency of 37%. The disadvantage of such cells is their high preparation cost.

The Graezel cell, a photoelectrochemical cell, has a very good energy pay-back time and the other properties are comparable to other cell types, but the using of a liquid electrolyte is a major disadvantage.

Thin film solar cells (CIS, CdTe, a-Si) have low efficiency in comparison to silicon single crystal solar cells, but their preparation cost is very low, therefore they represent a very good choice for third world states.

Key Words

solar cells, Si, InP, GaAs, CdTe, CIS.

* A short report on scientific office study achieved in the Department of Scientific Services, Atomic Energy Commission of Syria.

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

ABSTRACT

Pyrenophora graminea is a seed-bome pathogen and is the causal agent of barley leaf stripe. On the basis of SDS-PAGE electrophorests, hordein patterns (groups C and B) of five barley varieties different in their resistance levels, were tested to detect seeds infected with P. graminea. Three categories of subunits were obtained: Absence of particular subunits in the infected seeds of all varieties. The presence of some subunits in the resistant varieties only, and B-hordein degradation represented in lower molecular subunits in the sensitive varieties.

The hordein profiles were highly repeatable. It is suggested that the reproducibility of the method be further evaluated on P. graminea. and related pathogens with a view to its adoption for routine use.

Key Words

barley (hordeum vulgare L.), pyrenophora graminea, storage protein (hordein).

* This paper appeared in *Plant Varieties and Seeds.* (2001) 14.

EFFECTS OF SULPHATE REDUCTION AND GEOGENIC CO_2 INCORPORATION ON THE DETERMINATION OF ^{14}C GROUNDWATER AGES - A CASE STUDY OF THE PALAEOGENE GROUNDWATER SYSTEM IN NORTH-EASTERN SYRIA*

Z. KATTAN

Department of Geology, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

ABSTRACT

Groundwater from the Palaeogene aquifer system in north-eastern Syria has been studied using chemical and isotopic methods to determine the effects of carbonate dissolution, sulphate reduction and geogenic CO_2 incorporation in the dilution of ^{14}C activity, and later to correct the conventional ^{14}C water ages. The reason for this non-classical approach of correction is because the groundwater in this Karstified and Nummulitic Carbonate aquifer occurs under confined and partly confined conditions, and is located in an area very close to deep faults and fractures. Furthermore, the interconnection with the Upper Cretaceous formations, which commonly contain gypsum and hydrocarbons, can facilitate the processes of sulphate reduction and geogenic CO_2 incorporation, which should not be excluded. The dilution factor related to carbonate dissolution was estimated to be about 0.60-0.75. The dilution factor associated with sulphate reduction, which only depends on H_2S content, was rather low (about 0.95). However, as a result of the local tectonic setting in this area, the influence of geogenic CO_2 incorporation was clearly high. The dilution factor associated with this effect ranges between 0.24-0.64. Consequently, the corrected ^{14}C ages are considerably reduced compared with determined by classical models. Accordingly, the ground water in the study area can be divided into three mian groups: (1) fresh, shallow and cold water of less than 1 ka age; (2) brackish, deep and thermal water of rather old age (10.9-12.3 ka B.P.); (3) an admixed grounwater of intermediate quality and age (1.9-6.7 ka B. P.).

Key Words

Hydrogeology, istope geochemistry, palaeowater, Syria, thermal waters.

* This paper appeared in *Hydrogeology Journal.* 2002.

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

PET studies were read without knowledge of any clinical data. Any focus of increased activity was described and given a probability of malignancy using a 5 point-scale (0: normal to 4: definitively malignant).

An individual biopsy was available for a total of 31 lesions. The sensitivity and specificity were 87% and 100% for FDG-PET, 100% and 100% for physical examination and 90% and 100% for CT respectively. In addition, 42 of 97 peripheral lymph node lesions observed by FDG-PET were clinically undetected, whereas the physical examination detected 23 additional nodal lesions. PET and CT both indicated 12 extranodal lymphomatous localizations. FDG-PET showed 7 additional extranodal lesions while 5 additional unconfirmed lesions were observed on CT. Regarding bone marrow infiltration, PET and biopsy were concordant in 24 patients with 11 true positive (TP) and 13 true negative (TN). However PET was FN in 11 patients and no biopsy was performed in one patient. The combination PET/CT/physical examination seems to be more sensitive than the conventional approach for staging low grade NHL. Its sensitivity however is unacceptably low for diagnosing bone marrow infiltration.

Key Words

FDG-PET, fluorine-18 fluorodeoxyglucose, non-Hodgkin's lymphoma, positron emission tomography.

★ This paper appeared in *Cancer Biotherapy and Radiopharmaceuticals*, Vol 16. No 4 (2001).

EFFECT OF NITRATE ADDITION ON THE EFFICIENT USE OF AMMONIUM SULFATE FERTILIZER ON CORN UNDER SALINE CONDITIONS. II. FIELD EXPERIMENT★

KH. KHALIFA

Department of Agriculture, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria

A. ZIDAN

Science Department, Teshreen University, P.O.Box 2230 Latakia, Syria

ABSTRACT

Two field experiments during two consecutive seasons, were conducted on corn (Zea mays L. var. Ghota-82), grown on a saline soil under flood irrigation system at ACSAD research station located at the Euphrates valley, Deir-Ez-zor district, east of Syria. The objective was to study the effect of applying different ratios of mixed NO_3-N and NH_4 -N fertilizers on the biomass yield of corn. Five rates of nitrogen (0, 50, 100, 150 and 200 kg N/ha) were applied either in a single or in combination of two forms of ^{15}N labelled nitrogen fertilizers $(^{15}NH_4)_2 SO_4$ and $Ca(^{15}NO_3)_2$. Total N,^{15}N, nitrogen use efficiency (N recovery) and dry matter yield were the parameters investigated. The results showed that: (1) The high concentrations of NH_4 -N reduced dry matter yield; (2) NO_3-N was more effective in increasing total N content of plant tissues than the same concentration of NH_4 -N; (3) Combination treatments always induced both higher yields and N content of plant tissues than single treatments of NH_4-N; (4) NH_4 -N form increased the NO_3-N uptake, and the NO_3-N form had an effect on the absorption of NH_4 -N; (5) the recovery of NO_3-N form was much higher than NH_4 -N form under saline soil conditions.

Key Words

nitrate, ammonium, ^{15}N nitrate, ratio nitrate / ammonium, nitrogen use efficiency.

★ This paper appeared in *Commun. Soil SCI. Plant Anal*, 32 (15&16) 2001.

THE EFFECTS OF BARLEY SEED INFECTED WITH PYRENOPHORA GRAMINEA ON STORAGE PROTEIN (HORDEIN) PATTERNS★

M. I. E. ARABI, N. MIRALI, M. JAWHAR, B. AL-SAFADI

Department of Molecular Biology and Biotechnology, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria.

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

THE CASIMIR EFFECT: A FORCE FROM NOTHING*

A. LAMBRECHT
Laboratoire Kastler Brossel, Université Pierre et Marie Curie

ABSTRACT

The attractive force between two surfaces in a vacuum - first predicted by Hendrik Casimir over 50 years ago - could affect everything from micromachines to unified theories of nature.

Key Words

Casimir effect, field radiation pressure, vacuum.

* This article appeared in *Physics World*, September 2002. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

SOME MILLIONTHS OF SECOND AFTER BIG BANG*

M. GONIN
Physicists in Polytechnique School, Paris, France

ABSTRACT

Can we apply enough heat to the matter in order to release its elementary constituents trapped in composite particles only a few instants after the birth of the Universe? this was accomplished by physicists after on effort of twenty years.

Key Words

Big Bang, primordial universe, matter, particle, quark, collider.

* This article appeared in *La Recherche*, 357 October 2002. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

PAPERS

POSITRON EMISSION TOMOGRAPHY (PET) FOR STAGING LOW-GRADE NON-HODGKIN'S LYMPHOMAS (NHL)*

F. NAJJAR
Department of Nuclear Medicine, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria.

ABSTRACT

Although positron emission tomography (PET) imaging is now recognized as a useful tool for staging intermediate and high-grade non-Hodgkin's lymphoma (NHL), few date are available regarding its accuracy in low grade NHL. We therefore studied 36 patients with histologically proven low-grade NHL. Whole-body 2-(fluorine-18) fluoro-2-deoxy-D-glucose (FDG) PET was performed at the time of initial diagnosis (n = 21) or for disease recurrence (n = 15) prior to any treatment. PET results were compared to those of physical examination and computed tomography (CT).

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

ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE

ARTICLES

OPTICAL FREQUENCY METROLOGY*

TH. UDEM, R. HOLZWARTH & T. W. HÄNSCH
MAX-Planck-Institut, für Quantenoptik, Garching, Germany

ABSTRACT

Extremely narrow optical resonances in cold atoms or single trapped ions can be measured with high resolution. A laser locked to such a narrow optical resonance could serve as a highly stable oscillator for an all-optical atomic clock. However, until recently there was no reliable clockwork mechanism that could count optical frequencies of hundreds of terahertz. Techniques using femtosecond-laser frequency combs, developed within the past few years, have solved this problem. The ability to count optical oscillations of more than 10^{15} cycles per second facilitates high-precision optical spectroscopy, and has led to the construction of an all-optical atomic clock that is expected eventually to outperform today's state-of-the-art caesium clocks.

Key Words

optical frequency, radio frequency, optical oscillations. femtosecond-laser, frequency comb, single trapped ion, all-optical atomic clock, frequency synthesizer, optical spectroscopy.

* This article appeared in *Nature*, 14 March 2002. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

QUANTUM INFORMATION PROCESSING WITH ATOMS AND PHOTONS*

C. MONROE
FOCUS Center and Department of Physics, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan 48109-1120, USA

ABSTRACT

Quantum information processors exploit the quantum features of superposition and entanglement for applications not possible in classical devices, offering the potential for significant improvements in the communication and processing of information. Experimental realization of large-scale quantum information processors remains a long-term vision, as the required nearly pure quantum behaviour is observed only in exotic hardware such as individual laser-cooled atoms and isolated photons. But recent theoretical and experimental advances suggest that cold atoms and individual photons may lead the way towards bigger and better quantum information processors, effectively building mesoscopic versions of Schrödinger's cat' from the bottom up.

Key Words

quantum cryptography, quantum imformation processor, quantum bit (qubit), cavity quantum electrodynamics, optical lattice, quamtum network, quantum teleportation.

* This article appeared in *Nature*, 14 March 2002. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

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

REPORTS (Unpublished works of the Syrian A. E. C. Staff)

☐ DESIGN OF MULTI-DIELECTRIC-FILM OPTICAL FILTERS. . . . . M. B. ALSOUS 96
FOR FREQUENCY-DOUBLED-ND-YAG PUMPED RAMAN
LASERS AND FOR CVL PUMPED DYE LASERS

☐ THE LATEST TRENDS IN THE DEVELOPMENT . . . . . M. CHAHOUD 97
OF SOLAR CELLS

☐ NATURAL RADIOACTIVITY IN SOME DRINKING . . . . . M. S. AL-MASRI, ... 99
WATER SOURCES OF COASTAL, NORTHERN, EASTERN E. BYRAKDAR, Y. AMIN,
AND ALJAZERA REGIONS IN SYRIA S. ABU BAKER

☐ INVESTIGATION OF INFRARED SPECTRA IN . . . . . M. ALIBRAHIM 100
URANIUM COMPLEXES

☐ THE FINAL REPORT ON NEONATAL SCREENING OF . . . . . N. HAMADEH, ... 101
CONGENTIAL HYPOTHYROIDISM N. EDDIN ALI, F. AL SHEIKH, I. GHOURI

☐ CHARACTERIZATION OF CERTAIN REPRODUCTIVE . . . . . M. ZARKAWI 103
PARAMETERS IN SYRIAN FEMALE AWASSI SHEEP DURING DIFFERENT STAGES

SELECTED NEW BOOKS (Review and analysis)

☐ THE SECRETS OF THE WORLD OF . . . . . By: F. CLOSE, M. MARTEN & C. SUTTON 107
PARTICLES ELEMENTARY OVERVIEW & ANALYSIS: K. PEACH
THE PARTICLE ODYSSEY: A JOURNEY TO THE HEART OF MATTER

☐ OXYGEN: THE MOLECULE THAT MADE THE WORLD . . . . . BY: N. LANE 108
PROTECTION IN THE TWENTIETH CENTURY OVERVIEW & ANALYSIS: T. B. L. KIRKWOOD

ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE IN ENGLISH 116

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

CONTENTS

ARTICLES

☐ OPTICAL FREQUENCY METROLOGY . . . . . TH. UDEM, ... 7
R. HOLZWARTH & T. W. HÄNSCH

☐ QUANTUM INFORMATION PROCESSING WITH . . . . . C. MONROE 14
ATOMS AND PHOTONS

☐ THE CASIMIR EFFECT: A FORCE FROM NOTHING . . . . . A. LAMBRECHT 27

☐ SOME MILLIONTHS OF SECOND. . . . . M. GONIN 32
AFTER BIG BANG

NEWS

☐ A DAWN FOR CARBON ELECTRONICS ? . . . . . *SCIENCE* 48

☐ POLYMER DEVICES LIVE LONGER . . . . . *PHYSICS WORLD* 49

☐ LIQUID CRYSTALS STACK UP . . . . . *NATURE* 51

☐ RADIATION PROTECTION ASPECTS OF MINERAL . . . . . *EUROPEAN ALARA NEWSLETTER* 52
INSULATION WOOL WITH ENHANCED NATURAL RADIOACTIVITY

☐ SMOPIE: STRATEGIES AND METHODS FOR . . . . . *EUROPEAN ALARA NEWSLETTER* 54
OPTIMISTION OF INTERNAL EXPOSURE OF WORKERS
FROM INDUSTRIAL NATURAL SOURCES

☐ ELECTRON BUNCHES ARE CUT DOWN TO SIZE . . . . . *PHYSICS WORLD* 56

☐ DARK DESTROYERS. . . . . *NEW SCIENTIST* 57

☐ RADIUM . . . . . *ANL* 58

PAPERS (Published worldwide by the Syrian A. E. C. Staff)

☐ POSITRON EMISSION TOMOGRAPHY (PET) FOR STAGING . . . . F. NAJJAR 61
LOW-GRADE NON-HODGKIN'S LYMPHOMAS (NHL)

☐ EFFECT OF NITRATE ADDITION ON THE EFFICIENT. . . . . KH. KHALIFA, A. ZIDAN . . . 69
USE OF AMMONIUM SULFATE FERTILIZER ON CORN
UNDER SALINE CONDITIONS. II. FIELD EXPERIMENT

☐ THE EFFECTS OF BARLEY SEED INFECTED WITH . . . . . M. I. E. ARABI, ... 79
PYRENOPHORA GRAMINEA ON STORAGE N. MIRALI, M. JAWHAR
PROTEIN (HORDEIN) PATTERNS B. AL-SAFADI

☐ EFFECTS OF SULPHATE REDUCTION AND GEOGENIC . . . . . Z. KATTAN 83
CO_2 INCORPORATION ON THE DETERMINATION OF ^{14}C
GROUNDWATER AGES - A CASE STUDY OF THE PALAEOGENE
GROUNDWATER SYSTEM IN NORTH-EASTERN SYRIA

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

Notice: Scientific matters and different inquiries; subscriptions, address changes, advertisements and single copy orders, should be addressed to the journal's address:
Damascus, P.O. Box 6091 Phone 6111926/7, Fax 6112289, Cable; TAKA.
E-mail: aalam_al_zarra@aec.org.sy
Subscription rates, including first class postage charges: a) Individuals *$ 30 for one year*
b) Establishments *$ 60 for one year*
c) For one issue *$ 6*
It is preferable to transfer the requested amount to:
The Commercial Bank of Syria N-13 P.O. Box 16005 Damascus-Syria account N-3012\2
Cheques may also be sent directly to the journal's address.

The views expressed in any signed article in this journal do not necessarily represent those of the AEC of Syria, and the commission accepts no responsibility for them.

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

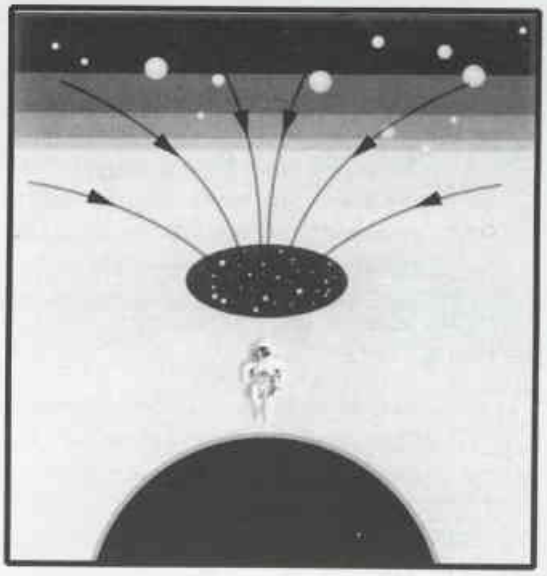
Managing Editor
Dr. Ibrahim Othman
Director General of A. E. C. S.

Editorial Board
Dr. Tawfik Kassam
Editor In-Chief

Dr. Mohammed Ka'aka
Dr. Fouad Al-Ijel
Dr. Ahmad Haj Said
Dr. M. Fouad Al-Rabbat
Dr. Elias Abouchahine

AALAM AL-ZARRA

JOURNAL OF THE ATOMIC ENERGY COMMISSION OF SYRIA



85
18th Year / May - June
2003

A journal published in Arabic six times a year, by the Atomic Energy Commission of Syria. It aims to disseminate knowledge of nuclear and atomic sciences and of the different applications of Atomic energy.

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