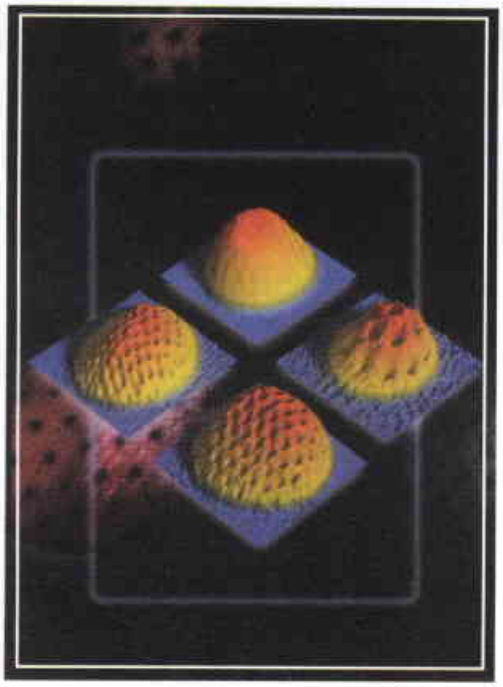
عالَم الذرّة

مجلة هيئة الطاقة الذرية السورية



84

السنة الثامنة عشرة / آذار - نيسان

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

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

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

5- إذا كانت المادة مؤلفة أو 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 (★ , + , O, X ...) 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

☐ المادة الفائقة البرودة . . . . . ك. ساوثول 7
ترجمة هيئة التحرير

☐ الذرّات الباردة والتحكّم الكمومي . . . . . س. شو 8
ترجمة هيئة التحرير

☐ تكاثف بوز- آينشتاين للغازات الذرّية . . . . . جيمس ر.أنغلين، وُلْفغانغ كِتِرْلي 15
ترجمة هيئة التحرير

☐ الضوئيات الذرّية اللاخطية والكمومية . . . . . س .ل . رولستون و و . د .فيليس. 27
ترجمة هيئة التحرير

☐ مواجهات كمومية للنوع البارد . . . . . ك. بورنت وآخرون 36
ترجمة هيئة التحرير

أخبار علمية

☐ هندسة العُيوب الواعدة في الفوتونيات 48
☐ الآثار الكمومية للثقالة 49
☐ تحطيم مائع فائق 51
☐ تقوية الضوء الليفي 52
☐ عوالم الحركة المتبادَلة 54
☐ وضع المعايير 56
☐ المجاهر الإلكترونية تسبر أبعاداً جديدة 57
☐ الذرّات والنوى والتفاعلات النووية 58
☐ الكوبالت 61

ورقات البحوث (أعمال باحثي الهيئة المنشورة في المجلات العالمية)

☐ الاسترخاء المغنطيسي لشريحة ذات ناقلية: . . . . . د. عادل نادر 64
وصف التحول الزمني

☐ تأثير جرعات من أشعة غاما المثبطة لإنبات . . . . . د. جورج سعور، د. حياة المكي. 69
درنات البطاطا على بيوض حشرة فراشة درنات البطاطا
Phthorimaea operculella Zeller (Lep., Gelechiidae)

☐ تأثير رطوبة التربة والسماد البوتاسي على تكوين العقد الجذرية . . . . . د. فواز كرد علي، 75
وإنتاج المادة الجافة وتثبيت الآزوت الجوي في الحمّص فريد العين، محمد الشماع
(Cicer arietinum L.) والفول (Vicia faba L.)

التقارير العلمية (أعمال باحثي الهيئة غير المنشورة)

☐ معالجة إحصائية لنتائج برنامج المقارنة الداخلي لقياس الناقلية الكهربائية EC . . . . . عبد الغني شخاشيرو 84

☐ تأثير جرع منخفضة من أشعة غاما على تحمّل نباتات الشعير المزروعة تحت الظروف المالحة . . . . . د. طريف شربجي، د. خلف خليفة، فريد العين 86

☐ التحرّي الإشعاعي والجيوكيميائي عن اليورانيوم في التوضعات الرباعية والنيوجينية في منطقة منظومة فالق الرصافة (الجهة الشامية - الفرات الأوسط) . . . . . أحمد العلي، د. يوسف جبيلي، موسى عيسى 88

☐ دراسة تأثير أشعة غاما على قوة لصق مادة الإيبوكسي . . . . . زكي عجي 89

☐ تأثير الأشعة والتقليم وإزالة جذور نباتات الكرمة المستنبتة في الزجاج على نمو هذه النباتات في مرحلة الأقلمة . . . . . د. طريف شربجي، زهير أيوبي، عجاج دحدوح، د. سعد الدين خرفان 91

☐ أتمتة عملية إدارة حركة العيّنات في مخابر التحليل . . . . . عبد الغني شخاشيرو، حسين الأشقر 93

كتب حديثة مختارة

☐ مدخل إلى مسرّعات الجسيمات الثنائية والبصريات اللاخطية المترابطة ذات الإكسيتونات . . . . . (تأليف: إ. ج. ن. ويلسون) (عرض وتحليل: ر. د. روث) 96

☐ فيزياء الوقاية الإشعاعية . . . . . (تأليف: جيمز إ. مارتن) (عرض وتحليل: ج. أ. دي) 97

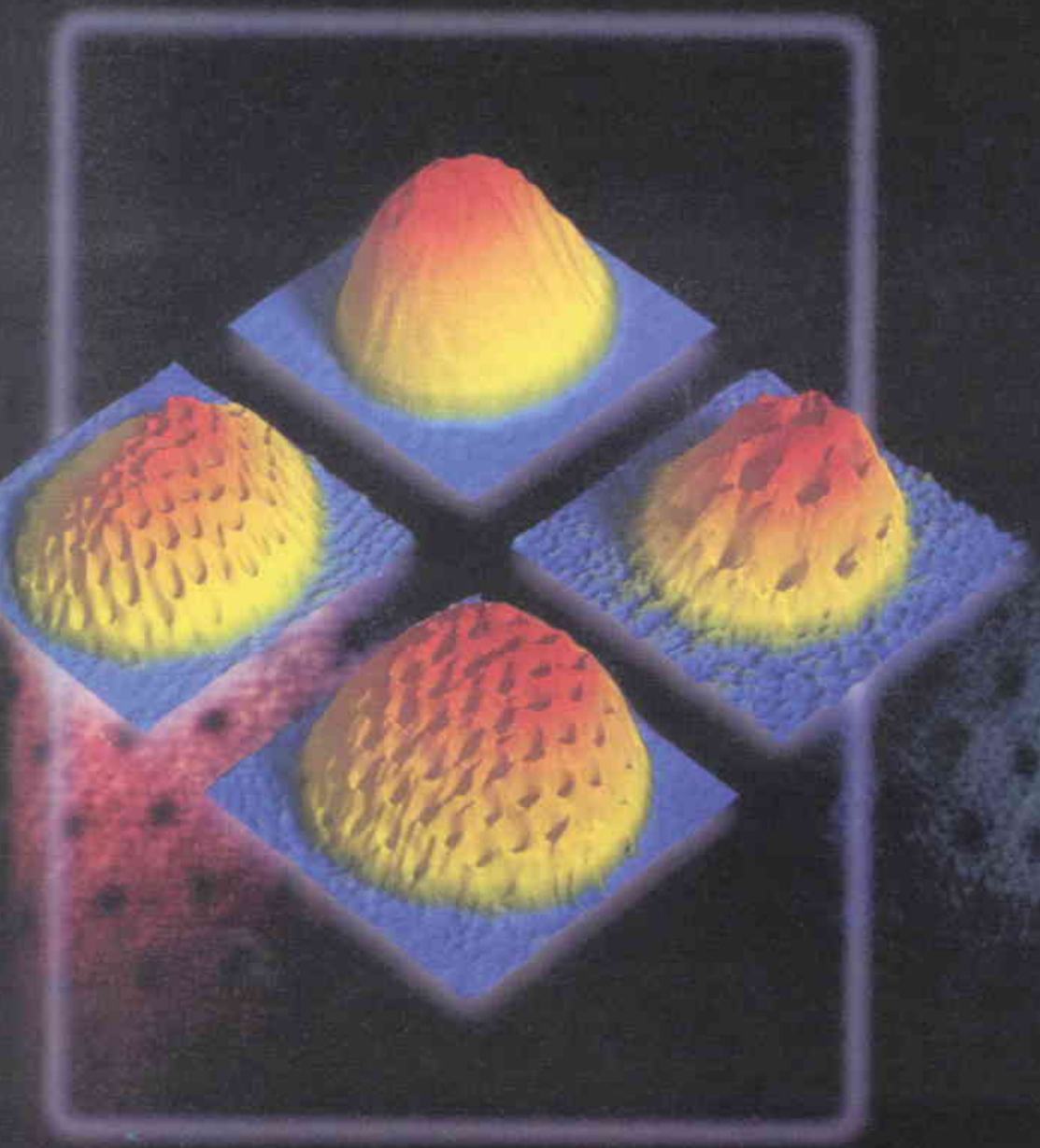
☐ الجرعة المسموح بها: تاريخ الوقاية الإشعاعية في القرن العشرين . . . . . (تأليف: ج. صامويل ووكر) (عرض وتحليل: ج. أ. دي) 97

ملخصات باللغة الإنكليزية عن الموضوعات المنشورة في هذا العدد. 104

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

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

المقـــالات



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

المادة الفائقة البرودة*

ك. ساوثول

تحت شروط فائقة البرودة لايمكن تصوّرها، تترقّب أنواع جديدة من السلوك الفيزيائي أن يتم اكتشافها. ومع استمرار تضاؤل الحركات الحرارية للذرّات والجزيئات وتناهيها في الصغر، لا بدّ للعالم الكمومي المحيّر - والمحجّب عادةً عند درجات حرارة عالية - أن يصل إلى داخل بؤرة الرؤيا.

إن الميوعة الفائقة للهليوم السائل، والتي أول ما لوحظت في الثلاثينيات من القرن الماضي، هي إحدى أولى الأمثلة وأكثرها واقعية. ورغم أن هذه الظاهرة تحصل تماماً عند الدرجة 2 كلفن، فإن تقانة التبريد الحديثة بالليزر تستطيع أن تتوصل إلى درجات حرارة أكثر انخفاضاً؛ وبالتالي ما الذي يحصل عندما نقترب من الصفر المطلق؟

تمّت الإجابة على هذا السؤال بشكلٍ مثير، من أجل الغازات الذرّية، عام 1995 عند إنتاج حالة كمومية للمادة عُرفت باسم كُثافة بوز-آينشتاين. إن هذه الكُثافة التي تشكّلت عند درجات حرارة النانو كلفن، هي عبارة عن سحابة من الذرّات لاتتقيد بقواعد الفيزياء المعروفة، تضيع الهوية الذرّية عندما تصبح الجسيمات غير واضحة المعالم في كيانٍ كمومي مترابط.

ترتبط الكُثافات والموائع الفائقة فيما بينها بعلاقة حميمة معقدة ولو أن كثيراً من الأسئلة تظل محيطة بهذه العلاقة. يكمن الاختلاف الرئيس بين كُثافات الغازات الذرّية والهليوم الفائق الميوعة في قوة تأثرات الجسيمات، التي هي أضعف بكثير في المنظومة السابقة. إن هذه الصورة المبسّطة لكُثافات بوز-آينشتاين تجعلها جذّابة إلى حدٍّ كبير من أجل الدراسات النظرية.

كذلك، يُقدّم مصدر الذرّات المترابطة أداة عملية رائعة. وتماماً مثل تطور ضوئيات الليزر التي طرأت عليها تغييرات أساسية، فإن القدرة على توليد أمواج مادية مترابطة تفتح المجال لإمكانيات أبحاث مثيرة. ويمكن حالياً إجراء عمليات ضوئية لاخطّية، مثل المزج الموجي الرباعي، باستخدام ذرّات بدلاً من فوتونات؛ ولوحظ تضخيم مادة - موجة، كما تمّ التوصّل إلى حالات ذرّية "مضغوطة" شبيهة بالحالات الضوئية.

ورغم أن تكاثف بوز-آينشتاين هو أحد انتصارات تقانة التبريد الليزري، فهو بكلّ تأكيد لا يشكل الحدث الوحيد الناجح. إن الذرّات والأيونات المفردة الفائقة البرودة هي أيضاً متعددة الجوانب إلى حدٍّ كبير، مما يجعل لها تأثيراً في حقول كتلك الخاصة بعلم القياس ومعالجة المعلومات الكمومية.

تغطي هذه المجموعة من المقالات الاستعراضية التالية بعضاً من المشاهد المهمّة في الأبحاث الحديثة للمادة الفائقة البرودة - الحقل الذي حاز على جائزتي نوبل خلال السنوات الخمس الأخيرة.■

دوّامات كمومية في كُثافة دوّارة لذرّات الصوديوم. تمثل الصور مقطعين ثنائيي البعد عبر توزع الكثافة، وتبيّن الحدود الدنيا للكثافة الممكن نسبها لقلوب الدوّامات.

الذرّات الباردة والتحكّم الكمومي — 8
س. تشو

تكاثف بوز-آينشتاين والغازات الذرّية — 15
ج.ر أنغلين و يو كتيرل

ضوئيات ذرّية لاخطّية وكمومية — 27
س.ل. رولستون و يو. د. فيليبس

مواجهات كمومية للنوع البارد — 36
ك. بورنت، ب.س. جوليين، ب.د. ليت، ي. تيسنغا، س.ج. وليامز

في العدد القادم

علم قياس التواتر الصوتي
ث. أودم، ر.هولتزوارث، ت. يو. هانش

معالجة معلومة كمومية بالذرّات والفوتونات
س. مونرو

* نُشر 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

الذرّات الباردة والتحكّم الكمومي*

س. شو
قسم الفيزياء - جامعة ستانفورد - كاليفورنيا - الولايات المتحدة الأمريكية

ملخص

تَستهلُّ هذه النظرة العامة مجموعةً من المقالات المرجعية المتعمقة حول الفيزياء وتطبيقات الذرّات المبرّدة بالليزر. وسيجري عرض هذا العمل من منظور تاريخي يُرى فيه التبريد بالليزر والأسر كواحد من اتجاهات الأبحاث المتعدّدة التي تهدف إلى التحكم بدرجات الحرية الداخلية والخارجية للذرّات والجزيئات.

الكلمات المفتاحية: الساعة الذرّية، تكاثف، تحكّم، الميوعة الفائقة.

كان التعرّف على تطبيقات التبريد بالليزر والأسر الذريّ أكثر المشاهد إثارة في العاشر من شهر كانون الثاني لعام 2001 بمناسبة الذكرى المئوية لجائزة نوبل. لقد مُنحت جائزة الفيزياء لـ إريك كورنيل E. Cornell وكارل ويمان C. Wieman و ولفغانغ كتيّرل W. Ketterle لإنجازهم "تكاثف بوز - آينشتاين للذرّات القلوية وللدراسات الأساسية المبكّرة لخواص الكثافات". إن إثبات تكاثف بوز - آينشتاين يُميّز تحقيق سبعين عاماً من الحلم الذي بدأ مع التنبؤ الرائع لألبرت آينشتاين القائم على حسابات ساتندرا ناث بوز S. N. Bose. لقد بيّنوا أن تبريد غاز من الذرّات إلى درجة حرارة منخفضة بقدرٍ كافٍ وإلى كثافات عالية، سينهار متحولاً إلى حالة كمومية وحيدة ستكون فيها جميع الخواص الفيزيائية المستخدمة لوصف كل ذرّة كموقعها وسرعتها هي نفسها.

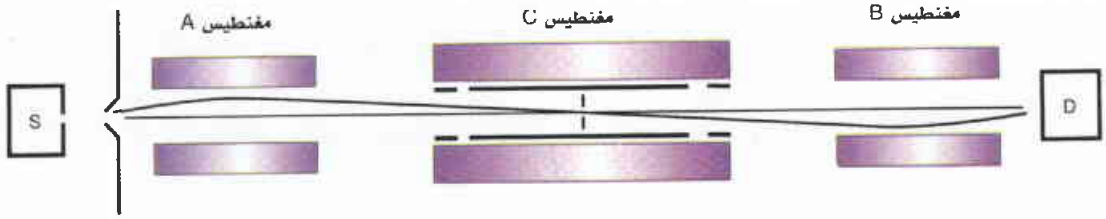
يُعدّ إنجاز تكاثف بوز - آينشتاين أحد المشاهد المهمة على مقدرتنا في مناولة موقع الذرّات وسرعتها. لقد قادت هذه التقانة إلى فورة في فعّالية الأبحاث حيث لم تُظهر خطوات الاكتشافات الأساسية أية إشارة لتراجع في هذه الفعالية. وفي هذه المجموعة الحديثة من المقالات المتعمقة يجري استعراض عيّنة من التقدم العلمي الحديث بدءاً بمراجعة لتكاثف بوز - آينشتاين للباحثين أنغلين Anglin وكتيّرل في الصفحة 15 من هذا العدد. ويمكن النظر إلى العمل الذي يُناقش في الصفحات التالية كامتداد لقدرتنا في التحكّم بدرجات الحرية الكمومية للذرّات. إن التحكّم بهذه المتغيرات مرتبط بقدرتنا على وضع الذرّات والفوتونات في مجموعة محدّدة تماماً من الحالات الكمومية وبمناولة هذه الحالات بشكلٍ مترابط.

التحكّم بدرجات الحرية الداخلية للذرّات

تقنيات التواترات الراديوية

بدأ آ.آ. رابي Rabi الخطوة الأولى في التحكّم المترابط للحالات الكمومية للذرّات والجزيئات وهو الذي أدخل تقنيات تجاوب التواتر الراديوي إلى الحزم الجزيئية عام 1938 [1]. وقد شكّلت هذه الطرائق الأساس لمطيافية دقيقة جزيئية وذرّية ونووية وخدمت كمعيار في التحكم المترابط للذرّات.

يبيّن الشكل 1 الرسم الكفافي لجهاز تقليديٍّ استُخدم في الأربعينيات من القرن الماضي من أجل تجاوب الحزمة الذرّية. يتكون هذا الجهاز من منطقة اختيار الحالة ومنطقة تجاوب التواتر الراديوي ومنطقة المحلّل. يستخدم التواتر الراديوي في المنطقة C لإثارة ذرّة في الحالة البدائية $|a>$ إلى الحالة النهائية $|b>$ بتوليف التواتر إلى التجاوب الذرّي، $\omega_{ab}=(E_a-E_b)/\hbar$، حيث تدلّ E_a و E_b على طاقتي الحالتين الكموميتين $|a>$ و $|b>$. حلّ الليزر في التحارب الضوئية الحديثة محلّ منبع التواتر الراديوي، وطرائق الضخ الضوئي [2] هي الآن الطرائق المفضلة لتحضير



الشكل 1- جهاز تجاوب حزمة ذرّية تقليدي. تنشق الذرّات من المصدر في الغرفة s إلى غرفة خلاء وترسل خلال ثلاث مناطق لحقل مغنطيسي. تتألف المنطقة الأولى من حقل مغنطيسي لامتجانس يستخدم في حرف الذرّات بعزم مغنطيسي معين خلال شق في المنطقة C. تنجرف الذرّات خلال المنطقة C المؤلفة من حقل مغنطيسي منتظم الانحراف ومن وشائع تواتر راديوية، ومن ثم تنجرف خلال المنطقة B. في غياب المغنطيس B لاتصل الذرّات، التي تعبر الشق، إلى المكشاف. وعلى أية حال، فإن المغنطيس B، باختيار دقيق لتدرج الحقل، سيبئّر الذرّات في حالة ذرّية معينة على المكشاف D

* نُشر 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

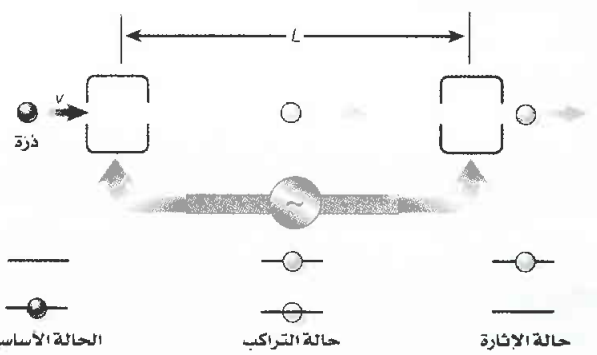
الحالة الداخلية البدائية للذرّات ، ويستخدم الكشف التفلوري بدلاً من مغنطيس التحليل B.

لقد تطلّب الأمر أربعة عقود حتى تمكّنت الطرائق الليزرية أن تجاري التحكّم الطوري المترابط لقياسات التواتر الراديوية المكرّرة. هنالك ثلاثة أسباب أساسية تكمن وراء تخلُّف التحكّم الضوئي للحالات الذرّية عن عمل تواتر الأمواج الراديوية والمكروية. السبب الأوّل هو أنَّ مصادر تواتر الأمواج الراديوية والمكروية أفضل بكثير من مصادر الضوء المرئي، والثاني أنَّ التأثر المترابط للإشعاع الراديوي والموجي المكروي لثنائي القطب الكهربائي مع الذرّات لا يتأثر بتأثيرات انزياح الطور للإصدار التلقائي الموجود في التحولات الضوئية. والثالث هو أنّه لاتوجد في التحوّلات الضوئية التعقيدات الناتجة عن تأثيرات دوبلر Doppler.

كان من السهل نسبياً توليد إشعاع التواتر الراديوي لأن المكوّنات الأساسية المستخدمة لإنتاج دارة مهتزّة مصنوعة من أجزاء جهرية الحجم. بعد أن تنبأ ماكسويل Maxwell بأن الضوء المرئي والحرارة عبارة عن حقلين كهربائي ومغنطيسي مهتزّين يخضعان لمعادلة موجية، إنكبَّ هاينرش هرتز H. Herz على الأمواج الراديوية. وكانت القدرة على توليد وكشف أمواج راديوية منخفضة التواتر ذات خواص موجية مثل التداخل والانكسار والتي أحدثت الوصلة المثيرة بين الضوء المرئي والحقول المتغيرة مع الزمن التي درسها مايكل فارادي M. Faraday.

الساعات الذرّية والتوسّع نحو المنطقة الضوئية

في عام 1949 وسّع نورمان رامسي N. Ramsey طريقة رابي في تجاوب الحزمة الذرّية وذلك بتقسيم منطقة التجاوب إلى منطقتين منفصلتين من الحقل الاهتزازي [3] (الشكل 2). في التجويف الموجي المكروي الأول، تثار الذرّات إلى تراكب متساوٍ من الحالات الأساسية والمثارة. تنتقل الذرّات عندئذ من خلال منطقة إشعاع حرٍّ مع عزومها المغنطيسية التي تدور بتواتر مبادر $\omega_{ab}=(E_a-E_b)/\hbar$، وتدخل إلى منطقة إثارة ثانية. وإذا ما تمَّ توليف الإشعاع في التجويف الثاني إلى التجاوب الذرّي وكان في نفس الطور مع الإشعاع في التجويف الأول، تكون



الشكل 2- طريقة رامسي «حزمة الحقل المهتز يعطى زمن القياس الكمومي بالعلاقة $\Delta t = L/v$ حيث تدلّ v على سرعة الذرة. وإذا ما تمَّ توليف هزاز الموجة المكروي إلى تواتر دقيق للتجاوب الذرّي، فإن الإثارة تكون تامة. وعندما يكون تواتر هزاز الموجة المكروي مختلفاً بشكل بسيط، فإن مجموعة الذرات ستهتزُّ بين الحالة الأساسية والحالة المثارة، وذلك حسب طور إشعاع الموجة المكروية بالنسبة إلى اختلاف الطور بين الحالتين الذريتين.

الإثارة قد اكتملت. وبعد العديد ($\sim 10^6$) من دورات الاهتزاز بين منطقتي التآثر، إذا كان الإشعاع نصف دورة خارج الطور مع الذرّة المبادرة، تُعاد الذرّة إلى الحالة الأساسية. لقد كان هذا القياس القائم على التداخل الكمومي بين الحالتين الذرّيتين الداخلتين أول مقياس تداخل ذرّي.

يكون عرض خط التداخل $\Delta\omega=\Delta E/\hbar$ للتجاوب الذرّي في هذا النوع من تجربة الموجة المكروية محدوداً بمبدأ الارتياب لهايزنبرغ $\Delta E\Delta t\geq\hbar$ حيث تدل Δt على زمن القياس. وقد سمح ابتكار رامسي بزيادة زمن القياس هذا بمرتبتين أو ثلاث مراتب من المقادير. تنتج تقنية القياس هذه ساعة ذرّية ذات ضبط ودقة غير عاديين عندما يجري تثبيت الهزّاز الموجي المكروي إلى تواتر تجاوب ذرّي قابل للتكرار ومحدّد جيداً. ومع حلول التبريد الليزري أمكن استخدام طريقة رامسي فوق نافورة ذرّية من الذرّات [5 ، 4] تعمل على زيادة زمن القياس بمرتبتين أخريين من المقادير. تبقى الساعات الذرّية (الشكل 3) أحد أكثر التطبيقات أهمية للتآثر المترابط للذرّات مع الإشعاع الكهرطيسي.

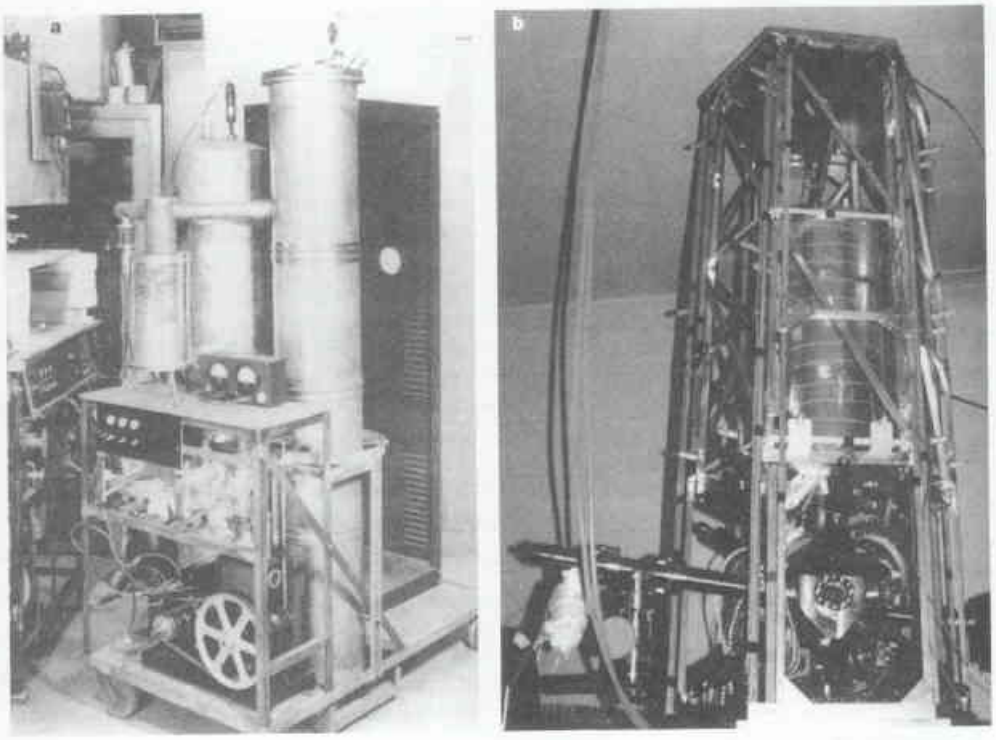
إنَّ التحسينات في مقدرتنا على تحليل الزمن إلى فترات متساوقة الأجزاء باضطراد وقابلة للتكرار (ونعني قياس الزمن) قد تلازمت مع مقدرتنا على عدّ عبور المجالات الزمنية الأقصر دائماً. وجوهر الأمر أنه كلما كانت الهزازات أسرع كانت الساعات أفضل. ولساعة السيزيوم الذرّية القياسية التي تهتز بمعدّل 9,192,631,770 مرة في الثانية ارتياب مطلق قدره $\Delta\upsilon/\upsilon\sim 10^{-15}$. ولتحسين هذه الدقة بمقدار عدّة مراتب كان ضرورياً أن تمتد طريقة رامسي إلى النطاق الضوئي.

ضمن النطاق الموجي المكروي، يغدو أمراً بديهياً التأكد أنَّ جميع الذرّات في التجربة تمارس الطور الكهرطيسي ذاته، عندما تكون الأبعاد $\lambda/2$ للموجة المستقرة في التجاويف أكبر من الانتشار العرضاني للحزمة الذرّية. على أية حال، إذا استخدمت موجتان ضوئيتان مستقرتان، تستطيع الذرّات التي تملك سرعتين عرضانيتين أن تمارس بسهولة مسارات خلال الجهاز حيث يكون فرق الطور الكلّي بين منطقتي رامسي مختلفاً بمقدار نصف دورة، كما هو مبيَّن في الشكل 4. وُجدت حلول لهذه المسألة بالانتقال إلى هندسة ذات ثلاث مناطق منفصلة لأمواج مستقرة [7 ، 6]، أو باستخدام انتقالات ثنائية الفوتون خالية من مفعول دوبلر [8]، أو التآثر مع أربع موجات ضوئية سارية متتابعة [9].

في البداية، لم يُؤخذ في الاعتبار، الارتداد الذرّي العائد للضوء، لكنه، في عام 1989، أدرك كريستيان بوردي C. Borde [10] أن هندسة المناطق الأربع [11 ، 12] تخلق مقياس تداخل ذرّي مع الممرات الذرّية المفصولة مكانياً. وهكذا، أدّى الامتداد المباشر لطريقة الحقل المهتز المفصول لرامسي في منطقة الموجة المكروية للنطاق الضوئي إلى مقاييس تداخل ذرّية مفصولة مكانياً. لقد أدّت مقاييس التداخل الذرّية المعتمدة على الانتقالات الضوئية (والطرائق المتبناة أيضاً من الأبحاث التي تستخدم التجاوب المغنطيسي النووي) إلى قياسات مضبوطة ودقيقة للثقالة [13] ولتدرجات الثقالة [14] وللدورانات [15]، وللارتداد الفوتوني للذرّة [16].

هنالك اختلاف واحد مهم جداً بين مقاييس التداخل الذرّية المصمّمة للساعات ومقاييس التداخل الذرّية المطوّرة لقياس تأثيرات العطالة أو

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



الشكل 3– الساعات الذرّية. **a)** أول ساعة سيزيوم ذرّية صنعت من قِبَل جيرولد زاتشارياس J. Zacharias اقترح زاتشارياس أيضاً ساعة سيزيوم مستخدماً نافورة من الذرّات لاختبار تنبؤ آينشتاين الذي ينصُّ على أن الساعة ستتباطأ عند النهوض في كمون ثقالي. لقد فشل في بناء نافورة ذرّية، ورغم أنه لم ينشر اقتراحه إلا أن محاولته انتقلت إلى جيلين لاحقين من الفيزيائيين بالتلقين.
b) ساعة روبيديوم ذرّية صنعت من قِبَل المكتب الوطني للقياس BNM-LPTF– المختبر الأساسي للزمن والتواترات والمدرسة العليا للأساتذة في باريس. يتم أسر الذرّات وتبريدها في الجزء الأسفل من الجهاز قبل أن تطلق إلى الأعلى مسافة متر واحد تقريباً. تُقدّر دقة هذه الساعة بجزء من 10^{15} جزء أو سبع دقائق على مدى من الزمن يساوي عمر الكون (حوالي 14 بليون سنة).

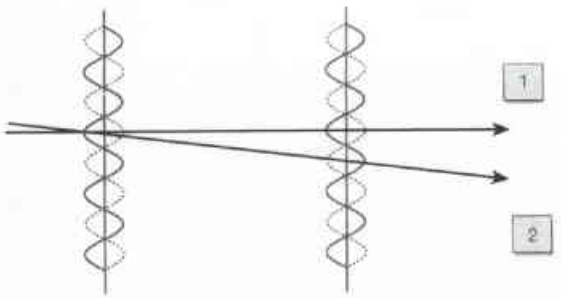
الثوابت الأساسية. جرى حثُّ تشيبوتاييف Chebotayev وبوردي Bordi ومعاونيهما للبحث عن طريقة تمكّنهم من تثبيت ليزر حتى تجاوب ضوئي عالٍ Q، بينما تجاوزت مقاييس التداخل الذرّية المطوّرة من قِبَل كازيفتش Kasevich وتشو Chu متطلبات ليزر عالي الثبات باستخدام انتقالات رامان Raman بين حالتين أساسيتين للذرّة [17]. تمَّ تقدير المِيْز المنجز لمقاييس التداخل الذرّية هذه (10^{-1} ~ هرتز خارج الزياح التواتر لـ 10^{7} ~ هرتز) من فرق التواتر لحزمتين ليزريتين مستخدمتين لإثارة انتقال رامان. وحيث يمكن لتواترات الليزرين أن تكون مثبتة الطور كل إلى الأخرى بطرائق تواتر راديوي، فقد سمحت التشكيلة المذكورة آنفاً بتحكم طوري كامل للانتقالات الضوئية ثنائية الفوتون.

التحكّم بدرجات الحرية الخارجية للذرّات

إن تطوُّر الساعات الذرية هو أحد أمثلة الأعمال الجديرة بالاعتبار التي تمَّت في الخمسين سنة الماضية من أجل توسيع طرائق تجاوب الحزم الجزيئية وطرائق التجاوب المغنطيسي النووي الوثيقة الصلة بها إلى النطاق الضوئي. ولكنه تتوفر عمليات فيزيائية لا رديف لها في منطقة الأمواج الراديوية أو المكروية للطيف الكهرطيسي، وأحد الأمثلة عليها هو تبريد الذرّات بالليزر.

كان أول إثبات للتبريد بالليزر قد جرى بالأيونات المحصورة في مصائد في عام 1978 [18]. ومن ثمَّ تطورت طرائق التبريد الأيوني إلى درجة أصبح من الممكن معها تبريد أيون وحيد إلى أحفض سوية طاقة اهتزازية للمصيدة [19]. قادت هذه المقدرة بعدئذ إلى خلق حالات كمومية أصبحت فيها درجات الحرية الإلكترونية والحركية للأيون مرتبطة بشكل وثيق، ولا يمكنها بعد ذلك أن تتجزأ إلى "فضاءات هيلبرت Hilbert spaces" المنفصلة [20]. وقد نجم الكثير من التقدم المبكر في الحوسبة الكمومية من القدرة على وصل وشيك مترابطين لدرجات الحرية هذه. وبعكس الأيونات، تطلَّب تبريد الذرّات المعتدلة بالليزر عقدين آخرين من الزمان للوصول إلى حدّ نقطة الصفر [21– 25].

يتطلب التبريد بالليزر انتقال الأنتروبية من مجموعة الذرّات المبرّدة أصلاً إلى حقل الإشعاع. وتستخدم جميعُ طرائق التبريد المثبتة التبعثرَ الإشعاعي التلقائي كوسيلة لنقل هذه الأنتروبية، ولسوء الحظ فإن الإصدار التلقائي هو أيضاً آلية تسخين. وعند كثافات عالية بقدرٍ كافٍ، تتلاشى كفاءة التبريد بسبب الاصطدامات اللامرنة التي تسمح بانتقال الطاقة من درجات الحرية الداخلية إلى الخارجية. ومن أجل ذلك السبب، تُستخدم



الشكل 4– يبيّن الشكل مسارين ذرّيين متأثرين مع حزم ضوئية من الضوء. تجمّع الذرّات في زمن العبور بين منطقتي رامسي عدة دورات من الطور الضوئي. تُبيّن الذرّات التي تتحرك على طول المسار 1 اختلافاً في الطور مقداره نصف دورة في عدد من الدورات المتراكمة من الطور بالنسبة إلى الذرّات التي تتحرك على طول المسار 2. يُزيل وسطي السرع العرضانية في الحزمة الضوئية الاهتزازات في التجمع الذرّي التي كان عليها أن تحصل فيما إذا كان لجميع الذرّات السرعة العرضانية نفسها.

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

المراحل النهائية للتبريد اللازمة لتكاثف بوز-آينشتاين التبريدَ التبخيري [26, 27].

تستخدم الطرائق المطورة للتبريد بالليزر التبعثرَ التلقائي في المراحل البدائية من التبريد، ولكن ما أن تُبرّد ذرة ما حتى يُخمّد تأثر هذه الذرّة مع الضوء. قدّمت هذه الخدعة الرائعة في المخطط الأول للتبريد بالعصابة الجانبية الليزرية من قِبَل واينلاند Wineland وديميلت Dehmelt [28]، وكُرِّرَ ذلك العمل فيما بعد في كثير من مخططات التبريد، مثل الأسر الجماعي المترابط الانتقائي السرعة للذرّات المعتدلة [29]، وتبريد رامان للذرّات الحرّة [30]، وتبريد الذرّات بالعصابة الجانبية لرامان في الشبيكات الضوئية [31]، بالإضافة إلى المصائد الضوئية المطوّرة مثل المصيدة الضوئية المغنطيسية "المظلمة" [32].

التحكّم في الإصدار التلقائي

وعلى نحو لافت للنظر، يمكن تبديل خواص الإصدار التلقائي للذرّات إلى حدٍّ كبير بوضعها في تجويف كهرطيسي [33]. إن التأرجحات الكهرطيسية للخلاء الكمومي لاتنفك تخضع لمعادلات ماكسويل Maxwell، وإذا ما صمّم تجويف الموجة المكروية العالي Q ليكون خارج التجاوب مع الإشعاع عند الانتقال الذرّي، فسوف تُخفض إلى حد كبير التأرجحات الكمومية المسيرة للإصدار التلقائي [34]. إن إخماد الإصدار التلقائي الذي تمّ إثباته بذرّات ريدبرغ عام 1983 [35،36] قد توسّع أخيراً إلى المنطقة الضوئية بتجويف فابري-بيرو Fabry-Perot ذي النقاء فوق العالي والذي عزّز إمكانية الإصدار التلقائي في نمط واحد للتجويف أكثر من إمكانية الإصدار التلقائي في جميع أنماط الخلاء المنافسة الأخرى.

إن استخدام التجاويف الكهرطيسية ذو أهمية متزايدة في المناولة المترابطة لكلٍّ من الحالات الداخلية والخارجية للذرّات واقترانها مع الحقل الإشعاعي. فقد استعمل مثلاً، تجويف لاتجاوبي (ولكنه مازال مقترناً بشدّة مع الانتقال الذرّي) من أجل التوسط وإحداث تصادم تبادلي مجاوب. تتبادل هنا ذرّة في الحالة $|e_1>$ وأخرى في الحالة $|g_2>$ مع فوتونين افتراضيين لتوليد حالة متشابكة $|\Psi>=\alpha|e_1,g_2>+\beta|g_1,e_2>$ [38]. هنالك أيضاً عدة اقتراحات حاسوبية كمومية قائمة على حالات كمومية ذرّية وفوتونية متشابكة مع تجويف ضوئي.

ناقش عدد من المؤلفين كيفية استخدام تجويف ضوئي لذرّات باردة ليزرية [39،40]. فقد اقترح فولتيك Vuletic [41،42] ذرّات تبريد بعملية تبعثر فوتونين غير متجاوبين. وذلك بغمر ذرّات في ثلاث مجموعات من حزم ليزرية معاكسة الانتشار مولّفة إلى جانب طول الموجة الأحمر لهدب تجويف فابري-بيرو. تمّ إنجاز التبريد بجعل الذرّات تبعثر بشكل تفضيلي ضوءاً منزاحاً للأزرق محوّلة إياه إلى نمط تجويف مجاوب. ولما كانت عملية التبريد هذه صُمّمت بتجاوب تجويفي، فإنها تُطبّق على ذرّات وجزيئات لها بنية ذات سوية داخلية اعتباطية.

التحكّم في التواترات الضوئية

بدأت أخيراً عمليات التحكّم وقياس المصادر الضوئية للضوء بهدف مجاراة أو حتى التفوق على نبائط الموجة المكروية والراديوية. في الوقت الراهن، بدأت استقرارية المصادر الليزرية تتجاوز أفضل مصادر الموجة المكروية، والموالفة على نطاق واسع لمركّبات التواتر الضوئي مع ميْز تواتري مقداره جزءٌ من 10^{14} جزء ستكون جاهزة بشكل تجاري. وبفضل التطورات الرائعة التي حصلت في السنوات القليلة الماضية، يمكن لدقة التواتر في الساعة الضوئية أن تصل في العقد القادم إلى ارتياب يُقدَّر بجزء واحد من 10^{18} جزءاً.

جدير بالذكر ملاحظة أن هذه الثورة في علم القياس قد استفادت من عدد من الانجازات التقانية؛ أولها أنَّ الثبات القصير الأجل في الليزرات قد تحسّن إلى حدٍّ كبير بسبب تثبيتها إلى تجويف فابري - بيرو الفائق الثبات مجهّز بنبائط ضوء - كهربائية أو ضوء - صوتية [43]؛ وثانيها أن التجاويف المرجعية عالية الـ Q قد رُوِّدت بمرايا يبلغ مقدار فقدها من التبعثر والامتصاص عدّة أجزاء بالمليون؛ وثالثها هو تزويد الاستقرارية الطويلة الأجل بأيونات محصورة في مصائد أو ذرّات معتدلة داخل نافورة ذرّية. ورابعها، أن لدينا الآن طريقة أنيقة لعدّ الدورات الضوئية للطور بشكل مباشر. يضعنا هذا الانجاز الذي وصفه الباحثون أودم Udem و هلزوارث Holzwarth و هانتش Hansch من دراسة مرجعية على أنه يدشن حقبة جديدة من القياس الضوئي من خلال تأمين آخر مركّب حَرِج ضروري لتحقيق قياس تواتر مطلق للضوء.

التحكّم في التصادمات

كان يُعتقد عموماً بأن التصادمات الذرّية تتّسم بالفوضى، فهي تأثرات غير مترابطة، بيد أن عدم الترابط الظاهري هو نتيجة لعدم قدرتنا على تتبُّع مسار العدد الكبير من درجات الحرية الممكن الحصول عليها في دراسة نموذجية للتصادم. وممّا يلفت النظر في ما أشار إليه جوليان Julienne ومعاونوه من أنَّ جميع التصادمات هي مترابطة أصلاً، وأن مصفوفة التبعثر هي مصفوفة واحدية.

عندما تُبرَّد الذرّات إلى درجات منخفضة جداً من الحرارة وإلى أطوال موجات دو بروي كبيرة فإن التبعثر الذرّي يُحكَم بأقل اندفاع زاوي لموجة جزئية مسموح به: أمواج s من أجل البوزونات وأمواج p من أجل الفرميونات المستقطَبة السبين. وبتخفيض شديد لعددٍ من درجات الحرية التصادمية يصبح من الممكن فهم تأثيرات التصادم الكمومية بدقة لامثيل لها. فمثلاً تسمح مطيافية المشاركة الضوئية [44] ومطيافية تجاوب العتبة القائمة على التجاوبات القابلة للتوليف مغنطيسياً (فيشباخ) [47 ، 45] بقياس بارامترات التصادم بدقة تبلغ خمسة أرقام معنوية. وفي حالة ذرّات السيزيوم يصبح التوافق بين النظرية والتجربة شيئاً لافتاً للنظر [49 ، 48].

ولما كان من الممكن حالياً حصر الأيونات المفردة والذرّات في أخفض حالة كمومية للمصائد المكروية، يصبح مدى الحيز للذرّات محدّداً تماماً ويصبح من الممكن التحكّم بفترة وشدة تأثرات التصادم. وقد لفت العديد من المؤلفين النظر إلى قدرة التصادمات الباردة المتحكّم بها من أجل توليد

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

حالات متشابكة للاستخدام في معالجة المعلومات الكمومية وفي المطيافية [52 ، 50]. ومن الممكن في المستقبل القريب أيضاً إثبات توليد دلائل موجة ذرّية وحيدة النمط والتحكّم بعدد من الذرّات المتأثرة من خلال تأثيرات حصار التصادم أو إحصائيات فرمي. إننا بصدد دخول حقبة حيث ستجعلنا التصادمات رغم ضررها أحياناً قادرين على مناولة درجات الحرية الداخلية والخارجية للذرّات. ويمكن بالفعل لتأثرات التصادم اللّاخطية والمترابطة أن تصبح إحدى أكثر الأدوات قدرة على توليد حالات كمومية متشابكة بشكلٍ قوي.

التحكّم في موجات دو بروي الذرّية

يمكن وصف الذرّات في كثافة بوز-آينشتاين بتابع الموجة نفسه وبالطور نفسه، وعندما تحرَّرُ من المصيدة فإنها تستعيد ذاكرة طورها الأولي. ومن خلال المناولة المترابطة المناسبة للذرّات، أمكن حالياً لتجارب التداخل اللاخطي، مثل المزج الموجي الرباعي وتوليد السوليتونات، أن تمتد إلى أمواج دو بروي الذرّية [55-53]. وتُعدّ هذه التجارب أمثلة لحقلٍ جديدٍ من الضوئيات الذرّية الكمومية واللاخطية التي كتب عنها رولستون Rolston وفيليبس Phillips بشكلٍ واسع في الصفحة 27 من هذا العدد.

على أية حال، الذرّات لاتشبه الفوتونات: فللذرّات كتلة وعدد من درجات الحرية الداخلية أكبر بكثير من عدد درجات الحرية الداخلية للفوتونات . وبالتالي فإن ضوئيات الذرّات اللاخطية لن تكون مجرد ظواهر مرآة كما رأينا سابقاً في المجال الضوئي. وإضافة إلى ذلك، فهي تعكس الفوتونات التي يجب أن تتأثر بعضها مع بعض من خلال وسط قابل للاستقطاب، فالذرّات تملك تأثراتٍ لاخطية قوية بعضها مع بعض. استُخدمت هذه التأثرات مسبقاً لتوليد حالات كمومية غير تقليدية مع عدد من التأرجحات بسوية أدنى كثيراً من حدّ الضجيج الرشقي [56].

إنَّ أحد إغراءات التأثرات الذرّية اللّاخطية هي إمكانية توليد حالات للجسيمات متشابكة بشكلٍ كبير (أو تأسيس ترابطات كمومية غير متموضعة بين الجسيمات) في ذراعي مقياس التداخل. إن جميع تجارب مقياس التداخل الفوتونية أو الذرّية عملياً التي أُنجزت حتى تاريخه والقائمة على تداخل الجسيم الوحيد قد أعلن عنها ديراك Dirac بعمق شديد منذ سبعين عاماً قائلاً: "كل فوتون يتداخل مع نفسه فقط ولايمكن مطلقاً أن يحصل تداخل بين فوتونين مختلفين" [57]. ونتيجة لذلك، يقاس ارتياب الطور لسلالم مقاييس التداخل بـ $1/\sqrt{n}$ حيث تدل n على عدد الجسيمات المشاركة في التداخل. هنالك حالياً العديد من الاقتراحات لتوليد حالات غير تقليدية متشابكة بعمق [50] يمكنها أن تسمح للمرء بأن يشغل مقياس التداخل في حدّ هايزنبرغ Heisenberg حيث تكون سلالم ضجيج الطور مثل $1/n$ [58،59].

التحكّم في توابع موجية ذات أجسام متعددة وجهرية

تكمن جاذبية كثافة بوز -آينشتاين لغاز ممدد في أنه لدينا سيطرة لانظير لها على خواصه، بالإضافة إلى الطرائق القادرة على قياس هذه الخواص. يمكن للمرة الأولى اختبار التنبؤات القائمة منذ زمن بعيد داخل نطاق التآثر الضعيف، ولكن هذا لايشكّل موقع الإثارة الحقيقية. وبسبب التباين الكبير في قوى تآثر ذرة - ذرة للذرّات القلوية، وبسبب القدرة على توليف أطوال تبعثر موجة -s مع الحقل المغنطيسي من قيم موجبة كبيرة إلى قيم موجبة صغيرة، أمكن إنجاز التجارب التي لم يكن التفكير فيها ممكناً في السابق [60]. ونستطيع باختيار طول تبعثر مناسب أن نضيق الفجوة بين غاز ممدد غير متآثر تقريباً ومائع كمومي متآثر بقوة.

وبشكل أكثر عمومية، يمكن أن تسمح لنا هذه المنظومات في دراسة الانتقال بين الخواص الكمومية للذرّات المعزولة والمجموعة الغنية المتشاهدة في منظومات الأجسام المتعددة الكمومية ومن الأمثلة الرائعة على ذلك هو أن كثافة بوز-آينشتاين المطمورة في شبيكة ضوئية قد سمحت لنا بملاحظة عازل موت Mott لانتقال طور كمومي فائق الميوعة [61] في منظومة نظيفة [62]. ففي عدد كبير من منظومة الأجسام المتعددة عند درجة حرارة الصفر يتصف هذا بانتقال من جسم صلب منتظم ذي شبيكة متكاملة المواقع إلى مائع فائق عندما يتزايد الاقتران الكمومي بين مواقع الشبيكة بالنسبة إلى عمق البئر الكموني (لمزيد من التفاصيل راجع مقال إنغلين وكتيرل في الصفحة 15 من هذا العدد). ويمكن لعمل مستقبلي أن يتضمن دراسة تأثيرات عدم الانتظام الإحصائي المفروض بوساطة نموذج لطيخة ثابتة (تموضع أندرسون) وعدم الانتظام المتغيّر مع الزمن على هذا الانتقال الطوري.

من منظور السيطرة أو التحكّم، تُعدّ انتقالات الطور التي توفرها الطبيعة لنا موائمة بشكل رائع. فتكاثف بوز - آينشتاين يسمح لنا بتوليد نماذج كبيرة من ذرّات جيدة التنظيم قبل أن تُجبر الذرّات بوقت طويل للتحوّل إلى الحالة الكمومية الأساسية (حيث k_BT أقل بكثير من الفرق بين سويات الطاقة الأساسية وحالات الإثارة الأولى للذرّات المأسورة) بفعل التبريد العنيف. وبصورة مشابهة، يُقدّم لنا انتقال الطور لعازل موت شبيكة كاملة (مضغوطة بشكل كامل) من حالات عدد ذرّي.

تُعدّ التطبيقات المثيرة المتمثّلة في تكاثفات بوز-آينشتاين أو غازات فرمي المتنكسة [63] أو صفيف لحالات عدد ذرّي كنقطة بداية، أمراً محتوماً لامناص منه. وليس في ما يثير الدهشة أن شجّعت فرص البحث الجديدة هذه كثيراً من الباحثين لأن يفكروا في كيفية تطبيق تحكّم كمومي أكبر على تجمعات أكبر من الذرّات والفوتونات وأن يفكروا في كيفية استثمار هذه المنظومات بطرائق جديدة. وعودة إلى قول يوغي بيرّا Y. Berra، الفيلسوف الأمريكي المرموق ولاقط الكرة سابقاً في فريق نيويورك للعبة البيسبول "من الصعب إطلاق التنبؤات وبخاصة المستقبلية منها". ورغم ذلك أتنبأ، بأنَّ التطورات الأكثر إثارة ستأتي مستقبلاً.

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

REFERENCES المراجع

[1] Rabi, i. i., Zacharias, J. R., Millman, S. & Kusch. P., A new method of measuring nuclear magnetic moments. Phys. Rev. 53, 318 (1938).

[2] Kastler, A. in Nobel Lectures in Physics, 1963-1970 180-208 (World Scientific, Singapore, 1991).

[3] Ramsey, N. F. A new molecular beam resonance method. Phys. Rev. 76, 996 (1949).

[4] Kasevich, M. A. Riis, E. Chu, S. & DeVoe, R. G. RF spectroscopy in an atomic fountain. Phys. Rev. Lett. 63, 612-615 (1989).

[5] Laurent, P. et al. in Laser Spectroscopy, XIV (eds Blatt, R., Escher J., Liebfried, D. & Schmidt-Kaler, F.) 41-50 (World Scientific. Singapore. 1999).

[6] Baklanov, Ye. V., Dubetsky, B. Ya. & Chebotayev, V. P. Non-linear Ramsey resonance in the optical region. Appl. Phys. 9, 171-173 (1976).

[7] Chebotayev, V. P., Dubetsky, B. Ya., Kasantsev. A. P. & Yakolev, V. P. Interference of atoms in separated optical fields. Opt. Soc. Am. B 2, 1791-1798 (1985).

[8] Beausoleil, R. G. & Hänsch, T. W. Ultra-high resolution two-photon optical Ramsey spectroscopy of an atomic fountain. Phys. Rev. A 33, 1661-1670 (1986).

[9] Bordé, C. R. On Ramsey fringes in spectroscopy without Doppler broadening. C.I. Acad. Sci. Ser. B 284, 101-104 (1977).

[10] Bordé, Ch. Atomic interferometry with internal state labeling, Phys. Lett. A 140, 10-12 (1989).

[11] Helmcke. J., Zevgolis, D. & Yen, B. U. Observation of high contrast ultra narrow optical Ramsey, fringes in saturated absorption utilizing four interaction zones of traveling waves. Appl, Phys. B 28, 83-84 (1988).

[12] Salomon, Ch., Avillier, S., van Lerberghe, A. & Borde, Ch. in Laser Spectroscopy, VI (eds Weber, H. P., Lülthy, W.) 159-160 (Springer, Berlin, 1983).

[13] Peters, A., Chung, K. Y, & Chu, S. High precision gravity measurements using atom interferometry. Metrology 38, 25-61 (2001).

[14] Sadden, M.J McGrirk, J, M., Boiyer, P, Hariots, K, G. & Kasevich, M. A. Measurement of the Earth's gravity gradient with an atom interferometer-based gravity gradiometer. Phys. Rev Lett, 81, 971-974 (1998).

[15] Gustavson, T. L.. Boyer, P. & Kasevich, M. A Precision rotation measurements with an atom interferometer gyroscope. Phys. Rev. Lett. 78, 2046-2049 (1997).

[16] Hensley, J., Wicht, A., Young, B. & Chu, S. in Proc. 17th Int,, Gonf. Atomic Physics (eds Arimondo, E., Do Natale, P. & Inguscio, M.) 43-57 (Am. Inst. Phys., New York, 2000).

[17] Kasevich, M. & Chu, S. Atomic interferometry using stimulated Raman transitions. Phys. Rev, Lett. 67, 181 (1991).

[18] Wineland, D, J., Drullinger, R. E. & Walls, F. L. Radiation-pressure cooling of bound resonant absorbers. Phys. Rev Lett. 40,1639-1642 (1978).

[19] Diedrich, F, Bergquist, J. C., Itano, W M. & Wineland, D. J. Laser cooling to the zero-point energy of motion. Phys. Rev. Lett. 62,403-407 (1989).

[20] 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).

[21] Hänsch. T. W. & Schawlow, A. L. Cooling of gases by laser radiation. Opt. Commun. 13, 68-70 (1975).

[22] Wineland. D. J. & Itano, I. Laser cooling of atoms. Phys, Rev. A 20, 1521-1540 (1979).

[23] Gordon, J. P. & Ashkin, A. Motion of atoms in a radiation trap. Phys. Rev. A 21,1606-1617 (1980).

[24] Letokov, V. S. & Minogin, V. G. Laser radiation pressure on free atoms. Phys. Rep. 73, 1 (1981).

[25] Chu. S., Cohen-Tannoudji, C. & Phillips, W. D. 1997 Nobel Lectures in physics. Rev. Mod. Phys. 70, 685-706, 707-720, 721-741 (1998).

[26] Hess, H. F. Evaporative cooling of magnetically trapped and compressed spin-polarized hydrogen. Phys. Rev. B 34, 3476-3479 (1986).

[27] Mashara, N. et al. Evaporative cooling of spin-polarized hydrogen. Phys. Rev. Lett. 61, 935-938 (1988).

[28] Wineland, D.& Dehmelt, H. Proposed $10^{14}\Delta\upsilon < \upsilon$ laser fluorescence spectroscopy on Tl^{+} mono-ion oscillator. Bull. Am. Phys. Soc. 20,637 (1975).

[29] Aspect, A., Arimondo, E., Kaiser, R., Vansteenkiste, N. & Cohen-Tannoudji, C. Laser cooling below the one photon recoil by velocity selective coherent population trapping. Phys. Riv Lett. 61, 826-829 (1988).

[30] Kasevich, M. & Chu, S. Laser cooling below a photon recoil with stimulated Raman transitions. Phys. Rev. Lett. 69,1741-1743 (1992).

[31] Kerman, A. J., Vuletić, V., Chin, C. & Chu, S. Beyond optical molasses: 3D Raman sideband cooling of atomic

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

cesium to high phase space density. Phys. Rev. Lett, 84,439-442 (2000).

[32] Ketterle, W., Davis, K, B., Joffe, M. A., Martin, A.& P ritchard, D. E. High densities of cold atoms in a dark spontaneous force optical trap. Phys. Rev. Lett. 70,2253-2257 (1993).

[33] Purcell, E. M. Spontaneous emission probabilities at radio frequencies. Phys. Rev. 69,681 (1946).

[34] Kleppner, D. Inhibited spontaneous emission. Phys. Rev. Lett. 47,233-237 (1981).

[35] Goy, P., Raimond, J. M., Gross, M. & Haroche, S. Observation of cavity enhanced single atom spontaneous emission, Phys. Rev. Lett. 50, 1903-1907 (1983).

[36] Hulet, R. G., Hilfer, E. S. & Kleppner, D. Inhibited spontaneous emission by a Rydberg atom. Phys. Rev. Lett 55, 2137-2140 (1985).

[37] Berman, P. R. (ed.) Cavity Quantum Electrodynamics (Academic, San Diego, 1994).

[38] Osnaghi, S. et al. Coherent control of an atomic collision in a cavity. Phys. Rev. Lett. 87, 037902-1-037902-4 (2001).

[39] Mossberg, T. W., Lewenstein, A. & Gauthier, D. J. Trapping and cooling of atoms in a vacuum perturbed in a frequency dependent manner. Phys. Rev. Lett. 67, 1723-1726 (1991).

[40] Gangl, M. & Ritsch. H. Cooling neutral particles in multimode cavities without spontaneous emission. J. Mod. Opt. 47, 2741-2753 (2000).

[41] Vuletić, V. & Chu, S. Laser cooling of atoms, ions, or molecules by coherent scattering. Phys, Rev, Lett. 84,3787-3790 (2000).

[42] Vuletić, V., Chan, H. W. & Black, A. T. Three dimension cavity Doppler cooling and cavity sideband cooling by coherent scattering. Phys. Rev. A 64, 033405-1-033405-7 (2001).

[43] Young, B. C. et al. in Laser Spectroscopy XIV (eds Blatt, R., Eschner, J., Leibfried, D. & Schmidt-Kaler, F.) 61-70 (World Scientific, Singapore, 1999).

[44] Stwalley, W. C. & Wang. H. Photoassociation of ultra-cold atoms: a new spectroscopic technique. J. Mol. Spect. 195,194-228 (1999).

[45] Feshbach, H. A unified theory of nuclear reactions II. Ann, Phys. 19, 287-313 (1962).

[46] Tiesinga, E. Verhaar, B. J. & Stoof, H. T. C. Threshold and resonance phenomena in ultracold ground-state collisions. Phys. Rev. A 47,4144-4122 (1993).

[47] Inouye, S. et al. Observation of Feshbach resonances in a Bose-Einstein condensate. Nature 392, 151-154 (1998).

[48] Chin, C., Vuletić, V., Kerman, A. J. & Chu, S. High resolution Feshbach spectroscopy of cesium. Phys. Rev. Lett. 85, 2717-2720 (2000)

[49] Leo, P. J., Williams, C. J. & Julienne, P. S. The collision properties of ultracold ^{133}Cs atoms. Phys. Rev. Lett. 85, 2721-2724 (2000).

[50] 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).

[51] Sorenson, A. & Mølmer, K. Spin-spin interaction and spin squeezing in an optical lattice. Phys. Rev, Lett. 83, 2274-2277 (1999).

[52] Helmerson, K. & Li, Y. Creating massive entanglement of Bose-Einstein condensed atoms. Phys. Rev. Lett. 87,170402- 1- 170402-4 (2001).

[53] Deng, L. et al. Four-wave mixing with matter waves. Nature 398,218-220 (1999).

[54] Denschlag, J. et al. Generating solitons by phase engineering of a Bose-Einstein condensate. Science 287, 97-100 (2000).

[55] Burger, S. et al. Dark solitons in Bose-Einstein condensates. Phys. Rev. Lett. 83, 5198-5201 (1999).

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

[57] Dirac, P. A. M. The Principles of Quantum Mechanics 3rd edn. p. 9 (Oxford Univ. Press, Oxford, 1947).

[58] Heitler, W. The Quantum Theory of Radiation 3rd edn, (Oxford Univ. Press, Oxford, 1954).

[59] Holland, M J. & Burnett, K. Interferometric detection of optical phase shifts at the Heisenberg limit. Phys. Rev. Lett. 71, 1355-1358 (1993).

[60] Donley, E, Anderson, B. P. & Wieman, C. E. New twists in Bose-Einstein condensation. Opt. Photon. News Oct. issue, 34-37 (2001).

[61] Fisher, M. P. A., Weichman, P. B, Grinstein, G. & Fisher, D. S. Boson localization and the superfluidinsulator transition. Phys. Rev. B40, 546-570 (1989).

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

[63] DeMarco, B. & Jin, D. S. Onset of Fermi degeneracy in a trapped atomic gas. Science 285, 1703-1706 (1999).■

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

تكاثف بوز- آينشتاين للغازات الذرّية*

جيمس ر.أنغلين، وُلْفغانغ كتّيرل
مختبر أبحاث الإلكترونيات - مركز MIT في هارفرد للذرّات الفائقة البرودة
قسم الفيزياء - معهد مَسَتشوسِتس للتقانة - كمبردج - مَسَتشوسِتس USA

ملخص

أنجزت التجارب المبكرة على تكاثف بوز - آينشتاين في الغازات الذرّية المخفّفة ثلاثة أهداف قديمة. الأول هو تبريد الذرّات المعتدلة إلى الحالة الدنيا المتحركة، وهذا يجعلها عرضة لتحكم أقصى، لا يحدُّ منه سوى مبدأ هايزِنْبِرْغ في الارتياب Heisenberg's uncertainty principle. والثاني هو خلق عيّنة مترابطة من الذرات التي تشغل جميعها فيها الحالة الكمومية ذاتها، وتحقيق الليزرات الذرّية - وهي نبائط تُخرِج أمواجاً مادية مترابطة. والثالث خلق مائع كمومي غازي، له خصائص تختلف عن السائلين الكموميين هليوم 3- وهليوم 4-. لقد استمر حقل تكاثف بوز - آينشتاين للغازات الذرّية بالتقدم السريع، مدفوعاً بضم التقنيات التجريبية الجديدة والتقدم النظري. لقد نمت عائلة الغازات المتردّية كمومياً quantum degenerate gases، وتشمل اليوم ذرات شبه مستقرة وفِرْميونية. لقد أصبحت المتكثفات مختبراً لدرجات الحرارة الفائقة الانخفاض للبصريات الذرّية، وفيزياء الصَّدْم وفيزياء الأجسام العديدة، والفونونات المحيطة encompassing phonons، والميوعة الفائقة superfluidity، والدوّامات المكمّاة quantized vortices، ووصلات جوزفسون Josephson junctions وانتقالات الطور الكمومي quantum phase transitions.

الكلمات المفتاحية: مادة فائقة البرودة، تجاوب فشباخ، تكاثف بوز -آينشتاين، ليزرات ذرّية، غاز ذرّي، مائع فائق، متكثف، دوامات مكمّاة.

لقد جذب سحر درجات الحرارة الأكثر انخفاضاً الفيزيائيين لطلب المزيد خلال القرن الماضي، ومع كل خطوة يخطوها الفيزيائيون للاقتراب من الصفر المطلق، تتفتح أمامهم فيزياء جديدة وخصبة. قد يتساءل الناس العاديون لماذا لا يعدّ البرد القارس المجمّد بارداً بما فيه الكفاية. ولكن تصوُّر عددٍ ما يمكن أن نخسره من مظاهر الطبيعة لو كنا نحيا على سطح الشمس. فبدون اختراع البرادات ما كان لنا أن نعرف سوى المادة الغازية ولما لاحظنا على الإطلاق السوائل أو الجوامد. إنّ التبريد إلى درجات الحرارة العادية على سطح الأرض يكشف عن هذه الحالات للمادة المختلفة اختلافاً جذرياً، لكن هذا ليس سوى البداية؛ فهناك العديد من الحالات تظهر عندما يزداد التبريد. إن الوصول حتى مجال الكلفن كان جزاؤه اكتشاف الناقلية الفائقة في عام 1911 والميوعة الفائقة في الهليوم ^{4}He عام 1938. وإن التبريد في نظام المِلّي كلفن تكشَّف عن الميوعة الفائقة للهليوم ^{3}He في عام 1972. إن ظهور التبريد بالليزر في ثمانينيات القرن العشرين فتح باباً جديداً للوصول إلى فيزياء درجات الحرارة الفائقة الانخفاض ultralow-temperature physics. تم توليد عينات من سحب ذرية مخففة (ممدَّدة) في درجات حرارة من مرتبة المكروكلفن واستعملت للقياسات التي تتطلب الدقة ولدراسات التصادمات الفائقة البرودة. أما درجات الحرارة من مرتبة النانوكلفن فقد كانت ضرورية لدراسة الغازات المتنكسة (المتردية) كمومياً quantum-degenerate gases، مثل متكثفات بوز - آينشتاين (BECs) التي تحققت أول مرة في عام 1995. لقد كانت كل واحدة من هذه الإنجازات في التبريد تمثل تقدماً ملحوظاً، وقدُرت بمنح جائزة نوبل.

إن التقنيات الأساسية لصنع غازات متنكسة كمومياً هي تقنيات التبريد،لأن الغاز المخفف من الذرّات يسلك سلوكاً تقليدياً عند الدرجات المرتفعة من الحرارة. وما دام طول موجة دو بروي $\lambda_{dB} = h / (2MK_BT)^{1/2}$ للذرات صغيراً بالمقارنة مع المسافة الفاصلة بين الذرّات، فبإمكان المرء أن يصف حركتها بمسارات تقليدية. (تمثل λ_{dB} الارتياب في الموضع الذي يرافق توزع الاندفاع الحراري، ويزداد مع تناقص درجة الحرارة T والكتلة الذرّية M). يبدأ التنكس الكمومي عندما تصبح λ_{dB} والمسافة بين الذرّية متقاربتين. تتراكب الرزم الموجية الذرّية، ويشرع الغاز ليصبح "ضباباً كمومياً كثيفاً" quantum soup من الجسيمات اللامتمايزة. إذا كانت الذرّات بوزونات، يظهر متكثف - وهو سحابة من الذرّات تشغل جميعها الحالة الكمومية ذاتها - عند درجةحرارة مضبوطة بدقة (وهي تُنسب، في حالة الغاز المثالي، إلى الكثافة الذرّية في الذروة n بالعلاقة $n\lambda_{dB}^3 = 2.612$) . وإذا كانت الذرات فرميونات (انظر المؤطر 1)، فالتبريد يجعل الغاز تدريجياً أقرب إلى أن يكون عبارة عن "بحر فرمي" حيث تشغل ذرة واحدة بالضبط إحدى حالات الطاقة المنخفضة.

إن خلق متكثف بوز - آينشتاين (BEC) أو بحر فرمي أمرٌ بسيط من حيث المبدأ - يتم بجعل الغاز بارداً بروده قصوى. ولكن الأولوية لن تكون للتنكس الكمومي في أغلب الحالات، بل ستكون وبكل بساطة للانتقالات المعتادة أكثر، أي إلى سائل أو جامد. ويمكن تجنب هذا التكاثف التقليدي عند كثافات شديدة الانخفاض ، حوالي واحد من مائة ألف من كثافة الهواء النظامي، مما يجعل زمن تشكل الجزيئات أو

* نُشر 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

التجمعات (العناقيد) بواسطة التصادمات ثلاثية الأجسام (التي تتناسب مع مربع مقلوب الكثافة) يمتد إلى الثواني والدقائق. ولما كان معدل التصادمات المرنة الثنائية binary elastic collisions يهبط متناسباً فقط مع الكثافة، فإن هذه التصادمات تكون أكثر تكراراً وتدع الغاز يتوازن خلال 10 ملّي ثانية، وبذلك يمكن الوصول إلى التنكس في طور غازي شبه مستقر بصورة فعالة. لكنَّ كثافة بهذا الانخفاض الشديد تخفّض مطلب درجة الحرارة من أجل الانتكاس الكمومي إلى مجال النانوكلفن.

تمَّ الوصول إلى درجات حرارة تحت المكروكلفن بضمّ إجراءين معاً. إن التبريد بالليزر يعمل على تبريد الغاز مسبقاً بحيث يمكن حصره في مصيدة مغنطيسية [1]. وفي المرحلة الثانية – وهي التبريد بالتبخير القسري [2] – يُخفَّض عمق المصيدة، مما يسمح للذرات الأكثر طاقة أن تهرب بينما تعود الذرّات المتبقية إلى التوازن الحراري بصورة ثابتة عند درجات حرارة أخفض [3]. وفي معظم تجارب BECs يحصل التنكس الكمومي ما بين الدرجة 500 nK و 2 μK، بكثافات تتراوح بين 10^{14} و 10^{15} cm^{-3} . تتكون أضخم المتكثفات من 30 مليون ذرة في الصوديوم Na، وبليون في الهدروجين H، أما أصغرها فليست سوى بضع مئات من الذرّات. إن شكل المتكثف إما أن يكون كروياً تقريباً بقطر يبلغ 50 - 10 μm، أو على شكل السيجار بقطر يبلغ 15 μm وطول يبلغ 300 μm، وذلك اعتماداً على المصيدة المغنطيسية. قد تستغرق دورة التبريد الكاملة التي تنتج متكثفا من بضع ثوانٍ إلى عدة دقائق.

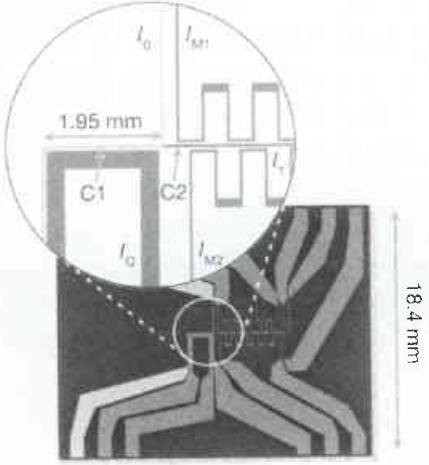
تلخص هذه المطالعة التطور الحديث الذي حصل في تكاثف بوز–آينشتاين وما وراءه. فمنذ عام 1995 نما هذا الحقل نمواً كبيراً، جاذباً معه الباحثين من جماعات البحث في الفيزياء الذرّية، والضوء الكمومي، وفيزياء المادة المكثفة. لقد انبثق الغاز الفائق البرودة المأسور كمنظومة كمومية جديدة هي فريدة في الدقة والمرونة التي يمكن مداولتها بها. إن حقلنا الآن مقبل على منعطف تاريخي، وفيه ننتقل من دراسة الفيزياء كي نتعلم عن تبريد الذرّات إلى دراسة تبريد الذرات كي نتعلم الفيزياء. نبدأ مراجعتنا بتلخيص تقنيات تجريبية جديدة، ثم نركز على فيزياء المادة المكثفة ذات الكثافة الفائقة الانخفاض التي تم اكتشافها.

تقنيات جديدة ومنظومات جديدة

يتطلب التبريد بالتبخير evaporative cooling نسبة مرضية من اصطدامات جيدة إلى سيئة – أي إن معدل الاصطدامات المرنة، التي تقيم التوازن الحراري، يجب أن يكون أعلى من معدل الاصطدامات غير المرنة واصطدامات غاز الخلفية، التي تؤدي إلى فقدان المصائد أو إلى تشكل الجزيئات. لقد حالت نسبة التصادم الضعيفة حتى الآن دون الوصول إلى التنكس الكمومي في Cs [4]، وحتى عام 2000 لم يتم تكثف بوز إلاّ في ^{87}Rb [5]، و ^{23}Na [6]، و ^{7}Li [7]، و H [8] فقط، علماً بأن معظمها لم يتكثف إلاّ في حالة واحدة فوق دقيقة (فوق ناعمة) hyperfine state خاصة فقط. لكن مجموعات البحث، منذ ذلك الحين، تمكنت من تكثيف Na (قيد التحضير من قبل A. Görlitz et al.)، كما أضيف إلى قائمة العناصر كل من Li [9] في كلتا الحالتين فوق الناعمتين الأعلى والأخفض، و He [10 و 11]، و ^{85}Rb [12] و K [13]. إن ذرات الهليوم He المتكثف هي في الحالة الإلكترونية المثارة (ولكنها شبه مستقرة)، وتُحرَّر طاقتها الداخلية البالغة 20 eV عندما تصطدم بسطح. وهذه العملية تسمح بكشفها بكفاءة عالية، مما يسمح بدراسات التعالقات الذرّية بميز في العدّ بمقدار ذرة واحدة على غرار ما يجري في تجارب العد بفوتون واحد في الضوء. كان يمكن للمرء أن يتوقع تحرر هذه الطاقة الداخلية أيضاً في التصادمات الثنائية، مما يجعل التبريد التبخيري مستحيلاً. تبين مساهمة نظرية مبكرة مهمة [14] أن هذا لن يحدث في الحقيقة، وبذلك أعطت التجريبيين الثقة في المتابعة.

لقد قدمت التحسينات الأخيرة والتطورات الحديثة في التبريد "الضوئي كلياً all optical cooling"، مزيداً من المرونة في التكاثف، حيث يُجري التبخير في مصيدة ثنائي القطب ضوئي optical dipole trap، مُشكلةً من حزم ليزر CO_2 [15]، بدلاً من مصائد مغنطيسية عادية. إن إنقاص شدة الليزر يسمح للذرات بالهرب عند النقاط السرجية للكمون فقط، بدلاً من الهرب من كل مكان من مصيدة مغنطيسية أثناء التبخير المحرَّض بالتواتر الراديوي. لكن المصيدة الضوئية تبقي الغاز عند كثافة عالية، بحيث أن الزيادة في معدل التبطيء الحراري تعوض عن التبخير ذي الكفاءة القليلة، فيتم الوصول إلى تكاثف بوز – آينشتاين بسرعة. يمكن تطبيق الحصر الضوئي optical confinement الصرف على الذرّات التي لها عزوم مغنطيسية صغيرة جداً من أجل الأسر المغنطيسي، كما أنها تقدم أسلوباً للتكاثف من أجل الذرات التي تعاني من ضياعات تقلُّب سبيني عالية high spin- flopping losses في المصائد المغنطيسية.

والمصائد المغنطيسية تقدمت أيضاً. فهي الآن تقدم إمكانات جديدة، من خلال النمنمة. إن قوى الأسر تتناسب وتدرّجات الحقل المغنطيسي، لذا فإن تقليص (انكماش) المصائد على الحذاذات المكروية microships، باستخدام صفائف من الأسلاك الحاملة للتيار مصنوعة بالطباعة الحجرية لتولّد حقولاً، تنتج حصراً محكماً جداً كما تخفض متطلبات القدرة. والآن تقوم مجموعات عديدة بتطوير هذه التقانة – وقد نجح اثنان منها في تكثيف Rb وفق تكاثف بوز في هذا النوع من الأوساط (الشكل 1) [16، 17]؛ في حين أظهرت مجموعة أخرى لدى MIT إمكانية تحميل متكثف مسبق الوجود في مصيدة مكروية [18]. إن مزيداً من التقدم في



الشكل 1– حذاذة ذرّية. تم تكوين متكثفات بوز – آينشتاين في مصائد مغنطيسية تشكلت بواسطة أسلاك دقيقة من الذهب كانت قد شُكلت على رُكارة بالطباعة الحجرية (الليثوغرافيا) [16،17]. يبين الشكل النموذج الذي استخدمه الباحثون في جامعة لودويغ – مكسيميليانز في ميونيخ [17]. أُمرت الذرّات في الموضعين C_1 و C_2.

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

المؤطّر 1:

أقزام بيضاء في المختبر

عندما يتكلم الفيزيائيون بعبارات عامة عن "الجسيمات"، فهم في الحقيقة يجمعون معاً صنفين مختلفين جداً من الأجسام التي يصبح التمييز بينها واضحاً عند درجات منخفضة من الحرارة. يمكن للعديد من الجسيمات مأخوذة بصورة عشوائية في صنف البوزونات أن تشغل حالة كمومية مفردة، مثل ضيوف فندق اجتماعيين إلى أبعد حد، فهم يرغبون دائماً في التجمع في غرفة واحدة. الجسيمات من صنف الفرميونات تصر على شاغل واحد.

إن البرد المفرط يخفّض حجم الفندق بصورة فعّالة، وهذا يجعل الطبيعة اللاجتماعية للفرميونات تصبح مهمة. وهنا يسفر عن نفسه بضغط تنكس فرمي الذي به تقاوم سحابة باردة من غاز فرميوني من أن تنضغط إلى حجم أصغر. يحافظ هذا الأثر على النجوم الأقزام البيضاء والنجوم النترونية من الانهيار والسقوط في ثقوب سوداء، كما أنها قد شوهدت مؤخراً في المختبر من أجل الغازات الفائقة البرودة [25]، (الشكل 2). إن بداية تنكس فرمي متدرجة لدى هبوط درجة الحرارة، ولا تتم فجأة كما هو الحال في انتقال الطور المفاجئ في تكاثف بوز.

وعند درجات من الحرارة حتى لو كانت أخفض، تستطيع الفرميونات أن تترابط على هيئة أزواج إذا كان التآثر الفعّال تآثراً جذبياً بين الفرميونات، وتسلك الأزواج سلوك البوزونات. ولما كانت الإلكترونات وذرات ^{3}He هي عبارة عن فرميونات، فإن هذا الأثر مسؤول عن سلوك النواقل الفائقة والمائع الفائق ^{3}He الشبيه بسلوك المتكاثف. إن إنتاج مائع فائق متزاوج في بخار فرميوني فائق البرودة يعدّ تحدياً تقوم به حالياً عدة مجموعات.

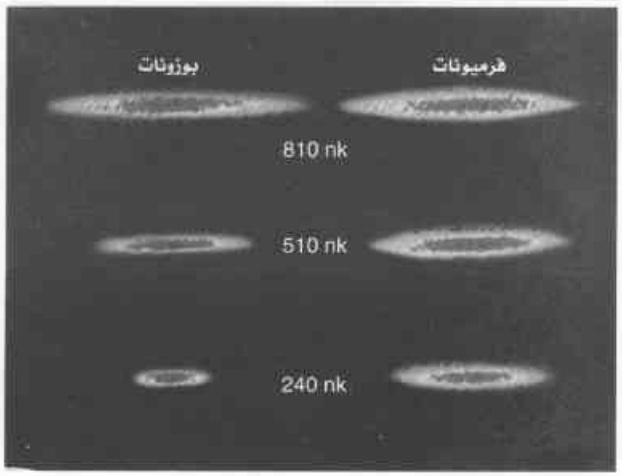
هذه الاتجاهات قد يؤدي في النهاية إلى أدلة موجية وشاطرات حزمة لمادة مترابطة، مكونة من مُحسّنات عطالية مجهرية ذات حساسية غير مسبوقة والتي تتيح دراسة موائع كمومية في هندسات محدودة.

في حين تستطيع الحقول المغنطيسية المتغيرة بصورة حادة أن تحصر ذرات في أدلة موجية، كذلك تستطيع حقول الخلفية الملساء (لا يطرأ عليها تغيير) أن تقدم تحكّماً عميقاً على الذرّات، عن طريق "توليف" خواصها التصادمية. فعند شدات حقل خاصة (تجاوبات فِشباخ Feshbach resonances) قد تنزاح طاقة حالة جزيئية إلى الصفر. وهذا يسمح لذرتين متصادمتين أن تشكلا حالة ترابط مؤقتة، تؤدي إلى تغيرات متميزة في تآثرهما [19]. شوهدت تجاوبات فشباخ هذه أول مرة في عام 1998 [20 و 21]، وقد مكنت من تكاثف ذرات ^{85}Rb [12].

هناك طريقة أخرى لتعويض الخواص التصادمية غير المواتية لأنواع ذرية وهي إقحام نوع آخر من الذرّات، وبشكل خاص نوع يكون فيه التبريد التبخيري فعالاً جداً، كالمبرّد أو ملطّف الحرارة. لقد بُرهن على نجاعة هذا النوع من التبريد بالتأثير sympathetic cooling بين ذرات في الحالتين فوق الناعمتين hyperfine states بـ ^{87}Rb [22]، ونظيري Rb [23]، كما أنه مكّن من تكاثف K بتبريده في تصادمات مع ذرات Rb [13].

يعدّ التبريد بالتأثير حاسماً في حال تبريد فِرميونات متنكسة (متردية)،لأن مبدأ باولي في الاستبعاد يكبح تصادمات بين فرميونات من ذات الصنف عند درجات حرارة منخفضة. لوحظت تنكسية فرمي Fermi degeneracy بشكل ملحوظ لأول مرة أثناء التبريد بحالتين فوق ناعمتين لبوتاسيوم K فرميوني [24] وقد تم الحصول عليها حديثاً بتبريد ^{6}Li مع ^{7}Li [9 و 25] أو مع Na [26]، أو باستخدام حالتين فوق ناعمتين ^{6}Li [27]، (المؤطر 1 والشكل 2). وحتى الآن لم تنجح أي تجربة في الوصول إلى تبريد أقل من 25% من درجة حرارة فرمي، ولا بدّ من تحقيق مزيد من التقدم قبل أن نتمكن من توقع رؤية أي ظاهرة ذات أهمية في غازات فرميونية، مثل تزاوج كوبر Cooper pairing والميوعة الفائقة Superfluidity [28]. قد يحد من التبريد إيقاف باولي للتصادمات Pauli blocking of collisions بين الفرميونات، وذلك بكبح التصادمات كنتيجة للميوعة الفائقة عندما يكون المبرّد BEC [29]، أو بواسطة التسخين [30] بكل بساطة. ولقد بدأت، ومنذ فترة وجيزة، المساعي التجريبية لدراسة هذه المسائل.

إن عائلة الغازات المتنكسة كمومياً تنمو بسرعة. وفضلاً عن التبريد بالمصائد الضوئية، وبتجاوبات فشباخ وبالتأثير، فإن تقنيات جديدة كالتبريد بالغاز الدارئ buffer -gas cooling بواسطة غاز الهليوم He المبرّد [31] أوتبريد الجوف cavity cooling [32، 33] قد توسع حقل التبريد الفائق ليشمل أنواعاً أكثر من الذرّات، لا بل وحتى الجزيئات. كما توجد إمكانية استخدام مشاركة ضوئية (فوتونية) photoassociation لصنع متكثفات جزيئية من أخرى ذرية: عندما تتصادم ذرتان فبالإمكان حثهما إلى حالة جزيئية طويلة الأمد بتطبيق حزم ليزرية [34]. هناك



الشكل 2– إيضاح ضغط فرمي [25]. يتقلص حجم السحب الذرّية في المصيدة المغنطيسية عندما تُخفّض درجة الحرارة بواسطة التبريد بالتبخير. تبين المقارنة بين الليثيوم ^{7}Li البوزوني (على اليسار) والليثيوم ^{6}Li الفرميوني (على اليمين) البصمة المتميزة للإحصاء الكمومي. لاتستطيع السحابة الفرميونية أن تتقلص أدنى من حجم معين يعينه مبدأ باولي في الاستبعاد. وهذه هي نفس الظاهرة التي تمع القزم الأبيض والنجوم النترونية من التقلص والانكماش إلى ثقوب سوداء. عند أعلى درجة حرارة كان طول السحب حوالي 0.5 mm.

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

تخمين بأن مثل هذه "الكيمياء الفائقة superchemistry" ذات المشاركة الفوتونية [35] قد تسمح بتكرار مترابط للمنظومة مابين متكثف ذري ومتكثف جزيئي. ليس الأمر مجرد إضافة صنف جديد فحسب، لكنه تطور نحو تجارب أكثر تعقيداً وأكثر دقة أيضاً، وهذا يسمح الآن بدراسة مجال متميز من الظواهر الفيزيائية.

فيزياء المادة المكثفة ذات الكثافة المنخفضة جداً

المتكثف هو منظومة مادة مكثفة ذات كثافة منخفضة جداً. ورغم أنه غاز أرقّ من الهواء بمئة ألف مرة، إلاّ أن درجة حرارته شديدة الانخفاض لدرجة أن التآثرات بين الذرّات ،حتى لو كانت ضعيفة، تخلق آثاراً مطابقة لمنظومة مكثّفة "تقليدية"، مثل انتقالات طورية، فونونات، ميوعة فائقة واهتزازات جوزفسون. وبالمتكثفات المتعددة المركبات، والحصر في شبيكات ضوئية ينفتح أفق واسع. إن فيزياء المادة المكثفة للغازات الشديدة البرودة لاتزال في بدايتها.

تآثر الذرّات

إن أولى التجارب التي أجريت على متكثفات بوز - آينشتاين بينت بأنها لم تكن غازات كاملة. عندما أضيفت ذرات أكثر وأكثر إلى متكثف، انتفخ وتضخم زيادة عن حجم الحالة الأساسية للمصيدة - وهي إشارة واضحة للتآثر التدافعي بين الذرّات [36] -أو أنها تنهار بسبب التآثر التجاذبي بين الذرّات [37]. وبدون هذه التآثرات فإن متكثف بوز - آينشتاين يصبح غازاً كاملاً له خواص مماثلة للفوتونات في الليزر الضوئي. إن التآثرات تجعل BEC منظومة غنية متعددة الأجسام تعرض ظواهر كالصوت والميوعة الفائقة. توجد ميّزة جذابة في تكاثف بوز آينشتاين في الغازات الذرّية الممددة وهي أنه يمكن أن يوصف نظرياً انطلاقاً من المبادئ الأولية. وعليه، أصبحت المتكثفات أرضية اختبار قيّمة لدراسة المنظومات متعددة الأجسام المتآثرة [38].

لقد وُضعت النظرية الأساسية لغاز بوز المتآثر بصورة ضعيفة في الفترة مابين أواخر الأربعينيات وأوائل الستينيات من القرن العشرين، وتتطلب أن تكون التصادمات الثنائية أكثر تواتراً بكثير من التصادمات متعددة الأجسام. وهذا الشرط محقق عندما يكون البعد بين الذرات $n^{-1/3}$ أكبر بكثير من الطول a لتبعثر الموجة -s، أي إن المقدار $na^3 \ll 1$ ($na^3 \approx 10^{-6}$ بصورة نموذجية). تعطي قيمة طول التبعثر المجال الفعّال للقوى بين الذرّية (من 1 إلى 5 نانو متر من أجل الذرّات القلوية). إن استقرارية متكثفات ضخمة تتطلب تآثراً دفعياً (a موجبة). أما من أجل تآثرات جذبية (a سالبة)، فيصبح المتكثف غير مستقر في وجه الانهيار إذا نما فوق حجم معين.

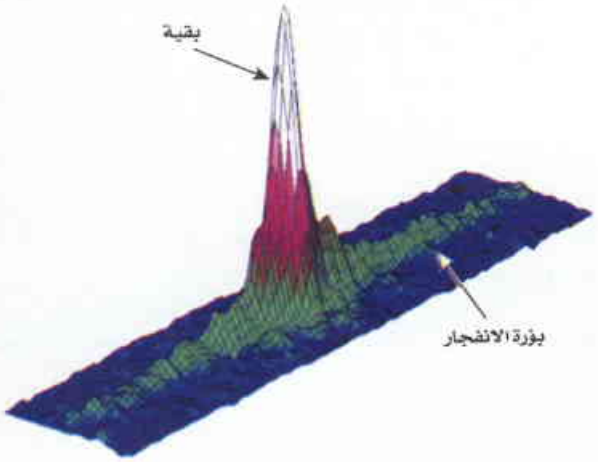
لقد أوصل العمل النظري المبكر إلى معادلة غروص- بيتاإيفسكي Gross - Pitaevskii [39، 40]، التي هي معادلة موجية لحقل الأمواج المادية الجهرية، وإلى نظرية بوغوليوبوف Bogoliubov للترجحات الكمومية حول الحقل المترابط [41]. إن شرط التآثر بصورة ضعيفة محقق تقريباً في كل التجارب الجارية حالياً، وتصف نظرية غروص - بيتاإيفسكي - بوغوليوبوف الظواهر الملاحظة بصورة حسنة. ولكن أُدخلت عليها مؤخراً بعض التحسينات الحديثة. انتهكت النظريات الأصلية انحفاظ الذرّات، وقد طور مؤلفون عديدون صيغاً لانحفاظ العدد number - conservation formulations [42، 43]. إن سلوك متكثفات عند درجات حرارة محدودة هو بمثابة تخم أو حدٍ لفيزياء الأجسام العديدة [44، 45]، التقصي التجريبي لما كان قدّ ركز فيما مضى على التشكل الأولي للمتكثفات بصورة رئيسة.

إنماء المتكثف

إن عملية إنماء المتكثف هي عملية دينامية ممتعة؛ فعلى الذرّات أن تجد حالة الطاقة الأخفض للمنظومة، كما ينبغي أن ينشأ ترابط طويل المدى. من الناحية التجريبية، تشاهد هذه العملية بعد أول تبريد بالتبخير، الذي يبرد الغاز إلى ما دون درجة حرارة متكثف بوز - آينشتاين الانتقالية، ولكنها أسرع من إنماء المتكثف إلى حجمه التوازني [46 -48]. إن وصفاً نظرياً كاملاً يجب أن يتضمن المتكثف وإثاراته الأولية، والتآثر مع سحابة الذرّات الحرارية (تلك التي ليست جزءاً من المتكثف). لقد عولجت هذه المشكلة الكمومية الحركية من وجهة نظر الضوئيات الكمومية، التي تنمذج عملية التكاثف بعد الليزرة [49 - 51]؛ في حين درس نظريو المادة المكثفة العملية ذاتها بدلالة انكسار التناظر symmetry breaking واسترخاء الطور phase relaxation [52، 53].

النتيجة الأبسط هي أن منحنى الإنماء ذي الشكل S هو الذي يعكس الإنماء المتسارع الابتدائي المحرّض حسب بوز [49]. إن مشاهدات المتكثف H مع ضياعات الجسمين القويين الخاصة به [48]، ومقياسي الزمن في إنماء متكثفات Rb [47]، تضيف غنى إضافياً على هذه العملية غير التوازنية.

ترافق المتكثفات ديناميات خاصة مع تآثرات جذابة. يمكن قدح وإثارة انهيار في المتكثف بإضافة ذرات إلى المتكثف [54] أو بتغيير طول التبعثر من خلال تجاوب فشباخ [55]. إن دينامية الانهيار الملاحظة والطرح اللاحق للجسيمات (الشكل 3) غير مفهومة نظرياً بعد.



الشكل 3- انفجار متكثف بتآثرات جذبية [55]. بتوليف الحقول المغنطيسية الخارجية بالقرب من تجاوب فشباخ، انتقل التآثر بين الذرّات فجأة من الصفر إلى الجذبي .وأثناء الانهيار، الذي يحمل في ثناياه بعض الشبه بالمستعر الفائق، قُذفت بعض الذرّات على هيئة دفقات. ونظراً للمصيدة المغنطيسية فإن الذرّات المتفجرة وصلت إلى بؤرة (قطرية) شعّية وأُخذت لها صورة (أبعاد الصورة، 60μm × 310μm).

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

الإثارات والصوت

الغاز الطبيعي الذي هو مخفف كالمتكثفات التجريبية موجود في "نظام لا تصادمي"، ينتشر فيه بسهولة اضطراب محلّي للكثافة، مالم يمتد على مسافة أطول من المسار الحر الوسطي للجسيم. [المصيدة التوافقية هي حالة استثنائية من حيث أنها تعيد تبئير ترجُحات الكثافة وتحول النمط الانتشاري إلى سلوك اهتزازي (لكن هذا السلوك لا علاقة له بالصوت)]. أما في المتكثف، فالتصادمات التي تبعثر الذرّات عائدة بها إلى الحالة الكمومية الأعلى انشغالاً تتعزز بصورة مدهشة، منتجة ضغطاً مترابطاً يستطيع أن يدعم أمواج الكثافة ("صوت معدوم zero sound") والتي قد يكون طولها الموجي أقصر كثيراً من المسار الحر الوسطي. ركزت الدراسات المبكرة للإثارات المتجمعة collective excitations في المتكثفات على اهتزازات الشكل وتخامدها. لقد درست حديثاً عدة ظواهر لاخطية، من بينهاالاقتران بين الأنماط [56]، وانتشار السوليتونات [57، 58] والدوامات المكماة quantized vortices (انظر في الأسفل).

الميوعة الفائقة في غاز مخفف

تعرّف الميوعة الفائقة عادة بأنها تدفق بدون تبديد. تم الحصول على الميوعة الفائقة في الهليوم السائل He في عام 1938، ورغم أن الميوعة الفائقة كان قد ربطها لندن London مباشرة تقريبا بنظرية آينشتاين حول تكاثف بوز – آينشتاين، إلاّ أنها أخذت عقوداً قبل أن يقوم دليل تجريبي على المتكثف بواسطة التبعثر التروني والتبخير الكمومي [59]. وعلى النقيض من ذلك، فقد تم التعرّف على التكاثف في الغازات المخففة أولاً، لكن الباحثين أمضوا سنوات عدة لإيجاد سبل تكشف عن مظاهر الميوعة الفائقة في هذه السحب الغازية الدقيقة.

توجد طريقة للتعرّف على الميوعة الفائقة بواسطة طريقتها المميزة في الانهيار عند سرعة حرجة محددة. ولا تكون الطاقة الحركية للجريان كافية لإحداث الإثارات إلّا فوق مثل تلك السرعة الحرجة. وقد عرّفتها نظرية لانداو المبكرة بسرعة صوت الصفر، لأنه لن يكون بالإمكان من الناحية الطاقية إنتاج الفوتونات في جريان دون هذه السرعة. أما بخصوص الجريان الجهري فإن السرعة الحرجة تكون في العادة أصغر في كل الموائع الفائقة المعروفة، نظراً لإثارة الدوّامات.

تمت أول دراسة للسرعات الحرجة في متكثّفات بوز – آينشتاين بتحريك حزمة ليزرية مبأّرة خلال المتكثف (تحريكه) [60، 61]، و"بسكب" المتكثف في كمون مموّج [62]. عندما أثرت قوة مغنطيسية على المتكثف مع وجود سحابة حرارية في شبيكة ضوئية كهذه، تحرك المتكثف بواسطة العبور النفقي المترابط (الشكل 4)، في حين ثُبّتت السحابة الحرارية الأكثر طاقة [63]. يوضح هذا السلوك المناقض لما هو بديهي وحدسي أحد غرائب الميوعة الفائقة وميكانيك الكم الجهري.

توجد طريقة أخرى لسبر منظومة من أجل سلوك المائع الفائق من دون "لمسه" وهي أن ندرس أنماط الفتل إذا دُوِّرت حاوية لسائل الهليوم He ببطء، فجزء المائع الفائق لا يدور. وبالمثل فالمتكثف الموضوع في مصيدة انعراج yawing trap يتأرجح في "نمط المقص" اللادوراني irrotational scissors mode، والذي لا يكون تواتره منسجماً مع حركة الجسم الصلد [64، 65]. يمكن خرق شرط اللادورانية في مائع فائق فقط عن طريق ظهور الدوامات المكمّاة (المؤطر 2).

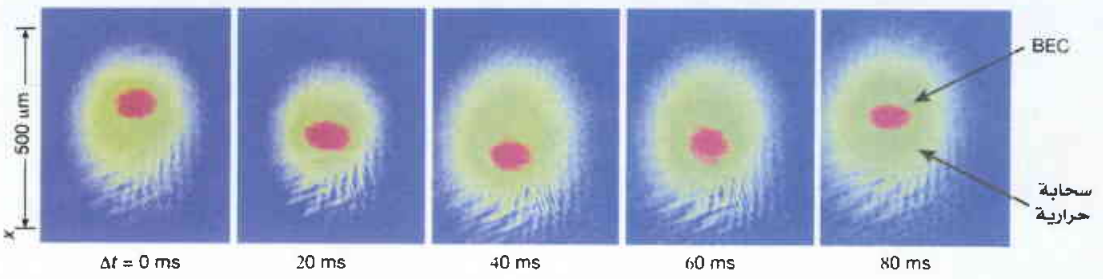
الدوّامات

لم يتم التحقيق التجريبي للدوّامات إلاّ في عام 1999، ويرجع ذلك في الأغلب إلى أن بعض الإحباطات الأولية جعلت المشاريع الأخرى أكثر جذباً. وباتباعهم مقترحات نظرية [66]، أنشأ الباحثون في جامعة كولورادو في بولدر دوامة مكمّاة في متكثف ذي مركبتين وذلك بدمغ نموذج طوْرِه بالليزر و بحقول ذات تواترات راديوية [67]. وبعد بضعة

المؤطر 2:

الدوامات المكمّاة

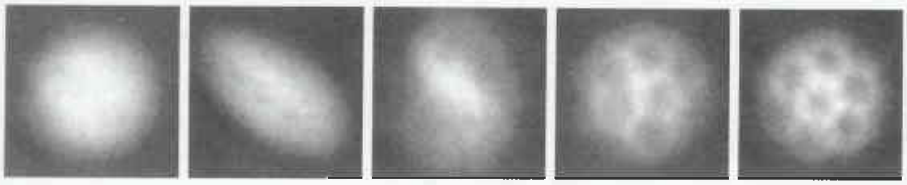
إن للطبيعة الكمومية والموجية للمادة تجلّيات بديعة عندما يكون للجسيمات اندفاع زاوي، أو بتعميم أوسع، عندما تدور منظومة كمومية. عندما يتحرك جسيم كمومي في دائرة، فإن محيط المسار الدائري يجب أن يكون مضاعفاً صحيحاً لطول دو بروي الموجي. تقودنا "قاعدة الاستكمام" هذه إلى نموذج بور و إلى اكتشاف سويات الطاقة المنفصلة لذرة الهدروجين. وبالنسبة لمائع فائق دوّار موصوف بتابع موجي جهري، فإنه يؤدي إلى استكمام الدوران وإلى دوّامات مكمّاة. وهنا يجعل من المستحيل على المائع الفائق أن يدور كجسم صلد - فلكي يدور ينبغي أن يدوّم. الدوّامات هي صفة أساسية لمنظومات الموائع الفائقة.



الشكل 4- بصمة الميوعة الفائقة في سحابة بوز المكثّفة (مكثّفة وفق بوز) [63]. المتكثف والهالة الحرارية لغاز طبيعي يستجيبان بصورة مختلفة عندما يُجرّان في كمون دوري. وفي التجربة، السحب المزاحة في مصيدة مغنطيسية تراكبت معها شبيكة ضوئية. والمتكثف الذي نُميّزه من كثافته الأكثر ارتفاعاً (اللون مكوّد بالأحمر)، اخترق قمم الكمون بالعبور النفقي واهتزّ في كمون الأسر المغنطيسي، في حين ثُبّت الجزء الطبيعي بالشبيكة الضوئية. وأخيراً أدّى التآثر بين السحابتين إلى تخامد حركة المتكثف.

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

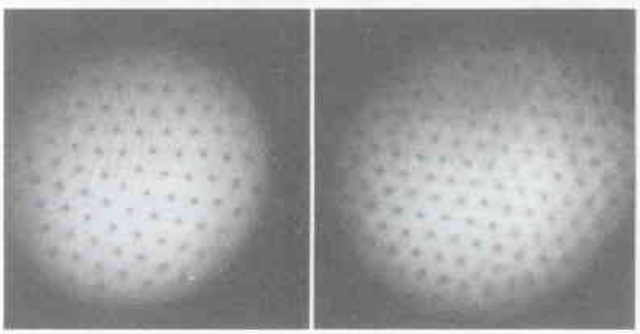
أشهر، استخدمت مجموعة من المدرسة العليا للمعلمين في باريس حزمة ليزرية دوارة لترفع من سبين متكثف، فشاهدت صفائح دوّامات [68]. هناك تجارب مماثلة لدى MIT، على متكثفات أكثر ضخامة، أنتجت شبيكات للدوّامات مثلثية الشكل شديدة الانتظام [69]، (الشكل 5). ولقد شكلت مجموعة بَولدر حديثاً دوامات بتبريد غاز عادي دائر من خلال التحول إلى تكاثف بوز آينشتاين [70]، كما أنها هيأت لتشكيل حلقات دوامة vortex rings [71]. ولقد اكتشفت الآن فرق البحث هذه، بالاشتراك مع مجموعة تعمل في جامعة أكسفورد [72]، عدة مظاهر لديناميات الدوّامات، تشمل حركتها، و"التبلور" في شبيكات والانفلات المبدّد.



الشكل 6- توليد الدوّامة. مسلك واحد إلى تشكيل الدوّامة في متكثف بوز آينشتاين توضحه سلسلة من الصور أخذت كل 150 ms [75]. كان متكثف هدفاً لِلانْتاح دوار لمدة 300 ms. إن اضطراباً أولياً صغيراً ينمو فيصبح تشوهاً رباعي القطب ضخماً وينقلب أخيراً إلى موجة بحرية زلزالية "tsunami" مجهرية تتكسر إلى دوّامات مكمّاة. يبلغ حقل الرؤية في كل صورة 300 μm.

لربما يكون البحث في عتبة تشكل الدوّامة هو أفضل مايوضح التفاعل المثمر بين النظرية والتجربة في مجال تكاثف بوز آينشتاين. تتجمع الدوّامات في الهليوم السائل He عند المناطق الخشنة من السطح عادة، لكن متكثفات بوز آينشتاين تُحصر في "حاوية مغنطيسية" تامة النعومة، وقد تم تحريكها بواسطة كمونات تدوير متميزة بشكل جيد. وعليه فالمتكثفات تشكل قاعدة اختبار مثالية للنظريات المجهرية لتوليد الدوّامات، التي تحاول أن تتنبأ بالسرعة الدورانية الحرجة التي تصبح الدوّامات فوقها مستقرة. ومن الناحية التجريبية، لا تشاهد الدوّامات إلا فوق تواتر دوران حرج، في حين يمكن أن تشاهد عدة سرعات في النظرية بحيث تكون كل واحدة منها حرجة وفق مفاهيم مختلفة [73]. فأي منها هو المناسب؟

وجدت مجموعة باريز معدل الدوران الحرج قريباً من التجاوب ذي الشكل رباعي القطب للمتكثف (الشكل 6). إن عدم استقرارية ("أنماط شاذة") الدوّامات الموجودة الآن في المتكثف كانت قد اقترحت في الأصل كي تعين هذا التواتر [74]؛ لكن تبين فيما بعد أن عدم الاستقراريات الدينامية الجماعية، التي تصاحب التجاوب في السحابة



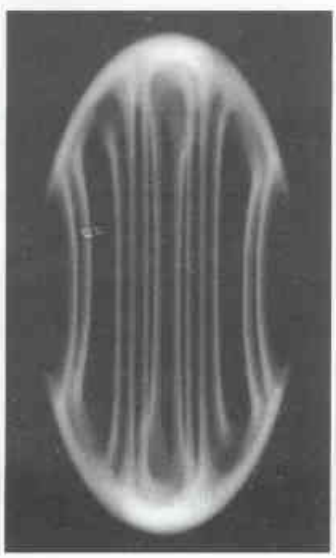
الشكل 5- شبيكات دوّامية في متكثفات بوز - آينشتاين دوّارة [69]. وضع متكثف من الصوديوم Na (القطر 60μm والطول 250μm) في حالة دوران بواسطة حزم ليزرية دوّارة. وبعدئذٍ شكل شبيكة من الدوّامات ذات شكل مثلثي منتظم. نتج عن التمدد القذفي التالي تكبير يبلغ عشرين ضعفاً. تمثل الصورتان مقطعين ثنائيي البعد في توزع الكثافة وتبين النهايات الصغرى للكثافة والعائدة لقلوب الدوّامات. تبين اللوحة اليسرى شبيكة "أبريكوسوف" المثلثية التامة، التي فيها انخلاع على الجانب الأيمن. كان قطر السحب حوالى 1 mm.

الخالية من الدوّامات، تتطور إلى دوّامات [75، 76]. تشير النتائج العددية والتحليلية الأخرى الآن إلى أن نسخة النمط السطحي surface mode version لنظرية لانداو تُنتج بدقة معدل الدوران الأدنى لتشكيل الدوّامة [77، 78]، وأن الحاجز الطاقي لنفوذ الدوامة غائب أيضاً فوق المعدل، وعليه فإن العبور النفقي ليس لازماً [79]. لقد ابتدىء بمحاكيات ثلاثية الأبعاد (بمكاملة معادلة غروس - بيتا إيفسكي عددياً) لسبر هذا السلوك المعقد [80، 81] (الشكل 7).

متكثفات متعددة المرَكّبات

تظهر فيزياء جديدة عندما تُخلط أنواع ذرّية مختلفة ثم تُبَرد إلى التنكّس الكمومي. قد تسمح خلائط من البوزونات في المستقبل بدراسات الموائع الفائقة المتداخلة، يمكن لخلائط من الفرميونات والبوزونات، كما تحقق أخيراً تجريبياً [9، 25، 26]، أن توسع دراسات خلائط ^{3}He-^{4}He إلى أنظمة وسطاء جديدة.

لقد أنجزت بعض الدراسات مسبقاً على المزُوجِية miscibility، واللامزُوجِية وشبه الاستقرارية وذلك باستخدام حالات فائقة الدقة مختلفة من Rb و Na [82 و 83]. تبرز ظواهر جديدة عندما تُحوَّل بعض المركّبات المختلفة إلى بعضها الآخر. ويمكن بعدئذٍ للذرات أن تكون في حالات مُنضمَّة (متراكبة)، وتبدي أنسجة سبينية، وأمواجاً سبينية واقتراناً بين السبين وجريان المائع الفائق. وفضلاً عن ذلك، فبالنسبة للدوّامات المكمّاة، التي تشبه دوّامات عادية والتي هي بُنى شبيهة بالخيط، يمكن أن



الشكل 7- تصوُّرخطوط الدوّامة في متكثف مأسور. حصلنا على هذه النتائج من تكامل عددي لنظرية غروس -بيتا إيفسكي في الحقل الوسطي في أبعاد ثلاثة [81]. مايبينه الشكل هو كثافة المتكثف في نمط عكسي للأداء، أي إن المناطق ذات الكثافة المنخفضة رسمت فاتحة، والمناطق الواقعة وراء طبقة توماس-فرمي قد استبعدت. وفي النتيجة تظهر قلوب الدوّامات كشعيرات ساطعة داخل المتكثف. يشير اللون إلى طور التابع الموجي للمتكثف، وينتج عن الطور π 2 دوران مكمّى لكل دوّامة.

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

يكون هناك أقطاب أحادية شبيهة بالفقاعات [84 ،85]. في الوقت الذي تتطلب فيه الدوّامات والأقطاب الأحادية لباً (قلباً) ذا كثافة معدومة، هو خط في حالة الدوّامة ونقطة في حالة القطب الأحادي، يمكن أن توجد نسج ينثني فيها حقل وسطاء الترتيب order parameter field ملتفاً بطريقة غير بديهية توبولوجيا لا تتطلب لباً ذا كثافة منعدمة.

كما أنه تبين أيضاً أن المتكثفات التي لها سبين وتأثرات ذات مغنطيسية حديدية مضادة تمتلك حالات أساسية أحادية دنيا متعالقة بقوة [89]، والتي هي مختلفة تماماً عن التوابع الموجية الجهرية لمتكثفات بسيطة. لكن هذه الحالة الأساسية الشاذة لسوء الحظ عرضة لتأثير حقول مغنطيسية صغيرة، التي تفضل تابعاً موجياً جهرياً كاسراً للتناظر.

تكاثف بوز – آينشتاين في أبعاد أخفض

لقد درسنا فيما سبق كيف يمكن لبعدية فضاء وسطاء الترتيب أن تُرفع في منظومات متعددة المركبات. توجد فرصة أخرى للبحث عن فيزياء جديدة وهي تخفيض بعدية الفضاء الفيزيائي إلى بعدين أو بعدٍ واحد فقط.

إن حصر منظومة ما في أبعاد أخفض يعزّز في الغالب المظاهر الكمومية ويؤدي إلى ظواهر جديدة. وكمثال مشهور على ذلك أثر هول الكمومي quantum Hall effect في غاز إلكتروني ثنائي البعد. وباستخدام أدوات الفيزياء الذرّية، يمكن تحضير المتكثفات في أشكال كثيرة التنوع. تمَّ حديثاً تحضير متكثفات أحادية البعد أو ثنائية البعد في مصائد مغنطيسية شديدة الإطالة ومصائد ضوئية بشكل الفطيرة [90].

هناك نظرية مشهورة جداً مفادها أن تكاثف بوز – آينشتاين لا يمكن أن يحدث في منظومات أحادية البعد بصورة فعالة. ومع ذلك فالمضامين التطبيقية لهذه النظرية ليست بتلك الأهمية التي تحظى بها تجارب الذرّات الباردة، التي تتضمن حجوماً وأعداداً محدودة من الجسيمات، بدلاً من القيد الترموديناميكي الذي تفرضه نظرية الكتاب التدريسي. فمن أجل غاز بوز المثالي الذي يحتوي على N ذرة في مصيدة توافقية أحادية البعد بتواتر توافقي ω، هناك زيادة حادة في التعداد الإسكاني للحالة الأساسية تحت درجة حرارة حرجة Nω/lnN، التي ترتفع تدريجياً حتى تصل إلى 100% في أسلوب يشبه تكاثف بوز – آينشتاين في مصيدة ثلاثية الأبعاد [91]. لكن تأثير التآثر في مثل هذه المنظومات أحادية البعد على نحو فعّال يمكن أن يكون قوياً. واليوم تدعم التجاربُ التنبؤات النظرية [92] القائلة بأن أشباه المتكثفات، بترجّحات طور كبيرة، تظهر عند درجات حرارة منخفضة [93]. هناك إمكانية أخرى ألا وهي تحقيق سائل لوتنجر Luttenger liquid [94]. وعند درجات حرارة وكثافات منخفضة جداً، تجعل التأثيراتُ الميكانيكية الموجية الذرات تغدو غير قابلة للاختراق من قبل بعضها البعض (أي لايمكنها شغل الحيّز نفسه معاً في وقت واحد) عندما تنتشر في أدلّة موجية حتى ولو كان القطر الذي يحصر الذرّات أكبر بكثير من الحجم الذري. وهذا يقترح وجود انتقال إلى طور بمرتبة أعلى من متكثف بوز آينشتاين، مثل الغاز ذي اللب القاسي الذي حلله لأول مرة تونكس Tonks [95].

الطور مقابل العدد

يمثل المتكثف المثالي أو ضعيف التآثر حقلاً مادياً موجياً تقليدياً بأسلوب مماثل لإصدار الليزر الضوئي موجة كهرمغنطيسية تقليدية. وكما في حالة الضوء، حيث تمت دراسة ضوءٍ لاتقليدي بصورة موسّعة، من الممكن خلق حالات غير تقليدية لمادة ذات تنكس كمومي. يمكن للحقول المادية الموجية أن تبدي أنواعاً مختلفة من العصر والضغط، كما التصحيحات الكمومية لنظرية الحقل التقليدي تعدّل وتنقّح التوازن بين المتحوّلات المتممة (الكثافة والطور لمادة مترابطة، على سبيل المثال، انظر المؤطر 3). يمكن استخدام التآثرات بين الذرّات لخلق إرباكٍ وضغطٍ و "لهندسة" توابع موجية ليست قليلة الشأن جديدة. يمكن أن يؤدي هذا إلى أشكالٍ جديدة لمادة كمومية، وبالنسبة للمجموعة فذلك يسمح بدقة أعلى للقياسات، كما في مقياس التداخل الذرّي على سبيل المثال [96].

العبور النفقي ووصلات جوزفسون

إن ترابط الطور بين عيّنتي متكثّف منفصلتين يسمح للإسكان الذرّي أن يهتزّ ذهاباً وإياباً بينهما. تتحرك الذرّات المفردة جيئة وذهاباً عن طريق العبور النفقي الكمومي خلال حاجز الطاقة الذي يفصل العينتين وهذا هو أثر جوزفسون Josephson effect الذي تصفه معادلة غروص – بيتا إيفسكي بشكل جيد ويمثل جريان المائع الفائق. عندما تصبح شدة التآثر الدفعي بين الذرّات كبيرة بالمقارنة مع معدل العبور النفقي، فإن العبور النفقي المترابط يتوقف على نحو مفاجئ. تؤدي الزيادة في التكاليف الطاقية من أجل ترجّحات الكثافة إلى فرق إسكاني ثابت بشكل حاد

المؤطر 3:

ترجحات الطور والكثافة

كما للأمواج الضوئية شدة وطور، كذلك للأمواج المادية كثافة وطور. وبلغة ميكانيك الكم، ترتبط الكثافة والطور بعلاقة الارتياب لهايزنبرغ بطريقة مماثلة للعلاقة التي تربط الموضع والاندفاع. فلا يمكن تعيينهما بدقة في آن معاً. إن المتكثفات المنتجة بالتقنيات الراهنة فيها بصورة طبيعية ارتيابات في الطور من رتبة $N^{-1/2}$، حيث N هو عدد الذرات في المتكثف.

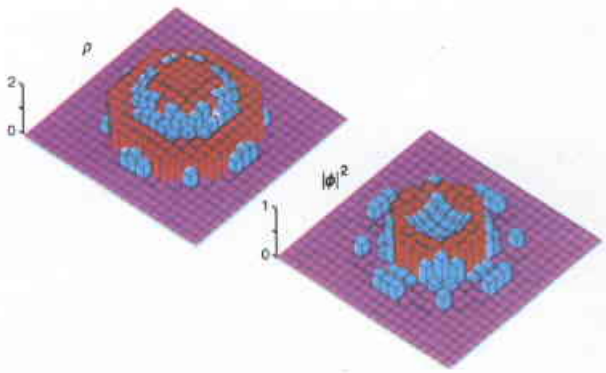
عند وصل وعاءين يحتويان ماءً، فستكون سوية الماء هي نفسها في كلا الوعاءين، لأن أي تورع آخر للماء سيكلف طاقة إضافية. وبالمثل، عندما يستطيع متكثفان لبوز - آينشتاين أن يتبادلا الجسيمات عبر حاجز، هناك شروط ستفضل فيها طاقة التدافع بين الذرّات توزعاً متساوياً للذرات حيث تكون الكثافة النسبية معرّفة بدقة أكبر من تعريفها في متكثف "نظامي". إن إعاقة الذرّات عن التحرك بين جزأين من سحابة يشوه أي فرق في الطور بين هاتين المنطقتين. إن هذا مناقض للحدس إلى حد ما، لكن هذا التشوه الذي يصيب الطور النسبي يمكن استخدامه لجعل مقاييس التداخل الذرية أكثر دقة، أي أن نقيس أطواراً أخرى بدقة هي أفضل مما يسمى حدّ "الضجيج الطلقي" shot noise limit.

وطور نسبيّ غير محدد (المؤطر 3). ولما كان تيار جوزفسون يعتمد على الطور، فإنه يتوقف.

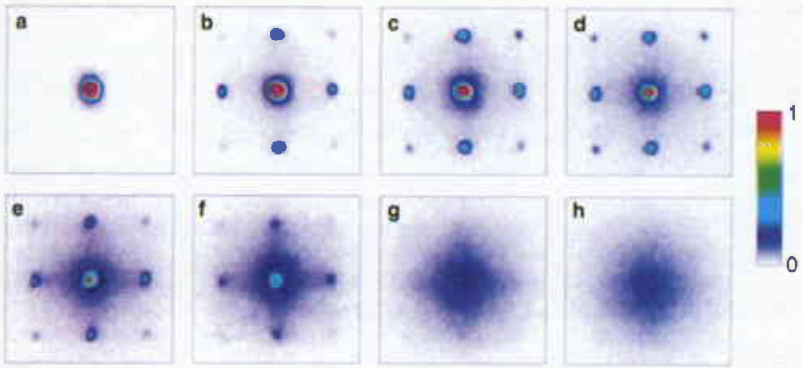
لقد شوهدت بداية انضغاط العدد في تجارب أجريت في جامعة يال، حيث عُرِّض متكثف إلى كمون شبيكة ضوئية أحادية البعد، شكلته موجة مستقرة لضوء ليزر [97]. أدت زيادة قدرة الليزر إلى رفع الحواجز بين النهايات الصغرى المتجاورة للكمون، موقفة بذلك العبور النفقي بينها، ويصبح عدد الذرّات المأسورة في كل نهاية صغرى شبيكية محدداً بدقة أكبر. عندما أطفئت turned off الشبيكة الضوئية فجأة، تراكبت بضع عشرات من المتكثفات الصغيرة mini-condensates، ولكن بأطوار نسبية عشوائية، لذا فإن آثار التداخل النموذجية في المتكثفات طُمِسَت.

انتقال الطور الكمومي

تحدث الصورة الأكثر وضوحاً لهذا الأثر في شبيكة ثلاثية الأبعاد، حيث تُنبِّئ نظرياً بانتقال طورٍ كموميٍّ هناك من مائع فائق مخفّف إلى عازل موت [98]، (الشكل 8). ففي طور العازل، تكون المواقع الشبيكية مشغولة بالعدد الصغير نفسه من الذرّات، فتتولد حالة ذات ترتيب عالٍ. إن فرجة الطاقة التي تنتج عن التدافعات ذرة - ذرة تعمل على كبح انتقال الذرّات من موقع إلى موقع. لقد شوهد هذا الانتقال الطوري حديثاً من قبل باحثين في جامعة لودويغ - مكسيمليان Ludwig - Maximilians في ميونيخ بألمانيا [99]، (الشكل 9). تُركت سحابة الغاز المتكاثف في هذه التجارب حتى تتوازن في الشبيكة، ثم أُطلقت بعد ذلك. إذا تمددت من حالة مائع فائق، تشكلت قمم تداخل قوية، ولكنّها تختفي بصورة مفاجئة فوق شدة شبيكية حرجة، مشيرة إلى وجود ضياع في ترابط الطور بين الذرّات في المواقع الشبيكية المتجاورة. وهكذا تبدأ التجارب بالذرّات الباردة كي تشكل منظومات مادة مكثّفة، والتي يمكن فيها تحقيق مجال واسع من الظواهر.



الشكل 8- طورا عازل موت mott ومائع فائق متواجدان في متكثف بوز - آينشتاين (BEC) في مصيدة مغنطيسية مع شبيكة ضوئية متراكبة [98]. تظهر على الشكل الكثافة الكلية للذرات الباردة (على اليسار) وكثافة المائع الفائق (على اليمين). الألوان ليست سوى أدلّة للرؤية. في طور العازل، يبين عدد الذرّات عدداً صحيحاً من الهضاب (على اليسار). تصبح كثافة المائع الفائق عظمى بين الهضاب.



الشكل 9- مشاهدة تجريبية لانتقال الطور الكمومي من مائع فائق إلى عازل موت في متكثف بوز - آينشتاين Rb [99]. عندما أُطلق الغاز من الشبيكة الضوئية تراكمت الذرّات من مواقع الشبيكة التي يفوق عددها 100,000. أما في حالة المائع الفائق، فقد تشكل نموذج التداخل للقمم المضاعفة نتيجة لترابط الطور. عندما ازداد كمون الشبيكة، كبح التداخل عددُ انضغاطٍ قوي في حالة العزل. من a وحتى g، جرت زيادة كمون الشبيكة من الصفر وحتى العشرين طاقة ارتداد.

الفيزياء الذرّية والجزيئية

لقد شدَّدنا في هذه المقالة على متكثفات بوز - آينشتاين (BECs) باعتبارها منظومة جديدة بالنسبة لفيزياء المادة المكثفة، مع طرق جديدة لتشكيل توابع موجية لجسيمات متعددة. وكما جاء في مقالة جوليين وزملائها الواردة في هذا العدد (انظر صفحة 36)، يُقدم المتكثف لنا مختبراً جديداً أيضاً من أجل فيزياء التصادم عند طاقة الصفر - دراسة التوابع الموجية لجسيمين وثلاثة جسيمات. وعلى مدى بضع السنوات القليلة الماضية بُذلت جهود تجريبية ونظرية وضَّحت التأثرات الذرّية وعملية التبعثر بالقرب من طاقة الصفر [100]. ولما كانت هذه التأثرات تعتمد على موضع السويات الكمومية الفردية فبالإمكان تعديلها بواسطة حقول مغنطيسية خارجية من خلال انزياحات زيمان Zeeman shifts [19]. إن تجاوبات فِشباخ في التصادمات الذرّية هذه تستخدم اليوم لإنتاج "متكثفات المصممين" بتأثرات جذبية أو دفعية قابلة للتعديل.

كما أن التكاثف مهم أيضاً باعتباره الطريقة الأسمى لخلق توابع موجية لجسيم وحيد (مشغولة بجسيمات متماثلة عديدة): إنه يوسع مجال علم البصريات الذرّية بتزويد "الليزرات الذرّية". المتكثفات هي منابع ذرية تتمتع بسطوعٍ عالٍ وتفرُّقٍ صغير وهي تُستعمل لإنجاز مزيد من التقدم في مقياسية التداخل الذري atom interferometry ومجالات أخرى للبصريات الذرّية، كما درسها رولستون Rolston وفيليبس Phillips في مراجعتهما المنشورة في الصفحة 27 من هذا العدد. عندما ندخل تأثرات الذرّات، تصبح البصريات الذرية لاخطية وتحدث عمليات مثل مزج أربع موجات وانتشار السوليتونات، وهكذا تتراكب الفيزياء الأساسية مع جوانب من فيزياء المادة المكثّفة. وهكذا تكون فروع الفيزياء المستقلة سابقاً قد اجتمعت معاً في دراسة متكثفات بوز - آينشتاين.

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

نظرة مستقبلية

وصل حقل الغازات المتكسة كموماً إلى مرحلة مثيرة من التطور. والعديد من الأفكار التي نوقشت هنا كانت من منجزات السنة الماضية، وهي دليل على التطور السريع والمستمر لهذا الحقل. إن المنظومات الذرّية الجديدة، وبخاصة منها الفرميونات الفائقة البرودة، قد وسعت برنامج البحث بشكل ملحوظ. ورغم أن ظاهرة درجة الحرارة المنخفضة القصوى - أي تكاثف بوز - آينشتاين - قد أنجزت بالنسبة للبوزونات، لكن الفرميونات لاتزال صامدة تتحدى الوصول حتى إلى درجات الحرارة الأخفض والتي ستؤدي بانتقال الطور إلى الاقتران والميوعة الفائقة. وهكذا فإن البحث عن ظواهر جديدة حتى عند درجات من الحرارة أخفض سيستمر ولن يتوقف.

REFERENCES المراجع

[1] Arimondo, E., Phillips, W. D. & Strumia, F. Laser Manipulation of Atoms and Ions (North - Holland, Amsterdam, 1992).

[2] Masuhara, N. et al. Evaporative cooling of spin - polarized atomic hydrogen. Phys. Rev. Lett. 61, 935 - 938 (1988).

[3] Ketterle, W., Durfee, D. S. & Stamper - Kurn, D. M. in Bose - Einstein Condensation in Atomic Gases (eds Inguscio, M., Stringari, S. & Wieman, C. E.) 67 - 176 (IOS Press, Amsterdam, 1999).

[4] Guéry - Odelin, D., Söding, J., Desbiolles, P. & Dalibard, J. Is Bose - Einstein condensation of atomic cesium possible? Europhys. Lett. 44, 25 - 30 (1998).

[5] Anderson, M. H., Ensher, J. R., Matthews, M. R., Wieman, C. E. & Cornell, E. A. Observation of Bose-Einstein condensation in a dilute atomic vapor. Science 269, 198 - 201 (1995).

[6] Davis, K. B. et al. Bose - Einstein condensation in a gas of sodium atoms. Phys. Rev. Lett. 75, 3969 - 3973 (1995).

[7] Bradley, C. C., Sackett, C. A., Tollet, J. J. & Hulet, R. G. Evidence of Bose - Einstein condensation in an atomic gas with attractive interactions. Phys. Rev. Lett. 75, 1687 - 1690 (1995).

[8] Fried, D. G. et al. Bose - Einstein condensation of atomic hydrogen. Phys. Rev. Lett. 81, 3811 - 3814 (1998).

[9] Schreck, F. et al. Quasipure Bose - Einstein condensate immersed in a fermi sea. Phys. Rev. Lett. 87, 080403 - 1 - 080403 - 4 - (2001).

[10] Robert, A. et al. A Bose - Einstein condensate of metastable atoms. Science 292, 461 - 464 (2001).

[11] Pereira Dos Santos, F. et al. Bose - Einstein condensation of metastable helium. Phys. Rev. Lett. 86, 3459 - 3462 (2001).

[12] Cornish, S. L., Claussen, N. R., Roberts, J. L., Cornell, E. A. & Wieman, C. E. Stable ^{85}Rb Bose - Einstein condensates with widely tunable interactions. Phys. Rev. Lett. 85, 1795 - 1798 (2000).

[13] Modugno, G. et al. Bose - Einstein condensation of potassium atoms by sympathetic cooling. Science 294, 1320 - 1322 (2001).

[14] Shlyapnikov, G. V., Walraven, J. T. M., Rahmanov, U. M. & Reynolds, M. W. Decay Kinetics and Bose condensation in a gas of spin - polarized triplet helium. Phys. Rev. lett. 73, 3247 - 3250 (1994).

[15] Barrett, M. D., Sauer, J. A. & Chapman, M. S. All - optical formation of an atomic Bose - Einstein condensate. Phys. Rev. Lett. 87, 010404 - 1 - 010404 - 4 (2001).

[16] Ott, H., Fortagh, J., Schlotterbeck, G., Grossmann, A. & Zimmermann, C. Bose - Einstein condensation in a surface microtrap. Phys. Rev. Lett. 87, 230401 - 1 - 230401 - 4 (2001).

[17] Hänsel, W., Hommelhoff, P., Hänsch, T. W. & Reichel, J. Bose - Einstein condensation on a microelectronic chip. Nature 413, 498 - 501 (2001).

[18] Gustavson, T. L. et al. Transport of Bose - Einstein condensates with optical tweezers. Phys. Rev. Lett. 88, 020401 - 1 - 020401 - 4 (2002).

[19] Tiesinga, E., Verhaar, B. J. & Stoof, H. T. C. Threshold and resonance phenomena in ultracold ground - state collisions. Phys. Rev. A 47, 4114 - 4122 (1993).

[20] Inouye, S. et al. Observation of feshbach resonances in a Bose - Einstein condensate. Nature 392, 151 - 154 (1998).

[21] Courteille, P., Freeland, R. S., Heinzen, D. J., van Abeelen, F. A. & Verhaar, B. J. Observation of a feshbach resonance in cold atom scattering. Phys. Rev. Lett. 81, 69 - 72 (1998).

[22] Myatt, C. J., Burt, E. A., Ghrist, R. W., Cornell, E. A. & Wieman, C. E. Production of two overlapping Bose - Einstein condensates by sympathetic cooling. Phys. Rev. Lett. 78, 586 - 589 (1997).

[23] Bloch, I., Greiner, M., Hänsch, O. M. W. & Esslinger, T. Sympathetic cooling of ^{85}Rb and ^{87}Rb. Phys. Rev. A 64, 021402 - 1 - 021402 - 4 (2001).

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

[24] DeMarco, B. & Jin, D. S. Onset of Fermi degeneracy in a trapped atomic gas. Science 285, 1703 - 1706 (1999).

[25] Truscott, A. G., Strecker, K. E., McAlexander, W. I., Partridge, G. B. & Hulet, R. G. observation of Fermi pressure in a gas of trapped atoms. Science 291, 2570 - 2572 (2001).

[26] Hadzibabic, Z. et al. Two species mixture of quantum degenerate Bose and Fermi gases. Preprint cond - mat / 0112425 at <http://XXX. lanl. gov> (2001).

[27] Granade, S. R., Gehm, M. E., O Hara, K. M. & Thomas, J. E. Preparation of a degenerate, two - component fermi gas by evaporation in a single beam optical trap. Preprint cond - mat / 0111344 at <http: //XXX. lanl.gov> (2001).

[28] Stoof, H. T. C. & Houbiers, M. in Bose-Einstein Condensation in Atomic Cases (eds Inguscio, M., Stringari, S. & Wieman. C. E.) 537-553 (IOS Press, Amsterdam, 1999).

[29] Timmermans, E. & Cote, R. Superfluidity in sympathetic cooling with atomic Bose-Einstein condensates. Phys. Rev. Lett. 80, 3419-3423 (1998).

[30] Timmermans, E. Degenerate Fermion gas heating by hole creation. Phys, Rev Lett. 87, 240403 - 1-240403-4 (2001).

[31] Kim, J. et al. Buffer-gas loading and magnetic trapping of atomic europium. Phys. Rev. Lett. 78, 3665-3668(1997).

[32] Horak, P., Hechenblaikner, G., Cheri, K. M., Stecher, H. & Ritsch, H. Cavity-induced atom cooling in the strong coupling regime. Phys. Rev. Lett, 79,4974-4977 (1997).

[33] Vuletic, V. & Chu, S. Laser cooling of atoms, ions, or molecules by coherent scattering. Phys. Rev. Lett. 84,3787-3790 (2000).

[34] Wynar, R., Preeland, R. S., Han, D. J., Ryu, C. & Heinzen, D. J. Molecules in a Bose-Einstein Condensate. Science 287, 1016- 1019 (2000).

[35] Heinzeri, D. J., Wynar, R., Drummond, P. D. & Kheruntsyan, K. V. Superchemistry: dynamics of coupled atomic and molecular Bose-Einstein condensates. Phys. Rev, Lett, 84, 5029-5033 (2000).

[36] Mewes, M. O. et al. Bose-Einstein condensation in a tightly confining DC magnetic trap. Phys. Rev. Lett. 77, 416-419 (1996).

[37] Bradley, C. C., Sackett, C. A. & Hulet, R. G. Bose-Einstein condensation of lithium: observation of limited condensate number. Phys. Rev. Lett. 78, 985-989 (1997).

[38] Dalfovo, F., Giorgini, S., Pitaevskii, L. P. & Stringari, S. Theory of Bose-Einstein condensation in trapped gases. Rev. Mod. Phys, 71, 463-512 (1999).

[39] Pitaevskii, L. P. Vortex lines in an imperfect Bose gas. Sov. Phys. JETP 13, 451-454 (1961).

[40] Gross, E. P. Structure of a quantized vortex in boson systems. Nuovo Cimento 20, 454-477 (1961).

[41] Bogoliubov, N. N. On the theory of superfluidity. J. Phys. (Moscow) 11, 23 (1947).

[42] Gardiner, C. W. Particle- number - conserving Bogoliubov method which demonstrates the validity of the time-dependent Gross-Pitaevskii equation for a highly condensed Bose gas. Phys. Rev. A 56, 1414-1423(1997).

[43] Castin, Y. & Dum, R. Low-temperature Bose - Einstein condensates in time-dependent traps: beyond the U (1) symmetry-breaking approach. Phys. Rev. A 57, 3008-3021 (1998).

[44] Burnett, K. in Bose-Einstein, Condensation in Atomic Gases (eds Inguscio, M., Stringari, S. & Wieman, C. E.) 265-285 (IOS Press, Amsterdam, 1999).

[45] Zaremba, E., Nikuni, T. & Griffin, A. Dynamics of Ttapped Bose gases at finite temperature. J. Low Temp. Phys. 116, 277-345 (1999).

[46] Miesner, H.-J. et,aL Bosonic stimulation in the formation of a Bose-Einstein condensate. Science 279, 1005-1007(1998).

[47] Köhl, M., Hänsch, T. W. & Esslinger, T. Growth of Bose - Einstein condensates from thermal vapor. Preprint cond-mat/0106642 at <http //xxx.lanl. gov> (2001).

[48] Moss, S. Formation and Decay of a Bose-Enistein Condensate in Atomic Hydrogen. Thesis, MIT (2001).

[49] Gardiner, C. W., Lee, M. D., Ballagh, R. J., Davis, M. J. & Zoller, P. Quantum kinetic theory of condensate growth: comparison of experiment and theory. Phys. Rev. Lett. 81, 5266-5269 (1998).

[50] Kocharovsky, V. V., Scully, M. O., Zhu, S. -Y. & Zubairy, M. S. Condensation of N bosons. II. Nonequilibrium analysis of an ideal Bose gas and the laser phase -transition analogy. Phys. Rev. A 61, 023609-1-023609 - 20 (2000).

[51] Walser, R., Williams, J., Cooper, J. & Holland, M. Quantum kinetic theory for a condensed bosonic gas. Phys. Rev. A 59, 3878 - 3889 (1999).

[52] Kagan, Y. & Svistunov, B. V. Evolution of correlation properties and appearance of broken symmetry in the

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

process of Bose-Einstein condensation. Phys, Rev. Lett. 79, 3331-3334 (1997).

[53] Bijlsma, M. J., Zaremba, E. & Stoof, H. T. C. Condensate growth in trapped Bose gases. Phys. Rev. Lett. 62, 063609-1-063609-16 (2000).

[54] Sackett. C. A., Gerton, J. M., Welling, M. & Hulet, R. G. Measurement of collective collapse in a Bose Einstein condensate with attractive interactions. Phys. Rev. Lett. 82, 876-879 (1999).

[55] Donlev, E. A. et al. Dynamics of collapsing and exploding Bose-Einstein condensates. Nature 412, 295-299 (2001).

[56] Hodby. E., Marago, O. M., Hechenblaikner, G. & Foot, C. J. Experimental observation of Beliaev, coupling in a Bose - Einstein condensate. Phys. Rev. Lett. 86, 2196-2199 (2001).

[57] Burger, S., Bongs, K., Dettmer, S., Ertmer, W. & Sengstock, K. Dark solitons in Bose - Einstein condensates. Phys. Rev. Lett. 83, 5198-5201(1999).

[58] Denschlag, J. et al. Generating solitons by phase engineering of a Bose-Einstein condensate. Science 287, 97-101 (2000).

[59] Wyatt, A. F. G. Evidence for a Bose-Einstein condensate in liquid ^{4}He from quantum evaporation. Nature 391, 56-59 (1998).

[60] Raman, C. et al. Evidence for a critical velocityin a Bose-Einstein condensed gas. Phys. Rev. Lett. 83, 2502-2505(1999).

[61] Onofrio, R. et al. Observation of superfluid flow in a Bose-Einstein condensed gas. Phys. Rev. Lett. 85, 2228-2231(2000).

[62] Burger. S., Cataliotti, F. S., Fort, C., Minardi, F. & Inguscio, M. Superfluid ant dissipative dynamics of a Bose-Einstein condensate in a periodic optical potential. Phys. Rev. Lett. 86, 4447-4450 (2001).

[63] Cataliotti, F. S. et al. Josephson junction arrays with Bose-Einstein condensates. Science 293, 843-846 (2001).

[64] Guéry - Odelin, D. & Stringari, S. Scissors mode and superfluidity of a trapped Bose - Einstein condensed gas. Phys. Rev. Lett. 83, 4452 - 4455 (1999).

[65] Maragó, O. M. et al. Observation of the scissors mode and evidence for superfluidity of a trapped Bose-Einstein condensed gas. Phys. Rev. lett. 84, 2056-2059 (2000).

[66] Williamis, J. E. & Holland, M. J. Preparing topological states of a Bose-Einstein condensate. Nature 401. 568 - 572 (1999).

[67] Matthews, M, R. et al. Vortices in a Bose-Einstein condensate. Phys. Rev. Lett. 83, 2498-2501 (1999).

[68] Madison, K. W., Chevy, F., Wohlleben, W. & Dalibard, J. Vortex formation in a stirred Bose-Einstein condensate. Phys. Rev. Lett. 84,806-809 (2000).

[69] Abo-Shaeer, J. R., Raman, C., Vogels, J. M. & Ketterle, W. Observation of vortex lattices in Bose - Einstein condensates. Science 292, 476-479 (2001).

[70] Haljan, P. C., Coddington, I., Engels, P. & Cornell, E. A. Driving Bose-Einstein condensate vorticity with a rotating normal cloud. Phys. Rev. Lett 87, 210403-1-210403-4 (2001).

[71] Anderson, B. P. et al. Watching dark solitons decay into vortex rings in a Bose-Einstein condensate. Phys. Rev. Lett. 86, 2926-2929 (2001).

[72] Hodby, E., Hechenblaikner, G., Hopkins, S. A., Marago, O. M. & Foot, C. J. Vortex nucleation in Bose-Einstein condensates in an oblate, purely magnetic potential. Phys. Rev. Lett. 88, 010405 - 1 - 010405 - 4(2002).

[73] Fetter, A. L. & Svidzinsky, A. A. Vortices in a trapped dilute Bose - Einstein condensate. J. Phys. Condens. Matter, 13, R135 - R194 (2001).

[74] Feder, D. L., Svidzinsky, A. A., Fetter. A. L. & Clark, C. W. Anomalous modes drive vortex dynamics in confined Bose - Eistein condensates. Phys. Rev. Lett. 86, 564-567(2001).

[75] Madison, K. W, Chevy, F., Bretin, V. & Dalibard, J. Stationary states of a rotating Bose - Einstein condensate: routes to vortex nucleation, phys. Rev. Lett 86, 4443 - 4446 (2001).

[76] Sinha, S. & Castin. Y. Dynamic instability of a rotating Bose - Einstein condensate. Phys. Rev. Lett. 87, 190402 - 1 - 190402 - 4 (2001).

[77] Dalfovo, F. & Stringari, S. Shape deformations and angular-momentum transfer in trapped Bose - Einstein condensates. phys. Rev- A 63, 011601 - 1 -011601 - 4 (2001).

[78] Anglin, J. R. Local vortex generation and the surface mode spectrum of large Bose - Einstein condensates. Phys. Rev. Lett. 87, 240401 - 1 - 240401 - 4 (2001).

[79] Anglin, J. R. Vortices near surfaces of Bose - Einstein condensates. Preprint Cond-mat / 0110389 at <http:// XXX.lanl. gov> (2001).

[80] Winiecki, T., Jackson, B., McCann, J. F. & Adams, C. S. Vortex shedding and drag in dilute Bose - Einstein condensates. J. Phys. B 33, 4069-4078 (2000).

[81] Feder, D. L. & Clark, C, W. Superfluid - to - solid crossover in a rotating Bose-Einstein condensate, plys. Rev. Lett. 87, 190401-1-190401-4 (2001).

[82] Hall, D. S., Matthews, M. R., Ensher, J. R., Wieman, C. E. & Cornell, E. A. Dynamics of component separation in a binary mixture of Bose - Einstein condensates. Phys. Rev. Lett. 81, 1539 - 1542 (1998).

[83] Stenger, J. et al. Spin domains in ground - state Bose - Einstein condensates. Nature 396, 345 - 348 (1998).

[84] Busch, T. & Anglin, J. R. Wave - function monopoles in Bose - Einstein condensates. Phys. Rev. A 60, R2669 - R2672 (1999).

[85] Stoof, H. T. C., Vliegen, E. & Al Khawaja, U. Monopoles an antiferromagnetic Bose - Einstein condensate. Phys. Rev. Lett. 87, 120407 - 1 -120407 - 4 (2001).

[86] Ho, T. - Spinor Bose condensates in optical traps. Phys. Rev. Lett. 81, 742 - 745 (1998).

[87] Al Khawaja, U. & Stoof, H. Skyrmions in a ferromagnetic Bose - Einstein condensate. Nature 411, 918 - 920 (2001).

[88] Ruostekoski, J, & Anglin, J. R. Creating vortex rings and three - dimensional skyrmions in Bose - Einstein condensates. Phys. Rev. Lett. 86, 3934 - 3937 (2001).

[89] Law, C. K., pu, H. & Bigelow, N. P. Quantum spins mixing in spinor Bose - Einstein condensates. Phys. Rev. Lett. 81, 5257 - 5261 (1998).

[90] Görlitz, A. et al. Realization of Bose - Einstein condensates in lower dimensions. Phys. Rev. Lett. 87, 130402 - 4 - 130402 - 4(2001).

[91] Kettererle, W. & van Druten, N. J. Bose - Einstein condensation of a finite number of particles trapped in one or three dimensions. Phys. Rev. A 54, 656 - 660 (1996).

[92] Petrov, D. S., Shlyapnikov, G. V. & Walraven, J. T. M. Regimes of quantum degenercy in trapped 1D gases. Phys. Rev. Lett. 85, 3745 - 3749 (2000).

[93] Dettmer, S. et al. Observation of phase fluctuations in elongated Bose - Einstein condensates. Phys. Rev. Lett. 87, 160406 - 1 - 160406 - 4 (2001).

[94] Monien, H., Linn, M. & Elstner, N. Trapped one - dimensional Bose as a Luttinger liquid. Phys. Rev. A 58, R3395 - R3398 (1998).

[95] Olshanii, M. Atomic scattering in presence of an external confinement and a gas of impenetrable bosons. Phys. Rev. Lett. 81, 938 - 941 (1998).

[96] Bouyer, P. & Kasevich, M. A. Heisenberg - limited spectroscopy with degenerate Bose - Einstein gases. phys. Rev. A 56, R1083 - R1086 (1997).

[97] 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).

[98] 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).

[99]Greiner, M., Mandel, O., Esslinger, T., Hänsch, 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).

[100] Heinzen, D. J. in Bose - Einstein Condensation in Atomic Gases (eds Inguscio, M., stringari, S. & Wieman, C. E.) 351 - 390 (IOS Press, Amsterdam, 1999).■

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

الضوئيات الذرّية اللاخطية والكمومية*

س .ل . رولستون و و . د .فيليبس
قسم الفيزياء الذرّية، المعهد الوطني للمقاييس والتقانة، ماريلاند
الولايات المتحدة الأمريكية.

ملخص

لقد أدّت أمواج المادة المترابطة على هيئة متكثفات بوز – آينشتاين إلى نشوء الضوئيات الذرّية اللاخطية والكمومية – وهي مشابهات أمواج دو بروي للضوئيات اللاخطية والكمومية في الضوء. شوهد، في الضوئيات الذرّية اللاخطية، مزج أربع أمواج من أمواج المادة ومزج مجموعات من الضوء وأمواج المادة. بلغ هذا التقدم ذروته في إثبات تضخيم أمواج المادة المترابطة طورياً. تمثل السوليتونات مجالاً فعّالاً آخر في الضوئيات الذرّية اللاخطية: هذه الأنماط من الانتشار للمعادلة التي تحكم متكثفات بوز آينشتاين قد تمّ تشكيلها تجريبياً، ولوحظ فيما بعد أنها تنقسم إلى دوّامات. اهتمت الضوئيات الذرّية الكمومية بالخواص الإحصائية وتعالقات حقول أمواج المادة. إن الخطوة الأولى في هذا المجال هي قياس تأرجحات العدد المختزل في متكثف بوز آينشتاين مجزّأً إلى سلسلة من آبار الكمون الضوئية.

الكلمات المفتاحية: ضوئيات لاخطية، ضوئيات ذرّية، مضخم أمواج المادة، متكثّف بوز – آينشتاين.

مع قدوم الليزر في عام 1960 بدأ عهد جديد في الضوئيات، أدّى في النهاية إلى ابتكارات تقانية عديدة، من الجراحة الليزرية حتى الأقراص المتراصة CD-ROMs. يتمتع ضوء الليزر بالترابط الشديد والشدّة العالية، وهذا لم يكن تحقيقه ممكناً من قبل. تمثّل هذه الخواص اختلافاً بيّناً عن المنابع الضوئية السابقة، مما أتاح الفرصة لظهور أنواع جديدة من الظواهر، كان من بينها ظواهر ضوئية لاخطية وتوليد الضوء اللاتقليدي (أي الكمومي). إن توليد متكثفات بوز – آينشتاين في الغاز الذرّي (BECs) [1، 2] أحدث تغيّراً مماثلاً في ضوئيات أمواج المادة (الضوئيات الذرّية).

كانت تجربة توليد التوافقية الثانية أو مضاعفة التواتر [3] هي إحدى أوائل التجارب الجديدة كيفياً التي أعقبت ظهور الليزر . شُعّت بلّورة شفّافة بنبضة قوية من ضوء ليزر أحمر، وتضمّنت النبضة البارزة مقداراً صغيراً من ضوءٍ أزرق، تواتره ضعف تواتر (نصف طول موجة) الضوء الأحمر. ظهر الضوء الأزرق لأن البلّورة استجابت بصورة لاخطية للحقل الكهربائي لليزر الوارد (تعتمد قرينة الانكسار على شدة الضوء). هذه الظواهر اللاخطية وسواها جعلت الضوئيات اللاخطية مجالاً مهمّاً ومثيراً للباحثين على مدى الأربعين سنة الماضية [4]، مع تطبيقات في الفيزياء، والكيمياء، وعلم الحياة (البيولوجيا).

العملية العكسية لتوليد التوافقية الثانية (أو توليد تواتر مجموع في حالة تواتُرَيْ دخل) هي التبديل الخافض الوسيطي parametric down-conversion [5]. في هذه العملية، تُحوَّل فوتونات ضوء الليزر الوارد على بلّورة إلى فوتونات مزدوجة (توأمية)، بحيث يكون مجموع تواتري الفوتونين الناتجين ومجموع اندفاعيهما مساويين على التوالي إلى تواتر واندفاع الفوتون الوارد. تكون أزواج الفوتونات متعالقة بقوة بحيث يكون الواحد منها مصاحباً دوماً للآخر، ويولَدان معاً (في زمن أقلّ من مقلوب عرض عُصابة تواتريهما)، بتواتر واتجاه متمّمَيْن complementary frequency and direction. إن عدد الفوتونات الصادرة في اتجاهات متمّمة هو نفسه، ممثلاً الحزم الضوئية بأفضل مما يمكن أن تمثله أي حزمة عادية على الإطلاق. وعلى نقيض ذلك، تولّد الحزمة الليزرية التي ترد على شاطر حزمة 50/50 مثالي تيارات من الفوتونات التي تكون أعدادها متماثلة في حدود الارتياب الإحصائي الخاص بإحصاء تعداد بواسون Poisson counting statistics فقط (شاطر الحزمة "يقلب قطعة نقود" من أجل كلّ فوتون يمرّ من خلاله).

هذه المساواة في أعداد الفوتونات الناتجة في عملية التحويل الوسيطي الخافض مستحيلة باستخدام أي حقل ضوئي "تقليدي" (أي الحقل الذي يمكن توليده بتوزع تقليدي للشحنات المهتزة والتيارات). إن ضغط التأرجحات النسبية بين الحقول الضوئية، والأمثلة الأخرى من الضوء اللاتقليدي، تشكّل لُبَّ الضوئيات الكمومية الأكثر حداثة. لقد عمل هذا الحقل الشيء الكثير ليعزّز فهمنا لميكانيك الكمّ والتحديدات التي يضعها على القياس.

ومنذ بضع سنوات فقط، لم تكن الفكرة القائلة بأن الذرّات قد تبدي ظواهر، كالمزج اللاخطي لإنتاج أمواج ذرّية جديدة، أو ضغط التأرجحات فيما دون الحدود الكمومية المعتادة، سوى وهم وخيال. واليوم، جعلت BECs (متكثفات بوز – آينشتاين) وتآثراتها ذرّة – ذرّة اللاخطية هذه الأفكار حقيقة بالنسبة للضوئيات الذرّية، تماماً كما فعل الليزر بالنسبة للضوئيات الفوتونية.

* 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

الضوئيات الذرّية المترابطة

الضوء الصادر عن ليزر هو ضوء "مترابط"، لا يشبه الضوء الصادر عن مصباح متوهج، على سبيل المثال. وهذا الترابط زماني (أي إن الضوء أحادي اللون، أو له تواتر وحيد)، ومكاني (أي يبدو الضوء قادماً من منبع وحيد شبه نقطي، وليس من منبع واسع). إن متكثف بوز - آينشتاين BEC مترابط ترابطاً مماثلاً. يحدث تكاثف بوز - آينشتاين عندما يبرّد غاز من جسيمات بوزونية (هي ذرّات في حالتنا) تبريداً كافياً ويُكثَّف تكثيفاً كافياً حتى يصبح طول موجة دو بروي للذرّات قريباً من متوسط البعد بين الجسيمات. يضع انتقال الطور الناتج جزءاً جهرياً من عدد الذرّات الكلي في أخفض حالة متوفرة لحركة مركز الكتلة. (هذا صحيح تماماً في حدّ يؤدي إلى تأثرات ذرّة - ذرّة متلاشية، ولكنه يبقى صورة مفيدة من أجل متكثفات بوز - آينشتاين المتأثرة تأثراً ضعيفاً والموصوفة هنا). وكما يميّز الليزرَ عددٌ كبير من الفوتونات في نمط أحادي من أنماط الحقل الكهرمغنطيسي، كذلك يميّز BEC عددٌ من الذرّات في حالة كمومية أحادية. وفي حدّ يؤدي إلى عدم وجود تأثرات، يمكن التفكير في BEC كما لو أنه عبارة عن عدد كبير من الذرّات لكلٍّ منها التابع الموجي نفسه الذي للذرّة الوحيدة. ومع التأثرات الضعيفة يكون كلّ جسيم، وبتقريب جيد، في تابع موجي فعّال مماثل هو تابع هارتري الموجي Hartree wave Function، الذي يعبّر عن تأثرات ذرّة- ذرّة مع تقريب الحقل الوسطي. الطور الكمومي منتظم خلال المتكثّف. إن هذه الحالة الأحادية وهذا الطور المنتظم يكافئان ترابط ضوء الليزر.

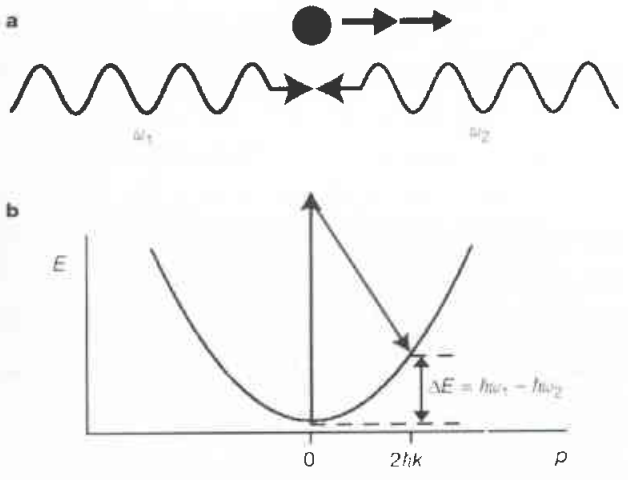
هنالك مظهر آخر يميّز الليزر عن المصدر الحراري (ضوء المصباح) ألا وهو إحصاء تأرجحات شدة الضوء الصادر، فالليزر يصدر فوتونات في حالة تدعى مترابطة، حيث أن الكشف عن فوتون لا ينبئنا بشيء عن الفوتون التالي. ومن جهة أخرى، إن الضوء الحراري يبدي ما ندعوه "تحزيم" الفوتونات photon bunching (أي إن الفوتونات تتجمع في باقات) - لو تمّ كشف فوتون فهنالك احتمال كبير لكشف فوتون ثانٍ بعده حالاً. الضوء الذي يخرج من مصباح ضوئي يكون أكثر ضحيجاً من ضوء الليزر. يتمتع متكثّف بوز - آينشتاين بالخاصّة ذاتها التي يتمتع بها الليزر، والتي جرى التحقق منها بواسطة تجربة تصادم [6] التي درست احتمال وجود ثلاث ذرّات بجوار بعضها بعضاً (وهو الشبه المكاني للقياس الزمني للإحصاء في الليزر).

إن معادلة شرودينغر، التي تحدّد الأسلوب الذي تتبعه الذرّات، تشبه كثيراً في بنيتها معادلة الأمواج التقليدية التي تتحكم بالأمواج الضوئية. وبناءً عليه، ليس من المستغرب أن نعامل أمواج المادة بالطريقة ذاتها التي نعامل بها أمواج الضوء. إن البصريات الذرّية هي مناولة manipulation الأمواج الذرّية بأسلوب يشبه مناولة الضوء (بالعدسات، وشاطرات الحزمة، وشبكات الانعراج، وهكذا). ينبغي على الضوئيات الذرّية المترابطة أن تحافظ على ترابط الذرّات، وإن انتقال الاندفاع بين ضوء مترابط وذرّات مترابطة يؤمّن المناولة المترابطة اللازمة. لضمان تأثرات مترابطة فقط، فإن التجارب التي تبطل توليف تواترات الليزر بعيداً بما يكفي عن التجاوب الذرّي الذي يكون فيه الامتصاص الفوتوني متبوعاً بإصدار تلقائي (الذي سيؤدي إلى لاترابط) تكون مهملة. يمكن اعتبار انعكاس الذرّات، وشطر حزمها، وانعراجها كما لو أنه تغيّر في اندفاع الذرّات، من قيمة ابتدائية إلى قيمة نهائية وحيدة، أو إلى انضمام الاندفاعات. وتوجد طريقة روتينية تبيّن كيف يتم ذلك تدعى انعراج براغ Bragg diffraction [7].

يُنسب انعراج براغ في العادة إلى تبعثر أشعة X من على البلّورات، ولا يمكن تحقيق انحفاظ الاندفاع والطاقة إلا من أجل زاوية ورود يتداخل عندها التبعثر من على أي مستوٍ ذرّي تداخلاً بنّاءً، مؤدياً إلى انعكاس مرآتي. في الضوئيات الذرّية يكون دور المادة والضوء معكوساً - الموجة الذرّية تبعثر موجة ضوئية مستقرة دورية (شبيكة ضوئية). وفي حالة متكثّف بوز - آينشتاين، تكون الموجة المستقرة متحركة، بصورة تشبه النظر إليها في الإطار المتحرك للشبيكة، فموجة المادة تنعكس بصورة مرآتية، عاكسة سرعتها. شوهد تبعثر براغ الذرّي لأول مرة بحزمة ذرّية حرارية تسقط على موجة ضوء مستقرة [8].

إن الذرّات المنعرجة وفق براغ، كما هو موضّح في الشكل 1، تعيد توزيع الفوتونات بصورة مترابطة بين حزمتي ليزر متقاطعتين لهما تواتران مختلفان، وهي عملية تُنتج تغيّراً مترابطاً في اندفاع وطاقة الذرّات. يمكن ترك الذرّات بصورة قابلة للتحكم في انضمام الحالتي الاندفاع الابتدائي والنهائي، وذلك باختيار شدة الليزر الملائمة وأمد النبضة. وهكذا يمكن تشغيل انعراج براغ كمرآة (عندما تنتقل كل الذرّات إلى حالة الاندفاع الجديدة) أو كشاطر حزمة (عندما تكون الذرّات في الحالة التي تتراكب فيها حالتا الاندفاع).

يتم إنجاز انعراج براغ باستخدام نبضات ليزر طويلة بقدرٍ كافٍ بحيث يكون انتشار فوريه Fourier spread لطاقات الفوتونات أقل من التغيّر الحاصل في الطاقة الحركية الذرّية التي ترافق تغيّرات الاندفاع. ومن أجل نبضات أقصر، يكون الانعراج المترابط ممكناً في مراتب مضاعفة [9]. إن التجارب التي أجريت بمقاييس التداخل [10-12] وغيرها من التجارب [13، 14]، أكّدت جميعها ترابط المناولة الانعراجية لمتكثفات بوز -



الشكل 1- العملية الرئيسة لانتقال الاندفاع بين حقول ليزرية وذرّات منهمكة في تبعثر براغ . a)- تمتص ذرّة فوتوناً من حزمة ليزرية (ω_1)، فتُحرَّض وتصدره بتواتر آخر (ω_2). b)- علاقة التشتت لذرّة حرّة تظهر كقطع مكافئ، $E = p^2/2m$. الفرق في اندفاع الفوتونين هو التغيّر في اندفاع الذرّة، والفرق في طاقة الفوتون هو التغيّر في الطاقة الحركية للذرّة.

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

آينشتاين، وأصبحت الآن أداة راسخة لتكوين حالات متميزة للموجة المادية باندفاعات معرّفة بشكل جيد.

مزج أربع أمواج من الذرّات

إن مزج أربع أمواج من الضوء [15] يُعدّ توسعاً ذا مرتبة أعلى للعملية اللاخطية من المرتبة الثانية التي أشرنا إليها من قبل وهي توليد ضوء أزرق من ضوء أحمر. في تلك العملية، يُنتِجُ حقلان ضوئيان $E_{\omega 1}$ و $E_{\omega 2}$ ($\omega_1 = \omega_2$) من أجل مضاعفة التواتر) استقطاباً $P_{\omega 1 \pm \omega 2} = \chi_2 E_{\omega 1} E_{\omega 2}$، حيث χ_2 هي الطواعية من المرتبة الثانية للوسط، ممثلة طبيعته اللاخطية. يشعّ الاستقطاب $P_{\omega 1 + \omega 2}$ تواتر المجموع. وفي عملية مزج أربع أمواج، تُنتِجُ ثلاثةُ حقول استقطاباً $P_{\omega 1 \pm \omega 2 \pm \omega 3} = \chi_3 E_{\omega 1} E_{\omega 2} E_{\omega 3}$، حيث χ_3 الطواعية من المرتبة الثالثة. في الحالة النموذجية، سيشعّ الاستقطاب موجة رابعة عند التواتر $\omega_4 = \omega_1 + \omega_2 - \omega_3$، بشعاع موجي $k_4 = k_1 + k_2 - k_3$. تعكس هذه الشروط متطلبات انحفاظ الطاقة والاندفاع. ينتج، من اختفاء فوتونين بتواترين ω_1 و ω_2 ومن الإصدار المحثوث لفوتون ثالث تواتره ω_3 ، فوتون جديد بتواتر ω_4.

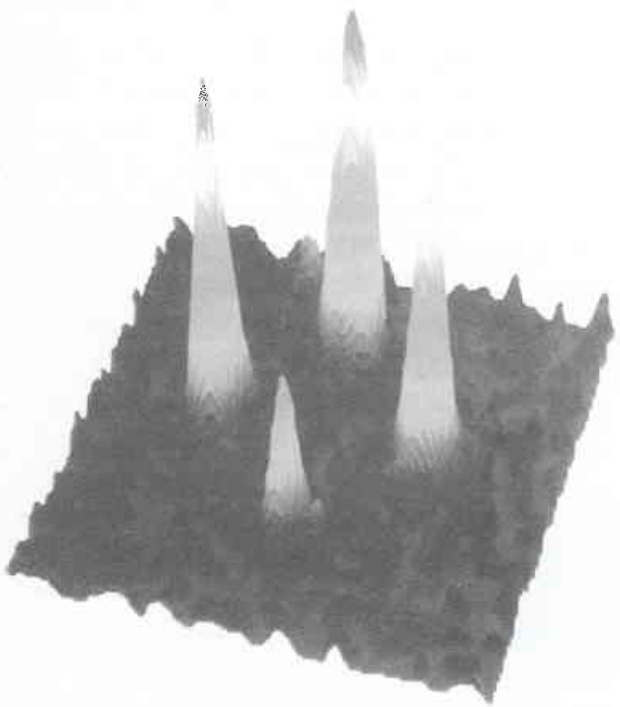
يمكن أن تحدث عملية مزج أربع موجات بالطريقة ذاتها في عيّنة مترابطة من الذرّات، بمزج ثلاث أمواج مختلفة من أمواج دو بروي كي ينتج عنها موجة رابعة [16، 17]. تُعدّ الطواعية اللاخطية في الضوئيات الفوتونية خاصّة من خواص الوسط. أما في الضوئيات الذرّية، فتأتي اللاخطية متحرّرة من تأثرات ذرّة - ذرّة (ترابط، تصادمات مرنة للأمواج s-؛ انظر المراجعة التي أعدتها جوليين وزملاؤها في الصفحة 36 من هذا العدد). ومع أنه قد يبدو غريباً أن نتكلم عن مزج أمواج ذرّية لتشكيل موجة ذرّية جديدة، فإن معادلة غروس - بيتاإيفسكي أو معادلة شرودينغر اللاخطية [18] التي تصف سلوك متكثف بوز آينشتاين هي في الحقيقة المعادلة التي تصف الضوء في وسط لاخطي بطواعية من المرتبة الثالثة.

توجد صورة مختلفة لمزج أربع أمواج ضوئية وهي أن الأمواج الضوئية المتداخلة في وسط لا خطي ينتج عنها تغيّر دوري في قرينة الانكسار تنعرج عنه موجة أخرى وفق انعراج براغ. كما أن مزج أربع أمواج ذرّية يمكن أن يُرى بهذه الطريقة : فتداخل موجتين من الأمواج الذرّية يشكّل شبكة grating، وهي موجة مستقرة أو تغيّر دوري في الكثافة الذرّية على هيئة كُدُسٍ من المستويات ذوات الكثافات العالية والمنخفضة بصورة متناوبة. وتستطيع الموجة الذرّية الثالثة بعدئذ أن تنعرج وفق براغ من هذه المجموعة من المستويات، وتكون الموجة المنعرجة هي الرابعة، وهي الموجة المتولدة حديثاً.

بدأت التجربة التي توضّح عملية مزج أربع أمواج من الذرات [19] بمتكثّف بوز - آينشتاين، وطُبّقت على التوالي نبضات من حزم ليزرية متقاطعة لخلق حالتين إضافيتين للاندفاع بواسطة انعراج براغ. إن طور الإعداد والتحضير هذا قصير جداً لدرجة أن حالات الاندفاع الثلاث الناتجة (واحدة منها هي الحالة الابتدائية $p = 0$) تتراكب كلّياً في الفضاء. تتآثر الأمواج الثلاث من خلال تصادماتها ذرّة - ذرّة، مولّدة موجة رابعة عن طريق تبعثر براغ للذرّات بالذرّات. وبعد مدة من الطيران الحرّ، تنفصل مركّبات الاندفاع ونرى، في الشكل 2، المركّبات الثلاث الأصلية والمركّبة الرابعة الجديدة.

وكما هي الحال في مزج أربع أمواج ضوئية، ينبغي أن تكون الاندفاعات الثلاثة الابتدائية مختارة بعناية بحيث يكون شرط انحفاظ الطاقة والاندفاع محقّقاً ("توافق الطور" phase matching). عندما تُخلق ثلاثة اندفاعات ابتدائية لم تحقق شرط توافق الطور، فلا تُشاهَد إلاّ مركّبات الاندفاعات الثلاثة الأصلية ولا يُشاهَد الاندفاع الرابع. أُعدّت في التجربة سعات مركّبات الاندفاعات الأولية الثلاثة لتكون متساوية، ومع ذلك فإن إحدى القمم (الذُرى) تكون أكبر من القمم الأخرى بصورة واضحة في الشكل 2. وهذا يرجع إلى أن عملية المزج تخلق موجة جديدة، وتضخم إحدى الأمواج الثلاث الأصلية، وتبطل تضخيم الاثنتين الأخريين.

نتوقع أن تكون عملية التضخيم متعالقة كلّياً مع خلق الموجة الرابعة (رغم أن ذلك بحاجة إلى التأكيد التجريبي). وهذا يعني أنه من أجل كلّ ذرّة موضوعة في الموجة الرابعة المخلوقة حديثاً، هنالك موجة واحدة بالضبط ينبغي أن تُضاف إلى الموجة المضخمة. هذا التعالق يذكّر بالتعالقات الموجودة في مبدّل وسيطي خافض للتواتر في الضوئيات الفوتونية. وسيكون من الصعب مشاهدة مثل هذه التعالقات في تجربة مزج أربع أمواج، لأن الخلفية غير المتعالقة الكبيرة من موجة حالة الدخل input- state wave يجري تضخيمها. ومع ذلك، فإنها تبيّن كيف أن



الشكل 2- نتائج مزج أربع أمواج من أمواج دو بروي [18]. تمثل كلّ قمة ذرّات لها اندفاعات مختلفة شوهدت بعد فترة من الطيران الحرّ، الذي يسمح للمركّبات المختلفة أن تنفصل. إن القمم الثلاث الأكبر هي الاندفاعات الثلاثة الأولية التي أُحدِثَت من متكثف بوز- آينشتاين (BEC) بواسطة انعراج الذرّات بالضوء انعراجاً براغياً. الموجة الرابعة، التي تشكّلت بالتآثر اللاخطي بين الذرّات، هي أصغر القمم. لقد ضخّمت أكبر القمم في عملية المزج ذاتها التي تنتج الموجة الرابعة.

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

التعالقات التقليدية يمكن أن تبرز من التأثرات اللاخطية في الضوئيات الذرّية، وهي مثال عن تضخيم أمواج المادة.

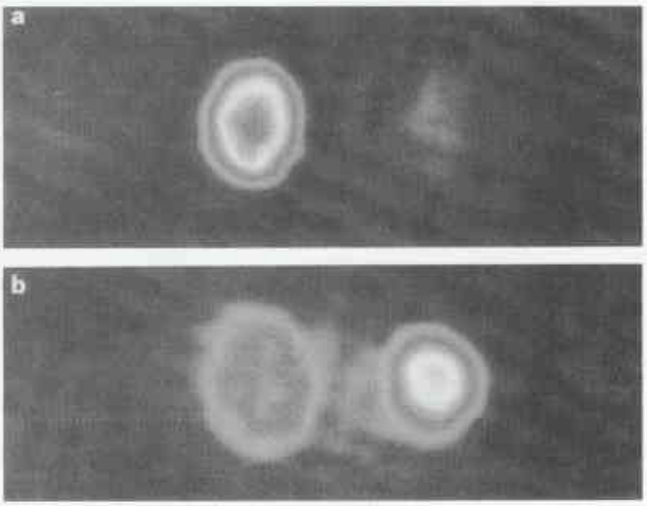
يوجد شبيه ضوئي ذرّي [20] لمضاعفة التواتر، ألا وهو المشاركة الفوتونية photoassociation للذرّات الباردة في جزيئات متثانية dimer molecules. ومع أن المشاركة الفوتونية قد شوهدت في متكثّف بوز - آينشتاين، لكن إنتاج الترابط للجزيئات الباردة يظل سؤالاً مفتوحاً. قامت بدراسة هذه المسألة جوليين وزملاؤها في مقال المراجعة عن موضوع التصادمات الفائقة البرودة المنشور في الصفحة 36 من هذا العدد.

المضخّمات

ليس من الضروري أن يقتصر مزج أربع أمواج على الأمواج الذرّية فقط، أو الحقول الضوئية فقط. في الحقيقة، يمكن النظر إلى انعراج براغ للذرّات بواسطة الضوء كعملية مزج أربع أمواج، موجتين ضوئيتين وموجتين ماديتين. أمواج الدخل الثلاث هي الحزمتان الضوئيتان والمتكثّف الأولي، أما الموجة الرابعة فهي الموجة المادية المنعرجة وفق براغ. وكما هو الحال في عملية مزج الأمواج الأربع التي كلّها ذرّية، ينقص تضخيم موجتين منها (في هذه الحالة تكون إحداهما حقلاً ليزرياً وتكون الأخرى حقلاً ذرّياً) ويُضَخَّم حقل (ليزر)، وتُخلَق موجة رابعة (مادية). إن هذا التضخيم ونقص التضخيم للحزم الليزرية (إعادة توزع فوتوني) لم يُلاحَظ مباشرة من أجل انعراج براغ الذرّي، رغم أن إعادة التوزع الفوتوني قد لوحظت في أوساط أخرى [21].

إن تعريض BEC مُطَوَّلٍ للإضاءة بحزمة ليزر وحيدة من قِبَل الباحثين في معهد ماساتشوستس للتقانة (MIT) أحدث دهشة: تبعثر مترابط للمتكثّف إلى حالة اندفاع جديدة والإصدار الموجه والمترابط للضوء المتبعثر [22]. وهذه أيضاً يمكن تأويلها كمزج أربع أمواج، حيث تكوّنت الدخول inputs من موجة ضوئية وموجتين ماديتين (موجة BEC وموجة الذرّة المرتدة التي خلقها الإصدار التلقائي لفوتون مفرد). عندما يُعثر فوتون وفق الاتجاه الطويل للمتكثّف الذي له شكل السيجار، فإن الذرّة المرتدة أنتجت شبكة براغ Bragg grating التي عزّزت احتمال أن تكون إصدارات أكثر قيد التبعثر في هذا الاتجاه - عملية كسب بالنسبة لهذا النمط، مما يؤكد أن التضخيم موجود في مزج أربع أمواج. يمكن استغلال هذا الأمر لبناء مضخم أمواج مادية (مزج أربع أمواج بدَخْلَي موجتين ذرّيتين ودَخْل موجة ليزرية)، والذي سيضخم دخل موجة دو بروي، بدلاً من تضخيم تلك التي كانت قد تولّدت تلقائياً.

وبعد هذه التجارب مباشرة، أظهرت كل من مجموعة MIT ومجموعة أخرى من جامعة طوكيو مضخمات أمواج مادية مترابطة الطور [11، 12]. يبيّن الشكل 3 نتائج تجربة طوكيو، التي خلقت فيها نبضةُ براغ ضعيفة موجةَ دو بروي ذات سعة صغيرة باندفاع محدّد تماماً. تداخلت هذه الموجة مع المتكثّف المتبقي، مشكّلةً شبكة أمواج مادية. وبعد ذلك، فإن نبضة ليزرية مطبّقة انعرجت على هذه الشبكة انعراج براغ، فخُلِقت الذرّات المرتدة ولها الاندفاع ذاته الذي للموجة الأولية الصغيرة (أي ببساطة نتيجة انحفاظ الطاقة والاندفاع). تداخلت الموجة المرتدة تداخلاً بنّاءً مع الموجة الابتدائية، مشكّلةً شبكة مادية أعمق، وهذه زادت



الشكل 3- تضخيم أمواج المادة [11]. a)- إن توزع الاندفاعات لمتكثّف روبيديوم كان قد أُضيء بواسطة نبضات براغ، منتجة كمّية قليلة (6%) من الذرّات المنعرجة عند $2\hbar k$ (مرئي بصورة ضعيفة على يمين BEC). b)- متكثّف BEC مُحضَّر كما في a أُضيء بواسطة حزمة ليزرية ذات مسبر ضعيف. مركبة $2\hbar k$ الصغيرة للمتكثّف BEC تضع البذرة للمضخم، بحيث أن مركّبة الاندفاع هذه تُضَخَّم بصورة مفضّلة. إن ما يقارب 66% من الإسكان الذرّي ينتهي باندفاع قدره $2\hbar k$.

التبعثر أكثر إلى هذا النمط. كانت النتيجة تضخيماً لموجة الدخل، بمقدار يصل إلى عامل يبلغ 30 في تجربة MIT. ينبغي أن تكون العملية مترابطة بصورة كاملة، وكانت المجموعتان قادرتين على تحقيق هذا الترابط بخلق مقاييس تداخل ذرّية. وقد أكّد التداخل المشاهَد بين الموجة المضخَّمة وأمواج المادة المرجعية، التي تشكّلت مع نبضات براغ الإضافية، أن هذه كانت بالفعل مضخمات أمواج مادية مترابطة الطور. ولما كان التضخيم يقع في قلب ليزر ضوئي، يمكننا أن نتوقع أن مضخمات الأمواج المادية قد تجد لها تطبيقات في زيادة سطوع الليزرات الذرّية (انظر المؤطر1).

لقد قدّمنا تفسيراً فيزيائياً لمزج أربع أمواج لدى ظهورها من التبعثر على الشبكات، سواء كانت مكوّنة من الذرّات أو من الضوء. هنالك تفسير مكافئ تماماً، لكنه على ما يظهر مختلف جداً، وهو أن ننظر إلى مزج أربع أمواج وتضخيم الأمواج المادية كنتيجة لتحريض بوز - وهو الخاصّة الإحصائية الكمومية التي تنص على أن تبعثر البوزونات إلى نمط خاص يتناسب وعدد البوزونات الموجودة أصلاً في ذلك النمط. إن هذه الصفة الإحصائية الخاصّة للبوزونات كما تبدو هي إلى حدٍّ ما مجرد خاصّة موجية تقليدية - الصورة الفيزيائية الصحيحة للإصدار المحثوث للضوء هي ببساطة تداخل موجة تولّدت تلقائياً مع الموجة الواردة. يدعى هذا التداخل البنّاء "تحريض بوز" Bose stimulation عندما نشير إلى أمواج المادة، وإصداراً محثوثاً عندما نشير إلى أمواج الضوء، لكن المسألة أكثر دقة من ذلك. لقد بيّنت ورقتان علميتان حديثتان [23، 24] أنه من الممكن أن نقوم بعملية مزج أربع أمواج (أو شيءٍ ما يبدو غير قابل للتمايز) مع الفرميونات، حيث لا يوجد عامل حثّ على نحو بيّن، لأن فرميوناً واحداً فقط يمكن أن يشغل نمطاً واحداً. يبدو أن الجواب على هذه المفارقة

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

المؤطّر 1:

الليزرات الذرّية

تنتج الليزرات الضوئية حزماً من الفوتونات باقتلاع ضوء مترابط مخزون في جوف الليزر من خلال مرآة ذات نفوذ جزئي . وبالطريقة ذاتها يقتلع ليزر ذرّي ذرّات مترابطة من متكثف بوز - آينشتاين (BEC) كحزمة ذرية للخرج. وهنا يتبنّى BEC دور الحقل ضمن الجوف، تقوم المصيدة مقام الجوف، ولقد استُخدمت آليات مختلفة كمِقْرَنات (أدوات ربط) للخرج . في أول ليزر ذرّي [40]، حرّضت نبضة ذات تواتر راديوي جزءاً من ذرّات ماسورة كي تقوم بانتقال إلى حالة غير ماسورة، وعندئذٍ سقطت هذه الذرّات من المصيدة بنتيجة الثقالة. وهناك ليزرات ذرّية أخرى استُخدمت انتقالات بتواترات راديوية [41] أو عبور نفقي محرّض بالثقالة [42]. إن متكثف BEC لأول غاز ذرّي [1] عرض، إلى حدٍّ ما، ليزراً ذرياً "مهمل الجوف" cavity dumped atom laser، بكلّ بساطة عن طريق فتح المصيدة وترك الذرّات تهرب. الشكل في الأسفل هو حزمة خرج لليزر ذري [43] بحيث يأخذ فيه انتقال رامان الضوئي ذو الفوتونين الذرّات من حالة ماسورة إلى حالة غير ماسورة، مقدماً لها زكلة اندفاع momentum kick من الفوتونين في العملية. ورغم أن الليزرات الذرّية تبدي شبهاً مع الليزرات الفوتونية، لكن يبقى عليها أن تتقدّم إلى مرحلة أبعد كثيراً عن مرحلة العرض.

ليزر ذرّي تشكّل بنبضات رامان. إن صورة الكثافة الذرّية كما هي مأخوذة بعد 1401-µs من تطبيق نبضات رامان الضوئية على متكثّف BEC للصوديوم. تنقل نبضات رامان الذرّات إلى سوية زيمان الفرعية $m=0$، حيث لاتشعر الذرّات عندها بالمصيدة المغنطيسية، كما أنها تشارك بسرعة تساوي $6\ cm\ s^{-1}$ (من ارتدادات الفوتونين). وهذا يولّد حزمة ليزر ذرّي شبه مستمرة، لأن حجم كلّ نبضة خرج يساوي 30 µm، بينما يبلغ الفاصل بين القمم المتعاقبة 3 µm فقط. يبلغ البعد الأفقي للشكل $\sim 1.5\ mm$.

(المحيِّرة) يكمن في تداخلات متعددة الجسيمات بنّاءة، حيث يمكن لقطعة من تابع فِرمي الموجي الكلّي أن يكون لها الخواص التناظرية ذاتها كتابع موجي لبوز، ويَولّد تقريباً التعزيز نفسه للتبعثر في اتجاهٍ محدّد تماماً.

السوليتونات

لا تقتصر تابعية قرينة انكسار الوسط اللاخطي للشدة على إنتاج ظواهر مثل مزج الأمواج وتوليد التوافقيات فحسب، بل تستطيع أيضاً أن تؤثر على انتشار نبضة الضوء. إذا مرَّ الضوء عبر منطقة تتغيّر فيها قرينة الانكسار مكانياً، فإما أن يصيبها انحراف أو تشوّه أو حتى تبئير أو لا تبئير. وإذا كان الضوء ذاته سبباً في تغيّر القرينة، فهذه عملية لاخطية.

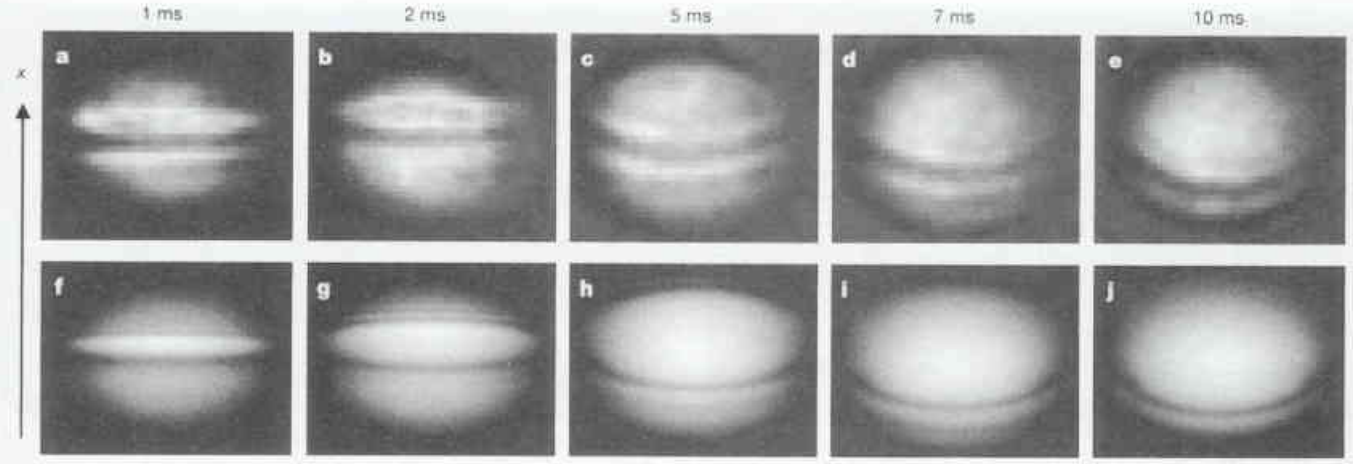
إحدى هذه الظواهر التي تمّ تحقيقها تجارياً في الاتصالات الضوئية تُعرف باسم السوليتون soliton، وهو رزمة أمواج تستطيع أن تنتشر لمسافات طويلة في وسط لاخطي من دون أن تتباعد. اكتُشفت السوليتونات (أمواج منعزلة أو منفردة solitary waves) أول مرة [25] في عام 1834 من قِبَل جون سكوت روسّل J. S. Russell، وهو مهندس سكوتلندي تتبع على صهوة جواده "رابية" مفردة من الماء انتقلت لأكثر من ميل في قناة من دون تباعد . السوليتونات كلّية الوجود في منظومات لا خطية عديدة ، حيث تمثل حلولاً مستقرة للمعادلة الموجية اللاخطية التي تحكم الانتشار (لن نميز هنا بين السوليتونات والأمواج المنعزلة). إن نوع السوليتون الذي شاهده روسل والذي استخدم في الاتصالات بواسطة الألياف هو سوليتون "ساطع" bright soliton. إنه يتألف من نبضة من الضوء ذات غلاف معيَّن لا يتغير مع الزمن عندما يتحرك، لأن تابعية قرينة الانكسار للشدة تعوِّض بالضبط عن التبدد (تواترات مختلفة تنتقل بسرعات مختلفة).

إن المعادلة اللاخطية التي تصف الذرّات في متكثف بوز – آينشتاين BEC لها البنية ذاتها التي للمعادلة اللاخطية التي تحكم الغلاف لنبضة ضوء تنتشر في ليف. لكن إشارة الحدّ اللاخطي معاكسة (من أجل ذرّات ذات تآثر دفعي)، وبذلك تكون الحلول المستقرة هي السوليتونات المظلمة (شوهدت كذلك في ألياف من أجل بعض الوسطاء ، لكنها أقل فائدة من أجل الاتصالات). يتألف السوليتون المظلم من ثلمَة في جانبية الكثافة، وله شكل خاص بحيث يسمح للانتشار بدون تباعد. كما أن له خطوة مميّزة في الطور خلال الثلمَة. كما أن السوليتونات في BEC لها صفة مميّزة أخرى يمكن تمييزها – فهي تنتشر بسرعة أقل من سرعة الصوت. تتناسب سرعة الانتشار مع عمق الثلمَة، بحيث لو أن الثلمَة تمتد إلى كثافة الصفر، فإن السوليتون يكون "أسود" ومستقراً.

قامت مجموعتان، من المعهد الوطني للمقاييس والتقانة (NIST) في غيثيرزبرغ، وجامعة هانوفر في ألمانيا، بالتحضير لخلق ومشاهدة السوليتونات في BECs [26، 27]. وقد استطاعت كلتا المجموعتين توليد سوليتونات سوداء بالاستفادة من خطوة الطور المميّزة. طبّقت المجموعتان نبضة قصيرة من ضوء الليزر الذي أضاء أحد النصفين من BEC. وهذا الضوء، الذي تمّ توليفه بعيداً عن التجاوب الذرّي، ولّد انزياحاً في الطور على النصف المُضاء من BEC، مشكّلاً خطوة طورية خلال BEC. وبعد النبضة الليزرية، تطوّر BEC من أجل أطوال متغيرة من الزمن، ثم قيست جانبية الكثافة بواسطة التصوير بالامتصاص absorption imaging.

تُبيّن نتائج NIST المعروضة في الشكل 4 أن ثُلمَة سوداء dark notch تشكّلت ثمّ انتشرت نحو الأسفل. يمكن تحديد هوية الثُلمَة كَسوليتون بكلّ تأكيد لأنها انتقلت في الاتجاه المعاكس لانتقال الاندفاع من القوة التدرُّجية لحزمة الليزر المضيئة (طُبّقت قوة ضوئية على الذرّات، في المنطقة الضيقة حيث انتقلت حزمة الليزر من سطوع إلى ظلام)، وكانت سرعة انتشارها أقل من سرعة الصوت. وكما هو متوقع، لقدلاحظوا أنه كلما كانت الثُلمَة أعمق، كان انتشار السوليتون أبطأ. إن تقوس السوليتونات المُلاحَظ كان نتيجة لجانبية الكثافة في BEC، التي كانت تعني أن سرعة الصوت وسرعة السوليتون لهما تغيّر مكاني أيضاً. وفي الشكل 4 أيضاً

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



الشكل 4- سوليتونات سوداء (معتمة) نتجت في المتكثّف BEC بدمعة طورية [28]. (a - e)- صور تجريبية للكثافة الذرّية المتكاملة؛ (f-j)- سوليتونات معادلة غروس - بيتاإفسكي ثلاثية الأبعاد، بعد خطوة طور $a \sim 1.5\text{-}\pi$ كانت مدموغة على النصف العلوي من المتكثّف. اضطراب في الكثافة (أمواج صوتية) تحرك بسرعة نحو الأعلى، وتحرك سوليتون معتم بصورة عكسية بسرعة أقل كثيراً من سرعة الصوت. التقوّس هو نتيجة لعدم انتظام الكثافة الذرّية.

تُعرَض سوليتونات معادلة غروس - بيتاإيفسكي ثلاثية الأبعاد، دالّة على توافق ممتاز مع النتائج التجريبية.

وأحد الأسئلة المهمّة هو التساؤل عما يحدث عندما ينتشر السوليتون إلى جانب المتكثّف. عندما تتناقص الكثافة، هل تبقى الثُلمَة جزءاً ثابتاً من الكثافة الموضعية، أم هل يبقى عمقها ثابتاً إلى أن يبلغ قاع الثُلمَة كثافة الصفر، وتصبح هي سوليتوناً أسود مستقراً؟ بيّنت معادلات غروس - بيتاإيفسكي أن الذي حدث في الواقع هو الشيء الأخير [28]، وأن هذا يؤدي إلى انقسام السوليتونات إلى دوّامات وحلقات دوّامية.

لاحظ الباحثون في جامعة هارفرد هذا الأثر حديثاً [29]، في تجربة جرى فيها خلق سوليتونات في متكثّف طويل باستخدام طريقة مختلفة. لقد بيّنوا من قبل [30] أنهم بصنعهم قرينة انكسار تتغيّر بصورة ملحوظة في مجال ضيق جداً من السرعة (باستخدام ضوء ليزر لقرْن ثلاث سويات من المنظومات الذرّية)، كان بإمكانهم أن يغيّروا وبصورة ملحوظة انتشار ضوء خلال BEC. من الممكن "تبطيء" ضوء بصورة جذرية، بل حتى خزنه في الوسط الذرّي، بطريقة تجعله يبدو أنه توقف. وباستعمال هذه التقانات، هندسوا "حاجزاً للضوء" light roadblock بإضاءة نصف الـ BEC فقط بالتواتر المناسب لليزر الذي خلق الاقتران الخاص بين السويات الذرّية. وتوجد عند هذا الحاجز ثُلمَة في كثافة الذرّات في حالة واحدة، وذروة في الكثافة في الحالة الأخرى. وهذا العيب المتوضّع يحدث بعدئذٍ حتى خمسة سوليتونات (يعتمد العدد المحدَث على شدة العيب). وفضلاً عن ذلك، لاحظوا انقسام السوليتونات عبر ما يُسمى عدم الاستقرار المتلوّي snake instability إلى أزواج دوّامية vortex pairs. كما شوهدت أمثلة أخرى عن الانقسام [31] من قِبَل باحثين لدى JILA، وهو معهد للبحوث العلمية المتشعبة في بولدر، بكولورادو.

تمثل السوليتونات والدوّامات حلولاً طبولوجية مستقرة لمعادلة شرودينغر اللاخطية. (الدوّامات في متكثّفات بوز - آينشتاين BECs التي أُحدثت مباشرة من خلال الدوران دُرست بصورة موسّعة في مقال المراجعة لأنغلين وكتيرل في الصفحة 15 من هذا العدد). تنشأ الديناميات الغنية الواضحة في التطور من سوليتونات إلى دوّامات، لأن السوليتونات هي الحلول المستقرة للأبعاد، في حين أن الدوّامات هي السمات الثلاثية الأبعاد المستقرة. يمكن أن تستمر دراسات أخرى على متكثّفات بوز - آينشتاين لسبر هذه الديناميات في منظومة مرنة تجريبياً، حيث من المحتمل أن تتغير طبيعة المنظومة (تغيّر البعدية بتغيير شكل BEC، على سبيل المثال) بطريقة ليست متوفرة في كثير من المنظومات اللاخطية.

ضغط الأعداد الذرّية

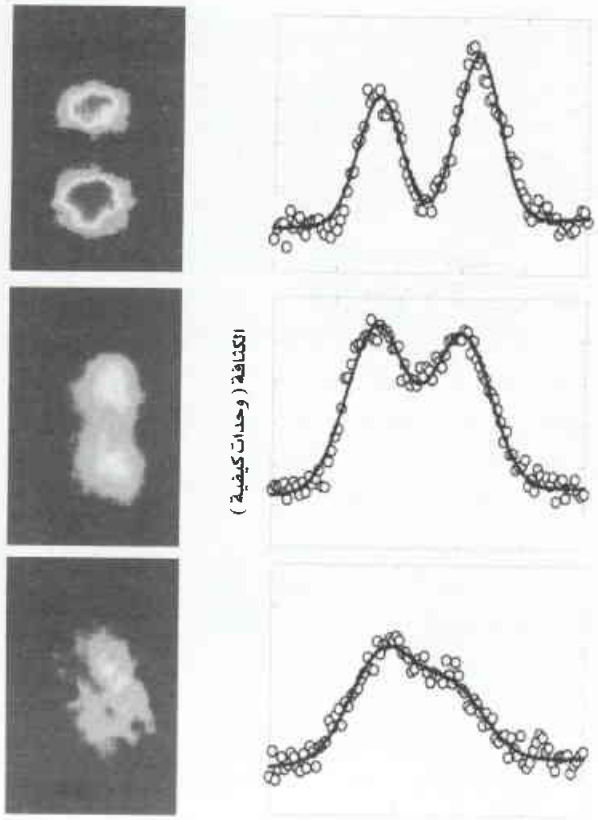
لقد منحتنا الضوئيات اللاخطية المقْدِرة على خلق حالات غير تقليدية للضوء، مثل الحالات المضغوطة (المعصورة) squeezing states، حيث يمكن أن تكون مميزات الضجيج في بعدٍ واحد أقلّ مما يُدعى "الحد الكمومي المعياري" الذي قدّمه مبدأ الارتياب لهايزنْبِرْغ. لايخرق الضغط مبدأ الارتياب، ولكنه يستخدمه عن طريق زيادة الضجيج في درجة الحرية التي تكون غير مهمّة، في حين يعمل على تخفيضه في درجة الحرية ذات الصلة. لقد أظهرت الآن تجربة حديثة [32] قام بها باحثون من جامعة يال أنَّ اللاخطية في BEC قد تُنتج أيضاً تشكيلات غير تقليدية للذرّات. لقد نظرت هذه التجربة إلى تقسيم متكثّف لبوز - آينشتاين إلى مجموعة من السحب الذرّية في حوالي 12 بئراً من الشبيكة الضوئية. لنتصوّر أننا أخذنا متكثّفاً BEC ذا N ذرّة وشطرناه إلى نصفين، ثم وضعنا أحد النصفين في بئر، ووضعنا النصف الآخر في بئر آخر. ولنفترض فضلاً عن ذلك (بشكل معقول جداً) أن كلّ ذرّة لديها احتمال 50% للمكوث في أي من البئرين الأيمن أو الأيسر. ما الذي نتوقعه بالنسبة لتوزع الذرّات بين البئرين؟ رغم أن العدد الوسطي في كلّ بئر سيكون N/2، إلاّ أنه سيكون هناك ارتياب قدره $\sqrt{N/2}$ (من المستحيل أن نحصل على 500 000 رأس بالضبط عندما نقذف قطعة النقود 10^6 مرّة). إن هذا الارتياب في العدد شيء ذاتي في الفيزياء، وهو مصدر للضجيج في كثير من الحالات التجريبية، كما في الضجيج الأساسي (الذي يُدعى الضجيج الطلقي shot-noise) على حزمة ليزر. ومن الناحية التقليدية، لا يمكن تجنب هذا الضجيج.

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

بيّنت مجموعة يال أنه يمكن تقليل حدّ الضجيج هذا بصورة ملحوظة بواسطة اللاخطيات. فقد حمّلوا متكثّفاً BEC مؤلفاً من 10^5 ذرّة روبيديوم في شبيكة ضوئية، والتي زادت قوتها ببطء في الوقت المناسب (استغرقت 200 ms كي تصل إلى عمق بئرها الأخير). في بداية التحميل، استقرّت الذرّات في شبيكة ضوئية غير عميقة (ضحلة)، لأنها استطاعت بسهولة أن تعبر عبوراً نفقياً من بئرٍ إلى آخر، ولم يحتوِ كلّ بئرٍ عدداً محدّداً بدقة من الذرّات. لكن التآثر ذرّة - ذرّة المسؤول عن الحدّ اللاخطي في معادلة غروس - بيتاإيفسكي يعني أيضاً كلفة في الطاقة عندما تقترب ذرّتان من بعضهما. إن وجود ذرّات عديدة في بئر واحد غير مناسب من الناحية الطاقية. ومن الواضح أن حالة الطاقة الأخفض لهذه المنظومة سيكون فيها N/M ذرّة في كلّ بئر من الآبار التي عددها M. برفع شدة الشبيكة ببطءٍ كافٍ، يمكن أن تبدأ المنظومة في أخفض حالة طاقة ممكنة (المتكثّف BEC)، وتبقى في حالة الطاقة الأخفض (اتباع كظيم)، والتي سوف تتطوّر إلى تقسيم متساوٍ للذرّات في آبار الشبيكة.

ووفقاً لمبدأ الارتياب، نعلم أنه عندما نخفّض الارتياب في بعض المتحوّلات (عدد الذرّات في البئر هنا)، ينبغي أن نزيده في بعض المتحوّلات الأخرى. ليس واضحاً ما هي تلك المتحوّلات الأخرى هنا، ولكن يمكننا أن نجد الجواب بالرجوع إلى فيزياء الحالة الصلبة. إن حالة الطاقة الأخفض في كمون دوري هي عُصابة الحالة الأساسية ground state band ولها شبه اندفاع quasimomentum يساوي الصفر، الذي يوافق حالة غير متوضّعة delocalized كلّياً خلال الشبيكة ولها طور منتظم. إذا نظرنا إلى ذرّة متوضّعة في بئرٍ معيّن، يمكننا أن نكتب هذا كتراكب لكلّ أشباه الاندفاعات، أي كلّ الأطوار. وبناءً عليه، فإننا نرى أن إجبار الذرّات على أن تكون في آبارٍ معينة يدخل ارتياباً في طور التابع الموجي (هذه العلاقة بين العدد والطور معروفة جيداً في الضوئيات الكمومية والعصْر الضوئي).

استخدمت مجموعة يال هذا كي تستدل على تخفيض التأرجحات في عدد الذرّات في آبار الشبيكة. إذا قُطع فجأة كمون شبيكة ضوئية، فالنتيجة تبدو مشابهة للانعراج من شقوق متعدّدة - كلّ بئر يقابل شقاً، وإذا كان هنالك ترابط خلال كلّ الآبار، فإننا نتوقع رؤية أهداب الانعراج. إن ما نراه بعد زمن الطيران time- of -flight هو القسم (هي اثنتان في هذه الحالة) التي توافق اندفاعات مكمّاة بوحدات من $2\hbar k$ (الشكل 5). لاحظ المجرّبون في يال اختفاء قمم الانعراج عندما تشكّلت حالة الأعداد المعصورة number - squeezed state، لأن الطور في كلّ بئر أضحى فيه ارتياب (دفع الطور في مقدمة كلّ شق في نموذج للانعراج بشقوق متعدّدة سيزيل نموذج الانعراج). بقياس التغيّر في نموذج الانعراج الذرّي، ومقارنة هذا بالنظرية، استنتجوا أن عدد التأرجحات في كلّ بئر قد انخفض من حوالي 30 ($\sim\sqrt{N/M}$) إلى 3-2. لقد شوهد الاختفاء الكامل لتأرجحات الأعداد، في تجربة حديثة [33] أجريت على شبيكة ضوئية ثلاثية الأبعاد، وذلك عندما خضعت المنظومة لانتقال طور كمومي في ما يُسمّى طور عازل موت Mott insulator phase بذرّة واحدة في كلّ خلية بالضبط.



الشكل 5- فَقْدُ ترابط الطور لدى عصر توزع عدد الذرّات في شبيكة ضوئية [34]. توافق المنحنيات الثلاثة شبيكات ضوئية أعماقها $7.2E_R$ و $18\ E_R$ و $44\ E_R$ (E_R هي طاقة الفوتون ارتداد). يكون العبور النفقي هو المسيطر عند أدنى عمق، ويوجد ترابط طوري خلال مواقع الشبيكة، كما يوجد نموذج انعراج يُرى بوضوح. أما من أجل الشبيكة الأكثر عمقاً، فإن تأرجحات العدد انخفضت في الآبار ، حيث تزاحم الطور وتنظف نموذج التداخل.

نستطيع أن ننظر إلى هذه التجربة على أنها الأولى في الضوئيات الذرّية الكمومية، بالتشابه مع الضوئيات الكمومية، وهي حقل يهتم بالخواص الإحصائية غير التقليدية للضوء. تبيّن التجربة التي أجرتها مجموعة جامعة يال أن مثل هذه الآثار موجودة مع أمواج دو بروي. إن الملاحظة الأخيرة لتكاثف بوز - آينشتاين في الهليوم شبه المستقر [34، 35] تفتح الباب على تجارب تَعُدّ عدد الذرّات مباشرة (من السهل الكشف عن الذرّات المفردة شبه المستقرة)، مما يسمح بسبر مباشر لإحصائيات عدد الذرّات atom - number statistics. وكما أُشير أعلاه، فإن مزج أربع أمواج يخلق تعالقات كمومية لعدد الذرّات بين الأمواج المختلفة. تقع مثل هذه التعالقات في قلب أفكارنا الراهنة عن المعلومات الكمومية، والطرق التي نتغلب فيها على حدود القياس الكمومية النظامية (وهي الحدود النظامية التي يفرضها ميكانيك الكمّ على القياس). إذا اعتبرنا عدد الذرّات (في نمط، أو في بئر، على سبيل المثال) بمثابة المسقط لسبين جماعي خيالي، فبإمكاننا تطبيق مفاهيم عصر السبين spin squeezing [36] على هذه التعالقات. لقد بيّن العمل الجديد [39-37] أن مؤثرات الجسيمين tow particle operators (التي تؤثر على

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

ذرّتين في وقت واحد، كالتصادم المرن مثلاً)، عندما تُجمع على كلّ أزواج الذرّات الممكنة، يمكنها أن تولّد حالات معصورة السبين spin squeezed states وحالات معقّدة السبين بشكلٍ هائل. إن ما تبقّى مما تجب رؤيته هو هل ستكون مثل هذه الحالات متينة بما يكفي لبقائها، وهل يمكن قياسها، وهل يمكن استخدامها لتحسين القياسات أو للمعالجة الكمومية. إن استخدام حقيبة العدة الشاملة للضوئيات الذرّية سيزودنا بفرص عديدة لخلق وسبر حالات الجسيمات العديدة غير العادية التي يسمح بها ميكانيك الكمّ.

REFERENCES المراجع

[1] Anderson, M. H. et al. Observation of Bose-Einstein condensation in a dilute atomic vapor. Science 269, 198-201 (1995).

[2] Inguscio, M., Stringari, S. & Wieman, C. (eds) Bose-Einstein Condensation in Atomic Gases (Int. School Phys. "Enrico Fermi" Course 140) (IOS Press, Amsterdam, 1999).

[3] Franken, P. A., Hill, A. E., Peters, C. W. & Weinreich, G. Generation of optical harmonics, Phys. Rev. Lett. 7, 118-119 (1961).

[4] Evans, M. & Kielich, S. Modern Nonlinear Optics Vols 1-3 (Wiley, New York, 1997).

[5] Migdall, A. Correlated-photon metrology without absolute standards. Phys. Today 52, 41-46 (1999).

[6] Burt. E. A. et al. Coherence, Correlations and collisions: what one learns about Bose-Einstein condensates from their decay. Phys. Rev. Lett. 79, 337-340 (1997).

[7] Kozuma, M. et al. Coherent splitting of Bose-Einstein condensed atoms with optically induced Bragg diffraction. Phys. Rev. Lett. 82, 871-875 (1999).

[8] Martin, P. J., Oldaker, B. G., Miklich, A. H. & Pritchard, D. E. Bragg scattering of atoms from a standing light wave. Phys. Rev. Lett. 60, 515-518 (1988).

[9] Ovchinnikov, Y. B. et al. Diffraction of a released Bose-Einstein condensate by a pulsed standing light wave. Phys. Rev. Lett. 83, 284-287 (1999).

[10] Simsarian, J. E. et al. Imaging the phase of an evolving Bose-Einstein condensate wave function. Phys. Rev. Lett. 85,2040-2043 (2000).

[11] Kozuma, M. et al. Phase-coherent amplification of matter waves. Science 286, 2309-2312 (1999).

[12] Inouye, M. et al. Phase-coherent amplification of Atomic matter waves. Nature 402, 641-644 (1999).

[13] Hagley, E. W. et al. Measurement of the coherence of a Bose-Einstein condensate. Phys. Rev. Lett. 83, 3112- 3115 (1999)

[14] Stenger, J. et al. Bragg spectroscopy of a Bose-Einstein condensate. Phys. Rev. Lett. 82, 4569-4572 (1999).

[15] Shen, Y. R. The Principles of Nonlinear Optics (Wiley-Interscience, New York, 1984).

[16] Lens, G., Meystre, P. & Wright, E. W. Nonlinear atom optics. Phys. Rev. Lett. 71, 3271- 3274 (1993).

[17] Trippenbach, M., Band, Y. B. & Julienne, P. S. Four wave mixing in the scattering of Bose-Einstein condensates. Opt. Express 3, 530-537 (1998).

[18] Dalfovo, F., Giorgini, S., Pitaevskii, L. P. & Stringari, S. Theory of Bose-Einstein condensation in trapped gases. Rev. Mod. Phys. 71, 463-512 (1999).

[19] Deng, L. et al. Four-wave mixing with matter waves. Nature 398, 218-220 (1999).

[20] Javanianen, J. & Mackie, M, Coherent photoassociation of a Bose-Einstein condensate. Phys. Rev. A 59, R3186-R3189 (1999).

[21] Raithel, G., Phillips, W. D. & Rolston, S. L. Collapse and revivals of wave packets in optical lattices. Phys. Rev. Lett. 81, 3615-3618 (1998).

[22] Inouye, S. et al. Superradiant Rayleigh scattering from a Bose-Einstein condensate. Science 285, 571-574 (1999).

[23] Moore, M. G. & Meystre, P. Atomic four-wave mixing: fermions versus bosons. Phys. Rev. Lett. 86, 4199- 4202 (2001).

[24] Ketterle, W. & Inouye, S. Dose matter wave amplification work for fermions? Phys. Rev. Lett 86, 4203-4206 (2001).

[25] Russell, J. S. Report on waves. Report of the 14th meeting of the British Association for the Advancement of Science 331-390 (1844).

[26] Denschlag, J. et al. Generating solitons by phase engineering of a Bose-Einstein condensate. Science 287, 97-100 (2000).

[27] Burger, S. et al. Dark solitons in Bose-Einstein condensates. Phys. Rev. Lett. 83, 5198-5201 (1999).

[28] Feder, D. L. et al. Dark-soliton states of Bose-Einstein condensates in anisotropic traps. Phys.Rev. A62, 053606-1-053606-11 (2000).

[29] Dutton, Z., Budde, M., Stowe, C.& Hau, L. V. Observation of quantum shock waves created with ultra-

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

slow light pulses in a Bose-Einstein condensate. Science 293, 663-668 (2001).

[30] 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).

[31] Anderson, B. P. et al. Watching dark solitons decay into vortex rings in a Bose-Einstein condensate. Phys. Rev. Lett. 86, 2926-2929 (2001).

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

[33] 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).

[34] Robert, A.et al. A Bose-Einstein condensate of metastable atoms. Science 292, 461-464 (2001).

[35] Pereira Dos Santos, F. et al. Bose-Einstein condensation of metastable helium. Phys. Rev. Lett. 86, 3459-3462 (2001).

[36] Kitagawa, M. & Ueda, M. Spin squeezed states. Phys. Rev. A 47, 5138-5143 (1993).

[37] Sφrenson, A. & Mφlmer, K. Spin-spin interaction and spin squeezing in an optical lattice. Phys. Rev. Lett. 83, 2274-2277 (1999).

[38] Sφrenson, A., Duan, L. M., Cirac, J. I. & Zoller, P. Many-particle entanglements with Bose-Einstein condensates. Nature 409, 63-66 (2001).

[39] Helmerson, K. & You, L. Creating Massive entanglement of Bose condensed atoms. Phys. Rev. Lett. 87, 170402-1-170402-4 (2001).

[40] Mewes, M. O. et al. Output coupler for Bose-Einstein condensed atoms. Phys. Rev. Lett. 78, 582-585 (1997).

[41] Bloch, I., Hänsch, T. & Esslinger, T. Atom laser with a cw output coupler. Phys. Rev. Lett 82, 3008-3011 (1999).

[42] Anderson, B. P. & Kasevich, M. A. Macroscopic quantum interference from atomic tunnel arrays. Science 282, 1686-1689 (1998).

[43] Hagley, E. W. et al. A well-collimated quasi-continuous atom laser. Science 283, 1706-1709 (1999).■

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

مواجهات كمومية للنوع البارد*

ك. بورنت
جامعة أكسفورد، قسم الفيزياء، مختبر كلارندون، المملكة المتحدة
ب. س. جولين، ب. د. لت، ي. تايسنغا، س. ج. وليامز
المعهد الوطني للمعايير والتقانة في غيثربورغ بولاية ماريلند في الولايات المتحدة الأمريكية.

ملخص

منذ ظهور تقنيات التبريد بالليزر للذرّات المتعادلة في أوائل الثمانينيات من القرن العشرين، امتدت دراسة التآثرات التصادمية مابين الذرات والجزيئات لتشمل مجال درجات الحرارة الفائقة البرودة. ومع إمكانية الوصول الآن إلى درجات حرارة النانوكلفن تطورت أيضاً قدرتنا على سبر هذه التآثرات تجريبياً ونظرياً. كما أن فهمنا للتأثيرات الكمومية الدقيقة والشديدة في غالب الأحيان، والتي تتجلّى عند مثل هذه الطاقات المنخفضة، قد تنامى إلى النقطة التي أصبحت عندها قياسات الدقة الجديدة منسجمة مع حسابات نظرية عالية الدقة. وفي الوقت الراهن يجري وصف دقيق لظواهر طاقة منخفضة مثل تكاثف بوز – آينشتاين والتجمع الضوئي للذرّات المؤدي إلى جزيئات مترابطة بدون بارامترات حرّة.

الكلمات المفتاحية: تآثرات تصادمية، تقنية التبريد بالليزر، تأثيرات كمومية، متكثف بوز – آينشتاين، ذرّات متشابكة.

يُعدّ سلوك الذرّات وتآثراتها عند درجات الحرارة الفائقة البرودة مجالاً ممتعاً للدراسة؛ وهذه التآثرات مع تأثيراتها هي التي تميز الذرّات الفائقة البرودة عن تلك التي تُصادَف في تصادمات عند درجة حرارة الغرفة. وفي السبعينيات من القرن الماضي، عندما ظهرت دراسات الهدروجين السيبني المستقطب والجزيئات طويلة المدى [1]، بدأ الإدراك بأن التآثرات المذكورة آنفاً ستكون دقيقة وممتعة في الوقت ذاته، وتوسع ذلك عندما وصل التبريد بالليزر [2 –4] إلى مجال درجات حرارة المِلّيكلفن، ثم بعد ذلك إلى مجال المكروكلفن (الشكل 1). وبقدوم التبريد التبخيري evaporative cooling [5] وإنتاج متكثفات بوز – آينشتاين الذرّية، أصبحنا نتطلب فهماً مفصلاً للتآثرات الذرّية عند درجات حرارة النانوكلفن. وقد قادت الاستخدامات المذكورة آنفاً إلى تنامٍ عظيم للاهتمام في هذا الحقل.

خلفية تاريخية

منذ وقت مبكر وحتى تاريخه، لايزال الاعتقاد السائد بأنه سيكون للطبيعة الكمومية الخاصة بالتآثرات الذرّية فائقة البرودة دور عميق، وبأنها ستكون بمثابة تحدٍّ للنظريين والتجريبيين في حقل دينامية التصادم. وعند الطاقات المنخفضة ذات الصلة، يغدو حتمياً أن تُقدّر الطبيعة الدقيقة للقوى بين – الذرّية الموجودة على مسافات كبيرة تدعو للسخرية من وجهة نظر الفيزياء الجزيئية العادية الأمر الذي يتطلب طُرقاً جديدة لفحصها. كذلك، كان واضحاً أنّ دينامية السبين النووي، التي لاعلاقة لها عادة بدينامية التصادم، ستؤدي إلى تعقيد عظيم في التحليل. في الواقع، لن تؤدي عبارة "تعقيد" خدمة إلى مجال الفيزياء الحديثة وإلى ما يمكن أن تقدمه التآثرات مفرطة الدقّة داخل هذا النظام.

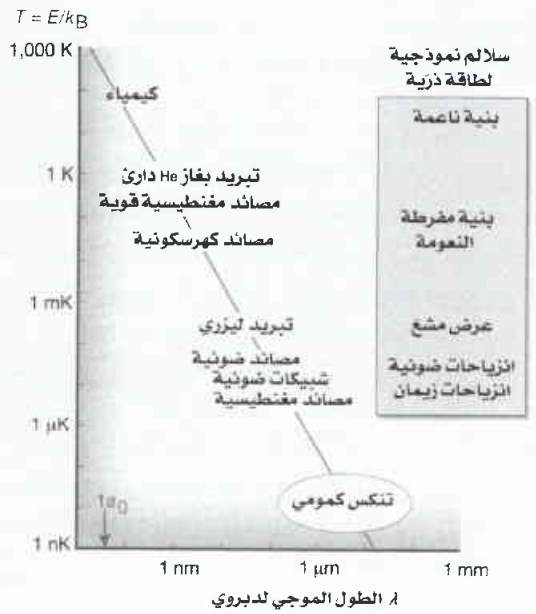
كذلك اعتُقد، فيما مضى، أنّ التأثير في ديناميات التصادم الفائقة البرودة يغدو ممكناً باستخدام حقول خارجية؛ وكما أصبحنا نعرف الآن، كان هذا الاعتقاد صائباً. وقد خضع الاعتقاد المذكور آنفاً إلى دراسة مكثّفة، لكنها مخيبة للآمال، حول ما يتعلق بحالة تصادمات درجة حرارة الغرفة والتي تم إجراؤها في سنوات سبقت تطوير تقنيات التبريد والأسر بالليزر. وقضت درجات الحرارة الشديدة الانخفاض التي منحتها تقنيات التبريد الليزري أن يكون مدى الطاقات المساهمة في تآثر تصادمي ضيّقاً بشكل استثنائي ودون الحد المألوف؛ ويمكن، عندئذ، أن تستخدم ظواهر التجاوب لكي تؤثر في كامل الغاز بدلاً من تأثيرها في جزء صغير منه كما يحدث في حالة تصادمات ذرّية بدرجة حرارة الغرفة. ويقوم انضغاط الفضاء الطوري المشغول بتغيير التصادمات من عمليات حرارية لا مترابطة إلى أخرى مترابطة مما يؤثر في الديناميات الكمومية للمنظومة ككل؛ وتكون هذه الديناميات المترابطة دقيقة ومعقدة وعرضة تماماً لتلقي مسابر ومناولات خارجية. وفي الثمانينيات من القرن الماضي، غدا واضحاً من نتائج دراسة التبريد التبخيري للهدروجين ذي السبين المستقطب أن الطبيعة الدقيقة للتآثرات بين الذرات القلوية ستكون العامل الحاسم في اتخاذ قرار حول ما إذا كان ممكناً أو غير ممكن تحقيق تكاثف بوز – آينشتاين في هذه الذرات.

عقب النجاحات التي تحققت من خلال تقنيات التبريد الليزري والتبخيري، قررت عدة مجموعات بحثية دراسة طبيعة التآثرات بين الغازات فائقة البرودة والعمل على تطوير التقنيات اللازمة لوصفها [1].

وبموازاة التقنيات التجريبية الجديدة، انطلقت عجلة استنباط طرائق نظرية جديدة؛ ويُعدّ هذا، في الوقت الراهن، مجال دراسة نشطة لها

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

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



الشكل 1- منظر عام للتبريد والأسر الذرّي والجزيئي المتعادلين. يمتد السلم الطاقي 12 مرتبة من المقادير في طاقة حركية E لحركة ذرّية، معبر عنها بوحدات درجة حرارة $T = E/k_g$ (تمثل k_g ثابت بولتزمان). يبين سلم الطول طول موجة دوبروي $\lambda = h/p$ (h ثابت بلانك)، حيث الاندفاع $p = (2mE)^{1/2}$. الخط المرشد للعين محسوب باستخدام كتلة ذرة ^{23}Na من أجل m. تكون الأبعاد الذرّية النموذجية من رتبة $1a_0 = 0.0529nm$، نصف قطر بور لذرة H، بينما يمكن أن يكون لكثافات بوز - آينشتاين أبعاد من رتبة 100 μm. يشير الشكل أيضاً إلى مراتب من المقادير من أجل سلالم طاقية مألوفة مترافقة مع بنية ذرّية ناعمة، وبنية ذرّية مفرطة النعومة، وتعريض إشعاعي طبيعي، وانزياحات طاقية ضوئية أو مغنطيسية. يتطلب التبريد عملية مبددة لإزالة طاقة حركية، في حين يتطلب الأسر قوة تتعلق بالمكان كي تحدث فعلها في الذرات. نموذجياً، يصل التبريد الليزري [2 - 4] إلى طاقات حركية أخفض من 1mK، حيث تكون k_gT أصغر من العروض الطبيعية للخط، كما يمكن للذرات أن تكون محصورة داخل مصيدة مغنطيسية - ضوئية أو مصيدة ضوئية. وتستخدم الأخيرة انزياحاً ضوئياً يتعلق بالمكان عائداً إلى حقل ليزري يُحدث كمون أسر للذرات. وبطريقة مماثلة، يمكن لحقل ضوئي ذي أمواج مستقرة أن يُحدث كموناً دورياً في الفضاء يُدعى بالشبيكة الضوئية [56] مع خلايا شبيكة فردية متباعدة بمقدار $\lambda_L/2$، حيث λ_L الطول الموجي للليزر الذي يصنع الشبيكة. والذرات التي يتناقص فيها انزياح زيمان المغنطيسي مع تناقص شدة الحقل يمكن أسرها داخل منطقة من حيز ذي حقل مغنطيسي أصغري. ويستطيع التبريد التبخيري [5] لذرات مأسورة أن يخفض بشكل كبير درجة الحرارة ويصل إلى حد التنكس الكمومي، حيث تكون كثافة الفضاء الطوري ρ- والتي تُعرّف بعدد الجسيمات بوحدة الطول الموجي الحراري المكعب لدوبروي - من رتبة وحدة. وعندما تكون الذرات بوزونات، عندئذ يحدث تكاثف بوز - آينشتاين عندما تصل ρ إلى قيمة حرجة قدرها 2.6 [6] [كذلك أنظر المراجعة العامة الواردة في هذا العدد، بقلم أنغلين و كتيرل في الصفحات 15 - 26].

صلات قوية بين النمذجة النظرية والعمل التجريبي. وسبق أن جرى تطوير مطيافيات جديدة بالكامل، أتاحت دقتها كشف حدودية النماذج المتوفرة حالياً للكمونات الجزيئية. وقد أتاحت المطيافيات المذكورة تحسين هذه الكمونات وبخاصة داخل مجال المدى الطويل. وقد جعلت الدقة الرائعة، التي يمكن بواسطتها حالياً تقدير التأثرات الذرّية النوعية، النظرية الكمية للأجسام المتعددة quantitative many - body theory لمتكثفات بوز - آينشتاين (BECs) أمراً ممكناً. والحقيقة، التي مفادها أن التأثرات ذاتها تعتمد تحسسياً على حالات معقد التصادم ثنائي الذرّة، ويمكن توليفها من خلال تطبيق حقول خارجية، تعني أننا نستطيع إنتاج متكثفات بتصميم حسب الطلب "designer condensates". وتُعدّ إحدى أكثر التطبيقات إثارة للتوليف المذكور تحويل التأثرات من تنافرية إلى تجاذبية ورؤية انهيار المتكثف [7].

تم تطبيق التبريد الليزري على أنواع من المعادن القلوية والقلويات الترابية وكذلك على ذرات مثارة لغاز نبيل شبه مستقر. وأمكن بالتبريد التبخيري داخل غاز ممدد تحقيق حالة التردّي الكمومي للأنواع البوزونية bosonic species: ^1H، و ^7Li، و ^{23}Na، و ^{81}Rb، و ^{85}Rb، وللمركب شبه المستقر ^3S_1He، وللنوعين الفرميونيين fermionis species: ^6Li و ^{40}K (الشكل 1 وانظر المراجعة العامة في هذا العدد لـ أنغلين و كتيرل في الصفحات 15-26). ورغم أن الجزيئات لايمكن تبريدها ليزرياً بطريقة بسيطة، إلّا أنه أمكن بالتجميع الضوئي photoassociation لذرتين مسبقتي التبريد [8-14] إنتاج جزيئات متثانية قلوية باردة في الحالة الأساسية، هي: Li_2، Na_2، K_2، Rb_2 و Cs_2. ورغم أن الجزيئات المذكورة تكون في حالة مثارة اهتزازياً إلا أنها تتمتع بدرجة حرارة انسيابية متناسبة مع تلك الخاصة بذرات المنبع. كذلك، جرى تطبيق تبريد بغاز الهليوم الداريء داخل مصيدة مغنطيسية على كل من Cr وجزيء CaH [15]، وتبطئة وأسر حزمة كهرساكنة على الجزيء القطبي ND_3 [16].

وحرّضتْ إمكانيةُ القيام بمعالجة المعلومات كمومياً بذرات في شبيكات ضوئية دراسةَ ذرات تتآثر داخل شبيكات ضوئية [4] وفوق "جذاذات ذرّية atom chips". ومثل هذه المنظومات قد تُستخدم لشَبَك حالات ذرّية واستخدامها في معالجة ومناولة معلومات كمومية.

تأثرات فائقة البرودة

تمتد أطوال أمواج دوبروي لذرات التصادم ذات السلَّم المكرومتري الهائل $10^4a_0 \times 1.9 \approx 1\mu m$، حيث تمثل a_0 نصف قطر بور) إلى مسافة أبعد كثيراً من أقطار ذرّية (أقل من $10a_0$). ويُنتج التبعثر لموجة صادرة عن جسم أصغر كثيراً من الطول الموجي، بشكل سائد، تبعثراً متناحياً (أي مايدعى موجة s-wave s). يشرح المؤطر 1 مفهوم طول التبعثر والذي يميز التبعثر عند طاقات تصادم منخفضة جداً يمكن عزوها إلى تأثرات ذرّية معقدة قصيرة المدى. ويمكن لطول التبعثر A أن يكون أكبر كثيراً من مدى التأثرات الذرّية لكنه يظل أصغر من طول موجة دوبروي. وتعتمد القيمة الدقيقة لطول التبعثر على التفاصيل الخاصة بالكمون بين - الذرّي؛ وتستطيع تغيرات طفيفة جداً في هذا الكمون أن تُحدث تغيرات ملحوظة في طول التبعثر قد تصل حتى إحداث تغيير في الاشارة.

وهكذا نجد أن لكل نظير قلوي "شخصيته" الخاصة الفريدة المتلازمة مع أطوال للتبعثر من أجل كل حالة سبين داخلي؛ ولهذا السبب لايمكن حساب أطوال التبعثر بدقة كافية عن طريق استخدام الطرائق منذ البدء التقليدية، التي سبق تطويرها في الفيزياء الذرّية والجزيئية. ويتطلب تقدير أطوال التبعثر هذه تطوير مطيافيات حديثة بالغة الدقة ونماذج نظرية معقدة؛ وقد حدث هذا بالتوازي مع تطوير طرائق نظرية جديدة لمعالجة المظاهر الكمومية للتصادم بوجود عدد كبير من القنوات الداخلية التي يمكن للتصادم اتباعها. وفي الوقت الراهن، أضحت أطوال التبعثر لمعظم النظائر

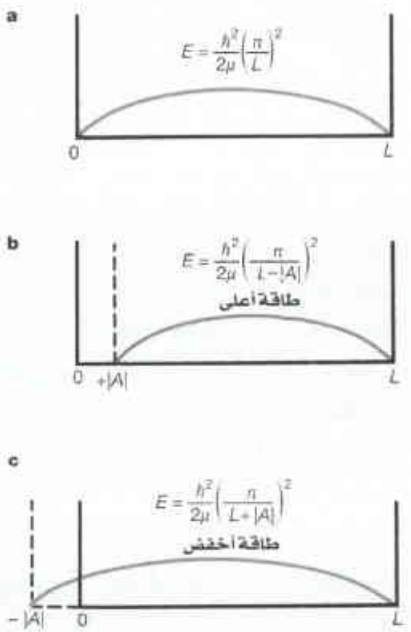
القلوية معروفة جيداً [17-23]. فعلى سبيل المثال، بلغت أطوال التبعثر $55a_0$ و $105a_0$ لكل من Na و ^{81}Rb، على التوالي، وذلك من أجل حالات ذرّية داخلية تحققت فيها متكثفة بور Bose condensed عند حقل مغنطيسي منخفض، في حين كانت قيمة A سالبة ($-27a_0$) للنظير ^{7}Li. كذلك، يمكن توليف أطوال التبعثر بتغيير الحقل المغنطيسي (انظر لاحقاً).

يكون المقطع الفعال المرن منخفض الطاقة من أجل تبعثر ذرتين بوزونيتين مطابقتين مساوياً لـ: $8\pi A^2$، بينما يتلاشى من أجل فرميونين في حالتي سبين مطابقتين، ذلك لأن تبعثر موجة -s يكون محظوراً. والحقيقة التي مفادها أنه يمكن لطول التبعثر أن يكون كبيراً بالمقارنة مع القطر الذرّي تعني أنه يمكن للمقطع الفعال لتصادمات مرنة أن يكون أكبر كثيراً من ذلك المشاهد في غاز عند درجة حرارة الغرفة حيث يكون القطر الذرّي لكرة قاسية هو السُلّم المناسب؛ ويعد هذا، بشكل خاص، هاماً لنجاح عملية التبخير التبريدي في غازات قلوية. ومن الممكن أيضاً الحصول على تصادمات لامرنة، إما أن تحرر طاقة أو تؤدي إلى تشكل حالات مأسورة. لذلك، كان هنالك مَطلَب آخر من أجل التوصل إلى تبريد تبخيري ناجح، ألا وهو أن تتفوق معدلات التصادم المرنة على معدلات التصادم اللامرنة إلى حد كبير ؛ ولحسن الحظ، يكون هذا صحيحاً في الأحوال العادية من أجل اختيار مناسب لحالة داخلية (يحدث عادة من أجلها تبعثر لا مرن عند مسافات أصغر كثيراً من طول التبعثر) ومن خلال احتمالات ضعيفة أصلاً.

إن وصف طول التبعثر، عندما يكون جائزاً، سيجعل أيضاً حساب خواص أخرى للغاز أسهل كثيراً مما هي عليه فيما لو كنّا ملزمين بمتابعة جميع تفاصيل التصادم. وفي حالة غاز بوز - آينشتاين المكثف يُعطى وسطي الطاقة لجسيم نتيجة تأثره مع جسيمات أخرى داخل الغاز بالعلاقة $4\pi A\hbar^2 n/m$، حيث n الكثافة الذرّية في المتكثف، و m كتلة الذرة؛ وهذا الحدّ يظهر في معادلة كروس - بيتافسكي التي يجري حلها للحصول على التابع الموجي للمتكثف [6] وإشارة A هي التي تحدد إيجابية أو سلبية هذا الحدّ الطاقي.

ويبين الشكل 2 لماذا يُحدِّد طول التبعثر طاقة التآثر للجسيمات المنخفضة الطاقة. وسبق تبيان أن هذه الوصفة البسيطة تنتج قيما دقيقة لأشكال وإثارات الغازات المتكاثفة. كذلك، إستُخدِم طول التبعثر في الحصول على تنبؤات ممتازة للديناميات المعتمدة على الزمن والتي يمكن أن تلاحظ مع المتكثفات، كما في حالة المزج لأربعة موجات four - wave mixing [انظر المراجعة العامة بقلم الباحثين رولستون و فيليبس في الصفحة 27 من هذا العدد]. وحقيقة أنه بالإمكان إجراء تقدير مستقل لطول التبعثر بواسطة المطيافيات الجديدة تُزيل نهائياً الريبة في طبيعة التآثر بين الجُسيمات، والتي بدونها ستكون بمثابة بلاء ينزل على نظرية منظومات الجسيمات العديدة، لذلك كان ممكنا إجراء حسابات نظرية على منظومات الجسيمات العديدة من مبادىء أولى تستخدم بارامترات نموذجية مسبقة التقدير.

ومنذ أمد طويل، عُرف أنه يمكن لمتكثفات بوز - آينشتاين المستقرة أن توجد في غاز متجانس لا محدود ذي تآثرات بين - ذرّية تنافرية (بمعنى أن A تكون موجبة)، لكنها لاتستطيع أن توجد في غاز ذي تآثرات تجاذبية (A سالبة). ويُعدّ الإنتاج الناجح لمتكثف صغير جداً من ^{7}Li منسجماً مع التنبؤات النظرية التي تفيد بأنه يمكن حدوث التكاثف في مصيدة صغيرة محدودة الحجم حتى ولو كانت A سالبة [24، 25]؛ ويُعزى هذا إلى أن حركة نقطة الصفر الكمومية quantum zero-point motion في المصيدة تساعد في المحافظة على الذرات منفصلة عن بعضها البعض مما يتيح تشكل متكثف صغير؛ وما أن يتجمّع قدر كافٍ من الذرات في المتكثف حتى تؤدي القوى التجاذبية بين الذرات إلى انهياره. كذلك، تميل أطوال التبعثر السلبية إلى جعل التبريد التبخيري أكثر صعوبة، كما سبق أن تبيّن بالنسبة للنظير ^{85}Rb [26]؛ ويعود هذا إلى حقيقة أن



الشكل 2- مناقشة استكشافية لفهم السبب وراء تحكم طول التبعثر بطاقات تآثرات الجسيمات في غاز كمومي بارد. لنأخذ بعين الاعتبار زوجاً من الذرات ذا كتلة مختزلة $\mu = m/2$، تكون حركتها النسبية محصورة ضمن صندوق طوله L. فعلى سبيل المثال، يمكن لهذا الطول أن يمثل كِبَر كمون الأسر. يُبين الصندوق كيف يمكن أن يُنظَر إلى طول التبعثر A، الذي يحدد خصائص التأثير الصافي لتآثرات معقدة قصيرة المدى، كتغير للشرط الحدّي قرب R = O على التابع الموجي للتبعثر والذي يبدو أن لديه عقدة عند R = A بدلاً من R = O. يقود هذه التغير في الشرط الحدّي إلى تغير في طاقة حركية ناجم عن تآثرات الجسيمات تكون تناسبية مع A. (a) تابع موجي وطاقة حالة أساسية مكماة، للزوج اللاتآثري داخل الصندوق. (b) تغير في التابع الموجي والطاقة إذا ما أزيحت الحافة اليسرى للصندوق إلى اليمين مسافة قدرها |A|. (c) التغير المقابل إذا ما أزيحت حافة الصندوق إلى اليسار مسافة قدرها |A|. تعمل هذه الإزاحة للحافة اليسرى للصندوق على إعادة تنضيد الشرط الحدّي وتقود إلى تغير في الطاقة متناسب مع الحالة في اللوحة a. تُري العمليات الجبرية البسيطة أن التغير المذكور آنفاً يكون متناسباً مع $\pm(|A|/m)(1/L^3)$، حيث تكون الاشارة موجبة للحالة في b وسالبة للحالة في c. لو كان لدينا في الصندوق عدد من الأزواج قدره N فسوف يكون التغير متناسباً مع $\pm(|A|/m)n$، حيث n كثافة الجسيمات. هذه الصورة البسيطة لما يسمى "جسيم في صندوق particle - in - a - box" تساعد على تفسير السبب في أن النظريات الأكثر تعقيداً وتطوراً قادرة على تبيان أن تآثرات الجسيمات تنتج حداً للطاقة قدره $4\pi A\hbar^2 n/m$.

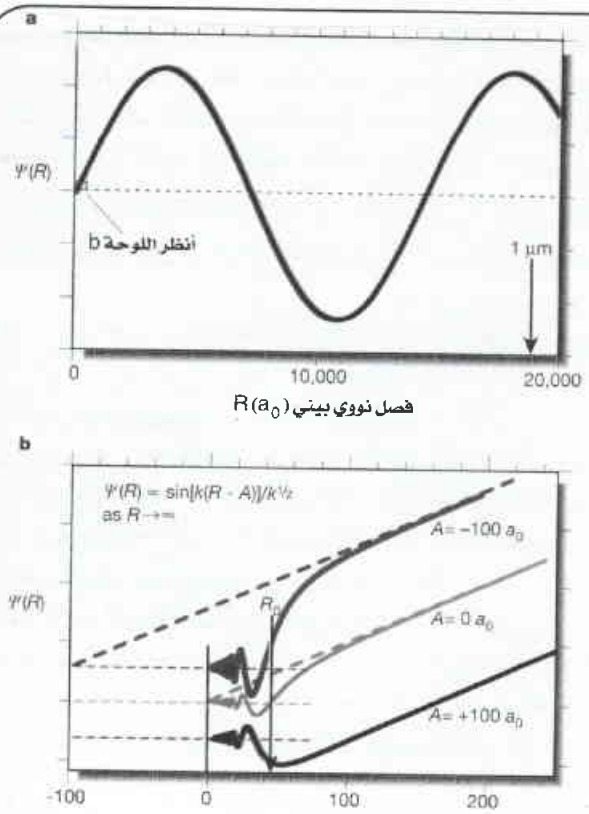
المؤطر 1:

طول التبعثر

تبين الرسوم البيانية المجاورة تابعاً موجياً نموذجياً للتبعثر $\psi(R)$ مقابل فصل بين - ذري R للحركة النسبية لذرتين مع كتلة ^{23}Na عند طاقة تصادمية قدرها $E/k_B = 1.4\ \mu K$ ومع صفر للاندفاع الزاوي النسبي- أي ما يشكل موجة -s. وقد تعرضت سعات الحالات الأعلى للاندفاع الزاوي النسبي مثل أمواج p أو أمواج d إلى توهين قوي عند R صغيرة وذلك بفعل حواجز نابذة طويلة المدى في الكمون البين - ذري.

تُري اللوحة a الاهتزازات الجيبية للتابع ψ طويل المدى على سلم الطول الموجي لدوبروي والذي في هذه الحالة يساوي تقريباً 1μm يتطلب الشرط الحدي أن $\psi \to 0$، عندما $R \to 0$. أما اللوحة b فتري صورة مكبرة للتابع ψ في منطقة المدى القصير لتاثرات كيميائية قوية تابعة لثلاثة نماذج مختلفة من كمون التاثر الخاص بذرات Na ذات استقطاب أعظمي للسبينات الإلكترونية والنووية. أما كمون فاندرفالس الطويل المدى، الذي يتغير عندما تسبب $-C_6/R^6$ بعداً مميزاً [1] $R_0 = 0.5(mC_6/\hbar^2)^{1/4}$، حيث m الكتلة الذرية. على سبيل المثال، $R_0 = 44a_0$ من أجل ^{23}Na، كما أن $R_0 = 101a_0$ من أجل ^{133}Cs. وعند طاقة منخفضة بالقدر الكافي ومن أجل $R \gg R_0$ فإن ψ يقترب من الشكل المقارب $\sin(k(R-A))/k^{1/2}$، حيث الاندفاع $P = \hbar k$. وعندما تصبح $R < R_0$ فإن ψ يهتز سريعاً على سلم صغير بالمقارنة مع R_0، وذلك يعود إلى تسارع الحركة النسبية بواسطة كمون التجاذب القوي. والتاثير الصافي للتاثر القوي عند E منخفضة يجري تحديد خصائصه بالوسيط الوحيد A والذي يدعى بطول التبعثر. ما سبق ذكره يقدم مقياساً لانزياح الطور kA - الناجم عن التصادم وهو مقياس حساس جداً لإجمالي الكمون من أجل $R < R_0$.

تبين اللوحة b ثلاثاً من أمثلة النمذجة حيث يكون A موجباً أو سالباً أو صفراً. ويعمل التابع الجيبي الطويل المدى كما لو أنه استكمال بالاستقراء لـ R الصغيرة بحيث يكون لديه عقدة لا تعتمد الطاقة عند $R = A$ (لابد من الادراك بأنها عقدة افتراضية من أجل الحالة $A < 0$ عندما تكون $R \geq 0$). ماسبق ذكره يعيد بشكل فعال تنضيد الشرط الحدي المنخفض الطاقة بحيث يبدو التابع الجيبي المقارب كأنه يتلاشى عند $R = A$، أي دون الاعتماد على k عندما تكون k صغيرة. كذلك، يكون طول التبعثر وثيق الصلة بموقع آخر حالة مرتبطة ضمن الكمون، ويكون كبيراً وموجباً إذا كان لدى آخر حالة مرتبطة قدر من الطاقة يقع تماماً تحت عتبة طاقة الصفر، كما يكون كبيراً وسالباً إذا وجدت حالة مرتبطة افتراضية تقع تماماً فوق العتبة. ومن الواضح أنه لا فائدة لمفهوم طول التبعثر إلاّ عندما تكون $|A| \ll 1/k = \lambda/2\pi$. ويمكن بسهولة تعميم المفهوم ناته على حالات السبين المتعدد، كما يحصل ذلك أيضاً في حالة H والأنواع الذرية القلوية.



إسهام موجة -s في المقطع الفعال يتغير تبعاً للطاقة بطريقة تُتيح لها العبور إلى الصفر عند طاقة منخفضة نسبياً.

وحتى الآن، لم نأخذ بعين الاعتبار سوى التصادمات الثنائية في غاز ما، علماً بأنه يمكن للتأثرات ثلاثية الأجسام أن تصبح هامة أيضاً هامة في بعض الحالات عندما تكون الكثافة عالية بالقدر الكافي. ويبقى الحل الكامل لمسألة كمومية ثلاثية الأجسام متعددة القنوات تحدياً حسابياً رئيساً؛ ولسوف يغدو هذا الحل ذا أهمية في تجارب مستقبلية تُركّز على التأثرات بين الذرات الفائقة البرودة والجزيئات.

التصادمات في حقل ضوئي

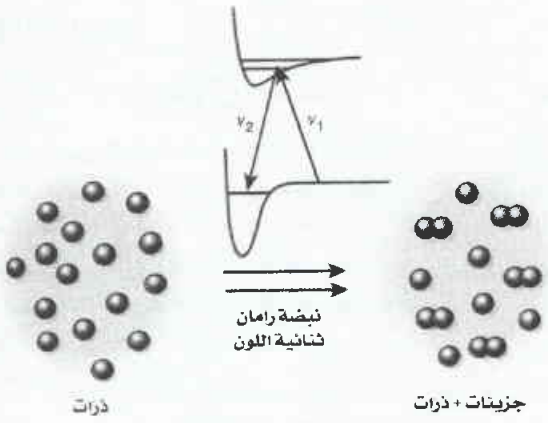
تُحدِث التصادمات، في وجود ضوء تبريد، تأثيرات غير مرحب بها عادة (أي تسخين وفقد للذرات المأسورة) يحاول المرء تفاديها عند تبريد الذرات بحزم ليزرية [1]. وتُعدّ القوى بين الذرّية، التي تحررت بالاقتران مع الحالات المثارة لزوج من الذرات المتصادمة، قوىً هائلة على سلم الطاقات الحركية الأولية للذرات الفائقة البرودة. وسوف تكون طاقة التأثر التجاوبية ثنائية القطب V_d بين ذرة حالة أساسية وذرة حالة مثارة قد بلغت قدراً من رتبة $V_d/k_B = 1mK$ عندما تصبح الذرتان بعيدتين عن بعضهما مسافة 100 nm؛ وهي المسافة التي تُثار عندها الذرتان المتصادمتان بواسطة فوتون ليزري في تجارب تبريد نموذجية. وبالطبع، تُعدّ المسافة المذكورة آنفاً كبيرة عند مقارنتها بسلّم المسافة البين – ذرية للحالات المرتبطة والمألوفة لجزيء ثنائي الذرة، وتهتز هذه بنقاط انعطاف خارجية نموذجية تقدر بحوالي $10\ a_0$ أو أقل. وتسرع شدة القوة بين الذرية الذرات مع بعضها البعض إلى أن تضمحل عبر إصدار تلقائي أو أنها تخضع لانتقال إلى حالة إلكترونية أخرى. وتكون النتيجة تسخينا إجمالياً للغاز أو قذفاً لذرات من

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

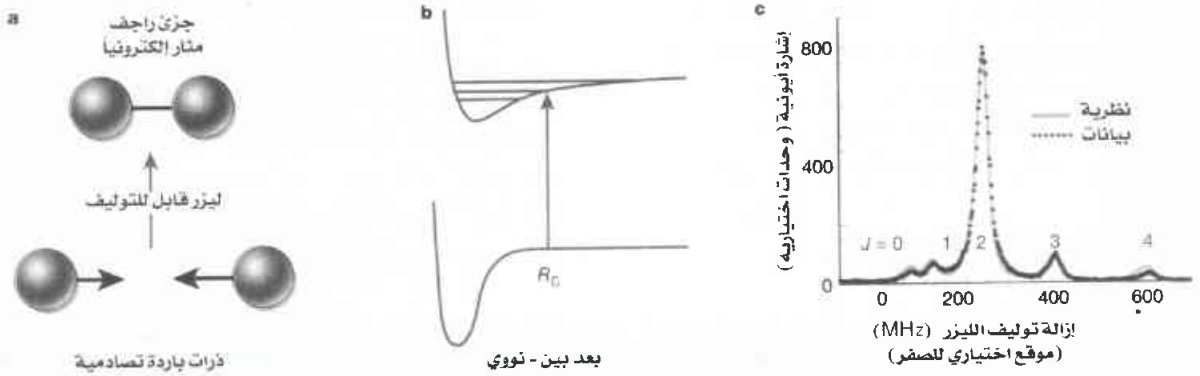
المصيدة. ولهذا السبب غالباً ما يجري إطفاء ضوء الليزر من أجل الوصول إلى ظروف T منخفضة وكثافة عالية لازمتين من أجل حدوث تكاثف بوز - آينشتاين. ولحسن الحظ، هنالك إمكانية لإجراء تبخير تبريدي في الظلام، أو على الأقل، دون وجود تواترات ضوئية.

ويمكن أيضاً للتصادمات الباردة في حقل ضوئي أن تكون عظيمة الفائدة حيث أن الاقتران مع حالات مرتبطة مثارة يعتمد على التفاصيل الدقيقة لمنحيي الكمون الأساسي والمثار وعلى التوابع الموجية. ويمكن أن تُستثمر هذه الحساسية باستخدام مطيافية التجمع الضوئي [27-30] و(الشكل 3). والتجمع الضوئي هو العملية التي تشترك فيها ذرتان تصادميتان بامتصاص فوتون واحد وتشكيل جزيء مرتبط في حالة مثارة؛ وبالامكان أيضاً دفع العملية المذكورة، بطريقة أكثر تعقيداً، بواسطة انتقالات ثنائية الفوتون أو ما يُدعى بانتقالات رامان لتشكيل جزيئات مثارة على نحو مضاعف أو جزيئات حالة أساسية (الشكل 4).

وتُعدّ مطيافية التجمع الضوئي المثال الأكثر شيوعاً على مطيافية تجاوب العتبة (الشكل 5) والتي تستخدم كمسبار شديد الدقة لتصادمات العتبة والمعقد الجزيئي الناجمين عن الذرّات التصادمية. والفكرة هي أنه يمكن ضوئياً أو مغنطيسياً توليف الحالة المرتبطة لمعقد الديمير لتصبح في تجاوب دقيق مع الذرّات التصادمية التي تكون طاقتها مقيدة بمدى من الرتبة k_BT. وحيث بالامكان جعل k_BT صغيرة جداً (الشكل 1) لذلك يغدو ممكناً قياس موقع سوية تجاوب المعقّد بدقة تصل إلى رتبة عرضه الذاتي. وكنتيجة للإصدار التلقائي للضوء بواسطة معقد الحالة المثارة، فإن عروضاً طيفية نموذجية أحادية اللون لتجمّع ضوئي تكون محددة بالعرض الطبيعي

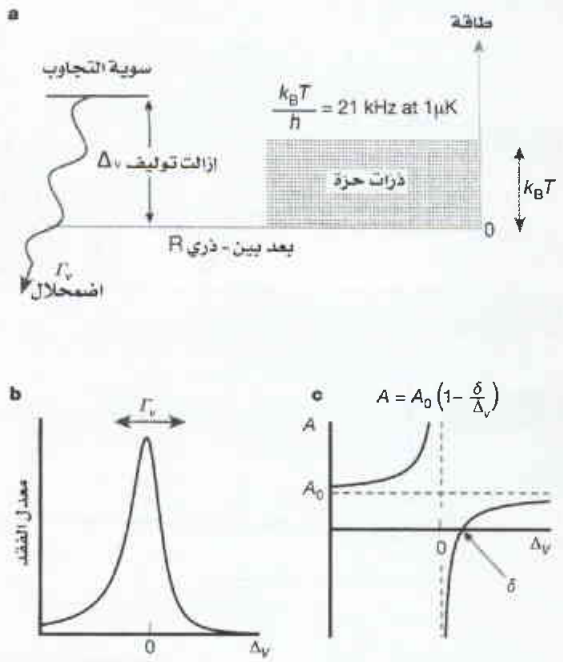


الشكل 4- وصف تخطيطي لتشكل ثنائي اللون لجزيئات في حالتها الإلكترونية الأساسية بواسطة تجمع ضوئي لرامان. يُبين منحنى الطاقة الكامنة كيف يمكن لحقلين ليزريين عند تواتري ν_1 و ν_2 تحريض الانتقال من الحالة التصادمية لذرتي تصادم إلى سوية اهتزازية مرتبطة لجزيء الديمير. يجري توليف الفرق في طاقتي الفوتون، $h(\nu_1 - \nu_2)$، بالقرب من طاقة الارتباط الخاصة بالسوية الجزيئية الهدف. ماسبق ذكره، يُعدّ مثالاً على حالة تجاوب - عتبة قابلة للتوليف والتي هي في هذه الحالة، مُقْرنة ضوئياً مع الذرات التصادمية. وبشكل نموذجي، يعمد مبدأ فرانك كوندون Franck - Condon principle - الذي يأخذ في الحسبان تراكب التابع الموجي - إلى تحديد الاقتران الناجح بعدد قليل من السويات الأخيرة في كمون الحالة الأساسية. ومن نماذج نظرية تستخدم طاقات الربط المقيسة لحالات الارتباط الأخيرة في الكمونُ تماماً تحت العتبة، يمكن الاستدلال على قيم أكثر دقّة لأطوال التبعثر.



الشكل 3- طيفية التجمع الضوئي. تجري إثارة ذرتين تصادميتين بواسطة ليزر قابل للتوليف وتحويلهما إلى حالة مهتزة لجزيء الديمير الذرّي.
(a) صورة إيضاحية تخطيطية للتجمع الضوئي. (b) منحنيا الطاقة الكامنة الإلكترونية للحالتين الأساسية والمثارة المشيران إلى وجود سويات اهتزازية مكماة في الحالة المثارة. وتكون سعة الإثارة الكمومية مسيطر عليها بالاسهامات قرب نقطة الكوندون R_c Condon point، حيث يكون الفرق المعتمد على R في منحني الطاقة الكامنة متوافقاً تماماً مع طاقة الفوتون hν. (c) عيّنة لطيف تجمع ضوئي في مصيدة ذرات ^{23}Na. يجري كشف أحداث التجمع الضوئي إما بشكل مباشر عن طريق تأيين نواتج الحالة المثارة، أو بشكل لا مباشر عن طريق السماح للجزيئات بأن تتفكك وتتحول إلى ذرات "ساخنة" لا يمكن بعد ذلك احتجازها في المصيدة. في المثال المبين أعلاه تُكشف الأيونات الجزيئية الناجمة عن التأين الضوئي للسوية المثارة عندما يجري توليف ليزر الإثارة عبر مدى يقدر بحوالي 700 MHz: وتمثل هذه السوية الاهتزازية السوية $\nu = 1$ الخاصة بحالة ديمير Na_2 بطاقة ارتباط لا تزيد عن $E/h = 47GHz$ نسبة لطاقات الذرات المنفصلة. وتكون السويتان الدورانيتان عند $J = 0$ و 2 مثارتين من الحالة الأساسية لأمواج -S، كما تكون السويتان عند $J = 1$ و 3 مثارتين من أمواج -p، وتكون السوية عند $J = 4$ مثارة من موجة -d (يتطلب فهم قواعد الاختيار النوعي الأخذ بعين الاعتبار بنية السبين للحالتين الأرضية والمثارة). وسمة الموجة -d تكون ضعيفة لأن الحاجز النابذ لوحدتي اندفاع زاوي يكون مساوياً 5 mK، كما لاتزيد درجة حرارة الذرّة المأسورة عن 0.5 mK. ويُسبّب الاختراق المحدود للحاجز سعة انتقال صغيرة عند نقطة الكوندون لهذا الانتقال. أما سمات الموجة -p فهي "بالصدفة" ضعيفة ذلك لأن التابع الموجي للحالة الأساسية للموجة -p يتمنع بعقدة قرب نقطة الكوندون. وهكذا تعمل السمات الطيفية الافرادية بمثابة مسبار للمكونات الافرادية الخاصة بالاندفاع الزاوي النسبي للتابع الموجي ذي الحالة الأرضية.

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



الشكل 5– طبيعة تبعثر العتبة بسوية تجاوب قابلة للتوليف.

(a) تخطيط يبين طاقيات تصادم بارد يُسبِّب تشكل تجاوب تبعثر، أي سوية ديمير شبه مرتبطة v، تعرى إلى الاقتران بين حالتي التبعثر وشبه الارتباط. ويمكن للاقتران أن يكون إما بسبب قوى ذاتية كيميائية أو قوى تعتمد السبين أو بسبب اقتران محرَّض ضوئياً كما في حالة التجمع الضوئي؛ وغالباً ما يُطلق على التجاوبات الناتجة عن الأنواع الأولى من الاقتران "تجاوبات فشباخ Feshbach resonances وذلك تمييزاً لها من تجاوبات التجمع الضوئي؛ ولو أن كليهما يُعالج بالشكلية ذاتها ويمثلان طريقتين فيزيائيتين مختلفتين لفهم التبعثر التجاوبي. ويمكن توليف موقع التجاوب Δ_v المتناسب مع الذرات المنفصلة عن طريق تغيير حقل خارجي؛ وقد يشمل هذا الاجراء توليفاً للتواتر الخاص بليزر التجمع الضوئي، كما هو مبين في الشكل 2، أو توليفاً لحقل مغنطيسي. وفي الحالة النموذجية، يضمحل التجاوب بعملية ما متحولاً إلى نواتج اضمحلال قابلة للكشف بمعدل قدره $\Gamma_v/\hbar$. وتكمن إحدى أعظم المظاهر فعالية لمطيافية تجاوب العتبة مع الذرات الفائقة البرودة في حقيقة أن التوزعات الضيقة جداً للطاقة الحرارية تتيح إجراء تحديد دقيق لخصائص طاقة ذرّات التصادم. على سبيل المثال، يكون الانتشار الحراري للطاقة عند 1μK مساوياً لـ $k_B T/h = 21$ kHz فقط؛ وهذا في أغلب الأحيان أقل كثيراً من عروض الاضمحلال لسويات التجاوب. وهكذا، يمكن للمميز الطيفي أن يكون الأفضل حتى من أحسن مطيافية ضوئية خالية من مفعول دوبلر. وجرى تطبيق نوع المطيافية المذكور آنفاً على كل من التصادمات المرنة واللامرنة.

(b) الشكل اللامتناظر المميز لسرعة التصادم اللامرن مقابل إزالة توليف التجاوب والذي له عرض من الرتبة Γ_v. **(c)** يُظهر طول التبعثر للتصادمات المرنة تعديلاً للتجاوب عندما يجري توليف الحالة شبه المرتبطة عبر منطقة العتبة، حيث تكون Δ_v قريبة من الصفر، وسوف يكون كبيراً وموجباً على طرف واحد للتجاوب وكبيراً وسالباً على الطرف الآخر.

للخط [31]. وفي الحالة الطبيعية، تكون هذه العروض من سوية عدَّة ميغاهرتز، أي مشابهة لأفضل مطيافية جزيئية تقليدية خالية من مفعول دوبلر. أما التجمع الضوئي لرامان فيمكنه أن يُحرز عروضاً أضيق كثيراً، وبالفعل لوحظت تجاوبات رامان بعروض من رتبة 1kHz في ^{87}Rb وفي ^{7}Li BECs [32، 33].

وتُعدّ مطيافية التجمع الضوئي متممة للمطيافية "المألوفة" المرتبطة – المرتبطة داخل الجزيئات، والتي تنشأ طبيعياً من حالات عمقية الارتباط والتي تستطيع بسهولة أن تصل فقط إلى الحالات المثارة المرتبطة بإحكام والمتمتعة بتراكب تابع موجي مع الحالة الأولية. من جهة ثانية، نجد أن التجمع الضوئي ينشأ من ذرّات تصادمية بطيئة ذات أطوال دوبروي الموجية الطويلة وبالتالي تكون لديها أفضل التراكبات مع الحالة المرتبطة بالقرب من حدود التفكك في كمون الحالة المثارة. وهذه هي المنطقة التي تُضفي رؤية متعمقة على القوى طويلة المدى والتي لها أهميتها في التصادمات الفائقة البرودة.

يفسر الشكل 3c كيف يمكن للسمات الطيفية الفردية أن تنجم عن حالات مختلفة للاندفاع الزاوي النسبي في التصادم. وتكون مواقع السمات حساسة لكمون الحالة المثارة، بينما تكون الشدات النسبية للسمات الفردية حساسة جداً لكمون الحالة الأساسية. والنمذجة النظرية المفصلة لمثل هذه الأطياف ستقود إلى نماذج دقيقة وكمّية لتبعثر الحالة الأساسية للعتبة قابلة للتطبيق على أنواع أخرى من المصائد ودرجات الحرارة. هذا يتيح أن يكون للمقارنة الدقيقة والمفصلة مع النظرية الخاصة بعملية التجمع الضوئي أعظم الفائدة كطريقة لتقدير الكمونات بين الذرّية.

كان التآثر القوي بين النظرية والتجربة مصدرَ فهمنا الكمّي للقوى بين الذرّية في القلويات. وقد استغرق ذلك وقتاً طويلاً، لقد أصبح لدينا الآن نماذج نظرية كمّية وشاملة لتبعثر العتبة الخاص بتصادمات أنواع ذرّية شبيهة بالقلويات في حالاتها الإلكترونية الأساسية، وتأخذ هذه النماذج بعين الاعتبار التآثرات الكيميائية النسبوية معتمدةَ – السبين إضافة إلى قوى تبعثر فاندرفالس ذات المدى الطويل، كما أنها تستثمر أفضل ما يتوفر من منحنيات الحالة الأساسية للطاقة الكامنة. كذلك جرى تهذيب هذه النماذج بحيث تأخذ أيضاً بعين الاعتبار جميع ما يتوفر من بيانات تجريبية في مجال التجمع الضوئي ومن بيانات تجارب أخرى في مجال التصادمات المرنة واللامرنة وكذلك آخر الحالات المرتبطة ضمن الكمونات.

أتاح تحديد خصائص هذه الكمونات إيجاد تطبيقات، مثل القياس الدقيق للأعمار الذرّية بالمطيافية الجزيئية. وبالإمكان إجراء المطيافية الدقيقة للتجمع الضوئي قرب حدود التفكك على الحالات المثارة للجزيئات متجانسة النوى ثنائية الذرة. ويمكن، بعد ذلك، تلبيق البيانات مع حسابات نظرية للكمونات المناسبة وذلك من أجل استخلاص قيم دقيقة لبارامترات النموذج، كما هو حال المعاملات التي تُميز مساهمات C_6/R^6 لفاندرفالس، و C_3/R^3 لتجاوب ثنائي القطب، في الكمون بين الذرّي. ويكون للمعامل C_3 علاقة مباشرة بالعمر الخاص بالحالة الذرّية المثارة المقاربة. وهكذا، تقود المطيافية الجزيئية إلى استخلاص قيم للأعمار الذرّية قد تكون أكثر دقة من قيم جرى استخلاصها بطرائق "ذرّية" تقليدية [34 – 36].

ويُعدّ رصد تأثيرات السرعة المحدودة للضوء – أو ما يسمى بالكمونات المتأخرة – على طاقات ارتباط خطوط الطيف، سمة أخرى فريدة للمطيافية الدقيقة الخاصة بالحالات طويلة المدى وللدقة الهائلة

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

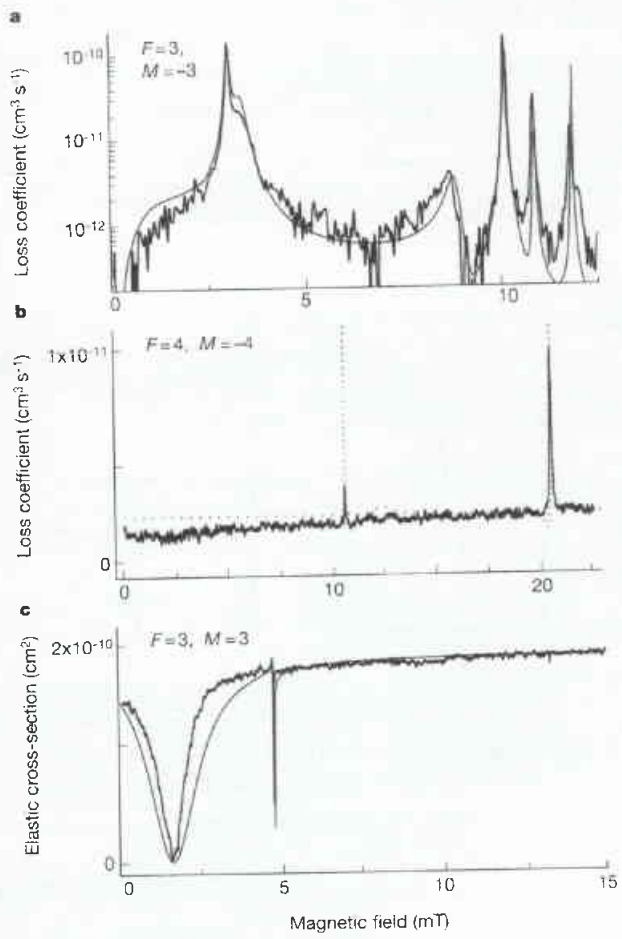
للحسابات النظرية المتوفرة حالياً [35]. ولاشك بأن قياس أطوال التبعثر للمنظومات الذرّية، ورصد حالات المدى الطويل البحت purely long - range states [37] (مع نقاط انعطاف داخلية للحركة الاهتزازية عند مسافات تقدر بعدة نانومترات)، واستخدام تجاوبات قابلة للتوليف مغنطيسياً أو ضوئياً من أجل مطيافية دقيقة، جميعها تُقدم أمثلة على التفاعل الرائع بين النظرية والتجربة في هذا الحقل. ولولا وجود المطيافية الدقيقة والنمذجة للغازات الفائقة البرودة، لكان توصيف سلوك التبعثر والكثافة عند الطاقات المنخفضة شأناً تجريبياً يحتمل النجاح أو الفشل.

ظواهر العتبة من أجل القياس والتحكم

يمكن استخدام الغازات الذرّية فائقة البرودة في دراسة ظواهر الصدم العتبية التي لم يتمكن التجريبيون في الماضي من التوصل إليها والاستفادة منها. بالإضافة إلى تجاوبات التجمع الضوئي. هنالك مثال مذهل عن هذه الدراسات يتمثل بملاحظة التجاوبات القابلة للتوليف معنطيساً حلال عملية تبعثر الذرات المبردة بالتبخير. وهذه التجاوبات تفضي إلى تغير سريع في المقاطع العرضية كتابع لطاقة زوج صدم عندما تتزامن هذه الطاقة تقريباً مع موضع التجاوب. ومن الأهمية بمكان بالنسبة للدراسات الحديثة أنه يمكن توليف موضع التجاوب باستخدام حقل مغنطيسي. إن طول التبعثر في مثل هذه التجارب، بالإضافة إلى مقاطع عرضية أخرى فائقة البرودة غير مرنة، يتغير متخذاً شكلاً مجاوباً عندما تتغير شدة الحقل المغنطيسي المطبق. ويوضح الشكل 5 السلوك التجاوب لطول التبعثر. وقد اقترحت نظرياً إمكانية حدوث التجاوبات القابلة للتوليف مغنطيسياً في التصادمات فائقة البرودة بين ذرتي H [38] أو بين ذرتي Cs [39] والآن لوحظت في Na [23] و ^{85}Rb BECs [26,40]. ومثل هذه السيطرة على طاقة صدم مجاوب، وبالتالي على طول التبعثر، يمكن أن يستفاد منها بطرق عدة. والآن من المحتمل أن يتم تشكيل أولي لمتكثّف مستقر بطول تبعثر موجب ومن ثم تبديل إشارة طول التبعثر. وهذا ما يؤدي إلى انهيار مذهل للمتكثّف غير المستقر الآن [7].

إنّ دقة قياس الحقل المغنطيسي الذي تلاحظ عنده التجاوبات تُترجم إلى مطيافية دقيقة ذات حالة مرتبطة تنافس أو تتجاوز مطيافية التجمع الضوئي. ويوضح الشكل 6 مثالاً مثيراً لمطيافية التجاوب- العتبة فائقة البرودة بالنسبة للتصادم بين ذرتي Cs من أجل T على المرتبة 5 μK. ومع أن النماذج النظرية الكمية للتبعثر العتبي لـ Cs قد أثبتت أنها كانت محيّرة في الماضي، فإن الأطياف المغنطيسية ذات التجاوب العتبي تقدم قيوداً جديدة على البارامترات النموذجية التي تحل المشكلات التي تمت مواجهتها سابقاً. وتتفق النظرية والتجربة جيداً بشأن عشرات عديدة من التجاوبات، ويمكن أن تُعزى الأعداد الكمومية الجزيئية إلى كل سمة في الشكل. إن أطوال التبعثر الكبيرة والمذهلة لتصادمات ذرة Cs تعني أن تقريب طول التبعثر يخفق عند طاقات منخفضة جداً. ولا يمكن استخدامه عند 1 μK بحيث أن $k A > 1$ (انظر المؤطر1)، وتعد حسابات التبعثر الكمومي الكاملة ضرورية لنمذجة التجارب.

يُعدّ السيزيوم مهماً بصورة خاصة نظراً لكونه يشكل الأساس في تحديد الزمن حسبَ ما اتُّفق عليه في العرف الدولي. ومن تطبيقات الذرات فائقة البرودة الميقاتيات الذرّية، وعلى الأخص ميقاتية الـ Cs الذرّية



الشكل 6– مقارنة أطياف تصادمية تجريبية ونظرية لذرات Cs الباردة والمأسورة بدرجة حرارة قدرها بضع درجات من المكروكلفن. تم حصر ذرات Cs في مصيدة ضوئية بحيث يمكن ضبط أي سوية فرعية فائقة الدقة للحالة الإلكترونية الأساسية. وهذه السويات تُصنف عن طريق الاندفاع الزاوي الكلي F ومسقطه M على محور الحقل المغنطيسي. وعندما يتغير الحقل المغنطيسي، فإن السويات العتبية شبه المرتبطة من جزيء الـ Cs المثالي يتم توليفها داخل وخارج التجاوب التصادمي مع الذرات ذات الطاقة المنخفضة.

a، b، معاملات معدل التصادم لعدة تجاوبات في تصادمات فقد (خسارة) غير مرنة للذرات (a) F = 3, M = -3 وللذرّات (b) F = 4, M = -4. c، مقطع عرضي مرن لتبعثر الذرات من أجل F = 3، M = 3. يُعدَّل منحنى المعطيات وفق المنحنى النظري من أجل حقل مغنطيسي كبير. وتنشأ الميول في المقطع العرضي من تداخل سعة تبعثر التجاوب مع سعة تبعثر الخلفية في غياب تجاوب ما (عند نقاط مثل تلك المشار إليها بـ 5 في الشكل c 5).

الجديدة. وتعد التصادمات الذرّية مسؤولة عن انزياح معتمد على الكثافة في التواتر الذي حددته الميقاتية الذرية. وهذا الانزياح الطفيف من أجل Cs مازال كبيراً بما يكفي ليكون مشكلة تواجه عملية وضع المعايير الزمنية الدقيقة. وقد أوضحت المراقبات الحديثة أنه يوجد لدينا الآن نظرية جيدة بصورة كافية لإجراء عمليات تحديد دقيقة لهذه الانزياحات في مجموعة من المنظومات الميقاتية المفترضة. ويبئ نموذج الـ Cs بأن الانزياح المحرّض بالصدم في تواتر الميقاتية يخضع إلى تغير مذهل عند درجات حرارة

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

منخفضة جداً (ما دون 1 μK) حتى لو تجاوزت الصفر عند تغيير الإشارة [41]. وسيصار إلى إجراء التجارب لاختبار هذه التنبؤات.

ورغم وجود استخدامات جيدة للتجاوبات العتبية في المطيافية الدقيقة وضبط التصادمات، فإنه يمكن أن يكون لها آثار جانبية ضارة مثل الخسارات التصادمية التي تحدّ من عمر الغاز البارد. فالتجمع الضوئي وحيد اللون يفضي نموذجياً إلى خسارة في الذرات المأسورة بسبب الاضمحلال التلقائي السريع للحالة المثارة. ومع أن هذه الخسارة تنطوي على مزايا بالنسبة لأنواع محددة من مطيافية التجمع الضوئي، فهذا يعني أن مثل هذه التجاوبات ليست عملية في تغيير طول التبعثر. أيضاً يمكن أن تفضي التجاوبات القابلة للتوليف مغنطيسياً إلى خسارات الأجسام الثلاثة. وهذا بالتحديد مايثير إشكالاً بالنسبة للتجارب مع ^{23}Na BEC، حيث ترافق الخسارات التصادمية القوية ذات الأجسام الثلاثة طول التبعثر القابل للتوليف [40]. ولحسن الحظ إن خسارات الأجسام الثلاثة هذه تكون أقل وضوحاً في حالة ^{85}Rb حيث تبقى الكثافة نموذجياً أخفض بكثير.

الجزيئات الباردة

ليس من السهل تبريد الجزيئات ليزرياً لأنها لاتمتلك بنية محكمة ذات سويتين بحيث يمكنها باستمرار أن تبعثر ضوءاً ذا طول موجي مجاوب محدد. بالأحرى، يصبح العديد من سويات الطاقة الدورانية والاهتزازية مشغولاً. وبمعنى آخر يمكن تشكيل الجزيئات الباردة من خلال التجمع الضوئي لذرتين باردتين. فالتجمع الضوئي العادي وحيد اللون يشكل جزيئات مثارة تتفكك بسرعة بالإصدار التلقائي. إن جزءاً من هذه العملية التفككية غير المترابطة، يؤدي إلى توزيع سويات الطاقة الدورانية والاهتزازية للجزيء في الحالة الأساسية. وبالنسبة للأنواع القلوية يمكن أن تكون هذه السويات هي سويات الحالات الإلكترونية الأحادية والثلاثية المرتبطة مع ذرات الحالة الأساسية. في الحقيقة، تم تشكيل جزيئات متثانية باردة من القلويات بهذه الطريقة [8-14]. ومع أن الجزيئات الباردة يمكن أن تسقط خارج المصيدة الذرّية، فإن مثل هذه الجزيئات يمكن أسرها باستخدام مصيدة ضوئية في مركز حزمة ليزر CO_2 شديدة أو إذا كانت في الحالة الدنيا الثلاثية يمكن أن تؤسر بمصيدة مغنطيسية.

إن القدرة على تشكيل جزيئات مترابطة من ذرات باردة وإنتاجها في حالات اهتزازية دورانية نوعية تنطوي على أهمية خاصة. ومن الطرائق المتبعة في تحقيق ذلك استخدام لون ثانٍ للضوء لتوجيه تفكك (اضمحلال) الحالة المثارة إلى حالة أساسية ذات سوية طاقة دورانية واهتزازية نوعية (الشكل 4). على أي حال إن الحزمتين الليزريتين ذاتهما، اللتين تحدثان تجمع رامان الضوئي، تحدثان أيضاً التجمع الضوئي لسوية جزيئية بالعودة إلى الذرات المنفصلة. ومن غير الممكن بناء تجمع جزيئي كبير في غاز حراري، حيث كثافة فضاء الطور (الشكل 1) صغيرة مقارنة مع الواحدة. كان باستطاعة المرء أن يتصور صنع بعض الجزيئات باستخدام نبضات ضوئية قصيرة، ثم ينقلها من منطقة الإثارة الليزرية قبل إعادة تطبيق مجموعة النبضات اللاحقة [42]، لكن ذلك يأخذ زمناً طويلاً لصنع العديد من الجزيئات بهذه الطريقة بمصائد ضوئية-مغنطيسية نموذجية.

ومن جهة أخرى، يمكن للتجمع الفوتوني المترابط لرامان في الذرّات الباردة أن يكون طريقة فعّالة في صنع جزيئات باردة في BEC [43]. هنالك إمكانية تحوّل محرَّض ضوئياً مترابط بين كُثافة ذريّة وكُثافة جزيئية في مضاهي مادة - موجة لانقلاب توافقي من المرتبة الثانية في الضوئيات اللاخطية (يتحد جسيما حقل ذريان لتوليد جسيم حقل جزيئي مفرد). يمكن للغاز أيضاً أن يخضع لإهتزازات جهرية بين الشكلين الذري والجزيئي (مضاهياً لِ اهتزازات رابي Rabi)، [44 - 47].

في تجربة واحدة وباستخدام التجمع الضوئي لرامان في كُثافة ذرية من ^{87}Rb، إستُدلّ على تشكل جزيئات $^{87}Rb_2$ المستقرة تقريباً عن طريق دليل طيفي [32]. يتحد التوزع الطاقي، الضيق جداً في الكُثافة، مع ضبط التواتر الفروقي الدقيق لعملية رامان ليسمحا باجراء قياس عالي الدقة لطاقة الربط لسوية الجزيء بالسبة لطاقتي الذرتين المنفصلتين. سيسمح هذا القياس لنماذج التصادم النظرية بأن تُعايَر بغية التوصل إلى تنبؤ أفضل لأطوال التبعثر وللاختلافات الدقيقة في طول التبعثر بين مختلف أزواج الحالات العالية الدقة لذرات ^{87}Rb. إن هذه الاختلافات مهمة في فهم خواص الكُثافات المتعددة المكوّن (أو السبينور)، التي تتألف من أكثر من سوية واحدة عالية الدقة للذرات. على أية حال، لم يتم إثبات وجود اهتزازات رابي جهرية للغاز الكمومي تجريبياً. وبالفعل، توجد أسباب نظرية تدعو إلى الافتراض بأن القدرة على الاحتفاظ بمثل هذا العدد من الاهتزازات الجهرية لحقول مادة - موجة ربما تكون محدودة [47].

التصادمات الذرّية المترابطة وتشابكاتها

لقد لوحظت التصادمات الذرّية منذ زمن بعيد كعمليات لامترابطة مسؤولة عن كل شيء بدءاً من تعريض لامتجانس للخط حتى العمليات اللامرنة. ندرك في أيامنا هذه أن العمليات التصادمية المترابطة تسببت في إيجاد الحقل الوسطي في BEC. وبالفعل، فإن جميع التصادمات مترابطة بالأصل، عندما تكون مصفوفة التبعثر واحدية. ويريد الباحثون، في معظم التجارب، أن يتحكموا في التصادمات إما لمنع عملية ما أو لتوليد عملية، لاتحصل بدون ذلك. ومن المعروف تقليدياً، أنه لاستخدام تصادمات بطريقة مترابطة من الضروري إزالة أو تحديد التأثيرات التي تنشأ من أحد وسطي الحركة الحرارية للجسيمات.

كان العلماء في العقد الأخير قادرين عل تبريد الجسيمات بشكل فعّال إلى درجة قريبة جداً من الصفر المطلق، وبهذا دخلوا حقلاً يستطيعون عنده التحكم في كل من الحالات الحركية للذرات وحالاتها الداخلية. ونتيجة لذلك، أصبحت التصادمات أداة إضافيه في صنع المنظومات الذرّية والتحكّم بها. يتعامل الفيزيائيون حالياً مع التصادمات من أجل المطيافية وديناميات BEC، وتشكل الجزيء كما نوقش ذلك سابقاً.

وتُتابَعُ حالياً أفكار أكثر غرابة. اقترحت عدةُ مجموعات استخدامَ تأثرات ذرة - ذرة أو تصادمات لخلق تشابك بين الذرات [48 - 50]. يمكن إستخدام مثل هذا التشابك من أجل بناء حاسوب كمومي ومن أجل النقل من بعد للمعلومة الكمومية أو من أجل قياسات دقيقة محسنة. يتضمن المفهوم الأساسي، حمل ذرات مفردة إلى مصائد مكروية مفردة،

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

ثمّ تُجمّع هذه الذرات بعضها مع بعض لتتآثر أو لتتصادم حسب سلوك معين أو مشروط بحيث يصبح "مصير الذرة 1" منضفراً مع "مصير الذرة 2". وبعبارة أخرى إنهما مشبوكتان. وحالما يحصل ارتباط متبادل لمصير الذرتين معاً يجري فصلهما عن بعض.

يمكن لذرتين متشابكتين أن تتشابكا مع ذرات أخرى والحصول على تشابك كبير، وقد جرى تبيان ذلك في تجارب رائعة مع الأيونات [51]. يمكن استخدام التشابك المتحكم به من أجل هندسة حالات كمومية غريبة، لتحقيق مقاييس تداخل أفضل، وجيروسكوبات محسّنة وقياسات دقيقة. إن التشابك المتحكّم به مصدر أساسي نحتاج إليه من أجل المعلومة الكمومية والحوسبة الكمومية. القصد هنا هو شبك ذرات عديدة في عملية أداء حاسوبي وذلك بتأثر مشروط لأزواج مفردة من الذرات سواء جرى ذلك بشكل متتالٍ أو بشكل متوازٍ.

يتطلب أداء عمليات التشابك هذه وأمثالها تحكّم ذري فردي، يمكن تحقيقه بتحميل الذرات إلى داخل شبيكات ضوئية أو مصائد مكروية مغنطيسية / ضوئية مشكلة فوق سطوح "جذاذات ذرّية" مكروية التصنيع. ستتمكن المصائد من توضيع الذرات في مواقع فريدة ربما لعشرات قليلة من النانومترات ومن تأمين التحكم على عمليات شبك الذرتين. يمكن أن تقوم الذرات المأسورة المفردة بدور بتّاتٍ كمومية quantum bits أو qubits وذلك بالاستفادة من بنيتها الداخلية - حالات عالية الدقة أو حالات تجاوب طويلة العمر - أو باستخدام الحالات الحركية التي تنتج من أسر الذرات.

تحديات المستقبل

إن للتصادمات فائقة البرودة تأثير تجريبي مهم وتأثير نظري عبر طيف عريض من الفيزياء الذرّية. إن توليد الذرات الباردة مهيّأ لأن يحدث تغيراً بعيد المدى في نظرتنا لعالم الطاقة المنخفضة. لقد تم تحكّم غير مسبوق في التصادمات عند هذه الدرجات من الحرارة وستستمر تحرياتنا في سبيل كشف حشد من ظواهر جديدة رائعة كثير منها كمومية فريدة في الطبيعة. إحدى المظاهر المميزة في دراسة التصادمات فائقة البرودة هي القدرة على وصف تآثر ذرة - ذرة ببارامتر واحد، وهو طول التبعثر. قاد هذا إلى بعض الاختبارات الأولى لفيزياء الأجسام المتعددة بدون بارامترات قابلة للتعديل او بارامترات ظاهراتية. قاد التحكم الأساسي في التصادمات التي يمكن إحرازها في هذه المنظومات إلى قياسات أكثر دقة وستقود إلى تحسينات أبعد. وفي النهاية، يمكن أن تؤدي هذه السوية الدقيقة من التحكم في الذرات المفردة أو أزواج الذرات إلى تطوير نبائط فيزيائية تُستخدم في معالجة المعلومة الكمومية. ويمكن لتشابك الحالات الكمومية للذرات التي تنتج من تآثراتها التصادمية أن تجعل خلق حزم مترابطة من الذرات أمراً محتملاً [52,53].

لقد ركزّنا هنا على الذرات المأسورة. وفرضنا أنّ حجم المصيدة أكبر بكثير من أي حجم يميز التآثرات في التصادم (طول التبعثر مثلاً). ولهذا فإن وصف الفضاء الحر للتصادمات الذرّية كان ملائماً. ولكن إذا ما جُعلت المصيدة صغيرة جداً في واحد أو أكثر من أبعادها، فيمكن للحصر أن يكون له تأثير عميق على التصادم [54]. ستتضمن تحديات التجارب الجديدة والتحديات النظرية تنسيقات تصادمات في هندسيات مُقيّدة. يمكن للمصائد المحكمة أن تُجبر حصول التصادمات في خلية مفردة أو على طول محور مفرد أو في مستوٍ مفرد. تقابل هذه الأوضاع تبعثراً لا بعد له و ذا بُعدٍ واحد و ذا بُعدين على الترتيب وتسعى إلى تغيير خواص التصادم ذي الفضاء الحر. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن لمثلِ هذا التخفيض البعدي أن يؤدي إلى تحريك كمومي جديد وهام وإلى انتقالات طورية [55].

تحصل عدة مجموعات في الوقت الحاضر على الجزيئات الباردة بتجميعها من ذرات باردة مسبقاً. وبالإضافة إلى ذلك، فقد جرى حالياً الحصول على الجزيئات الباردة وأسرها بدون استخدام التبريد بالليزر. فإحدى الطرائق التي طبقت على الجزيء ثنائي الذرة CaH استخدمت غاز الهيليوم الدارىء لتبريد هذا النوع المغنطيسي المساير إلى درجة حرارة منخفضة إلى حد كافٍ يمكن عندها حجزه في مصيدة مغنطيسية [15]. بنى فريق آخر مبطِّئ حقل كهربائي نبضي لتبطيء حزمة من جزيئات قطبية من الأمونيا ثم تحميلها في مصيدة كهربائية رباعية القطب [16]. يمكن تطبيق هذه الطرائق الجديدة على عدد من الأنواع الجزيئية المختلفة (ذوات مغنطيسية مسايرة وثنائية القطب بالترتيب). ويمكن لهذا أن يوسّع القياسات الدقيقة والتحكّم في السعة الكمومية إلى تصادمات ذرة - جزيء، وجزيء - جزيء، وهي دراسة بدأت منذ وقت قصير. من الواضح أن تمييز إمكانيات هذه المنظومات مطلوب من أجل إحداث تقدم. يمكن للجزيئات المأسورة أيضاً أن تحرز بعضاً من التقدم الحقيقي في البحث المحيّر عن عزم ثنائي القطب للإلكترون. إن التبريد التبخيري يمكن أن يحقق نتيجة من أجل الجزيئات فيما إذا لم تقد التصادمات اللامرنة إلى التسخين والفقد، ومن المحتمل أن تعطي نتيجة في تشكل كُثافات جزيئية.

إن توسيع هذه الانجازات إلى جزيئات أكثر تعقيداً، إذا ثبت إمكان تحقيق ذلك، يمكن أن يؤدي إلى طرائق جديدة لسبر معقدات تصادم والتحكم في جميع درجات الحرّية للجزيئات الخاضعة للتفاعلات الكيميائية. يمكن استخدام قابلية التحكم في الذرات الفردية أو الجزيئات في التصنيع النانوي "للجزيئات المُصممة" أو تداول الجزئيات البيولوجية المفردة.

لقد رأينا مسبقاً أن أحلامنا في التحكم بالتآثرات على السوية الكمومية قد أصبحت حقيقة. وبرهنت الطبيعة المتقنة لهذا التحكم أنها ذات قيمة. لقد حصلت هذه الانجازات نتيجة للتحسينات التجريبية والنظرية التي كانت متعة في ممارستها، وتأثيرها على فيزياء جديدة وكيمياء وحوسبة كمومية ليس إلاّ في بدايته.

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

REFERENCES المراجع

[1] Weiner, J., Zilio, S., Bagnato, V. S. & Julienne, P. S. Experiments and theory in cold and ultracold collisions. Rev. Mod. Phys. 71, 1-85 (1999).

[2] Cohen-Tannoudji, C. Manipulating atoms with photons. Rev. Mod. Phys. 70,707-719 (1997).

[3] Chu, S. The manipulation of neutral particles. Rev. Mod. Phys. 70, 685-706 (1997).

[4] Phillips, W. D. Laser cooling and trapping of neutral atoms. Rev. Mod. Phys. 70, 721-741 (1997).

[5] Ketterle, W. & Van Druten, N. J. Evaporative cooling of trapped atoms. Adv. At. Mol. Opt. Phys. 37, 181 - 236(1996).

[6] Dalfovo, F., Giorgini, S., Pitaevskii, L. P. & Stringari, S. Theory of Bose-Einstein condensation in trapped gases. Rev. Mod. Phys. 71, 463-512 (1999).

[7] Roberts, J. L. et al. Controlled collapse of a Bose-Einstein condensate. Phys. Rev. Lett. 86, 4211-4214 (2001).

[8] Fioretti, A. et al. Formation of cold Cs_2 molecules through photoassociation. Phys. Rev. Lett. 80, 4402-4405(1998).

[9] Takekoshi, T., Patterson, B. M. & Knize, R. J. Observation of cold ground-state cesium molecules produced in a magneto-optical trap. Phys. Rev. A 59, R5-R7 (1999).

[10] Nikolov, A. N. et al. Observation of ultracold ground-state potassium molecules. Phys. Rev. Lett. 82, 703-706(1999).

[11] Nikolov, A. N. et al. Efficient production of ground-state potassium molecules at sub-mk temperatures by two-step photoassociation. Phys. Rev. A 84, 246-249 (2000).

[12] Band, Y. B. & Julienne, P. S. Ultracold molecule production by laser cooled atom photoassociation. Phys. Rev. A 51, R4317 - R4320 (1995).

[13] Gabbanini, C., Fioretti, A., Lucchesini, A., Gozzini, S. & Mazzoni, M. Cold rubidium molecules formed in a magneto-optical trap. Phys. Rev. Lett. 84, 2814-2817 (2000).

[14] Fatemi, F. K., Jones, K. M., Lett, P. D. & Tiesinga, E. Ultracold ground state molecule production in sodium. Phys. Rev. A (in the press).

[15] Weinstein, J. D., deCarvalho, R., Guillet, T., Friedrich, B. & Doyle, J. M. Magnetic trapping of calcium monohydride molecules at millikelvin temperature. Nature 395, 148-150 (1998).

[16] Bethlem, H. L. et al. Electrostatic trapping of ammonia molecules. Nature 406, 491-494 (2000).

[17] Abraham, E. R. I., McAlexander, W. I., Gerton, J. M. & Hulet, R. G. Triplet s-wave resonance in ^{6}Li collisions and scattering lengths of ^{6}Li and ^{7}Li Phys. Rev. A 55, R3299-R3302 (1997).

[18] van Abeelen, F. A. & Verhaar, B. J. Determination of collisional properties of cold Na atoms from analysis of bound-state photoassociation and Feshbach resonance field data. Phys. Rev. A 59, 578 - 584 (1999).

[19] Crubellier, A. et al. Simple determination of Na_2 scattering lengths using observed bound levels at the ground state asymptote. Eur. Phys. J. 6, 211-220 (1999).

[20] Bohn, J. L. et al. Collisional properties of ultracold potassium: consequences for degenerate Bose and, Fermi gases. Phys. Rev. A 59, 3660-3664 (1999).

[21] Burke, J. P. Jr, Bohn, J. L., Esry, B. D. & Greene, C. H., Prospects for mixed-isotope Bose-Einstein condensates in rubidium. Phys. Rev. Lett. 80, 2097-3000 (1998).

[22] Chin, C., Vuletic, V., Kerman, A. J. & Chu, S. High resolution Feshbach spectroscopy of cesium. Phys. Rev. Lett. 85, 2717-2720 (2000).

[23] Leo, P. J., Williams, C. J. & julienne, P. S. The collision properties of ultracold ^{133}Cs atoms. Phys. Rev. Lett. 85, 2721-2724 (2000).

[24] Dodd, R, J. et al. Role of attractive interactions on Bose-Einstein condensation. Phys. Rev. A 54, 661-664(1996).

[25] Bradley, C. C., Sackett, C. A. & Hulet, R. G. Bose-Einistein condensation of lithium: observation of limited condensate number. Phys. Rev. Lett. 78, 985-989 (1997).

[26] Cornish, S. L., Claussen, N. R., Roberts, J. L., Cornell, E. A. & Wieman, C. E. Stable ^{85}Rb Bose-Einstein condensates with widely tuneable interactions. Phys. Rev. Lett. 85, 1795-1798 (2000).

[27] Lett, P. D., Julienne, P. S. & Phillips, W. D. Photoassociative spectroscopy of laser-cooled atoms. Annu. Rev. Phys. Chem. 46, 423-452 (1995).

[28] Heinzen, D. J. in Atomic Physics Vol. 14 (eds Wineland, D., Wieman, C. & Smith, S.) 369-388 (AIP Press, New York, 1995).

[29] Stwalley, W. C. & Wang, H. Photoassociation of ultracold atoms: a new spectroscopic technique. J. Mol. Spect. 195, 194-228 (1999).

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

[30] Tiesinga, E. et al. A spectroscopic determination of scattering lengths for sodium atom collisions. J. Res. Natl Inst. Stand. Tech. 101, 505-520 (1996).

[31] Napolitano, R., Weiner, J., Williams, C. J. & Julienne, P. S. Line shapes of high resolution photoassociation spectra of optically cooled atoms. Phys. Rev. Lett. 73, 1352-1355 (1994).

[32] Wynar, R., Freeland, R. S., Han, D. J., Ryu, C. & Heinzen, D. J. Molecules in a Bose-Einstein condensate. Science 287, 1016 (2000).

[33] Gerton, J. M., Strekalov, D., Prodan, I. & Hulet, R. G. Direct observation of growth and collapse of a Bose-Einstein condensate with attractive interactions. Nature 408,692-695 (2000).

[34] McAlexander, W. I., Abraham, E. R. I. & Hulet, R. G. Radiative lifetime of the 2P state of lithium. Phys. Rev. A 54, R5-R8 (1996).

[35] Jones, K. et al. Measurement of the atomic Na(3P) lifetime and of retardation in the interaction between two atoms bound in a molecule. Europhys. Lett. 35, 85-90 (1996).

[36] Wang, H. et al. Precise determination of the dipole matrix element and radiative lifetime of the ^{39}K 4p state by photoassociative spectroscopy. Phys. Rev. A 55, R1569-R1572 (1997).

[37] Stwalley, W. C., Uang, Y. H. & Pichler, G. Pure long-range molecules. Phys. Rev. Lett. 41, 1164-1167 (1978).

[38] Stwalley, W. C. Stability of spin-aligned hydrogen at low temperatures and high magnetic fields: new Field-dependent scattering resonances and predissociations. Phys. Rev. Lett, 37, 1628-1631 (1981).

[39] Tiesinga, E., Verhaar, B. J. & Stoof, H. T. C. Threshold and resonance phenomena in ultracold ground-state collisions. Phys. Rev. A 47,4114 (1993).

[40] Inouye, S. et al. Observation of Feshbach resonances in a Bose-Einstein condensate. Nature 392, 151 (1998).

[41] Leo, P., Julienne, P. S., Mies, F. H. & Williams, C. J. Collisional frequency shifts in ^{133}Cs fountain clocks. Phys. Rev. Lett. 86, 3743-3746 (2001).

[42] Vardi, A., Abrashkevich, D., Frishman. E. & Shapiro, M. Theory of radiative recombination with strong laser pulses and the formation of ultracold molecules via stimulated photo-recombination of cold atoms. J. Chem. Phys. 107,6166-6174 (1997).

[43] Julienne, P. S., Burnett, K., Band, Y. B. & Stwalley, W. C. Stimulated Raman molecule production in Bose-Einstein condensates. Phys. Rev. A 58, R797-R800 (1998).

[44] Timmermans, E., Tommasini, p., Cote, R., Hussein, M. & Kerman, A. Rarified liquid properties of hybrid atomic-molecular Bose-Einstein condensates. Phys. Rev. Lett. 83, 2691 - 2694 (1999).

[45] Javanainen, J. & Mackie, M. Coherent photoassociation of a Bose-Einstein condensate. Phys. Rev. A 59, R3186-R3189 (1999).

[46] Heinzen, D. J., Wynar, R., Drummond, P. D. & Kheruntsyan, K. V. Superchemistry: dynamics of coupled atomic and molecular Bose-Einstein condensates. Phys. Rev. Lett. 84,5029 - 5033 (2000).

[47] Holland, M., Park, J. & Walser, R. Formation of pairing fields in resonantly coupled atomic and molecular Bose-Einistein condensates. Phys. Rev. Lett. 86, 1915 - 1918 (2001).

[48] Brennen, G. K., Caves, C. M., Jessen, P. S. & Deutsch, I. H. Quantum logical gates in optical lattices. Phys. Rev. Lett. 82, 1060-1063 (1999).

[49] 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).

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

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

[52] Pu, H. & Meystre, P. Creating macroscopic atomic Einstein-Podolsky-Rosen states from Bose - Einstein condensates. Phys. Rev. Lett. 85, 3987-3990 (2000).

[53] Duan, L. M., Sorensen, A., Cirac, J. I. & Zoller, P Squeezing and entanglement of atomic beams. Phys. Rev. Lett. 85, 3991-3994 (2000).

[54] Tiesinga, E., Williams, C. J., Mies, F. H. & Julienne, P. S. Interacting atoms under strong quantum confinement. Phys. Rev. A 61, 063416-1-063416-8 (2000).

[55] Olshanii, M. Atomic scattering in the presence of an external confinement and a gas of impenetrable bosons. Phys. Rev. Lett. 81, 938-941 (1998).

[56] jessen, P. S. & Deutsch, I. H. Optical lattices. Adv. At. Mol. Opt. Phys. 36, 95-137 (1906).■

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

أخبار علميّة

1- هندسة العُيوب الواعدة في الفوتونيات*

إنّ استخدام التجميع الذاتي لإنتاج نبائط فوتونية مُفيدة تِقانياً يُصبح أكثر معقولية بعرض وشرح هندسة العُيوب في بَلّورة فوتونية مُجمّعة ذاتياً.

ومثلما قاد البحث في أنصاف النواقل إلى ثورة في الإلكترونيات، كذلك فإن موادَّ جديدة تُعرف باسم البلّورات الفوتونية تَعِدُ بثورة مُماثلة في الفوتونيات - حيث الحاملات الأساسية للمعلومات هي الفوتونات بدلاً من الإلكترونات. إن الفوتونات هي المُفضّلة أصلاً على الإلكترونات في شبكات الحواسب والاتصالات الحديثة بسبب كفايتها في إرسال الإشارات الضّوئية عبر الألياف الضوئية. إننا سنحتاج، مستقبلاً، إلى "جذّاذات" chips فوتونية أو دارات ضوئية متكاملة optical integrated circuits، لتناول (لتداول) manipulate هذه الإشارات و معالجتها. وقد تحلُّ عندئذٍ الجذّاذات المِكْروية للإلكترونيات الضوئية المتكاملة محل النبائط الجُرمية (الكُتَلِيّة الضخمة) والغالية الثمن المستخدمة حالياً لتحويل المعلومات الضوئية إلى كهربائية وبالعكس.

يمكن أن تُصنع الجذّاذات من البلّورات الفوتونية، وهي المكافئ الفوتوني لنصف الناقل التقليدي. وعلى وجه الخصوص، تُبدي هذه البلّورات فُرجة عُصابية فوتونية [1، 2] تستطيع أن تُعيِّن أيَّ الأطوال الموجية الفوتونية يُمكنها أن تنتشر عبر البلّورة (تماثلاً مع الفرجة العصابية الإلكترونية التي تتحكم بنبائط أنصاف النواقل كلّها). وبإدخال عيوب نوعية في بنية تلك الفرجة العصابية، يمكن التلاعب بجريان الفوتونات داخل البلّورة وتصنيع تشكيلة متنوعة من النبائط الضوئية على المقياس المكروي [3].

لقد اختُبرت طرائق التجميع الذاتي كطريق بسيط ورخيص لصنع بلّورات فوتونية. ولسُوء الحظ لم يتمكن أحد حتى الآن من جمع طريقة التجميع الذاتي مع هندسة العيوب، وهذا مطلب حاسم للتطبيقات الحقيقية. يقترح لي وآخرون Lee et al في Advanced Materials حلاً لهذا الموضوع [4]، فهم يستخدمون طريقة مجهرية ضوئية لتشكيل نماذج فيها عيوب في بلّورات فوتونية ذاتية التجميع. ولما كانت طريقتهم تعتمد على البساطة التي يمتاز بها التجميع الذاتي، فإنها توحي بطريقة مُمكنة لصنع نبائط فوتونية مُتَمْتَمَة على نطاق جُرمي.

الخُطوة الأُولى لصُنع بلّورة ذات فُرجة عُصابية فوتونية هي أن نضع "ذرات" مكرومترية الحجم بصُورة دورية على شبيكة ثلاثية الأبعاد. إن إحدى الطُرق المستخدمة لتحقيق ذلك تتم من خلال التجميع الذاتي، وذلك باستخدام تقنية تُحاكي العملية الطبيعية التي تُصنع بها الأحجار الكريمة. وباستخدام جِيَل مخبرية مختلفة [5، 8]، تُحرَّض كُرات مِكروية (مادة غُروية من ثاني أكسيد السليكون على سبيل المثال)، لتنتظم تلقائياً في صفيف بَلّوري محكم الرَّزْم، تدعى "الحجر الكريم التركيبي". والخُطوة التالية هي ترسيب مادة أخرى (كالسليكون) في الصفيف، فتملأ الفراغات بين الكُرات المكروية، وبعد ذلك تتم إزالة الكُرات المكروية بالحَفْر فتبقى بُنية دورية تُكوّن بَلّورة ذات فُرجة عُصابية فوتونية.

لكن صنع صفيفات بلّورية تامة من الكُرات ليس بالأمر السهل، إذ لا مفرَّ من ظهور عُيوب عشوائية (سيئة) ضمن البلّورة. ولقد بُذلت جُهود كثيرة تركّزت على التخلص من هذه العُيوب غير المرغوب فيها من المادة المُجمَّعة ذاتياً، وتمَّ صنع بلّورات ذات فرجة عصابية فوتونية في غاية الترتيب [7، 8]. أما عن استخدام بلّورات ذاتية التجميع في التطبيقات التقانية كالدارات المتكاملة الضوئية، فإننا بحاجة إلى طريقة فعّالة لإضافة عيوب (حسنة) عن قصد في البلّورة. وكما تتحكم الذرّات الشائبة بسلوك أنصاف النواقل التقليدية، فإن العيوب البنيوية تستطيع أن تفرض خواص المواد ذات فُرجة العُصابة الفوتونية. وإذا تمَّ تصميم العيوب بدقة فإنها تستطيع أن تأسر الضوء عند مواقع مُعيّنة ضمن البلّورة، ويمكن استثمار هذا الأثر البسيط لصنع مُكوّنات عديدة ضرورية للدارات الضوئية، بما فيها الأسلاك والمُبدِّلات switchs.

ولبناء عيوب نوعية في بلّورة فوتونية يبدأ لي وزملاؤه [4] بتعديل الحجر الكريم التركيبي بعد التجميع، فملؤوا أولاً المكان الفارغ في الحجر الكريم بمادة مونومرية monomeric material يمكنها أن تتبلْمَرْ بفعل فوتونات واردة مُتعددة (الشكل 1a)، ثمّ استخدموا بعدها مجهراً متَّحد البؤَر ليجمّعوا حزمة ليزرية عند مواضع مُعيّنة بدقة داخل البُنية. ولما كانت البلمرة بالفوتونات المُتعددة تعتمد على شدة ضوء الليزر بصورة أسّية، فإن عملية البلمرة لا تحدث إلا ضمن حجم صغير عند النُقطة البؤرية (المحرقية) للمجهر. ولدى تحريك بؤرة الليزر، يمكن "كتابة" عيوب ثلاثية الأبعاد ذات أيِّ شكل مرغوب فيه داخل القالب (الشكل 1b)، وبعد البلمرة، أذاب لي وزملاؤه المونومير غير المعرَّض مخلِّفاً نماذج مولَّدة ضوئياً في الحجر الكريم (الشكل 1c).

وفي الحقيقة، فإن البلمرة المتعددة الفوتونات تُستخدم حالياً لتكوين بُنى ثلاثية الأبعاد مُعقّدة بصورة مُتقنة [9]، من بينها "نَور مكروي" وهمي بقرنين طول كل منهما مكرومتر واحد [10]. والميّزة الخاصة لطريقة لي وزملائه هي تجنُّب استخدام البلمرة الفوتونية كوسيلة لتصنيع البُنية الفوتونية بأكملها. وبدلاً من ذلك فهي تُستخدَم فقط لإجراء تعديلات صغيرة على بُنية كانت مولّدة مسبقاً بالتجميع الذاتي.

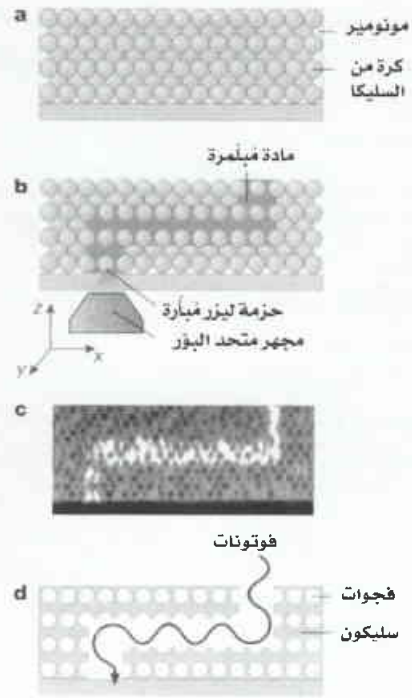
وقبل أن يصبح تطبيق هذه الطريقة لهندسة العيوب ممكناً في البُنى ذات الفرجات العصابية الفوتونية، فإنه لا تزال هناك حاجة إلى بيان الأسلوب العملي لتوضيح عدد من الخطوات. فبعد أن يتم تعديل الحجر الكريم بواسطة البلمرة، ينبغي مباشرة ملؤه بمادة تستطيع أن تدعم الفرجة العصابية الفوتونية. وعلى كل حال، ينبغي إجراء تقنيات ملء عامة عديدة (مثل ترسيب البخار كيميائياً في السليكون [7، 8]) عند درجات حرارة مرتفعة جداً؛ وذلك كي تبقى النبيطة المبلمرة. تعمل في الوقت الحاضر عدّةُ مجموعات في البحث عن طرق لدعم بُنى مكروية بوليميرية

* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol 416, 18 April 2002. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

مشابهة [11]، وهذا قد يعجّل في حل المُشكلة إذا تمَّ ذلك، فإنه بعد ملء البُنية بالسليكون (أو مادة مماثلة أخرى)، يمكن آنئذ إزالة الحجر الكريم التركيبي بصورة انتقائية، فتنتج بلّورة ذات فرجة عصابة فوتونية بعيب مُهنْدَس (مُدبَّر). وعلى سبيل المثال يمكن للعيوب الخطية المُجوّفة (الشكل 1d) أن تلعب دور أسلاك ضوئية في الجذاذات الفوتونية في المستقبل .

ورغم أن بعض المسائل الهندسية لم تُحل بعد، فإن هذه النتائج، بإضافة خطوة البلمرة الفوتونية البسيطة، تدل بصورة ضمنية على أنه يمكن التغلب حالاً على واحدة من أخطر التحدّيات التي تُواجه تطبيق البلّورات الفوتونية المجمَّعة ذاتياً. إن طريقة لي وزملائه يمكن أن يكون لها تأثير تقاني على مختلف التطبيقات في الفوتونيات، تشمل الاتصالات عن بعد المنمنمة ونبائط الإنترنيت. لكن الأثر الأول يمكن أن يكون تسيط أبحاث الفوتونيات الأساسية؛ إذ بإمكان الباحث أن يصمم دارة فوتونية، ويصنع طبعة من الحجر الكريم (العقيق الأزرق) بالتجميع الذاتي، ويكتب الدارة مستخدماً طريقة البلمرة المتعددة الفوتونات، ويختبر الخواص الضوئية للنبيطة الناتجة، وكل ذلك في يوم واحد. وكما الطباعة الحجرية (الليثوغرافيا) للسليكون في الإلكترونيات، كذلك فإن هندسة العيوب في البلّورات الفوتونية توحي بمُستقبل مشرق للفوتونيات، حيث يأخذ تقريباً كل شيء مكانه الطبيعي.



الشكل 1 – ما يفعله الضوء. يمكن أن تصبح البلّورات الفوتونية بفرجة عصابية، المشكّلة بالتجميع الذاتي، الأساسَ الذي تقوم عليه النبائط الفوتونية في المستقبل. ولكي تبني مجالاً لنبائط قابلة للعمل، ينبغي هندسة عيوب في البنى يمكن التحكم بها وضبطها، وذلك بإدخال مرحلة البلمرة إلى عملية بناء البلّورة، وقد وجد لي وزملاؤه حلاً ممكناً لذلك.

a – بعد تكوين صفيف مرتب من كُرات من السليكا بمقياس مكرومتري، يُملأ الحجم المُتبقي بمادة مونومرية حساسة بالضوء.

b – تعمل حزمة ليزرية مبأّرة من خلال مجهر ضوئي مُتحد البؤر على بلمرة أحجام صغيرة من المادة، وهي من الناحية الفعلية "تكتب" خطاً من العيوب داخل البنية في ثلاثة أبعاد.

c – بعد إزالة المونومير غير المعرَّض للحزمة الليزرية، تُلوّن البُنية بصباغ مفلور فيظهر العيبُ المُهندَسُ.

d – يُملأ الحجم بمادة حساسة كالسليكون، تزال الكُرات والبوليمير بصورة انتقائية، فتكوّن البلّورة الفوتونية ذات الفرجة العصابية الناتجة بالتجميع الذاتي مكوّناً بسيطاً يتحكم بمرور الفوتونات.

المراجع REFERENCES

[1] Yablonovitch, E. Phys. Rev. Lett. 58, 2059-2062 (1987).

[2] John, S. Phys. Rev. Lett. 58, 2486-2489 (1987).

[3] Joannopoulos, J. D., Villeneuve, P. R. & Fan, S. Nature 386, 143-149 (1997).

[4] Lee, W., Pruzinsky, S. A. & Braun, P. V. Adv. Mater. 14, 271-274 (2002).

[5] Holland, B. T., Blanford, C. F. & Stein, A. Science 281, 538-540 (1998).

[6] Wijnhoven, J. E. G. J. & Vos, W. L. Science 281, 802-804 (1998).

[7] Blanco, A. et al. Nature 405, 437-440 (2000).

[8] Vlasov, Yu. A., Bo, X. Z., Sturm, J. C. & Norris, D. J. Nature 414, 289-293 (2001).

[9] Cumpston, B. H. et al. Nature 398, 51-54 (1999).

[10] Kawata, S., Sun, H. B., Tanaka, T. & Takada, K. Nature 412, 697-698 (2001).

[11] Campbell, M., Sharp, D. N., Harrison, M. T., Denning, R. G. & Turberfield, A. J. Nature 404, 53-56 (2000).■

2- الآثار الكمومية للثقالة*

من النادر أن تتراكب آثار الثقالة وآثار ميكانيك الكم؛ وذلك لأن المقاييس الداخلة في كل منهما مختلفة. والآن صار بإمكان تجربة تستخدم نترونات فائقة البرودة أن تسبر كلا الأثرين بآن واحد.

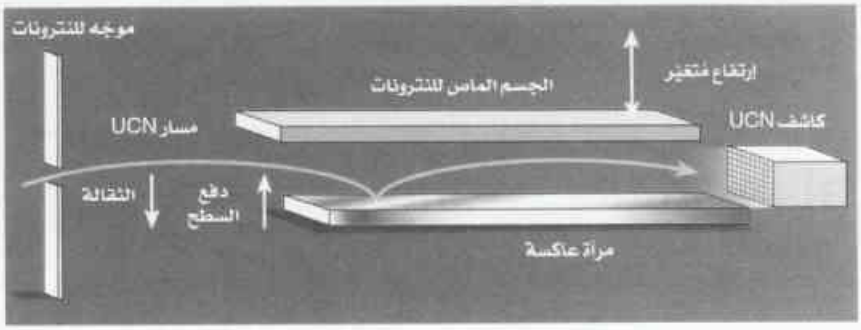
تحدث الآثار المرئية للثقالة عادةً عند المقاييس الكبيرة؛ فالثقالة تتحكم في مسار القذائف، وحركة النجوم والكواكب. أما آثار ميكانيك الكم، الذي يمثل أحد النجاحات العظيمة لفيزياء القرن العشرين، فلا تُشاهد عادةً إلا على المقياس الذرّي. إن قوّة الثقالة في المجال الكمومي ضعيفة جداً؛ مما يجعل ملاحظة الآثار الكمومية التي تُسببها الثقالة أمراً صعباً. وقد أعلن نِرفيزيفسكي Nesvizhevsky والعاملون معه [1] تجربة لاحظوا فيها الآثار الكمومية للثقالة على سلوك النترونات فائقة البرودة ultracold (UCNs) neutrons، وتتمتع هذه النترونات بطاقات حركية منخفضة جداً لدرجة تتمكّن الثقالةُ من أسرها فوق سطح عاكس .

يمكن جعل النترونات تنعكس على السطوح عندما تكون قوة الدفع الناتجة من حاجز الكمون عند السطح أكبر من مركّبة سرعة النترون المتجهة نحو الأسفل والعمودية على السطح. ونظراً لأن حاجز الكمون صغير جداً، فإن النترونات التي ستنعكس هي فقط تلك التي تصل بزوايا

* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol 412, 17 January 2002. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

صغيرة على السطح، في حين ستُمتَص النترونات التي تسقط ناظمية على السطح، أو تنفذ إلى الجانب الآخر، لكن السرعة الكلية للنترونات فائقة البرودة صغيرة جداً (أقل من $8\ ms^{-1}$) وهذا ما يجعلها تنعكس دوماً ،بغض النظر عن زاوية الورود. وهناك صفة أخرى مهمة للنترونات فائقة البرودة هي أن قوة تأثرها الثقالي تعادل تقريباً طاقتها الحركية. إن نتروناً فائق البرودة يتباطأ بترك السطح في الاتجاه الشاقولي بفعل الثقالة حتى تنعكس جهته في النهاية. وقد سمحت هاتان الخاصتان لنزفيزينسكي وزملائه [1] بأن يشكلوا مِصْيَدة تكون فيها النترونات فائقة البرودة مُقيّدة في حركتها بالسطح العاكس من الأسفل وبالثقالة من الأعلى.



الشكل 1– منظومة لتحليل مسار طيران النترونات فائقة البرودة (UCNs). ففي التجربة التي أجراها نزفيزيفسكي وزملاؤه [1]، أخذوا حزمة من النترونات فائقة البرودة UCNs، وتركوها تطير أفقياً فوق مرآة عاكسة. فإذا كانت كل القوى (باستثناء الثقالة ودفع المرآة) محذوفة، فإن النترونات فائقة البرودة UCNs ستتبع مسارات في هيئة القطع المكافىء عبر المنظومة. ووفقاً لميكانيك الكم، إذا قسنا المركّبة الشاقولية لسرعة النترون فائق البرودة UCN في مِصْيَدة، فإننا نتوقع أن تكون قيماً منفصلة تقابل سويات الطاقة الكمومية للنترونات المأسورة. وبضبط ارتفاع الطبقة الماصة للنترونات فوق المرآة، يحدد نزفيزيفسكي وزملاؤه أخفض طاقة للنترونات فائقة البرودة النافذة عبر المنظومة، وبالتالي يُحددون الحالة الكُمومية الأولى للنترونات فائقة البرودة المسموح بها في المِصْيَدة. ويكون هذا أول مؤشر للآثار الكُمومية التي تسببها الثقالة.

إن المِصْيَدة التي بناها نزفيزيفسكي وزملاؤه يمكن أن تُوصف بأنّها بئر طاقة كامنة potential-energy well. يُؤسّر الجُسيم الموجود في بئر طاقة كامنة لأنه لا يملك طاقة كافية كي يهرب من البئر. ويمكن لجسيم موجود داخل البئر أن يمتلك أي طاقة، من الناحية التقليدية، مادامت أقل من طاقة الإفلات (الهروب). ولكن الجُسيمات الموجودة في بئر كُمون لا يُسمح لها في ميكانيك الكم إلاّ بأن تأخذ قيماً منفصلة من الطاقة فقط. وفي حالة الإلكترونات الموجودة داخل بئر كمون كهرمغنطيسي، تكون الحالات (الكمومية) المُنفصلة مسؤولة مُباشرَة عن بُنية الذرّات. إن بئر الكمون الثقالي الذي صنعه نزفيزيفسكي وزملاؤه له حالات طاقة مُنفصلة أيضاً، تقع أدناها (الحالة $n=1$) عند $1.41\ peV$ ($1peV = 10^{-12}$ إلكترون فولط)، وهذه توافق سرعة شاقولية تبلغ $1.7\ cm\ s^{-1}$ لنترونات فائقة البرودة UCN، ويستطيع النترون فائق البرودة UCN الذي له هذه السرعة أن ينتقل مسافة $15\ \mu m$ فقط في الاتجاه الشاقولي قبل أن تعكس الثقالة اتجاهَه.

وعليه ، فإن ميكانيك الكم في هذه التجربة يفرض على النترون فائق البرودة UCN داخل المصيدة ألاّ تكون له مركّبة سرعة شاقولية تقل قيمتها عن $1.7\ cm\ s^{-1}$. يستطيع النترون فائق البرودة UCN أن يمتلك قيماً أعلى، لكن بطاقات أكبر يجب أن تكون له سرعة شاقولية تقابل بالضبط إحدى حالات الطاقة الأعلى ($n=2,3,...$) . ولما كانت قوة الثقالة لا تؤثر إلاّ في السرعة الشاقولية، فلا يوجد بئر كمون في الاتجاه الأفقي في المِصْيَدة، ويمكن لسرعة النترون الأفقية أن تأخذ أي قيمة.

استخدم نزفيزيفسكي وزملاؤه منبع النترونات فائقة البرودة UCN الموجود في مفاعل لاوي – لانجفين في غرونوبل بفرنسا وهو منبع شديد الغزارةلإنتاج حزمة عالية التركيز من النترونات فائقة البرودة. يتحكم مؤلفو هذا المقال بمركّبة السرعة الشاقولية للنترونات فائقة البرودة UCNs التي تدخل المِصْيَدة عن طريق ضبط ارتفاع المادة الماصّة للنترونات فوق السطح العاكس (المرآة في الشكل 1). وتُفيد هذه المنظومة في تحليل مركّبة السرعة الشاقولية للنترونات فائقة البرودة UCN في مِصْيَدة الثقالة – المرآة عن طريق قياس نفوذ النترونات فائقة البرودة UCNs عبر المنظومة كتابع لارتفاع المادة الماصّة للنترونات فوق المرآة.

وجد المؤلفون أنه لا تنفذ أي من النترونات فائقة البرودة UCNs على الإطلاق حتى تصبح المادة الماصّة فوق المرآة على بُعد أكبر من $15\ \mu m$. ووفقاً للميكانيك التقليدي تستطيع النترونات بأي سرعة شاقولية أن تنفذ، وعليه فإن المرء سيتوقع أن يرى عدد النترونات فائقة البرودة يزداد مع ارتفاع الجسم الماص . وفي الصورة الكُمومية،لا يمكن أن توجد النترونات فائقة البرودة UCNs في المِصْيَدة حتى تتوافق تماماً مركّبة السرعة الشاقولية لنترونات فائقة البرودة UCNs مع طاقة الحالة الكُمومية الأولى، لذا لا يمكن لنترون فائق البرودة UCN أن ينفذ. ومع ازدياد ارتفاع الجسم الماصّ أكثر فأكثر ، فإننا نتوقع زيادات مفاجئة في عدد النترونات فائقة البرودة UCNs النافذة، كلما وافقت مركّبة سرعتها الشاقولية الحالات الكمومية ذات الطاقة الأعلى .

تُشير المُعطيات إلى بعض التلميحات لزيادات متدرّجة عند القيم الموافقة لحالات الطاقة الأعلى، منسجمة مع وجود هذه الحالات، ولكنها ليست مُقنعة بعد. ومع ذلك، فإن الدليل على وجود حالة الطاقة الأولى مقنعٌ، ويؤكد أن الأثر الكُمومي يحدث في مِصْيَدة الثقالة. ينبغي ألاّ نستخف بالصعوبة في هذا القياس. فالباحثون يقومون بقياس أثر كُمومي تُسببه الثقالة التي تتطلب ميزاً بقدر $10^{-15}\ eV$. إن تأثر النترونات مع الحقول الأخرى يُؤدّي في العادة إلى حجب مثل هذا الأثر الصغير جداً، لكن عدم وجود شحنة كهربائية على النترونات والطاقة الحركية المنخفضة للنترونات فائقة البرودة UCNs يجعلان مثل هذه المشاهدات مُمكنة .

يُخطط المؤلّفون لمزيد من الدراسات حول النترونات المأسورة ثقالياً. ويُحدّد مبدأ الارتياب الكُمومي ميز الطاقة للمنظومة، كما يتعين هذا الميز بالفترة الزمنية التي تقضيها النترونات فائقة البرودة في المِصْيَدة. فإذا أمكن زيادة هذه الفترة الزمنية بصورة جوهرية، أمكن تحقيق ميز طاقيّ يصل إلى $10^{-18}\ eV$. وللوصول إلى هذه الدقة نحتاج إلى منابع UCNs أكثر شدة

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

(وهي قيد الإنشاء)، ويمكن لهذه المنابع أن تؤدي إلى دراسات جديدة في الفيزياء الأساسية. وعلى سبيل المثال، نحتاج إلى اختبارات محسَّنة لمبدأ التكافؤ كي ندرس تفاعل ميكانيك الكم والثقالة، وينص مبدأ التكافؤ على أن كل الجسيمات، بغض النظر عن كتلتها أو تركيبها، تسقط في حقل الثقالة الأرضية المنتظم بتسارع واحد ($9.8\ m\ s^{-2}$ بالقرب من سطح الأرض). وهذا يعني أن الكتل العطالية والثقالية للنترون ينبغي أن تكون متكافئة. لقد كان من الصعب حتى الآن التحقق من مثل هذه الفرضيات بصورة نظامية، لكن العمل الذي قام به نزفيزيفسكي وزملاؤه يمكن أن يزوّد الفيزيائيين بأداة اختبار جديدة للخواص الأساسية للمادة .

المراجع REFERENCES

[1] Nesvizhevsky, V. V. el. Nature 415,297-299 (2002).■

3- تحطيم مائع فائق*

نستطيع الآن نقل الذرّات الفائقة البرودة، المُقيَّدة في نموذج ثلاثي الأبعاد بفضل نسيج من حزم الضوء، من حالة المائع الفائق إلى الحالة العازلة، وربما يكون هذا الإنجاز مفيداً لتحقيق حسابات كُمومية.

في درجات الحرارة المنخفضة إلى أبعد حدّ، إلى أقل من جزء واحد من مئة مليون جزء من الدرجة فوق الصفر المُطلق (أي عندما تُصبح 10 نانو كِلفن)، تتجمّع الذرّات في غاز الروبيديوم أساساً في حالة كمومية واحدة لتشكّل مُتكثف بوز-آينشتاين Bose-Einstein condensate. تستطيع الذرّات في متكثف كهذا أن تجري من دون احتكاك، وعليه فإن الغاز يكون مائعاً فائقاً superfluid. وعندما يوضع هذا المائع الفائق في صورة بيانية للطاقة تتكون من قِمم عالية الطاقة وقيعان منخفضة الطاقة، فسيكون هناك أثر طفيف في البداية (الشكل 1a). وعلى وجه التخصيص، فإن طبيعة المائع الفائق للغاز لا تتغير وتبقى الذرّات متحركة بحرية من قاع إلى الذي يليه. ولكن عندما تصبح القِمم عالية قليلاً فإن الذرّات تفقد حريتها فجأة، وتُؤسَر كلّ ذرّة في قاع مستقل (الشكل 1b). لقد أظهر هذا السلوك المدهش – وهو نقل غاز كمومي من طور المائع الفائق إلى طور العازل – وللمرة الأولى غرايِنر وزملاؤه Greiner et al [1].

إذ تمثّل التجربة التي أجراها غرايِنر وزملاؤه نقطة تحوّل في تاريخ غازات بوز- آينشتاين المكثَّفة لأسباب عديدة. إن توليد غاز بوز- آينشتاين المكثَّف لذرّات الروبيديوم في مصيدة مغنطيسية هو تحدٍ بحد ذاته، وقد منح مؤخراً الباحثون الأوائل [2] الذين قاموا بذلك في عام 1995 جائزة نوبل للفيزياء لعام 2001. واليوم تستطيع مختبرات عديدة في العالم أن تولّد متكثفات بوز- آينشتاين بصورة تكاد تكون روتينية، لكن غرايِنر وزملاءه [1] احتاجوا أيضاً إلى صورة بيانية دورية للطاقة مع الذرّات. ويمكن تحقيق هذا بسهولة أكبر باستخدام الحقل الكهربائي لحزمة ليزرية أو، بدقة أكبر، عدة حزم ليزرية متصالبة، التي تولّد نموذجاً لتداخل أمواج ضوئية تُعرف باسم شبيكة ضوئية optical lattice.

لقد كانت الشبيكات الضوئية معروفة منذ منتصف تسعينيات القرن الماضي، وتُصنَع الشبيكة الضوئية ذات الأبعاد الثلاثية النموذجية باستخدام أربع حزم ليزرية، وعليه فإن الشبيكة الناتجة تكون أقل حساسية لحالات عدم الاستقرار في الليزرات. لكن غرايِنر وزملاءَه [1] استخدموا ست حزم ليزرية لتوليد شبيكة ضوئية بفتل إضافي، وبالحزم الليزرية الإضافية أمكنهم صنع صورة بيانية للطاقة تكون المسافة فيه بين القيعان (والقمم) في الاتجاهات الثلاثة كلُّها هي ذاتها تماماً – أي إنها شبيكة مُكعبة تامة. إن تجربة مُثيرة كهذه تسمح للمؤلفين بأن يُظهروا بوضوح مُقنع انتقال الذرّات فائقة البرودة من سلوك المائع الفائق إلى سلوك العازل والعودة ثانية. ولكي يؤكّدوا حالة الغاز الكمومي في أي لحظة، فإنهم ببساطة يفصلون المصيدة المغنطيسية والشبيكة الضوئية، ثم يأخذون صورة لسحابة الغاز بعد أن تكون قد تمدّدت لمدة 15 ملّي ثانية. وعندما يكون الغاز مائعاً فائقاً فقط يشاهدون نموذج تداخل جميل .

وبالنسبة إلى الفيزيائي، فإن رؤية هذا الانتقال مثيرة لأنها النتيجة الوحيدة لمبدأ هايزنبرغ في الارتياب. إن "انتقالات طورية كمومية" كهذه قد جذبت كثيراً من الانتباه في السنوات الأخيرة؛ لأنها تختلف بصورة أساسية عن نظائرها "التقليدية" المألوفة التي تسيِّرها الترجُّحات الحرارية بدلاً من الكمومية. وعلى سبيل المثال، لا تحدث الانتقالات الطورية الكمومية الحقيقية إلا عند درجة حرارة الصفر المطلق فقط. لذا، ومن حيث المبدأ، فإن الترجُّحات الحرارية سيبقى لها تأثير ظاهر على الانتقال [3]، حتى عند درجة حرارة منخفضة قد تصل إلى 10 نانو كلفن. وفي حالة وجود غاز كمومي في شبيكة ضوئية، يبقى فهم أثر الترجُّحات الحرارية تحدياً مهمّاً. وفي هذا السياق، يهتم النظريون بصورة خاصة في سرعة الصوت في الغاز بالقرب من نقطة الانتقال.

ينص مبدأ الارتياب لهايزنبرغ، في شكله المألوف كثيراً، على أن معرفة موضع الجسيم بدقة تمنعك من معرفة اندفاعه بدقة، والعكس بالعكس. إن ما تكسبه إحدى يديك تخسره يدك الأخرى. إن مبدأ الارتياب لدى عمله في تجربة غرايِنر [1] يمنع معرفة عدد الذرّات في قاع معين، كما يمنع معرفة طور "التابع الموجي" المتكثف في القاع ذاته بآن واحد. ونظراً لأن كل الذرّات في متكثف بوز – آينشتاين تشغل حالة كمومية واحدة، فإنها توصف بتابع موجي كمومي له الطور ذاته بالضبط في كل قاع. وفي النتيجة، عندما تكون سحابة الغاز في حالة المائع الفائق يمكن لعدد الذرّات في كل وادٍ أن تتغير بصورة ملحوظة. أما في طور العازل فإن الوضع يكون معكوساً؛ أي إن عدد الذرّات في كل واد يكون ثابتاً، لذلك فإن طور التابع الموجي يتغير بصورة عشوائية من أحد القيعان إلى الذي يليه.

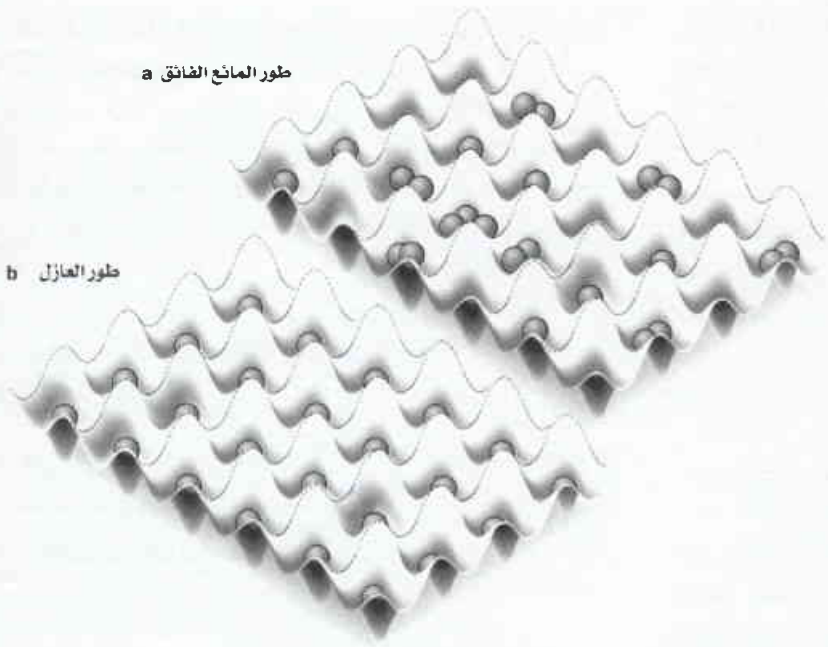
قام فيشِر وزملاؤه Fisher et al [4] بدراسة هذا الانتقال الطوري الكمومي بصورة نظرية أولاً في بيئة النواقل الفائقة ذات البنية الحبيبية granular superconductors وفي صفيفات وَصْلات – جوزِفسون.

* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol 415, 3 January 2002. ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

كما أن جاكس وزملاءه Jaksch et al [5] تنبؤوا بحدوث ذلك من أجل غاز كمومي في شبيكة ضوئية. لقد كان لمقترحاتهم مزايا عديدة، كما أوضح ذلك غراينر وزملاؤه، وذلك لعدم وجود عيوب شبيكية (فوضى) لذا فإن فيزياء انتقال الطور الكمومي تحدث في شكلها الأكثر مثالية. والميّزة الثانية من استخدام غاز كمومي في شبيكة ضوئية هي أن علوَّ القمم في الصورة البيانية للطاقة يمكن أن يتغير بسهولة بتغيير شدة الحقول الليزرية، وهذا يمكّن من التنقل ذهاباً وإياباً بين سلوك المائع الفائق والعازل. وبخصوص النواقل الفائقة ذات البنية الحبيبية و صفيفات وصْلات – جوزفسون فإنه يستحيل أساساً الوصول إلى التحكم ذاته بالصورة البيانية للطاقة؛ لأن توليد صورة بيانية جديدة يتطلب عيّنة جديدة، ولذلك فإن المرء لا يستطيع في الحقيقة أن يرى الانتقال من المائع الفائق إلى العازل يأخذ مجراه في منظومة واحدة.

تعدّ الحوسبة الكمومية من التطبيقات المأمولة للصفيف المثالي المؤلّف من ذرّات مفردة تولّدت في الطور العازل. وإن لكل ذرّة روبيديوم عزماً مغنطيسياً، وبذلك تكون لها حالتان داخليتان يمكن أن تقوما مقام الصفر والواحد للبتة الكمومية quantum bit. ونظراً لوجود عدد كبير من ذرّات الروبيديوم في الشبيكة الضوئية، فبإمكانها أن تقوم بدور ذاكرة لحاسوب كمومي. وفضلاً عن ذلك، إذا وُجِدت ذاكرتان من هذا النوع يمكن تحريكهما بالنسبة إلى بعضهما البعض، فبإمكاننا أن نستفيد من التآثر الحاصل بين الذرّات لإنجاز حوسبة كمومية quantum computation [6]. والخطوة الأولى باتجاه هذا الهدف المثير قد بدأت الآن.



الشكل 1– انتقال طوري كمومي في غاز فائق البرودة، وذلك باستخدام شبكة من حزم ليزرية web of laser beams لتوليد صورة بيانية للطاقة فيها قمم وقيعان (شبيكة ضوئية)، يستطيع غراينر وزملاؤه أن ينقلوا –بصورة قابلة للعكس– غازاً من ذرات الروبيديوم من طور المائع الفائق إلى طور العازل. **a** – عند الحرارة 10 نانو كلفن أو دون ذلك، تشترك ذرّات الروبيديوم في الحالة الكمومية ذاتها، وتكون في طور المائع الفائق الذي تستطيع فيه الحركة بحرية بين القيعان. **b** – وبزيادة شدة الحزم الليزرية في الشبيكة الضوئية، أجبر الباحثون الغاز ليكون في طور العازل، الذي تؤسر فيه كل ذرة في قاع مستقل. يُعدّ هذا التحكم جوهرياً بالنسبة إلى معظم المقترحات المطروحة لبناء حاسوب كمومي.

4- تقوية الضوء الليفي*

هناك حل ممكن للمتطلبات اللازمة لتوسيع قدرات الضوء الليفي، يتجلى على هيئة أسلوب جديد في تضخيم عملية إرسال الضوء الحامل للمعلومات. لكن تحويل المبدأ إلى تطبيق عملي سيتطلب مزيداً من العمل.

في الانصالات التي تتم بواسطة الضوء الليفي، تُرسَل حزمة معدَّلة من الضوء عبر ليف مصنوع من زجاج السليكا silica glass، فيَحْمل التعديل المعلومات المطلوب إرسالها، وتُحصَر حزمة الضوء داخل لب الليف بسبب الاختلاف الكبير في قرينة الانكسار بين اللب والطبقة المُغلِّفة cladding layer. ويُعدّ تخميد أو امتصاص حزمة الضوء التي تحمل المعلومات عاملاً مُحدِّداً رئيساً [1، 2]. وتبعاً لذلك، فإن استخدامات الضوء الليفي تقتصر على الأطوال الموجية لما تحت الأحمر المحصورة بين 1.3 μm و 1.5 μm؛ لأنه في هذا المجال الطيفي يكون الفقد العائد لامتصاص الضوء و للتبعثر، وكذلك التبدد في ليف السليكا، أصغرياً.

المراجع REFERENCES

[1] Greiner, M., Mandel, O., Esslinger, T., Hänsch, T. W. & Bloch, I. Nature 415, 39-44 (2002).

[2] Anderson, M. H., Ensher, J. R. Matthews, M. R. Wieman, C. E. & Cornell, E. A. Science 269, 198-201 (1995).

[3] Sachdev, S. Quantum Phase Transitions (Cambridge Univ. Press, 2001).

[4] Fisher, M. P. A., Weichman, P. B., Grinstein, G. & Fisher, D. S. Phys. Rev. B 40, 546-570 (1989).

[5] Jaksch, D., Bruder, C., Cirac, J. I., Gardiner, C. W. & Zoller, P. Phys. Rev. Lett. 81, 3108-3111 (1998).

[6] Jaksch, D. Briegel, H. -J., Cirac, J. I., Gardiner. C. W. & Zoller, P. Phys. Rev. Lett. 82, 1975-1978 (1999).■

* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol 416, 4 April 2002 ترجمة هيئة التحرير – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

ولكن هنالك طلباً ملحّاً لا ينقطع على قنوات الاتصالات، مدفوعاً على وجه الخصوص من قبل صناعة الإنترنت. فمجال ما تحت الأحمر سيصبح مشبعاً قريباً، لذا لابدّ من الاهتمام بأطوال موجية أخرى [3، 4]. ولكي نتغلب على التخميد، ينبغي أن يُقوّى الضوء عند نقاط تقع على امتداد الليف، ويمكن تحقيق ذلك بواسطة مُضخّمات ليزرية. كتب دو وزملاؤه Dou et al في مجلة Applied Physics Letters يصف مثل هذه النبيطة – هي ليزر حلقةٍ مكروية بوليميرية polymer micro - ring laser – التي يمكنها، من حيث المبدأ، أن تُؤمّن تضخيماً في مجال الطيف المرئي عندما يضاف إليها أنواع جديدة من كبلات الضوء الليفي .

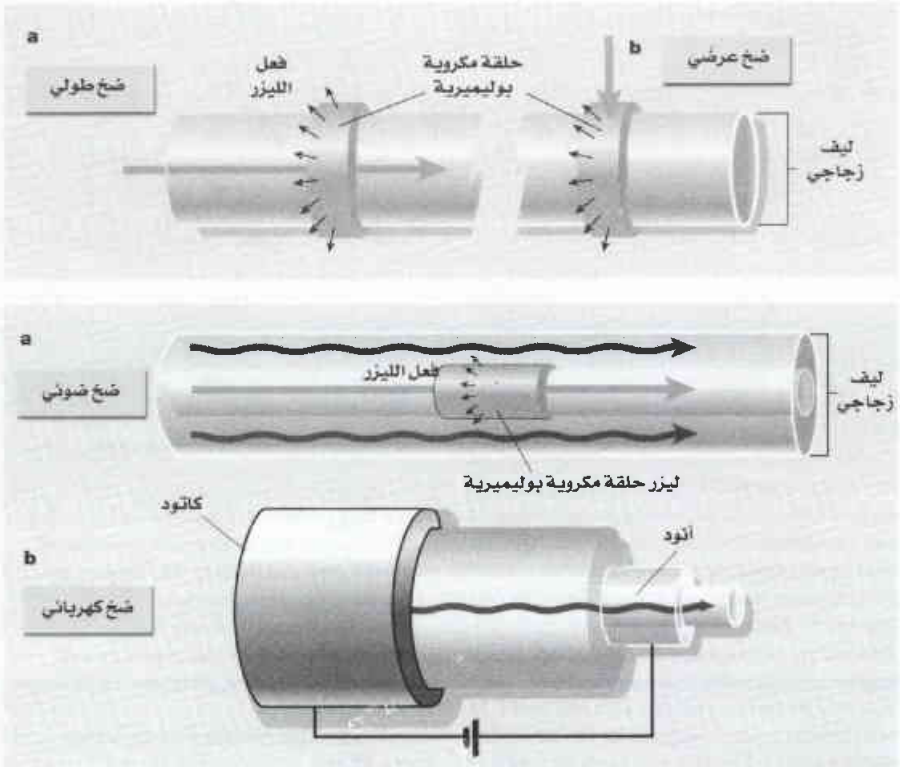
يتألف الليزر من وسط "ربح"، هو هنا عبارة عن بوليمير، يجب أن يجري فيه "انعكاس الإسكان population inversion" لسويات الطاقة كي يحرّض إصداراً محثوثاً لحزمة ضوئية مترابطة، ويمكن تحقيق الإصدار المحثوث عن طريق إثارة الوسط بحقن فوتونات (ضخ ضوئي) أو حقن إلكترونات (ضخ إلكتروني). إن الفعل الليزري laser action أو بعبارة أدقّ إنّ الإصدار المحثوث يقوي شدة الحزمة التي تحمل المعلومات.

إن وسط الربح الضوئي optical-gain medium الذي استخدمه دو وزملاؤه [5] هو بوليمير مُصْدر للضوء (بولي (ميثيل ميثاكريليت) مُطعَّم بالصباغ، PMMA)، وهو عبارة عن قشرة مطليَّة على هيئة حلقة رُسِّبت على لب ليف زجاجي قطره 63 µm. كما أن طلاءات أخرى مُصْدرة للضوء – نذكر منها على سبيل المثال البوليميرات ذات الروابط π المترافقة مثل بولي [p – فينيلين – فينيلين PPV (poly (p - phenylene - vinylene)]، الذي يُصْدر الضوء بقوة بدون الحاجة إلى طعوم dopants من جزيئات صباغية – قد استعملت من قَبل بالطريقة ذاتها [6–8]. إنّ الشيء المختلف في عمل دو وزملائه هو أنهم أثاروا حلقة البوليمير من الداخل بواسطة حزمة ضوئية مُثيرة، تنتقل عبر الليف الضوئي، وتُعرف هذه التقنية باسم الضخّ الطولي longitudinal pumping (الشكل 1a). أما الأعمال المبكرة التي أجريت على ليزرات الحلقات المكروية البوليميرية [6–8]، فقد كان وسط الربح يثار ضوئياً من الخارج بواسطة ضخ عرضي (الشكل 1b).

يدّعي دو وزملاؤه أن الإثارة الضوئية الطولية تحدث؛لأن الأمواج المحيطية لحزمة الإثارة تصل وتحثّ وسط الربح، البوليمير. فهم يقارنون الإثارات الضوئية الطولية والعرضية، وسط الربح ذاته ويبيّنون أن عتبة الإثارة الطولية أخفض بعامل يبلغ 40 تقريباً. ولهذه ميّزة كبيرة؛ إن القدرة العالية مطلوبة للإثارة العرضية، والحرارة الناتجة يمكنها أن تُشوّه حلقة البوليمير حول الليف.

كل شيءٍ جيد حتى الآن، فلدينا توقعٌ جذّابٌ إلى حدٍّ كبير من استخدام الحث الطولي لليزرات ذات حلقة مكروية بوليميرية لتضخيم الضوء الليفي، لكن التصاميم الحديدة لليف ستحتاج إلى وضع المبادئ التي أبرزها دو وزملاؤه [5] في التطبيق العملي. وقد قام المؤلفون أنفسهم بتجارب على الضخّ الضوئي في وسط الربح، لكن النهاية ذاتها قد تتحقق بوسائل كهربائية أيضاً.

يبيّن الشكل 2 تصاميم لأليافٍ ممكنة للضخ الضوئي و الكهربائي، ففي الشكل 2a (ضخ ضوئي)، حيث تُبَثُّ حزمتان ضوئيتان. الداخلية، هي حزمة الإثارة وتحثّ ضوئياً ليزراً ذا حلقة مكروية بوليميرية يحيط بها، فتضخّم بعدئذٍ الحزمة الحاملة للمعلومات المعدَّلة. وكما هو مرسوم هنا، فإن منظومة الليف الضوئي قد تتألف من ليف أحادي النمط لحزمة الإثارة، تحيط به طبقة مُغلّفة متعددة الأنماط للحزمة المعدَّلة. أو يمكن للمنظومة بدلاً من ذلك أن تستعمل الثقب المركزي في نوع مخترع حديثاً من ليف البلورات الفوتونية [3، 4]، وفيه يتم ترسيب طبقة البوليمير على السطح الداخلي من الثقب.



الشكل 1– (في الأعلى) ضخ ليزرات الحلقة المكروية البوليميرية، فالضخ ضروري من أجل الفعل الليزري ولتحقيق تضخيم حزمة الضوء المعدَّلة (الحاملة للمعلومات) في اتصالات الألياف الضوئية، وذلك باستخدام الضوء المرئي بأطوال موجية تقع ما بين 0.4 µm و 0.7 µm. الحزمة المعدَّلة غير ظاهرة هنا.

a – ضخ طولي، تولّده حزمة (باللون الأخضر) تنتقل على امتداد الليف الضوئي.

b – ضخ عرضي، يولّده منبع ضوئي خارجي. يبيّن دو وزملاؤه [5] أن للضخ الطولي ميزات لايستهان بها.

الشكل 2– (في الأسفل) خطط تصورية لضخ طولي لليزرات الحلقة المكروية البوليميرية .

a – ضخ ضوئي. الحزمة التي تسبب الإثارة هنا (باللون الأخضر) محصورة في ليف داخلي أحادي النمط يحيط به المضخم ذو الحلقة المكروية البوليميرية. تنتقل الموجة التي تحمل المعلومات والتي تحتاج إلى تضخيم (باللون الأحمر) على امتداد الطبقة المغلّفة ذات الأنماط المتعددة.

b – ضخ كهربائي . تُضخَّم الحزمة التي تحمل المعلومات (باللون الأحمر) بواسطة وسط بوليميري يحيط بها، يُضَخ بواسطة جريان كهربائي بين إلكترودين: الأنود نصف شفاف (مصنوع من ITO) والكاثود مصنوع من الألمنيوم.

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

التصميم الآخر البديل -وهو الحث الكهربائي لوسط الربح الضوئي- مرسوم في الشكل 2b. في خطة الضخ هذه، يُحشر البوليمير بين إلكترودَيْن أسطوانيين، وتحقن الشحنات الموجبة والشحنات السالبة إلى طبقة البوليمير الفعّالة. وفي التطبيق العملي، سيتوجب على حلقات التضخيم المحثوثة كهربائياً أن تتوضع على امتداد الليف وقد فصلت بينها فواصل. كما أظهرت دراسات أخرى [9] أجريت على ديود عضوي، باستخدام PPV كطبقة فعّالة، أنّ إصدار الضوء باستخدام شكل هندسي أسطواني ممكنٌ، كما أنه من الممكن تحقيق فعل الليزرة على هيئة إصدار محثوث. والخيار الآخر يكون في استخدام مركبات عضوية أخرى لها إصدار في مجال ما تحت الأحمر في تركيبة أسطوانية؛ لتقوية الضوء في مجال الأطوال الموجية 1.3 μm - 1.5 μm، ضوئياً[10] و كهربائياً [11] في منظومات الضوء الليفي الراهنة.

وحتى هذه اللحظة، تبقى كل خطط التضخيم معلّقة في الهواء كفطيرة في السماء. وبرغم ذلك، فإن المبادئ التي محّصَها دو وزملاؤه [5] تبقى واعدة، وبطريقة أو بأخرى سوف نجد الوسائل الكفيلة لتوسيع قُدرات منظومات الضوء الليفي.

المراجع REFERENCES

[1] Glass, A. M. et al. Bell Labs Tech.J.168-187(January 2000).

[2] Ainslie.J.&Day, C.R.J.Lightwave Technol.8,967-979(1986).

[3] Birks, T. A. et al. Opt. Lett. 22, 961-963 (1997).

[4] Cregan, R. F. et al. Science 285, 1537-1539 (1999).

[5] Dou, S. X. et al. Appl. Phys. Lett. 80, 165-167 (2002).

[6] Kuwata-Gonokami, M. et al.Opt.Lett.20,2093-2095 (1995).

[7] Frolov, S. V., Shkunov, M. & Vardeny, Z. V. Phys. Rev. B 56, R4363-R4366 (1997).

[8] Kawabe, Y. et al. Appl. Phys. Latt. 72, 141-143 (1998).

[9] Fujii, A., Frolov, S. P., Vardeny, Z. V. & Yoshino, K. Jpn. J. Appl. Phys. 37, L740-L772 (1998).

[10] Gillin,W.P.&Curry, R.J.Appl.Phys.Lett.74,798-799(1999).

[11] Tessler, N. et al. Science 295, 1506-1508 (2002).■

5- عوالم الحركة المُتبادَلة*

ثمة كُويكبان خلف نبتون جرى اكتشافهما، يدور كلٌّ منهما حول الآخر. وهذه المنظومة الثُّنائية في حزام كيوبر تُظهر الاختلافات التي تَسِمُها عن الأجسام الثنائية في مكان آخر من المنظومة الشّمسية.

لقد اكتشفت الكُويكبات بين مداري المريخ والمشتري منذ مئتي عام تقريباً. وهذه الأجسام الصغيرة، غير المُنتظمة عبارةٌ عن بقايا أجنّة كوكبية حطّمتها الاصطدامات لتقديم عيّنات مناسبة لمراحل مختلفة في عملية بناء الكواكب. وهنالك تقريباً مئتا جسم في هذا الحزام قطر كل منها أكثر من 100 كم، وحوالي مليون جسم قطر كل منها أكثر من 1 كم. وتقارب الكتلة الإجمالية لهذه الكُويكبات 5×10^{-4} كتلة الأرض.

وثمّة مجموعة أُخرى من الكُويكبات تُدعى حزام كيوبر Kuiper belt، وهو أكبر كُتلة بمئات المرات على الأقل من الحزام السابق ويقع خلف مدار نبتون. وينطوي توصيف هذه الأجسام على أهمية واضحة للحدّ من نماذج تكوّن الكواكب، التي تقتضي عامة تنامي الكُويكبات في قُرص دوّار. تُقدّم حُجوم الأجسام الكبرى وسيلة للتحكم بالمعايير الزمنية اللازمة لتجميعها، كما أن الكُتلة الكلية في حزام كيوبر الحالي تحدّ من عمليات خسارة (فقدان) الكتلة منذ تناميها الأوّلي. إن مثل هذه المُراقبات تسمح أيضاً بمقارنة الظروف في نظامنا الشمسي وبالظروف المتعلقة بالأقراص والكواكب التي تُلاحَظ حول نجوم أخرى. وهذه المهام أصبحت سهلة جدّاً مع اكتشاف عدة منظومات ثُنائية في حزام كيوبر، الأولى منها دُعيت 1998 WW31، وحدّد أوصافها مؤخراً فيليت Veillet وزملاؤه [1].

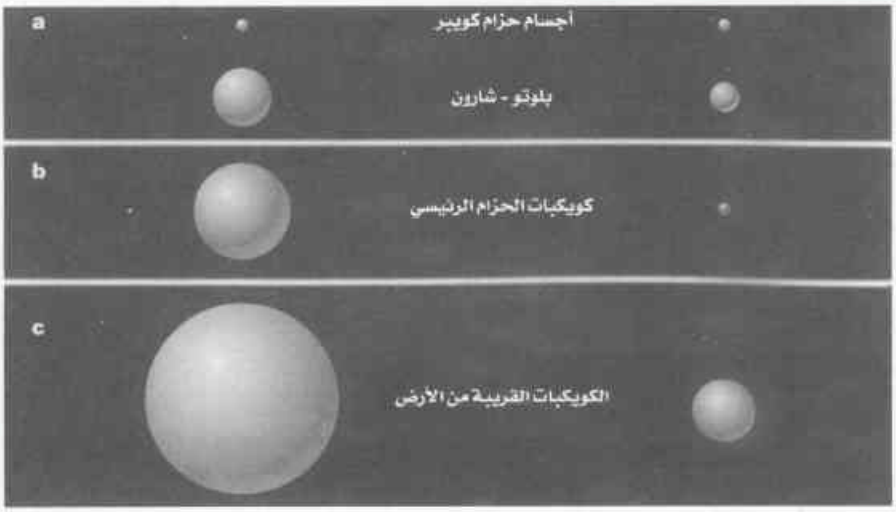
إن المنظومات الثنائية - الواحدة منها عبارة عن جسمين يدوران حول بعضهما - ثروةٌ فلكية للعالِم المُراقب و العالِم النظري على حدّ سواء، فوجودها بحدّ ذاته يطرح تساؤلات مُحيِّرة حول تكوّنها واستقرارها وتطوّرها [2-4]. إلا أن وفرتها وتشكيلاتها المدارية تقدم دليلاً مساعداً حول ظروف تكوّنها، بالإضافة إلى الوسط الذي تُقيم فيه الآن. وتتوقّف خصائص مدار كل منها حول الآخر والتأثير المدّي-الجزري المتبادل على الخواصّ الجرمية للمُركّبات، وتُقدّم مُراقبات حركتها معلوماتٍ لاتتوافر إلا من خلال طيران منخفض لمركبة فضائية. وعلى سبيل المثال، إن قياسات الدور المداري والمسافة الفاصلة بين الجسمين تحدّدان مباشرةً الكتلة الكليّة للمنظومة وفق قانون كبلر الثالث. وفي بعض الحالات تتعرض المنظومات الثُّنائية لخسوفات أو احتجابات، ويمكن استخدام توقيت مثل هذه الحوادث لتحديد حجم المركّبين. وتسمح معرفة كتلة جسم ما وحجمه بحساب كثافته التي تقدم بدورها دليلاً على تركيبه وبُنيته الداخلية.

إن اكتشاف 1998 WW31 منظومة ثنائية أمر حدث بالمصادفة، عندما كان الباحثون يستخدمون مقراباً (تلسكوب) أرضياً لمراقبة الجسم المفروض كجزء من عملية مسح مستمرة لتقييم لون وموقع عدد من الأجسام في حزام كيوبر. ومن الجدير ذكره أن البوح بأنها منظومة ثُنائية فعلاً تجعلها الأولى من بين سبعة، من المنظومات، التي جرى تحديدها مؤخراً في حزام كيوبر. وفي الواقع وُجدت خمسٌ من هذه المنظومات الثُّنائية في أثناء البرامج المُخصّصة للحصول على المُعطيات اللونية أو الموقعية في عيّنة كبيرة من الأجسام. وذُكرت جميع هذه الاكتشافات في النشرات الدورية التي يُصدرها الاتحاد الدولي الفلكي، وتهدف هذه النشرات إلى وصف المُراقبات الأولية، كما توزّعت على المجموعة الفلكية لمساعدة الدراسات اللاحقة.

لقد أدت المقاريب الأرضية وتلسكوب هبل الفضائي دوراً مماثلاً تقريباً في اكتشاف الكُويكبات الثُّنائية في حزام كيوبر، علماً بأن مُراقبات

* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol 416, 18 April 2002. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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



الشكل 1– مقارنة منظومات ثنائية نموذجية في المجموعة الشمسية. **a**– أجسام حزام كيوبر ومنظومة Pluto - Charon (جزء من حزام كيوبر). **b** – كُويكبات الحزام الرئيسي. **c** – الكُويكبات القريبة من الأرض. تم استنظام عمليات الانفصال في وحدة وانسجام، لكن حجوم المركّبين وانفصالهما مدرّجة بشكل مناسب في كل لوحة. ويمكن لبعض ما هو مبيّن هنا وليس للكل أن ينجم عن الآثار الانتقائية الملحوظة. وتبلغ الأقطار التمثيلية للأجسام الأكبر في كل حالة 100 كم (أجسام حزام كيوبر)، و 2.300 كم (بلوتو)، و100 كم (كُويكب الحزام الرئيسي)، و1 كم (الكُويكب القريب من الأرض)، والمسافة الفاصلة بين الأجسام تقارب 20.000 كم، و8.000 كم، و1.000 كم، و2.5 كم على التوالي.

المراقيب الأرضية تُسيطر في اكتشاف ثُنائيات الحزام الرئيسي. ونظراً لحدود الميْز الزاوي التي يُحدثها الغلاف الجوي الأرضي، فإن أضيق مسافة بين مُركّبات ثُنائيات حزام كيوبر، التي يُمكن مُلاحظتها باستخدام المقاريب الأرضية، هي حوالي ثانية قوسية واحدة (تعادل عرض قطعة نقود يُنظَر إليها من بعد 4 كيلومتر). وحسب المسافة بين الأرض وحزام كيوبر، التي تفوق المسافة بين الأرض والشمس بأربعين ضعفاً تقريباً، تعني هذه الزوايا أن أصغر مسافة فاصلة ممكنة بين المركّبات التي يمكن كشفها من الأرض هي حوالي 000 20 كم.

يبلغ قطرا المركّبين في 1998 WW31 الذي وصفه فيليت وزملاؤه 100 كم تقريباً، وتفوق المسافة الفاصلة بين مداريهما مئة مرة حجم المركّبين (انظر الشكل 1)، لذلك يندر وجود تجاذب تثاقلي بينهما. تتميّز ثلاث من الثُّنائيات التي اكتشفت حتى الآن باستخدام مقراب هبل الفضائي، بمُركّبات أكبر من تلك التي اكتشفت في 1998 WW31، لكن بالرغم من حجمها فإن المسافة بين عناصرها أقل بكثير – حوالي 8000 كم – وهي تذكّر بمنظومة بلوتو – شارون Pluto-Charon (التي تُعدّ عامة أكثر من عضو استثنائي في حزام كيوبر أفضل من مجموعة قمر – كوكب). وحتى هذه اللحظة، فمن الصعب معرفة ما إذا كان مثل هذا التقسيم في العلاقة بين الحجم والمسافة يبقى سائداً حقاً في أي من تجمع ثنائيات حزام كيوبر طالما أن هنالك بعض الأمثلة.

ولدى مقارنة عيّنات من الثنائيات في الحزام الرئيسي بين المريخ والمشتري [4]، أو في تجمّع الأجسام الثنائية مع المدارات العابرة للأرض [5]، تبين أن المسافات المدارية الفاصلة بين الأجسام الثنائية في حزام كيوبر، والتي تمت ملاحظتها حديثاً، هي كبيرة (انظر الشكل 1). وتعدّ مثل هذه المسافات الفاصلة الكبيرة بين المركّبات لافتة للنظر إلى حدٍّ كبير، وتحدٍّ للأفكار المسلَّم بها حول عمليات تكوّن الثنائي [2-4]. فعلى سبيل المثال، في منظومة (الأرض – القمر) تستطيع عمليات المدّ والجزر أن تفسر ابتعاد القمر عن الأرض بمعدل اليوم الحالي؛ 3.8 متراً تقريباً في القرن الواحد، ويتفق هذا مع إطالة اليوم حوالي 1.6 ملّي ثانية في القرن الواحد. وهذا ينتج من انحفاظ العزم الزاوي الكلّي في المنظومة؛ حيث الفقد في العزم الزاوي لدوران الأرض يظهر في زيادة العزم الزاوي المداري. وقد بيّنت إحصائية أن 1998 WW31 وثنائيات حزام كيوبر المتباعدة كثيراً لها عزوم زاويّة كبيرة جداً بحيث يصعب نشوءها بهذه الطريقة، ولذلك ينبغي أن تكون قد اكتسبت مسافاتها الفاصلة المدارية الكبيرة بآلية مُعيّنة أخرى.

يمكن أن تنشأ الكُويكبات الثُّنائية في التجمّع المجاور للأرض بنتيجة التمزق المدّي والجزري في أثناء التصدامات المُغلقة مع الكواكب، وهذه الآلية لايمكن أن تُفسّر نشوء الحزام الرئيسي أو ثنائيات حزام كيوبر. وكذلك يُعتقد أن الآليات المُمكنة لكيفية نشوء ثنائيات الحزام الرئيسي تُحدِث فقط مسافات فصل صغيرة بين المركّبات، ولا يمكنها أن تفسر المسافات الفصل الكبيرة في ثنائيات حزام كيوبر؛ لذلك لدينا حالة مُربكة حيث توجد وفرة من المنظومات الثنائية في ثلاثة تجمّعات متمايزة، مع حاجتنا الواضحة لثلاث آليات فصل لتفسير كيفية تولّد المنظومات.

إن توصيف 1998 WW31 يطرح مجموعة من التساؤلات ينبغي تسليط الضوء عليها. كيف نشأت المنظومة؟ لماذا يكون لها مثل هذه المسافة الانفصالية المدارية الكبيرة والعزم الزاوي؟ كيف تنجو من التصادمات؟ إلى ما تشير النسبة الكبيرة من أجسام حزام كيوبر الثُّنائية – التي تمّ تقديرها على الأقل بـ 1% من التجمع المعروف – حول البيئة الاصطدامية في هذا التجمع؟ إن حل هذه المسائل سيحسّن فهمنا للاصطدام وعمليات التنامي التي تمثل المفتاح في نشوء الكواكب، ويمكن الاقتراب منها بقياس الخواص الفيزيائية الرئيسة للعيّنات الكبيرة للأجسام، كالمنظومات الثُّنائية والكواكب الثانوية التي وجدت من خلال المنظومة الشمسية.

المراجع REFERENCES

[1] Veillet, C. et al. Nature 416, 711-713 (2002).

[2] Van Flandern, T. C., Tedesco, E. F. & Binzel, R. P. in Asteroids I (ed. Gehrels, T.) 466-479 (Univ. Arizona Press. Tucson, 1979).

[3] Weidenschilling, S. J., Paolicchi, P. & Zappala. V. in Asteroids II (eds Binzel, R. P., Gehrels, T. & Matthews, M. S.) 643-658 (Univ. Arizona Press, Tucson, 1989).

[4] Merline, W. J. et al. in Asteroids III (eds Bottke, W. F., Cellino, A., Paolicchi, P. & Binzel, R. P.)(in the press).

[5] Margot, J. L. et al. Science online 11 April 2002 (DOI 10.1126/ science. 1072094).■

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

6- وضع المعايير*

الشُّمولية في الظروف المُختلفة، هي حادثة عامة، تتعلق بسلوك مُشترك أو بنية مُشتركة.

إن المفاهيم التقريبية للشمولية universality تسبق من الناحية الزمنية العِلم وحتى الوعي البشري. فالسمكة التي تسبح تعتبر ضِمناً أن قوانين تحريك الموائع صحيحة بشكل عام، وأن الخواص الأساسية لبيئتها البحرية ثابتة. لقد حَدَّد القانون العام للثقالة الذي وضعه نيوتن نموذجاً مثالياً للفيزياء التقليدية، والذي تمت محاكاته بشكل متأنٍ ومدروس في بدايات دراسة الكهرباء والمغنطيسية والنظريات الذرّية التأملية. وقد أشارت المطيافية إلى التشابه الدقيق والتفصيلي للمادة الأرضية والسماوية. ولكن الشمولية لم تتطور إلا في القرن العشرين فقد تطورت من فرضية ميتافيزيقية إلى مفهوم فيزيائي حيث يمكن تحديد دقته ومنشئه بشكل فعّال.

إن الآراء والأفكار الأكثر عمقاً وثوريةً انبثقت من النظرية الكمومية، فهي على مستويين: أولهما الحقيقة الأساسية التي مفادها أن المادة تنشأ تدريجياً من أعداد كبيرة من نماذج لبضعة مُكوّنات أساسية (كالإلكترونات، والكواركات، والفوتونات، والغلوونات). ولهذه الكتل البنائية العنصرية في كل زمان ومكان الخواص ذاتها - كونياً. وإذا لم يكن الأمر كذلك، فمن الممكن ألا يكون هنالك قوانين للكيمياء، لأن كل ذرّة سيكون لها خواصها المميّزة لها.

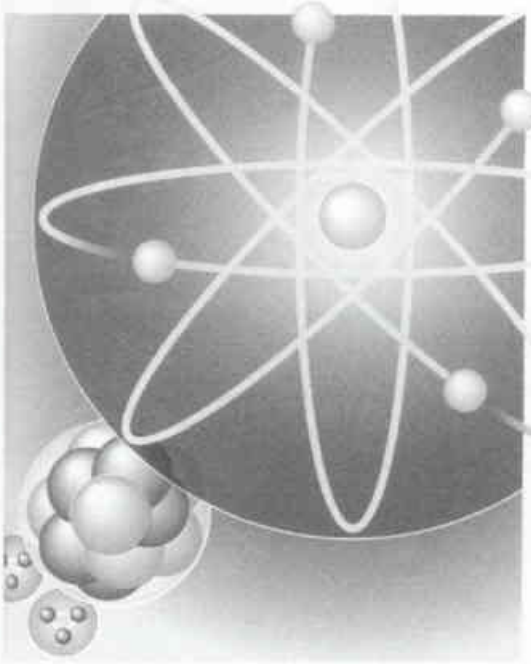
تعدّ هذه الشمولية من منظور الفيزياء الكلاسيكية غير ضرورية ومُثيرة للدهشة. فإن لم تكن المكوّنات الأولية كالإلكترونات متماثلة تماماً وبدقة، ولِنقُلْ: إذا اختلفت كتلها ضمن مجال يبلغ بضعة أجزاء من البليون، فيمكن أن نتصور أنَّ ملاحظات مستقبلية، أكثر دقة من تلك المحتملة اليوم، يمكنها أن تُظهر فروقاً صغيرة فيما بينها. في الواقع، يمكن توقُّع نشوء مثل هذه الفروق، لأن كل إلكترون يمكن أن يتغير، خلال فترة حياته، نتيجة حوادث تطرأ على تاريخه الشخصي. وهذا بلا شك يطرح تساؤلاً عن سبب تشابهها أولاً بصورة دقيقة!

ففي الميكانيك الكُمومي، تعيرت النظرة بشكل أساسي، نظراً لوجود اختلاف جذري بين جسيمين متطابقين تماماً متشابهين ليس غير. فإذا كان A وB متطابقين، عندئذ عندما ينطلق A من الموقع X1 إلى Y1 و B من الموقع X2 إلى Y2، فإن النتيجة النهائية هي ذاتها عندما ينطلق A إلى Y2 و B إلى Y1. إن الهدف الأساسي في الميكانيك الكمومي هو حساب السّعات التي يُعطي مُربّعها الاحتمال في نشوء حادث. وللحصول على السّعة الكلّية لاكتشاف الجسيمين في الموضعين Y1، Y2، يجب علينا أن نضيف (من أجل البوزونات المُتماثلة) أو نطرح (من أجل الفرميونات المتماثلة) السعتين المتعلقتين بهاتين الامكانيتين، ومن ثم نربّعها لنحصل على الاحتمال المطلوب. فإذا كانت الجسيمات متمايزة، والحالتان الأخيرتان كذلك، فيتعين علينا عندئذ أن نربّع أولاً ومن ثم نجمع.

تُفيد رياضيات الإحصاء الكُمومي فقط عندما يكون لدينا جسيمات متطابقة بدقة - أي غير قابلة للتمايز. إذ إنها تُفسّر مجموعة من الظواهر الفيزيائية التي تمّت ملاحظتها، بدءاً من الليزرات وانتهاءً بالنجوم النترونية، بالإضافة إلى أنها تُفسّر وُجود الجدول الدوري والتفاصيل المُبهمة عن تبعثر الغلوون والكوارك. وهكذا فإن شُمولية الكتل البنائية تمثّل حقيقة تجريبية قابلة للإثبات بشكل دقيق. لكن لماذا؟

في مُحاولةٍ للتوفيق بين مبادىء الميكانيك الكُمومي وشُروط النسبية الخاصة، لايمكننا التعامل مُباشَرة مع جُسيمات منفردة. وبغية إنشاء نظريات كُمومية نسبوية نحتاج إلى حقول (كُمومية)؛ فالجسيمات تنشأ كظاهرات ثانوية . إنّها إثارات للحقول. وهكذا فإن الإلكترونات كلها لا تقبل التمايز لكونها تنشأ عن الدفع ذاته.

أما المُستوى الثاني من الأفكار الثورية فيتمثل بنظرية البناء. فالفيزياء الكلاسيكية، حتى مع الإلكترونات المتطابقة، قد لاتصل إلى ذرّات مُتطابقة بل إلى "نظام شمسي متصل". ولكن في النظرية الكُمومية يختلف الأمر، فإذا جُمّعت معاً المكوّنات الأساسية في بضع بُنى مُحدَّدة، تكون سويات الطاقة مفصولة بقفزات كُمومية. وإذا تمّ سبر المنظومة المُركّبة وهي في حالتها الطاقية الصُغرى (الأساسية) بطاقة غير كافية لإثارتها كي تصل إلى السوية التالية، فإنّها تبقى في حالتها الأساسية.



* نشر هذا الخبر في مجلة *Nature*, Vol 415, 17 January 2002. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

وهكذا، من خلال الكتل البنائية العامة نتوصل إلى التفاعلات والبُنى العامة القابلة للتوالد، بمعنى آخر، نتوصل إلى الكيمياء.

يوصلنا هذا إلى المفهوم الكبير للشُّمولية "الناشئة كنتيجة منطقية". إن نظرية سلوك الطاقة المنخفضة يمكن أن تتجاهل البُنية الموجودة بالتحديد (والتي تتطلب مسابر عالية الطاقة) ومع ذلك فهي بالغة الدقة. وبالعكس، يمكن أن يكون لدى المرء عدة نظريات بديلة واضحة عن التأثرات الأساسية في الطاقة العالية، أو على مسافة قصيرة مُكافئه، وهذا كله يضع مخططاً دقيقاً للنظرية الفعّالة ذاتها للطاقات المنخفضة.

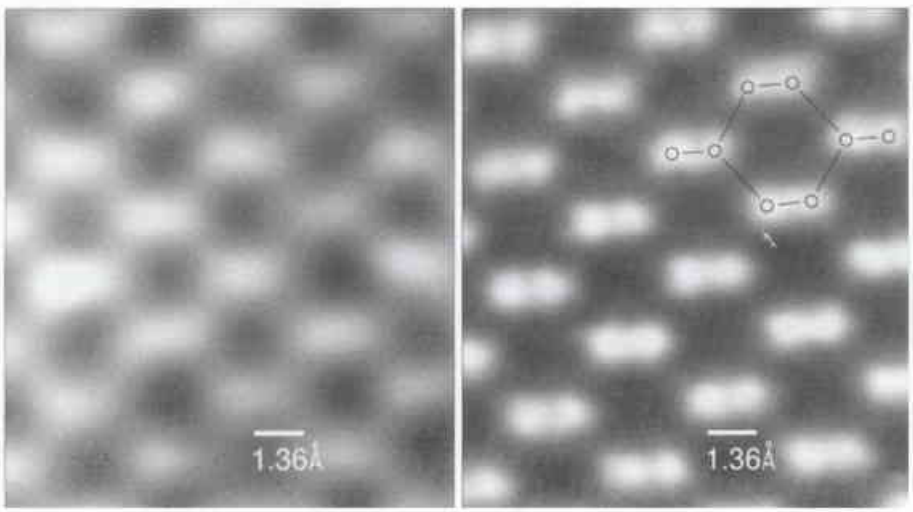
وفيما يخص الفيزياء الأساسية، تعد الشمولية المنبثقة كنتيجة منطقية نعمة ونقمة في آن واحد، فهي تقدّم معنىً، ما إن يتم فهمه حتى يترسّخ. وبذلك تضع حدوداً لمجالات واسعة كحصانة أمام الاكتشافات الأخرى، فهي تبيّن كيف يستطيع البرنامج الاختزالي، بالنسبة إلى علم الفيزياء الأساسية المتعلق بالقوانين الأكثر دقةً، أن ينتهي "ليس إلى نجاح باهر، بل إلى شيء من التذمر".

وثمّة "أُعجوبة" أُخرى للشُمولية المنطقية من خلال التأكيد على "الكون"، فالأجزاء البعيدة من الكون تُشابه إلى حدّ بعيد بعضُها بعضاً، مع أن القوانين الفيزيائية المطبّقة كونياً يمكن أن تُحدث رغم ذلك سلوكاً لا عالمياً، إذا طُبقت في بيئات مختلفة. إن علم الكون المتعلق بالانفجار العظيم يفترض شروطاً فيزيائية تتغير مع الزمن، وهنالك أجزاء مختلفة من الكون لاضرورة لأن تكون مُتزامنة على نحو دقيق. كذلك يمكن أن يكون هنالك حقول انتشارية تتغير قيمها في الفضاء. واكتشاف حقل واحد على الأقل من هذه الحقول، الأكسيون axion، هو أمر متوقع إلى حدٍّ بعيد. إن فكرة التضخم تستدعي شُمولية الكون المراقَب، لأنه إذا نشأ من خلال توسع بقعة صغيرة جداً، فلابد من أن يكون هنالك مجال أقل للتنوع.

وإن فهماً أفضل لأصل الشمولية يعلّمنا إدراك حُدودها المُمكنة. فالنُشوء في الشمولية المُنبثقة كنتيجة طبيعية ليس بالضرورة أن يكون كاملاً. فالطاقات الصغيرة ليست صغيرة بشكل لامحدود، وهنالك عمليات نادرة يمكن أن تُشير إلى بُنية طبقية أعمق. فالتضخم لايحدث بعامل غير محدود، وقد لايفرض انتظاماً تاماً حتى لو فعل ذلك. في الواقع، هناك ضرورة لبعض الترجحات "الكمومية" لزرع البذرة بغية تولد البنية في الكون أي انحرافه عن الشمولية الكلية. إنها دائماً أجوبة كبيرة تقود إلى أسئلة أكبر.■

7- المجاهر الإلكترونية تسبر أبعاداً جديدة*

استخدم الباحثون في الولايات المتحدة لأول مرة المجهر الإلكتروني في الحصول على صور ذرّات فردية بميْز يصل إلى دون الأنغستروم. يمكن لهذا العمل أن يكون له تطبيقات مهمة في صناعة أنصاف النواقل وفي فيزياء المواد وفي البيولوجيا. (باستون وزملاؤه في مجلة Nature عام 2002). إن الميْز في المجهر الإلكتروني أفضل وأكثر تفوقاً من نظيره الضوئي ذلك أن الأطوال الموجية للإلكترونات العالية الطاقة أقصر بكثير من الأطوال الموجية للضوء. على أي حال، إن عدم الوضوح الناتج من العدسات المغنطيسية حدّدت مسبقاً ميْزَ التقنية إلى حوالي 50 مرة من طول موجة الإلكترونات المستخدمة. يبلغ ميْز الإلكترونات التي تتراوح طاقتها بين 100 و 200 كيلو فولط حوالي 0.2 نانومتر، وهو بُعد أكبر بقليل من المسافة النموذجية بين الذرّات.



وباستخدام البرمجيات الحاسوبية من أجل تصحيح عدم الوضوح خفّض فيليب باتسون P. Batson من مركز أبحاث IBM وتوماس واتسون بالاشتراك مع نيكلاس دلبي N. Dellby وأوندرج كريفانك O. Krivanek من نيون R&D حالياً هذه المسافة إلى أقل من 0.1 نانومتر. تبيّن الصور ذرّات ذهب فردية على سطح من الكربون قبل (إلى اليسار) وبعد (إلى اليمين) إجراء التصحيح الناتج من الزيغ. ويبلغ بُعد هذه الصور فوق النانومتر الواحد بقليل. يقول فريق IBM/ Nion إن التقنية التي سمحت بملاحظة كل الذرّات الثابتة والمتحركة يمكن أن تستخدم أيضاً في تصوير ذرّات الشوائب المدْخَلة الفردية في أنصاف النواقل.■

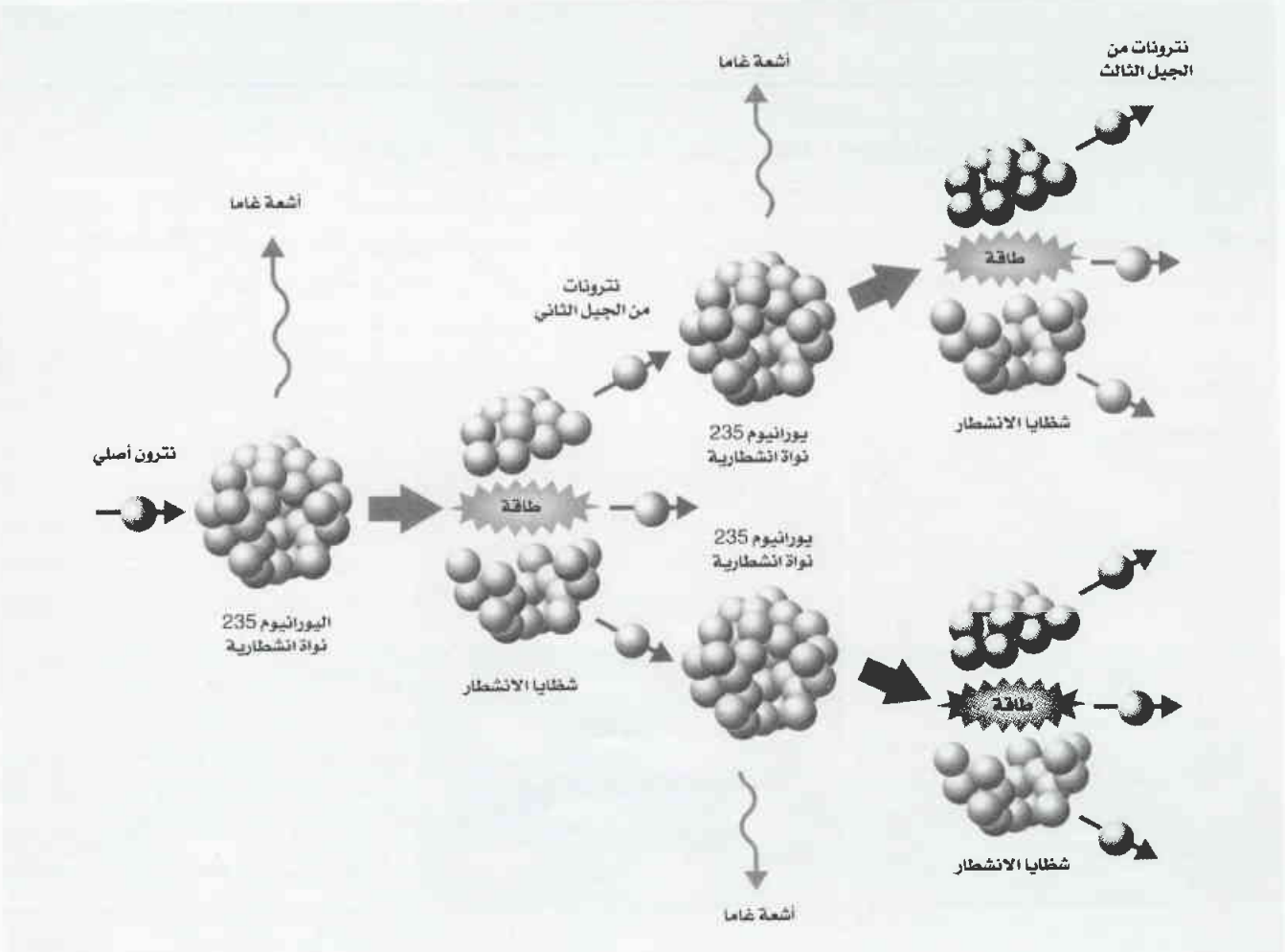
* نشر هذا الخبر في مجلة *Physics World*, September 2002. ترجمة هيئة التحرير - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

8- الذرّات والنوى والتفاعلات النووية*

إن المكوّنات الأساسية للمادّة هي الذرّات، أنها البُنى الصغيرة التي تتكوّن من سحابة من **الإلكترونات** الخفيفة جداً، ويحمل كل إلكترون شحنة كهربائية أولية سالبة، ويدور حول **نواة** ثقيلة جداً. وهذه بدورها تحوي نوعين من **النكلونات**، وهي جسيمات بكتل متقاربة، وهما: **البروتونات**، ويحمل كل واحد منها شحنة كهربائية أولية موجبة. والنوع الثاني: **النترونات**، وهي مُجردّة من أي شحنة كهربائية. تكون الذرّة في حالتها الطبيعية **مُعتدلة**، وبالتالي تحتوي على عدد من الإلكترونات يدور حول النواة، يقابله عدد مماثل من البروتونات داخلها. هذا العدد الذي يرمز إليه بـ Z يدعى **العدد الذرّي**، إنه يميز العنصر الكيميائي، لأن الخواص الكيميائية للذرّات لا تتبع إلا السحابة الإلكترونية. يُضاف إلى العدد الذرّي للبروتونات Z، عدد النترونات N، ويساوي المجموع $A = N + Z$ عدد النكلونات. وهذا العدد المُسمى **بالعدد الكتلي** يُحدِّد إجمالاً كتلة الذرّة. فمن أجل قيمة معينة لِ Z، أي من أجل عنصر كيميائي مُعيّن؛ نجد غالباً عدة قيم لِ N وبالتالي لِA: كل قيمة لِ N يقابلها **نظير** للعنصر الكيميائي. ونظائر العنصر ذاته غير قابلة للتمييز بالكيمياء، ولكنها تتمتع بخواص نووية مختلفة، وأحياناً مختلفة للغاية. فاليورانيوم الطبيعي، على سبيل المثال، يتكون بصورة أساسية من نظيرين: الأول 0.7%من اليورانيوم 235 (92 بروتوناً و 143 نتروناً) ورمزه $_{92}U^{235}$، أو ببساطة أكثر U^{235}، والثاني 99.3% من اليورانيوم 238 (92 بروتوناً و 146 نتروناً) يُرمز إليه بِ $_{92}U^{238}$ أو بشكل أبسط U^{238}.

تتدرج العناصر الطبيعية من Z = 1 (هدروجين) إلى Z = 92 (يورانيوم). واليوم امتد هذا الجدول إلى أكثر من (100) بعناصر **ما بعد اليورانيوم** الصُنعية. وقد تكون نظائر العناصر المختلفة إما مستقرة أو غير مستقرة. في الحالة الثانية تضمحل النظائر **بالنشاط الإشعاعي** لتصل خلال مرحلة واحدة أو عدة مراحل إلى نواة مستقرة. ويوجد عدد محدد من النظائر المشعّة الطبيعية، وجميع النظائر الصُنعية مُشعّة. وعلينا أن نتذكّر أن النشاط الإشعاعي الصُنعي هو ظاهرة



مبدأ التفاعل المتسلسل للانشطارات. في المفاعل النووي، يكون التفاعل المتسلسل مضبوطاً للمحافظة على معدل انشطارات ثابت.

* نشر هذا الخبر في مجلة *CLEF CEA*, N° 45, Automne 2001. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر- هيئة الطاقة الذرية السورية.

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

من طبيعة النشاط الإشعاعي الطبيعي نفسها. يتميز تناقص الإشعاعي بدوره (**أو بعمر النصف**) وهو المدة الزمنية اللازمة وسطياً، لكي يضمحل نصف النُوى غير المستقرة المعتبرة. وأن "صنفاً نووياً" مُعرفاً بـ Z و A يدعى أيضاً **نكليداً**.

يُعالج الكيميائي تجمّعات من الذرّات تُدعى **الجُزيئات**، ويستطيع أن يُجمّعها بطريقة مختلفة. فعلى سبيل المثال، إن احتراق الهدروجين في الأكسجين معطياً الماء هو إعادة اتحاد ذرّات جُزيئَي هدروجين (كل جزيء منها يتكوّن من ذرَّتَي هدروجين) مع جزيء أكسجين (مكوّن من ذرَّتَي أكسجين) لإنتاج جزيئَين من الماء (كل جزيء مكوّن من ذرَّتَي هدروجين وذرّة أكسجين) بحيث يُكتب عل الشكل الآتي:

$$2H_2 \text{ (هدروجين)} + O_2 \text{ (أكسجين)} \rightarrow H_2O \text{ (ماء)}$$

وبطريقة مُماثلة، يُحقق الفيزيائي النووي **تفاعلات نووية** تُعيد اتحاد البروتونات والنترونات بصورة مختلفة. وهو في هذه الحالة لا يهتم كثيراً بما يحدث للإلكترون، ولكن في واقع الأمر تحافظ الجسيمات أيضاً على توازنها في هذا المستوى. وتُكتب التفاعلات الكيميائية مثلاً، كالآتي:

$$_2^4He \text{ (هليوم)} + {}_4^9Be \text{ (بريليوم)} \rightarrow {}_6^{12}C \text{ (كربون)} + {}_0^1n \text{ (نترون)}$$

$$_0^1n \text{ (نترون)} + {}_5^{10}B \text{ (بور)} \rightarrow {}_3^7Li \text{ (ليتيوم)} + {}_2^4He \text{ (هليوم)}$$

ويُمكن استخدام التفاعل الأول كمصدر نترونات، والثاني يستخدمه القائمون على تشغيل **المفاعلات بالماء المضغوط** لتنظيم التفاعل الناتج في الوقود. وعملياً، تتم هذه التفاعلات "بإطلاق قذيفة" (وهي النواة الأولى المذكورة في هذه التفاعلات) نحو "هدف" (النواة الثانية). وممّا يجدر ذكره أن التفاعل النووي يَستخدم كمية من الطاقة تفوق ما يحتاجه التفاعل الكيميائي بما يعادل مليون مرة.

الأنواع المختلفة للتفاعل المتبادل بين النترون والنواة

من بين التفاعلات المُتبادلة بين نترون ما ونواة - هدف، يجب أن نُميّز بين عمليات **الإنتثار** وعمليات **الامتصاص**.

في **الإنتثار (التبعثر) المرن**، يُعاد إصدار النترون الوارد، الذي يصدم النواة، بطاقة أدنى من طاقته الحركيّة الابتدائية ويُتابع إذاً مسيره وكأنه ارتد عن سطح النواة دون أن يخترقها فعلاً. إن فرق الطاقة تَحوَّل إلى طاقة ارتداد للنواة - الهدف. ويُعبَّر عن التفاعل الحاصل بـ **(n,n)**.

وبالمقابل، يوصف بالإمتصاص كلّ تفاعل تلتقف خلاله النواةُ النترونَ الذي يصادفها. **والنواة المركّبة**، المكوّنة هكذا، مُثارة بشدّة لأنّها، بالإضافة إلى الطاقة الحركية للنترون الوارد، تمتص أيضاً طاقة الارتباط (بضعة ملايين من الإلكترون فولط) الناتجة من عمل القوى النووية لالتقاطه. وهذه الحالة غير المُستقرّة جداً، والتي لن تستمر أكثر من لحظة قصيرة جداً (قرابة 10^{-4} ثانية)، يمكن أن تتوقف إثارتها وفقاً لعدة أنماط:

- **بإصدار إشعاع** (أو فوتونات) **غاما (أسر إشعاعي**، تفاعل (n, γ))؛
- **بإصدار جُسيم مشحون** مثل البروتون (تفاعل **(n,p)**)، نواة هليوم $_2^4He^{++}$ (تفاعل (n, α)).
- **بإصدار عِدّة نترونات** (تفاعل **(n,xn)**)؛
- أمّا لأجل النواة الثقيلة المُركّبة، فتتوقف الإثارة **بالانفصام إلى نواتين أخف (الانشطار)**، مصحوباً بإصدار بضعة نترونات ثانوية مقذوفة من شظيتي الانشطار (التفاعل (n,f)).

ويمكن للنواة المركّبة أن تُصدر من جديد نتروناً. وإذا احتفظت النواة - الهدف بجزء من الطاقة الحركية للنترون الوارد، على شكل طاقة إثارة، أصبح **الانتثار غير مرن**. فتُحرِّر النّواة - الهدف هذا الفائض من الطاقة بإصدار الإشعاع غاما. ويُرمز إلى التفاعل بـ (n,n' γ).

وفي فيزياء المفاعلات، أيّ امتصاص لا يؤدي إلى الانشطار يُدعى **الأسر النتروني**.

إن الاحتمال في حدوث تفاعل متبادل بين نترون ما والمادة التي يخترقها، والمعبَّر عنه **بالمقطع الفعّال الكُلّي** σ section efficace totale، هو حصيلة احتمالات الأنواع المختلفة من الحوادث القابلة **للتولّد**، والمحدَّدة **بمقاطع فعّالة جُزئية**:

$$\sigma = \sigma \text{ (امتصاص)} + \sigma \text{ (انتثار)}$$

$$\sigma \text{ (امتصاص)} = \sigma \text{ (أسر)} + \sigma \text{ (انشطار)}$$

تفكك النوى الثقيلة وسلوك الإشعاعات

ينتج من عملية الانشطار **شظايا الانشطار** وهي بصورة عامة ذات **نشاط إشعاعي** شديد . **وبانخفاض** الإثارة المتتابع، تصل **النوى غير المستقرة** إلى منطقة الاستقرار **بأدوار** مرتبطة بإثارتها الابتدائية. إن دور النّواة يزداد قصراً بقدر ما تكون إثارتها كبيرة، والعكس صحيح. إذن **فالطاقات العالية** الناتجة من **همود الإثارة** نجدها بأفضلية للنوى ذات الدور القصير.

إن أنماط **التفكك الأساسية** التي يمكن أن تؤدي إلى ظهور **نكليد** بعدد ذرّي Z وكتلة A، هي ستة أنماط. وترافق هذه التفاعلات، في أغلب الأحيان، مع **إصدار** أشعة (أو فوتونات) **غاما** (γ).

إنّ **إصدار بيتا** (β) هو نمط التفكك الإشعاعي الأكثر شيوعاً، لأن جميع النوى الموجودة خارج **وادي الاستقرار** لديها **نشاط** β. تقوم هذه الظاهرة على قذف إلكترون بشحنة سالة (**تفكك بيتًا ناقص** β^-)، أو موجبة (**تفكك بيتًا زائد** β^+)، انطلاقاً من النواة. في إصدار β^- يزداد العدد الذرّي عدداً واحداً، في حين أنه ينقص عدداً واحداً في إصدار β^+، على الشكل الآتي:

تفكك β^-

$$(A,Z\text{-}1) \rightarrow \beta^- + (A,Z)$$

في باطن النواة، يتحول نترون n إلى بروتون p مع إصدار إلكترون e^-، و**نترينو مضاد** $\bar{\nu}$:

$$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu};$$

تفكك β^+

$$(A,Z+1) \rightarrow \beta^+ + (A,Z)$$

في باطن النواة، يتحول بروتون إلى نترون مع قذف إلكترون موجب (بوزيترون) ونترينو ν:

$$p \rightarrow n + e^+ + \nu$$

يفسّر **الأسر الإلكتروني** بأسر بروتون من النواة لإلكترون ما. إن هذا النمط من التفكك الإشعاعي بصورة عامة في تنافس مع التفكك β^+. ويتعلق الأمر على الأغلب بإلكترون من الطبقة الأعمق في الداخل، وتتم إذن إعادة ترتيب كوكبة الإلكترونات بإصدار **إشعاعات** (أو فوتونات) **X**:

الأسر الإلكتروني (CE)

$$(A,Z+1) + e^- \rightarrow (A,Z)$$

في داخل النواة، يعطي البروتون والإلكترون نتروناً مع قذف نترينو: $p + e^- \rightarrow n + \nu$.

الانقلاب الداخلي هو نمط آخر من همود الإثارة، وهو في تنافس دائم مع إصدار غاما. تُنقل طاقة الإثارة مباشرة من النواة إلى إلكترون من الطبقة الداخلية الأمر الذي يجعله يفرّ من الذرّة. إن إعادة ترتيب الكوكبة الإلكترونية يؤدي إلى إصدار أشعة X.

يمكن أن تتواجد بعض النكليدات بعضاً مع بعض على شكل حالتين. على سبيل المثال، إن السيزيوم 135، وهو المصدر لِـ β^- بدور قدره 2.3×10^6 سنة، يمتلك حالةً **شبه مستقرة** métastable (**إيزومير**) بعمر نصف قدره 53 دقيقة. يعود السيزيوم الشبه مستقر إلى حالته الأساسية بتحوُّل إيزوميري transition isomérique مُصدِراً إشعاع γ:

تحوّل إيزوميري (TI)

$$(A,Z)^* \rightarrow (A,Z)$$

ولا يمكن أن يحدث الانقلاب الداخلي ولا التحول الإيزوميري مع تغيّر العدد الذرّي.

يجري إصدار النترونات المتأخرة على مرحلتين. يُصدر مولّد طليعي ذو نشاط إشعاعي عالٍ أشعة β^-. أما النواة الناتجة، وتدعى النواة المُصدِرة، فتُصدِر بدورها نتروناً يُدعى النترون المتأخّر عندما تكون الطاقة المتبقية لإثارة هذه النواة المصدرة أعلى من طاقة الارتباط لنترون ما:

إصدار نترونات متأخرة

$$(A+1,Z\text{-}1) \rightarrow \beta^- + n + (A,Z)$$

وفي **تفكك ألفا** (α)، ينفصل بروتونان ونترونان من جملة النواة فتتولد نواة هليوم ($_2{}^4He^{++}$) أو جسيم α، الذي يُقذف:

إصدار α

$$(A+4,Z+2) \rightarrow (A,Z) + \alpha$$

تحدث هذه الظواهر في الأساس مع عناصر ثقيلة جداً ($A > 150$) وتصل إلى سلاسل متتالية من تناقصات α.

إن إشعاعات بيتا ذات **مسار** وسطي صغير نسبياً في المادة الموجودة ضمن **مفاعل نووي** مثل أكسيد اليورانيوم (UO_2)، أو الفولاذ أو الإسمنت. إذن تتوضّع الطاقة في مكانها على مقربة من مكان تولدها. وبالمقابل، تستطيع إشعاعات بيتا هذه، ضمن غاز ما، أن تعبر مسافات أكبر تتخطّى العشرة أمتار. ويمكن أن نصادف هذه الظاهرة، على سبيل المثال، أثناء حادث تبعثر نواتج الانشطار في داخل المفاعل.

أما إشعاعات غاما فلها مسارات أكبر، وتتخامد بصورة أسية في المادة، بعكس إشعاعات بيتا التي مسارها يثبت بمجرد معرفة الطاقة الابتدائية والمادة المخترقة. وبالنسبة إلى إشعاعات غاما الصادرة عن شظايا الانشطار، فإن وسطي مساراتها في المادة يتغير من المليمتر إلى 50 سم حسب المادة، فتكون في اليورانيوم والماء في حدودها القصوى، كما هو مبين في الجدول التالي:

المسارات الوسطية، بالسنتيمترات، لإشعاعات γ في الماء وأكسيد اليورانيوم من أجل أربع قيم للطاقة.

	0.5 MeV	1.0 MeV	4.0 MeV	8.0 MeV
ماء	10.4	14.2	29.5	41.7
أكسيد اليورانيوم (UO_2)	0.55	1.23	2.16	2.04

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

الكوبالت*

ما هو عنصر الكوبالت؟

الرمز	Co
العدد الذرّي	27
(عدد البروتونات في النواة)	
الوزن الذرّي	59
(الموجود بالطبيعة)	

الكوبالت معدن قاس، لونه أبيض فضي، يوجد في الطبيعة على شكل كوبالت - 59. وهو مُكوّن لفلزات الكوبالتيت والإريتريت ولخامات أخرى. يوجد عادة مترافقاً مع النيكل والفضة والرصاص والنحاس والحديد. يتمّ تحضير معدن الكوبالت من إرجاع مركباته بالألمنيوم أو الكربون أو الهدروجين. يُشبه في خواصه الفيزيائية عنصري الحديد والنيكل، وهو نسبياً قليل المتانة وقليل السحوبية في الدرجات العادية من الحرارة ويدخل كمكوّن لعدد من السبائك.

خواص النشاط الإشعاعي لنظائر الكوبالت الرئيسة

النظير	عمر النصف	النشاط النوعي (Ci/g)	نمط الاضمحلال	طاقة الإشعاع (MeV) ألفا (α)	بتا (β)	غاما (γ)
Co-57	270 يوماً	8600	EC	-	0.019	0.13
Co-60	5.3 yr	1100	β	-	0.097	2.5

EC= أسر الإلكترون Ci= كوري g= غرام و MeV= مليون إلكترون فولط. الشّرطة (-): تعني أن الدخول غير قابل للتطبيق. أعطيت القيم إلى رقمين معنويين.

يوجد للكوبالت تسعة نظائر رئيسة. (النظائر عبارة عن أشكال مختلفة من العنصر متساوية في عدد البروتونات ولكنّها مُختلفة في عدد النترونات). ومن هذه النظائر نجد أن عمر النصف فقط للكوبالت - 57 وللكوبالت - 60 طويل إلى حد كافٍ ممّا يُبرر اهتمامنا به. يضمحل الكوبالت - 57 بعمر نصف يبلغ 270 يوماً بنتيجة أسر الإلكترون، ويضمحل الكوبالت - 60 بعمر نصف يبلغ 5.3 سنة نتيجة إصدار جسيمات بيتا مع إشعاعَيْ غاما طاقيين؛ يبلغ مجموع طاقة ارتباط إشعاعَيْ عاما هذين 2.5 ميغا إلكترون فولط. (تبلغ الطاقة الأولى 1.2 ميغا إلكترون فولط والطاقة الثانية 1.3 ميغا إلكترون فولط). الكوبالت - 60 هو النظيرالأهم شأناً في مواقع الإدارة البيئية بقسم الطاقة (DOC) مثل هانفورد، حيث أن الكوبالت - 57 المنتج منذ أكثر من 20 عاماً قد اضمحلّ منذ زمن بعيد. لقد جعل إشعاعا غاما الطاقيّان المرافقان للاضمحلال الإشعاعي للكوبالت - 60 من هذا النظير مخاطرة ظاهرية (ونعني يمكن أن يكون خطراً بدون أن يتلقاه الجسم).

ما هو مصدر الكوبالت - 60؟

يوجد الكوبالت - 60 في الطبيعة على شكل النظير - 59 في خامات مُتعدّدة وبكمّية أقلّ في التربة. يتمّ الحصول على الكوبالت - 60 بالتنشيط النتروني لمركّباته في المفاعلات النووية. كما يمكن الحصول عليه أيضاً في مُسرّع الجُسيمات. فعندما تنشطر ذرّة يورانيوم 235 (أو نكليد شَطور آخر)، فإنها تنشطر عادة إلى شظيتين كبيرتين لا متناظرتين - نواتج الانشطار بأعداد كتلية تتراوح ما بين 90 و 140 - ونترونين أو ثلاثة. (العدد الكتلي هو مجموع عدد البروتونات والنترونات في نواة الذرّة). يُمكن أن تُسبب هذه النترونات انشطارات إضافية (مُنتجةً تفاعلاً متسلسلاً) أو أن تهرب من المفاعل أو تشعّع مواد مجاورة. يُصنّع العديد من مكوّنات المفاعل من سبائك متعددة من الفولاذ التي تحتوي على الكروم والمنغنيز والنيكل والحديد والكوبالت. يمكن لهذه العناصر أن تمتص النترونات لتعطي نظائر مشعّة بما فيها الكوبالت - 60.إن الكوبالت - 60 هو نُكليد مُشع وله أهمية في الوقود النووي المستنفد (كمكوّن في عتاد الوقود) أو في النفايات المُشعّة المرافقة للمُفاعلات النووية ومُنشآت إعادة معالجة الوقود.

كيف يستخدم الكوبالت؟

يُستخدم الكوبالت كمُكوّن في سبائك عديدة بما فيها كاربولوي (فلزّ كربيد تنغستين مترابط) واستيليت (سبائك لا حديدية) المستخدمَين في تصنيع أدوات قطع عالية القساوة. يُستخدم الكوبالت في بعض أنواع الفولاذ غير القابل للصدأ. يستخدم ألنيكو، وهو عبارة عن سبيكة من الألمنيوم والنيكل والكوبالت ومعادن أخرى، في تصنيع مغانط دائمة عالية المتانة. يستخدم الكوبالت أيضاً في الطلي الكهربائي لإعطاء سطح قاس مقاوم للأكسدة، وكمُلوّن أزرق في ميناء الفخّار والزجاج. يُمكن استخدام أشعة غاما العالية القدرة الصادرة أثناء الاضمحلال الإشعاعي للكوبالت - 60 في كشف العيوب في المركّبات المعدنية وفي العلاج عن قرب لمعالجة أنواع مختلفة من السرطان (العلاج عن قرب هو معالجة إشعاعية حيث تستخدم مصادر مغلقة تُعطي جرعة مشعة من مسافة لا تزيد عن سنتيمترات قليلة قرب سطح، تجويفي داخلي، أو تطبيق بيني).

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

ماذا عن كونه في البيئة؟

يوجد الكوبالت - 59 في التربة كنظير ثابت بتركيز يتراوح ما بين 1 إلى 2 ملّي غرام في الكيلو غرام (mg/kg). توجد كميّات نَزْرَة أيضاً من الكوبالت - 60 حول الكرة الأرضية من السقط الإشعاعي كنتيجة من اختبارات الأسلحة الفضائية السابقة، ويمكن أن يكون أيضاً موجوداً كمكوّن في منشآت مُعيّنة مثل المفاعلات النووية والمنشآت التي تعالج الوقود النووي المستنفد. توجد التراكيز العُظمى للكوبالت - 60 في موقع هانفورد في المناطق التي تحتوي على النفايات الناتجة من معالجة الوقود المشعَّع وبخاصة من العتاد الذي له صلة بالوقود المستنفد. يتأثر انتقال الكوبالت إلى البيئة إلى حد كبير بشكله الكيميائي. وهو بصورة عامة واحد من العناصر المشعة الأقل تنقلاً/ تحركاً في التربة بالرغم من أن بعض أشكاله تستطيع أن تتحرك إلى الأسفل بفعل المياه المترشحة إلى داخل الطبقات التحتية من التربة. هنالك النفايات السائلة المحتوية على الكوبالت - 60 المطروحة في حيد اعتراض بالمنطقة الشرقية 200 من هانفورد، وتمَّ اكتشاف هذه النكليدات المُشعّة في المياه الجوفية بتراكيز أعلى من 100 بيكو كوري (pCi) في اللتر. يبدو أن الكوبالت - 60 في المنطقة 200 يتحرك بشكل كبير، ومن الممكن أن يكون ذلك بسبب وجود معقّد سيانيد الكوبالت الذوّاب (أو سيانيد الحديد). وُجد الكوبالت في مواقع أخرى ملتصقاً بشكل مُميّز بالتربة. وأما في التربة الرملية، فقد قُدِّر التركيز في جُسيمات التربة على أنه أعلى بحوالي 60 مرة منه في الماء الموجود بين جُسيمات التربة. ويرتبط الكوبالت بشكل أكثر إحكاماً بالطُّفال الرملي حيث قُدّر التركيز بنسبة 1,300.

ماذا يحصل للكوبالت في الجسم؟

يمكن أن يدخل الكوبالت في الجسم عن طريق الطعام أو شرب الماء أو تنفس الهواء. يُعَدّ الامتصاص المعدي المعوي للطعام أو الماء المصدرَ الرئيس للكوبالت المتوضع باطنياً عند عامة السكان. تتراوح تقديرات الامتصاص المعدي المعوي للكوبالت من 5 إلى 30 في المائة حسب الشكل الكيميائي والكمية المُمتصة منه.

الكوبالت عنصر أساسي موجود في معظم أنسجة الجسم، ويكون تركيزه الأعلى في الكبد. الفيتامين B12 هو الفيتامين الحاوي على الكوبالت الضروري لتكوّن خلايا الدم الحمراء في الجنس البشري، والامتصاص المعوي للكوبالت في هذا الفيتامين مُرتفع. يُطرح 50% من الكوبالت الواصل إلى الدم مباشرة وبصورة رئيسة عن طريق البول و5% يتوضع في الكبد، أما الـ 45% الباقية تتوضع بالتساوي في أنسجة الجسم الأخرى. ومن الكوبالت المُتوضع في الكبد والأنسجة الأخرى يترك 60% منه الجسم بعمر نصف بيولوجي مدته ستة أيام، ويزول 20% منه بعمر نصف بيولوجي مُدّته ستون يوماً؛ أما الـ 20% الباقية فيتم الاحتفاظ بها مدة أطول بكثير بعمر نصف مدته 800 يوم (وفق أنماط مبسطة لا تعكس إعادة التوزيع الوسطي). ينتقل الكوبالت المستنشق من الرئة إلى أنسجة الجسم بسهولة تامة.

مُعاملات المُخاطرة الإشعاعية

تبيّن هذه القائمة معاملات مخاطرة منتقاة من أجل الاستنشاق والطعام. استعملت أنواع امتصاص متخلفة موصى بها من أجل الاستنشاق، واستعملت قيم قوتية من أجل الطعام. (انظر النص من أجل الحصول على معلومات عن طريق التعرض الخارجي لأشعة غاما). تكون المخاطرات من أجل وفيّات السرطان مدى الحياة في الوحدة المأخوذة (pCi) معدّلة على جميع الأعمار وكلا الجنسين (10^{-9} هي في البليون، 10^{-12} هي في الترليون) والقيم الأخرى مما فيها المرضية متوفرة أيضاً.

النظير	مخاطرة الوفيّات بالسرطان على مدى الحياة	
	الاستنشاق (pCi^{-1})	الطعام (pCi^{-1})
كوبالت - 57	1.7×10^{-12}	9.0×10^{-13}
كوبالت - 60	3.0×10^{-11}	1.4×10^{-11}

ما هي التأثيرات الصحية الأولية للكوبالت؟

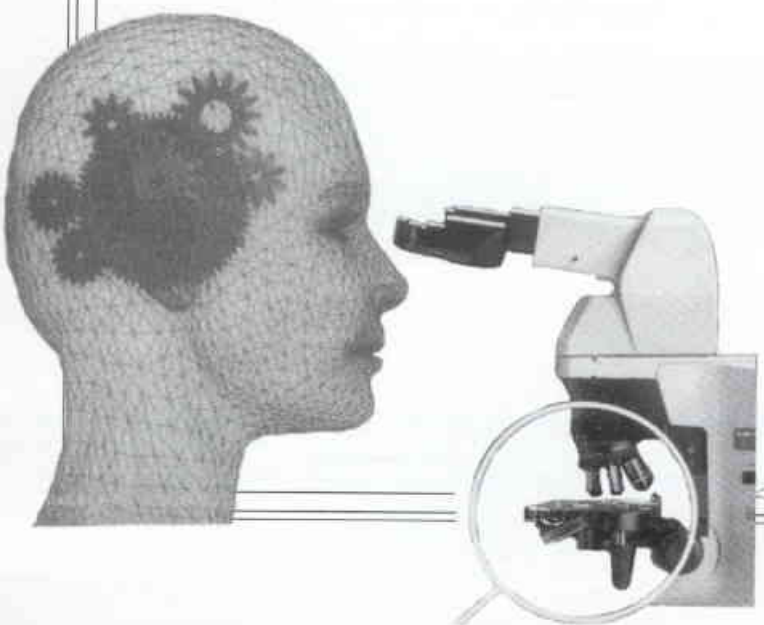
يطرح الكوبالت - 60 مخاطرة داخلية وخارجية، ويرتبط الشأن الصحي الرئيس بالاحتمال المتزايد للسرطان. ويجري الاهتمام بالتعرض الخارجي للكوبالت - 60 بسبب إشعاع غاما الخارجي الشديد، كما أن التدريع ضروري على الأغلب عند تداول النفايات والمواد العالية التركيز من هذا النظير. يشكّل الكوبالت في داخل الجسم خطراً من كلا الإشعاعين بيتا وغاما.

ما هي المخاطرة؟

جرى حساب مُعاملات مخاطرة الوفيّات بالسرطان على مدى الحياة من أجل جميع النكليدات المُشعة تقريباً بما فيها الكوبالت (انظر المؤطر). وبينما تكون معاملات تناول الطعام أخفض إلى حد ما من معاملات الاستنشاق، فإن تناول الطعام بصورة عامة هو أكثر الوسائل شيوعاً للدخول إلى الجسم. وكما هو الحال مع النكاليدات المُشعّة الأخرى، فإن عوامل المُخاطرة في ماء الشرب تبلغ حوالي 70% من المُخاطرة في الطعام القوتي. وبالإضافة إلى المُخاطرة من التعرض الداخلي يوجد مخاطرة من التعرض الخارجي لأشعة غاما. وباستخدام عوامل الخطر الخارجي لأشعة غاما في تقدير مخاطرة الوفيات بالسرطان على مدى الحياة نقول إنه إذا فرضنا أن 100 000 شخص، قد تعرّضوا باستمرار إلى طبقة كثيفة من التلوث بتركيز وسطي مبدئي 1pCi/g من الكوبالت - 60، فمن المتوقع أن ستة من هؤلاء الـ 100 000 سيتعرّضون للسرطان المُميت (هذا بالمقارنة مع 25 000 شخص من المجموعة المتوقّع موتها من جرّاء السرطان الناتج من جميع الأسباب الأخرى وسطياً في الولايات المتحدة). تكون المخاطرة الخارجية للكوبالت - 57 أقل من 1% من هذه المخاطرة.■

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

ورقات البحوث



الاسترخاء المغنطيسي لشريحة ذات ناقلية: وصف التحول الزمني*

د. عادل نادر
قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرية - ص. ب 6091 - دمشق - سورية.

ملخص

لقد تمّت في هذا العمل دراسة الاسترخاء المغنطيسي لشريحة ذات ناقلية فائقة في حالة زحف التدفق، وذلك ضمن إطار علاقة تقريبية بين الحقل الكهربائي E وكثافة التيار J، هي: (i. e. $E\alpha J/J_c^{\sigma}J$). لقد وجدنا بالحساب العددي أنه يمكن وصف التحول الزمني لاسترخاء شدة المغنطة بالتابع $(t+t_0)^{-1/\sigma}$ من أجل زمن من رتبة t_0، وتبيَّن أن هذه العلاقة تكون قابلة للتطبيق بعد زمن قصير من بدء الاسترخاء بالمقارنة بـ t_0، و t_0 هو ثابت تمّت دراسته. إنّ هذه النتيجة هامة في التطبيقات عند حدوث تحولات سريعة، وقد تمّ تعميمها إلى الحالة التي تكون فيها الشريحة في حالة جريان التدفق.

الكلمات المفتاحية: زحف التدفق، جريان التدفق، الاسترخاء المغنطيسي.

مقدمة

إن حالة زحف التدفق على درجة عالية من الأهمية في النواقل الفائقة ذات درجات الحرارة العالية؛ لأن النواقل الفائقة المستخدمة في التطبيقات تُستخدم وهي في هذه الحالة. ويمكن فهم حالة زحف التدفق بوجود عقبة طاقية U تمنع حركة الدوامات، حيث تتم الحركة بفعل التهيج الحراري [1]. يمكن وصف هذه الحالة بعلاقة تقريبية بين الحقل الكهربائي E وكثافة التيار J تكتب كمايلي [2-5]:

$$E = \rho \left| J/J_c \right|^{\sigma} J \qquad (1)$$

حيث إنّ J_c هي كثافة التيار الحرج لفك التصاق الدوامات. ويمكن لهذه العلاقة أن تصف المعطيات التجريبية من أجل مجال واسع لقيم J [6 - 8]. كما أنه قد تمّت البرهنة على أن هذه العلاقة هي حل دقيق (وليس تقريبياً) في حالة الالتصاق الذاتي لمركب متطبق [9].

لتكن لدينا شريحة ذات ناقلية فائقة في حالة زحف التدفق، أبعادها لا متناهية بحسب الاتجاهين x وy، وسطحاها عند $z = \pm 1$، خاضعةً لحقل مغنطيسي H_0 موازٍ للاتجاه ox، حيث إن شدته $H_{c1} << H_0 << H_{c2}$. سيؤدي هذا الحقل إلى كثافة تدفق منتظمة $B_0 \approx \mu_0 H_0$ وسنفرض أن أيَّ اضطراب في كثافة التدفق سيكون أصغر بكثير من B_0 ولن تؤثر على الثوابت σ، J_c، ρ. إنّ اضطراباً في كثافة التدفق الموازية لـ 0x سيولد كثافة تيار موازية لـ 0y تنتشر ضمن الشريحة. وكما شرح في [3،4]، باستخدام المعادلة (1) ومعادلات ماكسويل نحصل على معادلة انتشار لا خطي لكثافة التيار هي :

$$\frac{\partial J}{\partial t} = \frac{\rho}{\mu_0} \frac{\partial^2}{\partial z^2} \left(\left| \frac{J}{J_c} \right|^{\sigma} J \right) \qquad (2)$$

تعتبر هذه المعادلة الشريحةَ كوسط مستمر، مما يحدُّ من صلاحيتها في مجال الزمن والمكان ليصبح الزمن والمسافة أكبر من زمن ومسافة قفزات دوامات التدفق.

لقد درست المعادلة (2) من وجهة نظر الرياضيات البحتة [10] أو درست كمعادلة مرتبطة بمسائل فيزيائية أخرى [11]. كما نوقشت بعضٌ من حلولها المتماثلة ذاتياً في [3 ، 12] وكذلك درس في [13] التحول الزمني للتدفق المغنطيسي في حالة زحف التدفق من أجل عتبة طاقية تتعلق بكثافة التيار.

لقد قمنا في هذا العمل بدراسة الاسترخاء المغنطيسي لشريحة ذات ناقلية فائقة عددياً وذلك بمكاملة المعادلة (2) ولكن بشكل أبسط من الشكل المعطاة به في هذه الفقرة. لقد كانت النتيجة الأساسية أنّ شدة المغنطة تتحول في حالة الاسترخاء مثل التابع $(t+t_0)^{-1/\sigma}$، وذلك بعد زمن قصير من بدء الاسترخاء مقارنة مع الثابت t_0. حيث إنّ t_0 هو ثابت يتعلق بالطريقة التي تمَّ بها إدخال الحقل إلى داخل الشريحة و بالثابت σ. وقد تمّ تعميم هذه النتيجة إلى الحالة التي تكون فيها الشريحة في حالة جريان التدفق.

الاسترخاء المغنطيسي

لقد نوقشت في [4] بعض الحلول لمعادلة انتشار الغاز ضمن وسط مسامي، والتي يمكن أن تكون حلولاً لانتشار التدفق المغنطيسي في حالة جريان التدفق إذا كانت الشروط الابتدائية متطابقة. وإذا اعتبرنا أنّ الشروط الابتدائية متناظرة على جانبي الشريحة وأنّ J(t, z) يبقى موجباً في نصف سماكة الشريحة يمكن كتابة المعادلة (2) بالشكل:

$$\frac{\partial F}{\partial t} = \sigma F \frac{\partial^2 F}{\partial z^2} + \left(\frac{\partial F}{\partial z} \right)^2, \qquad (3)$$

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة Superconductor Science & Technology, 15, p1-4 (2002).

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

حيث إن: $F = E/(q\mu_0 J)$ و $q = \sigma/(\sigma + 1)$

نعرّف الحل المتماثل ذاتياً بأنه من الشكل $F(t, z) = t^{-1}\delta^2 f(k)$. حيث إنّ δ تتحول مثل t^{α}، $k = z/\partial t^{\alpha}$ وα هو ثابت.

من أجل الحالة الخاصة التي يكون فيها التابع F قد انتشر على كامل نصف سماكة الشريحة ويكون F(t, z) معدوماً عند أحد طرفي نصف السماكة و $(\partial F/\partial z)$ معدوماً عند الطرف الآخر تقبل المعادلة (3) حلاً بعيد الأمد من الشكل [4]:

$$F(t,z) = \frac{g(z)}{(t + t_0)} \qquad (4)$$

ليس للتابع g(z) عبارة تحليلية و t_0 هو ثابت. إنّ هذا الحل هو متماثل ذاتياً من أجل: $\alpha = 0$. وقد نوقش أيضاً في [3].

تنطبق هذه الشروط الرياضية عندما يكون اضطراب الحقل المغنطيسي قد انتشر على كامل نصف سماكة الشريحة والحقل المغنطيسي المطبق لايتغير بدلالة الزمن، وهذا مما يعني أنّ: $(\partial J(t,z)/\partial z)_{z=\pm 1} = 0$.

ويبدأ في هذه الحالة التدفق المغنطيسي الزائد بالتدفق إلى خارج الشريحة. ولما كان J(t, z) تابعاً متناظراً عكسياً، فسيكون لدينا $J(t,0) = 0$. بكلمات أخرى يمكن القول: إنّ هذه الحالة الفيزيائية التي هي حالة استرخاء مغنطيسي التي تلي حدوث اضطراب تقبل الحل (4) كحل بعيد الأمد. تجدر الإشارة هنا إلى أنّ الحل العددي للمعادلة (3) أسهل من الحل العددي للمعادلة (2) وذلك لأن تراكم الخطأ في (2) يكون أسرع.

سنقوم أولاً بدراسة الثابت t_0، ثم سنقوم بتعيين شكل التابع g(z) من أجل مجموعة من قيم σ، ثم سنقوم بمكاملة قيم J(t, z) لتحليل سلوك شدة المغنطة.

لقد تمّ تحديد مقياس الطول بنصف سماكة الشريحة، أما مقياس الزمن فقد أُخِذَ كما في [4] أي: إنّ الاضطراب المولد عند أحد طرفي نصف السماكة يستغرق واحدة الزمن ليبلغ الطرف الآخر. أمّا الحل العددي فقد تم باستخدام طريقة الفروقات المنتهية على 50 نقطة.

الثابت t_0

بغية دراسة الترابط بين الثابت t_0 والطريقة التي تمّ بها إدخال التدفق إلى داخل الشريحة قمنا بدراسة ثلاث حالات هي:

C1: حقنت كمية من التدفق المغنطيسي في المستوي المتوسط للشريحة، وقد وصل الاضطراب إلى سطح الشريحة لتوه.

C2: تمّ تغيير الحقل المطبق إلى قيمة جديدة بشكل سريع، وقد وصل الاضطراب لتوه إلى مركز الشريحة.

C3: الحقل الخارجي المطبق يتغير بشكل منتظم، وكان الاضطراب قد وصل إلى مركز الشريحة منذ وقت.

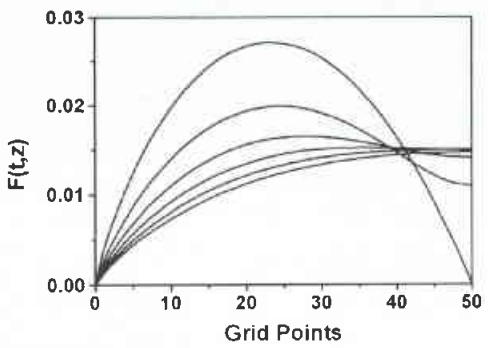
يمكن الحصول على الشكل الابتدائي للتابع F(t, z) من أجل الحل العددي لهذه الحالات الثلاث من الحلول المتماثلة ذاتياً المعطاة في [4]. وقد ذكرت هذه الأشكال الابتدائية في الجدول 1.

يظهر الشكل 1 استرخاء التابع F(t, z) من أجل فترات متساوية وذلك من أجل الشرط الابتدائي C1 و $\sigma = 4$.

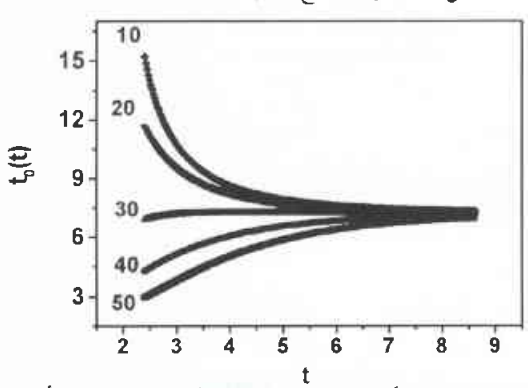
قبل البدء بحساب الثابت t_0 علينا أن نتحقق أن جميع نقاط شبكة الحساب تتقارب نحو قيمة وحيدة وذلك خلال زمن قابل للبرمجة. من أجل ذلك، قمنا برسم $t_0(t) = -F/(\partial\, 0F/\partial t)$-t (الشكل 2) من أجل نقاط الشبكة 10، 20، 30، 40 و 50. الشرط الابتدائي الذي استخدمناه هو C1 وأخذنا $\sigma = 4$.

الجدول 1– الأشكال الابتدائية من أجل طرق مختلفة لإدخال التدفق داخل الشريحة.

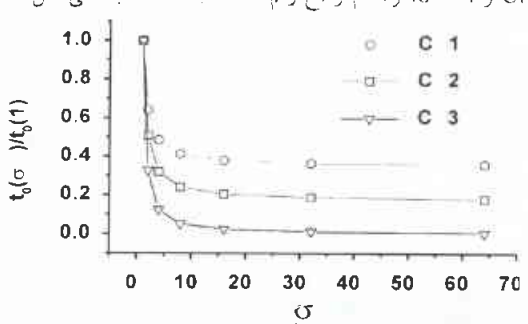
C1	$(z^4 - z^2)/(4 + 2\sigma)$
C2	$(1 - z^2)/(4 + 2\sigma)$
C3	z^4



الشكل 1– استرخاء التابع F(t, z) خلال فترات متساوية.



الشكل 2– تحولات t_0 من أجل مجموعة من نقاط شبكة الحساب، حيث أخذنا الشكل الابتدائي C1 و $\sigma = 4$. وقد تمّ وضع رقم نقطة شكبة الحساب على كل منحن.



الشكل 3– المنحنيات $t_0(\sigma)/t_0(1)$ من أجل عدة شروط ابتدائية للتابع F(t, z) حيث يبدو الترابط واضحاً بين قيم t_0 والطريقة التي تمّ بها إدخال التدفق إلى داخل الشريحة.

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

أمّا $t_0(\sigma)$ فقد تمّ حسابه بحساب نقطة تقاطع $1/F(t,z)$ مع محور الزمن من أجل نقاط شبكة الحساب 10، 20، 30، 40 و 50. وقد تمّ تغيير قيمة الثابت σ بين 1 و 64.

لقد تمّ إعطاء قيم $t_0(\sigma)$ في الجدول 2 وتمّ رسمها في الشكل 3. يبدو الترابط بين الطريقة التي تمّ إدخال التدفق بها إلى داخل الشريحة وقيم t_0 (σ) واضحاً. إلا أن السلوك العام يبقى عملياً نفسه في جميع الحالات حيث تكون التحولات سريعة بجوار الصفر وبطيئة من أجل القيم الكبيرة حين نقترب من حالة بينْ Bean الحدّية (الحرجة) [14]

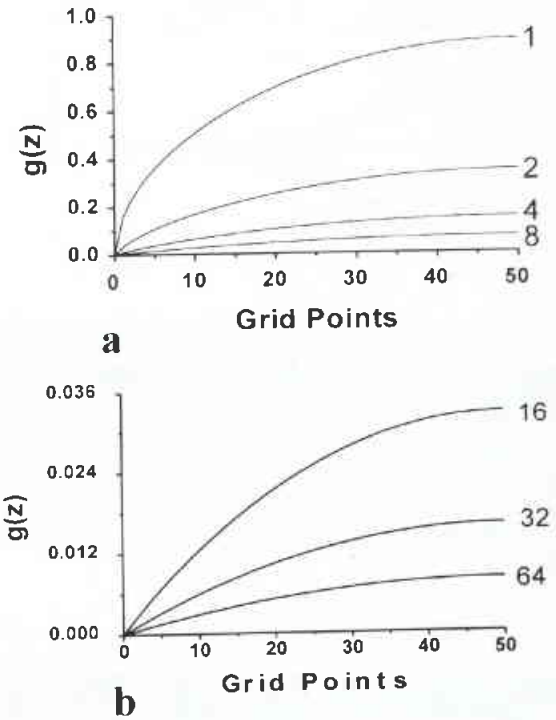
التابع g(z)

لقد تمّ تعيين شكل التابع g(z)، وتمّ رسمه في الشكل 4 من أجل مجموعة من قيم σ. لقد تمّ الحساب باستخدام $g(z) = (t + t_0)F(t,z)$. إنّ الشكل الذي حصلنا عليه متطابق مع التقريب المعطى في [4] عند أطراف المجال.

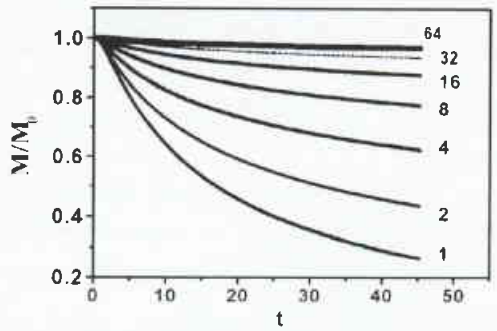
استرخاء شدة المغنطة

الجدول 2– قيم الثابت t_0.

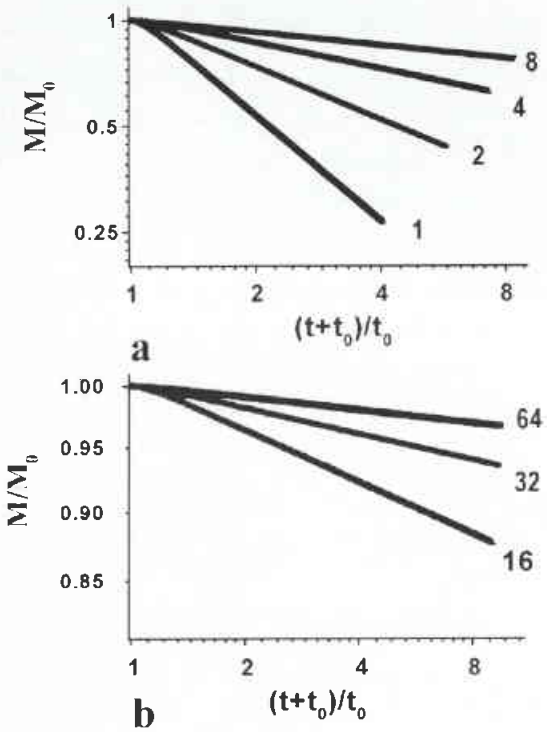
σ	C1	C2	C3
1	14.842	5.822	2.03
2	9.512	2.951	0.668 2
4	7.204	1.860	0.250 4
8	6.136	1.401	0.104 7
16	5.629	1.193	0.048 9
32	5.388	1.095	0.022 49
64	5.330	1.0490	0.011 7



الشكل 4– شكل التابع g(z) من أجل مجموعة من قيم σ.



الشكل 5– منحنيات استرخاء شدة المغنطة في حالة زحف التدفق من أجل مجموعة من قيم σ. M_0 هي شدة المغنطة في مبدأ الزمن. تمّ وضع قيمة σ إلى جانب كل منحن. لقد تمّ حساب هذه المنحنيات باستخدام الشكل الابتدائي C1.



الشكل 6– تمّ في هذا الشكل إعادة رسم منحنيات الشكل 5، ولكن M/M_0 قد رسمت بدلالة $(t + t_0)/t_0$ بمقياس لوغاريتمي لكلا المحورين. تجدر الإشارة هنا إلى أنّ التحولات تصبح خطية بعد زمن قصير من بدء الاسترخاء بالمقارنة بـ t_0.

لقد تمّت مكاملة قيم J(t,z) التي حصلنا عليها من أجل دراسة استرخاء شدة المغنطة، وذلك خلال زمن من رتبة t_0 من أجل مجموعة من قيم σ. وقد رُسمت المنحنيات M(t) في الشكل 5.

إن منحنيات شدة المغنطة المرسومة بدلالة $(t + t_0)/t_0$ بمقياس لوغاريتمي لكلا المحورين تصبح مستقيمة بعد زمن قصير من بدء الاسترخاء بالمقارنة بـ t_0 (انظر الشكل 6). إن لهذه النتيجة أهمية كبيرة لأنها تُظهر أنه يمكن استخدام الحل (4) فهو حل بعيد الأمد لوصف سلوك استرخاء المغنطة وذلك خلال زمن من رتبة t_0.

وقد رسمنا في الشكل 7 شدة المغنطة بدلالة t/t_0 بمقياس لوغاريتمي لكلا المحورين. الهدف من هذا الشكل هو إظهار أن التابع $t^{-1/\sigma}$ غير صالح

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

لوصف استرخاء شدة المغنطة من أجل أزمنة من رتبة t_0، حيث يستخدم هذا التابع في تجارب الاسترخاء المغنطيسي لتعيين σ، ويقوم المجرّب عندها بتغيير زمن القياس بشكل لوغاريتمي. ومنه يمكن اعتبار الثابت t_0 كمقياس للزمن يسمح باستخدام الحل المناسب لوصف سلوك استرخاء شدة المغنطة أي:

$$t \sim t_0 \quad \text{من أجل} \quad M \alpha (t+t_0)^{-1/\sigma}$$
$$t >> t_0 \quad \text{من أجل} \quad M \alpha t^{-1/\sigma}$$

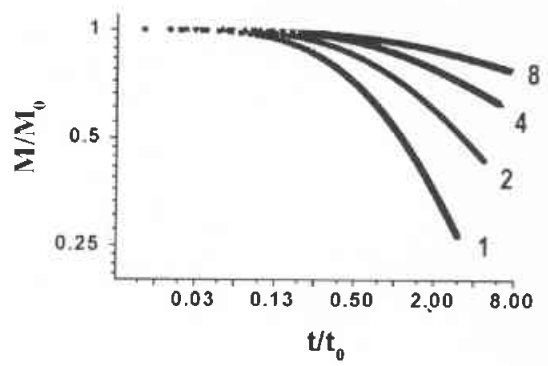
كما يسمح ذلك بتعيين σ بشكل تجريبي دون الحاجة لتغيير زمن القياس بشكل لوغاريتمي. أما المجال $t \ll t_0$ فيحتاج لدراسة مستقلة، ويتوقع أن يكون سلوك M(t) مرتبطاً ارتباطاً وثيقاً بالتوزع الابتدائي للتدفق ضمن الشريحة.

التعميم لحالة جريان التدفق

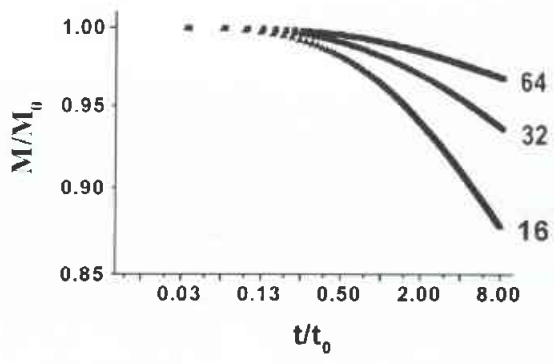
يمكن كتابة القانون الأساسي لوصف حالة جريان التدفق على الشكل:

$$\rho = \frac{\rho_n |B|}{\mu_0 H_{c2}(0)} \qquad (5)$$

يمكن باستخدام معادلات ماكسويل مع هذه المعادلة أن نحصل على معادلة انتشار لاخطي لكثافة التدفق لها الشكل الرياضي نفسه للمعادلة (2) من أجل σ = 1:



a



b

الشكل 7– كما في الشكلين 5 و 6. الهدف من هذا الشكل هو إظهار أن الوصف الكلاسيكي للاسترخاء باستخدام التابع $t^{-1/\sigma}$ غير قابل للاستخدام من أجل أزمنة من رتبة t_0.

$$\frac{\partial B}{\partial t} = \frac{\rho_n}{2\mu_0^2 H_{c2}(0)} \Delta(|B|B) \qquad (6)$$

إلّا أن الاختلاف الأساسي هو أنّ المعادلة (6) تبقى صالحة من أجل تغيرات واسعة للحقل المغنطيسي المطبق.

لنفرض أن الشروط الابتدائية متناظرة على كلا الوجهين، وأن B(t,z) يبقى موجباً، في هذه الحالة نعود لنجد المعادلة (3) وذلك بأخذ $F = p_n B/\mu^2_0 H_{c2}(0)$. فتبقى الأشكال الابتدائية C1 - C3 صالحة، ولكن من أجل شروط ابتدائية مختلفة:

C1: تمَّ رفع الحقل المطبق إلى قيمة معينة، ثم تمَّ إطفاؤه، وقد وصل الاضطراب لتوه إلى مركز الشريحة.

C2: تمَّ حقن كمية من التدفق عند المستوي المتوسط للشريحة، وقد وصل الاضطراب لتوه إلى سطح الشريحة منذ حين، وبدأ يتسرب إلى الوسط الخارجي.

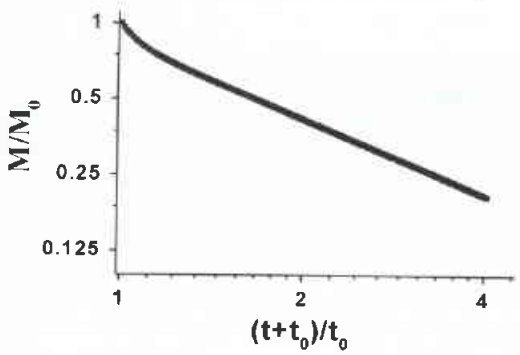
C3: يحقن التدفق عند المستوي المتوسط للشريحة بشكل منتظم، وقد وصل الاضطراب إلى سطح الشريحة منذ حين، وبدأ يتسرب إلى الوسط الخارجي.

يجب الإشارة هنا إلى أنّ z=0 هي سطح الشريحة و z=1 هو المستوي المتوسط للشريحة.

ولّما كنا قد افترضنا أن B(t,z) متناظر، فإن الحل (4) يكون قابلاً للتطبيق عندما يكون الاضطراب قد انتشر في كامل نصف الشريحة وأطفىء الحقل الخارجي المطبق. يبدأ عندها التدفق المغنطيسي الزائد بالتسرب إلى خارج الشريحة. يظهر الشكل 8 شدة المغنطة من أجل الشرط الابتدائي C1 حيث نجد نفس النتيجة التي وجدناها من أجل حالة زحف التدفق.

الخلاصة

لقد تمَّت دراسة الاسترخاء المغنطيسي لشريحة ذات ناقلية فائقة عددياً وذلك في حالتي زحف التدفق وجريان التدفق، وقد وجدنا أن استرخاء شدة المغنطة تتغير مثل التابع $(t+t_0)^{-1/\sigma}$ في حالة زحف التدفق، ومثل $(t+t_0)^{-1}$ في حالة جريان التدفق وذلك من أجل زمن من رتبة t_0.



الشكل 8– تحولات M/M_0 بدلالة $(t+t_0)/t_0$ في حالة جريان التدفق من أجل الشرط الابتدائي C1 كما في حالة زحف التدفق تصبح التحولات خطية بعد زمن قصير بالنسبة لـ t_0 بدءاً من بداية الاسترخاء.

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

REFERENCES المراجع

[1] Blatter G, Feigel'man M V., Geshkenbein V. B., Larkin A. I, Vinokur V. M., 1994 Rev. Mod. Phys. 66 1125.

[2] Brandt E. H., 1998 Superconductor Science and Technology 11 921.

[3] Evetts J. E., Glowacki B. A., 1988 Cryogenics 28 2706.

[4] Ban M., Ichiguchi T. Onagi T., 1989 Phys. Rev. B 40 4419.

[5] Zeldov E., Amer N. M., Koren G., Gupta A., McEelfresh M. W. and Gambino R. J., 1964. Appl. Phys. Lett. 56 680.

[6] Aranson D. G., Vazquez J. L., 1994 Phys. Rev. Lett. 72 348.

[7] Aranson D. G., Graveleau J., 1993 European Journal of Appl. Math. 4 65.

[8] Vinokur V. M., Feigel'man M. V., Geshkenbein V. B., 1991 Phys. Rev. Lett. 67 915.

[9] Gilchrist J. and van der Beek C. J., 1994. Phys. C 231 147.

[10] van der Beek C J, Nieuwenhuys G J, Kes P H, Schnack H G and Griessen R 1992 Physica C 197 320.

[11] Gilchrist J. 1997 Physica C 291 132.

[12] Bean C P 1962 Physical Review Letters 8 250.

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

تأثير جرعات من أشعة غاما المثبطة لإنبات درنات البطاطا على بيوض حشرة فراشة درنات البطاطا *Phthorimaea operculella Zeller (Lep., Gelechiidae)

د. جورج سعور – د. حياة المكي
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية – هيئة الطاقة الذرّية – ص . ب 6091 – دمشق – سورية.

ملخص

تمَّ تعريض بيوض حشرة فراشة درنات البطاطا Phthorimaea operculella Zeller ذات أعمار مختلفة لجرعات تصاعدية من أشعة غاما وصلت حتى جرعة مقدارها 150 غراي (الحدّ الأعلى من أشعة غاما المطبّق لتثبيط إنبات درنات البطاطا). أظهرت البيوض الحديثة الوضع حساسية أعلى لأشعة غاما مقارنة مع تلك الأكثر تقدُّماً في العمر، وانخفضت درجة الحساسية مع زيادة أعمار البيوض. نتج عن تعريض بيوض لجرعة مقدارها 150 غراي وهي بعمر 3 – 3.5 يوم زيادة في فترة حضانتها بمقدار 26% مقارنة مع بيوض جرعة الشاهد. تبيَّن أن الجرعة 1 كيلو غراي هي الحدّ الأدنى اللازم لمنع فقس البيوض المشعّة وهي بعمر 4– 4.5 يوم. تمكّن ما نسبته 9.7% من اليرقات من الوصول إلى مرحلة الحشرات الكاملة عندما تمَّ تعريض البيوض لجرعة مقدارها 75 غراي، ولكن الفراشات الناتجة كانت مشوّهة. تعذر ما نسبته 10.2 و 9.6% من اليرقات عندما تمَّ تعريض البيوض لجرعتي 100 و 125 غراي على التتالي، ولكن لم يُسجَّل خروج فراشات من هذه العذارى، في حين توقف النمو وماتت اليرقات في منتصف العمر اليرقي عند تعريض البيوض لجرعة مقدارها 150 غراي. يمكن اعتبار جرعات أشعة غاما المثبطة لإنبات درنات البطاطا كإحدى وسائل المكافحة الفعّالة للحدّ من الإصابة بحشرة فراشة درنات البطاطا.

الكلمات المفتاحية: فراشة درنات البطاطا، إنبات البطاطا، أشعة غاما.

مقدمة

تحدّ ظاهرة إنبات درنات البطاطا من إمكانية تخزينها لفترات طويلة، وقد استُخدمت المركّبات الكيميائية بشكل واسع كمثبطات لإنبات درنات البطاطا [2،1]، بيد أن الهيئات العالمية والجهات المختصة اعتمدت وصادقت على استخدام أشعة غاما كوسيلة لتثبيط إنبات درنات البطاطا [5،4،3]، وبناءً عليه، تمَّ إنشاء وحدات تجارية في كثير من دول العالم لتشعيع درنات البطاطا بغية تثبيط إنباتها [6]. وقد أوصت هذه الجهات بتطبيق جرعات من أشعة غاما تتراوح بين 75 و150 غراي، وذلك وفق: أصناف البطاطا، وموعد التشعيع، وشروط التخزين بعد عملية التشعيع، ومدة التخزين [9،8،7].

تُعدّ حشرة فراشة درنات البطاطا Phthorimaea operculella Zeller من أخطر الآفات التي تصيب محصرل البطاطا Solanum tuberosum (L) على مستوى دول العالم [11،10]، حيث تصيب الحشرة المحصول في الحقل و أثناء التخزين، ويمكن أن تتواجد بيوضها على درنات البطاطا الحديثة القلع [12]. لم تلقَ دراسة تأثير أشعة غاما على بيوض حشرة فراشة درنات البطاطا القدر الكافي من الاهتمام، ومع ذلك لابد من الإشارة إلى بعض الدراسات التي بيَّنت إمكانية إحداث تغيّرات وراثية سائدة في بيوض حشرة فراشة درنات البطاطا، بقصد استخدام الفراشات الناتجة في برامج إطلاق الذكور العقيمة [13].

نُفِّذ البحث الحالي لدراسة تأثير جرعات من أشعة غاما المثبطة لإنبات درنات البطاطا (0–75–100–125–150 غراي) على درجة حيوية مجموعات من بيوض حشرة فراشة درنات البطاطا ذات الأعمار المختلفة. كما هدفت هذه الدراسة إلى تحديد الجرعة الدنيا اللازمة لمنع فقس بيوض الحشرة، إضافة إلى متابعة تطور ونمو الأفراد الذين نجوا من الموت جرّاء عملية التشعيع.

المواد والطرائق

الحشرات

نُفِّذت التجربة على مجموعة أفراد ناتجة من التربية الدائمة للحشرة في المختبر، حيث كان يتم تجديد المستعمرة سنوياً بأفراد برّية من حشرة فراشة درنات البطاطا. تمّت تغذية اليرقات على شرائح مشمّعة من درنات البطاطا، حيث وضعت هذه الشرائح على طبقة من الرمل ضمن حاويات بلاستيكية (40–25–10 سم)، وعندما تتوقف اليرقات عن التغذية تخرج من داخل الشرائح وتتجه للأسفل للتعذر ضمن الرمل. وعند خروج الفراشات، تُجمع وتوضع ضمن علب تزاوج بلاستيكية شفّافة بحجم 800 مل (10–12 زوجاً في كلّ علبة تزاوج). تُضاف شريطة من ورق الترشيح إلى أسفل كلّ علبة كدعامة لوضع البيض ، كما يُقدَّم للفراشات الماء المحلى بتركيز 10% كمصدر للتغذية [13]. نُفِّذت التجارب عند درجة

* نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *J. Appl. Ent.*, 126: 1-5 (2002).

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

حرارة ثابتة قدرها 25±1 درجة مئوية، ورطوبة نسبية 70±5%، ونوبة ضوئية 12 ساعة ضوء : 12 ساعة ظلام.

وفي جميع التجارب، تشكّلت أزواج إفرادية من الفراشات الذكور والإناث الحديثة الظهور ضمن علب تزاوج بحجم 350 مل مصنّعة من البلاستيك الشفّاف ومزودة بدعامة من ورق الترشيح لوضع البيوض وبمصدر تغذية (10% محلول سكري). وعلى خلاف بعض أنواع الحشرات النباتية، لا تحتاج حشرة فراشة درنات البطاطا للنبات العائل كمحفز للتزاوج ووضع البيوض [14].

تشعيع البيوض بالجرعات المثبطة للإنبات

بعد إتمام عملية التزاوج والفترة اللازمة لوضع البيوض، جُمعت البيوض الحديثة الوضع من كلّ الأزواج المشكّلة، وتمّ تعدادها وقُسمت بشكل تقريبي إلى مجموعتين، خضعت الأولى لعملية التشعيع في حين احتُفظ بالمجموعة الثانية كشاهد. وضعت البيوض في علب بلاستيكية صغيرة شفّافة (4-3-2 سم) لحين الحاجة إليها.

تمّ تشعيع بيوض تنتمي إلى أعمار مختلفة: 0 - 0.5، 1 - 1.5، 2 - 2.5، 3 - 3.5، 4 - 4.5 يوم. استُخدمت في التجارب وحدة تشعيع غاما Co^{60}، نموذج Issledova صنع شركة Techsnabexport Co. Ltd, Russia، وبمعدل جرعة يبلغ 60 غراي في الدقيقة. وضمن الشروط التجريبية لهذه الدراسة تحتاج بيوض حشرة فراشة درنات البطاطا لفترة 5-5.5 يوم لإتمام تطورها.

تمّ تقطيع أوراق الترشيح الحاملة للبيوض بمعدل 60-75 بيضة لكلّ قطعة، ووضعت ضمن أنابيب بلاستيكية صغيرة، والتي وضعت بدورها ضمن حجرة التشعيع. تمّ تعريض كلّ عمر من مجموعات البيوض إلى الجرعات 0، 75 ، 100، 125 و 150 غراي. حُفظت البيوض بعد عملية التشعيع طوال فترة الحضانة. حُدّدت النسبة المئوية لفقس البيوض بعد مضي 7 أيام من التشعيع. تمّ تعريف البيوض غير الفاقسة وفق: (1) موت مبكّر للبيوض في مراحل النمو الجنيني وتكون البيوض عندها بلون أصفر غامق. (2) موت متأخر للبيوض وتكون البيوض عندها سوداء اللون كدليل على نمو الجنين ولكن لم تتمكن اليرقات من الفقس. واعتماداً على تجارب أولية، لوحظ أن البيوض المشعّة قد احتاجت إلى مدة زمنية أطول لإتمام تطورها الجنيني مقارنة مع البيوض غير المشعّة، وبالتالي فقد نُفّذت تجربة لتحديد تأثير الإشعاع على فترة حضانة البيوض. وبناءً عليه، تمّ تشعيع مجموعتين من البيوض بأعمار 3 - 3.5 و 4 - 4.5 يوم بالجرعات المشار إليها سابقاً، وتمّ تعداد البيوض الفاقسة يومياً.

تشعيع البيوض بجرع عالية

تعرّضت بيوض بأعمار 2 - 2.5، 3- 3.5، 4 - 4.5 يوم للجرعات 0، 200، 300، 400، 600، 800 و 1000 غراي. قُسمت البيوض الناتجة عن كلّ زوج إلى قسمين، تلقّت المجموعة الأولى جرعات التشعيع في حين احتُفظ بالقسم الثاني كشاهد، وتمّ تحديد الجرعة الدنيا اللازمة لمنع فقس بيوض فراشة درنات البطاطا.

تطور ونمو اليرقات الفاقسة من البيوض المشعّة وغير المشعّة

تمّ تحديد نمو تطور اليرقات الناتجة عن بيوض تعرّضت للجرعات 0، 75، 100، 125 و 150 غراي وهي بعمر 4 - 4.5 يوم. تمّت تربية وتغذية اليرقات الفاقسة على درنات بطاطا صغيرة (ذات أقطار 50-60 سم) تعرّضت إلى ذات الجرعات الإشعاعية التي تلقتها البيوض. وضعت درنات البطاطا المشعّة فوق طبقة من الرمل ضمن حاويات بلاستيكية شفّافة (20-15-10 سم). نُقلت اليرقات الحديثة الفقس إلى الدرنات (5-6 يرقات لكلّ درنة)، وتمّت مراقبتها حتى دخولها الثقوب الصغيرة التي أحدثت مسبقاً على سطوح الدرنات. جرت عملية التعذر في طبقة الرمل، وخضعت بعدها الدرنات إلى الفحص للكشف عن الإصابات الظاهرية، كما تمّ تشريحها للتأكد من وجود يرقات الفراشة في داخلها. تمّ تشكيل أزواج من الفراشات الحديثة الظهور والعائدة لكلّ جرعة من جرعات التشعيع المطبّقة. حُدّدت درجة الخصوبة والنسبة المئوية لفقس البيوض لكلّ التزاوجات المشكّلة. وبعد موت الفراشات خضعت الإناث لعملية تشريح بغية فحص القابلة المنوية وتحديد أعداد الأكياس المنوية بداخلها.

نُفّذت تجربة إضافية بقصد اختبار فرضية أن تغذية يرقات فراشة درنات البطاطا الفاقسة من بيوض طبيعية على درنات مشعّة سوف تؤدي إلى زيادة في قدرتها على البقاء، وإلى معدل نمو أسرع وزيادة في درجة خصوبتها مقارنة مع يرقات طبيعية تغذّت على درنات غير مشعّة. اتُبعت الخطوات التجريبية المشار إليها سابقاً في تنفيذ التجربة، بغية التأكد من صحة الفرضية. شُكّلت مجموعة مقارنة لهذه التجربة مؤلفة من يرقات فاقسة من بيوض مشعّة ولكن تمّت تغذيتها على درنات غير مشعّة، وبالتالي تشكّل لدينا ثلاث مجموعات اختبار: (1) يرقات فاقسة من بيوض مشعّة وتغذّت على درنات مشعّة. (2) يرقات فاقسة من بيوض مشعّة وتغذّت على درنات غير مشعّة. (3) يرقات طبيعية تغذّت على درنات مشعّة.

تحليل النتائج

طُبّق البرنامج الإحصائي الحاسوبي Stat-View [15] على مستوى ارتياب 5% (P = 0.05) لإجراء الاختبارات الإحصائية. خضعت النتائج لاختبار تحليل التباين (ANOVA)، وتمّ الفصل في درجة معنوية المتوسطات بواسطة إجراء أقل فرق معنوي (LSD). طُبّق اختبار التقريب الطبيعي لتقدير الفروقات في النسب المئوية لفقس البيوض.

النتائج

انخفضت درجة حيوية البيوض تدريجياً عند كلّ مجموعة بحسب أعمارها بزيادة الجرعة الإشعاعية المطبّقة، ومع ذلك فقد كان معدل الانخفاض واضحاً بشكل جلي عند البيوض الحديثة العمر مقارنة مع تلك المتقدمة بالعمر (الجدول 1). انخفضت النسبة المئوية لفقس البيوض إلى الصفر عند البيوض بأعمار 0 - 0.5 و 1 - 1.5 يوم وعند جميع الجرعات المطبّقة. تبيّن النتائج أن البيوض التي وصلت إلى المراحل المتأخرة من النمو الجنيني كانت أكثر مقاومة للإشعاع مقارنة مع تلك التي مازالت في مراحل نمو مبكرة. انخفضت درجة حيوية البيوض التي شُعّت بجرعة قدرها 150 غراي وهي بعمر 2.5 يوم تقريباً إلى الصفر، في حين لم يمنع التشعيع فقس البيوض التي تجاوزت أعمارها الثلاثة أيام (الجدول 1).

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

ازدادت فترة حضانة البيوض تدريجياً مع زيادة الجرعة المطبّقة، وظهرت فروقات معنوية في طول فترة الحضانة بين البيوض المشعّة بأعمار 3 - 3.5 و 4 - 4.5 يوم وبيوض الشاهد، وعند جميع الجرع المطبّقة ($F = 26.9$; d.f. = 4, 446, $F = 13.7$; d.f. = 4, 401) (الجدول 2).

ظهر موت جنيني مبكر (بيوض بلون أصفر غامق) عند تشعيع البيوض وهي بعمر 0-0.5 يوم (الجدول 3). وفي المقابل، كانت النسبة المئوية للموت الجنيني المتأخر (بيوض بلون أسود) عالية عندما تمّ تشعيع البيوض وهي بعمر 1 - 1.5 يوم وعند جميع الجرع المطبّقة. نشير إلى أنه عندما تمّ تشعيع البيوض وهي بعمر 4 - 4.5 يوم تماثلت النسبة المئوية للبيوض غير الفاقسة وهي بلون أسود مع تلك المسجّلة عند جرعة الشاهد.

تمّت دراسة تأثير جرعات من أشعة غاما أعلى من تلك المطبّقة لتثبيط إنبات درنات البطاطا بقصد تحديد الجرعة الدنيا اللازمة لمنع فقس بيوض حشرة فراشة درنات البطاطا. فعند الجرعة 200 غراي، لم تفقس البيوض التي شُعّعت وهي بعمر 2-2.5 يوم، وعند الجرعة 400 غراي فقس فقط ما نسبته 1% من البيوض التي شُعّعت وهي بعمر 3 - 3.5 يوم، في حين

الجدول 1- تأثير أشعة غاما على النسبة المئوية لفقس بيوض فراشة درنات البطاطا ذات الأعمار المختلفة.

الجرعة	متوسط النسبة المئوية لفقس البيوض لكل فئة من الأعمار				
غري	بعمر ٠-٠,٥ يوم	بعمر ١-١,٥ يوم	بعمر ٢-٢,٥ يوم	بعمر ٣-٣,٥ يوم	بعمر ٤-٤,٥ يوم
0	80.1±4.7a	78.2±5.9a	81.1±4.9a	83.5±8.6a	78.9±5.3a
75	0.0±0.0b	1.1±0.9b	20.4±15.5b	54.9±13.7b	61.2±11.9b
100	0.0±0.0b	0.8±0.6b	13.5±9.9b	41.1±15.9c	55.7±10.8b
125	0.0±0.0b	0.0±0.0b	6.2±3.9bc	30.9±16.2cd	50.8±4.1bc
150	0.0±0.0b	0.0±0.0b	1.1±0.9c	17.8±10.6d	43.1±5.8c

المتوسطات ± الخطأ القياسي لخمسة مكرّرات. المتوسطات ضمن العمود والتي تحمل الحرف نفسه غير مختلفة إحصائياً، اختبار تحليل التباين.

الجدول 2- تأثير أشعة غاما على النسبة المئوية لبيوض فراشة درنات البطاطا غير الفاقسة وهي في مرحلة متقدمة من النمو الجنيني

الجرعة	النسبة المئوية للبيوض غير الفاقسة لكل فئة من الأعمار				
(غري)	بعمر ٠ - ٠,٥ يوم	بعمر ١ - ١,٥ يوم	بعمر ٢ - ٢,٥ يوم	بعمر ٣ - ٣,٥ يوم	بعمر ٤ - ٤,٥ يوم
0	16.9ab	19.2a	17.1a	15.2a	14.1a
75	20.2a	82.7b	28.7a	30.9ab	17.1a
100	22.8a	81.9b	50.1b	37.5bc	12.5a
125	7.6bc	76.2b	62.9bc	48.5bc	21.5a
150	1.9c	80.1b	71.4c	49.3cd	22.6a

النسب المئوية ضمن العمود والتي تحمل الحرف نفسه غير مختلفة إحصائياً، اختبار تحليل النسب.

الجدول 3- الجرع الدنيا من أشعة غاما اللازمة لتثبيط فقس بيوض فراشة درنات البطاطا ذات الأعمار المختلفة.

الجرعة (غري)	متوسط النسبة المئوية لفقس البيض لكل فئة من الأعمار		
	بعمر ٢ - ٢,٥ يوم	بعمر ٣ - ٣,٥ يوم	بعمر ٤ - ٤,٥ يوم
200	0.0±0.0	12.2±9.2a	40.1±4.5a
300	–	1.2±0.9b	31.2±8.2b
400	–	0.0±0.0b	21.5±7.7c
600	–	–	15.2±9.1c
800	–	–	3.7±2.1d
1000	–	–	0.2±0.1d

المتوسطات ± الخطأ القياسي لثلاثة مكرّرات. المتوسطات ضمن العمود والتي تحمل الحرف نفسه غير مختلفة إحصائياً، اختبار تحليل التباين.

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

احتاجت البيوض التي عمرها 4-4.5 يوم لجرعة مقدارها 1 كيلوغراي لتثبيط فقسها كلياً (الجدول 4).

لم تظهر اختلافات معنوية في معدل النمو والخصوبة والنسبة المئوية لفقس البيوض بين يرقات حشرة فراشة درنات البطاطا الفاقسة من بيوض مشعَّعة والتي تغذَّت على درنات بطاطا مشعَّعة مقارنة مع تلك التي تغذَّت على درنات غير مشعَّعة (الجدول 5). فعند الجرعة 75 غراي، تمَّ الحصول على بعض الفراشات المشوَّهة (فراشات صغيرة الحجم وبأجنحة مرتبطة وملتوية). وعندما تمَّ تشكيل أزواج من هذه الفراشات تبيَّن أن الفراشات كانت غير خصبة لأنها كانت غير قادرة على تحقيق أية عملية تزاوج، في حين استطاعت، عند الجرعتين 100 و 125 غراي، ما نسبته 10% من اليرقات أن تتعذر من دون أن تتحول إلى فراشات. وقد أخفقت اليرقات في تجاوز منتصف مرحلة النمو اليرقي عند الجرعة 150 غراي. وفي المقابل، لم تظهر اختلافات معنوياً في كلٍّ من معدل النمو والخصوبة والنسبة المئوية لفقس البيوض عند اليرقات الفاقسة من بيوض غير مشعَّعة وتغذَّت على درنات بطاطا مشعَّعة مقارنة مع الشاهد وعند جميع الجرع المطبَّقة.

الجدول 4- تأثير أشعة غاما على مدة الحضانة عند بيوض فراشة درنات البطاطا، وعلى درجة حرارة 1±20 مئوية.

عمر البيوض وقت التشعيع (يوم)	الجرعة (غراي)			
	75	100	125	150
	متوسط طول مدة الحضانة (يوم)			
3-3.5	5.2±0.7a	6.1±0.9b	6.2±1.1b	6.5±0.8b	6.5±1.1b
4-4.5	5.3±0.9a	5.5±0.6a	5.7±0.7b	6.0±0.9b	6.1±0.9b

المتوسطات ± الخطأ القياسي لثلاثة مكررات. المتوسطات ضمن السطر والتي تحمل الحرف نفسه غير مختلفة إحصائياً، اختبار تحليل التباين.

الجدول 5- مدة التطور، والنسبة المئوية للمتعذّر وخروج الفراشات، والقدرة على التزاوج، ودرجة الخصوبة عند فراشة درنات البطاطا التي تعرَّضت لأشعة غاما وهي في مرحلة البيضة بعمر 4 - 4.5 يوم، وتمّت تغذية اليرقات الفاقسة على درنات بطاطا مشعَّعة أو طبيعية.

كيفية تغذية اليرقات	الجرعة (غراي)	عدد اليرقات المختبرة	متوسط مدة التطور (يوم)	النسبة المئوية للتعذر	النسبة المئوية لخروج الفراشات	النسبة المئوية للقدرة التزاوجية	عدد البيوض لكل انثى	النسبة المئوية لفقس البيوض
يرقات طبيعية تغذت على درنات مشععة	0	80	24.9±2.4a	72.2a	62.1a	94a	95.2±41.7a	72.2±13.4a
	75	88	25.5±1.2a	76.1a	66.4a	89a	87.1±38.2a	72.9±14.7a
	100	85	24.1±2.5a	66.3a	56.2a	93a	83.2±47.4a	74.1±12.3a
	125	80	24.5±2.2a	78.1a	64.1a	90a	90.8±30.4a	75.1±16.3a
	150	78	25.2±2.1a	64.9a	54.8a	93a	91.3±32.3a	69.8±13.4a
يرقات ناتجة عن بيوض مشععة و تغذت على درنات مشععة	0	103	23.6±1.4a	78.4a	70.8a	91a	85.2±33.4a	71.2±11.4a
	75	94	24.8±0.4a	22.2b	9.7b	0b	–	–
	100	98	–	10.2c	0c	–	–	–
	125	83	–	9.6c	0c	–	–	–
	150	84	–	0d	0c	–	–	–
يرقات ناتجة عن بيوض مشععة و تغذت على درنات غير مشععة	0	89	24.1±1.4a	73.1a	68.5a	94a	90.2±43.4a	70.8±15.4a
	75	81	24.6±0.8a	22.1b	11.1b	0b	–	–
	100	105	–	7.8c	0c	–	–	–
	125	73	–	8.2c	0c	–	–	–
	150	64	–	0d	0c	–	–	–

المتوسطات ضمن العمود والتي تحمل الحرف نفسه غير مختلفة إحصائياً، اختبار تحليل التباين. النسب المئوية ضمن العمود والتي تحمل الحرف نفسه غير مختلفة إحصائياً، اختبار تحليل النسب.

المناقشة

تسعى الدراسة الحالية إلى الكشف عن إمكانية استخدام جرع من أشعة غاما المثبطة لإنبات درنات البطاطا كوسيلة مقاومة كامنة ضد بيوض حشرة فراشة درنات البطاطا، وبالتالي فإن تقدير مدى ملاءمة التشعيع كوسيلة حجر زراعي لتعقيم درنات البطاطا من بيوض حشرة فراشة درنات البطاطا لا يدخل ضمن أهداف الدراسة الحالية.

من المتفق عليه بشكل واسع أنه عند تشعيع البيوض الحديثة العمر تُعدّ النسبة المئوية لفقس البيوض صفة تقديرية ملائمة لدراسة تأثير الإشعاع، أما عند تعريض بيوض متقدمة في العمر للإشعاع، لا يمكن اعتبار النسبة المئوية لفقس البيوض صفة تقديرية مناسبة [16،17]. أخفقت بيوض حشرة فراشة درنات البطاطا الحديثة العمر (أقلّ من 2.5 يوم) من الفقس عندما تمّ تعريضها لجرعة قدرها 150 غراي، في حين انخفضت النسبة المئوية للفقس عند البيوض المتقدمة في العمر، وبالتالي تُعدّ درجة تطور البيوض أساسية وهامة جداً في تقدير تأثير الإشعاع على بيوض فراشة درنات البطاطا (على سبيل المثال، كانت درجة حيوية البيوض عالية عندما تمّ تعريضها لجرعة قدرها 150 غراي وهي بعمر 4 - 4.5 يوم). تتشابه النتائج المتحصّل عليها من الدراسة الحالية مع تلك المتعلقة بأنواع أخرى من رتبة حرشفية الأجنحة [18،19].

تشير النتائج المتعلقة بدرجة حيوية البيوض التي وصلت إلى مراحل متطورة من النمو الجنيني إلى أن الفروقات الملاحظة ترتبط مع كلّ مجموعة من أعمار البيوض المختبرة (الجدول 3). فقد تمّ الحصول على نسبة عالية من الموت الجنيني المتأخر عند تشعيع البيوض وهي بعمر 1 - 1.5 يوم، مما يدل على أن مراحل التطور الجنيني استمرت رغم تشعيع البيوض. تؤكد هذه النتيجة حقيقة أن الجرع المطبّقة في هذه الدراسة لا تستطيع أن توقف النمو الجنيني عند بيوض حشرة فراشة درنات البطاطا، ما عدا تلك التي تعرّضت للتشعيع بجرعتي 125 و 150 غراي وهي بعمر 0 - 0.5 يوم. ومع ذلك، ازدادت النسبة المئوية للموت الجنيني عندما ازدادت الجرعة المطبّقة وانخفضت مع ازدياد أعمار البيوض وقت التشعيع.

ازداد الوقت اللازم لفقس البيوض بمقدار 21% و 26% مقارنة مع الشاهد عندما تعرّضت البيوض لجرعة مقدارها 150 غراي وهي بأعمار 3 - 3.5 و 4 - 4.5 يوم، على التالي. يذكر الباحث هوف Hough [20] أن فترة الحضانة عند بيوض حشرة دودة ثمار التفاح Cydia pomonella (L.) قد ازدادت عند تعريضها لجرع من أشعة غاما تراوحت بين 80–230 غراي.

إن معرفة حسن أداء يرقات حشرة فراشة درنات البطاطا الفاقسة من البيوض المشعَّعة، والتي تغذّت على درنات مشعَّعة، تكتسب أهمية بالغة في هذه الدراسة. تُعدّ النسبة المئوية للموت عند اليرقات والعذارى، وقدرة الفراشات الفاقسة على تحقيق عمليات تزاوج ناجحة، وإنتاج أفراد خصبة في الجيل الأول عند تشعيع بيوض وهي بعمر 4 - 4.5 يوم، صفات تقديرية مناسبة. فقد واجهت اليرقات مصاعب شديدة في قدرتها على البقاء عندما تمّ تعريض البيوض لجرعة مقدارها 75 غراي، والدليل على ذلك أن قلّة منها استطاع أن يتعذّر، والفراشات القليلة الناتجة كانت مشوّهة وغير قادرة على التكاثر. استطاعت بعض اليرقات الوصول إلى مرحلة العذراء دون أن تتحوّل إلى فراشات عند الجرعتين 100 و125 غراي. في حين لم تتمكّن اليرقات من النمو وبلوغ مرحلة التعذر عند الجرعة 150 غراي (الجدول 4).

يذكر الباحث سعور ورفاقه Saour et al [21] أن معدل تطور ونمو حشرة فراشة درنات البطاطا يُعدّ دليلاً على التغيّرات التي تطرأ على القيمة الغذائية لأوراق ودرنات نبات البطاطا. تشير الدراسة الحالية إلى غياب أي نوع من التغيّرات في النمو والتطور عند اليرقات الناتجة من بيوض غير مشعَّعة وتغذّت على درنات مشعَّعة. لا تدعم هذه النتيجة الفرضية الابتدائية التي تدّعي أن درنات البطاطا المشعَّعة بالجرع المثبطة للإنبات سوف تؤثر إيجاباً أو سلباً على أداء حشرة فراشة درنات البطاطا، بيد أنها مع ذلك تقدّم دليلاً إضافياً على أن المعاملة الإشعاعية لتثبيط إنبات درنات البطاطا لا تحمل أية تأثيرات جانبية سلبية على الدرنات.

وبصرف النظر عن مراحل تطور البيوض، فإن جرعة دنيا مقدارها 1 كيلو غراي كانت لازمة للقضاء على بيوض فراشة درنات البطاطا. ولسوء الحظ، لا يمكننا تطبيق جرعات بهذا المقدار على درنات البطاطا، لأن جرعاً أدنى من ذلك (150–200 غراي) يمكن لها أن تسبب عدداً من التأثيرات الجانبية غير المرغوبة (زيادة في التلون نحو الأسود أو البني)، أو التحولات الكيميائية غير المرغوب بها (زيادة الطعم الحلو وانخفاض محتوى الفيتامينات)، والتي – في المحصلة – سوف تخفض من القيمة الغذائية أو تسيء إلى المواصفات الذوقية للدرنات [22].

تقترح الدراسة الحالية أن تعريض درنات البطاطا لجرعتي 125 و 150 غراي من أشعة غاما، والتي ثبتت فعاليتهما في تثبيط إنبات درنات البطاطا، يمكن أن يشكّل وسيلة فعّالة لحماية الدرنات من الإصابة بفراشة درنات البطاطا. تقود هذه النتيجة إلى الاستنتاج بأن للناحية الاقتصادية أهمية بالغة في تشعيع البطاطا بأشعة غاما بحدود الجرعات المعتمدة لتثبيط إنبات الدرنات.

المراجع REFERENCES

[1] LIU, M. S.; CHEN, R. Y.; TSAI, M. J., 1990: Effect of low-temperature storage, gamma irradiation and iso-propyl-N-(3-chlorophenyl carbamate) treatment on the processing quality of potatoes. J. Sci. Food Agric. 53, 1-13.

[2] VAUGHN, S. F.; SPENCER, G. F., 1991: Volatile monoterpenes inhibit potato tuber sprouting. Am. Potato J. 68, 821-831.

[3] SANTA CRUZ, S., 1977: Study on public acceptance of irradiated potatoes. Food-irradiation Information. IAEA, Vienna, Austria. 7, 31-38.

[4] THOMAS, P.; SPARKS, W. C., 1984: Radiation preservation of foods of plant origin. Part I. Potatoes and other tuber crops. CRC Crit Rev. Food Sci. Nutr. 19, 327-379.

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

[5] SATTAR, A., 1996: Irradiation preservation of onions, potatoes, spices and poultry meat. Proc. of a final research co-ordination meeting on food irradiation with emphasis on process control and acceptance in Asia. IAEA, Vienna, Austria. 317 p. 51-67.

[6] TAKEHISA, M.; ITO, H., 1986: Experience of food irradiation in Japan. Food Rev. Int. 2, 19-44.

[7] AOKI, S.; KAMEYAMA, K.; UMEDA, K., 1983: Long term storage of irradiated potatoes for processing use. Rept. Nalt. Food Res. Inst. 43, 94-100.

[8] AHMED, M.; KARIM, A.; QUAIYUM, M. A.; BHUIYA, A. D.; MATIN, M. A.; SIDDIQUI, A. K.; HOSSAIN, M. M., 1989: Economic feasibility studies on radiation preservation of dried and cured fishery products, onions and potatoes. Final results of a co-ordinated research program of the Joint FAO/IAEA Div. of Nuclear Techniques in Food and Agriculture, Vienna, Austria. 139 p. 29-75.

[9] KINSARA, A. A; ABULFARAJ, W. H.; MAMOON, A. M.; KAMAL, S. E., 1996: Economic feasibility study of potato preservation by irradiation in Saudi Arabia. Proc. of the third Radiation Physics Conference, 13 - 17 Nov 1996 Cairo, Egypt. Ed. by GOMAA et al. Atomic Energy Establishment, Cairo, Egypt. 332 p. 49 - 59.

[10] RAMAN, K. V.; PALACIOS, M., 1982; Screening potato for resistance to potato tuber worm. J. Econ. Entomol. 75, 47 - 48.

[11] FENEMORE, P. G., 1988: Host - plant location and selection by adult potato moth Phthorimaea operculella (Lep., Gelechiidae): a review. J. Insect Physiol. 34, 175 - 177.

[12] BROODRYK, S. W., 1971: Ecological investigations on the potato tuber moth, Phthorimaea operculella (Lep., Gelechiidae). Phytophylactica 3, 73-84.

[13] RANANAVARE, H. D.; HARWALKAR, M. R.; RAHALKAR, G. W., 1989: Control of potato tuberworm, Phthorimaea operculella (Zeller) (Lep., Gelechiidae): Effect of gamma-irradiation on developmental stages. JEN. Nuclear Agric. Biol. 18, 71-78.

[14] SAOUR, G.; MAKEE H., 1997: Radiation induced sterility in male potato tuber moth Phthorimaea operculella (Lep., Gelechiidae). J. Appl. Ent. 121, 411-415.

[15] ABACUS CONCETS, 1994. StatView, version 4.02. Abacus Concepts, Berkeley, CA.

[16] FENEMORE, P. G., 1978: Oviposition of potato tuber moth, Phthorimaea operculella Zeller (Lep., Gelechiidae); the physical nature of the oviposition substrate. N.Z. J. Zool. 5, 591-599.

[17] BURDITT, A. K. Jr.; HUNGATE, F. P., 1989: Gamma irradiation as a quarantine treatment for apples infested by codling moth (Lep., Tortricidae). J. Econ. Entomol. 82, 1386-1390.

[18] TOBA, H. H.; MOFFITT, H. R., 1996: Posttreatment development and fertility of nondiapausing codling moth (Lep., Tortricidae) larvae and their progeny following gamma irradiation. J. Econ. Entomol. 89, 56-62.

[19] TOBA, H. H.; BURDITT, A. K., 1992: Gamma irradiation of codling moth (Lep., Tortricidae) eggs as a quarantine treatment. J. Econ. Entomol. 85, 464-467.

[20] HOUGH, W. S., 1963: Effects of gamma radiation on codling moth eggs. J. Econ. Entomol. 56, 660-663.

[21] TILTON, E. W.; BROWER, J. H., 1983: Radiation effects on arthropods. In Preservation of Food by Ionizing Radiation. Vol. II. Ed. by JOSEPHSON, E. S.; PETERSON, M. S. CRC Press Inc. Boca Raton (Pubs), Fla. 269-316.

[22] SAOUR, G.; MAKEE, H.; AL-OUDAT, M., 1999. Susceptibility of potato plants grown from tubers irradiated with stimulation doses of gamma irradiation to potato tuber moth, Phthorimaea operculella (Zeller) (Lep., Gelechiidae). JEN. Appl. Ent. 123, 159-164.

[23] MATSUYAMA, A.; UMEDA K., 1983: Sprout Inhibition in tuber and bulbs. In: Preservation of Food by Ionizing Radiation. Vol. III. Ed. by JOSEPHSON, E. S.; PETERSON, M. S. CRC Press Inc. Boca Raton (Pubs), Fla. 159-213.■

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

تأثير رطوبة التربة والسماد البوتاسي على تكوين العقد الجذرية وإنتاج المادة الجافة وتثبيت الآزوت الجوي في الحمّص (Cicer arietinum L.) والفول (Vicia faba L.) ★

د. فواز كرد علي – فريد العين – محمد الشماع
قسم الزراعة – دائرة تغذية النبات – هيئة الطاقة الذرّية – ص. ب 6091 – دمشق – سورية.

ملخص

جرى تقدير تأثير إضافة ثلاثة معدّلات من السماد البوتاسي (0 و 75 و150 كغ K_2O/ هـ) على تكوين العقد الجذرية وإنتاج المادة الجافة وتثبيت الآزوت الجوي في نباتي الحمّص والفول المزروعين في أصص بوجود ثلاثة مستويات من الرطوبة (منخفضة 45-50%؛ ومتوسطة 55-60%؛ ومرتفعة 75-80% من السعة الحقلية). استُعملت طريقة التخفيف النظيري للآزوت ^{15}N لحساب كفاءة تثبيت الآزوت الجوي باستعمال نمط جيني من الحمّص، غير مثبت للآزوت الجوي، كنبات مرجعي.

أظهرت الدراسة وجود تأثير معنوي لنقص رطوبة التربة على تكوين العقد الجذرية وإنتاج المادة الجافة والآزوت المثبّت في النوعين المدروسين. كان تأثير الإجهاد المائي على النسب المئوية للآزوت المثبّت أكثر حدةً في نبات الحمّص (11-58%) منه في نبات الفول (68-81%)، وذلك في معاملتي الرطوبة المنخفضة والمرتفعة على التتالي. وأدّى التسميد البوتاسي إلى زيادة معنوية في إنتاج المادة الجافة وكمّية الآزوت المثبّت في الفول فقط، على الرغم من النقص الحادّ في رطوبة التربة. في حين لم تختلف النسب المئوية للآزوت المثبّت في النباتات المعرّضة لإجهاد جفاف مرتفع، رغم إضافة البوتاسيوم إلى النوعين المدروسين. لذلك يكمن التأثير الإيجابي للتسميد البوتاسي في الفول المتعرّض إلى إجهاد الجفاف في تحسين نمو النبات أكثر من تأثيره في كفاءة تثبيت الآزوت الجوي. أما في ظروف رطوبة التربة الجيدة، تكون متطلبات المنظومة التعايشية لعنصر البوتاسيوم مرتفعة بهدف تحسين النمو وتثبيت الآزوت الجوي.

الكلمات المفتاحية: بوتاسيوم، إجهاد الماء، تثبيت الآزوت الجوي

مقدمة

إن عملية تثبيت الآزوت الجوي في النباتات البقولية تفيد في تحسين الإنتاج كمّاً ونوعاً. وتعتمد هذه العملية على التأثير المتبادل بين الريزوبيا المتواجدة في العقد الجذرية والنبات المضيف، حيث تتأثر العلاقة بينهما بالظروف البيئية المحيطة التي تؤثر بدورها في نمو النبات، وفي وظيفة العقد الجذرية، وبالنتيجة، في كفاءة عملية تثبيت الآزوت الجوي.

يُعدّ الفول والحمّص والعدس من المحاصيل البقولية الحبّية الهامة في حوض البحر الأبيض المتوسط، والتي تُزرع ضمن الظروف البعلية، حيث يُعدّ الجفاف من المشاكل الرئيسة التي تؤثر سلباً في نموها وفي كفاءة تثبيت الآزوت الجوي [1، 2].

إن زيادة الكفاءة التثبيتية للآزوت الجوي في الأنظمة الزراعية ذات أهمية كبيرة لزيادة الإنتاج ولتحسين أداء هذه الأنظمة في مناطق الزراعة البعلية من حوض البحر الأبيض المتوسط. ففي دراسة على الحمّص الشتوي المزروع ضمن الظروف البعلية [1]، تبيّن وجود انخفاض حادّ في رطوبة التربة بعد مرحلة الإزهار، وقد أدّى ذلك إلى انخفاض ملحوظ في الكفاءة التثبيتية للآزوت الجوي وإلى انتقال جوهري للآزوت والفسفور من الأجزاء الخضرية إلى القرون. ونظراً لأن مياه الرّي غير متوفرة بشكل دائم في المناطق الجافة وشبه الجافة، فهنالك طرائق أخرى يمكن الاستفادة منها لخفض مشكلة الجفاف الذي تتعرّض له النباتات خلال مرحلة نموها التكاثرية. لقد بيّنت دراسات عديدة أهمية عنصر البوتاسيوم في تحسين مقاومة النباتات لعوامل الإجهاد اللاحيوية وخاصّة الجفاف [3]، حيث يكمن دور هذا العنصر في تنظيم عمل الثغور التنفسية في الأنسجة [4]. وقد تبيّن مؤخراً أن التسميد البوتاسي يمكن أن يؤدي – عند تعرُّض النباتات للجفاف – إلى تخفيف الضرر الناجم عن هذا الإجهاد في العديد من المحاصيل البقولية، كالفاصولياء والفول [5، 6].

ونظراً لتعرُّض النباتات البقولية، المزروعة عادة في المناطق البعلية من سورية، إلى فترات من الجفاف، تترافق غالباً مع مرحلة الإزهار وتشكّل القرون [1، 2]، فقد هدفت هذه الدراسة إلى توضيح تأثير معدّلات مختلفة من السماد البوتاسي على إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلّي وكفاءة تثبيت الآزوت الجوي في نباتات الفول والحمّص النامية في تربة بوجود مستويات مختلفة من الرطوبة، خضعت لها النباتات بدءاً من مرحلة ظهور البراعم الزهرية.

★ نشرت ورقة البحث هذه في مجلة *Journal of Plant Nutrition*, 25 (2), 355-368 (2002).

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

المواد والطرائق

خواص التربة والمادة النباتية

أُجريت التجربة في أصص سعة 2 كغ مملوءة بتربة ذات المواصفات الكيميائية والفيزيائية التالية:

pH: 8.3، Ec_e: 0.5dS m^{-1}، الكاتيونات (Ca^{2+} 1.33, Mg^{2+} 3.17, K^+ 0.1, Na^+ 2.2 mmol (e) L^{-1})، الأنيونات (SO_4^{2-} 1.84, HCO_3^- 2.1, Cl^- 2.83 mmol (e) L^{-1})؛ الفسفور المتاح 15.45 µg g^{-1} (أولسن)؛ الآزوت الكلّي 0.05%، NO_3^-: 2.77 µg g^{-1}؛ NH_4^+: 16.48 µg g^{-1}. 54% طين، 32.5 طمي، 13.3 رمل.

زُرعت بذور الحمّص (c.v. ILC482) وبذور الفول (بلدي) إضافة إلى طراز ورائي من الحمّص غير مثبّت للآزوت الجوي (PM-233) بصفة نبات مرجعي (ICARDA)، ووضِعَت الأصص ضمن ظروف مناخية طبيعية، وقد احتوى كلّ أصيص نباتاً واحداً. ونظراً لملاحظة تشكّل عقد جذرية وفيرة على جذور هذه الأنواع البقولية التي تُزرع عادة في المنطقة، التي جُمعت منها التربة لإجراء تجربة الأصص هذه، فإن بذور النباتات لم تُلقّح بالريزوبيا.

إضافة ^{15}N والمعاملات

استُخدم تصميم القطاعات العشوائية الكاملة بأربعة مكرّرات و 9 معاملات. بلغ عدد الأصص لكلّ نوع نباتي ستة وثلاثين، وزِّعت ضمن ثلاث مجموعات (12 أصيصاً ضمن كلّ مجموعة)، بحيث أُضيف لكلّ منها المعدّلات التالية من السماد البوتاسي: K0 شاهد، K1 75 كغ و K2 150 كغ K_2O /هـ، وذلك بعد ظهور الورقة الحقيقية الأولى. أُضيف لكلّ أصيص آزوت بمعدّل 20 كغ N/هـ سماد اليوريا بنسبة إغناء مقدارها 9.6337% فوق الحدّ الطبيعي لحساب كفاءة تثبيت الآزوت الجوي. تمّ تنظيم عملية ري الأصص جميعاً بالحفاظ على رطوبة التربة عند 75% من السعة الحقلية، وذلك في الفترة الواقعة بين الإنبات وحتى بدء ظهور البراعم الزهرية (بحدود 8 أسابيع). وزِّعت كلّ واحدة مجموعة - بعد ذلك - إلى ثلاث مجموعات (أربعة أصص)، خضعت كلّ واحدة منها إلى معاملة رطوبة مختلفة حتى بدء مرحلة تشكّل القرون:

Fc1: محتوى رطوبة منخفض 45-50% من السعة الحقلية.

Fc2: محتوى رطوبة معتدل 55-60% من السعة الحقلية.

Fc3: محتوى رطوبة مرتفع 75-80% من السعة الحقلية.

وزنت الأصص جميعاً مرّة كلّ ثلاثة أيام للوصول إلى مستوى الرطوبة المقرّر لكلّ مجموعة، مع مراعاة عدم حدوث صرف لمياه الري، كما تمّت إزالة الأعشاب الضارّة دورياً.

الاعتيان والتحاليل

حُصدت النباتات بعد 12 أسبوعاً من الإنبات، وجرى تقدير الوزن الجاف لكامل النبات وللعقد الجذرية، وذلك بتجفيف العيّنات في درجة حرارة قدرها 70 مئوية لمدة 72 ساعة. قُدِّر الآزوت الكلّي وفق طريقة كلداهل، وحُدِّدت $^{15}N/^{14}N$% باستخدام جهاز المطياف الضوئي (Emission Spectrometer, Jasco-150, Japan). واستُخدمت معادلة Fried and Middelboe [7] لحساب النسب المئوية للآزوت المثبّت. كما خضعت البيانات إلى تحليل التباين ANOVA وحسب أقلّ فرق معنوي على مستوى 0.05، لتبيان معنوية الفروقات بين متوسطات المعاملات المدروسة.

النتائج

إنتاج المادة الجافة

كان لمعاملات الرطوبة المختلفة ومعدّلات السماد البوتاسي تأثير معنوي في إنتاج المادة الجافة لنباتات الفول (الجدول 1). كان أقلّ إنتاج للمادة الجافة (4.3 غ) في النباتات غير المسمّدة التي تعرّضت إلى إجهاد رطوبي مرتفع (Fc1)، في حين أدّت إضافة السماد البوتاسي K1 و K2، في معاملة الرطوبة هذه، إلى زيادة معنوية في إنتاج المادة الجافة للفول مقارنة بالشاهد K0، حيث بلغت القيم 6.3 و 7.33 غ/ نبات على التتالي، أي بزيادة عن الشاهد مقدارها 46 و69% في K1 وK2 على التتالي. أما في المعاملة ذات المستوى المعتدل من الرطوبة (Fc2)، كانت القيم متقاربة بين المعاملتين K1 و K2 (7.7 و7.5 غ/ نبات) ومتفوقة معنوياً عن الشاهد (6.6 غ/ نبات)، أي بمعدّل زيادة مقدارها في حدود 15%. لوحظت أعلى قيمة للمادة الجافة (9.3 غ/ نبات) في النباتات، المروية بشكل جيد، والتي أضيف إليها معدّل مرتفع من السماد البوتاسي (Fc3K2)، حيث بلغت الزيادة بحدود 23% من الشاهد، في حين لم تُلاحظ فروقات معنوية في قيم المادة الجافة بين المعاملتين K0 وK1 ، في معاملة الرطوبة هذه (Fc3)، حيث بلغت القيم 7.6 و 8 غ/ نبات، على التتالي.

عند إجراء المقارنة بين مستويات الرطوبة في كلّ معاملة سمادية على حدة وُجِدَ أنه في المعاملة K0 أدّت زيادة الرطوبة من Fc1 إلى Fc2، أو من Fc1 إلى Fc3، أو من Fc2 إلى Fc3، إلى زيادة معنوية في إنتاج المادة الجافة للفول بمعدّل 53% و 74% و 14% على التتالي، في حين كانت نسب الزيادة في المعاملة K1 بمعدّل 21% و 26% و7%، وفي المعاملة K2 بلغت 2% و 27% و 25%بالترتيب المذكور. إضافة لما سبق، يُلاحظ من الجدول 1 أن إنتاج المادة الجافة لنباتات الفول المعرّضة إلى إجهاد رطوبي مرتفع (Fc1)، والتي سُمِّدت بالمعدّل K2، كان مساوياً للقيم الملاحظة في معاملات الرطوبة الأخرى، باستثناء المعاملة Fc3K2.

لم يُلاحظ أي أثر معنوي لإضافة السماد البوتاسي في نباتات الحمّص وذلك في المعاملة ذات المستوى المنخفض من الرطوبة (Fc1)، وكان إنتاج المادة الجافة عند هذا المستوى منخفضاً. ازداد إنتاج المادة الجافة في النباتات عند زيادة رطوبة التربة إلى المستويين Fc2 و Fc3، مع عدم وجود فروقات معنوية بينهما في كلّ معاملة سمادية على حدة. غير أن إضافة معدّل مرتفع من السماد البوتاسي، وبوجود مستوى مرتفع من الرطوبة Fc3K2 أدّى إلى زيادة معنوية في إنتاج المادة الجافة مقارنة بالشاهد غير المسمّد Fc3K0، حيث كانت القيم 4.3 و 3.5 غ/ نبات، على التتالي، أي بزيادة قدرها 23% (الجدول 1).

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

الآزوت الكلّي

كان منحى استجابة نبات الفول للتسميد البوتاسي ولرطوبة التربة من حيث كمّيات الآزوت المتراكمة شبيهاً - إلى حدٍّ ما - بمنحى إنتاج المادة الجافة (الجدول 1). فقد أدّت إضافة السماد البوتاسي إلى زيادة كمّيات الآزوت المتراكمة في نباتات الفول، وذلك في معاملات الرطوبة كافة. كذلك، أدّت زيادة رطوبة التربة إلى زيادة الآزوت الكلّي في النباتات عموماً. كان أدنى معدّل للآزوت المتراكم (136 ملغ N/ نبات) في النباتات غير المسمّدة K0، وذلك في معاملة الرطوبة Fc1. أدّت إضافة السماد البوتاسي K1 و K2 ، في المعاملة ذات المستوى المنخفض من الرطوبة (Fc1)، إلى زيادة معنوية في الآزوت الكلّي للفول مقارنة بالشاهد K0، حيث بلغت هذه الزيادة القيم 186 و 208 ملغ N/ نبات، على التتالي، أي بزيادة عن الشاهد مقدارها 37 و53%، أمّا في المعاملة ذات المستوى المعتدل من الرطوبة (Fc2)، كانت القيم متقاربة بين المعاملتين K1 وK2 (247 و250 ملغ N/ نبات) ومتفوقة معنوياً عن الشاهد (208 ملغ N/ نبات)، أي بمعدّل زيادة مقدارها 20% تقريباً. وفي المعاملة ذات المحتوى الرطوبي المرتفع (Fc3)، بلغت القيم في المعاملات K0 وK1 و K2 241 و 246 و 308 ملغ N/ نبات، على التتالي. وكانت الزيادة معنوية فقط بين المعاملتين K0 و K2، وذلك بمعدّل 28%.

عند إجراء المقارنة بين مستويات الرطوبة في كلّ معاملة سمادية على حدة، نجد أنه في المعاملة K0 أدّت زيادة الرطوبة من Fc1 إلى Fc2، أو من Fc1 إلى Fc3، أو من Fc2 إلى Fc3، إلى زيادة معنوية في إنتاج المادة الجافة للفول بمعدّل 52% و 78% و 17% على التتالي، في حين بلغت نسب الزيادة في المعاملة K1 33% و33% و 0%، وبلغت في المعاملة K2 20% و48% و 22% بالترتيب المذكور.

لم يُلاحَظ أي تأثير معنوي لإضافة السماد البوتاسي على زيادة كمّيات الآزوت في نباتات الحمّص، وذلك في المعاملة ذات المستوى المنخفض من الرطوبة (Fc1)، وكانت تلك الكمّيات (66 ملغ N/ نبات بالمتوسط) قليلة عند هذا المستوى (الجدول 1). ازداد الآزوت الكلّي في النباتات عند زيادة رطوبة التربة إلى المستويين Fc2 و Fc3 مع عدم وجود فروقات معنوية بينهما في كلّ معاملة سمادية على حدة، باستثناء المعاملة K2. ومن الجدير ذكره أن إضافة معدّل مرتفع من السماد البوتاسي بوجود مستوى مرتفع من الرطوبة Fc3K2 أدّت إلى زيادة معنوية في كمّية الآزوت الكلّي في نباتات الحمّص مقارنة بالشاهد غير المسمّد Fc3K0، حيث كانت القيم 149 و 122 ملغ N/ نبات على التتالي.

الوزن الجاف للعقد الجذرية

يُلاحَظ من الشكل 1 تفوقٌ معنوي لمعاملة الرطوبة Fc3 في نبات الفول على معاملات الرطوبة الأدنى، مع ملاحظة عدم وجود أثر معنوي للسماد البوتاسي ضمن كلّ معاملة رطوبة على حدة، في حين كان تأثير مستوى رطوبة التربة في الحمّص أكثر منه في الفول. فقد ازدادت الأوزان الجافة للعقد الجذرية لنباتات الحمّص معنوياً مع زيادة رطوبة التربة. ولم تؤدِّ إضافة السماد البوتاسي إلى تغيّر معنوي في الوزن الجاف للعقد الجذرية بين المعاملتين Fc1 و Fc2. غير أن إضافة معدّل مرتفع من السماد البوتاسي بوجود مستوى رطوبة مرتفع (Fc3K2) أدّى إلى زيادة معنوية في الوزن الجاف للعقد الجذرية مقارنة مع معاملات الرطوبة والتسميد البوتاسي الأخرى. من ناحية أخرى، بيّنت النتائج وجود علاقة ارتباط معنوية بين الوزن الجاف للعقد الجذرية وتثبيت الآزوت الجوي.

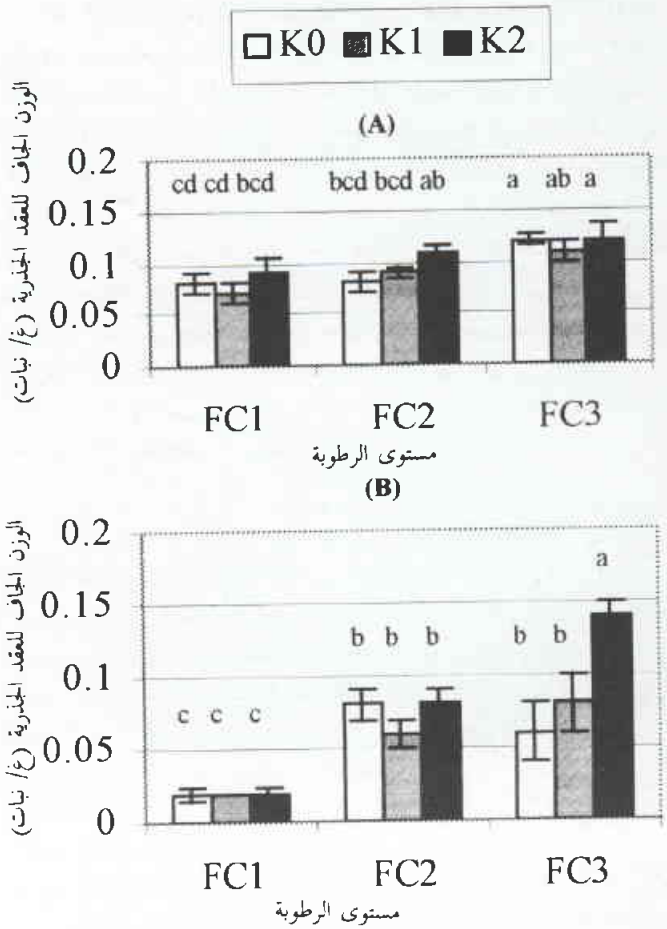
الجدول 1- إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلّي في نبات الفول والحمّص بعد إضافة معدّلات مختلفة من السماد البوتاسي وبوجود مستويات رطوبة مختلفة.

المعـــــاملة	الفول Fababean		الحمص Chickpea	
	المادة الجافة غ /نبات	آزوت كلي ملغ N/نبات	المادة الجافة غ /نبات	آزوت كلي ملغ N/نبات
Fc1K0	4.34±0.20 e	135.47±0.87e	2.05±0.18d	67.94±4.56d
Fc1K1	6.33±0.29d	185.60±7.56d	1.88±0.17d	62.85±2.53d
Fc1K2	7.33±0.32bc	207.82±8.26c	2.13±0.09d	66.35±1.69d
Fc2K0	6.62±0.19cd	206.52±5.02c	3.61±0.23bc	108.85±5.05bc
Fc2K1	7.67±0.52b	247.37±9.89b	3.29±0.30c	102.41±6.56c
Fc2K2	7.48±0.36b	249.78±3.92b	4.11±0.16ab	122.69±7.58b
Fc3K0	7.55±0.14b	241.17±2.51b	3.52±0.28bc	122.31±4.54b
Fc3K1	7.97±0.18b	246.74±1.90b	3.00±0.40c	108.72±12.58bc
Fc3K2	9.32±0.30a	307.79±6.79a	4.32±0.15a	149.38±5.12a
LSD 0.05	0.75	17.32	0.68	18.38

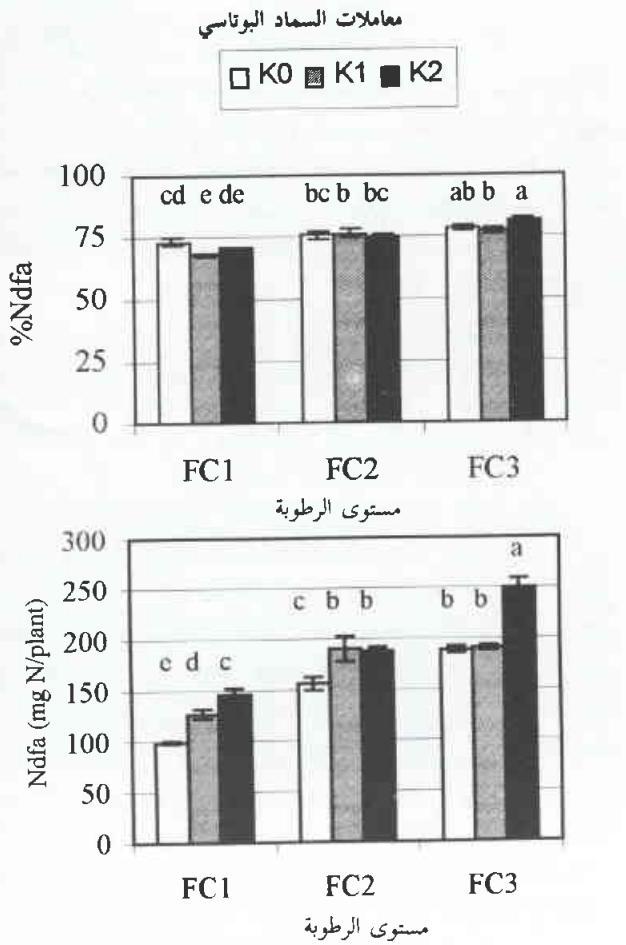
الأعمدة المشار إليها بأحرف متشابهة لا تختلف معنوياً على مستوى ثقة 0.05

Fc1، Fc2، Fc3 (45-50، 55-60، 75-80%) من السعة الحقلية على التتالي. K0، K1، K2 (0 و75 و150 كغ K_2O/ هـ)

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



الشكل 1- الوزن الجاف للعقد الجذرية في نبات الفول (A) والحمّص (B) بعد إضافة معدّلات مختلفة من السماد البوتاسي وبوجود مستويات رطوبة مختلفة.



الشكل 2- النسب المئوية وكميات الآزوت المثبّت Ndfa في نبات الفول بعد إضافة معدّلات مختلفة من السماد البوتاسي وبوجود مستويات رطوبة مختلفة.

نسب وكميات الآزوت المثبتة في النباتات

يُبيّن الشكلان 2 و 3 نسب وكمّيات الآزوت المثبتة (Ndfa) في نباتات الفول والحمّص. بلغت النسب المئوية للآزوت المثبّت في نباتات الفول، في المستوى المنخفض من الرطوبة Fc3، 73 و 68 و 70%، وذلك في المعاملات K0 وK1 وK2، على التوالي (الشكل 2).وقد لوحظت زيادة معنوية، بسوية طفيفة، في Ndfa% في المعاملة K1 مقارنة بالشاهد. أدّت زيادة رطوبة التربة إلى زيادة معنوية في نسب الآزوت المثبّت، حيث بلغت القيم 76 و 77 و75% في المعاملة Fc2، وكانت 75 و 78 و 81% في المعاملة Fc3، وذلك في معاملات السماد البوتاسي K0 و K1 وK2 على التوالي. أدّت إضافة السماد البوتاسي إلى زيادة معنوية في كمّيات الآزوت المثبّتة في معاملة الرطوبة المنخفضة، حيث بلغت القيم 99 و 127 و 146 ملغ N/ نبات في معاملات السماد البوتاسي K0 وK1 وK2 على التوالي. وعند زيادة الرطوبة إلى Fc2 زادت كمّيات الآزوت المثبّتة، معنوياً، عند المستوى الرطوبي السابق، وفي معاملات التسميد كافة، حيث بلغت القيم 156 و 190 و 188 ملغ/ نبات للمعاملات K0 و K1 وK2، على التتالي. وعند رفع مستوى الرطوبة إلى Fc3، زادت كمّيات الآزوت، بفارق معنوي، في المعاملتين K0 وK2، وليس في K1 ، وذلك مقارنة مع Fc2، حيث بلغت القيم 189 و 250 و 190 ملغ N/ نبات، على التتالي، مع وجود تفوق معنوي واضح للمعاملة Fc3K2 على المعاملات الأخرى كافة (الشكل 2).

كان تأثير الرطوبة واضحاً على النشاط التثبيتي للآزوت الجوي Ndfa% في نبات الحمّص. حيث يُلاحَظ في الشكل 1 أن النسب المئوية للآزوت المثبّت عند المستوى المنخفض من الرطوبة كانت منخفضة جداً (بحدود 12% فقط)، ولم تؤدِّ إضافة السماد البوتاسي إلى تغيّر في هذه النسبة. ارتفعت الكفاءة التثبيتية للآزوت الجوي بشكل واضح نتيجة لزيادة الرطوبة في التربة. بلغت قيم Ndfa% في نباتات الحمّص 41 و 38 و45% في المعاملة Fc2، وبلغت القيم 32 و 38 و 58% في المعاملة Fc3 ،وذلك في معاملات السماد البوتاسي K0 وK1 وK2 على التوالي. كان التأثير المعنوي للسماد البوتاسي في كفاءة تثبيت الآزوت الجوي فقط في المعاملة التي رويت جيداً والتي أُضيف لها معدّل مرتفع من السماد البوتاسي Fc3K2، حيث بلغت القيمة 58%. كانت نتائج كمّيات الآزوت المثبّتة موازية لنتائج النسب المئوية، حيث كانت أدنى قيمة في المعاملة Fc1 (تقريباً 8 ملغ N/ نبات بالمتوسط)، وكانت أعلى قيمة في المعاملة Fc3K2 (86 ملغ N/ نبات).

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

المناقشة

أشارت نتائج هذا البحث إلى أن انخفاض رطوبة التربة - بعد مرحلة الإزهار- في نباتات الفول والحمّص، ذو أثر واضح على النمو وكفاءة تثبيت الآزوت الجوي، وأن التسميد البوتاسي ساهم في تقليص الضرر الناجم من الجفاف، حيث اختلفت درجة التأثير باختلاف النوع النباتي المدروس.

في نبات الفول، أدّت إضافة معدّل مرتفع من السماد البوتاسي إلى زيادة معنوية في إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلّي، وذلك عند تعرّض النباتات إلى إجهاد جفاف مرتفع (45-50% من السعة الحقلية Fc1). وعندما كانت الرطوبة الأرضية معتدلة نسبياً (55-60% من السعة الحقلية، Fc2)، كان تأثير السماد البوتاسي إيجابياً ومعنوياً أيضاً. وعند زيادة رطوبة التربة إلى 75-80% من السعة الحقلية (Fc3)، أدّت إضافة معدّل مناسب من السماد البوتاسي (K2) إلى زيادة في إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلّي في نباتات الفول، من تساوي قيمة إنتاج المادة الجافة للمعاملة Fc1K2 مع قيم المعاملات الأخرى (Fc2, Fc3) يمكن استنتاج أن للبوتاسيوم دوراً إيجابياً في تقليص الضرر الناجم عن نقص في محتوى التربة من الماء. تُعدّ هذه النتيجة متوافقة مع نتائج باحثين آخرين [5] والتي أشارت إلى دور البوتاسيوم في زيادة نمو نباتات الفول والفاصولياء المزروعة في الرمل، وذلك ضمن ظروف مختلفة من الرطوبة. وقد أشار باحثون آخرون [8] إلى أن عنصر البوتاسيوم هو عامل أساسي ومحدّد في تحمّل النباتات لإجهاد الرطوبة، أمّا في الحمّص فلم تؤدِّ إضافة البوتاسيوم إلى أي تغيّر يُذكر في إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلّي للنباتات عند مستوى رطوبة تربة منخفض (Fc1)، في حين تأثر نمو النباتات نتيجة زيادة الرطوبة إلى 55-60% من السعة الحقلية، وكان للسماد البوتاسي تأثير نافع في إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلّي نتيجة زيادة مستوى الرطوبة في التربة إلى نسبة عالية من السعة الحقلية.

لذلك يمكن الاستنتاج مما سبق أن رطوبة التربة عامل محدّد في نمو النباتات، وأن السماد البوتاسي حقّق زيادة في المادة الجافة في الفول، وليس في الحمّص، عند إجهاد مرتفع من الجفاف. لقد تبيّن [4] أن ارتفاع تركيز K^+ في وسط الزراعة يؤدي إلى تثبيط الأثر المحدّد للجفاف على عملية التمثيل الضوئي، وهذا ينجم من دور البوتاسيوم في تثبيت غاز CO_2 [3]. إضافة إلى ذلك، يساعد البوتاسيوم في الحفاظ على الضغط التناضحي للخلايا النباتية وفي تنظيم عمل الثغور التنفسية في الأنسجة النباتية، وهي الآلية التي تحكم النظام المائي للنباتات. وقد بيّن [3] أن تزايد حاجة النباتات للبوتاسيوم عند تعرّضها إلى ظروف جافة يرجع أساساً إلى ضرورة الحفاظ على تراكيز مرتفعة من أيونات K^+ في الخلايا الحارسة للثغور التنفسية.

أشارت دراسات عديدة إلى التأثير السلبي لنقص الماء على كفاءة تثبيت الآزوت الجوي في العديد من النباتات البقولية، كالفاصولياء [5، 9، 10] والفول [6] والفصّة [11]، وذلك في ظروف تجريبية مختلفة. تبيّن من الدراسة الحالية، وجود تأثير معنوي ($P<0.05$)، لمعاملات الرطوبة المختلفة، على النسب المئوية للآزوت المثبّت في النوعين النباتيين، غير أن درجة التأثير كانت أكثر ارتفاعاً في الحمّص مقارنة مع نبات الفول.

لقد تميّز نبات الفول عن نبات الحمّص بكفاءة تثبيتية عالية للآزوت الجوي، حيث تجاوزت النسب المئوية للآزوت المثبّت (Ndfa%) 70% في أغلب الحالات، ولم تكن الفجوة كبيرة في نبات الفول بين أدنى قيمة لهذه النسبة (68% في Fc1) وأعلى قيمة لها (81% في Fc3)، مما يدل على عدم تثبيط النشاط الإنزيمي للنيتروجيناز، وبالتالي على نشاط تثبيتي مرتفع للريزوبيا حتى بوجود نقص حادّ في رطوبة التربة. كما تدل هذه النتائج على أن تأثر عملية تثبيت الآزوت الجوي في الفول بالجفاف أقلّ من تأثر نمو النبات، نظراً للانخفاض الحادّ في إنتاج المادة الجافة مع انخفاض رطوبة التربة، أما في الحمّص، كان تأثر العملية التثبيتية بفعل الجفاف أكثر من تأثر إنتاج المادة الجافة، حيث يُلاحَظ أن Ndfa% في المعاملة Fc1 أقلّ بأربع مرات منها في المعاملة Fc2.

تراوحت النسب المئوية للآزوت المثبّت في الحمّص من 11 وحتى 58%، أي أن الفجوة كانت كبيرة بين أدنى قيمة في المستوى الرطوبي المنخفض Fc1 وأعلى قيمة في المستوى الرطوبي المرتفع Fc3، وذلك على عكس نبات الفول، وهذا قد يكون ناجماً من تأثر سلالات ريزوبيا الحمّص بالجفاف مما انعكس سلباً على كفاءة تثبيت الآزوت الجوي، لأن درجة تحمّل الريزوبيا للجفاف تختلف باختلاف السلالة البكترية [12، 13]، وهذا يستدعي انتخاب سلالات من بكتريا الريزوبيوم، ذات تحمّل للجفاف، ليُصار إلى استعمالها في تلقيح نباتات بقولية معينة.

تبيّن من هذه الدراسة حدوث انخفاض ملحوظ في كمّيات الآزوت الجوي المثبّت نتيجة انخفاض رطوبة التربة في النوعين المدروسين. وكانت الاختلافات في كمّية الآزوت المثبّت في الفول بين معاملات الرطوبة المدروسة أكبر من اختلافات النسب المئوية للآزوت المثبّت. ويشير ذلك إلى اختلاف تأثير الجفاف في كلٍّ من نمو النبات وعملية التثبيت الحيوي للآزوت الجوي في هذا النوع البقولي. تشبه هذه الملاحظة تلك التي نُشرت حول نبات فول الصويا [14].

لقد بيّن [14] أن حساب كمّية الآزوت المثبّت في النباتات البقولية يعتمد على إنتاج المادة الجافة، لذلك لا تكون الكمّية المثبّتة أحياناً مؤشراً يُعتمَد عليه لتقويم تأثير عوامل الإجهادات المختلفة على عملية تثبيت الآزوت الجوي بحدّ ذاتها. وتُعدّ معرفة النسب المئوية للآزوت الجوي مقياساً أفضل، نظراً لعدم ارتباطها غالباً بالمادة الجافة [15]. في هذه الدراسة، نجمت الزيادة المعنوية لكمّية الآزوت المثبّت في نبات الفول في المعاملة Fc3K2، مقارنة مع المعاملة Fc2K2 (من 188 إلى 250 ملغ N/ نبات)، من الزيادة المعنوية للنشاط التثبيتي للآزوت الجوي (من 75 إلى 81%)، ومن الزيادة المعنوية للمادة الجافة (من 7.5 إلى 9.3 غ/ نبات)، مما أدّى إلى زيادة جوهرية في الآزوت الكلّي (من 250 إلى 308 ملغ N/ نبات)، ولم تكن هذه الزيادة الأخيرة ناجمة عن الآزوت الممتص من السماد (9 و 10 ملغ N/ نبات) أو من التربة (52 و 48 ملغ N/ نبات)، نظراً لعدم وجود فروق معنوية بين هذه القيم.

أما في الحمّص، لم تنجم الزيادة المعنوية لكمّية الآزوت المثبّت في المعاملة Fc3K2، مقارنة مع المعاملة Fc2K2 (من 54 إلى 85 ملغ N/ نبات)، من زيادة إنتاج المادة الجافة (4.3 و 4.1 غ/ نبات على التوالي)، بل نتجت عن زيادة معنوية في النشاط التثبيتي للآزوت الجوي (من 45 إلى

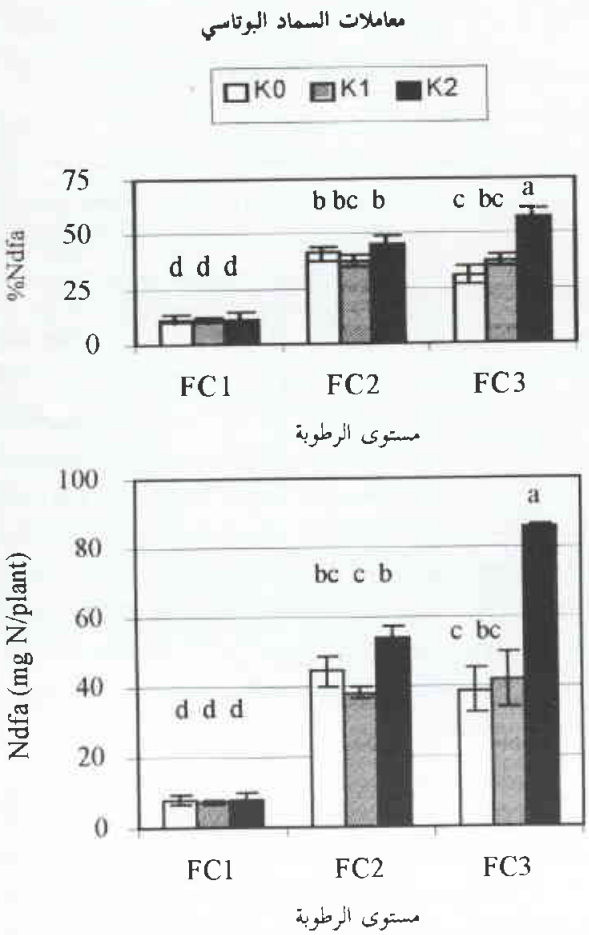
هيئة الطاقة الذرية السورية مكتب نظم المعلومات http://serversmiso.aecs.sy

58%)، كما أن تلك الزيادة لم تنجم أيضاً لا عن زيادة في كمّيات الآزوت الممتصة من السماد (10.9 و 11.5 ملغ N/ نبات)، ولا عن آزوت التربة (53 و 57 ملغ N/ نبات)، وهذا أدّى بالتالي إلى زيادة معنوية في الآزوت الكلّي للنبات من 123 إلى 149 ملغ N/ نبات، مما يتفق مع استنتاج [15] حول ترجيح قياس Ndfa% على قياس الكمّيات المثبتة في مثل هذا النوع من الدراسات، وذلك كطريقة لمعرفة المعيار المتأثر فعلاً بالعامل المدروس.

وفيما يتعلق بتأثير السماد البوتاسي في عملية تثبيت الآزوت الجوي بحدّ ذاتها (Ndfa%)، فقد بيّنت النتائج عدم وجود أي تأثير إيجابي لإضافة البوتاسيوم على Ndfa% في النباتات المتعرّضة إلى إجهاد مرتفع من الجفاف (Fc1) في كلٍّ من الفول (الشكل 2) والحمّص (الشكل 3). وقد يكون سبب الانخفاض الحاصل في قيم Ndfa%، في مستوى الرطوبة المنخفض، نتيجة إضافة الأسمدة البوتاسية، عائداً إلى زيادة الضغط التناضحي حول العقد الجذرية مما أثر سلباً (بدرجة طفيفة) على النشاط التثبيتي للآزوت الجوي [16]، الأمر الذي لم يُلاحَظ لا عند مستويات رطوبة أعلى من جهة، ولا في كمّيات الآزوت المثبتة عند مستوى الرطوبة ذاته، من جهة أخرى، بل على العكس لوحظت زيادة معنوية في الكمّية المثبتة نتيجة التسميد بالبوتاسيوم. أدّى التسميد البوتاسي إلى زيادة كمّيات الآزوت المثبتة للفول في معاملات الرطوبة الثلاث، وخاصة في المعاملة K2، وهذه الزيادة في كمّيات الآزوت المثبتة كانت نتيجة زيادة في المادة الجافة أكثر من كونها زيادة في النشاط التثبيتي للآزوت الجوي Ndfa%. أما في الحمّص، فقد تجلّى الأثر الإيجابي المعنوي للبوتاسيوم على نسب وكمّيات الآزوت المثبتة فقط في المعاملة ذات المحتوى الرطوبي المرتفع (Fc3K2)، مشيراً بذلك إلى حاجة النظام التعايشي إلى كمّيات مرتفعة من عنصر البوتاسيوم لتحقيق نمو جيد وكفاءة تثبيتية مرتفعة في حال وجود ظروف رطوبة مناسبة. واعتماداً على النتائج السابقة، يمكن الاستنتاج أنه عند دراسة تأثير عوامل الإجهاد المختلفة في تثبيت الآزوت الجوي، ينبغي معرفة كلٍّ من نسب وكمّيات الآزوت المثبتة نظراً لأهمية هذه البيانات في تفسير مدى تأثير العامل المدروس إما على إنتاج المادة الجافة، وبالتالي على الكمّية المثبتة من الآزوت الجوي، أو على النشاط التثبيتي للآزوت الجوي (Ndfa%)، أو على جميعها معاً.

أظهرت بيانات الأوزان الجافة للعقد الجذرية توافقاً مع بيانات تثبيت الآزوت الجوي، حيث بيّن التحليل الإحصائي لمعامل خط الانحدار وجود ارتباط معنوي بين الوزن الجاف للعقد الجذرية والنسب المئوية للآزوت المثبت من جهة ($r^2 = 0.40$ للفول و0.74 للحمّص)، وبين الوزن الجاف للعقد الجذرية وكمّية الآزوت المثبت من جهة أخرى ($r^2 = 0.45$ للفول و0.81 للحمّص). وتشير هذه النتيجة إلى أن الوزن الجاف للعقد الجذرية يمكن أن يكون مؤشراً جيداً لكفاءة تثبيت الآزوت الجوي، وخاصة في الحمّص .

قد يُعزى سبب انخفاض إنتاج المادة الجافة والآزوت المثبت في كلٍّ من الفول والحمّص في الظروف الجافة إلى خفض معدّل التمثيل الضوئي وضعف تزويد العقد الجذرية بمنتجات التمثيل الضوئي اللازمة لأداء



الشكل 3- النسب المئوية وكمّيات الآزوت المثبت Ndfa في نبات الحمّص بعد إضافة معدّلات مختلفة من السماد البوتاسي وبوجود رطوبة مختلفة.

العملية التثبيتية وتنشيطها [1، 17، 18]، وقد يُعزى سبب انخفاض كفاءة تثبيت الآزوت أيضاً إلى عوامل فيزيولوجية أخرى، كإتاحة الأكسجين في العقد الجذرية. فقد اقْتُرِحَ [13] إيقاف تزويد البكتريودات بالأكسجين في العقد الجذرية المعرّضة للجفاف، سواءً بمحدودية تغلغله في العقد أو بنتيجة تحطم مادة الليغموغلوبين، الأمر الذي يؤدي بالنتيجة إلى توقف التنفس وإنتاج جزيئات ATP، وبالتالي إلى انخفاض في تثبيت الآزوت الجوي [20، 21].

إن زيادة تحمّل النباتات البقولية للجفاف، عن طريق التغذية البوتاسية، بهدف زيادة الإنتاج وكفاءة تثبيت الآزوت الجوي، هو إجراء زراعي مؤقت وغير مكلف. غير أن انتخاب طرز وراثية أكثر تحمّلاً للجفاف وذات مواصفات تتميز بقدرة أكبر على الاحتفاظ بالماء وبمعدّل تمثيل ضوئي مرتفع للنبات وفعالية وظيفية مرتفعة للعقد الجذرية، يُعدّ أمراً يجب متابعته وأخذه بعين الاعتبار [22]، الأمر الذي يفيد في زيادة الإنتاج ورفع كفاءة تثبيت الآزوت الجوي، وذلك في حال نقص الموارد المائية في الزراعات البعلية في الظروف شبه الجافة، وخاصة عند اتباع العمليات الزراعية المناسبة.

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

الاستنتاجات

أدّى نقص الماء، خلال مرحلة الإزهار، إلى تأثير جوهري في النمو وتكوّن العقد الجذرية وتثبيت الآزوت الجوي في كلٍّ من الفول والحمّص. اختلفت درجة استجابة النباتات للتسميد البوتاسي باختلاف النوع النباتي، وذلك كوسيلة لتحسين نمو النباتات والتغلّب على ظروف الإجهاد. ساهم التسميد البوتاسي في تخفيف الضرر الناجم عن الجفاف إلى حدٍّ معين، إذ أدّت الإضافة المتزايدة للسماد البوتاسي إلى نبات الفول، المتعرّض لإجهاد حادّ في رطوبة التربة، إلى زيادة إنتاج المادة الجافة والآزوت الكلّي وكمّية الآزوت المثبّت، في حين لم يُلاحَظ مثل هذا التأثير في نبات الحمّص. من ناحية أخرى، لم يُلاحَظ وجود أي أثر إيجابي لإضافة البوتاسيوم على النسبة المئوية للآزوت المثبّت في النباتات المتعرّضة إلى الإجهاد ذاته. اقتُرِحَ من نتائج هذا البحث أن التأثير المفيد للبوتاسيوم في نباتات الفول المجهَدة ناجم من تنشيط النمو بشكل أكبر من تحسين فعّالية تثبيت الآزوت الجوي. إضافة إلى ذلك، إن متطلبات النظام التعايشي لعنصر البوتاسيوم تكون مرتفعة في ظروف رطوبة التربة الجيدة، الأمر الذي يحقق زيادة مثلى في النمو وفي تثبيت الآزوت الجوي. وهنالك حاجة ماسة لإجراء دراسات مستقبلاً لمعرفة دور السماد البوتاسي من حيث النمو والإنتاج والبرنامج الزمني لتثبيت الآزوت الجوي في النباتات البقولية، المزروعة ضمن الظروف البعلية من المناطق شبه الجافة.

REFERENCES المراجع

[1] Kurdali, F. Nitrogen and phosphorus assimilation, mobilization and partitioning in rain-fed chickpea (Cicer arietinum L.) Field Crop Research. 1996, 47(2-3), 81-92.

[2] Kurdali, F.; Kalifa, K.; Al-Shamma, M. Cultivar differences in nitrogen assimilation, partitioning and mobilization in rain-fed grown lentil. Field Crop Research. 1997, 54(2-3), 235-243.

[3] Marschner, H. Mineral nutrition of higher plants, Second edition. Academic press limited. London, U.K, NW1 7DX. 1995; 889 pp.

[4] Beringer, H.; Haeder, H.E.; Lindhauer, M.G. Water relationships and incorporation of ^{14}C assimilates in tuber of potato plants differing in potassium nutrition. Plant Physiol. 1983, 73 (4), 956-960.

[5] Sangakkara, U.R.; Hartwig, U.A.; Nosberger, J. Soil moisture and potassium affect the performance of symbiotic nitrogen fixation in faba bean and common bean. Plant Soil. 1996, 184 (1) 123-130.

[6] Abdel Wahab, A. M.; Abd-Alla M. H. The role of potassium fertilizer in nodulation and nitrogen fixation of fababean (Vicia faba L.) plants under drought stress. Biol. Fertil. Soils. 1995, 20, 147-150.

[7] Fried, M.; Middelboe, V. Measurement of amount of nitrogen fixed by a legume crop. Plant Soil. 1977, 47 (3),713-715.

[8] Robin, C. L.; Shamsun-Noor, L.; Guckert A. Effect of Potassium on the tolerance to PEG-induced water stress of two white clover varieties (Trifolium repens L.) Plant Soil. 1989, 120, 153-158.

[9] Calvache, M.; Reichardt K. Effect of water stress at different plant growth stages in common bean (Phaseolus vulgaris) on yield and N_2 fixation. In Crop Yield Response to Deficit Irrigation. Kirda, C.; Moutonnet, P.; Hera, C.; Nielsen, D.R Eds.; Kluwer Academic Publishers: The Netherlands, 1999; 121-127.

[10] Sangakkara, U.R.; Hartwig, U.A.; Nosberger, J. Growth and nitrogen fixation of Phaseolus vulgaris as affected by temperature, soil moisture and potassium. In Nuclear Technique in Soil Plant Studies for Sustainable Agriculture and Environmental Preservation. Proceedings of an international Symposium.Vienna, Austria, October 17-21, IAEA, 1995; 263-272.

[11] Becana, M.; Aparico-tejo P.; Pena, P.; Aguirreolea, J.; Sanchez-Diaz, M. N_2 fixation (C_2H_2- reducing activity) and leghaemoglobin content during nitrate and water stress induced senescence of Medicago sativa root nodules. J. Exp. Bot. 1986, 37, 547-605.

[12] Athar, M.; Johnson, D.A. Nodulation, biomass production and nitrogen fixation in alfalfa under drought. J. Plant Nutr. 1996, 19 (1) 185-199.

[13] Figueiredo, M.V.B.; Burity, H.A.; de France, F.P. Water deficit stress on N_2 fixation in cowpea inoculated with different Bradyrhizobium strains. Can. J. Plant Sci. 1998, 78 (4) 577-582.

[14] Kirda, C.; Danso, S.K.A.; Zapata, F. Temporal water stress effects on nodulation, nitrogen accumulation and growth of soybean. Plant Soil. 1989, 120 (1), 49-55.

[15] Danso, S.K.A. Review: Estimation of N_2 fixation by isotope dilution. An appraisal of techniques involving ^{15}N enrichment and their application-comments. Soil Biol. Biochem. 1986, 18 (3), 243-244.

[16] Lie, T.A. Environmental Physiology of the legume-Rhizobium symbiosis. In Nitrogen Fixation. Broughton, W. J., Ed., Oxford University Press. 1981; 104-134.

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

[17] Sprent, J. I. Nitrogen fixation. In The physiology and biochemistry of drought resistance in plants. Paleg, L.G.; Aspinall, D., Eds., Academic Press: New York, 1981; 131-154.

[18] Hogh Jensen, H.; Schjoerring, J. K. Effect of drought and inorganic N form on nitrogen fixation and carbon isotope discrimination in Trifoliuum repens. Plant Physiol. Biochem. 1997, 35 (1), 55-62.

[19] Guerin, V.; Pladys, D.; Trinchant, J. C.; Rigaud, J. Proteolysis and nitrogen fixation in faba-bean (Vicia faba) nodules under water stress. Physiologia Plantarum 1991, 82, 360-366.

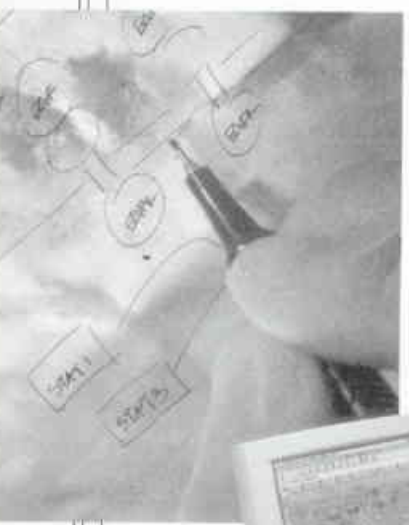
[20] Swaraj, K.; Topunov, A. F.; Golubeva, L .I.; Kretovich, V. L. Effect of water stress on enzymatic reduction of leghaemoglobin in soybean nodules. Sov. Plant Physiol. 1986, 33 (1), 70-74.

[21] Nandwal, A.S.; Kunda, B.S.; Hooda, A.; Kuhad, M. S. Water relation and nitrogen fixation in potassium feed Vigna radiata nodules. Biologia Plantarum. 1996, 38 (4), 629-632.

[22] Patterson, R.P.; Hudak, C.M. Drought-avoidant soybean germplasm maintains nitrogen-fixation capacity under water stress. Plant Soil. 1996, 186 (1) 39-43.■

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

التقارير العلمية



معالجة إحصائية لنتائج برنامج المقارنة الداخلي لقياس الناقلية الكهربائية EC ★

عبد الغني شخاشيرو
مكتب ضمان الجودة - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب 6091- دمشق - سورية

ملخص

يعرض التقرير نتائج القياس المنجزة في برنامج المقارنة المشتركة لقياس الناقلية الكهربائية في المخاليل الأيونية خلال عامي 1999-2000.

جرى تحضير هذا البرنامج سنوياً على أربع دفعات وذلك مرة كل ثلاثة أشهر. فعند بداية كل تمرين تُحضّر العيّنات وفق القيم النظرية المطلوبة للتمرين وترسل إلى المخابر لتحليلها.

من خلال الدراسة تمّ الكشف عن الأجهزة ذات الأداء غير المستقر ليتمّ إصلاحها، كما تمّ تحديد الأجهزة التي أعطت نتائج جيدة طوال فترة المشاركة.

تمّ وضع آلية عمل منهجية لقياس أداء المنظومة التحليلية لقرينة الناقلية الكهربائية في المخاليل الأيونية EC وعرضها في بطاقات إحصائية على شكل علامة z.

يُبيّن التقرير أهمية استخدام بطاقات الضبط الإحصائي في التحاليل لمراقبة مستوى أداء المنظومة التحليلية والمشاركة في برامج فحص الأداء المخبري وذلك حتى للتقانات التحليلية غير المعقّدة.

الكلمات المفتاحية: قياس الناقلية كهربائية، برامج فحص الأداء التحليلي، بطاقات ضبط إحصائي، المقارنة المشتركة، ضمان الجودة.

مقدمة

من المعلوم أن جميع المخابر التحليلية تسعى لإعطاء نتائج تحليليّة صحيحة ودقيقة، ويتم ذلك من خلال تطبيق نظم ضمان الجودة وإدخال آليات ضبط الجودة في متن العمليات التحليلية اليومية بشكل منظّم بحيث تصبح جزءاً من العمل الروتيني اليومي للكشف عن أية مشاكل تحليلية وبالتالي تنفيذ الأعمال التصحيحية اللازمة لتلبية متطلبات معايير جودة التحاليل والقياسات. ولهذا تُعدّ برامج المقارنة المشتركة أداةً لتقييم صحة النتائج التحليلية وقابليتها للمقارنة عالمياً، ولما كانت تكلفة مثل هذه البرامج كبيرة نسبياً، لذا فإنه يتم ربط مثل هذه التمارين بما يسمى ببرامج المقارنة الداخلية والتي يديرها في هيئة الطاقة الذرّية السورية مكتب ضمان الجودة حيث يتم تحضير العيّنات وإرسالها إلى الأقسام المشاركة ومن ثَمّ جمع النتائج ودراستها إحصائياً بغية تحديد صحة النتائج التحليلية وقابليتها للمقارنة [1].

هدف الدراسة

تكمن أهمية هذه الدراسة في كونها تقوم بمقارنة نتائج قياس الناقلية الكهربائية EC في المخاليل الأيونية لجميع الأجهزة المستخدمة في الهيئة، وكشف أسباب الخطأ التحليلي في القياس أو المعايرة والدلالة عليه بغية التصحيح والحصول على نتائج صحيحة ودقيقة وقابلة للمقارنة عالميّاً. وتهدف هذه الدراسة إلى:

1- عرض نتائج القياس المنجزة في برنامج قياس الناقلية الكهربائية في المخاليل الأيونية للمقارنة الداخلية خلال عامي 1999-2000.

2- قياس مستوى أداء المنظومة التحليلية لقياس الناقلية الكهربائية في المخاليل الأيونية.

3- التعرف على أماكن الأجهزة المعطّلة ليتم إصلاحها أو على التي فيها خلل ليتم تجاوزه.

4- تحديد الأجهزة التي أعطت نتائج جيدة طوال فترة المشاركة.

5- تسليط الضوء على أهمية استخدام بطاقات الضبط الإحصائي في التحاليل لمراقبة مستوى أداء المنظومة التحليليّة.

طريقة تحضير العيّنات

يجري تحضير هذا البرنامج سنوياً على أربع دفعات وذلك مرة كل ثلاثة أشهر فعند بداية كل تمرين تُحضّر العيّنات وفق القيم النظرية المطلوبة للتمرين بواقع عيّنتين: العيّنة الأولى في المجال المنخفض والعيّنة الثانية في المجال المرتفع، ثم يجري حساب الأوزان والحجوم اللازمة للتحضير وفق القيم المعتمدة.

بعد تحديد القيم النظرية للمحاليل الواجب تحضيرها لكل تمرين، يجري التحضير المخبري لكل عيّنة ومجانستها بالشكل المناسب ومن ثم تقسيم العيّنة وفق عدد المخابر المشاركة في كل تمرين.

ويُحتفظ بجزء من العيّنة في مكتب ضمان الجودة كعمل احتياطي لضمان جودة التحضير ولتلبية طلب أي مشترك بعد إرسال العيّنات.

قُبيل البدء بالبرنامج تمّ تنفيذ مسح عام للأجهزة المستخدمة في الهيئة فتبيّن ما يلي:

★ تقرير مختصر عن دراسة علمية ميدانية أُنجزت في مكتب ضمان الجودة - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

1- جميع الأجهزة تعتمد على مبدأ الخلية الكهربائية لقياس الناقلية مع وجود مسبر لقياس الحرارة لإدخال معامل تصحيح من أجل درجات الحرارة وبشكل آلي بحيث تصحح القراءات كافة إلى الدرجة 25°C.

2- مجال القياس لجميع الأجهزة من 1 مِكروسيمنس وحتى 1000 مِلّي سيمنس على الأقل، ويمكن قياس عيّنات ذات ناقلية أكبر في حال تمديدها.

3- تمَّ الاستناد إلى المعلومات السابقة أثناء تحضير العيّنات والأخذ بعين الاعتبار مجال القياس والدقة لهذه الأجهزة، ومن خلال الدراسة تبيّن أن قراءات هذه الأجهزة قابلة للمقارنة، وتتيح الإمكانية لفحص أداء المنظومة التحليلية بما فيها المحلّل والمواد والمعايرة والجهاز وأخطاء الحسابات وغيرها من احتمالات الأخطاء في العمل التحليلي.

معالجة النتائج ودراستها واستبعاد القيم الشاذة

بعد ورود النتائج من الأقسام نقوم بتجميع النتائج وتطبيق اختبار Q عليها لاستبعاد القيم الشَّاذة. وبعد إجراء اختبار القيم المستبعدة نقوم بحساب القيمة الوسطية والانحراف المعياري STD وعلامة Z Z-Score والذي على أساسه يتم التقييم بين نتائج الأجهزة المشاركة.

يتم حساب STD من العلاقة الواردة في [5] و [6]

$$STD = \sqrt{\frac{\sum_1^n (X_i - \overline{X})^2}{n-1}}$$

حيث: n: عدد النتائج المقبولة.

X: القيمة الوسطية للقراءات المشاركة.

ومن ثَمَّ يتم حساب علامة Z Z-score كالتالي:

$$Z - Score = \frac{X_i - \overline{X}}{STD}$$

إرسال التقارير إلى الأقسام والمطالبة بالأعمال التصحيحيّة [3]

تُرسل نسخة من التقرير النهائي عن نتائج كل ربع إلى السيد الدكتور المدير العام ونسخة إلى الأقسام العلمية المشاركة مع المطالبة بالأعمال التصحيحيّة اللازمة عند القيم التي تعطي $|Z| \geq 3$. وهذا هو المعيار العالمي المتّبع في برامج المقارنة والذي يعني أن القيمة المقيسة أكبر أو أصغر من القيمة النظرية بثلاثة أضعاف الانحراف المعياري المحسوب للقيم المقيسة المشاركة في البرنامج، وعندما تكون المنظومة التحليلية في حال استقرار وضبط إحصائي، أي خلوّها من الأخطاء الرتيبة، فإن 99% من القيم المقيسة تقع ضمن حدود $X \mp 3Z$.

الاستنتاجات والتوصيات

تُبيِّن هذه الدراسة:

1- وعي الأقسام العلمية إلى ضرورة تطبيق نظم الجودة في مخابرها من خلال الالتزام بعملية المشاركة في تمارين المقارنة الداخلية والسعي للحصول على النتائج وعلامات التقييم بسرعة لتقييم العمل وتدارك مكامن الخطأ لديهم.

2- كشفت بطاقات الضبط الإحصائي عن وجود أخطاء في بعض النتائج والتي ظهرت بعيدة جداً عن الوسطي وذلك نتيجة للخطأ الناشيء من قراءة القيمة المسجلة.

3- تبيّن بطاقات الضبط الإحصائي كشف بعض الأجهزة التي كانت تعمل بشكل خاطيء والتي تُنبئنا بوجود خلل ما فيها وقد تمَّت الدلالة عليها بغية تحسين أدائها (كما في قسم الفيزياء).

4- تمَّ كشف بعض الأجهزة التي كانت تُعطي نتائج جيدة للمحاليل المائية بينما كانت نتائجها لعيّنات التربة تعطي نتائج بعيدة جداً مما دلَّ على وجود خطأ في عملية تحضير عيّنة التربة للقياس، وقد تمَّ الرجوع إلى المواصفات العالمية وتحديد نسبة التمديد لعيّنات التربة بـ (1:5) حيث لُوحِظ بعدها تحسّن مستوى أداء المشاركة في برنامج ISEP (Internal Soil Exchange Program).

5- تمَّ وضع آلية عمل منهجية لقياس أداء المنظومة التحليلية لقرينة الناقلية الكهربائية في المحاليل الأيونية.■

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

تأثير جرع منخفضة من أشعة غاما على تحمّل نباتات الشعير المزروعة تحت الظروف المالحة*

د. طريف شربجي، د. خلف خليفة، فريد العين
قسم البيولوجيا الجزيئية - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب 6091- دمشق - سورية

ملخص

تمّت زراعة صنفي الشعير عربي أبيض وباكستاني 30163 (PK) بعد تعريض بذورهما للجرعتين 0 و 15 غراي من أشعة غاما في منطقة الهيجانة الواقعة جنوب دمشق، حيث كانت ملوحة التربة (16.4-18.7 ملموس/سم)، وتمّ ري النباتات بمياهٍ ملوحتها (7-8 ملموس/سم). كان لأشعة غاما تأثير إيجابي على نسبة إنبات الصنف باكستاني 30163 مقارنة بالصنف عربي أبيض.

- مرحلة الإسبال: ازداد الوزن الجاف للمجموعين الخضري والجذري في نباتات الصنف عربي أبيض المشعّة البذار مقارنة بالشاهد، بينما ازداد هذا الوزن للمجموع الخضري فقط لنباتات الصنف باكستاني 30163 المشعّة البذار. كانت نسبة البوتاسيوم في الصنف عربي أبيض أعلى منها في الصنف باكستاني، وكان للأشعة تأثير إيجابي على نسبة المغنيزيوم والآزوت والفسفور وتأثير سلبي على نسبة الكلور في الصنف عربي أبيض، بينما كان لهذه الأشعة تأثير سلبي على نسبة الآزوت في الصنف باكستاني.

- مرحلة النضج الفيزيولوجي: كان للأشعة تأثير إيجابي على الوزن الجاف لنباتات الصنف باكستاني 30163 فقط.

كان لأشعة غاما تأثير إيجابي على نسبة المغنيزيوم والفسفور وتأثير سلبي على نسبة الصوديوم والكلور في الصنف عربي أبيض، كما لوحظ تأثيرها السلبي أيضاً على نسبة البوتاسيوم والصوديوم في الصنف باكستاني 30163.

- مرحلة النضج والحصاد: ظهر التأثير الإيجابي لأشعة غاما على الإنتاجية الكلية ونسبة الحب والدليل الإنتاجي (HI) في الصنف باكستاني 30163، وعلى نسبة القش ووزن الألف حبة في الصنف عربي أبيض.

ترافق نقص إنتاجية الصنف عربي أبيض مع زيادة نسبة N% في حبوب هذا الصنف وزيادة غلة النتروجين أيضاً، أما في الصنف باكستاني 30163 المشعّ البذار فقد انخفضت نسبة N% وغلة النتروجين في حبوب هذا الصنف.

الكلمات المفتاحية: أشعة غاما، أنيونات، كاتيونات، شعير، ملوحة.

مقدمة

تُعدّ ملوحة التربة من أهم الإجهادات اللاحيوية التي تؤثر على نمو النبات وتبلغ نسبة الأراضي المتأثرة بالملوحة في سورية حوالي 40% من الأراضي الزراعية المروية في القطر. إن ارتفاع تركيز الأملاح في التربة يؤدي إلى انخفاض في نمو النباتات نتيجة لارتفاع الضغط الأسموزي والذي يؤدي إلى ذبول النبات وبالتالي إلى توقفه عن النمو أو موته بسبب عدم توفر الماء بمنطقة نمو الجذور بشكلٍ كافٍ لسدّ حاجة النبات. يُعدّ محصول الشعير من المحاصيل الزراعية الهامة في سورية حيث تُقدّر المساحة المزروعة بالشعير بـ 1.2 مليون هكتار. وقد بيّنت بعض الدراسات أن تعريض بذور الشعير قبل زراعتها لجرعات منخفضة من أشعة غاما يؤدي إلى زيادة تحملها للملوحة وزيادة امتصاصها للعناصر المعدنية.

وفي دراسة مخبرية على صنفين من الشعير، صنف باكستاني المنشأ (30163) والصنف الآخر عربي أبيض، وجد أن هذين الصنفين يمكن أن يتحملا حتى تركيز 50 ملمول/ليتر من NaCl بعد تعريض البذور لجرعة 15 غراي.

وبهدف التأكد من ذلك حقلياً، أُجريت هذه الدراسة في منطقة الهيجانة، باستخدام نفس الجرعة على الصنفين المذكورين أعلاه، على تربة تتراوح ملوحتها ECe ما بين 16.4-18.7 ملموس/سم، وباستخدام مياه آبار جوفية تتراوح ملوحتها ECw ما بين 7-8 ملموس/سم.

النتائج والمناقشة

مرحلة الإسبال Heading Stage

قُدّر عدد النباتات في كل قطعة تجريبية ولمساحة 1 م^2 خلال مرحلة ما بعد البادرة. وقد بيّنت النتائج وجودَ فروق معنوية مؤكدة بين عدد النباتات في الصنف باكستاني 30163 المشعّة بذوره مقارنةً بعدد النباتات في الصنف عربي أبيض المشعّة بذوره وغير المشعّة، وهذا يعود إلى أن الصنف الباكستاني كان أكثر تحمّلاً للملوحة من الصنف عربي أبيض. إن نسبة الإنبات (عدد النباتات) في الأراضي المالحة هي دليل على تحمّل النبات للملوحة. كما كان للتشعيع أثرٌ إيجابيٌ على زيادة الوزن الجاف لكلا الصنفين مقارنةً بنباتات الشاهد، بينما لم يظهر أي اختلاف معنوي بين وزن الجذور الجافة للصنفين المدروسين سواء المشعّة أو غير المشعّة،

* تقرير مختصر عن تجربة استطلاعية حقلية أُنجزت في قسم البيولوجيا الجزيئية - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

وربما يعود هذا إلى زيادة امتصاص بعض العناصر المعدنية من قبل النباتات نتيجةً لطول واتّساع منطقة انتشار جذور تلك النباتات نتيجة لتشعيع البذار قبل الزراعة. لم يلاحظ أي اختلاف معنوي في شدة اليخضور بين جميع النباتات المدروسة. بل لُوحِظ وجودُ فرق معنوي بين المساحة الورقية لنباتات الصنف باكستاني مقارنةً بكافة نباتات الصنف عربي أبيض.

كان لأشعة غاما تأثير إيجابي على امتصاص عنصر المغنيزيوم في الصنف عربي أبيض فقط، ولم يظهر أي تأثير لأشعة غاما على امتصاص الكالسيوم والبوتاسيوم والصوديوم ضمن الصنف الواحد، غير أن كمية عنصر البوتاسيوم في الصنف عربي أبيض كانت أكبر منها في الصنف الباكستاني وهذا يعود إلى ظاهرة التضاد بين الصوديوم والبوتاسيوم. أما ما يتعلق بالآزوت والفسفور، فقد كان التأثير الإيجابي لأشعة غاما واضحاً على امتصاص هذين العنصرين من قبل نباتات الصنف عربي أبيض وهذا يتفق مع نتائج سابقة على الشعير المستنبت في الأوساط المائية المحمّلة بالأملاح ويختلف مع بعض النتائج التي تقول بأن وجود الكلور في الوسط يحدُّ من امتصاص الآزوت والفسفور من قِبَل النبات نتيجة لزيادة نسبة حمض الجبراليك في البذور بعد تعرضها لجرعات منخفضة من أشعة غاما، كما أنه كان للأشعة تأثير إيجابي على إعاقة امتصاص عنصر الكلور في الصنف عربي أبيض.

مرحلة النضج الفيزيولوجي Physiological Maturity Stage

عند قياس الوزن الجاف للمجموع الخضري، تبيّن عدم وجود فرق معنوي بالوزن الجاف بين المعاملة المشعّعة وغير المشعّعة للصنف باكستاني، أما في الصنف عربي أبيض فقد كان هناك فرق معنوي بين معاملة الشاهد ومعاملة التشعيع، وقد ازدادت قيمة هذا الوزن عن سابقتها في مرحلة الإسبال وهذا يتفق مع نتائج أُجريت على الشعير حيث وُجِدَ بأن تحمّل الشعير للملوحة يزداد مع ازدياد عمر النبات. كما أن المساحة الورقية لساقات الصنف باكستاني كانت أكبر منها في الصنف عربي أبيض بشكلٍ عام سواءً أكانت مشعّعة أم غير مشعّعة.

كان للأشعة تأثير سلبي على امتصاص عنصر الصوديوم في كلا الصنفين وهذا ما أدّى إلى زيادة امتصاص عنصر المغنيزيوم في الصنف عربي أبيض وعدم إعاقة امتصاص عنصري الكالسيوم والبوتاسيوم في كلا الصنفين، إلاّ في حالة واحدة في الصنف باكستاني وعنصر البوتاسيوم، وهذا يعود إلى أن الجرعات المنخفضة تزيد من امتصاص بعض العناصر المعدنية؛ إن هذه النتائج تختلف مع الرأي القائل بأن وجود الصوديوم يحدُّ من امتصاص الكالسيوم والبوتاسيوم نتيجة لخلل ما في عمل الغشاء الخلوي.

في هذه المرحلة لم يظهر أي اختلاف في النسبة المئوية للآزوت الكلي في كلا الصنفين، كما أن تركيز عنصري الفسفور والكلور كان متماثلاً في كلا الصنفين ولجميع المعاملات.

مرحلة الحصاد Harvesting Stage

الإنتاج الكلي (حبوب + قش): كان للتشعيع تأثير معنوي إيجابي على الإنتاج الكلي للصنف باكستاني المشعّع مقارنةً بالشاهد لنفس الصنف، وهذا ما يتّفق مع دراسات سابقة عن الأثر التحريضي للأشعة على الإنتاجية لنباتات الشعير والذرّة الصفراء على التوالي، وتعود هذه الزيادة في الإنتاج إلى زيادة عدد الإشطاءات وبالتالي إلى زيادة عدد السنابل. وعند مقارنة الإنتاج الكلي للصنفين يتبيّن لنا أن هناك اختلافاً معنوياً بين إنتاج الصنف باكستاني المشعّع وإنتاج الصنف عربي أبيض المشعّع أيضاً، وكذلك بين إنتاج الشاهد من الصنف عربي أبيض مع إنتاج الشاهد من الصنف باكستاني.

إنتاج الحبوب: كان للتشعيع تأثيرٌ معنويٌّ إيجابيٌّ على إنتاج الحبوب للصنف باكستاني المشعّع مقارنةً بالشاهد لنفس هذا الصنف، كما ظهرت هذه الزيادة أيضاً بين الصنف باكستاني المشعّع والصنف عربي أبيض المشعّع.

إنتاج القش: ازداد إنتاج القش بشكل معنوي للصنف عربي أبيض (المشعّع وغير المشعّع) مقارنة بإنتاج القش للصنف باكستاني بشكلٍ عام.

دليل الحصاد Harvest Index: حسب دليل الحصاد بتقسيم وزن الحب في وحدة المساحة على الوزن الكلي (قش + حب) في وحدة المساحة نفسها. وقد تبيّن أن دليل الحصاد للصنف باكستاني المشعّع كان أعلى وبشكل معنوي من دليل الحصاد للشاهد من نفس الصنف، وقد انخفض هذا الدليل في الصنف عربي أبيض المشعّع وغير المشعّع بشكلٍ معنوي مقارنة بالصنف باكستاني.

وزن الألف حبة: ازداد وزن الألف حبة للصنف عربي أبيض المشعّع وغير المشعّع بشكل معنوي مقارنةً بالصنف باكستاني المشعّع وغير المشعّع. إن نقص الإنتاجية في الصنف عربي أبيض ترافق مع زيادة وزن الألف حبة معنوياً مقارنة بالصنف باكستاني 30163.

النسبة المئوية للآزوت في الحبوب: بيّنت النتائج أنه كان لأشعة غاما تأثير إيجابي معنوي على النسبة المئوية للآزوت في حبوب الصنف عربي أبيض المشعّع مقارنةً بالشاهد، بينما انخفضت هذه النسبة وبشكلٍ معنوي في حبوب الصنف باكستاني المشعّع مقارنةً بالشاهد أيضاً، إن نقص نسبة الآزوت في الصنف باكستاني 30163 تعود إلى زيادة إنتاجية هذا الصنف المشعّع قبل الزراعة.

غلّة النتروجين: تدلُّ غلّة النتروجين على مدى استفادة النبات من آزوت التربة والسماد (في حالة التسميد الآزوتي) وكانت أعلى كمية لهذه الغلّة للنباتات المشعّعة مقارنةً بنباتات الشاهد في كلا الصنفين المدروسين. عند مقارنة غلّة النتروجين في الصنفين وُجِدَت أعلى نسبة لهذه الغلّة في الصنف باكستاني المشعّع وأقل نسبة لهذه الغلّة كانت للصنف عربي أبيض الشاهد، وهذا مرتبط بزيادة نسبة الإنبات لهذا الصنف وزيادة امتصاص الآزوت من قِبَل النبات.■

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

التحرّي الإشعاعي والجيوكيميائي عن اليورانيوم في التوضعات الرباعية والنيوجينية في منطقة منظومة فالق الرصافة (الجهة الشامية - الفرات الأوسط)*

أحمد العلي، د. يوسف جبيلي، موسى عيسى
قسم الجيولوجيا - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

نُفِّذَ مسح إشعاعي باستخدام كل من تقانة غاز الرادون في التربة، ومطيافية أشعة غاما، مع إجراء تحاليل جيوكيميائية لبعض العيّنات المنتقاة، بهدف التحري الإشعاعي والجيوكيميائي عن اليورانيوم في التوضعات الرباعية الحديثة والنيوجينية، على امتداد وادي الفيض في الجهة الشامية من الفرات الأوسط.

حدّدت أربعة بروفيلات للقياسات الإشعاعيّة شملت كامل منطقة الدراسة. أبدت بعض محطات القياس على مسار البروفيلين الأول والثاني ارتفاعاً ملحوظاً في قيم تراكيز الرادون في التربة بلغ بعضه أكثر من ثلاثة أضعاف الخلفية الإشعاعية الطبيعية مما يشير إلى وجود فالق تحت سطحي متمثل بامتداد فالق وادي الفيض (الرصافة). بينما أشارت معظم محطات البروفيل الرابع إلى وجود نوع من التوافق الملحوظ بين قيم تراكيز غاز الرادون ونشاط مطيافية غاما لبعدها عن فالق الرصافة.

أشارت هذه الدراسة إلى وجود توافق بين تركيز اليورانيوم وبين حركة المياه الجوفية التي تقوم بنقل نواتج تجوية وغسل السويات الليثولوجية الأقدم وإعادة توضعها ضمن التوضعات الحطامية والغضارية الحاوية على المتبخرات. لُوحظ ارتفاعٌ نسبيٌ في تركيز اليورانيوم في محطات قياس البروفيل الثالث مقارنة بتراكيز اليورانيوم في باقي المحطات ولكن هذه التراكيز لاتصل إلى درجة شذوذات مؤملة بل تبقى ضمن تصنيف الشذوذات الجيوكيميائية المرتبطة ليثولوجياً.

الكلمات المفتاحية: مسح إشعاعي وجيوكيميائي، رادون، فالق الرصافة.

مقدمة

تتحرك محاليل اليورانيوم في القشرة الأرضية ضمن شروط جيوكيميائية خاصة، قد تتجمع وتدمص من قبل توضعات أو سحنات ليثولوجية ذات طبيعة جيوكيميائية مناسبة لاصطيادها. وبما أن منطقة الدراسة تحتوي على توضعات فسفاتية وأخرى حطامية، فمن المحتمل وجود شذوذات إشعاعية لغاز الرادون وغاما على امتداد التوضعات الجيولوجية الحديثة، الرباعية منها والنيوجينية الحطامية المتموضعة في الأحواض والمنخفضات.

النتائج والمناقشة

أُجري سبر إشعاعي للتوضعات والتكشفات الجيولوجية في منطقة الرصافة من خلال أربعة بروفيلات ذوات توزع جغرافي يشمل كافة منطقة منظومة فالق الرصافة. وبما أن تركيز غاز الرادون يختلف من موقع إلى آخر باختلاف السحنات الليثولوجية والظروف الجيوكيميائية والتكتونية، وللحصول على نتائج أكثر وثوقية، تمَّ قياس الخلفية الإشعاعية الطبيعية لتركيز غاز الرادون Rn-222 في كل بروفيل على حدة. وتمَّ حساب الخلفية الإشعاعية الطبيعية لتركيز غاز الرادون وفق الصيغة التالية: $X \pm 2SD$، حيث تتراوح ضمن المجال 40 ± 62 للبروفيل الأول، 42 ± 38 للثاني، 24 ± 36 للثالث و 12 ± 15 pCi/L للرابع.

فيما يتعلق ببروفيلات الدراسة، أبدت عينتان ارتفاعاً ملحوظاً في تركيز غاز الرادون تجاوز الخلفية الإشعاعية الطبيعية. في حين لم نلاحظ توافقاً بين مطيافية غاما وبين تركيز غاز الرادون ماعدا في البروفيل الرابع حيث أبدت العينتان توافقاً ملحوظاً. وتفسر القيم المرتفعة لتراكيز غاز الرادون إلى وجود ظاهرة تكتونية متمثّلة بوجود كسر أو فالق في مواقع بعض محطات القياس، ومن المحتمل أن تكون هذه الظاهرة متمثلة بامتداد لفالق وادي الفيض وهذا ما أوضحته الخارطة التكتونية لسورية لبونيكاروف عام 1964.

أما بالنسبة إلى تراكيز اليورانيوم، فقد تراوحت بين 1.26 ± 1.98 إلى 1.50 ± 3.58 ppm حيث بلغت أعلاها على امتداد البروفيل الثالث، وهذا متوافق مع جهة حركة المياه الجوفية. بالنسبة إلى مادة السترونسيوم، والتي تشكّل أحد القرائن المهمة جداً على تواجد المتبخرات (طغيان المياه البحرية المالحة)، أبدت تركيزاً عالياً على مسار البروفيل الرابع لوجود توضعات فسفاتية.

* تقرير مختصر عن دراسة علمية ميدانية أُنجزت في قسم الجيولوجيا - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

أما التطابق ما بين قيم الرادون وغاما، واحتواء بعض البروفيلات على نسبة ملحوظة من اليورانيوم وبعض عناصر الأثر المرافقة له فيعزى لوجود حركة لمحاليل اليورانيوم ناتجة من عمليات الغسل والنقل بالتيارات المائية. وإن وجود التوضعات الحطامية النيوجينية والرباعية الحاوية على المتبخرات ساعد على امتزاز هذه المحاليل ضمن الغضاريات والصخور الحطامية مما أعطى تركيزاً ملحوظاً لليورانيوم على مسار البروفيل الثالث، وكذلك بالنسبة لعناصر الأثر المرافقة له، وإن الظروف الهدرولوجية السائدة ساعدت على نقل محاليل اليورانيوم من المناطق المجاورة لمنطقة الدراسة إلى مواقع البروفيلين الثالث والثاني.

خاتمة

أثبتت تقانة الرادون في هذه الدراسة قدرتها الموثوقة على الكشف عن الفوالق والتخلعات تحت السطحية، من خلال دراسة تغيرات انبثاق غاز الرادون في التربة، ومضاهاة هذه التغيرات مع نتائج مطيافية أشعة غاما. كما تمَّ، من خلال هذه الدراسة، الكشف عن وجود حركة لمحاليل اليورانيوم وحصرها ضمناً باتجاه موقع البروفيل الثالث. وقد توافقت هذه الحركة مع عدة عوامل أساسية أهمها:

1- وجود توافق بين تركيز اليورانيوم وبين حركة المياه الجوفية مما يشير إلى الدور الذي تلعبه المياه الجوفية في غسل ونقل التوضعات الأقدم الحاوية لمواد مشعة محيطة بمنطقة الدراسة باتجاه منحى فالق الرصافة والذي يُشكّل وادي الفيض.

2- ميول الطبقات الجيولوجية.

3- طبيعة التوضعات الحطامية والغضارية النيوجينية والرباعية الحاوية للمتبخرات والقادرة على اقتناص أكاسيد اليورانيوم.■

دراسة تأثير أشعة غاما على قوة لصق مادة الإيبوكسي*

زكي عجي
قسم تكنولوجيا الإشعاع - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية.

ملخص

دُرِس تأثير أشعة غاما على لصوقية مادة الإيبوكسي حيث استُخدِمت ثلاث مُعاملات للقياس، النزع الشاقولي المنتظم (فطر حديدي)، النزع الشاقولي من زاوية (الزوايا المعدنية)، الانزياح الأفقي (صفائح معدنية). إنَّ مقاومة الشّد ازدادت حتى جرعات 150 كيلوغراي وبعدها بدأت المقاومة بالانخفاض. ومما يدل على تحمّل جيد لأشعة غاما أنَّ أعلى قيمة مَقِيسَة كانت أعلى من القيمة البدائية.

الكلمات المفتاحية: إيبوكسي، لصوقية، إشعاع غاما.

مقدمة

تعود التجارب الأولى في تحضير بوليميرات الإيبوكسي Epoxy harze إلى العالم P. Solack من شركة I. G. Farben Industrie الألمانية. وقد أدرك السويسري ب. كاستان P. Castan من شركة Detrey AG, Zurich الخصائص المميّزة لها والتي تعود للقدرة التفاعلية لمجموعة أكسيد الإتيلين أو الإيبوكسي (Epoxy group).

يعود تصنيع بوليميرات الإيبوكسي إلى حوالي عام 1946 من قِبَل شركة (Ciba. AG, Basel) وذلك كمواد لاصقة وللصب وللدهانات. معظم بوليميرات الإيبوكسي المستخدمة حالياً ناتجة من تفاعل مادة الإيبي كلورهدرين Epichlorhydrin مع دي فينول بروبان Diphenylolpropan [1]. تتصلّب بوليميرات الإيبوكسي في درجة حرارة الغرفة وكذلك في درجات حرارة أعلى حتى 200°C وذلك بتشكيل شبكة ثلاثية الأبعاد بين سلاسل البوليمير [3]. تستخدم عادة مركبات الأمين الأليفاتية أو الحلقية لإجراء عملية التصلب (التشابك).

تُستخدم بوليميرات الإيبوكسي في مجالات مختلفة منها:

- صناعة الآلات والسيارات وفي بناء الطائرات بالقطع التي تحتاج إلى صلادة كبيرة.
- في الصناعة الكيميائية فهي تُستخدم كأنابيب وحاويات أجهزة.
- في بناء الأرضيات وكذلك الواجهات والجدارن.
- وتستخدم كمواد لاصقة ودهانات.

كما تتمتع الإيبوكسيدات البوليميرية أو اليغوميرية بقدرة عالية على لصق المعادن، الزجاج، الفخار، البلاستيك.

تهدف هذه الدراسة إلى دراسة تأثير أشعة غاما على قوة لصق مادة الإيبوكسي حيث إن تعريض البوليمير للإشعاع له تأثيران متعارضان:

1- التشابك (cross-linking) وذلك بتشكل روابط تصالبية بين سلاسل البوليمير.

2- التقادم (degradation) وذلك بتحطيم السلاسل البوليميرية.

* تقرير مختصر عن دراسة علمية مخبرية أنجزت في قسم تكنولوجيا الإشعاع - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

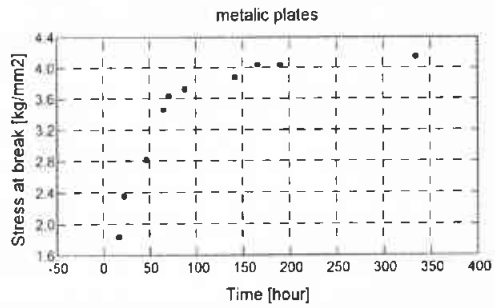
http://serversmiso.aecs.sy مكتب نظم المعلومات هيئة الطاقة الذرية السورية

ينشأ من تكوّن الروابط التصالبية بين سلاسل البوليمير تغير في الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للمنتج.

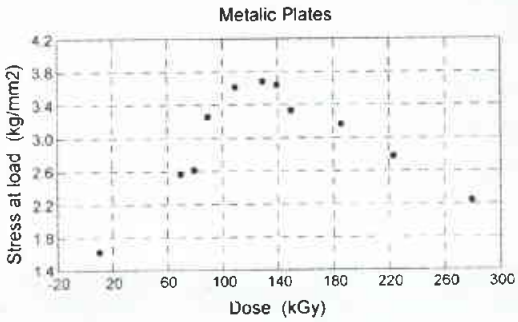
النتائج والمناقشة

يُمثّل الشكل 1 الجهد عند الانقطاع بدلالة زمن التصلب لصفائح معدنية ملصقة بمادة الإيبوكسي. يتضح من المنحني أنه كلما ازداد زمن التصلب كلما ازدادت قوة الشّد (الانزياح الأفقي) إلى أن تصبح القوة أعظمية بعد زمن قدره 170 ساعة كما هو مبيّن في الشكل 1. ويعود ذلك إلى أن التفاعل يحتاج إلى زمن حتى يصل إلى المردود النهائي وبالتالي إلى مقاومة شد أعظمية. أما المجموعة الأخرى من الصفائح فقد لصقت بمادة الإيبوكسي بنفس الشروط السابقة وعرضت لجرعات مختلفة من أشعة غاما. نلاحظ من المنحني المبيّن في الشكل 2 أنه في البداية كلما ازداد مقدار الجرعة تأخذ مقاومة الشّد بالازدياد وهذا يعود للتشابك في جزيئات المادة اللاصقة أما عندما تصل الجرعة إلى 150 كيلوغراي تأخذ قوة الشّد بالانخفاض. حيث إن تفاعل التفكك بدأ يسيطر بالمقارنة مع تفاعل التشابك حيث يؤدي تفاعل التشابك إلى تشكل روابط تصالبية بين سلاسل البوليمير وبالتالي إلى تحسين الخصائص الميكانيكية أما تفاعل التقادم فيخفض هذه الخاصة.

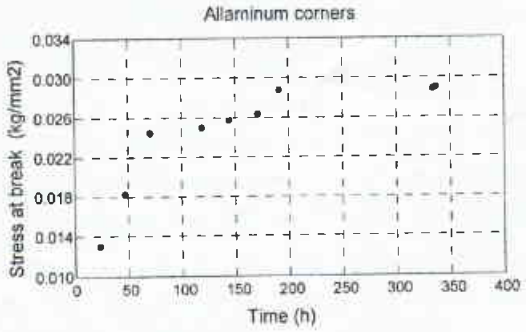
في الجزء الثاني من العمل كانت التجارب على زوايا من الألمنيوم حيث حُضّرت العيّنات بدرجة حرارة الغرفة وتركت لأزمنة مختلفة. يمثل الشكل 3 الجهد عند الانقطاع لزوايا معدنية بدلالة زمن التصلب. يتضح لدينا من الخط البياني أنه كلما ازداد زمن التصلب كلما ازدادت مقاومة الشّد (النزع الشاقولي من زاوية واحدة) إلى أن تصل إلى الحدّ الأعظمي. وهذا يتفق مع كون مادة الإيبوكسي تحتاج إلى زمن كي تتصلب ويصل التفاعل إلى حدّ التوازن (المردود النهائي للتفاعل).



الشكل 1- يمثل الجهد عند الانقطاع لصفائح معدنية بتابعية زمن التصلب للصفائح المعدنية.

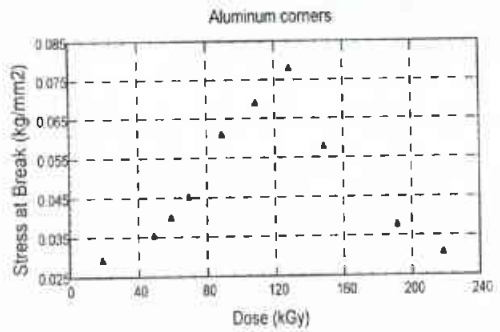


الشكل 2- الجهد عند الانقطاع بتابعية الجرعة الممتصة للصفائح المعدنية.



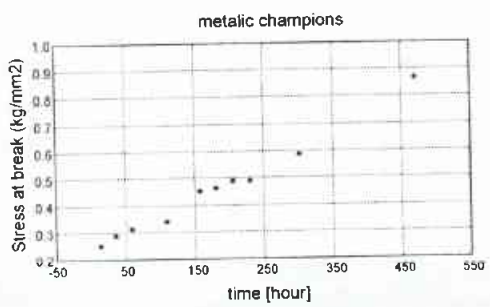
الشكل 3- الجهد عند الانقطاع بتابعية الزمن للزوايا.

دُرِست كذلك زوايا ألمنيوم بعد أن عرّضت لجرعات مختلفة من أشعة غاما حيث تبيّن أن مقاومة الشّد (النزع الشاقولي من زاوية واحدة) تزداد مع الجرعة كما هو مبيّن في الشكل 4. هذا يعود إلى تفاعلات التشابك في المادة البوليميرية حيث تزداد حتى تصل إلى حدٍّ أعظمي عند جرعة قدرها 150 كيلوغراي. بعدها تبدأ مقاومة الشّد بالانخفاض حيث يصبح تفاعل تفكك المادة هو المسيطر. إن أعلى قيمة مقاسة كانت أعلى من القيمة البدائية وهذا مؤشر على تحمل مادة الإيبوكسي الجيد للإشعاع بالنسبة للانزياح الزواي.



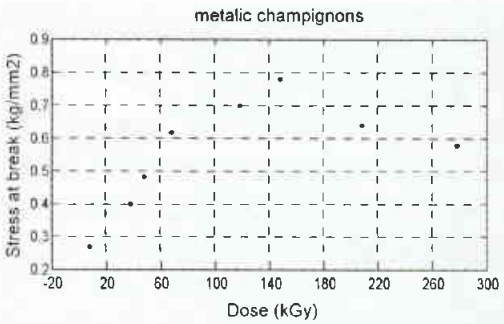
الشكل 4- الجهد عند الانقطاع بتابعية الجرعة الممتصة للزوايا.

الجزء الأخير من هذا العمل تضمن دراسة مقاومة الشّد العامودية (النزع الشاقولي المنتظم) لمادة الإيبوكسي حيث تمّ لصق "فطور" حديدية مع بعضها البعض لهذا الغرض. يمثل الشكل 5 الجهد عند الانقطاع الشاقولي لفطور معدنية بدلالة زمن التصلب لمادة الإيبوكسي حيث تزداد مقاومة الشّد الشاقولية المنتظمة بتابعية الزمن ويعود ذلك إلى ما ذكر سابقاً من وصول التفاعل إلى الحدّ النهائي (المردود النهائي).



الشكل 5- الجهد عند الانقطاع الشاقولي بتابعية الزمن للفطر الحديدي.

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



الشكل 6– الجهد عند الانقطاع الشاقولي بتابعية الجرعة الممتصة للفطر الحديدي.

يُمثّل الشكل 6 مقاومة الشد الشاقولي المنتظم للاصق الإيبوكسي بتابعية الجرعة الممتصة، تزداد مقاومة الشّد بازدياد الجرعة الممتصة حتى قيمة قدرها 150 كيلوغراي. وبعدها تبدأ مقاومة الشد بالانخفاض ويعود ذلك للأسباب المذكورة سابقاً. وحتى جرعة قدرها 280 كيلوغراي كانت مقاومة الشّد أعلى بكثير من مقاومة الشّد الأولية.

الخاتمة

تمّ في هذا العمل دراسة تأثير أشعة غاما على لصوقية مادة الإيبوكسي وتبيّن أن هذه المادة تتحمّل جرعات عالية من أشعة غاما مما يؤهلها للاستخدام في أماكن معرضة للإشعاع حتى الجرعات المذكورة في العمل.

المراجع REFERENCES

[1] Plastics Technology Moscow (Chemistry),1972.
تكنولوجيا البلاستيك موسكو الناشر (كيميا)

[2] Heinz Greif, Schaeume, Giess- und Klebstoffe und ihre Anwendungen, Aufgearbeitete Auflage, Vogel, Verlag, 1990.■

تأثير الأشعة والتقليم وإزالة جذور نباتات الكرمة المستنبتة في الزجاج على نمو هذه النباتات في مرحلة الأقلمة★

د. طريف شربجي، زهير أيوبي
قسم البيولوجيا الجزيئية – هيئة الطاقة الذرّية – ص.ب 6091 – دمشق – سورية

ملخص

تمّ تعريض الأصل روكشري 140 والصنف حلواني المستنبتين في الزجاج (in vitro) لجرعات منخفضة من أشعة غاما قبل البدء بمرحلة الأقلمة (Acclimatization)، وكانت هذه الجرعات كالتالي: روكشري (0–5 غراي) وحلواني (0–7 غراي)، ثم أُجريت ثلاث عمليات على جذور هذه النباتات: الاحتفاظ بالجذور كاملة (الشاهد)، وتقليم الجذور مع الاحتفاظ ب 2–3 جذور، وإزالة كافة الجذور، ثم نقلت النباتات إلى الوسط الخارجي (ex vitro) للأقلمة وبعد 45 يوماً من الأقلمة، تبيّن أن لعملية تقليم الجذور سواء أكانت منفردة أم مترافقة مع تعريض النبات للأشعة تأثير إيجابي ومعنوي على النمو الخضري وعدد الأوراق والوزن الجاف لنباتات الأصل روكشري 140 مقارنة بالشاهد، بينما كان لعملية إزالة الجذور سواء أكانت مفردة أم مترافقة مع تشعيع النبات تأثير سلبي ومعنوي على النمو الخضري وعدد ومساحة الأوراق والوزن الجاف لنباتات هذا الأصل، كذلك كان لأشعة غاما تأثير إيجابي على هذه القياسات في النباتات المحتفظة بجذورها.

كان لعملية تقليم الجذور تأثير إيجابي ومعنوي على النمو الخضري وعدد الأوراق والوزن الجاف لنباتات الصنف حلواني مقارنة بالشاهد، بينما كان لعملية إزالة الجذور تأثير سلبي ومعنوي على كافة القياسات مقارنة بالشاهد، وكان التأثير الإيجابي لأشعة غاما، واضحاً على النمو الخضري والوزن الجاف للنباتات المحتفظة بجذورها فقط، وعلى عدد أوراق النباتات المحتفظة بجذورها والمقلمة الجذور لهذا الصنف.

الكلمات المفتاحية: أقلمة، زراعة أنسجة، كرمة، تقليم الجذور.

★ تقرير مختصر عن تجربة استطلاعية علميّة أنجزت في قسم البيولوجيا الجزيئية – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

مقدمة

تُعتبر عملية إكثار النباتات في الزجاج ناجحة عند الحصول على نبات كامل في الحقل، أي بعد عملية الأقلمة Acclimatization، وهذه المرحلة التي يتم فيها نقل النباتات من الزجاج إلى الوسط الخارجي، هي من المراحل الحساسة جداً لكثير من النباتات، حيث إن النبات في الزجاج يتعرض لرطوبة عالية وينمو في بيئة لاتتوفر فيها المياه وإن تغيير هذه الظروف يؤثر سلباً على النبات في الوسط الخارجي.

تمّت أقلمة نبات الكرمة المستنبتة في الزجاج من قِبَل كثير من الباحثين. وقد وجد أن نجاح أقلمة نباتات الكرمة المستنبتة في الزجاج قد تصل حتى 60% غير أن هذه النسبة تبقى ضئيلة مقارنة بنباتات أخرى، وقد وجد أن نباتات الكرمة الجيدة التجذير في الزجاج أكثر قدرة على اجتياز هذه المرحلة وأسرع نمواً في الحقل. كما أن للجرعات المنخفضة من أشعة غاما تأثيراً إيجابياً على نمو جذور نباتات الكرمة المستنبتة في الزجاج.

والهدف من هذه التجربة هو معرفة الجرعة المثلى من أشعة غاما والمعاملة الأنسب للجذور (الاحتفاظ بالجذور أو تقليم هذه الجذور أو إزالتها نهائياً) لإنجاح أقلمة النباتات المستنبتة في الزجاج وبالتالي الإقلال من عملية الفقد التي تحصل عند نقل النباتات من الزجاج إلى الوسط الخارجي في مرحلة الأقلمة.

النتائج

النمو الخضري: تبيّن أن النمو الخضري لنباتات الأصل روكشري 140 غير المشعّة قد ازداد عند تقليم الجذور مقارنة بالشاهد أو النباتات التي أُزيلت جذورها كاملة، أما عملية إزالة الجذور قبل الأقلمة فقد كان لها نتائج سلبية على النمو الخضري لهذا الأصل، كما لوحظت هذه النتيجة أيضاً عند النباتات المشعّة بالجرعة 5 غراي، وعند مقارنة نتائج النباتات المشعّة مع غير المشعّة تبيّن أن للأشعة تأثيراً معنوياً على نباتات الشاهد والنباتات التي قُلّمت جذورها.

تبيّن أن تقليم الجذور في الصنف حلواني كان له أثرٌ إيجابيٌ على النمو الخضري لهذا الصنف مقارنة بالشاهد ، وكان هناك تأثير سلبي لإزالة الجذور نهائياً على هذا النمو لهذا الصنف. وكان هناك تأثير إيجابي لأشعة غاما على الشاهد (النباتات المحتفظة بجذورها) فقط، ولكن كان هناك تأثير سلبي للجرعة 7 غراي على النمو الخضري للنباتات التي تمّت إزالة جذورها نهائياً.

عدد الأوراق: كان لعملية تقليم الجذور تأثير إيجابي على عدد أوراق الأصل روكشري 140 والصنف حلواني سواء المشعّة أو غير المشعّة مقارنة بالشاهد والنباتات التي أُزيلت جذروها كاملة، أما عملية إزالة الجذور قبل الأقلمة فقد كان لها نتائج سلبية على هذا العدد سواء أتمّ تعريض النبات للأشعة أم لم يتم ذلك، وكان لأشعة غاما تأثير إيجابي أيضاً على عدد الأوراق سواء للشاهد أو للنباتات التي تمّ تقليم جذورها مقارنة بالنباتات غير المشعّة.

المساحة الورقية: لم يظهر أي تأثير لعملية تقليم الجذور على المساحة الورقية للنباتات مقارنة بالشاهد للأصل روكشري 140 والصنف حلواني بينما كان لإزالة الجذور تأثير سلبي على المساحة الورقية للنبات مقارنة بالشاهد ولم يظهر أي تأثير للأشعة على هذه النباتات المدروسة ولكافة العمليات التي تمت على الجذور.

الوزن الجاف: كان للجرعة 5 غراي ولتقليم الجذور تأثير إيجابي على الوزن الجاف لنباتات الأصل روكشري 140 مقارنة بالشاهد المشعّع والنباتات التي تمّت إزالة جذورها، أما ما يتعلق بالنباتات التي لم تتعرض للأشعة، فقد كان هناك اختلاف معنوي بين النباتات التي تمّ تقليم جذورها والنباتات الشاهد، وظهر التأثير السلبي لعملية إزالة الجذور على الوزن الجاف لهذا الأصل مقارنة بالشاهد.

تبيّن أنَّ لتقليم الجذور تأثيراً إيجابياً ومعنوياً وأن لعملية إزالة الجذور تأثيراً سلبياً معنوياً على الوزن الجاف للصنف حلواني سواء أُعرِّضت النباتات لأشعة غاما أم لم تُعرّض مقارنة بالشاهد، وكان لأشعة غاما تأثير إيجابي على الوزن الجاف للنباتات التي احتُفِظَ بجذورها، على عكس النباتات التي تمّت إزالة جذورها نهائياً، حيث كان لأشعة غاما تأثير سلبي على وزنها الجاف.

المناقشة

كان لعملية تقليم الجذور في هذه التجربة تأثير إيجابي على نمو نباتات الأصل روكشري 140 والصنف حلواني، كما يعتبر بعض الباحثين أن تنشيط النمو عند النباتات باستخدام الأشعة هو من الطرائق المثلى وذات المردود العالي جداً، وفيما يتعلق بنبات الكرمة المستنبت في الزجاج فقد وجد سابقاً أن لأشعة غاما تأثير إيجابي على نموه عند إجراء عملية الإكثار في الزجاج، وفي هذه التجربة وجد أن تشعيع النبات (الأصل) قبل الأقلمة يؤدي إلى نتائج جيدة فيما يتعلق بالنمو الخضري وعدد الأوراق والوزن الجاف لنباتات الشاهد والنباتات التي قُلّمت جذورها، وهذا يعود إلى الأثر التحريضي للأشعة المؤينة على النشاط الأنزيمي وعلى الاصطناع الحيوي لبعض الأحماض الأمينية في النبات مثل الليسين والفينيل ألانين (Antonov, 1985).

إن عملية إزالة الجذور نهائياً سواء أُعرِّض النبات للأشعة أم لم يُعرَّض، كانت نتائجها سلبية على النبات في مرحلة الأقلمة مقارنة بالشاهد، كما أن النباتات كانت صغيرة وعدد أوراقها ووزنها الجاف أقل من الشاهد وتتّصف بلونها المصفر وهذا ناتج من عوز السيتوكينات وإلى قلة امتصاص العناصر المعدنية من قِبَل النبات وارتفاع نسبة الأنتوسيانين نتيجة لقلة امتصاص النترات. وبعد هذه النتائج يمكن التوصية بالنقاط التالية:

- يمكن تقليم الجذور وتعريض الأصل روكشري 140 لأشعة غاما بالجرعة 5 غراي قبل الأقلمة لتنشيط النمو عند النبات في هذه المرحلة.
- يمكن تعريض الصنف حلواني للجرعة 7 غراي قبل الأقلمة لتنشيط النمو عند النبات.
- يمكن تقليم جذور الصنف حلواني دون تعريضه للأشعة قبل الأقلمة لتنشيط النمو عند النبات.
- لايُنصَح بعملية إزالة الجذور نهائياً للأصل أو الصنف المدروسين.■

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

أتمتة عملية إدارة حركة العيّنات في مخابر التحليل*

عبد الغني شخاشيرو، حسين الأشقر
مكتب ضمان الجودة - هيئة الطاقة الذرّية - ص.ب 6091 - دمشق - سورية

ملخص

بهدف رفع كفاءة مخابر هيئة الطاقة الذرّية، قرر عدد من هذه المخابر إدخال نظم الجودة إلى أعمالها التحليلية وفق المواصفة الدولية ISO/IEC-17025، تمهيداً لحصولها على شهادة الاعتماد الدولي.

تُعدّ عمليتا تتبع العيّنات ونتائجها مسألتين هامتين في نظم الجودة الخاصة بالعمل المخبري، وانعكست هذه الأهمية في المواصفة العالمية ISO 17025 حيث ورد في الفقرة 5.8 أنه يجب على المخبر وضع نظام لتعريف العيّنات بحيث يضمن تقفي نتائجها والشروط التي أُجريت التحاليل بموجبها.

ولذلك أَوْلَى نظام الجودة في هيئة الطاقة الذرّية السورية هذا الموضوع أهمية كبرى فوُضِعت عدة سجلات لتلبية متطلبات المواصفة في هذا المجال.

يتناول التقرير كيفية تلبية متطلبات تقفي العيّنات ونتائجها من خلال برنامج حاسوبي تمَّ تطويره ليلبي متطلبات مخابر ذات اختصاصات مختلفة والمحافظة على مصداقية النتائج التحليلية.

تمَّ لحظ ثلاثة مستويات من السماحيات في البرنامج:

1- مسؤول النظام: يمكنه إضافة مستخدم جديد للبرنامج، تغيير كلمة السر للمستخدم، إضافة عناصر تحليلية وإضافة تحاليل مطلوبة، إضافة أسماء القائمين على التحاليل وإضافة نتيجة كل تحليل، طباعة وثيقة تحليل، وكذلك مراجعة كل نتائج المحللين مع إمكانية تغيير أي معلومة أدخلت مسبقاً من قبل المنسق والمحلّل.

2- منسق الجودة: يمكنه إضافة عناصر تحليلية، وإضافة تحاليل مطلوبة، إدخال أسماء القائمين على التحاليل، طباعة وثيقة تحليل، تغيير كلمة السر الخاصة به فقط، ولايمكنه تغيير نتيجة أو واحدة أو تاريخ التحليل.

3- المحلّل: يدخل إلى البرنامج بكلمة السر الخاصة به (وكلمة البرنامج مشتركة بين جميع المستثمرين)، يمكنه مراجعة وإضافة نتائج التحليل العائدة له والواحدة وتاريخ التحليل، وتغيير كلمة السر الخاصة به فقط، ولايستطيع مراجعة التحاليل والنتائج الخاصة بباقي مستثمري البرنامج ومراجعة وطباعة وثيقة التحليل ولايمكنه أن يغير في ماهية العيّنة، أو مكان حفظها، والتعريف الحقلي، أو أية معلومة كان منسق الجودة قد أدخلها.

بعد تجريب البرنامج تبيّن أنه يسهل عمليات تسجيل العيّنات وتقفي نتائجها واسترجاعها بالشكل المناسب والذي يلبي المتطلبات الفنية للمواصفات الدولية.

الكلمات المفتاحية: ISO/IEC 17025:1999، ضمان الجودة، نظم إدارة المعلومات في المخابر.

مقدمة

تُعدّ عمليتا تتبع العيّنات ونتائجها مسألتين هامتين في العمل المخبري، وانعكست هذه الأهمية في المواصفة العالمية ISO 17025 حيث ورد ذلك في الفقرة 5.8 أنه يجب على المخبر وضع نظام لتعريف العيّنات بحيث يضمن تقفي نتائجها والشروط التي أجريت بموجبها التحاليل.

ولذلك أولى نظام الجودة في هيئة الطاقة الذرّية السورية هذا الموضوع أهمية كبرى فوضعت عدة سجلات لتلبية متطلبات المواصفة في هذا المجال.

بعد وضع هذه السجلات في التطبيق العملي لمدة عامين والتأكد من حسن سير آلية العمل المتبعة وفقها، تبيّن أنه ليس من السهل استرجاع المعلومات المطلوبة عن العيّنات بالسرعة المطلوبة.

ولما كان الحل الأمثل في مثل هذه الحالة وجود قاعدة بيانات لحفظ البيانات وتسهيل عملية استرجاعها والاستفسار عنها، بدأ البحث عن برنامج جاهز يقدم مثل هذه الخدمات ولكن تبيّن ارتفاع أسعار مثل هذه البرامج وكان لابد من تصميم برنامج بالاعتماد على الكوادر الفنية الموجودة في الهيئة لتلبية هذا الهدف،

تمَّ اتباع المنهج الآتي لتنفيذ البرنامج:

* تقرير مختصر عن دراسة علمية حاسوبية أُنجزت في مكتب ضمان الجودة - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

1- تحليل آلية العمل في المخابر ووضع نموذج قادر على استيعاب المتغيرات المختلفة فيها وليكون عامّاً وصالحاً للعمل في مخابر ذات اختصاصات مختلفة، (كيميائية - زراعية - طبية - جيولوجية).

2- تمَّ الأخذ بعين الاعتبار في أثناء تحليل النظام ربط كل المعطيات والنتائج الخاصة بالعيّنة بالرقم المخبري وفق متطلبات المواصفة لتسهيل تقفي نتائجها وبياناتها.

3- أثناء تحليل النظام تمَّ إعطاء عناية خاصة لتحديد المسؤوليات والصلاحيات في عملية إدخال العيّنة ونتائجها والتدقيق فيها وإصدار وثائق التحليل.

4- لحَظَ تحليل النظام سماحيات الاطلاع على النتائج التحليلية لضمان موضوعية النتائج وعدم تأثر أي محلّل بنتيجة محلل آخر بحيث لايسمح للمحلل بالاطلاع إلا على نتائج التحليل المخول بتنفيذها.

5- وضع البرنامج تحت الاختبار في عدة أقسام.

6- تمَّ تصحيح المشاكل التطبيقية الظاهرة خلال الاختبار.

7- وضع البرنامج في الاستخدام الفعلي في عدد من المخابر.

ولقد أعطى البرنامج نتائج جيدة وامتاز بالسهولة في التطبيق.

آلية العمل

للبرنامج ثلاثة مستويات من السماحيات

1- مسؤول النظام: يمكنه إضافة مستخدم جديد للبرنامج، تغيير كلمة السر للمستخدم، إضافة عناصر تحليلية وإضافة تحاليل مطلوبة، إضافة أسماء القائمين على التحاليل وإضافة نتيجة كل تحليل، طباعة وثيقة تحليل، وكذلك مراجعة كل نتائج المحللين مع إمكانية تغيير أي معلومة أدخلت مسبقاً من قبل المنسق والمحلّل.

2- منسق الجودة: يمكنه إضافة عناصر تحليلية، وإضافة تحاليل مطلوبة، إدخال أسماء القائمين على التحاليل، طباعة وثيقة تحليل، تغيير كلمة السر الخاصة به فقط، ولايمكنه تغيير نتيجة أو واحدة أو تاريخ التحليل.

3-المحلّل: يدخل إلى البرنامج بكلمة السر الخاصة به (وكلمة البرنامج مشتركة بين جميع المستثمرين)، يمكنه مراجعة وإضافة نتائج التحليل العائدة له والواحدة وتاريخ التحليل، تغيير كلمة السر الخاصة به فقط، ولايستطيع مراجعة التحاليل والنتائج الخاصة بباقي مستثمري البرنامج ومراجعة وطباعة وثيقة التحليل ولايمكنه أن يغير في ماهية العيّنة، أو مكان حفظها، والتعريف الحقلي، أو أي معلومة كان منسق الجودة قد أدخلها.

عند قدوم دفعة عيّنات جديدة إلى الهيئة فإن منسق الجودة يقوم بإعطاء هذه الدفعة من العينات رقماً فريداً (لايتكرر) ويعطي لكل عينة من العيّنات رقماً خاصاً بها ويجري الترقيم تلقائياً من قِبَل البرنامج.

ثم يدخل المعلومات الخاصة لكل عيّنة:

1- ماهية العينة: عند الضغط على الزر في هذا الحقل تظهر قائمة منسدلة لاختيار أحد محتوياتها مع إمكانية إضافة ماهية جديدة بغية تسهيل العمل.

2- مكان الحفظ: كذلك هنا تظهر قائمة منسدلة لاختيار أحد محتوياتها مع إمكانية إضافة مكان حفظ جديد.

3- التعريف الحقلي: يتم وضع التعريف الحقلي للعيّنة.

4- تاريخ الجمع: يتم وضع تاريخ جمع العيّنة.

يمكن أن تُطلب عدة تحاليل من نفس العيّنة، ولهذا توجد قائمة فرعية لذلك، فعندوضع المؤشر على أحد العيّنات تظهر التحاليل الخاصة بهذه العيّنة ويتم إدخال ما يلي:

- العنصر التحليلي: تظهر في هذا الحقل قائمة منسدلة ليتم إدخال العنصر التحليلي المطلوب مع إمكانية اختياره في حال تمَّ إدخاله مسبقاً.

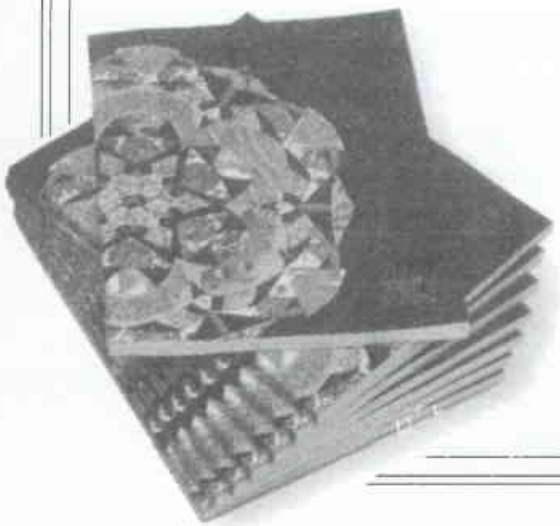
- المحلّل: يتم إدخال اسم المحلّل الذي سيقوم بالعمل.

ثم يقوم كل محلّل بإدخال نتائجه الخاصة، وبعد استكمال إدخال كامل النتائج المطلوبة يقوم منسق الجودة بطباعة وثيقة التحليل.

خاتمة

من خلال الموارد الفنية المتاحة تمَّ وضع برنامج لإدارة قاعدة بيانات تسهل إدخال النتائج المخبرية واسترجاعها وتقفي العيّنات في المخبر وإصدار وثيقة التحليل، وذلك كله لتلبية المتطلبات الفنية للمواصفة الدولية ISO/IEC-17025 الخاصّة بمخابر المعايرة والاختبار.■

كتب حديثة مختارة



1- مدخل إلى مسرّعات الجسيمات
An Introduction to Particle Accelerators ★

تأليف: إ. ج. ن. ويلسون
عرض وتحليل: ر. د. روث**

في هذا "الكتاب التدريسي" الوصفي الموجز كتب إدموند ولسون E. Wilson ما يسميه مدخل إلى مسرّعات الجسيمات. يبدأ الكتاب، كما يقول ولسون، بعلاج مسألة "عدم وجود مقدمة بسيطة تعرّف بالمبادىء الفيزيائية... التي تلائم متطلبات الفيزيائي أو المهندس الخريج الذي يواجه هذا الموضوع للمرة الأولى." لم يضع المؤلف كتاباً بمثل ذلك الوصف. ولكن ينبغي ألا يقف هذا عائقاً في وجه القرّاء العَرَضيين يحول دون قراءة هذا الكتاب بتأنٍّ ودقة. فهم سيتعلمون منه بعض الشيء حول المسرّعات الموجودة في العالم، وتقاناتها، والمبادىء الفيزيائية المطبّقة لإنشائها.

تقع الأجزاء الثلاثة لكتاب ولسون في 14 فصلاً تعالج باختصار كل جانب مهم من جوانب المسرّعات الجسيمية بدءاً من القديم وانتهاءً بالتوقعات المستقبلية. إن القائمة الشاملة بالمحتويات والحيّز المخصص لكل مقال ينوهان إلى نوعية الكتاب - فهو يمثل مسحاً مصوّراً لفيزياء المسرّعات، وتقاناتها، وتطبيقاتها.

بعد سرد تاريخي موجز يمهّد الكتاب، "مدخل إلى مسرعات الجسيمات"، لمناقشات فنية حول التبئير العرضاني لحزم الجسيمية. ويبحث ولسون بالتفصيل في الديناميات الطولانية ومن ثم يعود إلى الديناميات العرضانية مع العيوب واللاخطيات. وهنالك جزء مخصص حول ديناميات الحزمة الإلكترونية والإشعاع السنكروتروني يليه توقف مفاجيء عند حالات عدم الاستقرار. نصل أخيراً في الفصل العاشر إلى التسريع في مسرّع الجسيمات، مع التفاف إلى تقانة التواتر الراديوي (RF). وتتوقف الجولة عند مناقشة تطبيقات المسرّعات والأبحاث المستقبلية. وهنالك مقدمة لدراسة أكاديمية تغطي إلى حد ما المادة بعمق مضاعف - أو تغطي المادة كلها بما يعادل ضعف الطول.

لقد كُتِبت فصول الكتاب بأسلوب شعبي، إذ أن ولسون يضع يده على كتف القارىء عندما ينطلق بجولته. يقول، على سبيل المثال: "يهتز الجسيم في منظومة التبئير هذه مثل كرة صغيرة تتدحرج نازلة بسرعة ثابتة عبر ميزاب مائل قليلاً...". وفي هذه الجولة تُعرَض علينا معادلات ومخطّطات وصور تخدم بصورة أساسية كزخارف في النص. ولم يتم تطوير فيزياء الحزم الجسيمات كثيراً وفق ما تم تأكيده في البدء. ومن وقت لآخر ينتقل ولسون إلى تطوّر موجز يتعلق بتحليل حركة الجسيمات في منظومة تسريع، إلا أنه يعتذر كعادته - لمعالجته حركة البيتاترون، على سبيل المثال، "بطريقة قاسية إلى حدٍّ ما". يفسّر ولسون ذلك بأن بعض القرّاء ربما يجدون الأجزاء التالية غير واضحة إلى حدٍّ كبير فيما لو حققنا جميع الشروط المأخوذة من النظرية الدقيقة ووظفناها في دراسة العيوب،...". ويولي ولسون عنايته بالقارىء حيث يقوده بهدوء عبر بعض تعقيدات عالم المسرّعات الحقيقي - أي العيوب وجميع الأمور الأخرى.

حالياً تجري كتابة تاريخ مسرّعات الجسيمات يومياً، والعديد من الذين يمارسون هذا العمل هم على قيد الحياة ويتمتعون بصحة جيدة. وربما تكون بحوزة هؤلاء المؤرخين الذين هم على قيد الحياة نسخ تختلف بعض الشيء عن نسخة ولسون. وكان البحث الذي قدمه إرنست كورانت E. Courant وهارتلاند سنايدر H. Snyder في عام 1958 على سبيل المثال بالغ الأهمية بسبب تطوره في مجال النظرية الرياضياتية الفعّالة التي يمكن تطبيقها في التصميم العملي لجميع المسرّعات الحديثة حالياً وحلقات التخزين. وربما كان ولسون قد أكد على ذلك بشكل أكبر (وبالفعل، ينبغي أن يؤكد مجتمع الفيزياء برمته على ذلك مرة أخرى). كما أنه، أي ولسون، يحرّف قصة نيكولاس كريستوفيلوس N. Christofilos. حيث لم يصبح كريستوفيلوس زميلاً لكورانت إلى أن عُرِفت مساهماته (مساهمات كريستوفيلوس) وقُبِل العمل في بروكهافن عام 1953.

إن رجوع ولسون الدائم إلى مصفوفة كورانت - سنايدر ودالّة بيتا كورانت - سنايدر بوصفهما بارامترات Twiss ومصفوفة Twiss - يعد انتماء خاطئاً يخترق هذا المجال. وقبل بضع سنوات اتصل فرانك كول F. Cole مع ريتشارد تويس R. Twiss الذي لم يدرك سبب تسمية المعايير نسبةً إليه.

أخيراً، ينبغي أن يكون طالب الفيزياء منتبهاً نوعاً ما إلى التشويش الحاصل في الكتاب بالنسبة لنظرية ليوفيل Liouville التي تعبر عن عدم قابلية انضغاط حجم الفضاء الطوري في أي منظومة هاملتونية، إذ يتولد لدى المرء انطباع بأن ثبات الإصدار هو نتيجة لهذا المبدأ بمفرده، وفي الحقيقة يتطلب أيضاً الثبات المذكور آنفاً خطية معادلات هاملتون، وتعدّ هذه نتيجة ديناميكية لحلها.

وقد لا يكون كتاب "مدخل إلى مسرّعات الجسيمات" هو الكتاب المناسب بالنسبة للطالب الخريج في الهندسة أو الفيزياء، الذي يخطط لمهنة ما في هذا المجال، ومع ذلك، فهو يمثل جولة وصفية يمكن تحقيقها بسهولة عبر الفيزياء وتقانات مسرّعات الجسيمات. وبذلك يمكن أن يكون مفيداً ليطلع عليه العلماء الذين وجدوا أن أبحاثهم تعتمد كثيراً على واحد من الأنواع المختلفة للمسرّعات قيد الاستعمال في العالم.■

★ By E. J. N. Wilson: Oxford U. Press, New York, 2001.
** ر. د. روث: مركز ستانفورد للمسرع الخطي - ستانفورد - كاليفورنية.
- العرض والتحليل عن مجلة *Physics Today*, August 2002. ترجمة مكتب الترجمة والتأليف والنشر - هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

2- فيزياء الوقاية الإشعاعية
Physics for Radiation Protection ★

تأليف: جيمز إ. مارتن
*عرض وتحليل: ج. أ. دي***

3- الجرعة المسموح بها: تاريخ الوقاية الإشعاعية في القرن العشرين
Permissible Dose: A History of Radiation Protection in the Twentieth Century ★★★

تأليف: ج. صاموبل ووكر
*عرض وتحليل: ج. أ. دي***

عندما يقدم القارىء على قراءة كتاب جيمز إ. مارتن James E. Martin "فيزياء الوقاية الإشعاعية" فإنه يدرك شهرة مؤلفه الكبيرة، فقد قام خلال مسيرة عمله التي استمرت نصف قرن بتدريب مئات الطلاب في جامعة متشيغان وقدّم العديد من الأعمال الغنية بالمعلومات والتي تركت أثراً بارزاً. وحسب ما ورد في المقدمة، فإن هذا الكتاب "مخصص ليكون مصدراً لمفاهيم الفيزياء الأساسية التي يحتاج إليها فيزيائيو الصحة والمتخصصون الآخرون في الوقاية الإشعاعية، وتم تقديمه بمستوى يمكن أن يفهمه الناس الذين يتمتعون بخلفية علمية محدودة". وإذا نظرنا إلى الكتاب ضمن هذا السياق المحدود نجده يحقق الغاية المرجوة منه مع الأخذ بعين الاعتبار الشهرة الكبيرة للمؤلف في فيزياء الصحة الإشعاعية وفي التعليم، وهذا ليس بمفاجأة.

من ناحية أخرى عندما يشتري المرء هذا الكتاب يتوقع منه المزيد عند تقليب صفحاته على نحو سريع، ولهذا مبرراته على ما يبدو. فالفصول مرتبة موضوعياً من وجهة نظر تربوية. وفي نوعية الكتاب وترتيبه ما يسرّ ويرضي. إذ أن كل فصل مستقل بذاته ويحتوي على مقدمة غنية بالأفكار، وعناوين فرعية واضحة، وأمثلة عملية كثيرة، وفقرات توضيحية في سياق العديد من الفصول لجعل القارىء أو الطالب مشدوداً إليها، وفقرات تلخيصية في نهاية كل فصل، ومراجع، ومسائل مع أجوبة مرقّمة لكل منها. والكثير من المراجع هي لأعمال أصلية، بينما تعود المراجع الأخرى لمواقع الشبكة الحديثة. وهنالك أيضاً تجميع مفيد جداً لمعلومات حول التدريج في الفصول وفي نهاية الكتاب معاً.

مع ذلك، كلما تعمق المرء في قراءة الكتاب ظهرت مواضع النقص غير المقصودة والمزعجة إلى حدٍّ كبير واتضحت الأخطاء. وهذه المشكلة تبدأ من الصفحة الأولى، حيث ورد أن فيزياء الصحة "تقدّم العلم، والتقانة، والقيم الإنسانية، والسياسة العامة كلها في آن واحد لتزويد العاملين والجمهور بسويات آمنة من الوقاية من الإشعاع، ومن ثم لا بد من أن تتحقق هذه السويات الآمنة وصولاً إلى المزيد من أمثَلة الوقاية دونها". وهنالك الكثير مما يثير الإعجاب في هذه العبارة، وبما أنها تعترف صراحةً بأن الوقاية الإشعاعية تعتمد على أكثر من العلم، فإن هنالك الكثير ما يدعو للقلق بشأنها – إذا لم يُنتقد صراحةً.

هل يريد المؤلف حقاً أن يطرح النقاش مرة أخرى حول الدعم الذي يقدمه مجال فيزياء الصحة بشأن فكرة سوية "آمنة" تتعلق بالتعرّض للإشعاع؟ وهل الكتاب التمهيدي مناسب للاشتراك مرة أخرى في هذا النقاش؟ علاوة على ذلك، ماذا يمكن أن يعني بالنسبة إلى "المزيد من أمثَلة الوقاية" دون سوية "آمنة"؟ وفي الصفحة ذاتها أيضاً هنالك مخطط للخطوات المتبعة بدءاً من مصدر الإشعاع وحتى المخاطر التي يتعرض لها الناس. ومع أنه تم وصف رواسب الطاقة وتأثيراتها على الناس، فلم يَرِد أي ذكر هنا – أو في أي مكان آخر من الكتاب – للآثار الكثيرة وغير المباشرة للإشعاع، التي يشكّل فهمها مسألة حرجة بالنسبة لفهم الآثار البيولوجية للإشعاع. وهذا يعود جزئياً إلى حقيقة أن الكتاب يتنصل من مسؤولية أي تغطية للآثار البيولوجية للإشعاع، بالرغم من حقيقة أن العديد من قضايا الوقاية الإشعاعية والعواقب العملية ناتج عنها. فإذا حصلت تناقضات كتلك المذكورة آنفاً، فإن القرّاء يمكنهم بسهولة وضعها جانباً وإخضاع المسألة إلى أحاسيسهم الشخصية ومزاجيتهم.

على أي حال، يكاد لا يخلو كل فصل من أسئلة عن حالات الإغفال والأخطاء. فالفصل الرابع يعرض عملية أوجيه Auger كإصدار لأشعة – X الذي يتأثر عندئذ مع إلكترون مداري آخر، فضلاً عن كونها تمثل اقتراناً مباشراً للحالة الذرّية المثارة مع الحالة الإلكترونية المدارية. ويغطي الفصل السابع تأثرات الإشعاع مع المادة ويطرح عبارات مثل "الجرعة الإشعاعية" و"مكافىء الجرعة الفعال"، مع أن العبارة الأخيرة، التي تنطوي على معنى مهمّ في مجال الوقاية الإشعاعية الحديثة لم تعد تُعرَّف أو يعاد استخدامها. أما الفهرس فيعد شاملاً تماماً لبعض المجالات لكنّه يفتقر إلى مجالات أخرى، فعلى سبيل المثال يشمل عبارات مثل "قوة الطبيعة" و"مكافىء الجرعة" ولكنه لا يحوي عبارات "مُعدّل الدفق" أو "التدفق" أو "الجرعة" أو "العاكسية" التي تمّ تداولها جميعاً في متن الكتاب.

ملخص القول، يعدّ الكتاب مختصراً بالنسبة للجانب النظري والتعليمي منه، لأن عدداً من القضايا عولج على أساس ظاهراتي بحت، كما اقتصرت التفسيرات في اعتمادها على وقائع محددة. ومن حيث التدريج العملي، قام المؤلف بيضع محاولات لإجراء حسابات فعلية. وثمة عرض ثانوي لقضايا التدريج المتعلقة بمنشآت التشخيص الإشعاعية يكون

★ By Jame E. Martin: Wiley, New York, 2000.
★★ ج. أ. دي: المعهد الوطني للسرطان بيزيسدا، ماريلاند.
★★★ By J. Samuel Walker: U of California, Los Angeles, 2000.
– العرض والتحليل عن مجلة *Physics Today*, February 2002. ترجمة مكتب الترجمة – هيئة الطاقة الذرّية السورية.

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

منقوصاً، ولم تُعطَ معلومات حول قضايا للتدريع أكثر أهمية كما هو الحال في منشآت المعالجة الإشعاعية.

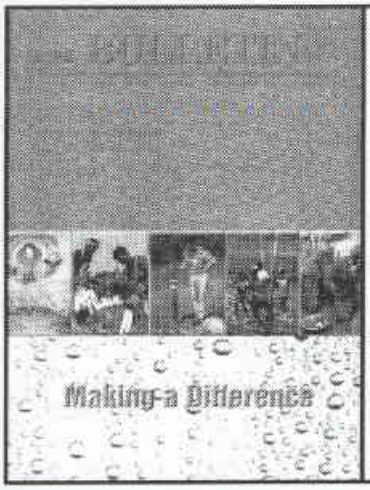
وفي الوقت الذي يمكن فيه طرح أمثلة إضافية تصبح المسألة أكثر وضوحاً. وما يفهم من ذلك هو أن "كتاباً واحداً" يتعلق بالوقاية لا يمكن أن يصمد لوحده في تغطية فيزياء الإشعاع أو التدريع. إن كون الكتاب لايعطي تفاصيل نظرية كافية عن العمليات المختلفة أمر مقبول في ضوء غايته المحددة - أي تلبية متطلبات المحترف العملي. لكن الكتاب يقدم معلومات مضللة أو غير دقيقة، أحياناً بصورة مباشرة وأحياناً أخرى من خلال الحذف، وهذا يمكن أن يُحدِث شرخاً في فهم الطالب أو في دراسته الإضافية. فأي معلّم عندما يحاول أن يستخدمه كمقرر - كما يدل عليه شكله - لا بدّ له من دعمه بكتب مثل كتاب "مدخل إلى الفيزياء الإشعاعية والمجراعية الإشعاعية" لمؤلفه فرانك هـ. آتكس Frank H. Attix (Wiley, 1986) من الناحية النظرية، والتدريع الإشعاعي والمجراعية لمؤلفه أ. إدوارد بروفيو A. Edward Profio (Wiley, 1979) من الناحية التعليمية.

يتضمن كتاب "الجرعة المسموح بها" لمؤلفه صامويل وولكر S. Walker عنواناً ثانوياً هو "تاريخ الوقاية الإشعاعية في القرن العشرين". وفي الحقيقة يعدّ الثالث في سلسلة المجلدات حول تاريخ التشريعات النووية التي ترعاها هيئة الرقابة النووية في الولايات المتحدة (NRC). فالمؤلف يناقش المعوقات التي تعترضه فيما يتعلق "بعنوان ثانوي يشير إلى أن هذا الكتاب يغطي موضوع الوقاية الإشعاعية برمته منذ اكتشاف أشعة X..". وانسجاماً مع وضع المؤسسة التي أعمل كاتباً فيها، يركّز الكتاب على دور الوكالات الاتحادية في السلامة الإشعاعية وتطوّر التشريعات المتعلقة بالوقاية الإشعاعية".

بالرغم من وجود هذه العبارات، لا يزال العنوان الثانوي لسوء الحظ مضللاً. فالتغطية البسيطة هنا ترد على تاريخ العلم الذي يعطي الأولوية للجرعات المسموح بها، لكن كانت هنالك آراء كثيرة حول الخلفية السياسية والتشريعية وفق ما رأته لجنة التشريعات النووية (NRC). وإذا ما سلمنا بمكانة المؤلف كمؤرخ للجنة التشريعات النووية، فإنه يمكن في هذه الحالة فهم مثل هذا التركيز. على أي حال، تماثل النتيجة إلى حدّ كبير قراءة مذكرات لجنة التشريعات النووية. فهي من منظور المشارك تحتوي على تفاصيل ممتعة كثيرة.

يعدّ الفصلان الأول والخامس الأكثر توازناً ويمتازان عموماً بوفرة المعلومات طالما أنهما يغطيان مخاطر التأثيرات الإشعاعية والجوانب الغامضة التي تكتنفها. أما الفصول، الثاني والثالث والرابع، فهي تلائم كثيراً تاريخ لجنة التشريعات النووية (NRC) كما يراها المناصر لها. إن هذا السرد التاريخي لا يخلو من المتعة المتجددة، لكن المرء يحذر من قراءة المزيد وبتوسّع عن مسائل مثل ALARA (التعرض لحد أدنى من الإشعاعات)، وسوء إدارة الجرعة، والعلاقات بين وكالة الحماية البيئية ولجنة التشريعات النووية، هذا ما إذا طُلبت أصدق صورة عن هذه المسائل.

لقد تمّ توثيق الموضوعات بإشارات مرجعية منسوخة على كل صفحة مع المراجع بحيث أنها، انسجاماً مع المستوى المبسّط لتغطيتها، هي الغالبة في الصحافة العامة. وهنالك بضعة أخطاء وحالات سوء تشخيص، كالإشارة إلى عمليات التأيين الذرّية كتغيرات في تركيب نواة الذرّة، وتشخيص المقاومة الدوائية لقاعدة سوء إدارة الجرعة باعتبارها تمثل "موقفها" نحو التشريعات الحكومية. ومع ذلك، هنالك عيوب ثانوية يمكن التغاضي عنها بدون أن تحدث تأثيراً لدى جمهور هذا الكتاب العادي. وربما كان المزيد من الصور التاريخية للمشاركين الفعليين، سيساعد في إرضاء توقعات القارىء، لا سيما الصور المأخوذة من ملفات AEC القديمة التي قد لا تكون متاحة بصورة عامة.■



مجلة الوكالة الدولية للطاقة الذرية Bulletin على شبكة الأنترنيت

عدم الانتشار النووي، الأمان والنفايات المشعة

كانت أبرز موضوعات العدد الأخير من مجلة Bulletin،

التي تصدرها الوكالة الدولية للطاقة الذرية IAEA مرتين في السنة حالياً.

والجدير بالذكر أنّ هذه المجلة ستصدر في نهاية عام 2003 بلغةٍ سادسة هي اللغة العربية.

EFFECT OF IRRADIATION, PRUNING AND REMOVAL OF IN VITRO FORMED ROOTS ON EX VITRO GROWTH IN MICROPROPAGATED GRAPE*

T. CHARBAJI Z. AYYOUBI

Department of Molecular Biology, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria.

ABSTRACT

In vitro rootstock (Ru 140) and Helwani variety were cultured on DSD1 media, were irradiated at low doses of gamma irradiation before acclimatization. Ru 140 were exposed to 0-5 Gy, while Helwani was exposed to 0-7 Gy. Then, the plants were divided into three different groups. 1- the plant roots were pruned. 2- the plant roots were completely removed. 3- the plant roots were kept intact (control). The ex vitro plants were observed after 45 days of planting. Shoots growth, leaf number and dry weight of Ru 140 were significantly higher than those of the control when roots were pruned and 5 Gy was applied. Those parameters were negatively affected by root removal. Gamma irradiation had a positive effect on the control comparing to unirradiated plants. Root pruning had positive effects on shoot growth, leaf number and dry weight of Helwani variety, while root removal had a contrary efrect on this variety. Gamma irradiation positively affected shoot growth and dry weight of control comparing to unirradiated plants, similar effect was observed on leaf number of control and pruned plant of Helwani.

Key Words

acclimatization, tissue culture, grapevine, root pruning.

* A short report on an exploratory scientific experiment achieved in the Department of Molecular Biology, Atomic Energy Commission of Syria.

LABORATORY INFORMATION MANAGEMENT SYSTEM ACCORDING TO ISO/IEC-17025 AT THE AECS*

A.SHAKHSHIRO, H. AL- ASHKAR

Quality Assurance Office, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria.

ABSTARCT

The Atomic Energy Commission laboratories in order to improve the reliability of analytical data, are setting up a quality system in according to ISO/IEC-17025:1999, many of them are planning to obtain accreditation.

The sample trackability and data integrity are key issues in Quality Assurance. To help our laboratories staff to meet the requirement of item 5.8 ISO-17025, related to handling of test and calibration items, a computer software based on Access was designed and put into operation in three laboratories of AECS.

The software has three levels of accessibilty :

- Head of laboratories can add a new user and assign a password , add a new analytical parameter and assign it to an analyst, print or monitor the sample results, analysis progress, and print the analysis report.

- Quality assurance coordinator can add a new analytical parameter and assign it to the responsible analyst, enter a new batch of sample to be analysed, print or monitor the sample status, and to print analysis report.

-The analyst can see only these analysis for which he has an authorization to perform according to item 5.2.5 in ISO-17025 which states that laboratory management should authorized specific personnel to perform particular types of analysis.

The analyst has the possibility to enter the result of analysis and to cheek for his work schedule Analytical data can be checked by the laboratories manager.

It was found that this program has facilitate the sample registration , trackability of analytical data and their retrieval.

Key Words

ISO/IEC 17025:1999, quality assurance, laboratory information management system (LIMS).

* A short report on a scientific computer study achieved in the Quality Assurance Office, Atomic Energy Commission of Syria.

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

2- Physiological maturity stage: The same dose (15 Gy) increased shoot dry, but affected negatively K^+ and Na^+ contents in PK variety. As for WA variety, Mg^{++} and P contents were increased, whereas Na^+ and Cl^- were slightly decreased.

3- Harvest stage: Gamma irradiation had a positive effect on total yield, grain yield, nitrogen yield and harvest index of PK variety. A positive effect was produced on straw yield, 1000-grain weight, and nitrogen yield of WA variety.

Key Words

gamma irradiation, anions, cations, barley, salinity.

★ A short report on an exploratory field experiment achieved in the Department of Molecular Biology, Atomic Energy Commission of Syria.

RADIOMETRIC AND GEOCHEMICAL INVESTIGATION FOR URANIUM IN QUATERNARY AND NEOGENE DEPOSITS IN THE REGION OF AR- RASAFEH FAULT (ASH-SHAMIA SIDE-MIDDLE EUPHURATES REGION)★

A. AL-ALI, Y. JUBELI, M.AISSA

Department of Geology, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria.

ABSTRACT

A radiometric survey was performed using radon and γ Gamma- ray techniques with geochemical investigation of few samples to investigate uranium occurrences in Recent Quaternary and Neogene deposits along AL-Faid wadi from Ash-shamia side of Euphurates River

Four profiles were adopted to cover the study area, few stations have shown a relative increase of Rn concentration in profiles 1 and 2. Some of these values have reached three folds of background, indicating to the occurrence of blind fault along Wadi al-Faid (Rasafeh). In profile 4 however, most stations have shown notable correlation between Rn gas concentration and Gamma-ray activity this correlation is due to the remote location of profile 4 from the Rasafeh fault.

This study has indicated to the correspondence of uranium concentration variations with respect to the groundwater flow (movement) which transport the solutions carrying the dissolved materials from older Lithological formations to redeposit these solutions in the adjacent clastic and clay sediments containing evaporates.

A slight increase of uranium concentration was observed in profile 3 comparing to the other profiles. However, this increase is not significant, rather it is classified with geochemical anomalies that have lithological association.

Key Words

radiometric and geochemical survey, radon, rasafeh fault.

★ A short report on a scientific field study achieved in the Department of Geology, Atomic Energy Commission of Syria.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF GAMMA RAYS ON THE ADHESIVITY OF EPOXY★

Z. AJJI

Department of Radiation Technology, Atomic Energy Commission P.O. BOX 6091, Damascus, Syria

ABSTARCT

The effect of Gamma radiation on the adhesiveness of epoxy were investigated. Tensile strength were recorded in three different ways, plates (shear forces), champions (vertical tensile), and angles (vertical tensile at one side). The tensile strength increased by increasing the absorbed dose up to a limit and then started decreasing. The last value of meaured tensile strength was still higher than that of the first value. This is an indication that epoxy could stand Gama radiation well.

Key Words

epoxy, adhesiveness, gamma radiation.

★ A short report on a scientific study achieved in the Department of Radiation Technology, Atomic Energy Commission of Syria.

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

appears that, under the experimental conditions, the beneficial effect of potassium on water-stressed fababean resulted from stimulation the growth rather than improving the N_2-fixation efficiency. However, under well-watered plants, a high requirement of the symbiotic system to potassium is needed to ensure an optimal growth and N_2-fixation.

Key Words

Potassium, Water stress, N_2 fixation.

* This paper appeared in *Journal of Plant Nutrition*, 25 (2), 355-368 (2002).

REPORTS

STATISTICAL MANIPULATION OF INTERNAL INTERCOMPARISON DATA OF ELECTRICAL CONDUCTIVITY "EC" MEASUREMENTS*

A. SHAKHASHIRO

Quality Assurance office, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria.

ABSTRACT

This report provides a statistical manipulation procedure of the intercomparison data of the electrical conductivity (EC) in ionic solution.

The study shows the control charts for all participant laboratories' results in order to monitor the statistical control of the analytical system.

Sample preparation, data manipulation and program management were described in the report.

Although the EC measurement technique is relatively simple, it was found that, the quality control mechanisms should be also applied to this analytical technique to ensure the data reliability.

The study shows the procedure which was used to measure the analytical performance and the analytical proficiency of the participating laboratories.

Key Words

EC measurement, proficiency tests , intercomparisons, control charts, quality assurance.

* A short report on scientific study achieved in the Quality Assurance office, Atomic Energy Commission of Syria.

EFFECT OF LOW DOSES OF GAMMA RADIATION ON BARLEY TOLERANCE GROWN UNDER SALINE CONDITIONS*

T. CHARBAJI, KH. KHALIFA, F. AL-AIN

Department of Molecular Biology, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria.

ABSTRACT

A field experiment was conducted at Al-Hijanah, an area located at about 35 km south east of Damascus. Seeds of two barley varieties [White Arabi (WA) and Pakistani 30163 (PK)] were irradiated with 2 doses 0 and 15 Gy of gamma irradiation. Then, they were shon on salty soil (17.6-18,9 mmos/cm) and irrigated with salty water (5.12-5.75 mmos/cm). A dose of 15 Gy of gamma irradiation was shown to positively affect the percent germination of PK but had no similar effect on WA.

The following results were also obtained at 3 different growth stages:

1- Heading stage: The 15 Gy dose increased shoots dry weight, Mg^{++}, P content and N percent of WA, whereas N percent of PK was decreased. when the seeds were irradiated by the same dose. K^{+} content in WA was significantly higher than that in PK.

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

range of t_0. This description was found to be valid for a negligible time compared to t_0 after the start of relaxation t_0 is a constant, which has also been analysed. Our result is useful in applications when transitory regimes are studied, and it has been extended to the case when the slab is in the flux flow regime.

Key Words

Flux Creep, Flux flow, Magnetic, Relaxation.

★ This paper appeared in *Superconductor Science & Technology*, 15, p1-4 (2002).

EFFECTS OF GAMMA IRRADIATION USED TO INHIBIT POTATO SPROUTING ON POTATO TUBER MOTH EGGS PHTHORIMAEA OPERCULELLA ZELLER (LEP., GELECHIIDAE)★

G. SAOUR, H. MAKEE

Department of Molecular Biology and Biotechnology, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria.

ABSTRACT

Different age groups of potato tuber moth, Phthorimaea operculella Zeller, eggs were exposed to gamma irradiation at incremental doses up to 150 Gy (the upper dose limit allowed for potato sprout inhibition). Young eggs were more likely to be sensitive to gamma irradiation than older eggs and the sensitivity level declined with age of the eggs. The exposure of 3 - 3.5 - day - old eggs to 150 Gy resulted in a 26% increase in the egg incubation period compared with unirradiated eggs. The minimum dose required to prevent 4 - 4.5 - day - old eggs from hatching was 1 kGy. When eggs were exposed to 75 Gy, 9.7% of larvae survived to the adult stage but emerged as deformed moths. At 100 and 125 Gy, 10.2 and 9.6% of larvae pupated, respectively, although no adult eclosion was recorded, whereas at 150 Gy, the larvae remained in mid - instar stage and eventually died. Gamma irradiation doses applied to inhibit potato sprouting could be also considered as a valuable control tool against potato tuber moth infestations.

Key Words

potato tuber moth, potato sprouting, Gamma irradiation.

★ This paper appeared in *J. Appl. Ent.* 126: 1-5 (2002).

NODULATION, DRY MATTER PRODUCTION AND N_2 FIXATION BY FABABEAN AND CHICKPEA AS AFFECTED BY SOIL MOISTURE AND POTASSIUM FERTILIZER★

F. KURDALI, F. AL-AIN, M. AL-SHAMMA

Department of Agriculture, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria.

ABSTRACT

The impact of three rates of K-fertilizer (0, 75 and 150 kg K_2O/ha) on nodulation, dry matter production and N_2 fixation by fababean (Vicia faba L.) and chickpea (Cicer arietinum L.) was evaluated in a pot experiment. The plants were subjected to three soil moisture regimes (low, 45-50%; moderate, 55-60% and high 75-80% of field capacity). ^{15}N-isotope dilution method was employed to evaluate N_2 fixation using a non-fixing chickpea genotype as a reference crop. Water restriction drastically affected dry matter production, nodulation and N_2 fixation by both plant species. The negative effect of water stress on $\%N_2$ fixed was more prominent in chickpea (11-58%) than in fababean (68-81%) under low and high % of field capacity, respectively. Plant species differed in their response to K-fertilizer as a mean to enhance growth and overcome the stress conditions. The higher level of K fertilizer increased both dry matter production and total N_2 fixed in fababean, but did not have any impact on chickpea. $\%N_2$ fixed, however, appeared to be unaffected by K fertilizer as a mean of alleviating drought stress in both plant species. Therefore, it

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

ABSTRACT

Coherent matter waves in the form of Bose-Einstein condensates have led to the development of nonlinear and quantum atom optics - the de Broglie wave analogues of nonlinear and quantum optics with light. In nonlinear atom optics, four-wave mixing of matter waves and mixing of combinations of light and matter waves have been observed; such progress culminated in the demonstration of phase-coherent matter-wave amplification. Solitons represent another active area in nonlinear atom optics: these non-dispersing propagating modes of the equation that governs Bose-Einstein condensates have been created experimentally, and observed subsequently to break up into vortices. Quantum atom optics is concerned with the statistical properties and correlations of matter-wave fields. A first step in this area is the measurement of reduced number fluctuations in a Bose-Einstein condensate partitioned into a series of optical potential wells.

Key Words

nonlinear optics, atom optics, matter-wave amplifier, Bose-Einstein condensate (BEC).

★ This article appeared in *Nature*, 14 March 2002. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

QUANTUM ENCOUNTERS OF THE COLD KIND★

K. BURNETT

University of Oxford, Department of Physics, Clarendon Laboratory, Oxford, UK.

P. S. JULIENNE, P. D. LETT, E. TIESINGA, C. J. WILLIAMS

Atomic Physics Division, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA

ABSTRACT

Since the introduction of laser-cooling techniques for neutral atoms in the early 1980s, the study of collisional interactions between atoms and molecules has been extended to the regime of ultracold temperatures. With nanokelvin temperatures now attainable, our ability to probe the interactions, both experimentally and theoretically, has also progressed. Understanding of the subtle and often highly quantum-mechanical effects that are manifest at such low energies has advanced to the point where new precision measurements are matched by highly accurate theoretical calculations. Low-energy phenomena such as Bose-Einstein Condensation and the photoassociation of atoms into bound molecules are now accurately described with no free parameters.

Key Words

collisional interactions, laser-cooling technique, quantum-mechanical effects, Bose-Einstein condensate, entangled atoms.

★ This article appeared in *Nature*, 14 March 2002. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

PAPERS

MAGNETIC RELAXATION OF A SUPERCONDUCTING SLAB: DESCRIPTION OF THE TEMPORAL EVOLUTION★

A. NADER

Department of physics, Atomic Energy Commission PO Box 6091, Damascus. Syria

ABSTRACT

The magntic relaxation of a superconducting slab in the flux creep regime has been investigated numerically in the framework of an approximate power - law dependence of the electric field E on the current density J (i.e. $E \alpha /J/^{\sigma J)}$. It has been shown numerically that the magnetization relaxation could be described in time as $(t + t_0)^{-1/\sigma}$ for a time in the

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

ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE

ARTICLES

COLD ATOMS AND QUANTUM CONTROL*

S. CHU
Physics Department, Stanford University, Stanford, California, USA

ABSTRACT

This overview prefaces a collection of insight review articles on the physics and applications of laser-colled atoms. I will cast this work into a historical perspective in which laser cooling and trapping is seen as one of several research directions aimed at controlling the internal and external degrees of freedom of atoms and molecules.

Key Words

atomic clock, condensation, control, superfluid.

* This article appeared in *Nature*, 14 March 2002. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

BOSE-EINSTEIN CONDENSATION OF ATOMIC GASES*

JAMES R. ANGLIN & WOLFGANG KETTERLE
Research Laboratory for Electronics, MIT-Harvard Center for Ultracold Atoms, and Department of Physics, Massachusetts Institute of Technology, Cambribge, Massachusetts 02139, USA

ABSTRACT

The early experiments on Bose-Einstein condensation in dilute atomic gases accomplished three longstanding goals. First, cooling of neutral atoms into their motional ground state, thus subjecting them to ultimate control, limited only by Heisenberg's uncertainty relation. Second, creation of a coherent sample of atoms, in which all occupy the same quantum state, and the realization of atom lasers - devices that output coherent matter waves. And third, creation of a gaseous quantum fluid, with properties that are different from the quantum liquids helium-3 and helium-4. The field of Bose-Einstein condensation of atomic gases has continued to progress rapidly, driven by the combination of new experimental techniques and theoretical advances. The family of quantum -degenerate gases has grown, and now includes metastable and fermionic atoms. Condensates have become an ultralow-temperature laboratory for atom optics, collisional physics and many-body physics, encompassing phonons, superfluidity, quantized vortices, Josephson junctions and quantum phase transitions.

Key Words

ultracold material, Feshbach resonance, Bose-Einstein condensation, atom lasers, atomic gas, superfluid, condensate, quantized vortices.

* This article appeared in *Nature*, 14 March 2002. It has been translated into Arabic by Editorial Board, Atomic Energy Commission of Syria.

NONLINEAR AND QUANTUM ATOM OPTICS*

S. L. ROLSTON & W. D. PHILLIPS
Atomic Physics Division, National Institute of Standards and Technology, Maryland, USA.

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

REPORTS (Unpublished works of the Syrian A. E. C. Staff)

☐ STATISTICAL MANIPULATION OF INTERNAL . . . . . A. SHAKHASHIRO 84
INTERCOMPARISON DATA OF ELECTRICAL
CONDUCTIVITY "EC" MEASUREMENTS

☐ EFFECT OF LOW DOSES OF GAMMA RADIATION ON . . . . . T. CHARBAJI, ... 86
BARLEY TOLERANCE GROWN UNDER SALINE CONDITIONS KH. KHALIFA, F. AL-AIN

☐ RADIOMETRIC AND GEOCHEMICAL INVESTIGATION . . . . . A. AL-ALI, ... 88
FOR URANIUM IN QUATERNARY AND NEOGENE Y. JUBELI, M.AISSA
DEPOSITS IN THE REGION OF AR- RASAFEH FAULT
(ASH-SHAMIA SIDE-MIDDLE EUPHURATES REGION)

☐ INVESTIGATION OF THE EFFECT OF GAMMA . . . . . Z. AJJI 89
RAYS ON THE ADHESIVITY OF EPOXY

☐ EFFECT OF IRRADIATION, PRUNING AND REMOVAL . . . . . T. CHARBAJI Z. AYYOUBI . . 91
OF IN VITRO FORMED ROOTS ON EX VITRO
GROWTH IN MICROPROPAGATED GRAPE

☐ LABORATORY INFORMATION MANAGEMENT . . . . . A.SHAKHSHIRO, ... 93
SYSTEM ACCORDING TO ISO/IEC-17025 AT THE AECS H. AL- ASHKAR

SELECTED NEW BOOKS (Review and analysis)

☐ AN TNTRODUCTION TO PARTICLE ACCELERATORS . . . . . By: E. J. N. WILSON 96
OVERVIEW & ANALYSIS: R. D. RUTH

☐ PHYSICS FOR RADIATION PROTECTION . . . . . BY: JAME E. MARTIN 97
OVERVIEW & ANALYSIS: JAMES A. DEYE

☐ PERMISSIBLE DOSE: A HISTORY OF RADIATION . . . . . BY: J. SAMUEL WALKER . . 97
PROTECTION IN THE TWENTIETH CENTURY OVERVIEW & ANALYSIS: JAMES A. DEYE

ABSTRACTS OF THE SUBJECTS PUBLISHED IN THIS ISSUE IN ENGLISH 104

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

CONTENTS

ARTICLES

☐ ULTRACOLD MATTER . . . . . K. SOUTHWELL 7

☐ COLD ATOMS AND QUANTUM CONTROL . . . . . S. CHU 8

☐ BOSE-EINSTEIN CONDENSATION OF ATOMIC GASES . . . . . JAMES R. ANGLIN & WOLFGANG KETTERLE 15

☐ NONLINEAR AND QUANTUM ATOM OPTICS . . . . . S. L. ROLSTON & W. D. PHILLIPS 27

☐ QUANTUM ENCOUNTERS OF THE COLD KIND . . . . . K. BURNETT, et al 36

NEWS

☐ DEFECTIVE PROMISE IN PHOTONICS . . . . . *NATURE* 48

☐ QUANTUM EFFECTS OF GRAVITY . . . . . *NATURE* 49

☐ BREAKING UP A SUPERFLUID . . . . . *NATURE* 51

☐ A BOOST FOR FIBRE OPTICS . . . . . *NATURE* 52

☐ WORLDS OF MUTUAL MOTION . . . . . *NATURE* 54

☐ SETTING STANDARDS . . . . . *NATURE* 56

☐ ELECTRON MICROSCOPES GO TO NEW LENGTHS . . . . . *PHYSICS WORLD* 57

☐ ATOMES, NOYAUX ET REACTIONS NUCLEAIRES . . . . . *CLEFS CEA* 58

☐ COBALT . . . . . *ANL* 61

PAPERS (Published worldwide by the Syrian A. E. C. Staff)

☐ MAGNETIC RELAXATION OF A SUPERCONDUCTING SLAB: DESCRIPTION OF THE TEMPORAL EVOLUTION . . . . . A. NADER 64

☐ EFFECTS OF GAMMA IRRADIATION USED TO INHIBIT POTATO SPROUTING ON POTATO TUBER MOTH EGGS PHTHORIMAEA OPERCULELLA ZELLER (LEP., GELECHIIDAE) . . . . . G. SAOUR, H. MAKEE 69

☐ NODULATION, DRY MATTER PRODUCTION AND N_2 FIXATION BY FABABEAN AND CHICKPEA AS AFFECTED BY SOIL MOISTURE AND POTASSIUM FERTILIZER . . . . . F. KURDALI, F. AL-AIN, M. AL-SHAMMA 75

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

Notice: Scientific matters and different inquiries; subscriptions, address changes, advertisements and single copy orders, should be addressed to the journal's address:
Damascus, P.O. Box 6091 Phone 6111926/7, Fax 6112289, Cable; TAKA.
E-mail: aalam_al_zarra@aec.org.sy
Subscription rates, including first class postage charges: a) Individuals *$ 30 for one year*
b) Establishments *$ 60 for one year*
c) For one issue *$ 6*
It is preferable to transfer the requested amount to:
The Commercial Bank of Syria N-13 P.O. Box 16005 Damascus-Syria account N-3012\2
Cheques may also be sent directly to the journal's address.

The views expressed in any signed article in this journal do not necessarily represent those of the AEC of Syria, and the commission accepts no responsibility for them.

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

AALAM AL-ZARRA

JOURNAL OF THE ATOMIC ENERGY COMMISSION OF SYRIA

Managing Editor

Dr. Ibrahim Othman

Director General of A. E. C. S.

Editorial Board

Dr. Tawfik Kassam

Editor In-Chief

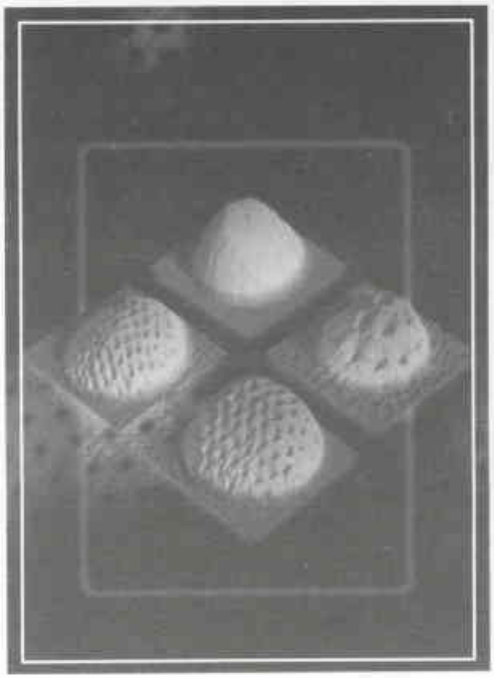
Dr. Mohammed Ka'aka

Dr. Fouad Al-Ijel

Dr. Ahmad Haj Said

Dr. M. Fouad Al-Rabbat

Dr. Elias Abouchahine



84

18th Year / March - April

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