

# عالم الذرة

مجلة هيئة الطاقة الذرية السورية



المدير المسؤول

الدكتور ابراهيم عثمان

المدير العام لهيئة الطاقة الذرية

هيئة التحرير

الدكتور عادل الحرفوش

الدكتور زياد القطب



97

السنة العشرون / أيار - حزيران /

2005

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

- 1- تُرسل نسختان من مادة النشر باللغة العربية مطبوعتان بالآلة أو مكتوبتان بالحر بخط واضح على وجه واحد من الورقة، وبفراغ مضاعف بين السطور.
- 2- يُكتب على ورقة مستقلة عنوان مادة النشر واسم الكاتب وصفته العلمية وعنوانه مع ملخصين لها أحدهما بالعربية والآخر باللغة الإنكليزية حصراً، في حدود عشرة أسطر لكل منهما، ويطلب من كل من المؤلف أو المترجم 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 خمس عبارات باللغة الإنكليزية وترجمتها بالعربية.
- 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 مجمعة من مصادر عدة، يذكر الكاتب ذلك تحت العنوان مباشرة كأن يقول "تأليف، جمع، إعداد، مراجعة" وترفق المادة بقائمة مرقمة للمراجع التي استقاها منها.
- 6- إذا تضمنت المادة صوراً أو أشكالاً، ترسل الصورة الأصلية وكذلك الأشكال مخططة بالحر الأسود على أوراق مستقلة، إلا إذا كانت موجودة في المادة المطبوعة المطبوعة بلغة أجنبية (كما جاء في الفقرة "4") مرقمة حسب أماكن ورودها.
- 7- يُرسل مع المادة قائمة بالمصطلحات العلمية العربية المستخدمة فيها مع مقابلاتها الأجنبية إذا لم تكن واردة في معجم الهيئة للمصطلحات العلمية والتقنية في الطاقة 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 يكتفى بإيراد المقابل العربي وحده سواء أكان هذا المقابل كاملاً أو غير كامل وتستعمل في النص المؤلف أو المترجم الأرقام العربية (1، 2، 3) أينما وردت مع مراعاة كتابتها بالترتيب العربي من اليمين إلى اليسار وإذا ورد في نص معادلة أو قانون أحرفاً أجنبية وأرقاماً تكتب للعادلة أو القانون كما هي في الأصل الأجنبي.
- 9- يُشار إلى الحواشي، إن وجدت، بإشارات دالة ( \*، +، X، ... ) في الصفحة ذاتها، كما يشار في المتن إلى أرقام المصادر والمراجع المدرجة في الصفحة الأخيرة، وذلك بوضعها ضمن قوسين متوسطين [ ] .
- 10- ترقم 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 ترد إلى أصحابها نشرت أم لم تنشر.
- 13- يمنح كل من الكاتب أو المترجم أو المراجع مكافأة مالية وفق القواعد المقررة في الهيئة.

## جميع المراسلات توجه إلى العنوان التالي:

الجمهورية العربية السورية- هيئة الطاقة الذرية - مكتب الترجمة والتأليف والنشر - دمشق : ص.ب : 6091

هاتف 6111926-11(+963) فاكس 6112289-11(+963)

E-mail: tapo@aec.org.sy

## رسوم الاشتراك السنوي

يمكن للمشاركين تسليم رسم الاشتراك في مكتب الترجمة والتأليف والنشر في الهيئة

( دمشق، شارع 17 نيسان ) أو بحوالة على العنوان التالي:

المصرف التجاري السوري - فرع رقم 13، مزة جبل - دمشق

ص.ب: 16005، رقم الحساب 2/3012

- الاشتراك من داخل القطر: للطلاب (200) ل.س، للأفراد (300) ل.س،

للمؤسسات (1000) ل.س.

- الاشتراك من خارج القطر: للأفراد (30) دولاراً أمريكياً، للمؤسسات (60) دولاراً أمريكياً.

## سعر العدد الواحد

سوريا: 50 ل.س مصر: 3 جنيهات لبنان: 3000 ل.ل الجزائر: 100 دينار

الأردن: 2 دينار السعودية: 10 ريالات وفي البلدان الأخرى: 6 دولارات

## الإعلانات

تود مجلة عالم الذرة 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 إعلانكم التجارية يرجى الكتابة إلينا أو الاتصال بنا وفق العنوان الوارد أعلاه.

5	م. كوي، س. سانفيتو..... ترجمة د. فوزي عوض	مغناطيسية الكربون.....
11	أوليفيه بوستل- فايبي..... ترجمة د. حسين أبو حامد	الدماغ والحب.....
19	روين م. كانوب..... ترجمة هيئة الطاقة الذرية	أصل الكواكب الشبيهة بالأرض ومنظومة الأرض والقمر.....
28	مارلان سكوللي، جورج ولش..... ترجمة د. أحمد الحصري	الضوء البطيء والواقف والمخزن.....
33	آن-ماري كورتيسرو، إيريك ثيبو..... ترجمة د. حسين أبو حامد	حشرات تحرس النباتات.....
39	رونان ماك غراث وآخرون..... ترجمة د. أحمد الحصري	أشباه البلورات وجمالها الممتنع.....

### (ترجمة هيئة الطاقة الذرية)

### أخبار علمية

47	آثار الإشعاع على الصحة.....	47
48	الأوزون يعقد موضوع التبدل المناخي.....	48
49	الخلايا الشمسية العضوية تحاول اللحاق.....	49
50	لقاح لمرض القلب يلوح في الأفق.....	50
51	مهندسو البروتينات يستهدفون الذهب.....	51
52	ضوء أبيض في نهاية النفق.....	52
53	بلازما سحيق القدم؟.....	53
56	الوغول في دقة تحديد الزمن.....	56
58	الكربتون.....	58

### (أعمال باحثي الهيئة المنشورة في المجلات العالمية)

### ورقات البحوث

63	د. أحمد فارس أصغري وآخرون.....	63	تجزئة TSP الموسوم بـ $^{32}\text{P}$ والمضاف إلى الترب الكلسية.....
72	د. علي محمد.....	72	تحسين مردود ألواح الخلايا الفوتو-فولطائية باستخدام نظام ملاحقة الشمس.....

- 79 ..... د. شريف الحواط، خير المتعب.....  
 79 ..... د. عبد الرحمن سلامي قاسم.....  
 80 ..... د. محمد الشيخ خليل، د. بسام عباس..  
 80 ..... د. بشار عبد الغني .....
- 79 ..... د. عبد القادر جزماتي.....  
 80 ..... د. عادل نادر.....  
 81 ..... د. معتز زرقاوي، وآخرون.....  
 82 ..... د. حياة المكي.....  
 82 ..... د. محمد الخالد عبد الباقي .....
- نمذجة رياضية لليزر CW-CO<sub>2</sub> يعمل على ديناميك الغازات باستطاعة عالية.....  
 ■ تحديد نوعية المياه السطحية والجوفية في حوض العاصي (من سوريا) .....  
 ■ التوصيف الرياضي لمرايا الترافق الطوري.....  
 ■ برنامج حاسوبي لمحاكاة ليزر CO<sub>2</sub> النبضي.....  
 ■ فصل نظير الإتريبيوم <sup>168</sup>Yb بالليزر بالطريقة الذرية.....  
 Atomic Vapor Laser Isotope Separation (AVLIS)  
 ■ تحضير أشربة ذات ناقلية فائقة (Ag-BSCCO) .....  
 ودراسة التيار الحرج فيها  
 ■ القيمة الغذائية لنبات (Sesbania aculeata) النامي في تربة ملحة .....  
 وتأثيره على المؤشرات التناسلية عند نجاج العواس  
 ■ قبول العائل ومدة التطور والقدرة التكاثرية لنوعي التريكوغراما .....  
 Trichogramma cacoeciae و T.principum على بيوض دودة ثمار التفاح  
 ■ نزع الفلور بالترسيب من حمض الفسفور التجاري السوري المصنّع بالطريقة الرطبة.....

## كتب حديثة مختارة

- 84 ..... (تأليف: ج. بوليبي).....  
 (عرض وتحليل: فيرناندو ك. جوفي)  
 85 ..... (تأليف: د. وايتهاوس، ج. ويلي).....  
 (عرض وتحليل: م. تشون)  
 92 ..... ملخصات باللغة الإنكليزية عن الموضوعات المنشورة في هذا العدد .....

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.

# مغناطيسية الكربون\*

م. كوي، س. سانفيتو

يعملان في قسم الفيزياء بكلية ترينيتي في دبلن بأيرلندا

ملخص

يقترب الكربون من الانضمام إلى قائمة العناصر المغناطيسية الحديدية، غير أن أصول خواصه المغناطيسية مازالت لغزاً.

الكلمات المفتاحية

المغناطيسية الحديدية، الجدول الدوري، المعادن الانتقالية، ميكانيك الكم، سبين الإلكترونات، المغناطيسية العاكسة، الكربون.

بين السبينات إلى وجود طورين متميزين في الجسم الصلب اعتماداً على إشارتها يتمثلان في: طور مغناطيسي حديدي تتجه فيه سبينات الإلكترونات جميعها في الاتجاه نفسه، وطور مغناطيسي حديدي مضاد antiferromagnetic تتجه فيه السبينات المتناوبة في اتجاهين متعاكسين.

يُبنى الوصف الحالي للترتيب المغناطيسي على النمط "m-I"، غير أن المشاهدات الحديثة بخصوص المغناطيسية في أشكال معينة من الكربون توسّع هذه الصورة إلى أقصى حدودها. وإضافة إلى ذلك، يمكن للكربون



صدم مغناطيسي - إن ثلث المغناطيسية التي يبدونها نيزك "كانيون ديابلو" (وادي الشيطان) لا يمكن تفسيره ما لم يكن الكربون ذا مغناطيسية حديدية.

المغناطيسي أن يُستعمل لتصنيع مغناط رخيصة خالية من المعادن للاستخدامات الطبية وفي التقانة النانوية والاتصالات اللاسلكية، كما تُقدّم منظوراً لإلكترونات مبنية على الكربون.

## القائمة المغناطيسية

تقتصر عادة قائمة العناصر المغناطيسية الحديدية في درجة حرارة الغرفة على الحديد والكوبالت والنيكل ويرافقها الغادولونيوم إذا لم يكن الطقس حاراً جداً. وتصبح بعض العناصر الترابية النادرة التي تكوّن السلسلة "4f" مرتبة ترتيباً مغناطيسياً حديدياً عند درجات حرارة أخفض من تلك ويكون لمعظم هذه العناصر "حالة قاعدية" ذات مغناطيسية حديدية أو ذات مغناطيسية حديدية مضادة عند درجات الحرارة المنخفضة بالقدر الكافي. أما الكروم والمنغنيز اللذان يقعان ضمن السلسلة "3d" فهما أيضاً مغناطيسيان حديديان مضادان. وتمثل هذه السلاسل طبقات إلكترونية في الذرة تحدد البنية الإجمالية للجدول الدوري. فالطبقة الداخلية العميقة "1s" تتسع

لقد عُرف منذ أمد بعيد موقع المغناطيسية الحديدية، وهي إحدى أكثر الخواص الشائعة غموضاً في الأجسام الصلبة، على الجدول الدوري بين المعادن الانتقالية. وتملك هذه العناصر التي تتضمن الحديد والكوبالت عزمًا مغناطيسياً صافياً في الحالة الصلبة لأن ذراتها تحتوي على إلكترونات غير مزدوجة. ولعل آخر المواقع التي يمكن توقع وجود مغناطيسية حديدية فيه هو الكربون، لأن إلكتروناته تحب أن تزوج مكونة روابط تشاركية. وتتناقض هذه الروابط مع الترتيب المغناطيسي، وعليه كيف

يمكن أن نفسّر العدد المتزايد من التقارير عن مغناطيسية الكربون؟

يربط ميكانيك الكم المغناطيسية، بشكل معقد، مع العزم الزاوي الذاتي أو "السبين" للإلكترونات. ولكن خلافاً للعزم الزاوي التقليدي الذي يمكن أن يأخذ أية قيمة، فإن سبين الإلكترون لا يأخذ إلا إحدى القيمتين "فوق" و"تحت". لذلك تسلك الإلكترونات سلوك ثنائيات قطب مغناطيسية magnetic dipoles صغيرة فتملك الذرات عزمًا مغناطيسياً صافياً،  $m$ ، إذا ما احتوت على إلكترونات ذات سبين فوق spin-up تفوق الإلكترونات ذات سبين تحت spin-down، أو العكس بالعكس. ويحدث هذا غالباً إذا احتوت الذرة على طبقات إلكترونية مملوءة جزئياً. ولكن الأمور تصبح أكثر تعقيداً في الحالة الصلبة.

واعتماداً على طريقة اقتران سبينات الذرات المختلفة في المادة بعضها مع بعض، يمكن أن تقود عزومها المغناطيسية إلى حالة ذات ترتيب مغناطيسي عندما تكون درجة حرارتها أخفض من درجة حرارة تُعرف باسم درجة حرارة كوري. ويتداعى هذا الترتيب فوق تلك الدرجة بفعل التآرجحات الحرارية. وتقود هذه التآثرات التبادلية (J)

\* نُشر هذا المقال في مجلة Physics World، November 2004.

المواد المغنطيسية على العديد من الاتحادات الكيميائية المكونة من العناصر  $3d$  و  $4f$ ، غير أن الغالبية العظمى من الخلائط والمركبات المرتبة مغنطيسياً تتضمن عناصر مغنطيسية تنتمي إلى "جزيرتي الاستقرار" من الجدول الدوري، حيث تضم إحداها السلسلة  $3d$  وبضعة عناصر  $4d$ ، وتتضمن الأخرى السلسلة  $4f$  وبضعة عناصر  $5f$  (انظر الشكل 1).

فإلى أين ستهجر جميع هذه المركبات عنصر الكربون؟ إذ إن الكربون ليس هو فقط أكثر العناصر تشاركية، بل هو أيضاً ليس مغنطيسياً في الحالة الذرية بسبب تفاني سبين إلكتروناته الستة وعزمها الزاوي ليولد عزمًا مغنطيسياً صافياً يساوي الصفر. فإذا ما أخذنا هذه الميول المغنطيسية المضادة بعين الاعتبار يصعب احتمال أن يصبح الكربون مغنطيسياً حديدياً في المستقبل. مع ذلك، وبنظرة سريعة، يوحى الجدول الدوري المغنطيسي بإمكان وجود جزيرة ثالثة للاستقرار المغنطيسي في منطقة الأكسجين.

يعود ذلك إلى ميل عناصر مثل الأكسجين لامتلاك عزم مغنطيسي حينما تُشكّل جزيئات، مادامت المدارات الجزيئية تُشكّل ثلاثية سبينية في حالتها القاعدية. فقطرات الأكسجين السائل، على سبيل المثال، تتحرف بسهولة بواسطة مغنطيس دائم، ويتربّب الأكسجين الصلب وفق بنية مغنطيسية حديدية مضادة معقدة حينما

إلى إلكترونين على الأكثر، بينما تتسع الطبقة " $2p$ " لستة إلكترونات والطبقتان  $3d$  و  $4f$  يمكن أن تحتوي على ما بين 10 و 14 إلكترونًا على الترتيب (انظر الشكل 1).

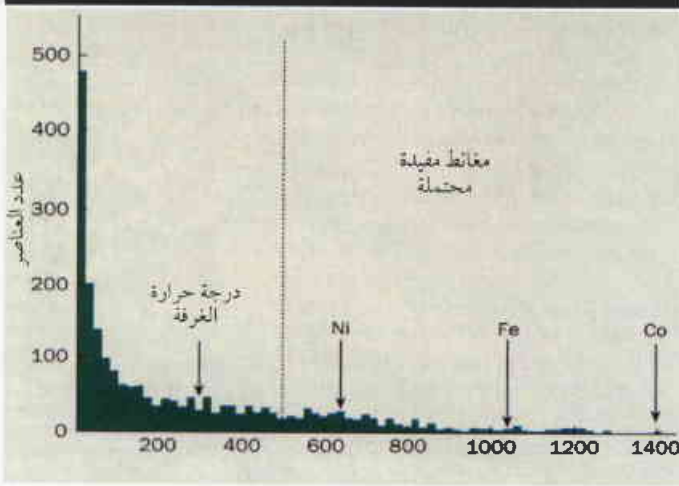
إن العديد من المواد المغنطيسية الحديدية أو المواد المغنطيسية الحديدية المضادة المستعملة هي خلائط معادن الطبقة  $3d$ . ومن الأمثلة على ذلك الفولاذ السليكوني (الذي يستعمل في الآلات الكهرطيسية)، وحديد النيكل (المستعمل في وقاء المغنطيسية وفي المحسّات). ويوزون حديد النيوديميوم (المغانط الدائمة العالية الأداء)، وخليطة المنغيز والإيريديوم (المستعملة في الصمامات السبينية وفي الوصلات النفقية المغنطيسية). أمّا البقية فهي أكاسيد العناصر  $3d$ ، التي لها ترتيب مغنطيسي حديدي ferrimagnetic مختلف قليلاً، وهي تتضمن أكسيد حديد الباريوم (المستخدم في الأشرطة المغنطيسية) وأكسيد حديد الباريوم (المستخدم في مغناط البرادات وفي المحركات الصغيرة).

يوجد إلى جانب هذه المواد المفيدة (التي لا يتجاوز عدد ما يصنع منها ما يقارب العشرة مواد بكميات صناعية) آلاف المواد الأخرى المعروفة بامتلاكها حالة قاعدية ذات ترتيب مغنطيسي. غير أن لمعظم هذه المركبات درجات حرارة كوري منخفضة نسبياً، وإن فرص إيجاد مادة مغنطيسية جديدة مفيدة - أي تلك التي تحتفظ بترتيبها فيما فوق درجة الحرارة  $500\text{ K}$  - هي أقل من 1 بالخمسة (الشكل 2). وتشتمل

### الشكل 1 - الجدول الدوري المغنطيسي

يعتمد السؤال فيما إذا كان العنصر مغنطيسياً أم لا بصورة كبيرة على عدد الإلكترونات غير المزدوجة التي تحويها ذرات أو أيونات العنصر (وتظهر العناصر المغنطيسية الحديدية والعناصر المغنطيسية الحديدية المضادة باللون الأخضر والأصفر على التوالي، وإلى جوارها درجات حرارة كوري المقابلة). يقود هذا إلى ثلاث "جزر استقرارية" (باللون الأحمر) في الجدول الدوري المغنطيسي حيث يمكن وجود الترتيب المغنطيسي في الحالة الصلبة. وتقع الجزيرة الأولى في المعادن الانتقالية وتتضمن العناصر  $3d$ . ويمكن للطبقة الإلكترونية  $3d$  في هذه العناصر أن تحوي حتى 10 إلكترونات ويتم ملؤها بصورة مطردة لدى المرور عبر سلسلة العناصر بدءاً من السكندنيوم (ذي العدد الذري 21) وصولاً إلى الزنك (ذي العدد الذري 30). وأما المنطقة المستقرة الرئيسية الأخرى فإنها تُبنى على السلسلة  $4f$ ، حيث يمكن أن تُؤوي الطبقة الإلكترونية ما مقداره 14 إلكترونًا وتُملأ بالترتيب لدى المرور بدءاً من اللانثانيوم (ذي العدد الذري 57) وحتى الليتثيوم (ذي العدد الذري 71). وأما جزيرة الاستقرار الثالثة للترتيب المغنطيسي فتوجد في منطقة الأكسجين، حيث تكون المغنطيسية نتيجة لطبيعة الثنائية الذرة لهذه العناصر. ومع أن الأكسجين ذو طبيعة مغنطيسية بالتأكيد تحت درجة الحرارة  $24\text{ K}$ ، فإن السلوك المغنطيسي للكربون والنتروجين والهيدروجين (بخاصة) غير مفهوم فهما حسناً (تظهر العناصر المشعة باللون الأزرق الفاتح).

## الشكل 2 - مغناط مفيدة



يبين هذا التمثيل التواتري لدرجات حرارة الترتيب المغناطيسي (درجات حرارة كوري) للمركبات ذات الخواص المغناطيسية، أن 20% فقط منها يمكن أن يصنع منها مغناط مفيدة. وذلك بسبب وجوب كون درجة حرارة كوري للمادة أعلى من 500K حتى تكون مفيدة كقاعدة عامة، مادام معظم التطبيقات العملية يتطلب درجة حرارة تشغيلية تقع بين 220K و400K. ويختلف التمثيل قارب درجة حرارة كوري إلى حد كبير باختلاف درجة الحرارة.

الطواعية في حالة تطبيق الحقل عمودياً على صفائح الغرافيت تكون عالية بحيث تقهر الإشارة المغناطيسية المعاكسة إشارة المغناطيسية الحديدية. ويكون الموقف أسوأ في حالة الأنابيب النانوية الناقلة. وينتج ذلك يمكن الكشف عن العزوم المغناطيسية الحديدية الصغيرة بسهولة في أشكال الكربون العازلة، أو في الغرافيت عندما يطبق الحقل المغناطيسي في مستوى الصفائح موازياً لها.

## دليل راسخ

في عام 2003، وجد بابلو اسكويناتزي P. Esquinazi وزملاؤه بجامعة ليزرغ في ألمانيا دليلاً على الترتيب المغناطيسي في سلسلة من عينات الغرافيت بوجود حقل مغناطيسي مواز. وتراوح شدة التمثيل ما بين  $0.3-2.5 \times 10^{-3} \text{ Am}^2\text{kg}^{-1}$ ، كما كان التمثيل في نصف عدد عيناتهم أكبر مما يمكن رده إلى الشوائب الحديدية. غير أن التمثيل اختلف ما بين عينة وأخرى، مما يعني أنه من غير المحتمل أن تكون المغناطيسية الحديدية هي خاصة ذاتية للكربون.

غير أن تجربة أجريت قبل سنتين على الكربون -60 هي التي كانت المحفز للاهتمام الحالي بالكربون المغناطيسي. فقد وجدت تاتيانا ماكاروفا T. Makarova، من معهد أيوفي الفيزيائي التقني في سانت بترسبورغ، روسيا، وزملاؤها بمن فيهم اسكويناتزي، إشارة مغناطيسية حديدية صغيرة في شكل من أشكال الكربون -60 ذي بنية معينة. ومع أن العينات قد أظهرت تمغنطاً يقارب  $10^{-3} \text{ Am}^2\text{kg}^{-1}$ ، فإن النتيجة أوحى بإمكان أن يكون الكربون النقي حديدي المغنطة بشكلٍ ما.

يبعد تحت درجة الحرارة 44 K. فهل الأكسجين حالة معزولة أم يمكن لجيرانه في الجدول الدوري تكوين حالات جزيئية ثلاثية السبين تترتب بشكل مغناطيسي؟

## تقارير عن كربون مغناطيسي

لقد وُجد العديد من التقارير بخصوص مغناطيسية الكربون، أغلبها في الأدبيات الكيميائية الروسية واليابانية، وترتكز على فكرة كون جزيئات عضوية مختلفة تستطيع أن تولد مادة مغناطيسية حديدية معتمدة على الكربون بعد تسخينها في الخلاء. ولكن هذه التقارير تجاهلها الفيزيائيون المهتمون بالمغناطيسية إلى حد كبير، ربما بسبب عدم إطلاع الباحثين عليها، لكن السبب الأرجح يعود إلى كون هذه النتائج بدت غير منطقية ولم تكن قابلة للتكرار بسهولة. فكيف يمكن للكربون أن يكون مغناطيسياً؟

لقد تمثل السبب الرئيسي للشك في كون العديد من التقارير قد ادعى الكشف عن عزوم مغناطيسية صغيرة فقط، الأمر الذي يمكن رده ببساطة إلى آثار من شوائب مغناطيسية طبيعية، فالحديد، مثلاً، هو خامس أكثر العناصر شيوعاً في القشرة الأرضية، وأكسيد المغنتيت الأسود موجود في الهواء في كل مكان. ونشير هنا إلى أن تمغنط الحديد والمغنتيت يبلغ قيمة 220 و  $100 \text{ Am}^2\text{kg}^{-1}$  على التوالي. لهذا، فإن عينة ذات تمغنط قدره  $(10^{-3} \text{ Am}^2\text{kg}^{-1})$  أو أقل يمكن استبعادها بسهولة من فكرة امتلاكها مغناطيسية واعتبار ذلك بنتيجة تلوث مغناطيسي بمستوى بضعة أجزاء بالمليون. ولسوء الحظ، لم تذكر سوى عزوم بهذا القدر في معظم التقارير.

يصعب أيضاً فصل هذه العزوم الصغيرة عن "المغناطيسية المعاكسة" diamagnetism\* في الكربون. وهذا شكل ضعيف جداً من المغناطيسية تبديه جميع أشكال الكربون تقريباً (وتبديه في الواقع معظم العناصر الأخرى) بوجود حقل مغناطيسي خارجي. إذ يغير الحقل الخارجي الحركة المدارية للإلكترونات ويحرض عزماً مغناطيسياً صغيراً في الاتجاه المعاكس لاتجاه الحقل نفسه. وتكون نسبة التمثيل إلى الحقل المطبق (أي الطواعية المغناطيسية المعاكسة) صغيرة جداً في أشكال الكربون العازلة مثل الألماس أو كرات بوكي buckyballs (الكربون - 60). غير أن طواعية أشكال الكربون الناقلة، مثل الغرافيت وبعض الأنابيب النانوية الكربونية، تكون أكبر بمرتين وتأتي في المرتبة الثانية بعد النواقل الفائقة.

تحدث المغناطيسية المعاكسة هذه لأن الغرافيت نصف معدن، مما يعني أن عصبتي التكافؤ والناقلية متداخلتان بمقدار بالغ الصغر. ويصل عدد الإلكترونات والثقوب في مناطق التداخل الصغيرة نحو  $10^{-6}$  لكل ذرة كربون فقط، بالمقارنة مع النحاس الذي فيه إلكترون ناقل واحد لكل ذرة. ونحتاج إلى تطبيق حقل مغناطيسي على العينات للكشف عما إذا كانت هذه العينات مغناطيسية أم لا، غير أن

\* المغناطيسية المعاكسة، ضعف الإنفاذية المغناطيسية.

اصطياد إلكترونين وتشكيل حالة ثلاثية.

توجد ثلاثة عيوب "مظنونات suspects" محتملة يمكن تورطها في الترتيب المغنطيسي في الجرافيت (الشكل 3). ويتمثل المظنون الأول في الذرة المدمصة adatom، وهي ذرة كربون تقع في مستو جرافيني وتشغل في بنائها المستقر موقعا شبيها بالجسر أو سطر رابطة كربون - كربون. ويشارك اثنان من إلكتروناتها التكافؤية الأربعة في روابط تشاركية مع ذرات الكربون الجرافينية. إذ يذهب إلى المدار  $sp^2$  "الحوام" الذي لا يشكل رابطة، ويشارك الآخر بين هذا المدار الحوام وما تبقى من المدار p. ويقع هذا المدار الأخير موازيا للسطح الجرافيني، حيث لا يشكل أية رابطة لكنه يمتلك عزمًا مغنطيسيا يقارب 0.5 مغنطون بوهر ( $\mu_B$ ). ويكافئ  $1\mu_B$  لكل ذرة كربون بلغة التمغنط الذري تمغنطاً قدره  $465 \text{ Am}^2\text{kg}^{-1}$ .

أما المظنون الثاني فهو شغور ذرة كربون، نحصل عليه بإزالة ذرة من الصفحة الجرافينية. وهنا تعدل ذرتان من ذرات الكربون الثلاث رابطتيهما لاحتواء الشاغر بينما تنزاح الذرة المتبقية انزياحاً طفيفاً خارج المستوي الجرافيني. ويبقى مدار  $sp^2$  حواماً واحد مشغولاً بالإلكترون منفرد مما يولد عزمًا مغنطيسيا يقارب  $1\mu_B$ . وقد تمكن سوميو إيجيما S. Iijima، من المعهد الوطني للعلوم والتقانة الصناعية المتقدمة في تسوكوبا باليابان، وزملاؤه من رؤية الذرات المدمصة والشواغر الكربونية كليهما بوساطة المجهر الإلكتروني النافذ.

وأما المظنون الثالث - المتمثل في الحافة المتكسرة في الشرائط الجرافينية التي لها عُصابات طاقة "منبسطة" - فهو معروف منذ عشر سنوات لكنه ولد الكثير من الإثارة حالياً. ذلك لأنه من المعروف أن العُصابات المنبسطة تنقسم بحيث تصبح عُصابة "السبين نحو الأعلى" أخفض في طاقتها من عُصابة "السبين نحو الأسفل" مما يجعل المادة ذات مغنطيسية حديدية.

لقد تنشّطت دراسة حالات الحافة عبر نظرية طورها منذ عقود إليوت ليب E. Lieb الموجود حالياً في جامعة برنستون. تنص هذه النظرية على أن الحالة القاعدية لشبيكة (مثل الصفحة الجرافينية التي تنقسم إلى شبكتين فرعيتين) تكون مغنطيسية. وحتى يحدث هذا يكفي أن تكون الإلكترونات قادرة على القفز من الشبيكة A إلى الشبيكة B والعكس بالعكس، ولكن بدون قدرتها على القفز المباشر بين A و B أو B و B. فيكون السبين الكلي عندئذ مساوياً  $1/2(N_A - N_B)$ ، حيث  $N_A$  و  $N_B$  هما أعداد المواقع على الشبكتين الفرعيتين.

فإذا انتهت حالتا الحافة في الشريط الجرافيني المحتوي على رابطتين فقط بطرق مختلفة، كأن تنتهيان، على سبيل المثال، بذرة هيدروجين واحدة عند إحدى الحافتين وبذرتي هيدروجين عند الحافة الأخرى، فسيكون  $N_A \neq N_B$  وسيملك الشريط عزمًا مغنطيسياً (انظر الشكل 3). وقد أكدت حسابات البنية الإلكترونية أن مثل هذه الشداف fragments الجرافينية ذات السبين العالي موجودة فعلاً، مع أنه، وبشكل مثير للاهتمام، يبدو أن تشكل العُصابة والحالة القاعدية المغنطيسية كليهما حساسان نوعاً ما لطريقة تضديد مستويات الجرافين. بيد أنه

لكن من أين تأتي هذه المغنطيسية؟ إذ إن درجة حرارة كوري البالغة 500 K لم توافق أية درجة حرارة لشائبة واضحة، وظهرت المغنطيسية فقط في مجال ضيق من درجات الحرارة والضغط. وفي الواقع، لم يكن الفريق يبحث عن إشارات مغنطيسية للكربون، بل كان الفريق يبحث عن الناقلية الفائقة.

بعدها، وفي عام 2002 فُكر أحدنا (MC) وزملاؤه من كلية ترينيتي بدوبلين بالتحقق من نتائج شدفات fragments من نيزك كانيون ديابلو (وادي الشيطان Canyon Diablo) الغنية بالجرافيت الذي تحطم في صحراء أريزونا منذ 50 000 عام. فوجدنا أن حوالي ثلثي التمغنط فقط (الذي يبلغ متوسط قيمته قرابة  $20 \text{ Am}^2\text{kg}^{-1}$ ) في هذا المصدر خارج الأرضي من الكربون يمكن رده إلى الفلزات المغنطيسية الموجودة. وهذا يعني أن بقية التمغنط مرتبط بطريقة ما مع المحتوى الكربوني للنيزك، الذي يفترض وجوده لبلابين السنين قبل حدوث صدمة الصدم (انظر Physics World كانون الأول 2002 ص 3).

وفي وقت مبكر من العام الماضي، وجد جون جيابنتزاكس J. Giapintzakis من جامعة كريت وزملاؤه دليلاً على المغنطيسية الحديدية في زبد الكربون المنخفض الكثافة انخفاضاً شديداً والذي كان قد أعد بتسليط ليزر عالي الاستطاعة على هدف من كربون عالي النقاوة جداً. وباستخدام المجهر الإلكتروني، شاهد جيابنتزاكس وزملاؤه أن هذه المادة مكونة من عنقايد كربونية متصلة عشوائياً ذات أقطار يتراوح متوسطها بين 6-9 nm. ويمتلك هذا الزبد النانوي درجة حرارة كوري قدرها 90 K وعزمًا مغنطيسياً يقارب  $0.4 \text{ Am}^2\text{kg}^{-1}$  عند درجة حرارة الغرفة، مع أن ذلك اختفى في غضون بضع ساعات من تكوّن الزبد (انظر Physics World، أيار، ص 3).

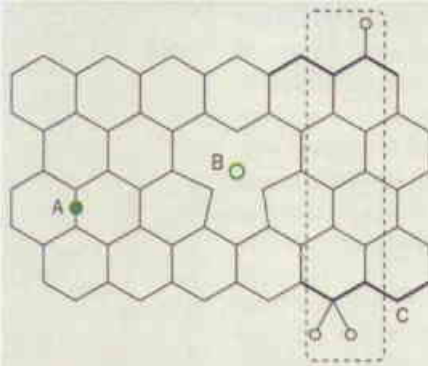
## المظنونات Suspects

إن أكثر التفسيرات احتمالاً للترتيب المغنطيسي في الكربون هو أنه ناجم عن نوع محدد من بنية معينة. ولذلك حاول الباحثون، اقتداءً بالنموذج ( $m-J$ )، تقصي ما إذا كانت العيوب في الكربون تدعم وجود عزم مغنطيسي ( $m$ )، وما إذا كانت هذه العزوم ترتب مغنطيسياً بسبب شكل من أشكال الاقتران التبادلي ( $J$ ). فإذا صدقت هذه الحالة، يجب أن يكون بالإمكان البدء بعينة لامغنطيسية ومن ثم جعلها مغنطيسية بالتشجيع المناسب.

وفي عام 2003 فعلت ذلك بالضبط مجموعة اسكويانترزي في ليزرغ عن طريق تشجيع بقع من صفحة جرافيت عالية التوجيه ببروتونات ويجسيمات ألفا. فوجد هؤلاء الباحثون أن التشجيع بالبروتونات قد قاد إلى عزوم مغنطيسية قابلة للقياس، أما جسيمات ألفا فلم تفعل ذلك. وقد ظهرت علامات المغنطيسية أيضاً في البقع المشععة بالبروتونات حينما جرى مسحها بوساطة مجهر القوة المغنطيسية. كما كانت العيوب في الجرافيت المشعع موضوع اهتمام في التقانة النووية، لأنها تولدت بكميات كبيرة في اللطقات الجرافينية للمفاعلات النووية. ويبدو كما لو أن بعض العيوب في المادة المطلقة قادرة على



### الشكل 3- المظنومات المعتادة



يمكن أن يعزى الترتيب المغنطيسي في الكربون إلى عيوب ذرية تملك عزمًا مغنطيسياً صافياً. فعلى سبيل المثال، يمكن أن تحتوي صفيحة الجرافيت - التي هي لبنة بناء للعديد من أشكال الكربون المتعددة polymorphs - على ثلاثة أنواع من العيوب، ذرة كربون "مدمصة" adatom على سطح الرقافة (A) وشغور كربوني (B)، وحافة متكسرة منتهية بصورة غير متماثلة (C). أما الخط المتقطع فإنه يحيط "خلية الوحدة" لشريط جرافيت مغنطيسي، الذي يمتلك عزمًا زاويًا سبينيًا قدره  $1/2$ ، وتمثل النتوءات ذرات الهيدروجين (انظر النص). ويُظن أن كل عيب من هذه العيوب الثلاثة قادر على توليد عزم مغنطيسي، غير أن الباحثين لم يجدوا حتى الآن آلية تجعل هذه العزوم تتأثر فيما بينها لتولد حالة ترتيب مغنطيسية.

ففي الأولى، وضع أوسكار سيسبيدس O. Céspedes ومعه مؤلفوا هذا المقال الحاليون في دبلن أنبوباً نانويًا من الكربون فوق غشاء أملس من معدن مغنطيسي حديدي. ويفرض أن التمغنط منتظم، لن يُنتج الغشاء أي حقل تائه (الشكل 4). ولكن إذا انتقلت إلكترونات مستقطبة سبينيًا إلى الأنابيب النانوي، فسيبدو وكأنه قضيب مغنطيسي دقيق وينشئ حقلًا تائهاً بجواره. وقد أمكن الكشف عن الحقل التائه بواسطة القوة المطبقة على الأسلة المغنطيسية المهترزة لجهر قوة مغنطيسية، مما كشف أن تمغنط الأنابيب النانوي يقرب من  $0.5 \text{ Am}^2\text{kg}^{-1}$ .

وفي التجربة الأخرى التي قام بها هانس كريستوف ميرتن H-C.Mertins، من جامعة العلوم التطبيقية في منستر بألمانيا، وزملاؤه، حين أنتجوا مادة مصنوعة من طبقات متناوبة من الحديد والكربون سماكاتها  $2.55 \text{ nm}$  و  $0.55 \text{ nm}$ . ثم بينوا بقياس امتصاص الإشعاع الكهربي

المستقطب أن للكربون عزمًا مغنطيسياً يقارب  $20 \text{ Am}^2\text{kg}^{-1}$ .

كانت النقطة الفاصلة في هاتين التجريبتين هي عدم ظهور مغنطيسية ما لم توجد مادة مغنطيسية حديدية (إذ لم تبدِ الأنابيب النانوية الكربونية فوق ركازات من النحاس أو السليكون، على سبيل المثال، أي عزم مغنطيسي). ولكن التفسير الناجح للكربون المغنطيسي بدلالة المغنطيسية المرصدة بالتماس يحتاج إلى أكثر من مجرد وجود شوائب ذات سبين عالٍ في الكربون. كما أننا نحتاج أيضاً إلى دليل عن طور مغنطيسي حديدي ثانٍ، مثل الحديد المبعثر في قطرات دقيقة في جميع أرجاء الكربون.

### آفاق مغنطيسية

كما بيننا، توجد دلائل مختلفة توحي بأن الكربون يمكن أن يترتب مغنطيسياً، ولكن ماذا عن بقية العناصر في جزيرة الاستقرار الثالثة من الجدول الدوري المغنطيسي؟ هل تبدي هي أيضاً مغنطيسية حديدية في درجة الحرارة العالية؟

لقد عُرفت منذ أمد بعيد بضعة مراكز عيوب ثنائية الإلكترون في الأكاسيد تمتلك ثلاثية سبينية كحالة متهيئة منخفضة الموضع low-lying excited state. وقد وجدت مجموعتنا حديثاً أن الأغشية الرقيقة من أكسيد الهافنيوم وبوريد الكالسيوم ذات مغنطيسية حديدية، مع أنه لا يحتوي أي من المركبين على أيونات مغنطيسية وأنهما ليسا مغنطيسيين في الشكل الجرمي الكبير. يُضاف إلى ذلك، أن تمغنط هذه الأغشية لا يزداد مع ازدياد سمك الغشاء فوق بضعة نانومترا، وأن عزمها

لا يوجد حتى الآن دليل تجريبي مباشر على هذه الحواف المغنطيسية.

في الواقع، ثمة تقدّم بطيء جداً بخصوص البحث عن دافع لأيٍّ من هذه المظنومات بقصد اقترانها بعضها مع بعض لخلق مغنطيسية حديدية في الكربون، طالما أنه لا يوجد سبب واضح لحدوث تآثرات تبادلية قوية بين هذه العيوب. وبكلمات أخرى، فإن الجزء (J) من النموذج (m-J) مفقود. وقد يرتئي البعض أن اقتران العيوب المغنطيسية يجري في مسافات طويلة عبر تبادل غير مباشر مع بعض إلكترونات النقل، مثلما يحدث في أنصاف النواقل المغنطيسية المخففة. غير أن إلكترونات النقل في الجرافيت تشكل غازاً يسلك سلوك غاز ذي بعدين تقريباً، مما يعطي درجة حرارة كوري قريبة من  $1\text{K}$ ، ولهذا فإنه يصعب أن تكون مثل هذه الآلية هي المسؤولة عن المغنطيسية في درجة حرارة الغرفة. هذا وينطبق النقاش نفسه على شوائب المعادن

الانتقالية المغنطيسية في الجرافيت، فقد تكون ذات حالة سبينية عالية ولكن اقترانها المغنطيسي يحتمل أن يكون ضعيفاً جداً.

يتضح أن البحث النظري عن المظنومات والدافع للمغنطيسية الحديدية في المظنومات المبنية على الكربون ما زال في بداياته. وربما ينبغي على المرء النظر في عيوب أكثر تعقيداً تتعدى المظنومات العادية. أو ربما نحتاج إلى آلية جديدة تماماً تتعدى النموذج (m-J)، مثل تكاثف "بورز-أينشتاين" للحالات الجزيئية الثلاثية.

### المغنطيسية المرصدة بالتماس

توجد طريقة أخرى يمكن فيها أن يصبح الكربون الناقل مغنطيسياً، وهي عن طريق التماس مع معدن مغنطيسي حديدي. فكلما تلامس معدنان يجري تيار من الإلكترونات بينهما حتى يتساوى كموناهما الكيميائياً، وإذا كان أحد المعدنين مغنطيسياً حديدياً ذا كثافتين مختلفتين من الإلكترونات من سبين-فوق وسبين-تحت، فإن انتقال الشحنة هذا سيرافق بانتقال صافٍ من السبينات. (تكون الحالة القصوى نصف معدن يحتوي على إلكترونات ناقلة ذات نوع واحدٍ من السبين، مما يعني أن انتقال الشحنة يكون مستقطباً سبينيًا بشكل تام). ويجب على الدوام أن توجد هذه المغنطيسية المرصدة بالتماس عند السطوح البينية، وقد اقترحت كتفسير لتمغنط الجرافيت في نيزك كانيون ديابلو.

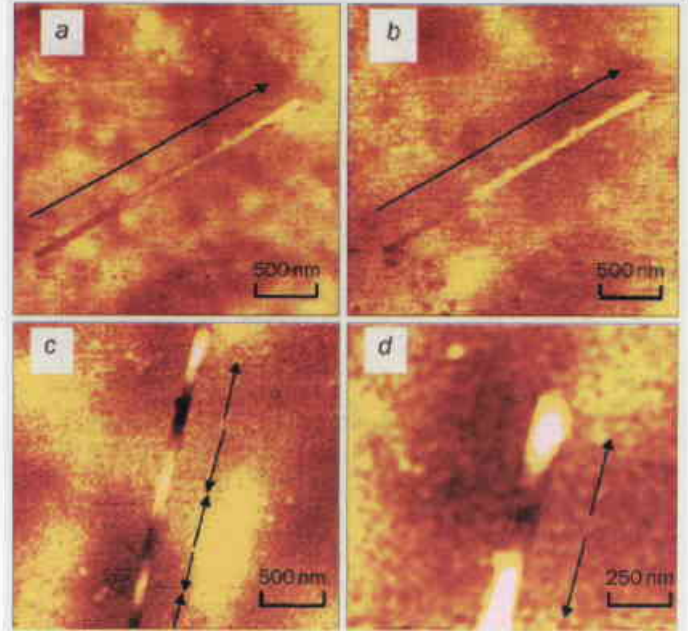
وفي هذه السنة، بينت مجموعتان بحثيتان حدوث هذه المغنطيسية المرصدة بالتماس بصورة مستقلة إحداهما عن الأخرى.

من السطح البيني مع الركازة. والمشكلة هنا، كما هي في حالة الكربون، ليس في إيجاد مراكز عيوب مغناطيسية بل في إيجاد سبب وجوب ترتيبها مغناطيسياً عند مثل هذه الدرجات الحرارية العالية. وقد يوجد تفسيرٌ مبتكرٌ لذلك، إذ يمكن أن تزودنا أغشية أكسيد الهافنيوم بدليل ما، فهي تمتلك تباين خواص واضحاً في تمغنطها يوحي بوجود مساهمة مدارية orbital كبيرة في العزم المغناطيسي. فخلافاً للعزم المغناطيسي السبيني، غالباً ما تكون العزوم المغناطيسية المصاحبة للحركة المدارية الإلكترونية مُرَهَقَةً في الأجسام الصلبة. وبالتالي فإن منظور الحصول على عزوم مغناطيسية مدارية مُرتَبَةٌ يُعدُّ منظوراً مثيراً.

إن إمكان خلق كربون مغناطيسي بطريقة منهجية وقابلة للتحكم هو منظور كبير العناء. ولكن اعتماداً على القيم المذكورة حديثاً للتمغنط، يبدو من غير المحتمل أن تكون مغناطيسية الكربون قوية بما يكفي لجعلها مفيدة كمواد مغناطيسية بالجملة. فالتمغنط البالغ  $1 \text{ A m}^2 \text{ kg}^{-1}$  هو أقل بنحو مرتبتين من المواد المستعملة في المغناط العالية الأداء.

إن آفاق الإلكترونيات السبينية هي أكثر إشراقاً، طالما أن الكربون يمكن أن يزودنا من حيث المبدأ بطريقة لتكامل السبين مع الإلكترونيات الجزيئية. ويُعرِّز "مدار السبين" spin orbit الضعيف والتأثرات المفرطة الدقة في الكربون مسافات نفاذ طويلة جداً وأزمنة ترابط مديدة، مما يوفر شروطاً مثالية لمناولة سبينية مترابطة. إضافة إلى ذلك، فإن مفعول المغناطيسية المحرّضة بالتماس يمهّد الطريق لنبائط تستخدم فيها التماسات المغناطيسية magnetic contacts في جعل الاستعمالات السبينية قادرة على الانفكاك عن مجسات الفولطية والتيار current/voltage probes. وقد يكون عصر الكربون في الإلكترونيات السبينية قد بزغ فجره.

الشكل 4 - صنع تماس



إن إحدى الطرق التي يمكن أن يصبح فيها الكربون مغناطيسياً تتحقق بوضعه في تماس مع مادة مغناطيسية حديدية. وتبين هذه الصور، التي أخذت من نقاط مشاهدة مختلفة بواسطة مجهر القوة المغناطيسية، أنبوتاً نانوبياً كربونياً متعدد الجدران موضوعاً على ركازة مغنتيت. أما (a) و (b) فيمثلان مسحين منفصلين يكشفان أن الأنبوب بنياناً وحيد القطع يتمغنط وفق طول (الأسهم السوداء). أما (c) و (d) فيمثلان مسحين يكشفان أنه عندما يكون الأنبوب "منحرفاً" بواسطة الرأس المستدق للمجهر (بحيث يقبع بزاوية قدرها  $45^\circ$  بالنسبة إلى موقعه في (a) و (b))، ينضم البنيان الأصلي الثاني القطب إلى بضعة قطاعات. إن هذا الترتيب المغناطيسي الحديدي هو نتيجة مباشرة للتأثرات بين إلكترونات الأنبوب وإلكترونات الركازة المغناطيسية الحديدية.

يساوي بضعة  $100 \mu\text{m}$  لكل نانومتر مربع من مساحة الركازة.

يبدو أن أصل هذه المغناطيسية يكمن في عيوب في الغشاء بالقرب



# الدماغ والحب\*

أوليفيه بوستل - فاييني  
محرر صحفي علمي

## بكميات قليلة

دراسات ميدانية طويلة أجراها مختصون بالكيمياء الحيوية والعلوم العصبية على أنواع فأر الحقل الأمريكية أحادية الزواج ومتعددة الزواج لتوضيح الآليات المعنية بالارتباط attachment. وقد كانت النتائج الأخيرة مذهلة. حيث بينت وجود باحات دماغية جيدة التحديد تُعنى بإدارة سلوك الزواج الأحادي بشكل مختلف عند الذكر والأنثى. ويلعب اثنان من النواقل العصبية هما الأوسيتوسين والفازوبرسين دوراً حاسماً في تنظيم هذه التصرفات، وترتبط علاقات الأمومة والأبوة والبنوة ارتباطاً مباشراً بهذين الببتيدين وبهذه الباحات الدماغية التي يجري الإفصاح عن ذلك السلوك من خلالها، وتوجد هذه الآليات ولكن بدرجات نوع مختلفة عند الثدييات الأخرى. كما تؤكد دراسات التصوير الدماغية وجودها أيضاً عند الإنسان. ويبدو أننا نشهد اليوم ولادة علم الرباط الاجتماعي.

## ملخص

لماذا تكون بعض الثدييات أحادية الزواج؟ وماذا عن العشق، وحب الأم وحب الأب وحب الابن... وها هو العلم يتولى من الآن فصاعداً مهام البحث في هذا المجال الذي بقي حتى عهد قريب حكراً على الشعراء والفلاسفة وعلماء النفس، بل ويوسعه ليشمل الصداقة أيضاً. وعلى الرغم من بعض التعثر هنا وهناك فإننا نرى علم الارتباط هذا يتقدم بخطى واسعة. ولكن إلى أين يسير؟

## الكلمات المفتاحية

أحادي الزواج، الثدييات، طبيعة العشق وكيميائه، الفازوبرسين، الدوبامين.

حين لا تلتزم فئران أخرى مشابهة لهما كفاً المراعي وفأر الجبل بهذا السلوك؟ لقد أصبحت هذه الحيوانات بالنسبة للعاملين في علم الارتباط أشبه بذبابة الخل بالنسبة للعاملين في علم الوراثة.

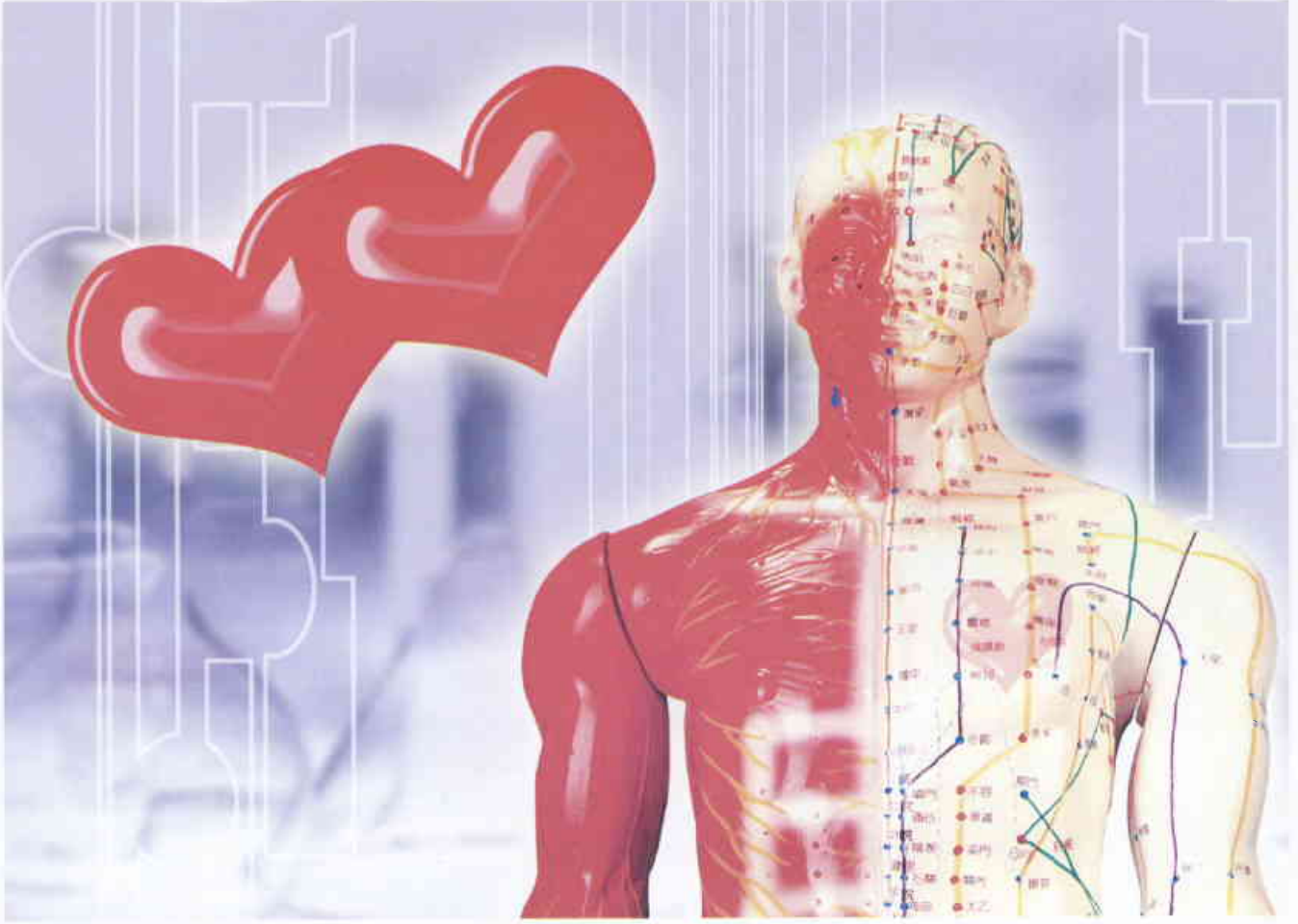
## حتى الموت

رُسِّت طبائع فأر السهول الأمريكي بعناية فائقة منذ الخمسينيات من القرن المنصرم على يد الأمريكي لويس غينز L. Getz من جامعة إيلينوي الذي أخضعها لدراسة ميدانية امتدت زهاء 40 عاماً. ولقد أظهرت النتائج أن الأنثى المراهقة تختار قرينها بعد شمشمة قوية، ثم تدخل بعدها بحالة نشاط يجعلها تقترب به أكثر من 50 مرة في غضون (30-48) ساعة، وبعد ذلك غالباً ما يبقى الاثنان جنباً إلى جنب معاً حتى الموت، ويشترك هذا الذكر في رعاية النسل، ويتعاون مع أنثاه في حماية الأرض وصد كل دخيل عليها. فكيف يُفسر هذا السلوك؟ لقد قام كارتر C. S.C. أستاذ علم الحيوان بجامعة ماريلاند

"لماذا نُحب؟ طبيعة العشق وكيميائه" هذا هو عنوان كتاب هيلين فيشر، أستاذة الأنثروبولوجيا بجامعة Rutgers والذي ظهر في بداية عام 2004. أما "الاتصالات العصبية لحب الأم والعشق" فهو عنوان آخر لمقالة علمية نشرت في مجلة متخصصة وفي التاريخ ذاته. وكذلك يمثل مقال "البيولوجيا تبحث في الحب" ملقاً علمياً نشره المركز القومي الفرنسي للأبحاث العلمية في نفس الوقت أيضاً، وشارك في تحريره عدد من المختصين من بينهم توماس انسل رئيس المعهد الوطني الأمريكي للصحة العقلية NIMH، فهل يكون علم الحب قيد التكوّن؟

نعم، لقد غزا البحث العلمي هذا المجال بنجاح حقيقي بعد أن كان مستبعداً. ويعود الفضل في ذلك إلى التطور الهائل الذي حدث في تقانات الاستقصاء البيولوجية، واكتشاف حيوان مخبري ملائم هو فأر الحقل الأمريكي الذي يستوطن المناطق الوسطى للغرب الأمريكي. وهو ثديي متواضع بطول الفأر العادي يلتزم بزواج أحادي متماسك. فلماذا يكون هذا الفأر وشبيهه فأر الصنوبر أحادي الزواج، في

\* نُشر هذا المقال في مجلة La Recherche, Novembre 2004.



مجموعة الحيوانات الأخيرة من خلال منابذة manipulation الجينة التي تُكوِّد مستقبلات الفازوبرسين يُحوّل سلوك الذكور الماجنة فجأةً باتجاه تفضيل الزواج الأحادي. وبالمقابل، فإن حقن الكرة الشاحبة البطنية في الذكور الأحادية الزواج يعامل يحصر فعالية مستقبلات الفازوبرسين الموجودة فيه يلغي زواجها الأحادي، ويحولها إلى متقلبة الأهواء كآقربائها الآخرين.

والحدث الأهم، أن الحيوانات التي أصبحت متعددة الزواج لم

تتوقف عن رعاية صغارها بنشاط، إذ تظل تداعبها وتلحسها وتحتك بها. وعندما تُحصّر مستقبلات الفازوبرسين في منطقة مجاورة للكرة الشاحبة البطنية تدعى اللوزة الدماغية الوسطى مع بقاء عملها السوي

في الكرة الشاحبة البطنية يبطل الارتباط الأبوي، دون أن تتأثر أحادية الزواج.

ومن جهة أخرى، اكتشف كارتر وغيتز وانسل دوراً مهماً يلعبه هرمون الأوسيتوسين العصبي في الارتباط لدى الإناث. وللعلم، فإن بنية هذا البيئيد لا تختلف عن سابقه (الفازوبرسين) إلا باثنين من أحماضهما الأمينية التسعة. ونعرف منذ زمن بعيد

بالتعاون مع غيتز L. باستكشاف الهرمونات المعنية بهذا النمط من الارتباط، وانضم إليهما لاحقاً عالم الأعصاب توماس انسل المذكور آنفاً. وسرعان ما التحق بهم منافسون جدد، واستفادوا من علم الهندسة الوراثية، وكل ذلك جعل النتائج تتوالى الواحدة تلو الأخرى.

واليوم، يُعدُّ فريق لاري يونغ L. Young فريق العمل الأبرز في هذا المجال الذي نفخ الحياة في مختبر البيولوجيا العصبية الاجتماعية بجامعة إيموري باتلانتا. ويشرح مقال نشره هذا الفريق في مجلة

Nature في شهر حزيران 2004 المراحل

التي قطعتها أبحاثهم [1]. ومن جهة أخرى،

يعد الفازوبرسين أحد هرمونين عصبيين

أساسيين درسهما كارتر C.S. Carter و

غيتز L. Getz و انسل T. Insel. وبالإضافة

يمكن إلغاء الارتباط الأبوي دون  
أن تتأثر خاصية أحادية الزواج

إلى دور هذا الهرمون في تنظيم ضغط الدم واحتباس الماء وإفراغ البول، فإنه يلعب دوراً أساسياً في ارتباط الذكر بأنثاه وصغاره في حالة الفتران الأحادية الزواج. وتبدي مستقبلات الفازوبرسين توزعاً متبايناً في ساحات الدماغ ذاتها في الفتران الأحادية الزواج وأقربائها المتعددة الزواج. وقد أوضح فريق لاري يونغ أن إحداث تعديل في منطقة معينة كالكرة الشاحبة pallidum البطنية من دماغ



صورة لغاري الحقل الأمريكي وقد اتخذنا الوضع المميز للأزواج الأحادية الزواج، أي الثبات دون حراك أحدهما إزاء الآخر. ويمكن لبعض الذكور أو الإناث اتخاذ هذا الوضع عندما تقوم فيما بينها روابط غير جنسية.

تورط الأوسيتوسين في تقلصات الولادة وفي الرضاع، كما نعلم في الوقت الحاضر أن حقن الأوسيتوسين في أدمغة إناث الجرذ البكرية يحرض فيها كل مظاهر سلوك الأمومة المتعلق برعاية الصغار. وتتخلى إناث النعاج عن سلوك الأمومة حينما تحقن أدمغتها بأدوية مضادة للأوسيتوسين. وتجدر الإشارة إلى أن الأوسيتوسين يتحرر في دم الأنثى بكميات وفيرة في أثناء الملامسة الجسدية أو تنبيه المهبل. ويسري هذا الأمر على البشر مثلما هو حال النعاج والفئران. ومن جهة أخرى، فقد بين فريق يونغ أن توزع مستقبلات الأوسيتوسين في الإناث وكذلك توزع مستقبلات الفازوبرسين في الذكور يختلف تبعاً لكون أنثى الفأر الأمريكي أحادية الزواج أم متعددة الزواج. علاوة على ذلك، فإن حقن أدمغة الإناث الأحادية الزواج، وبتحديد أدق حقن باحة دماغية قريبة من الكرة الشاحبة البطنية تدعى النواة المتكئة accumbens، بمضادات الأوسيتوسين يكبح قدرتها على إقامة صلات مستقرة مع الذكور.

نخلص مما سبق إلى أن تشكيل أزواج أحادية الزواج من ذكور وإناث الفأر الأمريكي يتطلب تأثير ناقل عصبي في باحات دماغية معينة. وللذكر كما للأنثى ناقله العصبي النوعي وباحاته الدماغية الخاصة. فالأوسيتوسين والنواة المتكئة مثلاً يخصان الأنثى، والفازوبرسين والكرة الشاحبة البطنية يخصان الذكر.

الوسيطي، فإن سلوك الأمومة الآلي يرتبط بإفصاح الأوسيتوسين، وينطبق هذا الأمر على ثدييات كبيرة مثل النعاج، ولكن هل ينطبق هذا التحديد أيضاً على الإنسان؟

وفي حين يعتمد ارتباط الذكر وأنثاه مع صغارهما بصورة نوعية على إفصاح expression الفازوبرسين في مستوى اللوزة الدماغية

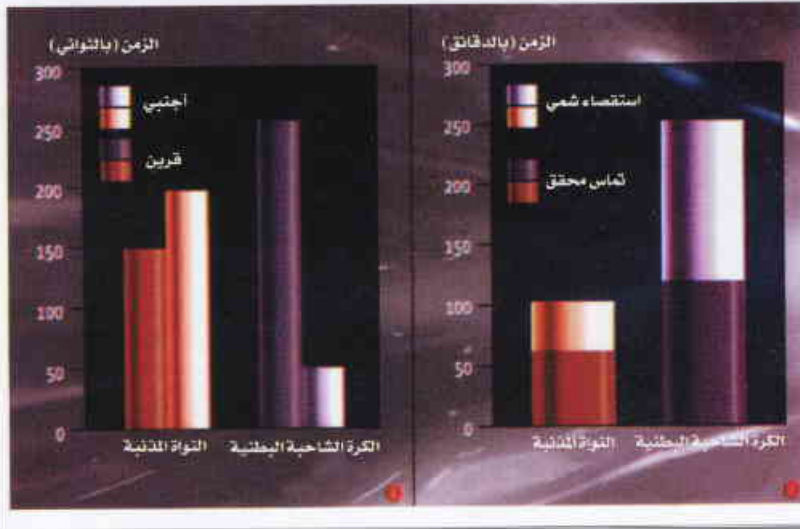
ومن خلال دراسة الأنسجة الدماغية بعد الوفاة، وضع فريق عمل سويسري في جنيف أول خريطة تبين توزع مستقبلات الفازوبرسين والأوسيتوسين في الدماغ البشري. يختلف هذا التوزع تماماً عن توزعها المعروف في دماغ الفأر الأمريكي. وقد اعتمدت دراسة سابقة أجراها أندرياس باتلز A.Bartels وسمير S.Zeki في العلوم الطبية في معهد جامعة لندن على هذه الخرائطية cartography [2]. وباستعمال تقانة التصوير الدماغية أجريت مقارنة لباحات الدماغ البشري المعنية بالعشق ويجب الأم لصغارها. وإنجاز هذه الدراسة جُند شباب (أعمارهم الوسطية بحدود 23 عاماً) يعيشون هياماً عمره عامان ونيف بالمتوسط، وأمهات أطفال تتراوح أعمارهم بين تسعة شهور وست سنوات، وطلب إليهم جميعاً تلبية أوامر التصوير بالانزلاق أفقياً



لدراسة الميل الطبيعي للزواج الأحادي في هذه التجربة النمذجية وضع الفأر الأمريكي في وعاء ثم أدخل في وعاءين جانبيين متصلين معه فردان من الجنس الآخر. الأول سبق له الاقتران (التزاوج) مع أحد الاثنين ولكن لم يسبق له أبدا لقاء الآخر (يسارا) ثم قيس بعد ذلك زمن مكوثه مع كل منهما. تظهر هذه الأداة التجريبية أن إناث الفأر الأمريكي الجبلي تبدي ميلاً قليلاً تجاه الذكور التي سبق التأقلم معها بالمقارنة مع هار السهول. ومن جهة أخرى، يؤدي حقن الأوسيتوسين (OT) في دماغ الفأر الأمريكي الجبلي إلى إطالة زمن التماس الجسدي مع القرنين المتأقلم حتى عندما يحقن الأوسيتوسين في أدمغة الذكور.

## الشكل 2 - الفازوبرسين موجه الارتباط الذكري

باستعمال محرض فيروسي Victour vital، تُستحث مورثة مستقبلية الفازوبرسين الموجودة في باحة معينة من دماغ الفأر الأمريكي الذكري الأحادي الزواج على الإفصاح المضط. فيكون أرفصاح المورثة قويا في مستوى الكرة الشاحبة البطنية ولا يحدث شيء في الباحة الشاهدة (النواة المذنية مثلا). وحتى ولو أمضى الذكر ليلة واحدة دون اقتران مع الأنثى، فإنه يبدي في اليوم التالي ميلا مفضلا. كذلك يكون الأثر محسوسا عند وضع الذكر على تماس مع ذكر فتي غير بالغ. ويجري تقييم الرابطة الاجتماعية المتشكلة من خلال قياس الزمن الذي يمر بدءاً من شمشة القادم الجديد وحتى الالتصاق به.



## الزواج الأحادي الاجتماعي

يقدم لنا مفهوم الارتباط فائدة أخرى من خلال انفتاحه على أفق أكثر اتساعاً يتمثل في تشكيل الروابط الاجتماعية. فهيام المحب وحب الأم لصغارها هما ملاط الروابط الاجتماعية. وكذلك هي حال علاقات الصداقة، وحب القربى والالتزام بالأفكار والقيم. ومع أن الشمبازيات ليست أحادية الزواج، فإن ارتباط الشمبازي الأم بصغارها يضاهاى إلى حد كبير ارتباط الأم البشرية بمولودها. كما أن التقلية epouillage المتبادلة بين أفراد قطيع الشمبازي هي شكل من أشكال الارتباط الذي يسهم في توازن هذه الجماعة. لذا سنعمد إلى تبني هذا المنظور من الآن فصاعداً في إعادة تقييم نتائج التجارب التي أجريت على الفأر الأمريكي والثدييات الأخرى، بما في ذلك النتائج الأولية التي أمكن الحصول عليها عند الإنسان.

وكنقطة بداية، يمكننا القول أن هذه الأعمال المتفرقة التي تم إنجازها حتى الآن تسمح لنا بالتفريق بين الارتباط من جهة والعلاقة الجنسية من جهة أخرى. فحصر bloquer سيرورة الارتباط لدى ذكر أو أنثى فأر الجيل الأمريكي الأحادي الزواج لا يؤثر في الرغبة الجنسية. كما أن الزواج الأحادي لدى فأر السهول الأمريكي لا يعني بالضرورة المقصورية l'exclusivite الجنسية. وتبين نتائج تحليل الدنا أن هذا الأخير لا ينحدر يوماً من اقتران الذكر بالأنثى. ولقد لوحظ أيضاً أن مقدرة الذكور والإناث على تشكيل الأزواج بعد الخصاء في سن اليفع لا تضعف بعد إجراء هذه المداخلة الجراحية.

في ناووس جهاز المرنان الوظيفي (IRM). ثم عُرضت عليهم صور معشوقهم أو أطفالهم بالإضافة لصور أصدقاء لهم بغية تحديد الصور التي تثير عواطفهم. وبالاعتماد على الصور التي التقطها الجهاز، تبين أن الباحث التي ينشطها العشق وحب الأم لصغارها، كانت قليلة العدد نسبياً ومتباعدة أحياناً، وأن بعض الباحث المنشطة بالعشق تختلف عن الباحث التي يفعلها حب الأم لصغارها. كما تبين أن كثيراً من الباحث المنشطة سواء أكانت على صلة بشكلي الحب السابقين أو غير متعلقة بهما هي باحات دماغية غنية بمستقبلات الأوسيتوسين أم الفازوبرسين أو بكلتا البيبتيدين معاً.

ومن جهة أخرى، عثر حديثاً في دماغ الإنسان (ولكن على نطاق أوسع انتشاراً) على الصلة العضوية ذاتها التي لوحظت في الفأر الأمريكي بين ارتباط الأمومة والارتباط بالقرين الجنسي. ويتورط شغفا النواقل العصبية المشار إليهما سابقاً بدرجات متفاوتة في نمطي الارتباط. وتجدر الإشارة بصورة خاصة إلى منطقة تتفعل بقوة في حال حب الأمومة ولا

تتفعل خلال العشق هي المادة السنجابية المحيطة بالقناة المائية في الدماغ المتوسط، ولا تخفى أهمية هذه المنطقة في تسكين الأم المخاض، كما أن تعطيل فعاليتها عند الجرذ يلغي سلوك الأمومة. وبالمقابل، ثمة منطقة أخرى غنية بمستقبلات الفازوبرسين تضطرم في دماغ العاشق ولا تحرك ساكناً في دماغ الأم هي التليف المسنن الحصيني gyrus dente de hippocampe.

وإذا توقفنا هنيهة عند كلمة "الحب" amour نجد أنها تحمل في ثناياها تاريخاً وثقافة وانفعالاً. ومع أنها إحدى مواضيع علم النفس، فإن التحديد الدقيق لصفات هيام العشق وحب الأم لا يتعدى الوصف المجرد البعيد عن التصور العلمي. لذلك استبدلت بها كلمة أخرى هي الارتباط attachment الذي يمكن إخضاعه لدراسة تجريبية. وقد شدد كارتر على أهمية ذلك بقوله: "إنها نقطة انطلاق لدراسة الأساس العلمي للحب".

ولا نجد مثيلاً لروميو وجولييت عند الفأر الأمريكي الأحادي الزواج، ولكننا نجد ارتباطاً كالذي يوجد لدى الكلب والإنسان. وتطرح مسألة الارتباط من وجهة نظر تطويرية السؤال العلمي التالي: ما هي وظيفته؟ لا تزال الإجابة على هذا السؤال يكتشفها كثيراً من الغموض على الرغم من إجماع معظم الناس على فرضية إسهامها بشكل أو بآخر في نجاح جينات الأفراد المتحدرين عن الارتباط succes des genes des individus impliques.

معنيان بقوة في إقامة الروابط الاجتماعية وشرطان لازمان لحدوثها، أي تعرّف الآخر. ومما يؤكد صحة ذلك إصابة الفئران بنسائة اجتماعية بعد نزع مورثة الأوسيتوسين فيها، وفقدان الذكور الطافرة mates مقدرتها على تعرّف أنثى كانت قد تبادلت معها في وقت سابق لقاءً مديداً أو أكثر. ويكون هذا الأثر دقيقاً للغاية، ونوعياً، ولا يرافقه أي تبدل آخر سواء في الوظائف المعرفية أم في الجهاز الشمي الذي يُعدُّ الركيزة الأساسية لتبين هوية أفراد القوارض الأخرى. ومن جهة ثانية، يمتاز هذا الأثر بعكوسيته، لأن حقن الأوسيتوسين في باحة معينة في دماغ الجرذ الطافر يحسن لبعض الوقت مقدرته على التعرف الاجتماعي. وكذلك أوضحت تجارب أخرى أن وجود الفازوبرسين في باحات دماغية بعينها شرط لا بد منه للتعرف الاجتماعي الذي يقوم به الجرذ.

تُظهر الاختبارات التجريبية تورط كلا البيتين السابقين في جميع أشكال الارتباط التي أحصيت عند الثدييات المختلفة. ويؤدي حقن كمية إضافية من الأوسيتوسين في أدمغة إناث الفأر الأمريكي الأحادية الزواج إلى تسريع مقدراتها على إقامة رابطة مستقرة مع القرين، ويحدث الأثر ذاته بعد حقن الذكور بالفازوبرسين. أما حقن الجرذان الآباء بمركبات تحصر فعل مستقبلات الأوسيتوسين فإنه يجعلها تسيء معاملة صغارها. وكذلك تفقد صغار الجرذان التي تسرّب مضاد الأوسيتوسين إلى أدمغتها مقدراتها على التمييز بين أمهاتها والإناث الأخريات.

هذا ويعرف عن النعاج أنها لا تعتني إلا بالصغار التي تخصها فقط، بيد أن حقن الأوسيتوسين في أدمغتها يجعلها تتقبل رعاية حمل غريب في غضون ثلاثين ثانية. ومن جهة أخرى، فإن تجريب إناث القردة الريسوسية العذارى هرمون الأوسيتوسين يجعلها تبدي اهتماماً واضحاً بالرُضع ويضعف عدوانيتها تجاه المشاهدين.

زد على ذلك، يمكن تيسير المحبة غير الجنسية بين اثنين من ذكور الفأر الأمريكي (الأمر الذي يدفعنا للحديث عن المحبة لدى القوارض) بتحريض المورثة المسؤولة عن مستقبل الفازوبرسين الكائن في الكرة الشاحبة البطنية للذكر (الشكل 2) على الإفصاح المفرط، وكذلك تبدي ذكور الجرذان بعد حصولها على كمية إضافية من الأوسيتوسين الدماغي تأثيرات أقوى مع الذكور الأخرى.

ويفضل فصل الجنسية sexualite، تجاوزت كيمياء الارتباط حدود الزواج الأحادي وهيام العشق إلى مجالات أخرى كالحب الأبوي وحب الأبناء وعلاقات الصداقة (الود). وكذلك بينت التجارب تداخلها الوثيق مع كيمياء منظومتي الكرب والإثابة، اللتين تلعبان دوراً مهماً في تطور الأنواع especes.

وعند التمعن في الكرب stress، الذي يعتبر عدواناً للبيئة نجد أنه يؤثر في تطور الجينوم البكتيري على سبيل المثال، بل وحتى في التنامي الجيني. وغالباً ما يسهم في حياتنا اليومية بتأسيس الروابط الاجتماعية أو قطعها. وتشير الوقائع التجريبية إلى أن تعريض ذكور الفأر الأمريكي الأحادي الزواج لكرب قسري (كإجبارها مثلاً على



لقد طور العلماء مفهوماً جديداً لتأثير هذه الظاهرة تحت اسم الزواج الأحادي الاجتماعي. وإذا كان الذكر والأنثى يعززان قوة الصلات بينهما من خلال ممارسة حب جسدي يتحرر خلاله الأوسيتوسين والفازوبرسين بكميات وفيرة، فإن الصلة التي تتأسس بينهما تفوق الجنسية تصعيداً. ويمكن إقامة صلات ارتباط (على الأقل في المختبرات) غير مترافقة مع علاقة جنسية بين ذكريين أو أنثيين من الفأر الأمريكي، يتخذ بنتيجتها الذكران أو الأنثيان الوضع الثنائي المميز لزوجين أحادي الزواج، بمعنى الثبات بلا حراك الواحد إزاء الآخر.

وفي الإنسان، أظهرت دراسات التصوير الدماغي اختلاف الباحثات المنشطة بالإثارة الجنسية عن الباحثات المنشطة بانفعالات الارتباط. ومن جهة نظر تطورية، فإن تعايش أنواع عديدة من الثدييات أقرباء جداً يكون بعضها أحادي الزواج والآخر لا يعرف أي شكل من الارتباط بين الشريكين الجنسيين إنما يؤكد الأصل المستقل لهاتين الظاهرتين.

ولقد أظهرت تجارب أخرى أن الأوسيتوسين والفازوبرسين



تشابه تام غير مفاجئ. يُعد الأوسيتوسين عند الشمبانزي، مثلما هو عند الإنسان ناقلاً عصبياً رئيساً يعمل في مجال ارتباط الأم بصغارها وارتباط الطفل الرضيع بأمه.

مفتاح تشغيل وتوقف لجهاز الإثابة (الشكل 4). يُنظَّم عمل جهاز الإثابة عبر ضبط درجة إفصاح ناقل عصبي يولد آثاراً أكثر عمومية من الأوسيتوسين والفازوبرسين، هو الدوبامين في النواة المتكئة. فإذا ما تعرض جرد لمنبه ينشط هذا الجهاز، فإنه لا يتوانى عن ضغط الدواسة التي تتيح له الحصول على هذا المنبه مجدداً. ويعتقد جوزيف لو دو J. L. Doux المختص بالعلوم العصبية أن هذه الفعالية مشابهة لما يحدث في دماغ العاشق الذي يشاهد صور معشوقته الغائبة. وقد يكون هذا المنبه الذي ينشط جهاز الإثابة في الجرد إشارة مرافقة للغذاء أو للكوكائين أو حتى لظهور أنثى في طور التقبل الجنسي.

لا توجد مستقبلات الأوسيتوسين والفازوبرسين بأعداد وفيرة في النواة المتكئة لدى الإنسان، إلا أن تجارب التصوير الدماغية أظهرت أن معظم

### يفعل الناقلان العصبيان (الأوسيتوسين والفازوبرسين) الدائرة المعنية بالإثابة والتعزيز

السباحة لمدة عشر دقائق) يدفعها لتأسيس روابط فورية مستدامة مع الإناث. وعلى نحو مشابه، تسعى الإناث التي أخضعت لمثل هذه المناهبة لإقامة روابط لا تقتصر على الذكور فقط وإنما تتعداها لتشمل أيضاً إناثاً أخريات.

## هرمونات مضادة للكرب

يولد تجرع القوارض كمية إضافية من الأوسيتوسين أثراً مشابهاً للمساكنة cohabitation الناجحة (المشاركة في السكنى)، إذ يثبط الأوسيتوسين إفراز الكورتيكوستيرون (الشكل 3). هذا وتخلد صغار الجرذان التي أبعدت عن أمهاتها للهدوء بعد حقنها بالأوسيتوسين أو الفازوبرسين [3]. وينشأ أثر مهدئ مشابه عقب إعطاء النساء الأوسيتوسين الاصطناعي لتيسير الولادة.

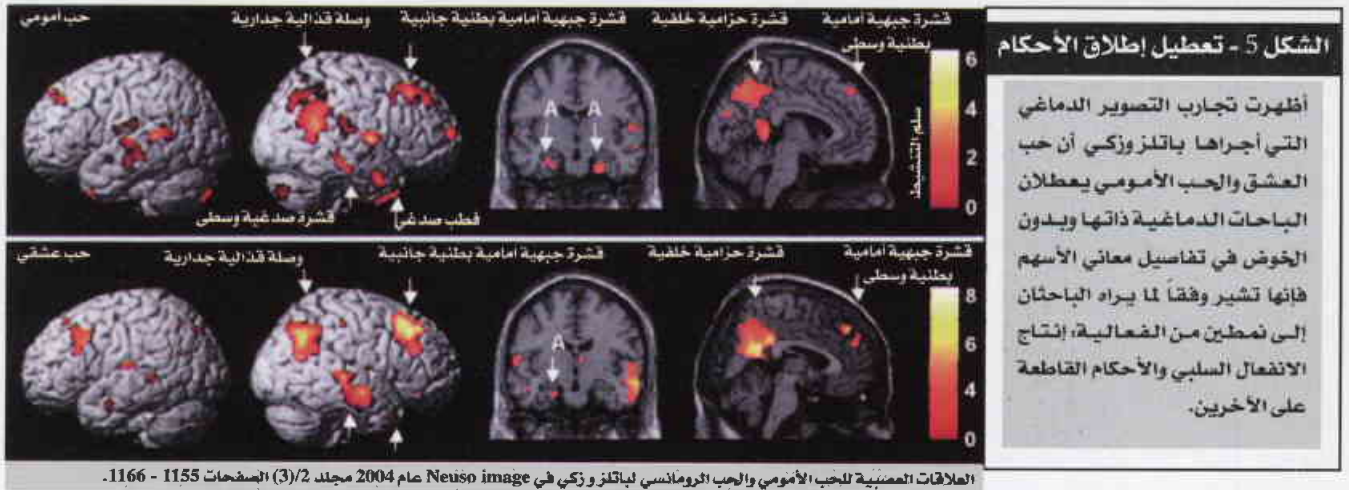
ويدفعنا كل ذلك إلى القول أن هرمونات الارتباط ما هي إلا هرمونات مضادة للكرب، وبمزيد من الدقة نقول إن كيمياء الارتباط تمثل علاجاً للكرب ووقاية منه في آن معاً. وبهذا فإن العلم يواكب الرشد أحياناً.

لا تقل علاقة هرمونات الارتباط بجهاز الإثابة أهمية عن علاقتها بالكرب. وتعد الباحثات المعنية بالارتباط في أدمغة الفئران الأمريكية وأدمغة البشر على حد سواء جزءاً من جهاز ذكّر المختصون في العلوم العصبية في الخمسين سنة الماضية بأنه يبعث الدوافع ويصونها ويعززها. ويكفي حصار عمل مستقبلات الأوسيتوسين في مستوى النواة المتكئة (التي تعد جزءاً من هذا الجهاز) لدى إناث الفأر الأمريكي للحيلولة دون تشكيل هذه الإناث أزواجاً مع الذكور. وهكذا فإن هذه النواة في الثدييات تعمل كما لو أنها

الشكل 4 - جهاز الإثابة الدماغية







السمة Ce trait وانحرافات الظاهرة في الإنسان إلى حد جعلها تولد مشاعر شديدة التعقيد تجاوزت حب الجنس المغاير heterosexual وحب الأم لأبنائها إلى الصداقة المغرقة وحب ما قبل البلوغ وحب الجنس المثلي. وتجدر الإشارة إلى أن أكثر التجارب إقناعاً في هذا الموضوع انطلقت من ملاحظة اختلافات مهمة بين فرد وآخر بما في ذلك الفأر الأمريكي.

لم نتطرق حتى الآن إلا للفروق بين الأنواع والأجناس، إلا أن السلوكيات هي أكثر تغيراً مما تبدو عليه. فثمة فروق مذهلة بين مجموعة أفراد وأخرى في النوع الواحد (كفأر الحقل الأمريكي مثلاً). وفي حين تمتاز فئران إيلينوي الأمريكية بزواج أحادي فعلي، تبدي جيرانها من فئران كنساس ميلاً بسيطاً للزواج الأحادي بالإضافة للزواج المتعدد. كذلك، يصعب تفريق ذكور فئران إيلينوي الأمريكية عن إناثها من النظرة الأولى، وهذه صفة مميزة للنوع الأحادي الزواج. أما ذكور فئران كنساس الأمريكية فهي أضخم حجماً من الإناث، وتمتاز بازواجية شكلية واضحة، وأقاليمها أشد اتساعاً من أقاليم الإناث، ولا تهتم كثيراً برعاية صغارها، وقلما يشاهد الذكر في الطبيعة قابلاً مع أنثاه بحالة انجذاب تزاوجي بالمقارنة مع فئران إيلينوي. وفي المختبر، يكفي حقن الفازوبرسين في دم ذكور كنساس أو الأوستوسين في دم إناثها لزيادة ميلها الطبيعي للزواج الأحادي. إلا أن فحص أدمغتها لم يظهر وجود فروق واضحة في توزع مستقبلاتها، لذا استنتج الباحثون أن أصل هذا الاختلاف السلوكي الملاحظ ربما يعزى إلى فروق بيئية. فولاية كنساس أشد جفافاً وأقل موارد من ولاية إيلينوي، وربما يدفع هذا الأمر باتجاه تميز الذكور الأقوى والأكثر جرأة، وباتجاه انقراض الذكور الأضعف الأقل شجاعة، مما يمهّد السبيل لظهور سلالة جديدة.

### التنوعية الفردية

من غير المدهش جداً أن تولد الاختلافات البيئية تحويراً في الكودات الاجتماعية إلى حد يسمح باصطفاء جينات مفيدة للبقيّة survie والتوالد في هذه البيئة. ولقد اكتشف الباحثون وجود عامل

الباحات الدماغية المنشطة هي أجزاء من جهاز الإثابة في الإنسان، وأن بعض هذه الباحات غني بمستقبلات هذين الببتيدين. ومن هذا المنظور يمكننا أن نعزو نشوء الارتباط وتشكيل الروابط الاجتماعية إلى عملية تعزيز يسهم بها جهاز الإثابة.

### باحات خاملة

يرى لاري يونغ أن "الأوستوسين والفازوبرسين يرفعان درجة متعة التأثيرات الاجتماعية من خلال تفعيلهما دارة عصبونية معنية بالإثابة والتعزيز". ويشبه ذلك في الوقت ذاته تأثير المخدرات drogue، الأمر الذي دفع كثيراً من العلماء للبحث عن صلة ما بين المخدرات والارتباط بما فيه من الحب. وبذلك جرى العبور سريعاً من متلازمة الوحشة syndrome de manque إلى الافتقاد Tu me manque (أفتقدك).

ويمكن عقد مقارنة بين المخدرات والارتباط من الناحية الكيميائية بسبب علاقة منظومة الارتباط بجهاز الإثابة من جهة، والتأثيرات الكثيرة القائمة بين بيتيدي الارتباط والأندورفينات أو المورفينات من جهة أخرى. وبالرغم من أن باب البحث في هذا المجال شبه موصد، إلا أننا نعلم من جهة أخرى، أن أفيونات المخدرات مثلها هو الحب يحرفان المحاكمة judgement العقلية السوية، وتُظهر الصور الدماغية المدهشة التي حصل عليها باتلز وزكي (عند راستهما هذا الموضوع) وجود باحات دماغية مُعطلة الفعالية جزئياً في حالة العشق وحب الأم لصغارها (كالقشرة المخية الجبهية الأمامية الجانبية)، ونشير إلى أن هذه الباحات ليست مجرد باحات معنية بالانفعالات السلبية أو بالاكئاب فحسب، بل إنها كذلك مقرات محاكمة عقلية حاسمة (كالقشرة المخية الجبهية الأمامية المتوسطة) (الشكل 5). ويوضح ذلك باتلز وزكي بقولهما إن المحاكمات العقلية للأُم تجاه أبنائها وكذلك للعاشق تجاه معشوقه (والتي تثير في بعض الأحيان استغراب الناس من حولهما)، تتأثر بهذه التثبيطات الدماغية.

ومع الأخذ بالحسبان أهمية الارتباط في تطور بعض الثدييات، اتجهت بعض فرق البحث نحو دراسة كيفية تنامي واغتناء هذه

نستطيع إجراء تجارب باضعة على دماغ الإنسان، مثل حقنه بمواد متنوعة وتقطيعه لاحقاً إلى شرائح لدراستها. ومع أن التصوير الطبي أداة رائعة، إلا أن نتائجه ما تزال تقريبية، ونستطيع إبرك ذلك إذا علمنا أن إضاءة كل لبة في جهاز المران الوظيفي يعكس تخاطب ملايين العصبونات فيما بينها بألف طريقة وطريقة مختلفة. لذلك فإن مدخلنا لسبر أغوار الدماغ لم يتخط معرفة تاريخه.

أما البرهان الثاني فهو أكثر نوعية وأشد صلة بموضوعنا. فالباحثون في الزواج الأحادي للفأر الأمريكي يضعون في مخيلتهم موديلاً مسبقاً للزواج البشري. ولكن الحقيقة هي غير ذلك، فمن غير المؤكد أبداً أن إنسان سابين قد كان نوعاً أحادي الزواج. وقد خلص البروفسور D. Geary أستاذ الطب النفسي بجامعة ميسوري لدى محاولته الإجابة على هذا السؤال بكافة الوسائل، إلى نتيجة سلبية، وعبر عن ذلك بقوله: "مما لاشك فيه أن التنافس بين الذكور سمة أساسية في التاريخ البشري، وأن الزواج لم يكن أحادي النمط [4]". فالثنائية الشكلية الجنسية dimorphisme sexuel السائدة في النوع البشري هي سمة مشتركة مع أنواع أخرى متعددة الزوجات polygynes. وخلاصة القول إن الزواج الأحادي الاجتماعي الذي يسود معظم المجتمعات البشرية حالياً (وليس كلها) هو نتاج تطور ثقافي لا يمت بصلة إلى البيولوجيا، لأن هذا النمط من الزواج ضروري لضمان حياة النسل. إن أخذ هذه النظرية على محمل الجد، يبعدنا كثيراً عن موديل الفأر الأمريكي.

وأخيراً، نقول بصريح العبارة إن الزمن ما زال مبكراً فيما يبدو لكي يجيب العلم بدقة على هذا السؤال: لماذا نحب؟ وإن استطعنا الإجابة على هذا السؤال باستخدام مفردات عامة، فإن جوابنا على السؤال التالي: لماذا وقعت بحب هذا الشخص بالذات وليس بحب شخص آخر؟ لا يقابله إلا تنهيدة.

تغيرية variabite ضمن جينوم الفأر الأمريكي بالذات. ولا يولد هذا العامل طفرة بالمعنى التقليدي للمصطلح وإنما تغيراً طبيعياً في الإفصاح الجيني. وقد جاء هذا الاكتشاف بعد ملاحظة التغييرية الفردية المذهلة في توزع مستقبلات الفازوبرسين في أدمغة الذكور الأحادية الزواج. ويكون الجزء المكود في جينة إحدى المستقبلات الأساسية، للفازوبرسين متماثلاً في جميع فئران الحقل الأمريكية سواء أكانت الأحادية الزواج أم لم تكن. ولقد عثر في اثنين من الأنواع الأحادية الزواج على منطقة أخرى تنظم فعالية الجينة، وهي تتألف من تعاقب دناوي مختلف الأطوال شبه مفقود في الأفراد المتعددة الزواج. ويعتقد فريق أن هذه الأداة هي الآلية الجزيئية التي تتيح التغييرية الفردية في التوزيع الدماغي لمستقبلات الفازوبرسين. ومن جهة أخرى، بين فريق بيير كورفول من معهد جامعة فرنسا إمكان وجود مثل هذه التغييرية الفردية في (أدمغة) البشر. ويعتقد L. Young أن هذه الظاهرة، ربما تكون عند الفأر الأمريكي على الأقل أساساً لبناء الروابط الاجتماعية، أو حتى سبباً في حدوث علة الانطواء البشري الذي يرافقه ضرر عميق في إقامة الروابط الاجتماعية.

ولقد أثمر حماس الباحثين الشديد خلال السنوات الأخيرة تقدماً مذهلاً كشف أسرار سيرورة الارتباط. ولا يزال اهتمام العلم يضغط باتجاه الحب مثلما كان يضغط حتى عهد قريب باتجاه النجوم والحياة. فالى أين نحن سائرون؟ وهل يسمح الحب لنا بنزع بتلاته رويداً رويداً الواحدة تلو الأخرى حتى البتلة الأخيرة؟ للإجابة على هذا السؤال نقرأ في مؤلف للبيولوجي العصبي جان بيير فينسنت العبارة التالية: "سأجيبك بصوت مرتجف: الحب أقوى من الكيمياء" ولكي تلمئن قلوب الشعراء سنقدم برهاننا على ذلك في الفقرتين التاليتين:

يُسْتَمَدُّ البرهان الكلاسيكي الأول من ملاحظة رجعة التعقيد التي بلغت السلوكيات البشرية مقارنة مع ما هو معروف في الحيوانات الأخرى، بما في ذلك أقربها إلينا. فأبعاد قشرتنا المخية الحديثة neocortex مثلاً - إذا أغفلنا كل ما عداها - تعد حالة فريدة من نوعها، فالتجارب التي أجريت عليها لدى الحيوانات أخذت منحى غير مباشر أضف إلى ذلك أن دماغ كل فرد منا مصمم على نحو تؤثر فيه التجربة الفردية، ولا مكافئ لذلك في عالم الحيوان. كما أننا لا

## REFERENCES

## المراجع

- [1] M. M. Lim et al., Nature, 429,754, 2004.
- [2] A. Bartels et S. Zeki, NeuroImage, 21, 1155, 2004.
- [3] C. S. Carter, Psychoneuro-endocrinology, 23, 779, 1998.
- [4] D. Geary, Hommes-femmes, l'évolution des différences sexuelles humaines, De Boeck, 2003.



# أصل الكواكب الشبيهة بالأرض ومنظومة الأرض والقمر\*

روبن م. كانوب

معاونة مدير قسم دراسات الفضاء في شعبة أبحاث القياس والفضاء في  
معهد أبحاث ساوث وست، كولورادو

ملخص

تبين محاكاة حاسوبية شديدة التعقيد كيف يمكن أن تكون الكواكب الأربعة الصلبة قد نشأت من خلال تصادمات وتنام التحام. ومن المحتمل أن يرجع أصل القمر إلى تصادم عملاق متأخر بالأرض.

الكلمات المفتاحية

تنامي بالالتحام، أصل منظومة الأرض والقمر، كويكبات، صدمة عملاقة، هيدروديناميك، طريقة ويندوز-هولمان في رسم الخرائط.

## الفرضية الكويكبية Planetesimal hypothesis

إن فهم سيرورات تشكل النجوم ومراقبات نجوم فتية أخرى تشير إلى أن المنظومة الشمسية المبكرة تألفت من الشمس المتشكلة حديثاً ومن قرص من الغاز والغبار يدور حولها (الشكل 1). فلو افترض المرء أنه كان لها تركيب شمسي solar composition فحسب، فإن مثل هذا القرص (ويطلق عليه أيضاً اسم السديم الشمسي solar nebula) سيحتوي على كتلة من غاز الهيدروجين تقارب مئة ضعف الكتلة الموجودة في جسيمات صلبة. ويشير التأريخ بالنظائر isotopic dating لأقدم النيازك إلى أن المادة الصلبة العيانية (المكروسكوبية) بدأت تتشكل ضمن السديم الشمسي الغني بالغاز منذ حوالي 4.56 بليون سنة. وتشير عمليات الرصد التي أجريت على منظومات شمسية أخرى إلى أن السديم الغني بالهيدروجين يمكن أن يكون قد فقد بعد حوالي مليون إلى عشرة ملايين سنة، وربما يكون ذلك بسبب ريح شمسية solar wind قوية أو بسبب التبخر الفوتوني photoevaporation. عند ذلك الزمان تحول القرص الكوكبي الأولي protoplanetary disk من قرص كان الغاز يغلب على كتلته إلى قرص يتألف فقط من أجسام صلبة تدور حول الشمس.

وفي هذا السياق، يُطرح التساؤل التالي: كيف نشأت الأجسام الداخلية الضخمة في مجموعتنا الشمسية مثل عطارد والزهرة والأرض والقمر والمريخ؟ تقترح الفرضية الكويكبية، التي تطورت إلى صيغتها الحديثة خلال الأربعين سنة الماضية، أن الكواكب الصلبة تنمو من جسيمات صغيرة في بدايتها في القرص الكوكبي الأولي من خلال التراكم الصدمي، أو التنامي بالالتحام accretion. ولما

تشير النظريات الراهنة إلى أن البنيان النهائي لمجموعتنا الشمسية قد تأسس منذ أكثر من أربعة بلايين سنة من خلال حقبة تشكيل الكواكب التي دامت ما بين عشرة ملايين وعدة مئات الملايين من السنين. وقبل أن نبدأ بالتعرف على منظومات كوكبية أخرى، فقد كان من الطبيعي أن نفترض أن منظومتنا شكّلت مثلاً نموذجياً جيداً. ولكن اكتشاف ما يقارب من مئة منظومة كوكبية حول نجوم أخرى في العقد الماضي شكّل تحدياً لهذه الرؤية؛ إذ تعرض هذه المنظومات تغيرات واسعة في البنية ومعظمها لا يشبه مجموعتنا (انظر مقال تريستان جيلوت T.Guillot على الصفحة 63 من إصدار نيسان/أبريل من مجلة Physics Today) [1].

تقتصر قدرات الرصد الحالية على كشف الكواكب الضخمة (التي هي بحجم كوكب المشتري) حول نجوم أخرى غير الشمس، بحيث إننا لسنا متأكدين من وجود وتوزيع كواكب صغيرة شبيهة بالأرض في مثل هذه المنظومات. وهكذا فإن علماء الكواكب يعولون على منظومتنا الشمسية كدراسة حالة لفهم تشكل الكواكب اليابسوية terrestrial الصلبة وتوابعها - مثل الأرض والقمر. ولكن منظومتنا الشمسية ككل قد لا تكون سمة مميزة على وجه الخصوص، وتوحي المشاهدات الحديثة بأن عملية تشكل الكوكب هي واحدة مما يمكن أن تتمخض عنها نتائج محتملة عديدة. ولذلك ينبغي على الموديلات models النظرية والمحاكاة الحاسوبية التي تسعى جاهدة لإعادة تخليق سيرورة التشكل الكوكبي أن تكون قادرة على تفسير كل من الخصائص الأولية لمنظومتنا والتنوع الظاهري للمنظومات الواقعة خارج المنظومة الشمسية.

\* نُشر هذا المقال في مجلة Physics Today، April 2004.



الشكل 1 - السديم الشمسي البدائي، كما رسمه وليام هارتمان من معهد العلوم الكوكبية. غبار وجسيمات صغيرة دوارة حول الشمس الفتية تنامي بالالتحام لتشكل "كويكبات" بحجم الكيلومتر، وهي الخطوة الأولى في تشكل الكواكب الأرضية في المنظومة الشمسية الداخلية.

نمطياً في ثلاث مراحل: نمو "كويكبات" ذات كبر يُقارب الكيلومترات وتتألف من غبار وجسيمات صغيرة؛ يليه تنامي هذه الكويكبات لتصبح أجنة كوكبية تحتوي على ما يقارب 1 - 10% من كتلة الأرض  $M_E$ ؛ ومن ثمّ التصادم بين العشرات وحتى المئات من الأجنة الكوكبية لإعطاء الكواكب شبه الأرضية الأربعة النهائية.

إن السيرورات التي تتحكم بالنمو خلال المرحلة الأولى هي الأقل فهماً بشكل جيد. وعلى العموم، فإن التأثير الذي يحدث بين الجسيمات الصغيرة ذات الحجوم التي يقل كبرها عن الكيلومتر والغاز السديمي يجعل سرعات تصادماتها المتبادلة تزيد كثيراً على سرعات هروبها التثاقلي، بحيث ينبغي عوضاً عن ذلك أن يعتمد النمو أثناء تصادم جسمين إما على قوى التصاق سطحي لاتثاقلية بين الجسيمات المتصادمة (مثل قوى فاندرفالس أو القوى الكهرايكية) أو على التأثير التثاقلي الجمعي للجسيمات المتجاورة. ويمكن لهذه التأثيرات الجمعية أن تصبح مهمة إذا كان ثمة آليات تحريكية (ديناميكية) تستطيع أن تركز المواد الصلبة في منطقة من القرص؛ وفي تلك الحالة تستطيع كثافة حيّزية موضعية مُعزّزة من الجسيمات أن تسمح لمجموعات من الجسيمات بالانهيار تحت تأثير ثقالتها

كانت الأجسام الصلبة تدور حول الشمس، فإن التأثيرات التثاقلية gravitational المتبادلة والتأثرات مع السديم الغازي gaseous nebula تجعل مداراتها الإهليلجية تتقاطع، الأمر الذي يؤدي إلى تصادمات. وتعتمد حصيلة تصادم ما من التصادمات بصورة أولية على نسبة سرعة التصادم  $v_{imp}$  إلى سرعة الهروب escape التثاقلي للأجسام المتصادمة  $v_{esc}$ ، حيث  $v_{esc} = \sqrt{2G \frac{m_1 + m_2}{R_1 + R_2}}$  هي ثابتة نيوتن الثقالية،  $m_1$  و  $R_1$  هي كتل الأجسام وأنصاف أقطارها. ونشير إلى أن سرعة التصادم هي تابع (دالة) لكل من  $v_{esc}$  والسرعة النسبية  $v_{rel}$  بين الأجسام التي تفصل بينها مسافات كبيرة مع  $v_{imp}^2 = v_{esc}^2 + v_{rel}^2$  مما يجعل  $v_{imp}$  دوماً أكبر أو تساوي  $v_{esc}$ .

ومن أجل  $v_{imp} \gg v_{esc}$  ينتج عن التصادمات إما ارتداد rebound أو تحات erosion أو تشظي fragmentation، في حين تؤدي التصادمات المبددة للطاقة، أي التصادمات التي تكون فيها السرعات أخفض من ذلك أي  $v_{imp} \sim v_{esc}$ ، إلى تشكل تكديسات متماسكة ثقالياً. وهكذا، فإن التصادمات المتكررة بسرعات صدم منخفضة تسمح بنمو متزايد لأجسام أكبر وأكبر.

إن تنامي الكوكب ذي اليابسة، في مجموعتنا الشمسية يوصّف

تميل التآثرات بين جسيمات دائرة ذات كتل مختلفة إلى توجيه المنظومة نحو حالة من التوزيع المنتظم للطاقة الحركية، تكون فيه الجسيمات الصغيرة ذات سرعة  $v_{esc}$  كبيرة نموذجياً وتكون الأجسام الكبيرة فيه هي الأقل سرعة. ويُعرف هذا المفعول باسم الاحتكاك الديناميكي، حيث يعمل سرب من جسيمات صغيرة في خلفية المشهد على إخماد سرعات الأجسام الأكبر حجماً. ومن المعادلة 1 نجد أنه إذا كانت الأجسام الأكبر حجماً في منطقة معينة من القرص تتمتع بأدنى السرعات فإن مقاطع تصادماتها العرضية ستزداد عند ذلك بشكل ملحوظ بالمقارنة مع المقاطع العرضية للأجسام الأصغر حجماً، وذلك بسبب عامل التبيثر التثاقلي (Fg). وبالنسبة للأجسام الكبيرة ستكون  $v_{esc}$  كبيرة بالمقارنة مع  $v_{run}$  والتي سيتم التحكم فيها عن طريق الكويكبات الأصغر حجماً التي لا تزال تشتمل على معظم كتلة المنظومة. وهكذا تنمو الأجسام الأضخم بسرعة أكبر، وينتهي الأمر بجسم واحد "ينطلق جامحاً *running away*" بالأغلبية العظمى من الكتلة الكلية المتوفرة في منطقتة الحلقية في القرص. ومن خلال هذا الذي يُدعى النمو الجامح runaway growth، تنمو أجسام بحجم القمر تقريباً تحتوي على ما يقارب 1% من  $M_{\oplus}$  في الجزء الداخلي من المنظومة الشمسية في زمن قليل يصل إلى  $10^5$  سنة.

وبمجرد أن يستنفد جسم كبير معظم الكتلة في حلقتة، يتباطأ النمو ويرجع ذلك بصورة رئيسة إلى الكمية المختزلة من المادة المتاحة موضعياً والسرعات الكويكبية التي ازدادت إلى قيمة حول  $v_{esc}$  لأكثر جنين، ويبيّن الشكل 2 التوزيع المتوقع للكتل الكويكبية في منطقة تمتد بين المدارين orbits الحاليين لعطارد والمريخ مأخوذاً من محاكاة تنام خلال سنة 106 أجراها ستوارت وايدنشلينغ S. Weidenschilling (من معهد علم الكواكب) وزملاؤه [3]. وبعد مليون سنة تشكل 22 جنيناً كوكبياً كبيراً في المنظومة الشمسية الداخلية واحتوت على 90% من الكتلة الكلية. إن هذه الأجنة منفصلة قطرياً بصورة جيدة على مدارات متحدة المستوى ودائرية تقريباً، ويحتوي كل منها على كتلة تساوي  $10^{26}$  g على الأقل (ونذكر للمقارنة أن  $M_{\oplus} \approx 6 \times 10^{27}$  g).

## مرحلة التنامي الالتحامي المتأخرة

لنأخذ كواكبنا الأربعة الشبيهة بالأرض، فالحالة التي يبيّنها الشكل 2 وفيها عشرات من "الكواكب الصغيرة" miniplanets لا بد أنها كانت حالة انتقالية. فالمكونة الغازية للسديم الشمسي يُتوقع لها أن تكون قد تبددت بعد  $10^6 - 10^7$  سنة، وذهب معها مصدر مهم لتقليص السرعة بالنسبة للأجسام الصغيرة. ومع ازدياد السرعات العشوائية للأجسام الصغيرة، تناقصت مقدرتها على تقليص السرعات وغدت بعدئذ التآثرات التثاقلية المتبادلة بين الأجنة أشد قوة وأدت إلى إثارة الشذوذات المدارية، والتقاطعات المتبادلة في مداراتها، وأخيراً إلى التصادمات بين الجنين والآخر والاندماجات الناتجة عنها. وبالتصادم والتنامي الالتحامي بين الأجنة تناقص عدد الكواكب وازداد استقرار المنظومة الديناميكي، إلى أن تبقى أخيراً بضعة كواكب على مسارات

الذاتية لتشكل أجساماً أكبر. والسؤال عما إذا كانت الكويكبات ذات الحجم التي يساوي كبرها الكيلومتر قد تشكلت عن طريق الالتصاق والتصادمات الثنائية أو عن طريق اللااستقرارية التثاقلية أو كليهما معاً، يبقى موضوعاً للبحث الجاد.

## من الكويكبات إلى الأجنة الكوكبية

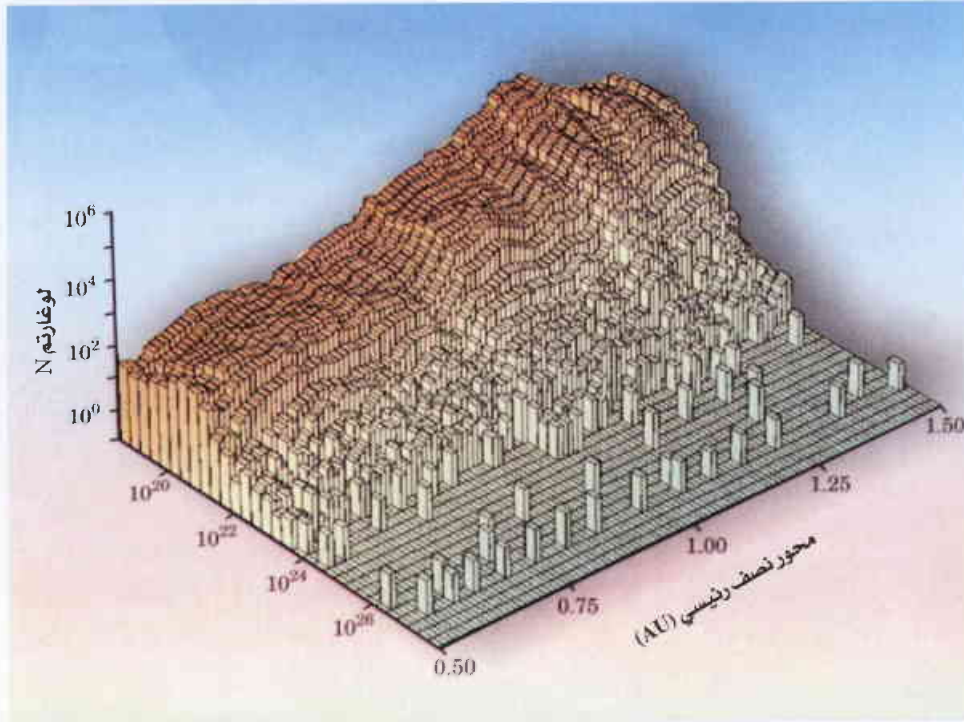
ما إن تصبح الكويكبات كبيرة بما يكفي لتكون ديناميكياتها ونموها الصدمي قابلة للتحكم من قبل التآثرات التثاقلية، حتى يتيسر لنا فهم أفضل عن مواصلة نموها. ويرجع ذلك الفهم في جزء كبير منه إلى التحسينات في تقنيات النمذجة الحوسبية computational modeling.

يتم التحكم في معدل التنامي بصورة أساسية عبر معدل التصادمات بين الكويكبات الدائرة. لننصوّر حلقة في القرص الكوكبي الأولي تتمركز عند نصف قطر مدار قدره  $a$  وبحجم قدره  $v = Ah$ ، حيث  $A$  مساحة المستوي المتوسط و  $h$  ثخن القرص. فإذا كانت الحلقة تحتوي على عدد قدره  $N$  من كويكبات صغيرة ذات سرعة عشوائية مميزة قدرها  $v_{run}$  بالمقارنة مع سرعة مدار دائري له نصف قطر  $a$ ، فعندها سيراكم جسم مظمور أكثر كبراً بمقدار نصف  $R$  هذه الجسيمات الصغيرة بمعدل تقريبي يساوي:

$$\text{Collision rate} \sim \frac{v_{run} N (\pi R^2) F_c}{v} = n \Omega (\pi R^2) [1 + v_{esc}^2 / v_{run}^2] \quad (1)$$

حيث  $F_c = 1 + (v_{esc} / v_{run})^2$  هو الازدياد الثقالي للمقطع العرضي للتصادم بموجب تبعثر الجسمين، و  $n = N/A$  عدد الجسيمات بوحدة المساحة السطحية من القرص، و  $h \approx v_{run} / \Omega$ ، حيث  $\Omega$  هو السرعة الزاوية المدارية الكبلرية keplerian. ونشير إلى أن للمعادلة (1) جذورها في النظرية الحركية وتعرف باسم معدل تصادم "جسيمات في صندوق" "particle-in-a-box". وفي حالة "صندوق دوار" من الكويكبات، تنشأ سرعات الجسيمات العشوائية من اللاتمركزيات eccentricities والانحرافات المدارية للكويكبات وتكون مماثلة للسرعات الحرارية العشوائية لجزيئات غاز محصور في حجم ما. وكما تبين هذه الصيغة البسيطة، فإن معدل التصادمات، ومن ثم النمو التنامي، يعتمدان على السرعة المدارية الكبلرية الموضعية (التي تزداد مع تناقص البعد عن الشمس، بحيث إن المناطق الأقرب إلى الشمس تتنامى بشكل أسرع عموماً)، وعلى الكثافة العددية للكويكبات، وعلى أحجامها وسرعاتها النسبية.

إن كتلة سرب من الكويكبات وتوزعات سرعاته تكون بنفسها مقترنة ديناميكياً. ويميل التبعثر الثقالي بين الجسيمات إلى زيادة  $v_{run}$ ، في حين يعمل تبدد الطاقة أثناء التصادمات وكذلك الجر drag الذي يطبقه السديم الغازي على الجسيمات على إنقاص  $v_{run}$ . ومن أجل توزيع للأجسام، يحقق التوازن بين هذه السيوروات سرعة تساوي  $v_{run}$  في رتبة سرعة هروب صنف الجسم الذي يحتوي على غالبية الكتلة الكلية.



**الشكل 2-** يعتقد أن تنامي كويكب بالالتحام ليفدو جينياً كوكبياً هو مرحلة متوسطة من تشكل الكوكب شبه الأرضي. وفي نتائج هذه المحاكيات التي أجراها ستوارت وايدنشلينغ وزملاؤه، تتنامى بالالتحام كويكبات ذات أنصاف أقطار تبلغ 15 كيلومتراً ( $\sim 10^{19}$  g) فتتحول إلى أجسام تحتوي على ما يقارب 10% من كتلة الأرض (حوالي  $6 \times 10^{27}$  g) بعد مضي حوالي  $10^6$  سنة. ويبين الرسم عدد الأجسام N الدائرة حول الشمس كتابع لكتلتها ونصف المحور الكبير لمدارها، معطى بوحدات من نصف المحور الكبير للأرض (التي تسمى وحدة فلكية، أو 1AU). وتحتوي الأجنة الكوكبية الاثنتان والعشرون الكبرى على 90% من الكتلة الكلية.

عام 1991 على يد جاك ويزدوم J.Wisdom (من MIT) وماثيو هولمان M.Holman (وهو الآن في مركز هارفارد - سميث سونيان للفيزياء الفلكية). وتسمح طريقة ويزدوم - هولمان لرسم الخرائط (WHM) بتكاملات integrations دقيقة ذات خطوات تكامل زمنية طويلة نسبياً [4]. فبينما تتطلب التكاملات المدارية التقليدية ما بين 500 إلى 600 خطوة زمنية لكل مدار، فإن طريقة WHM تقتصد الوقت عن طريق تتبع الحركة الكبلرية تحليلاً ومكاملة الاضطرابات الصغيرة التي تنشأ فقط عن كتل الأجسام الدائرة، وبذلك فهي لا تحتاج إلا لبضع عشرات من الخطوات الزمنية لكل مدار لتأمين الدقة. إن طريقة WHM هي أيضاً symplectic: أي بالرغم من أنها لا تحفظ الطاقة بدقة، لكن الطاقة المنتبأ بها تتذبذب حول قيمة ثابتة بحيث لا تتراكم أخطاء الطاقة مع الزمن. تستطيع التقنيات الحديثة [5] المبنية على طريقة WHM أن تتعقب التطور الديناميكي لمنظومات مكونة من عدة مئات من أجنة كوكبية متنامية بالالتحام في حقبة زمنية تزيد على  $10^8$  سنة [7,6]. ومثل هذه المحاكيات لا تتبع فقط المدار الفعلي لكل جنين بل تتعداه أيضاً إلى المواجهات encounters الديناميكية بين الأجنة، بما فيها التصادمات أو وقائع المرور المجانب فيما بينها.

مستقرة. وهكذا نشأت التشكيلية النهائية للكواكب في "عملية حذف" عشوائية، حيث تأثرت الخصائص الديناميكية لهذه التشكيلية (مثل كتلتها ونصف قطر مدارها وسرعة دورانها ومحور الدوران) إلى حد بعيد بفعل آخر تصادماتها الكبيرة القليلة.

كان جورج وثرل G. Wetherill (معهد كارنيجي من قسم المغنطيسية الأرضية بواشنطن) أول من وضع في الثمانينيات من القرن الماضي موديلات لتنامي الأجنة الكوكبية إلى كواكب شبيهة بالأرض، وقد استخدم طريقة مونت كارلو لرسم مدارات الأجنة. وتستخدم هذه الموديلات الإحصائية تقريبات تحليلية لتقدير احتمال وقوع التصادمات ووصف آثار الاضطرابات التثاقلية المتبادلة بين الأجنة الكوكبية. ولكن، لم تستطع تلك التقنيات أن تجسد بعض التأثيرات الديناميكية المهمة، بما في ذلك إمكان حدوث مواجهات متعاقبة ومتعاقلة بين زوجين معلومين من الأجنة.

وفي العقد الماضي، حدث تغيير أساسي في موديلات تنامي المرحلة المتأخرة بفضل ما أدخلته من تحسينات في طرق إجراء المكاملة المباشرة لمعادلات حركة الأجسام التي تدور في مدار حول كوكب مركزي أكبر كتلة وأكثر ضخامة. لقد حصل التقدم الرئيسي في



الشكل 3- منظومات كوكبية نهائية تولدت بعمليات محاكاة عددية، بالمقارنة مع الكواكب الداخلية الحقيقية في منظومتنا الشمسية .

أكثر تفضيلاً لمقدرتها على تفسير الاندفاع الزاوي العالي لمنظومة الأرض والقمر ولتركيب القمر الفقير بالحديد. وهكذا يُقدّم توافق نمط الصدم المطلوب مع منظومة الأرض والقمر الحقيقية مؤشر هداية مهم لموديلات التنامي شبه الأرضي بالالتحام.

تقترح نظرية الصدم هذه أن التصادم الذي ولد القمر كان أيضاً المصدر الأولي للاندفاع الزاوي  $L_{\oplus}-M$  لمنظومة الأرض والقمر. إنَّ الاندفاع الزاوي الذي يولده صادم ذو كتلة  $\gamma M_T$  هو:

$$L_{imp} \approx 1.3 L_{\oplus M} b \left[ \frac{M_T}{M_{\oplus}} \right]^{5/3} \left[ \frac{\gamma}{0.1} \right] [v_{imp}/v_{esc}] \quad (2)$$

حيث  $b = \sin \xi$  هو بارامتر الصدم مستنظم normalized إلى مجموع نصفي قطري الصادم والهدف،  $\xi$  هي الزاوية بين الناظم على السطح ومسار الصدم (بحيث يوافق الصدم المماسي  $b=1$  و  $\xi=90^\circ$ )، أمّا  $M_T$  فهي الكتلة المتحددة للكلية للصادم والهدف، و  $\gamma$  هو جزء من الكتلة الكلية التي يحتويها الصادم. ونجد من هذه المعادلة أن كتلة صادم صغرى تبلغ حوالي  $0.08 M_{\oplus}$  تلزم لإنتاج  $L_{\oplus}-M$  في النهاية الموافقة لصدم مماسي عند  $b=1$  من أجل  $M_T \approx M_{\oplus}$  و  $v_{\infty} \approx v_{imp}$ . بإضفاء اندفاع زاوي للأرض والقمر عن طريق صدم مائل وغير مباشر مع الأرض يقتضي صامداً حجمه بحجم المريخ تقريباً - أي حوالي  $0.1 M_{\oplus}$ .

وكي تحقق مادة مقذوفة بالصدم مداراً مربوطاً بالأرض، ينبغي إجراء بعض التعديلات على المسارات trajectories البالستية المعيارية، وبدون ذلك فإن المقذوفات التي تُطلق من سطح الكوكب إما تعود للصدم من جديد أو تتلاشى. هناك مفعولان غير بالستيين هما عزوم

يبين الشكل 3 المنظومات الكوكبية النهائية التي تولدت في محاكيات لثمانى مراحل تنام بالالتحام متأخرة كانت قد أُنجزت حديثاً باستخدام مثل طرق الماكاملة المباشرة هذه قام بها جون شامبرز J.Chambers من مركز أبحاث أميز Ames التابع لناسا [7]. وتعرض المنظومات التي جرت محاكاتها تشكيلة منوعة واسعة من البنيان. ولكنها عموماً مشابهة للكواكب الشبيهة بالأرض التابعة لمجموعتنا الشمسية من حيث عدد الكواكب النهائية وكتلتها. ويتمثل الفرق البين في أن الكواكب في المنظومات التي جرت محاكاتها تتمتع بلامركزيات eccentricities وميلانات أعلى بكثير من تلك التي للأرض والزهرة، اللتين يكون مداراهما دائريتين ومتحدي المستوى إلى حد كبير. ومن المرجح أن يكون هذا الاختلاف نتيجة التبسيطات التي أدخلت في معظم الموديلات التي وضعت حتى الآن، ولاسيما إغفال تأثير الوجود المحتمل لأجسام صغيرة أو بقية من السديم الغازي في المرحلة المتأخرة. إن كلا الأمرين يعملان عادة على إنقاص اللامركزيات والميلانات. وفي حين يكون من الأبسط من الناحية التصورية التفكير بفواصل حاداً بين المرحلتين المتوسطة والمتأخرة بحيث يمكن تجاهل مثل هذه التأثيرات في المرحلة المتأخرة، فإن الطبيعة قد لا تكون بهذه البساطة في التكيف. وهناك موديلات حديثة تتضمن أجساماً أكثر بدائية (أو جزءاً ضئيلاً من الغاز السديمي) وجدت منظومات ذات مدارات أقرب إلى تلك التي في منظومتنا الشمسية وإن يكن تفسير المدارين الدائريين تقريبا للأرض والزهرة يبقى قضية مكشوفة.

تتمثل سمة ظاهرة تلازم المرحلة المتأخرة في تصادمات عملاقة تتصادم فيها أجسام ذات حجوم ما بين حجمي القمر والمريخ لتعطي بضعة الكواكب النهائية الشبيهة بالأرض. ويبين الشكل 4 كتلة المتصادمين بدلالة الزمن بالنسبة لتصادمات حدثت في عشر محاكيات للمرحلة المتأخرة قام بها كرايغ أغنور C.Agnor وهارولد ليفيسون H. Levison. وكتب المقال في معهد أبحاث ساوث ويست [6]. إن "الأرضيين Earths" المتولدة في تلك المحاكيات تتطلب زمناً وسطياً ما بين 10 إلى 50 مليون سنة كي تنمو بالالتحام، باعتبار أن أضخم تصادمات المرحلة المتأخرة سادت في الفترة الزمنية ما بين  $10^7$  إلى  $10^8$  سنة. وتعرض التصادمات توزعاً عشوائياً لتوجه الصدم impact orientation، بحيث يكون احتمال دوران الكوكب الذي وصل إلى شكله النهائي في الاتجاه الأمامي أو المباشر prograde sense (أي في نفس اتجاه مداره حول الشمس، كما في حالة عطارد والأرض والمريخ) كاحتماله في الاتجاه الخلفي أو القهقري retrograde (كما في حالة الزهرة).

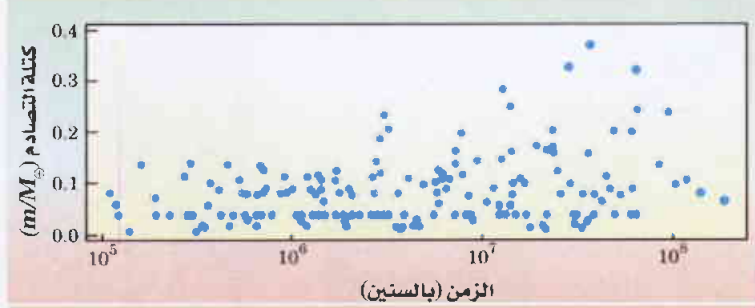
## أصل منظومة الأرض والقمر

طبقاً للفكرة السائدة، عانت الأرض المتنامية من صدمة من صدمات المرحلة المتأخرة قذفت في المدار مادةً تشكل منها قمرنا فيما بعد. إن نظرية الصدمة العملاقة giant impact theory التي وضعت لتفسير أصل القمر (انظر المؤطر في صفحة لاحقة) تعتبر

الصدمة بوحدة الكتلة) على حرارة التبخير المستترة للصخر، والتي تبلغ حوالي  $10^{11}$  إرغ/غرام، التي تحدث من أجل  $V_{imp} \geq 5 \text{ km/s}$ .

تبلغ سرعة الصدمة المتوقعة لصدمة تشكيل قمري حوالي  $10 \text{ km/s}$ ، ويمكن أن يكون كلا عزوم القتل والتبخير مهمة. وعلى هذا فإن نمذجة صدمات التشكيل القمري الممكنة يتطلب مقارنة approach هيدروديناميكية كاملة تتضمن معالجة صريحة للثقالة الذاتية كما تتضمن معادلة حالة an equation of state ملائمة لوصف الاستجابة الترموديناميكية لمادة خاضعة لطاقت صدم وضغط عالية جداً.

لقد عمدت موديلات صدمات التشكيل القمري العملاقة إلى استخدام هيدروديناميك الجسيمات الملساء (smooth particle hydrodynamics (SPH) في المقام الأول، وتمثل (SPH) التي جرى تطويرها خلال الخمس والعشرين سنة الماضية [8] تقدماً ملموساً في نمذجة المنظومات الهيدروديناميكية المشوهة والمبددة حيزياً spatially، بما في ذلك الصدمات العملاقة. إن SPH هي طريقة لاغرانجية



الشكل 4- يعتقد أن صدمات عملاقة في المراحل المتأخرة من التنامي الكوكبي تلعب دوراً حاسماً في تحديد الخصائص النهائية للكواكب البازغة. وتبين هنا التصادمات المحدثة في 10 عمليات محاكاة لتنامي الكواكب الأرضية في منظومتنا الشمسية. كتلة الصادم المقدرة بوحدة من كتلة الأرض تظهر كتابع للزمن.

القتل التثاقلية العائدة للتأثرات المتبادلة بين المواد المقذوفة أو للتأثر مع تشوه لاكروي للكوكب الهدف من ناحية، وتدرجات الضغط المرافقة للتبخير من ناحية أخرى. ويصبح هذان المفعولان مهمين في حالة التصادمات الضخمة: الأولى عندما تبلغ كتلة الصادم جزءاً ملموساً من كتلة الهدف، والثانية عندما تزيد طاقة الصدم النوعية (أي طاقة

## نظريات في أصل القمر

من خط الاستواء. وتطلب تلك الفرضية أن يكون الاندفاع الراوي للأرض والقمر أعلى من قيمته الفعلية بعدة مرات. أما التشكل المشترك فإنه يفترض أن القمر قد نما في مدار الأرض من الجراف مادة أصغر من السديم الشمسي. ورغم أن موديلات التشكل المشترك نجحت في تكوين السوائل. فإنها لم تفسر بسهولة كلاً من نقص الحديد القمري والاندفاع الراوي للأرض والقمر. ما دام النمو من خلال العديد من الصدمات الصغيرة لا يولد إلا القليل من الاندفاع الراوي الصافي ويستب دوراً كوكبياً بطيئاً.

وفي الفترة 1975-76 اقترحت مجموعتان مستقلتان موديلاً بديلاً. فقد أوحى وليام هارتمان W. Hartmann ودونالد ديفيز D.Davis (وكلاهما يعملان في معهد العلوم الكوكبية) بأن صدمة جسم له حجم القمر بالأرض المبكرة قد فذفت إلى مدار مرتبط بالأرض مادة تشكّل منها القمر فيما بعد. فإذا كانت مثل هذه المادة مشتقة أصلاً من الغلاف الخارجي للأجسام المتصادمة، يمكن عندئذ أن ينتج قمر ناضب من الحديد. وقد اعترف الأستاذ كامبرون A.Cameron (هو الآن في جامعة أريزونا) ووليام وُرد W.Ward (هو الآن في معهد ساوثوست) لاحقاً أن التصادم إذا كان من النوع الساحح ماسياً بصادم أكبر وبحجم كوكب (أي تقريباً بحجم المريخ، ويحتوي على أكثر من 10% تقريباً من كتلة الأرض) فإن الاندفاع الراوي الذي تعطيه يمكن أن يفسر دوران الأرض الابتدائي السريع. نشتمل الأفكار الني وُصفت في أعمال هؤلاء الباحثين على العناصر الأساسية لنظرية الصدمة العملاقة المفضلة الآن عن أصل القمر [10].

رغم أن القمر هو السائل الأكثر إلفة إلى حد بعيد. إلا أنه جسم كوكبي استثنائي إلى حد ما. ففي حين تحتوي الأجسام الصلبة في المنظومة الشمسية الداخلية على ما يقارب 30% من كتلتها حديداً. فالكثافة المنخفضة للقمر تعني أنه ناضب بشدة من الحديد. ودولب حديدي قد لا يتجاوز 1-3% من كتلته. وفوق ذلك فالقمر يتميز بحجمه الكبير بالنسبة لكوكبه الأم: إذ يشتمل على حوالي 1% من كتلة الأرض. وعلى النقيض من ذلك يفترق عطارد والزهرة والمريخ إلى الأقمار الكبيرة. كما أن الاندفاع الزاوي لمنظومة الأرض والقمر كبير إلى درجة غير مألوفة. لو كان هذا الاندفاع يعود إلى دوران الأرض فقط لنتج عنه قمر في طول اليوم عن طول يوم الكواكب الداخلية بمقدار أربع ساعات تقريباً. ونظراً للتأثرات المدية مع الأرض. فقد تمدد نصف قطر مدار القمر كثيراً على مدى تاريخه بقدر يفوق أي سائل كوكبي آخر. لذا كان القمر في مراحله الأولى أقرب إلى الأرض مما هو عليه الآن بحوالي 15 مرة.

في عصر ما قبل أبولو Apollo. كانت تسود ثلاث فرضيات عن أصل القمر. هي: الأسر capture والانشطار fission والتشكل المشترك coformation [17]. لكن كل واحد من هذه الموديلات أحق في تفسير واحدة أو أكثر من الصفات المميزة الكبرى لمنظومة الشمس والقمر. فأسر قمر كان قد تشكل بصورة مستقلة في مدار مربوط بالأرض لا يقدم تفسيراً طبيعياً لنضوب حد القمر. ويظهر أن ذلك السباريو غير مقبول ديناميكياً. وفي الانشطار. تصح الأرض السريعة التدويم spinning غير مستقرة دورانياً. ما يجعل المادة القمرية تفضف بعيداً

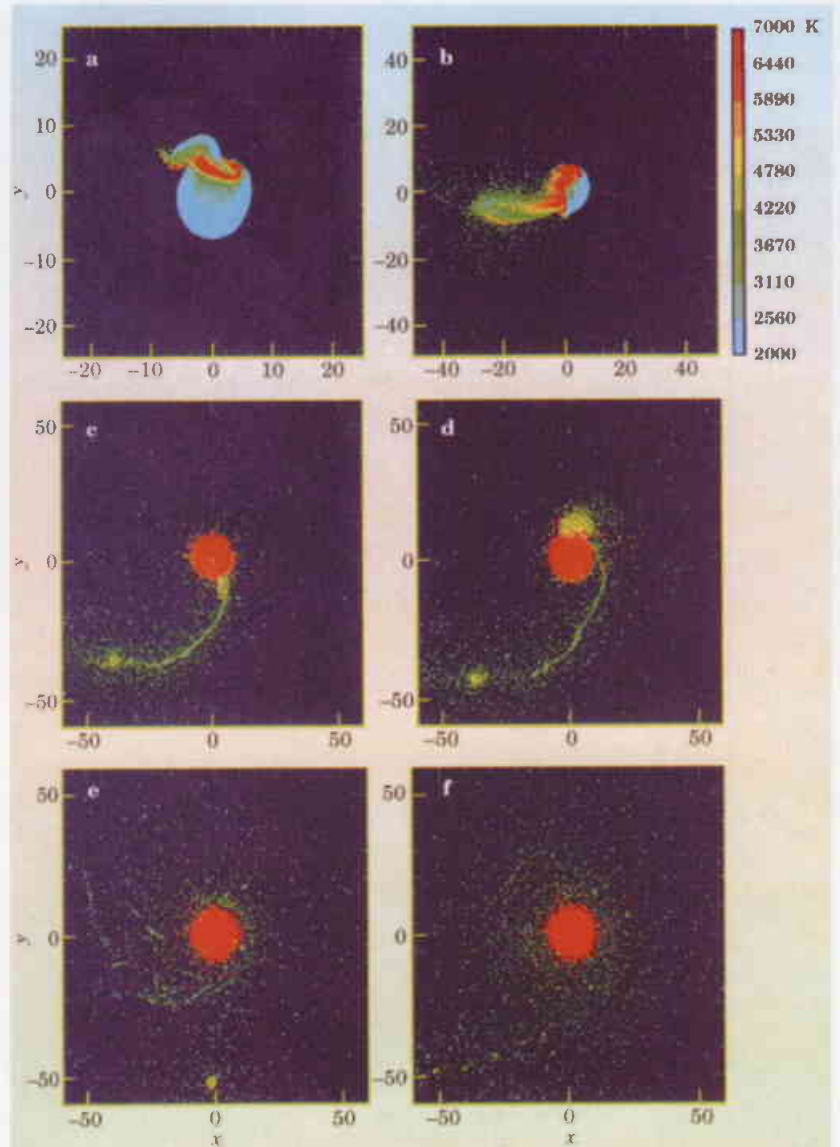


وبخصوص الصدمات بين أجسام بالمقياس الكوكبي، يرجع تطور كل المتحولات الحركية للجسيم (الموضع والسرعة) ومتحولات الحالة (الطاقة الداخلية والكثافة) إلى الثقالة، والتسخين بالانضغاط والتبريد بالتمدد، وتبديد الصدمة. وبذلك تتضمن القوى بين الجسيمات قوة جذب تعود إلى الثقالة، وهي التي تؤثر بصورة عكسية مع مربع المسافة بين الجسيمات، وقوة ضغط منفردة للجسيمات المحاذية بمقدار أقرب من مجموع أطوال ملاستها تقريباً. أما معادلة الحالة فإنها تتعلق بالطاقة الداخلية النوعية للجسيم وكثافة الضغط كتابع لثوابت المادة الداخلية.

إن استخدام SPH (هدروديناميك الجسيمات الملساء) في نمذجة صدمات التشكيل القمري تم على يد ويلى بنز W.Benz (وهو الآن في جامعة برن)، والعاملين معه في الثمانينيات من القرن الماضي [9]. وتمثلت المقاربة العامة لإنجاز مثل هذه التجارب الصدمية العديدة في تغيير متحولات الصدم الأربعة  $b, M, \gamma, v_{imp}$  - العائدة للمعادلة 2 في سلسلة من المحاكيات الهادفة إلى تحديد مجموعة شروط الصدم التي ينتج عنها أفضل النتائج المواتية. ويكمن التحدي في أن الحيز البارامتري parameter space الممكن كبير وأن محاكيات الصدم الفرادى غزيرة من الناحية الحسابية. ولقد نجحت الأعمال الحديثة [10, 11] في تحديد تصادمات تصلح في أن معاً لحساب كتلتي الأرض والقمر، وكذلك الاندفاع الزاوي لمنظومة الأرض والقمر ونضوب الحديد القمري.

يبين الشكل 5 سلسلة زمنية لمحاكاة صدمة تشكيل قمري [11] باستخدام SPH عالي الميز ومعادلة معقدة للحالة وضعها لأول مرة مختبر سانديا الوطني وحسنها حديثاً جي ميلوش J.Melosh من المختبر القمري والكوكبي التابع لجامعة أريزونا [12] بحيث يتضمن معالجة كل من صنفى البخار الجزيئي والأحادي الذرة. وتقدم هذه المحاكاة المعالجة الأكثر واقعية للتبخير من جميع محاكيات SPH التي أنجزت حتى الآن. وتتطلب كل محاكاة صدمية عدة أيام من زمن الحساب في محطة عمل ذات سرعة عالية.

في المحاكاة الصدمية، يجري توصيف الأجسام المتصادمة بعدد إجمالي لجسيمات SPH يبلغ 60 000 جسيم. أما البارامتري الصدمي المستنظم فهو  $b \sim 0.7$  (أي زاوية صدم تساوي 45° تقريباً)؛ ويحتوي



الشكل 5- تستطيع صدمة عملاقة واحدة أن تفسر كتلتي الأرض والقمر الحاليين واندفاعهما الزاوي. في هذه المحاكاة، يتصادم جسم كتلته 1.2 كتلة المريخ مع أرض باكرة. ويقذف جزء من مادة الغلاف في الصدم إلى القرص الدائر، التي سيتنامى منها القمر. الكواكب من اللوحة (a) إلى (f) تنظر إلى الأسفل على مستوى الصدمة في الأزمنة 0.3، 1.4، 4.9، 5.9، 13.5 و 27.0 ساعة بعد الاصطدام. ويتدرج اللون مع درجة الحرارة. يشير اللون الأحمر إلى درجات حرارة فوق 6440 K، والتي تقابل (في حالة جسيمات السليكات) حالة مستبخرة كلياً تخضع مدارات في القرص حيث الكثافة والضغط منخفضان. المسافات مقدره بواحدات من 1000 km.

Lagrangian، وتعد مفيدة لأن حلها العددي يتعقب التوزيع المكاني (الحيزي) للمادة الناشئة، كما يمكن بسهولة تتبع المراحل التاريخية الإنشائية. ويجري تمثيل الجسم الكوكبي في SPH بعدد كبير من "جسيمات متراكبة ومتناظرة كروياً، تحتوي كل منها على كمية من كتلة ترجع إلى تركيب معين، توزعه المكاني ثلاثي الأبعاد معرّف بتابع (دالة) وزن الكثافة، وهو الكرنل kernel، وبالعرض المميز للجسيم، أي طول الملاسة أو النعومة smoothing length.

التأثر المدّي مع الأرض سيؤدي إلى اتساع مدار القمر في الوقت الذي يبطل فيه دوران الأرض.

هذا، ويجب أن يُفسّر التصادم كذلك لضوب حديد القمر. ففي حين تحتوي الأجسام المتصادمة في الشكل 5 على نسبة 30% من الحديد كتلة، تشتق المادة الدائرة من أجزاء الغلاف الخارجية للصادم. ويحتوي القرص القمري الأصلي على بضعة أجزاء في المئة فقط من الحديد كتلة بما في ذلك الحديد المتأصل في قلب الصادم. ونشير إلى أن التصادم المشكّل للقمر يرفع درجة حرارة الأرض بصورة مثيرة، بحيث يسخن حوالي 30% من كتلة الكوكب إلى درجة حرارة تفوق 7000 K. وهكذا، لا بد أن أرض ما قبل التصادم كانت قد انغمرت في جو من بخار السليكات، مع احتمال أن يكون معظم كوكب الأرض في حالة مادة منصهرة.

ولما كانت التصادمات الضخمة تبدو نموذجية في المراحل المتأخرة من تشكل الكوكب الأرضي، فإننا نتساءل عن فرص مثل هذه التصادمات لتشكيل السوائل satellites. تقترح نتائج محاكاة الصدم أن تولد السرعة المنخفضة والتصادمات المائلة (تلك التي يكون فيها  $b > 0.5$ ) بين الأجنة الكوكبية كمية ما من المادة الدائرة حول الجسم الأكبر قدماً من الأجسام المتصادمة. فمن أجل اتجاهات صدم عشوائية، نجد أن القيمة الأكثر احتمالاً التي تأخذها  $b$  هي 0.7 (وهي ما تبين أنها القيمة الأمثل للصدمة المشكّلة للقمر)، و75% من كل الصدمات ستكون فيها  $b > 0.5$ . وهكذا يمكن أن تكون المنظومة الشمسية الداخلية قد احتوت في البدء على عديد من السوائل المشكّلة بالصدمة، وقد ضاع معظمها من خلال إتلافها أو ارتحاليها بفعل تصادمات لاحقة من خلال تقلص مداراتها بسبب التأثر المدّي مع كوكب يدور دوراناً بطيئاً أو قهقرياً.

## تقييدات التوقيت بالنظائر

إن التوافق العام بين نمط الصدمة اللازمة ظاهرياً لتوليد قمر الأرض وتلك التي تنبأ بها محاكاة التنامي بالالتحام تقدم تأييداً مهماً لمؤيدلات تشكل الكواكب الصلبة الراهنة. وهناك موجودات مهمة لأدلة مستقلة تتجلى في أزمنة التشكل التي تتضمنها المكونات النظرية للأرض والقمر.

لقد تمثّل التطور الرئيسي الذي حدث في العقد الماضي في استخدام مقياسية chronometer الهافنيوم-التنغستين لتأريخ تشكل اللبوب cores الكوكبية والصدمات الهائلة [13]. إذ يتفكك  $^{182}\text{Hf}$  إلى  $^{182}\text{W}$  بعمر نصف  $\tau_{1/2}$  قدره 9 مليون سنة. إن الفاصل الحدي بين الهافنيوم والتنغستين هو كون الهافنيوم محباً للصخور lithophilic ("محباً للسليكات"، ويسعى للتركز في المركبات المحتوية على الأكسجين مثل السليكات)، بينما يكون التنغستين محباً للحديد siderophilic ("يحب الحديد"، أو يميل للدخول في أطوار معدنية). وخلال تشكل اللب في جسم كوكبي، مهما يكن التنغستين الموجود

الصادم على كتلة تبلغ 1.2 ضعف كتلة المريخ؛ وكما تبلغ سرعة الصدم 9 km/s ويبلغ الاندفاع الزاوي الصدمي  $L_{imp} = 1.25 L_{\oplus-M}$ . وقيل الصدم، يتميّز كلا الجسمين في لبين core من الحديد وغلافين من السليكات، وهو افتراض معقول استناداً إلى كمية التسخين التي يمكن أن تكون قد أثرت أثناء تنامي الجسمين وصولاً إلى الكبر الذي بلغاه. ونشير إلى أن الجسمين كليهما يحتويان على 30% من الحديد فيما يخص الكتلة.

بعد الصدمة المنحرفة الأولية، (الشكل 5a، بعد حوالي 20 دقيقة محاكاة)، يُقصّ جزء من الصادم ويتابع إلى الأمام متخطياً موقع الصدم. ويمتد ذراع مشوه من مادة الصادم إلى مسافة تبلغ بضعة أنصاف قطر الأرض، ويدور سطح الأرض الأصلي proto-Earth surface والأجزاء الداخلية لهذا الذراع أمام المادة الأكثر بعداً (الشكل 5b عند 80 دقيقة). وتزوّد هذه التركيبة البنائية عزم فتل موجباً لأجزاء المادة الخارجية، فتساعد على كسب اندفاع زاوي كاف لتحقيق مدارٍ مربوط. وفي الإطار الزمني الممتد من 3-5 ساعات، تتقلص تناقياً الأجزاء الداخلية من المادة الدائرة (المؤلفة من اللب الحديدي للصادم بشكل رئيسي) إلى جسم نصف ملتحم (الشكل 5c) يتصادم ثانية مع الكوكب بعد حوالي 6 ساعات (الشكل 5d). وهكذا فعند هذه النقطة يكون معظم حديد الصادم قد أزيل من المدار. تمر الكتلة الخارجية لمادة الصادم (الشكل 5e) (المؤلفة بأكملها من مادة الغلاف) بالقرب من الأرض وتتفتت تحت تأثير قوى مدّ كوكبية planetary tidal forces لتخلف قرصاً حول الكوكب بعد حوالي يوم واحد (الشكل 5f بعد 27 ساعة).

وفي نهاية هذا التصادم يكون الكوكب والقرص الناتجان شبيهين جداً بما هو مطلوب لتوليد منظومة الأرض والقمر. ونشير إلى أن الكوكب يحتوي على كتلة تقارب كتلة الأرض ويبلغ يومه الدوراني حوالي 4.6 ساعة، كما يحتوي القرص الدائر على كتلة تبلغ حوالي 1.6 من الكتل القمرية. أما المادة الدوارة، فتمتد حوالي كتلة قمرية تملك اندفاعاً زاوياً يكفي لتدور على مسافة تُعرف باسم حد روش Roche limit، تقع بعيداً على مسافة تبلغ ثلاثة أمثال نصف قطر الأرض من مركز الأرض بالنسبة لمادة بالكثافة القمرية lunar-density material. وإلى الداخل من حد روش تكبح قوى المد الكوكبية التنامي بالالتحام؛ وضمن هذه المسافة توجد، على سبيل المثال، منظومات الحلقة الكوكبية حول الكواكب الخارجية. ويحدث التنامي بالالتحام في حالة المواد التي تدور بعد حد روش، وعليه فالقرص الدائر والذي نتج بهذا التصادم يتوقع له أن يولّد قمرًا بحجم قمرنا عند مسافة مدارية ابتدائية تبلغ حوالي 3-5 أنصاف قطر الأرض. أما اليوم القصير البالغ 4.6 ساعة لأرض ما بعد الصدمة فإنه يجعل المسافة التي يكون عندها الدور المداري مساوياً لليوم الأرضي (وهي ما يُسمى نصف القطر المتزامن) تقع ضمن حد روش، عند حوالي 2.2 نصف قطر الأرض. ولما كان القمر يتشكل وراء هذه المسافة، فإن

تقترح بدلاً من ذلك بأن الكواكب الصلبة قد تشكلت نتيجة طور نهائي عشوائي عنيف لصدمة عملاقة. ويترتب على ذلك أن كواكبنا الشبيهة بالأرضية - وكذلك القمر - قد لا تمثل سوى حصيلة واحدة ممكنة في صيف عريض من بنيات لمنظومات شمسية ممكنة. وقد يأتي يوم نكون فيه قادرين على القيام باختبار مباشر لهذه الأفكار بالاستعانة ببعثات الفضاء المستقبلية المخصصة لاختبار الكواكب الشبيهة بالأرض حول النجوم، كتلك التي تقوم بها وكالة الفضاء الأمريكية ناسا تحت اسم Terrestrial Planet Finder.

## REFERENCES

## المراجع

- [1] G. W. Marcy, P. B. Butler, Ann., Rev. Astron. Astrophys. 36, 57 (1998); M. Mayor, Annu. Rev. Astron. Astrophys. (in press).
- [2] S. J. Weidenschilling, J. N. Cuzzi, in Protostars and Planets III, E. H. Levy, J. I. Lunine, eds., U. of Ariz. Press, Tucson (1993), p. 1031; W. R. Ward, in Origin of the Earth and Moon R. M. Canup, K. Righter, eds., U. of Ariz, Press, Tucson (2000), p.75; A. N. Youdin, E. I. Chiang, Astrophys. J. 601, 1109 (2004).
- [3] S. J. Weidenschilling, D. Spaute, D. R. Davis, F. Marzari, K. Ohtsuki, Icarus 128, 429 (1997).
- [4] J. Wisdom, M. Holan, Astron. J. 102, 1528 (1991).
- [5] M. J. Duncan, H. F. Levison, M. H. Lee, Astron. J. 116, 2067 (1998); J. E. Chambers, Monthly Not. Royal Astron. Soc. 304, 793 (1999).
- [6] C. B. Agnor, R. M. Canup, H. F. Levison, Icarus 142, 219 (1999).
- [7] J. E. Chambers, Icarus 152, 205 (2001).
- [8] J. J. Monaghan, Annu. Rev. Astron. Astrophys. 30, 543 (1992).
- [9] See, for example, the review by A. G. W. Cameron, in Origin of the Earth and Moon, R. M. Canup, K. Righter, eds, U. of Ariz, Press, Tucson (2000), P. 133.
- [10] R. M. Canup, E. Asphaug, Nature 412, 708 (2001); R. M. Canup, Annu. Rev. Astron. Astrophys. (in press).
- [11] R. M. Canup, Icarus 168, 433 (2004).
- [12] H. J. Melosh, Lunar Planetary Sci. Conf. 31, 1903 (2000).
- [13] A. N. Halliday, D. C. Lee, S. B. Jacobsen, in Origin of the Earth and Moon, R. M. Canup, K. Righter, eds., U. of Ariz. Press, Tucson (2000), p. 45.
- [14] Q. Yin, S. B. Jacobsen, K. Yamashita, J. Blichert-Toft., P. Telouk, F. Albarede, Nature 418, 949 (2002).
- [15] T. Kleine, C. Munker, K. Mezger, H. Palma, Nature 418, 952 (2002).
- [16] A. N. Halliday, Nature 427, 505 (2004).
- [17] W. K. Hartmann, R. J. Phillips, G. J. Taylor, eds., Origin of the Moon, Lunar and Planetary Institute, Houston, TX (1986).
- [18] R. M. Canup, K. Righter, eds., Origin of the Earth and Moon U. of Ariz. Press, Tucson (2000).

في معطف الكوكب -  $^{182}\text{W}$  المُحدث بالنشاط الإشعاعي وكذلك نظائر W غير المحدثة بالنشاط الإشعاعي مثل  $^{183}\text{W}$  و  $^{184}\text{W}$  - سيزال معظمها من الغلاف وتُدمج في اللب الحديدي، في حين سيبقى الهافنيوم في الغلاف. وهكذا فإن الغلاف في أجسام كوكبية مختلفة ستكون النسبة Hf/W فيه أكبر مما هي في تركيب منظومة شمسية جرمية. ويمكن استنتاج تركيب المنظومة الشمسية الجرمية من تركيب نيازك أولية، تدعى كوندريتات chondrites.

إن النسبة Hf/W وتراكيب نظائر التنغستن W لجسم متميز كالأرض مثلاً تطرح تقييدات توقيتية على تشكل لبها، وبشكل محتمل على توقيت تصادمها الكبير الأخير. إن تركيب التنغستن من الكوندريتات يتضمن كلا النظائر غير المحدثة بالنشاط الإشعاعي و  $^{182}\text{W}$  الناتج من تفكك  $^{182}\text{Hf}$  البدئي primordial، ويقدم تركيب نظير التنغستن W الكوندريتي قيمة مرجعية يُعتقد أنها مؤشر على غزارة المنظومات الشمسية المبكرة. فإذا تشكل لب كوكب على سلم زمني أقصر من حوالي  $5 \tau_{1/2}$ ، فإن غلافه، بالمقارنة مع الكوندريتات، سيحتوي على فيض في  $^{182}\text{W}$  (بالنسبة لغزارة نظائر W الأخرى) ناتج عن تفكك  $^{182}\text{Hf}$  بعد تشكل اللب. وإذا تشكل اللب فيما بعد عندما أصبح  $^{182}\text{Hf}$  مندرساً تقريباً، فإن نظائر W ستكون كلها قد نضبت بالتساوي عن طريق اندماجها في اللب الحديدي، تاركة الغلاف ذا تركيب كوندريتي للنظير W.

يحتوي غلاف الأرض على زيادة في  $^{182}\text{W}$  بالمقارنة مع معظم التقديرات الحديثة لتركيب نظائر التنغستن الكوندريتي [15,14] مما يعني أن تنامي الأرض وتشكل اللب كانا قد تحققا خلال 10-30 مليون سنة (راجع Physics Today، كانون الثاني/نوفمبر 2003، صفحة 16). وللقمر زمن تشكل Hf-W استنتاجي مشابه يبلغ حوالي 25-30 مليون سنة [14]. ويمكن أن تتأثر هذه التوقيينات الخاصة بافتراضات الموديل، مثل الدرجة التي تتوازن بها المادة المتنامية نظيرياً مع غلاف الأرض [16]. ولكن بوجه عام، تعطي توقيينات Hf-W والموديلات الديناميكية للمرحلة المتأخرة كلاهما تقديرات تتراوح في المجال 10 إلى 50 مليون سنة للتنامي الكوكبي والصدمة الضخمة والأحداث النهائية لتشكيل لب الكوكب الأرضي. كما تنتج أيضاً عن منظومات نظيرية أخرى، مثل اليورانيوم-رصاص، واليود-كزنيون، والبلوتونيوم-كزنيون، أزمنة تشكل مشابهة في الاتساع تمتد من  $10^7$  إلى  $10^8$  سنة. فلو كانت الكواكب الشبيهة بالأرض قد نمت إلى أحجامها النهائية في نمو سريع وخاطف، لكانت أزمنة تشكلها أشد قصراً، ومن المرتبة  $10^6$  سنة أو أقل من ذلك. وعليه فالتوافق بين التوقيتين المستخرجين ديناميكياً وجيوكيميائياً يقدم دعماً ذا مغزى لوجود طور مطول للتنامي بالالتحام المتأخر الذي هيمنت عليه الصدمات الضخمة.

وفي الوقت الذي اقترحت فيه الموديلات المبكرة بأن الكواكب الشبيهة بالأرض تتشكل من خلال التنامي المنظم لمادة صغيرة قريبة في القرص الكوكبي الأصلي، فإن البحوث الجارية حالياً

# الضوء البطيء والواقف والمخزن\*

مارلان سكوللي، جورج ولش

يعملان في قسم الفيزياء ومعهد الدراسات الكمومية في جامعة تكساس A&M بمحطة كوليج بالولايات المتحدة. كما يعمل مارلان سكوللي كذلك في معهد ماكس بلانك للبصريات الكمومية في غارشينغ بألمانيا.

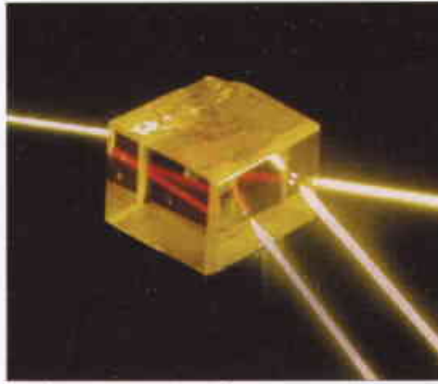
ملخص

يمكن أن يكون للضوء المبطأ إلى سرعة المشي تطبيقات في الاتصالات، والتخزين الضوئي، والحوسبة الكمومية.

الكلمات المفتاحية: اتصالات من بُعد، النسبية، سرعة الضوء، علم الكون (الكوسمولوجيا)، تقانة ضوئية، معلومات كمومية، تبعد موجي.

## سرعة الموجة

كما يعرف كل طالب فيزياء في المرحلة الثانوية، يسير الضوء في المادة أبطأ من سيره في الخلاء. فسرعة الضوء، على سبيل المثال، في الزجاج هي أقل بمرّة ونصف تقريباً من سرعته في الخلاء، وهذا يعني أن للزجاج قرينة انكسار تساوي 1.5. وهناك مواد معروفة تبلغ قرينة انكسارها 5، لكن قيماً أكبر من هذه استثنائية جداً، وعدا عن ذلك، فإن المواد ذات قرائن الانكسار الكبيرة تكون عاكسيته عالية ولذلك لا تكون مفيدة جداً لإحداث ضوء بطيء.



تكتيك التأخير - بإمكان بلورة الإيتريوم هذه المصغرة بالبراسيوديميوم أن تنقص سرعة الضوء إلى بضعة عشرات من الأمتار في الثانية.

وعلياً لكي نفهم كيف يمكن تبطيء الضوء إلى سرعات أرضية أن ندرك أولاً أنه توجد أكثر من طريقة لقياس سرعة موجة ما. وبصورة خاصة، يجب أن نميز بين "سرعة الطور phase velocity" و"سرعة المجموعة group velocity" (انظر شرح الشكل 1). فسرعة الطور هي السرعة التي تنتقل بها موجة وحيدة اللون تماماً وتحددها قرينة الانكسار. إلا أن مثل هذه الأمواج غير موجودة في الطبيعة ولذلك فإن سرعة الطور تفيد في كونها مفهوماً مجرداً أكثر منها قياساً للسرعة. وبالمقابل، فإن سرعة المجموعة هي سرعة ذروة "حزمة الأمواج" التي هي أكثر واقعية، وهي عادة السرعة التي تنتقل بها طاقة الأمواج، وفي معظم الأحوال، تكون سرعات الطور والمجموعة متساويتين تقريباً، إلا أن الأمور تصبح مثيرة للاهتمام حين تكونان مختلفتين.

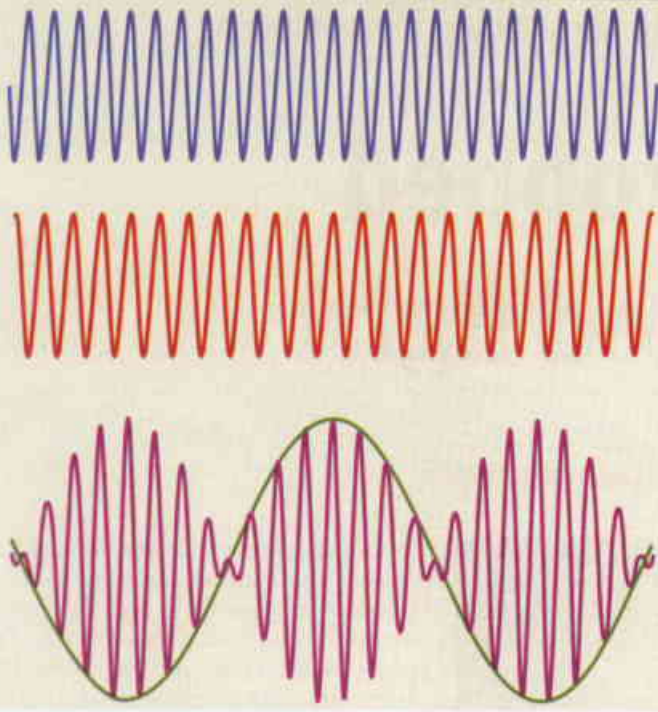
تختلف سرعة المجموعة عن سرعة الطور حين تكون للأمواج ذات الأطوال المختلفة قرائن انكسار متباينة، وهذا يعني أنها تسير

كلنا نعرف أن الضوء يسير بسرعة كبيرة جداً، ولا فرق إن استطعنا بواسطته تقدير بُعد عاصفة رعدية أو سلمنا ببساطة أننا نستطيع التحدث مع شخص ما في الجانب الآخر من العالم. وبالفعل، تعلمنا النسبية الخاصة أنه ما من شيء في الكون يمكن أن تكون سرعته أكبر من سرعة الضوء في الخلاء، والبالغة 299792458 متر/ثانية. ولكن لا يوجد مثل هذا التحديد بالنسبة إلى مدى البطء الذي يمكن أن تبلغه سرعة الضوء. فعلى مدى السنوات القليلة الماضية كان الباحثون يبطنون الضوء بشكل روتيني إلى مجرد بضعة أمتار في الثانية، وتمكنوا مؤخراً حتى من إيقافه تماماً في مساراته، بحيث أصبح بالإمكان تخزينه لاستخدامه مستقبلاً.

يحظى الضوء البطيء بافتتان رائع كبير، ومن المحتمل أن ذلك ناتج من أهمية سرعة الضوء في النسبية وفي الكوسمولوجيا. فإذا كان باستطاعة الأشياء اليومية، مثل السيارات أو الأشخاص، أن تسير بسرعة أكبر من سرعة الضوء "البطيء" مثلاً، فلربما يظهر أن التأثيرات النسبوية يمكن أن تلاحظ عند سرعات منخفضة جداً. ومع إن الأمور ليست بهذا الشكل، فإن الضوء البطيء يبشر بالقيام دور مهم في تقانة البصريات، لأنه يتيح تأخير الضوء لأية فترة زمنية مرغوبة. وهذا يمكن أن يقود إلى أدوات routers ضوئية كلياً سيكون بوسعها زيادة عرض عصابة الإنترنت، وإلى تطبيقات في تخزين المعطيات الضوئية وفي المعلومات الكمومية وحتى في الرادار.

\* نُشر هذا المقال في مجلة Physics World، October 2004.

### الشكل 1 - سلوك المجموعة



حين تتراكب موجتان جيبيتان من تواترين مختلفتين قليلاً (أعني في وسط مبدد) فإنهما تتداخلان لتولداً مناطق لها سعات عالية ومنخفضة، كما لو أنه توجد موجة "حاملة" عالية التواتر. ومعدلة بواسطة موجة "مغلّفة" منخفضة التواتر وهي الوسط العالي التبدد، يمكن للمغلّف envelope أن يسير بسرعة أبطأ من الموجة الحاملة. ويُطلق على سرعة المغلف اسم سرعة المجموعة في حين تسير الموجة الحاملة بسرعة الطور.

ضيق من التواترات في مواد كاسرة للضوء وهذا يؤدي إلى تبديد عال. وقد استفاد إيفغيني بوديفيلوف E. Podivilov والعاملون معه في أكاديمية العلوم الروسية في نوفوسيبيرسك مؤخراً من هذا التبديد لتبطين نبضة ضوئية إلى أقل من ربع مليمتر في الثانية. وفي غضون ذلك، توصل روبرت بويد R. Boyd والعاملون معه في جامعة روتشستر إلى سرعات مجموعة منخفضة جداً في بلورة الاقوت باستخدام طريقة يطلقون عليها اسم الضوء البطيء "الأبكم" "dumb" slow light. ويُستخدم هنا ليزر لتعديل قرينة الانكسار في مجال ضيق التواترات باستخدام الإثارة العادية للمادة من دون حيل ترابط مثل EIT. وتستطيع لذلك قرينة انكسار البلورات الفوتونية التي تحجب الضوء في مجال ضيق من التواترات (بطريقة تشبه كثيراً الطريقة التي يوقف بها نصف ناقل التيار الكهربائي) أن تُهندَس لغرض تقليل سرعة الضوء إلى سرعات أرضية.

### عرض عصابة أكبر

هناك اهتمام تجاري كبير في الضوء البطيء من أجل تطبيقات الاتصالات والشبكات الحاسوبية. فالبيانات الضوئية التي ترسل بواسطة الإنترنت، على سبيل المثال، يجري تحويلها حالياً إلى إشارات كهربائية ثم يُعاد تحويلها إلى نبضات ضوئية عند كل اتصال للشبكات، ويمكن أن يؤدي الاستغناء عن هذا التحويل

بسرعات طور مختلفة، وتُعرف هذه الظاهرة بالتبدد dispersion. ولتوضيح ذلك ففكر فيما يمكن أن تراه فيما لو كنت تراكب بنيتين دوريتين، مثل مشطين (الشكل 2). فلو كانت المسافة بين أسنان المشطين مختلفة فإننا نرى سلسلة من العصابات المضيئة والمظلمة. وحين نحرك المشطين معاً بالسرعة نفسها تتحرك هذه العصابات أيضاً بالسرعة إياها. أما إذا حركنا المشطين بسرعتين مختلفتين قليلاً إحداهما عن الأخرى (مثلاً إذا أبقينا أحد المشطين ساكناً وحركنا الآخر) لتحركت العصابات المضيئة والمظلمة بسرعة تختلف عن سرعة أي من المشطين. وتقابل هذه العصابات مجموعات الأمواج وهي تتحرك بسرعة المجموعة. وحين يكون التبدد عالياً جداً تكون سرعة المجموعة أقل بكثير من سرعة الطور.

### الشفافية الكهرطيسية

توجد طرق عديدة لجعل سرعة المجموعة أخفض كثيراً من سرعة الطور في وسط ما، لكن الطريقة الشائعة هي استخدام حزم ليزرية لوضع الذرات في حالة انضمام كمومي quantum superposition state. فإذا حاولنا قياس الطاقة الداخلية لذرة ما في حالة انضمام فإننا نحصل على نتيجتين مختلفتين تحدث كل منهما باحتمالية معينة. ويقال عن الوسط الذي تكون كل ذراته في حالة الانضمام نفسها بأنه مترابط coherent، وتكون له خواص كهرطيسية مختلفة جداً عن خواص الوسط المؤلف من ذرات عادية.

تبدد الذرات العادية التواترات "التجاوبية" تبديداً عالياً جداً. ويقال عن الضوء بأنه تجاوبي إذا امتلكت فوتوناته الفرادي الطاقة المناسبة تماماً لإثارة ذرة من حالة كمومية داخلية إلى أخرى. إلا أن هذا التبديد ليس مفيداً دائماً لأن المواد تكون شديدة الامتصاص للضوء عند هذه التواترات التجاوبية. أما الذرات المترابطة فيمكن أن يكون تبديدها أعلى كثيراً حين تمتص ضوءاً أقل لأن عملية إثارة الذرات الموجودة في حالة انضمام يمكن أن تبطل. وهذه "الشفافية المحرّضة كهرطيسياً" (EIT) "electromagnetically induced transparency" هي أمر حاسم فيما يخصّ التجارب لأن باستطاعة المرء أن يحصل عملياً على ضوء بطيء يسير عبر الوسط كيما يدرس خواصه.

بإمكان طريقة الانضمام الكمومي أن تعطي بسهولة نبضات ضوئية تنتقل بسرعات أقل من 100م/ثا، بل حتى أنها استُخدمت لإنقاص سرعة الضوء إلى 1م/ثا - أي سرعة المشي. وعلى الرغم من أن هذه التقنية استُخدمت عادة في الغازات، فقد تبين أنها تصلح أيضاً في الأجسام الصلبة التي تبشر أكثر من الغازات بتطبيقات عملية. وقد استخدمت مؤخراً مجموعة فيليب هيمر P. Hemmer من جامعة تكساس، على سبيل المثال، الشفافية المحرّضة كهرطيسياً EIT لإنقاص سرعة الضوء إلى بضع عشرات من الأمتار في الثانية في بلورة من جسم صلب مطعم بالبراسيوديميوم praseodymium.

توجد طرق عديدة أخرى لإنقاص سرعة المجموعة للضوء. فعلى سبيل المثال، يمكن لموجة ضوئية أن تحرّض شبكة بالنسبة إلى مجال

الليزرز المستخدمة وتوقيت إيقافها، وهذا يترك بصمة على ذرات الروبيديوم، وطالما أن هذه البصمة لم يفسدها شيء، فإنه يمكن استعادة نبضة الضوء البطيء في وقت لاحق عن طريق تشغيل ليزر الاقتران مرة أخرى.

تختلف هذه الطريقة عن الطرق الأخرى المستخدمة لتخزين الضوء، مثل "الأصداء الفوتونية photon echoes"، لأن النبضة الضوئية التي يُعاد توليدها هي نسخة كمومية آليّة دقيقة من النبضة الأصلية. وهكذا، فإن كل خواص الضوء الأصلي الكمومية التي يمكن استخدامها في حاسوب كمومي تُستعاد أيضاً. وعلاوة على ذلك، إذا كان ضوء ليزر الاقتران أو الاستعادة ينتشر في الاتجاه المعاكس لاتجاه ضوء ليزر الاقتران الأصلي، فإن الضوء المستعاد عندئذٍ يكون معكوساً زمنياً بالنسبة إلى النبضة الأصلية. ويمكن أن يكون ذلك مفيداً في الحوسبة الكمومية الضوئية أو حتى في معالجة الإشارات الضوئية، لأن أية تغيّرات تطرأ على الحزمة الضوئية يمكن عكسها بسهولة. كما يمكن إزاحة تواتر الضوء المستعاد باستخدام ليزر استعادة ذي تواتر مختلف عن تواتر الليزر الأصلي. وتُدعى هذه العملية بالتعاقيبية multiplexing، وهي تقنية استُخدمت على نطاق واسع في صناعة الاتصالات لزيادة عرض عُصابة أجهزة الاتصالات. وأخيراً، يمكن، عن طريق نقل الوسط الذي طبعت فيه النبضة الأصلية نقلاً مادياً، أن يُستعاد الضوء في موقع مختلف تماماً - وهذه عملية شبيهة بالنقل عن بُعد teleportation للحالة الكمومية.

## الضوء المجمّد

تمكّنت مجموعة لوكين في أواخر عام 2003 من إيقاف نبضة ضوئية إيقافاً كاملاً، أو "تجميدها" في مكانها. ولتحقيق ذلك، بدأ الباحثون من تجربتهم السابقة التي خزّنوا فيها الضوء ولكنهم بدلاً من أن يستخدموا حزمة ليزرية واحدة لاستعادة نبضة الضوء، استخدموا ليزرين في اتجاهين متعاكسين أمامي وخلفي. يتداخل الحقلان الأمامي والخلفي فيولدان موجة ساكنة شدتها دورية. لذلك، فإن الحقل المتولد يتولد ويُمتمص بالتناوب ويبقى، نتيجة لذلك، ثابتاً في مكان واحد. وبعد انقضاء فترة زمنية معينة يمكن أن تتولّد نبضة السبر في أيّ من الاتجاهين.

قد توجد طرق أخرى لتجميد الضوء أيضاً. فقد تنبأت مجموعتنا مؤخراً بأن الضوء البطيء الذي ينتشر في وسط متحرك يمكن أن "يجري" مع الوسط. ويمكن للمرء أن يتصوّر نبضة ضوء بطيء تنتشر مثلاً بسرعة 300 م/ثا في وسط يتحرك بسرعة 300 م/ثا في الاتجاه المعاكس. فمن وجهة نظر مراقب ساكن، ستبدو نبضة الضوء ساكنة، وهذا يشبه إلى حدّ كبير الطريقة التي يبدو فيها شخص يركض على بساط متحرك أنه ساكن في مكانه على الرغم من أنه يتحرك بالنسبة للباساط.

هذا وتصبح هذه القصة مثيرة للاهتمام حينما ندرك أن الجزيئات في غازٍ ما تتحرك كلها في اتجاهات عشوائية بسرعة تبلغ 300 م/ثا.

باستخدام أداة router ضوئية كلياً تزيل اختناقاً مهماً في زمن الإرسال ومن ثم زيادة عرض عُصابة الإنترنت.

لكن مثل هذا الجهاز يتطلب ذاكرة ضوئية دائرية optical buffer memory يصعب صنعها. غير أنه يجب درء البيانات لأسباب عديدة أهمها هو أنها جُمعت في "حُرْم" تُسَيّر فرادى. ويجري الدُرء buffering حالياً باستخدام حلقات من الليف الضوئي، ولكن هذه الحلقات ذات زمن وصول ثابت مثلها مثل القرص الصلب تقريباً. وبإمكان الضوء البطيء التغلب على ذلك لأنه يمكن تعديل زمن تأخير النبضة الضوئية من خلال تغيير سرعة مجموعتها ببساطة أثناء قطعها مسافة ثابتة.

وهناك ميدان آخر يمكن أن يكون فيه الضوء الفائت البطء مفيداً، وهو الاستعلام الكمومي. إذ من الممكن أن يستخدم الحاسوب الكمومي الضوء بدلاً من الإلكترونات لمعالجة المعلومات وأن يكون قادراً على إجراء حسابات خارج نطاق ما تستطيعه الحواسيب التقليدية. ولكن الحاسوب الكمومي يستند، للقيام بهذا الأمر، إلى نقل شرطي للمعلومات. فعلى سبيل المثال، يجب أن نتعلم كيفية التحكم بحالة فوتون فرد وكيفية التعامل معها بحيث يمكن ربط معامل طوروي phase factor بحالته الكمومية إذا ما وجد حصراً فوتون آخر ذو تواتر مختلف في التجويف نفسه. ويتطلب التحكم بهذه التآثرات بين الفوتونات الفردية مواد ضوئية ذات خواص لا خطية جداً مثل تلك المستخدمة من أجل الضوء البطيء تماماً.

يحتاج الحاسوب الكمومي، لكي يعالج المعلومات، إلى ذاكرة يخزن فيها الحالة الكمومية للعناصر المستخدمة في الحوسبة. لكن تخزين الفوتونات، لسوء الحظ، صعب جداً. ويمكن الالتفاف على هذه المشكلة بإجبار الفوتونات على الدوران في ألياف ضوئية، لكن هذا تماماً ما يفعله الضوء الفائت البطء بصورة جيدة. فإذا أرسلنا فوتوناً بطيئاً عبر مسافة مقرّرة فإنه سيخرج بعد انقضاء زمن محدد في الحالة الكمومية الذاتية نفسها. وإضافة لذلك، فإن "مدة الإيقاف" ستكون متغيرة لأن سرعة الضوء البطيء يمكن تعديلها، وهذا يعني أن باستطاعتنا تخزين الضوء في وسط ذريّ مثلاً ثم نعود لاحقاً فنقرأ حالته الكمومية المضبوطة.

هذا ما أجراه بالضبط في عام 2001 ميخائيل لوكين M. Lukin والعاملون معه في مركز سميثسونيان للفيزياء الفلكية في كامبردج بولاية ماساتشوستس على غاز من ذرات روبيدوم استُقبقت في درجة قريبة من درجة الحرارة العادية. فقد وضعوا الذرات أولاً في حالة انضمام باستخدام ليزر "اقتران" يجعل الغاز شفافاً بالنسبة إلى ليزر "سبر" آخر حيث إن ضوءه سيُمتمص لولا الاقتران (وهذا هو جوهر الشفافية المحرّضة كهربيسياً EIT). فحين مرّت النبضة الفائقة البطء لضوء السبّر probe light عبر الوسط قام فريق هارفرد بإغلاق ليزر الاقتران مما سبّب عودة الوسط ليصبح عاتماً من جديد. وهذا يعني أن نبضة الضوء البطيء تمّ امتصاصها، ولكن السحر يكمن في أن الذرات بقيت في حالة انضمام تحدّدها تواترات

في غاز ما، فتمتص فوتونات الليزر ثم تصدر فوتونات ذات تواتر أخفض قليلاً، أي ذات طاقة أقل. وتدعى هذه العملية انتقال رامان Raman transition. ويمكننا أن نتوقع أنه مقابل كل فوتون ليزري تمتص تصبح ذرة واحدة في حالة طاقة أعلى بعد إصدار الفوتون ذي الطاقة الأخفض، لكن الأمور لا تجري هكذا حسب ميكانيك الكم، وبدلاً من ذلك نفكر في تلقي مجموعة من الذرات كمّاً واحداً one quanta من الطاقة بحيث تستثار ذرات عديدة في الوقت نفسه، وبلغة البصريات الكمومية نقول إننا استثرنا موجة سبين متعدد الجسيمات many - particle spin wave - مادامت عملية التبعثر تغيّر العزم الزاوي لمجموعة الذرات.

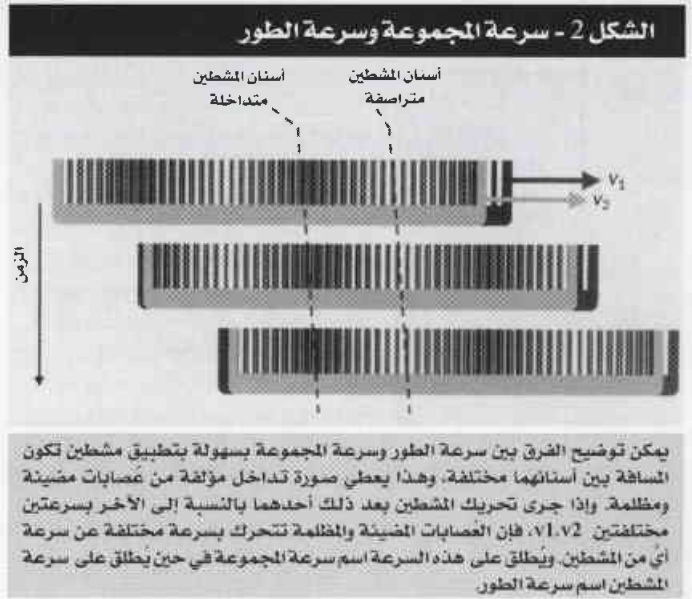
يمكن بعدئذ استعادة الحالة المخترنة في موجة السبين بواسطة انتقال رامان ثان، أي بواسطة تحول مترابط لموجة السبين إلى حزمة ضوء جديدة. إن حزمة الضوء الجديدة المولدة تكون ذات تآرجحات ارتياب مترابطة بشكل كامل مع تلك الناشئة عن الليزر الأول، ولذلك تصبح لدينا حزمًا ضوء يكون لكل منهما الارتياب نفسه الذي للأخرى. وأكثر من ذلك، وبسبب أن موجة السبين تكثت في الوسط لمدة طويلة، فإن التأخير بين الفوتونات المترابطة يمكن أن يكون كبيراً، وهذا يؤدي إلى زيادة فائدتها كذاكرات كمومية إلى حد كبير. ويمكن كذلك أن يُستفاد من الأزواج الفوتونية المترابطة في اختبار النواحي الأساسية في ميكانيك الكم، وذلك باستخدام فكرة تدعى المحاة الكمومية quantum eraser كان قد ابتكرها أحد مؤلفي هذا المقال (مارلان سكولي).

### المحاة الكمومية

تتمثل إحدى نواحي ميكانيك الكم التي كثيراً ما يُساء فهمها في التفاعل بين التمامية complementarity والارتياب uncertainty. ويُقال في ميكانيك الكم عن أزواج من المتحوّلات بأنها متتامّة حين لا نستطيع أن نعرف قيمها بشكل كامل في الوقت نفسه. فالموضع والعزم متتامان، مثلما أن الطاقة والزمن متتامان. وبالإمكان فهم هذا التفاعل بدلالة تجربة شق يونغ young's slit experiment.

لنفرض أن ذرتين متماثلتين قد أُضيئتا بليزر جرى توليفه حسب تواتر التجاوب لهاتين الذرتين. فعندئذ يمكن النظر إلى الذرتين وكأنهما زوج مصدرين متماسكين لأنهما ستمتصان الضوء وتصدرانه من جديد. وإذا سمحنا للضوء المبعثر من الذرتين بالسقوط على مكشاف فإننا نلاحظ شكلاً داخلياً مؤلفاً من سلسلة من الأهداب المظلمة والمضيئة. ويظهر الهدب المضيء حين تكون المسافة بين المكشاف والذرتين مضاعفاً صحيحاً من طول الموجة، في حين يظهر هدب مظلم حين تختلف المسافة عن المسافة السابقة بمقدار نصف طول موجة. ومن الضروري أن نذكر أن التداخل interference يحدث حتى باستخدام فوتونات مفردة تتولد بتخفيض الشدة إلى درجة ألا يكون هناك أكثر من فوتون واحد يتبعثر عن الذرتين في وقت واحد.

فإذا تمكنا، بطريقة ما، من انتقاء تلك الجزيئات التي تتحرك في الاتجاه المعاكس لاتجاه نبضة ضوء بطني فحسب، فإن نبضة الضوء يمكن تجميدها. ورغم أنه لا يزال يتعين تبيان طريقة تجميد الضوء هذه تجريبياً إلا أن ديمتري ستيركالوف D. Sterkalov والعاملين معه في مختبر الدفع النفاث التابع لوكالة ناسا بيّنوا مؤخراً أنه يمكن تبطيء نبضة ضوء إذا تأثرت interact فقط مع ذرات تتحرك في الاتجاه المعاكس لها، فانطلاقاً من سرعة مجموعة قدرها حوالي 2000 م/ثا أمكنهم تبطيء الضوء بنحو 20 م/ثا. وعلى الرغم من أن هذا التغيير ليس سوى 1% إلا أنه يبرهن على صحة مبدأ البساط المتحرك.



### الأزواج الفوتونية

لدى الضوء البطني أيضاً إمكانية تقليل الارتياب الأساسي الذي يرافق قياس الموجة الضوئية. ويعني مبدأ الارتياب أنه ليس بالإمكان معرفة سعة موجة ضوئية (بمعنى شدة الضوء المتناسبة مع مربع هذه السعة) وطورها (بمعنى الزمن الدقيق للاهتزازات في الموجة) بدقة مطلقة في الوقت نفسه، ولهذا الارتياب تضمينات جسام في الاتصالات الضوئية العملية والحوسبة لأنه يحد من دقة القياس.

إلا أنه بالإمكان صنع أزواج من الفوتونات، التي وإن كان لا يزال لكل فوتون فيها ارتياب في سعته وطوره، إلا أن لكل من الفوتونين الارتياب نفسه تماماً. وهذا يتيح قياساً أدق من ذلك الممكن بالنسبة لفوتون مفرد لأن الارتياب يمكن أن يلغى بين قياسين يجريان في الوقت نفسه على الفوتونين. وقد تولدت مؤخراً مثل هذه النبضات الضوئية "المترابطة" correlated في تجربة أخرى أجرتها مجموعة هارفارد.

ويمكن النظر إلى هذه التجربة وكأنها ذات مرحلتين. أولاً، ينتشر ضوء ليزر ضعيف لا تجاوبي عبر مجموعة من الذرات

وثمة اختبار حاسم لهذه الفكرة يتمثل بمحو المعلومات المتعلقة بمعرفة أيّ المسارات سُلكت وروية ما إذا كانت صورة التداخل تعود للظهور (ولو بعد انقضاء فترة طويلة بعد تبعثر الفوتونات) اختباراً حاسماً لهذه الفكرة. ومظهر "الاختيار المتأخر" هذا هام جداً لأنه يبيّن أن الذي يهم هو المعلومة (معرفة أيّ المسارات سُلكت) وليس حقيقة أن قياس أحد المتحوّلات يمكن أن تشوّش متحوّلاً آخر. وهنا يأتي دور الفوتونات المترابطة مثل تلك التي أنتجتها مجموعة لوكين، والتي تعمل عمل ممحاة كمومية متأخرة الاختيار.

يثير الليزر الأول موجة سبينية في الذرات فينتج فوتونات متبعثرة. ولن يكون بالمستطاع مشاهدة صورة تداخل في هذا الضوء المتبعثر لأنه ستكون لدينا معلومة "أيّ المسارات سُلكت"، أعني أنه سيكون بإمكاننا أن نتطلع لرؤية أيّ من الذرات بقي في حالة سبينية مختلفة. ولكن بعد أن يُجَدّد الليزر الأولي بجولة ثانية من تبعثر رامان، فإن الذرة تعود إلى حالتها الأولى وتُمحى معلومات أيّ المسارات سُلكت. وإذا نظرنا إلى الترابطات بين فوتونات الدخل input والفوتونات المُجدّدة تعود صورة التداخل.

## مستقبل الضوء البطيء

لا يعني تبطيء الضوء إلى بضعة أمتار في الثانية أنه أصبح باستطاعتنا رصد السلوك النسبوي المستغرب في العالم اليومي. وتكون تطبيقات الضوء البطيء والواقف، من نواح كثيرة، أيسر تعاملاً. وتعدّ كل التطبيقات التي ناقشناها، مثل التخزين الضوئي والذاكرة الكمومية للفوتونات المفردة، ممكنة لسبب بسيط هو أن الضوء البطيء يمكن تأخيره بمقدار قابل للتحكم به. ولكن تضمينات فيما يخص الهندسة الضوئية بعيدة المنال. وعلاوة على ذلك، فإن الضوء البطيء يُستفاد منه في تطبيقات مثل الحوسبة الكمومية والتعمية cryptography الكمومية واختبارات الفيزياء الأساسية. إن التقدم في مجال الضوء البطيء أبعد ما يكون عن الركود بل هو في بداية انطلاقه.

## ضوء بطيء الرادار



قد يبدو الضوء البطيء، للوهلة الأولى، أنه بالضبط عكس ما يلزم لتحسين منظومات الرادار. لكن الضوء البطيء يمكن أن يحسن توجيه الحزمة والتميز في الرادارات ذات المصفوفة المتطورة phased array المستخدمة في التطبيقات العسكرية والتجارية. تستخدم الرادارات ذات المصفوفة المتطورة الحديثة آلاف بل حتى ملايين المرسلات والمستقبلات، وينبغي أن يكون طور هذه البنائات قابلاً للتحكم به بدقة. يتم إرسال المعلومات غالباً بواسطة ألياف ضوئية، وتحوّل الإشارات الضوئية إلى تواترات راديوية عند المرسل باستخدام أجهزة فوتونية عالية السرعة. ولذلك يجري التحكم بطور مختلف المرسلات عن طريق تأخير قطار النبضات الضوئية قبل أن تحوّل إلى أمواج راديوية. وتستخدم المنظومات الحالية زماماً من الألياف الضوئية مقطوعة سلفاً لكي تعمل عمل خطوط تأخير، ويجري إدخال التأخير الصحيح عبر التنقل بين الألياف ذات الأطوال المختلفة. يمكن ضم هذه التقنية إلى المنظومات الكهروميكانيكية المبرومة (MEMS) لإدخال تأخير متغير في النبضات الضوئية، لكنها لا تتيح، بصورة عامة، ضبطاً مستمراً لتأخير النبضة، لأنه لا يمكن اختيار التأخير في الطور بين عناصر الرادار اختياراً دقيقاً، ويصح التمييز في الاتجاه للرادار غير مؤكد، وهذه ظاهرة تعرف باسم "الحوّل Squint". فلو استخدم الضوء البطيء عوضاً عن ذلك، لأمكن تعديل سرعة النبضات الضوئية بصورة مستمرة. فبالنسبة إلى الضوء البطيء بواسطة الشفافية الحزضة كهترطيسياً، على سبيل المثال، تكون سرعة المجموعة نابعا رتبياً بسيطاً لشدة الليزر. لذلك، فإن توجيه نبضات الإشارة الضوئية عبر وسط ضوء بطيء يمكن أن يتيح لمستخدمي الرادار اختيار التأخير الزمني الذي يرغبون فيه مما يوفر إمكانية تحقيق نسب للإشارة والضجيج أعلى كثيراً في منظومات الرادار ذات المصفوفة المتطورة.

والآن لنفرض أننا نعرف بطريقة ما أيّ الذرتين بعثرت الفوتون، وهذا يماثل معرفة عبر أيّ الشقين مرّ الفوتون المبعثر في تجربة شقي يونغ: تختفي عندئذ صورة التداخل! ولقد كان يُظن لفترة طويلة أن صورة التداخل تختفي بسبب الارتياح في موضع الفوتون المتبعثر المترافق مع ارتداد الذرة التي بعثرت. ولكن أصبح مفهوماً الآن أن السبب هو معرفة أيّ المسارات سُلكت وليس ارتياح الموضع والعزم. وهذا يؤكد على التمييز بين التامة والارتياح في ميكانيك الكم: فالموضع والعزم متحولان متتامان وهذا يؤدي إلى آثار قابلة للرصد أبعد من تلك الناتجة من مبدأ الارتياح.





# حشرات تحرس النباتات\*

آن-ماري كورتيسيرو

مجموعة البيئة الحيوية للحشرات شبه المتطفلة، جامعة رينس I، فرنسا

إيريك نيبو

المركز الوطني الفرنسي للبحوث العلمية (CNRS)،

معهد أبحاث بيولوجيا الحشرات (IRBI)، مدينة تور، فرنسا

لا تقف النباتات عزلاء في تصديها للحشرات العاشبة (أكلة العشب) التي تهاجمها. فبالإضافة لرصيدها من الدفاعات المباشرة (كالأشواك أو المركبات السامة)، لديها دفاعات أخرى غير مباشرة، تستعملها عند تعرضها للهجوم، وهي مواد طيارة يحررها النبات لجذب إليه أعداء تقترس الحشرات التي تهاجمه. وقد أمكن التعرف حالياً على بعض هذه المواد، كما سُرعَ في إنتاج بعضها. وتفتح وجهة النظر هذه الباب أمام تصنيع أدوات مكافحة بيولوجية تستعمل في الحقول المكشوفة والأماكن المغلقة على حد سواء. ولكن لا بد من التريث قليلاً قبل استعمالها كي يتم تحديد الآثار المترتبة على ذلك في المدى المتوسط والبعيد، وحصر الفوائد التي يمكن أن تجنيها منها النباتات وحراسها والتي قد تكون متعارضة أحياناً، ودراسة مقدرات العواشب على التلاؤم معها. وهكذا فإن التحدي لا يزال كبيراً ولا يستهان به.

بكلمتين فقط

ملخص

إنها معركة مستعرة ومستمرة بين نحو 300000 نوع من نباتات كوكبنا الأرضي ونحو 400000 نوع من الحشرات العاشبة. وللدفاع عن نفسها ضد المعتدين لا تعدم النباتات الوسائل اللازمة. فما هو سلاحها الأمضى؟ إنه يتمثل في قناصة تجذبهم إليها النباتات فيفتكون بالمهاجمين. فهل يستطيع الإنسان تسخير هذه الظاهرة في كفاحه ضد هؤلاء المخربين؟

الكلمات المفتاحية: حشرات عاشبة، أكل الحشرات، أسروع.

تسميمه أو تثبيط تناوله للغذاء، لكن الجديد في هذا الأمر، والذي ظهر في عام 1990 تمثل في كشف النقاب عن وجود آلية دفاع أخرى غير مباشرة تلجأ إليها النباتات عند الحاجة، وتتجلى في اجتذابها أعداءً للعواشب التي تهاجمها، وحشرات من مفصليات الأرجل تلتهم العواشب وتخلص هذه النباتات من أضرارها.

ثمة توافق واضح بين النتائج التي حصل عليها تيد ترلينغ T. Turlings وديجيمس توملينسون D. Tumlinson من معهد الزراعة بوزارة الزراعة في الولايات المتحدة الأمريكية (USDA) في مدينة Gainesville بفلوريدا وجو لويس J. Lewis من معهد الزراعة بتفتون Tifton بمدينة Georgie، والنتائج التي نشرها فريق هولندي قبل نحو عامين في مجلة أكثر تخصصاً. وقد بين مارسيل ديك M. Dicke من جامعة واشنطن وموريس سابيليس M. Sabelis من جامعة أمستردام أن الابتلاء الطفيلي لنباتات الفاصولياء والخيار بالقراد العاشب المسمى Tetranychus urticae يدفع النباتات لإطلاق

قبل نحو خمسة عشر عاماً، رددت مجلة العلوم صدى حدث غريب وهو تصدي نباتات الذرة لأساريع الفراشة الليلية المسماة Spodoptera exigua التي تهاجمها، وذلك بإطلاقها كميات كبيرة من مواد طيارة تجذب إليها زنابير طفيلية تدعى Cotesia marginiventris [1] حيث تتصف هذه الزنابير بخاصية مهمة تتمثل في وضعها بيوضها في أساريع الفراشة Spodoptera! فتلعب هذه الأساريع دور مصدر أطعمة تقتات منها يرقات الزنابير لتضمن استمرار حياتها.

لم يتمثل جديد تلك الدراسة، التي لفتت الانتباه آنذاك، في رد النباتات بفعالية على العدوان الذي تعرضت له. فقد عُرف ذلك منذ زمن بعيد، عندما أظهر فريق من الباحثين الأمريكيين في عام 1972 أن قضم خنفساء البطاطا المعروفة بـ le doryphore أوراق نبات الطماطم (البندورة) أو البطاطا يحث هذه النباتات على مراكمة جزيئة تعطل نمو الحشرات المهاجمة [2]. ويعد ذلك واحداً من وسائل الدفاع المباشرة التي يستعملها النبات لصد المعتدي من خلال

\* نُشر هذا المقال في مجلة La Recherche، November 2004.



يُعدُّ خروج يرقات الزنبور الطفيلي *cotesia glomerata* إلى الهواء الحر علامة تدل على توقف موت أساريع فراشات الكرنب. ولكن إلى أي مدى تحمي الـ *cotesia* هذا النبات؟ لا يزال السؤال قيد البحث والدراسة، لأنه قبل إدراك الأساريع مرحلة الموت، فإن حضور اليرقات يولد ميلاً واضحاً لدى الأساريع لزيادة استهلاك الكرنب.

طائفة تناقص فعالية آكلات الحشرات، من جهة، والإخلال الكبير الذي يمكن أن يحدث في توازن الموئل البيئي *biotope* من جهة أخرى. وبسبب كل هذه السلبيات تركزت الجهود على تحديد هوية المركبات الطيارة التي تطلقها النباتات للرد على الاعتداءات التي تتعرض لها تمهيداً لاختبارها أولاً واستعمالها لاحقاً في جذب آكلات الحشرات واحتجازها في المنطقة المقصودة فقط.

### لكل عطره

وليس ثمة مثال أوضح من رائحة المرح الأخضر الطازجة التي نشعر بها مباشرة بعد جَرِّ أعشابه. حيث تنطلق تحت شفرات آلة جَرِّ العشب تشكيلة من جزيئات طيارة (فَوَاحَة) موجودة أصلاً ضمن النبات (وتدعى باسم الأساسيات *constitutives*). وإذا كانت الأسباب ذاتها تولد النتائج ذاتها، فإن هذه الجزيئات ستنتقل أيضاً بفعل كلابيب العواشب. فهل تكون هذه الأساسيات مسؤولة عن توجيه آكلات الحشرات نحو أهدافها؟ والجواب بالنفي، إذ وفقاً لما تشير إليه معطيات المقاتلين الأصليين وتؤكدته نتائج دراسات حديثة أخرى أجريت على نباتات التبغ والقطن والطمطم والشوفان والكرنب والتفاح [4] فإن المركبات الطيارة التي تجذب آكلات الحشرات نحو أهدافها لا تكون موجودة بشكل مستديم في النبات، وإنما تتشكل بعد مهاجمة العواشب له. ويقدر الزمن اللازم لاصطناعها اللاحق وانطلاق هذه المركبات المحرّضة بساعات أو أيام تلي انطلاق الأساسيات.

كميات كبيرة من مواد طيارة (فواحة) تجذب إليها قراداً مفترساً آخر يدعى *Phytoseiulus persimilis* يفتك بحشد القراد العاشب *Tetranychus* [3]. في حين اهتمت الدراسة الأمريكية بأشباه الطفيليات آكلة الحشرات التي تضع بيوضها ضمن حشرات أخرى، ركزت الدراسة الهولندية على دراسة آكلات الحشرات المفترسة، التي تتغذى على حشرات أخرى.

وهكذا دخل الفريقان في سياق تتابع علمي، كما حفّزت أعمالهما المجتمع العلمي الذي يهتم بالصلات المتبادلة بين النباتات والحشرات على القيام بأبحاث أخرى في هذا المجال. وكان الهدف المحدد والمعلن لجميع هذه الأبحاث الجارية محاولة استنباط طرائق مكافحة بيولوجية تقضي على الحشرات الضارة للنباتات.

وبالطبع، لم ينتظر استخدام آكلات الحشرات في وقاية المزروعات صدور نتائج هذه الأبحاث. غير أن الاستخدامات المطبقة كانت متخصصة جداً، وتركزت بصورة رئيسة على مزروعات الأماكن المغلقة (الأمر السائد حتى الوقت الحاضر). وفي طرائق المكافحة هذه يطلق الإنسان آكلات الحشرات التي لا يمكنها التوجه إلا نحو النباتات المطلوب حمايتها. كذلك لم يول التحكم الدقيق بالعوامل التي تدير التأثيرات المتبادلة بين النباتات والحشرات الأهمية التي يستحقها، فما هو غير ضروري عند العمل في الحقول المكشوفة. ولا بد من تجنب تأثير آكلات الحشرات خارج حدود المنطقة المستهدفة بالمكافحة تحت



قطن مزروع دمرته أساريع فراشة *Helicoverpa zea*، وقد فقد جزءاً من إمكاناته مقارنة مع ضرويه البرية من حيث إطلاق المواد الفواحة الجاذبة لأعداء الفزاة المخربين، وهذا هو حال أعداد كبيرة من الأنواع النباتية المنزلية *domesticque* الأخرى.

الكيميائية لهذه المثريات الأمر الذي جعلنا لا نعرف منها حتى يومنا هذا إلا اثنتين فقط، تم عزلهما من منظومتين مختلفتين من النباتات والحشرات. أما الأول منها فهو إنزيم الغليكوزيداز *glucosidase* الموجود في لعاب فراشة الكرنب *pieride du chou* [7]. وأما الثاني فهو الفوليسيتين *volicitin*، المشتق من أحد الأحماض الدهنية، والذي اكتشف عام 1997 في لعاب أسروع *exigua Spodoptera*، وهو موجود في لعاب أكثر من عشرة أنواع أخرى من الحشرات حرشفيات الأجنحة *lepidopteres* [8].

### مصالح متضاربة

لم يتوقّف الأمر عند هذه المثريات الخارجية بل تعداه إلى مثريات داخلية، يُركبها النبات في سوية الجرح، وتخرق الأوعية الناقلة للنسغ، وتنتقل إلى أوراق النبات السليمة. وبالتالي فإن الأوراق المجروحة، ورغم أنها الوحيدة المتماسمة مع اللعاب، فهي ليست وحيدة في عملية تصنيع وإطلاق المركبات الطيارة. أي أن الأوراق السليمة تسهم إلى جانب الأوراق المعطوبة باصطناع المركبات الطيارة وإطلاقها [9]. ومع أن الباقية التي تحررها الأوراق السليمة مختلفة بعض الشيء من الناحية الكيميائية عمّا تطلقه باقية الأوراق المعطوبة، إلا أنها تملك

فما هي هذه المركبات الطيارة الذائعة الصيت؟ والجواب، إنها مركبات تختلف طبائعها باختلاف النباتات التي تطلقها. فعلى سبيل المثال، تطلق نباتات القطن والذرة أشباه تربينيات *terpenoides* في حين تطلق نباتات الكرنب والكمثرى مركبات كبريتية. ويمكننا تخيل كل نبات كباقة فواحة (باقة مركبات طيارة) معينة. وإذا صح هذا التصور فعلاً، تكون هذه المنظومة شديدة التعقيد. ولعلّ ما يؤكد هذا الاعتقاد هو اختلاف نمط استجابة النبات ذاته باختلاف العاشب المعتدي، وطور نموه.

لقد طرّح موضوع هذه النوعية (*specificite*) منذ مطلع الثمانينيات من القرن المنصرم، بيد أن إثباتها لم يتحقق إلا في النصف الثاني لذلك العقد. إذ يؤدي تعرض نبات التبغ لهجوم اثنتين من الأساريع التي تربط بينهما صلات قرى هيا (*Helicoverpa* و *Virescens heliothis*) إلى حثّه على إصدار باقة طيارة تتكون من المواد ذاتها ولكن بتركيز مختلفة. وما يدعو للدهشة أن الزنابير الطفيلية *Chardiochiles nigriceps* التي تضع بيوضها في أساريع *Heliiothis virescens* تستطيع تحسّس هذه الفروق الضئيلة من تراكيز المواد التي يطلقها

النبات [5]. وفي مثال آخر، يؤدي اعتداء أساريع *Pseudaletia separata* الفتية على نبات التبغ إلى حثّه على إطلاق مركبات تختلف عمّا يطلقه النبات ذاته بفعل الأساريع الأكبر عمراً. ولا تخطئ زنابير *Cotesia kariyai* أهدافها أبداً، فهي لا تهاجم إلا الأساريع الفتية [6] ولا نعلم كيفية نجاحها الباهر في تمييز هذه الباقات الطيارة المختلفة. ويعني ذلك أنه ما يزال أمامنا مشوار طويل كي نتمكن من تحديد الباقات الطيارة الموافقة لكل شراكة بين النبات والعاشب.

وبدقة عالية وتمحيص شديد، جرى فحص مرحلة أخرى من سيرورة التحريض على اصطناع المركبات الطيارة. فقد بينت دراسة أجراها تيد ترلينغ *T.Turlings* وتوملينسون *J.Tumlinson* ولويس *J.Lewis* على نبات الذرة أنه يكفي تجريع جروحه الآلية بلعاب الأسروع *S.exigua* (أو تغطيس جذور النبات في محلول يحتوي على لعاب هذا الأسروع) لحثه على إصدار التربينات *terpenes*. ويدفعنا ذلك إلى القول بعبارة أخرى أن اصطناع المواد الطيارة ومن ثم إطلاقها يحدث بمجرد أن تصبح جزيئات معينة موجودة في لعاب المهاجمين على تماس مع النسج النباتي المعطوب. وقد سميت هذه الجزيئات بالمثريات *eliciteurs*، والتي لا تزال مجهول فوائدها بالنسبة للمهاجم، ونواجه صعوبة كبيرة في تحديد الطبيعة

ماكينة اصطناع جزيئي هائل في النبات. وفي هذه الحالة، يكون لهذه الدفاعات تكلفة استقلابية - تكون بالتأكيد أقل من تكلفة الدفاعات الأساسية، ولكن لا يمكن تجاهلها؛ إذ إن الجزيئات الداخلة فيها يمكن أن تستخدم لغايات أخرى. فهل يمكن لهذه التكلفة أن تؤثر في بارامترات (parameter) أخرى كإنتاج البذور مثلاً، وبالتالي هل ستؤثر في القوة الإنتاجية للنبات؟ ومناقشة هذا التساؤل مطروقة بشدة حالياً. ولكننا نملك على الأقل مثلاً موثقاً تماماً يبين بوضوح الأثر الإيجابي لأكلات الحشرات في القوة الإنتاجية للنبات: ففي زهرة من الفصيلة الصليبية تدعى *Arabidopsis thaliana* يزداد إنتاج الحبوب في النباتات التي هاجمتها فراشات الكرنب ودافعت عنها الحشرات غشائيات الأجنحة المسماة *Cotesia rubecula* بالمقارنة مع إنتاج النباتات التي لم يجر الدفاع عنها والنباتات التي لم تتعرض لأي هجمات.

### استراتيجيات التحاشي

المشكلة الأخيرة، وليست أقل شأناً مما سبق: إذا كان التآثر interaction في مصلحة كل من النباتات والحشرات على حد سواء، فإن ضغوط الاصطفاء المرافقة له تشجع أكلات العشب على تطوير بعض استراتيجيات التحاشي، كإحداث تبدل في كمية الإفرازات أو صفاتها مثلاً، تبدل سيقلل تحريض الإشارات الطيارة لدى النباتات، ويشبه قليلاً ما اكتشف حديثاً في مجال الدفاعات المحرّضة بطريق مباشر. ففي عام 2002 اكتشف باحثون من جامعتي أركانساس وبنسلفانيا أن أساريع الحشرات حرشفيات الأجنحة المسماة *Helicoverpa zea* تفرز عبر غددها الإفرازية إنزيمياً يقلل اصطناع النيكوتين المحرض بالإفرازات اللعابية في نبات الكرنب الذي يتعرض للهجوم [17].



أوراق نبات الصويا المُفترسة من قبل أساريع *Helicoverpa zea* ليست وحدها القادرة على بث مواد جاذبة لأكلات الحشرات، فالأوراق السليمة للنبات المعتدى عليه تقوم بذلك أيضاً. وهذا يرفع فعالية نداء الاستغاثة.

فإذا كان هذا النمط من الآليات غير معروف بعد في مجال الدفاعات المحرّضة بشكل غير مباشر، فإن أعمال كونسيليو دو موراس Consuelo de Moraes ومارك ميشر M. Mescher من جامعة بنسلفانيا أظهرت بالمقابل، في شهر حزيران الماضي، حدوث تلاؤم راقٍ جداً في

المقدرة التامة على اجتذاب أكلات الحشرات إلى النبات [10].

ولأغراض عملية مهمة لا بد من تحديد هوية المثيرات الداخلية بالإضافة إلى المثيرات اللعابية (الخارجية). ونذكر اثنين من بين المثيرات الداخلية التي لفت الانتباه وأمكن معرفتها: حمض الصفصاف *Acide salicylique* (ركيزة الأسبرين)، وبشكل خاص الحمض الياسميني *Acide jasmonique* الذي تملك جزيئته خواصاً تجعله في ملتقى طرق كثير من طرائق الدفاع، وتؤهله لتحريض عدد من آليات الدفاع المباشرة (كاصطناع كمية كبيرة من النيكوتين السام للحشرات في نبات التبغ مثلاً) [11].

ونتيجة لذلك، استعمل الحمض الياسميني كوسيلة لحماية النباتات. وقد أظهرت دراستان أن تطبيقه على النباتات ينبه بقوة التطفل على العواشب، ويُنقّصُ أضرار العواشب بشكل محسوس. وعلى سبيل المثال، يؤدي نثر هذا الحمض في حقل طماطم إلى مضاعفة تطفل زنبور *Hyposoter exiguae* على أساريع *Spodoptera exigua* التي تهاجم النبات [12]. فهل يمكن للحمض الياسميني أن يكون المعجزة المنتظرة التي ستُحدث ثورة في أسلوب مكافحة المخربين؟ ثمة اعتبارات كثيرة تدفعنا للحفاظ والاحتباس.

ولعل مصدر هذا الحذر هو أن الاستعمال الجيد لهذه الجزيئات يقتضي بادئ ذي بدء معرفة مسبقة بآثارها في المدى المتوسط والبعيد. وهل ستنتج هذه الجزيئات دائماً بجذب أكلات الحشرات إلى النباتات المعتدى عليها من قبل العواشب؟ نعتقد للوهلة الأولى أن الجواب التلقائي على هذا السؤال هو نعم، بيد أن الدراسات التي أجراها إد فاندر ميجون *Ed van der Meijden* وبيتر كلينكهامر

*P. klinkhamer* من جامعة *Lyede* في هولندا في عام 2000م أشارت إلى احتمال ظهور تضارب بين مصالح النباتات ومصالح أكلات الحشرات [13]. وتتجلى مصالح النباتات مثلاً في إنقاص أكلات الورق وهي لا تتطابق بالضرورة مع مصالح أكلات الحشرات التي تفضل بدلاً من ذلك وجود أعداد وفيرة من فرائسها المغذية (السمينة).

ويبدو أن لهذا التحفظ ما يبرره، فبعض الحشرات أشباه الطفيلية لا تقتل فرائسها مباشرة وإنما تتركها بعض الوقت لتلتهم المزيد من النبات خلال القسم الأعظم من دورات تشكلها ونموها [14]. والأسوأ من ذلك أن شبه الطفيلي *Cotesia glomerata* يبدي ميلاً واضحاً لتعزيز استهلاك أساريع فراشات الكرنب لأوراق النبات بدلاً من

إنقاصه [15]. وخلاصة القول إن أكلات الحشرات وإن كانت تقوم في كثير من الحالات بقوة وفعالية بحماية النباتات من التخريب إلا أننا لا نستطيع تعميم هذه النتيجة.

ومن جهة أخرى، تؤدي كل هجمة يشنها المخرب إلى قدح زناد

## في الحقول، أي حماية توفرها الطبيعة؟

هل تستفيد النباتات حقاً من فعل آكلات الحشرات في الطبيعة؟ لم تنتشر النتائج الأولى المتعلقة بهذا الموضوع إلا في عام 2001 (تم الحصول على جميع النتائج السابقة إما في المختبرات أو باستعمال نباتات محاصيل وبالتالي لم تخضع إلا لقليل من الاصطفاء الطبيعي) [1]. فلقد قام أندريه كيسلر A. Kessler ويان بالدوني I. Baldwin من معهد ماكس بلانك للإيكولوجيا الكيميائية في مدينة Lena بألمانيا بدراسة جمهرات طبيعية من نبات التبغ البري *Nicotiana attenuata* ضمن موئلها البيئي في صحراء Utah. يعاني هذا النبات من هجمات عواشب مختلفة مثل أساريع فراشات *Manduca quinquemaculata*

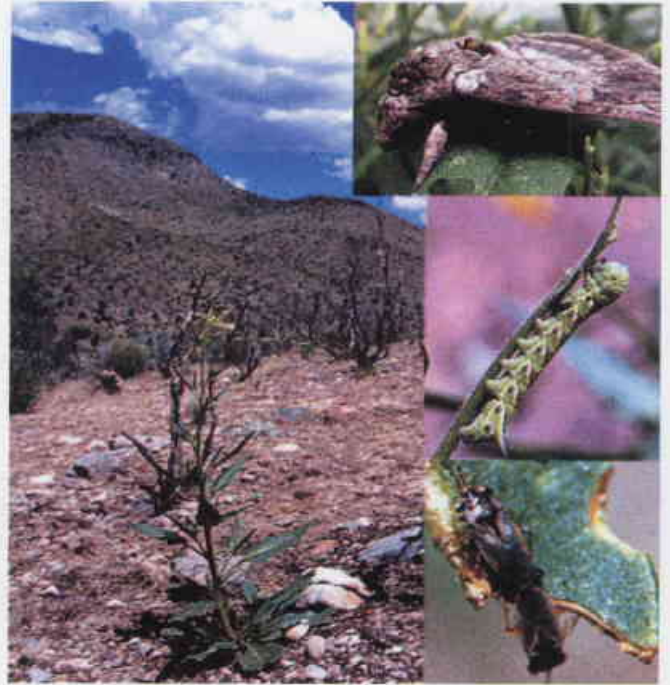
وفسفس *Dicyphus minimus* وغمديات أجنحة مثل *Epitrix hirtipennis*. ويرد هذا النبات على العدوان بتحرير باقة طيارة استطاع الباحثون الألمان توصيف مركباتها قبل دراسة تأثيراتها. وخلصوا إلى نتيجة مفادها أن المركبات المنطلقة تقلل الهجمات اللاحقة أكثر من 90% من خلال تقوية جذبها لمفترسات العواشب من جهة ومنع الفرائشات من وضع بيوضها من جهة أخرى. وبالطبع لا بد من تطوير هذا النمط من التجارب وتوسيعه ليشمل منظومات أخرى ثلاثية التغذية *tritrophiques*. وهكذا فإن نتائج صحراء Utah ليست أقل أهمية من غيرها، فقد أكدت أن الحماية غير المباشرة للنبات موجودة في الطبيعة بشكل متقن وأخاذ. ويقوم الآن الفريق الألماني ذاته (وبعد أن أعد زوادة من هذه المعلومات) بدراسة

ميدانية للأثر الحاسم الذي يحدثه حذف بعض المورثات المعنية بالدفاعات المباشرة وغير المباشرة في نبات *Nicotiana attenuata*. وقد أثمرت هذه المقاربة الإيكولوجية الجينومية نتيجة أولية مهمة [2]. فالنباتات المحرومة من أحد الإنزيمات الضرورية لتكوين الـ *Jasmonate* حررت كميات أقل من المركبات الطيارة وعانت أكثر من هجمات العواشب مقارنة مع النباتات غير المعدلة. ولكن للأسف، فقد أصبحت هذه النباتات هدفاً لآكلات عشب جديدة! وبعبارة أخرى إن هذا التعديل أحدث اضطراباً تاماً في الدينامية الإيكولوجية لحشود العواشب بعد إجراء هذا التعديل الوحيد. لم يدفع الباحثون دراساتهم بعد لاستكمال ملاحظاتهم فيما يتعلق بحشود آكلات الحشرات، التي يبدو أن اضطراب ديناميتها أيضاً أمر شديد الاحتمال.

التغذي بالفاكهة الفقيرة بحمض اللينولينيك *linolenique* اللازم لثموم معظم الحشرات. وأول نتيجة لهذا التلاؤم هو أنه يخلص *Heliothis subflexa* من التنافس مع أساريع الأنواع الأخرى، والنتيجة الثانية هي أنه يجعلها أقل تعرضاً لآكلات الحشرات. وفي الواقع، فإن حمض اللينولينيك ضروري لتصنيع الفوليسيتين. وعندما تتغذى الحشرة بالفاكهة فهي لا تستطيع صناعة هذا المثير، وبالتالي فإن المركبات الطيارة التي يستحث إطلاقها هذا المثير سوف تقل وستجذب أعداد من الطفيلي *Cardiochiles nigriceps* أقل بكثير بالمقارنة مع ما يحدث عند أكلها للأوراق. وبافتراض أن *Cardiochiles* قد نجحت في وضع بيوضها فإن يرقاتها لن تتمكن من مواصلة تناميها لأنها تحتاج إلى حمض اللينولينيك.

إن إيمان النظر في جميع هذه التأثيرات يدفعنا للتنبؤ بأن استعمال المركبات الطيارة أو المثيرات في المكافحة البيولوجية ما يزال بعيد المنال. وتزداد القيود على الاستعمال عندما نأخذ بالحسبان منظومات مكوّنة من أكثر من ثلاثة متشاركين. وبالفعل، ثمة شركاء آخرون في هذه المعادلة، كما في حالة النباتات المنافسة التي تستفيد من إصدارات تبتها جاراتها على شكل إشارات دفاع مجانية، أو حالة أشباه الطفيليات المفرطة *hyperparasitoides* التي تستعمل الإشارات التي تصدرها النباتات لمصلحتها الخاصة وللخلص من حُماتها.

لا تزال كيفية استعمال المركبات الطيارة والمثيرات واحدة من أهم المشاكل المطروحة للبحث. وربما يكون أجدى وأسهل من الناحية العملية وصول آكلات الحشرات إلى النبات قبل وصول المخربين إليه.



يشكل نبات التبغ البري *Nicotiana Attenuata* الموجود في صحراء UTAH (فوق) العائل المختار لوضع بيوض فراشات *Manetucaquinquem aculata* (الأعلى). وعندما تشرع أساريع *Manduca* باهتراس أوراق هذا العائل (الوسط)، يطلق التبغ باقة فواحة (طيارة) تدافع عنه بطريقتين، جذب *Geocoris pallens* المفترسة للأساريع (أسفل) وترويع *dissuade* الفراشة ومنعها من معاودة وضع البيض ثانية.

يرقة *Heliothis subflexa* [18]. فهذه اليرقة تقتات في الحالة السوية من أوراق عائلها *Physalis angulata*. وفي هذه الحال، أصبحت قادرة على



# أشباه البلورات وجمالها الممتنع\*

رونان ماك غراث

قسم الفيزياء ومركز بحوث علم السطوح بجامعة ليفربول بالمملكة المتحدة

إيوي غريم

قسم الرياضيات التطبيقية بالجامعة المفتوحة في المملكة المتحدة.

رينيه د. ديهل

من قسم الفيزياء ومن معهد بحوث المواد بجامعة بنسلفانيا في الولايات المتحدة الأمريكية.

ملخص

لقد مضى عشرون عاماً على اكتشاف أشباه البلورات ولازالت خواصها غير المألوفة تفتتن الباحثين من ذوي الاختصاصات المختلفة.

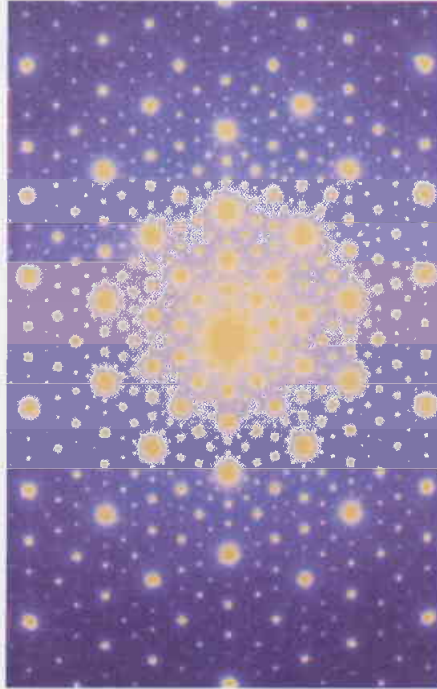
الكلمات المفتاحية

أشباه البلورات، النسبية، مزائج معدنية، خليطة المنيوم مغنيز، خواص أشباه البلورات غير المألوفة، التناظرات البلورية.

بلورات تدور بزواوية مقدارها  $72^\circ$  بالنسبة لبعضها بعضاً، وليس إلى بلورة واحدة ذات تناظر عشاري المرتبة، وتعرف هذه الظاهرة باسم "التوأمة" twinning.

ولكن هذه الشكوك الأولى سرعان ما بدتها أدلة تجريبية لاحقة، وكان أن نُشر اكتشاف شيشتمان أخيراً في مجلة Phys- cal Review Letters في تشرين الأول عام 1984، وأضحت ورقة البحث هذه واحدة من أكثر الأوراق والبحوث ذكراً في المراجع العلمية. وأطلق على هذه المواد الجديدة الغربية اسم أشباه البلورات quasicrystals الذي اشتق من عبارة quasisperiodic crystals أي البلورات شبه الدورية.

إننا نعرف الآن المئات من أشباه البلورات من أنواع مختلفة، بما في ذلك أشباه بلورات لها عشرون وجهاً وذات تناظر دوراني ثنائي وثلاثي وخماسي المرتبة. وتوجد أيضاً أشباه بلورات ثمانية الوجوه أو عشارية الوجوه وحتى ذات اثني عشر وجهاً تبدي تناظرات دورانية محظورة ضمن طبقات ذرية ثنائية البعد ولكنها ذات بنية دورية في الاتجاه العمودي على هذه الطبقات. ونشير هنا إلى أن



صفاة بلوري-تمثل هذه الصورة نموذج انعراج إلكتروني لشبه بلورة ذات عشريين وجهاً وتتنصفت بتناظر دوراني عشاري المرتبة، ويكشف وجود البقع الحادة أن هذه المادة ذات انتظام واسع المدى.

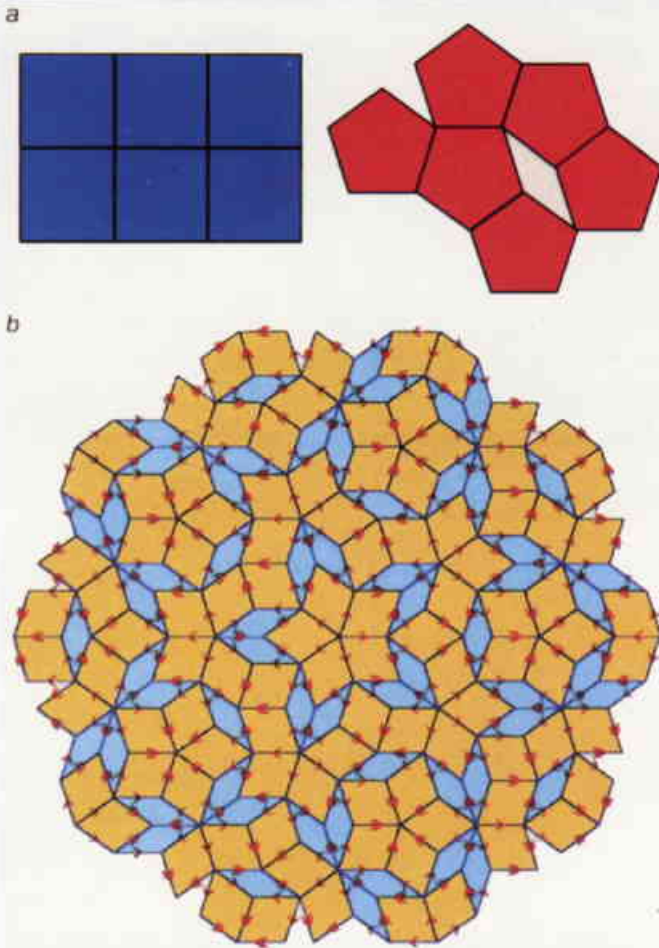
قبل نحو عشرين عاماً أعلن داني شيشتمان Danny Shechtman اكتشاف خليطة معدنية جديدة. لقد كان شيشتمان وقتئذ يقضي سنة تفرغ للبحث sabati-cal year في المكتب الوطني للمعايير في واشنطن DC يتحرى خلالها خصائص مزائج من المعادن تم صهرها بعضها مع بعض ثم تبريدها بشكل سريع، فوجد أن إحدى هذه الخليطات - الألمنيوم والمغنيز - أبدت نموذج انعراج ذا تناظر دوراني عشاري المرتبة. ولكن مثل هذه التناظرات كان يفترض اعتبارها محظورة حسب قوانين علم البلورات crystallography.

لقد سبب هذا الاكتشاف إثارة وارتباكاً ومعارضة كبيرة، ورفضت مجلة الفيزياء التطبيقية على سبيل المثال النشرة العلمية الأولى التي تقدم بها شيشتمان شارحاً فيها اكتشافه بالتفصيل وذلك بحجة أنها لا تثير اهتمام الفيزيائيين الذين يقرأون المجلة. وكذلك أنكر لينوس باولنغ Linus pauling -

عملاق القرن العشرين في علم البلورات - هذه النتائج. فقد عزا شيشتمان نموذج الانعراج الذي حصل عليه إلى وجود خمس

\* نُشر هذا المقال في مجلة Physics World, December 2004.

## الشكل 1 - التناظر والرصف البنروزوي



إن استطاعة نموذج ما هي أن يملأ سطحاً (أو حجماً) ما بشكل دوري إنما تعتمد على تناظره symmetry.

(a) يمكن ترتيب المربعات دورياً ليتشكل منها رصف دوري ذو بُعدين. ويكون لهذا النموذج تناظر دوراني رباعي المرتبة. في حين أن الخمسات المنتظمة pentagons لا يمكن رصفها دورياً، مما يعني أن التناظرات الخماسية المرتبة ممتنعة في البلورات الدورية.

(b) يظهر هنا رصف ببلاط رياضي الجوانب من صنفين بالطريقة البنروزوية الثنائية الأبعاد 2d Penrose tiling. ويلاحظ أن المواءمة بينهما تتم وفق قواعد مضاهاة محددة (تظهرها الأسهم). تضطرنا هذه الطريقة إلى جعل الرصف شبه دوري وإلى اتباع انتظام واسع المدى. يكون تناظر هذا الرصف الخاص عشاري المرتبة.

تجعلها "دورية تقريباً". وفي الحقيقة فإن الأساس الرياضي لهذه اللادورية aperiodicity أوجزه في عام 1933 هاراد بور H. Bohr لاعب كرة القدم الدولي وشقيق نيلز بور. فالتوابع شبه الدورية هي مجموعة فرعية من أسرة التوابع ذات الدورية التقريبية. ولعل أفضل طريقة لتوضيحها تكمن في تفحص أشهر النماذج شبه الدورية وهو النموذج المبين في (الشكل 1) الذي تستخدم فيه بلاطات خماسية.

هذه النماذج التي اكتشفها روجر بنروز R. Penrose من جامعة إكسفورد عام 1974 تتصف بانتظام واسع المدى لأنها تمتد حتى اللانهاية وفقاً لقواعد بسيطة تخص الكيفية التي يجب أن ترتصف حسبها حواف بلاطات معينة الشكل rhombic. إن الرصف البنروزوي

هذه التناظرات تحدث كنتيجة مباشرة للبنية اللادورية للمواد شبه الدورية، وفي الحقيقة فإن هذه البنية اللادورية التي هي ضرب من الانتظام هي ما يجعل هذه المواد وأمثالها غير عادية.

تواصل أشباه البلورات اجتذاب الأجيال الصاعدة من الباحثين، وقد أدت إلى اكتشافات هامة في ميادين علمية مختلفة كالعلوم النانوية nanoscience والكيمياء فوق الجزيئية -supramolecular chemistry. وقد تحل أشباه المواد الفوتونية Photonic metamaterials يوماً ما محل البلاط نصف الناقلة لصنع الدارات الضوئية الكاملة -all optical لأغراض الاتصالات وتقانة المعلومات، ويمكن أن تؤدي مصفوفات شبه دورية للسبينات الإلكترونية إلى الكشف عن نواح مغناطيسية جديدة لصالح تطبيقات السبينترونات spintronics. فإذا كنت تظن أن علم البلورات هو ضرب من جنون القرن العشرين، فما عليك إلا أن تعيد النظر في ذلك.

## التناظرات البلورية

إن مفهوم الدورية مفهوم بسيط، ولكن نتائجه بعيدة الشوط. فالدورية أولاً تعني انتظاماً واسع المدى. وإذا رغبت على سبيل المثال أن ترصف سطحاً ما بمصفوفة دورية من بلاط مربع الشكل، فإن موضع كل بلاطة مربعة سيتعلق بموضع كل بلاطة أخرى توضع على السطح. ومن ناحية ثانية فإن البنية الدورية لا تملك إلا عدداً محدوداً من التناظرات الدورانية (يقال عن منظومة أنها تتصف بتناظر دوري من المرتبة  $n$  إذا بدت بدون تغيير عندما تدار بزواوية مقدارها  $n/360$  درجة). فالبلاطة المربعة مثلاً تتصف بتناظر دوراني أحادي وثنائي ورباعي المرتبة. أما التناظرات الدورانية الوحيدة الأخرى المتاحة في المنظومات الدورية فهي الثلاثية والسداسية المرتبة. ولتوضيح ذلك تصوّر أنك تحاول رصف سطح ما ببلاط ذي تناظر دوراني خماسي المرتبة مثل البلاط الخمس الشكل فستجد أنك مهما تفعل لن تستطيع تجنب وجود فضاءات بين بلاط الرصف، وهذا ما يوضحه (الشكل 1).

إن درجة الانتظام في منظومة فيزيائية ما والتناظر الذي تتصف به هذه المنظومة يمكن تحديدهما عبر وضع المنظومة في طريق حزمة من الأشعة السينية أو حزمة من الإلكترونات وتسجيل نموذج الانعراج الناتج. ويتألف نموذج الانعراج هذا من سلسلة المناطق الساطعة والمناطق القاتمة التي تعود إلى التداخل البناء والمبدد للأمواج المبعثرة من هذه البنية. وتولد أية منظومة ذات انتظام واسع المدى نموذج انعراج ذا بقع حادة، ويمكن الكشف عن التناظر في منظومة كهذه لدى إسقاط نموذج الانعراج على مستويين بعدين.

كان معظم الباحثين حتى السنوات العشرين التي خلت يظنون أن المنظومات الفيزيائية ذات الانتظام الواسع المدى مستحيلة الوجود بدون دورية. أما بالنسبة لجمهور الرياضيات فقد كان يعرف جيداً أن بعض (الدوال أو التوابع functions) تتصف بخاصية



السطح الذي نمت عليه. وفي الحقيقة، تكون مستويات الذرات على هذا السطح من حيث الأساس بمثابة شرائح مثالية ذات بعدين للبنية المجسّمة الثلاثية الأبعاد، وبالتالي يمكن رؤيتها باستخدام المجهر الماسح النفقي كما يظهر في (الشكل 2a).

ولغرض استخدام هذه السطوح في إنشاء بنى نانوية وأغشية

رقيقة ذات تناظرات غير اعتيادية أو في إنشاء انتظامات شبه دورية يجري امتزاز عدد ضئيل من ذرات عناصر أخرى على السطح النظيف لشبه البلورة. ويمكن جعل هذه الذرات تتجمع بشكل ذاتي لتشكيل بنى نانوية منتظمة عن طريق التحكم بدرجة الحرارة وبسرعة الترسيب deposition rate. ويلعب السطح هنا دور لوحة الليغو Lego، وتشبه عندها الذرات الممتزة مكعبات الليغو. ليست يد الطفل هي التي تملي تشكيل البنى المنتظمة بل القوى النسبية للتأثرات interactions فيما بين الذرات الممتزة ذاتها، بالإضافة إلى التأثيرات بين الذرات الممتزة والسطح.

لقد قام المؤلفان رونان ورينيه المشاركان في هذا المقال مؤخرًا والعالمون معهم بإنشاء بنية منتظمة من هذا القبيل عن طريق ترسيب غشاء رقيق من ذرات النحاس على سطح نظيف خماسي السطوح لشبه بلورة مؤلفة من الألمنيوم والبلاديوم والمنغنيز، (الشكل 2b) فقامت ذرات النحاس بترتيب نفسها في بنية شبه دورية باستخدام السطح شبه البلوري كهيكل. واصطفت ذرات النحاس في الغشاء الرقيق جداً وفق نوعين متميزين من التباعدات spacings كما هو الشأن في متتالية فيبوناتشي. إننا الآن في وضع يمكننا من استكشاف الخواص الفيزيائية لمثل هذه المنظومات بالتفصيل، لبيان ما إذا كانت البنية الإلكترونية للنحاس في بنية شبه دورية تشبه أو لا تشبه تلك التي نصادفها في النحاس المتبلور العادي، وأعني بذلك الشكل المعدني المستخدم في أسلاك نقل الكهرباء.

هو بالتأكيد ليس دورياً لأن زلق نسخة مضبوطة لهذا النموذج هنا وهناك في المكان لن يحقق تطابقاً تاماً. ولكننا إذا أجرينا تجربة انعراج على مثل هذا الرصف فإننا نحصل على نموذج تام التحديد ذي بقع انعراج حادة. وكذلك يبدي هذا النموذج سمة مشتركة للمنظومات شبه الدورية وإن تكن غير أساسية، فهو يمتلك تناظراً عشاري المرتبة ينتفي في المنظومات الدورية.

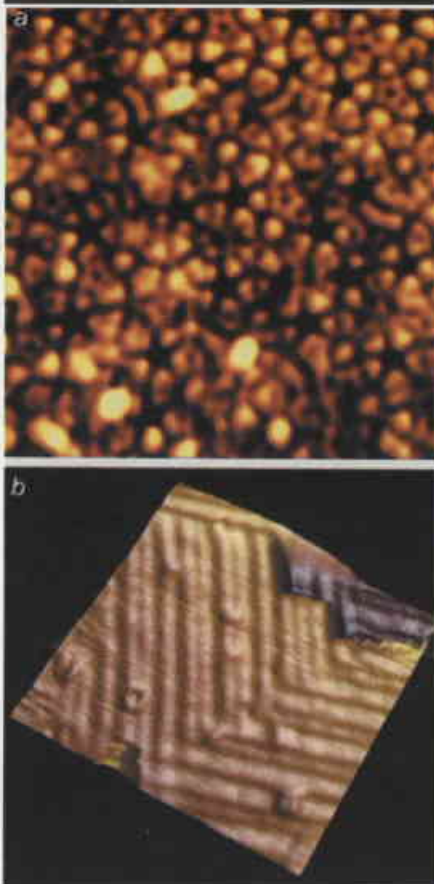
إن الرياضيات التي تشكّل أساس هندسة الرصف البنروي تتعلق بمجموعة أعداد تعرف باسم متتالية فيبوناتشي-Fibo-nacci sequence، وفيها يساوي كل عدد من أعداد المتتالية مجموع حديها السابقين (مثل المتتالية 1، 2، 3، 5، 8، 13، ...). وتكمن إحدى ميزات هذه المتتالية في أن النسب بين الحدود المتعاقبة تقترب من عدد أصم irrational يعرف باسم "المتوسط الذهبي" golden mean (يساوي تقريباً 1.618) حينما تكبر المتتالية باتجاه اللانهاية. وبافتراض وجود مساحة كافية للرصف فإن نسبة أعداد نمطي المعين rhombi في عملية رصف ما ستميل نحو هذه القيمة التي تظهر كذلك في أرجاء الطبيعة عند منظومات مثل الأصداف البحرية ونبات دوار الشمس. وفي الحقيقة وبكلمات بسيطة يمكن النظر إلى شبه البلورة على أنها نظير ثلاثي الأبعاد لرصف (تبليط) بنروزي Penrose tiling ذي عناقيد محددة من الذرات (تدعى تزيينات الرصف) تتوضّع عند رؤوس البلاطات.

## بلورات نانوية المقياس وفوق جزيئية

لقد تعلمنا الكثير عن خواص المنظومات اللادورية المنتظمة، وبدأنا الآن ندرِك كيف تتحرك الإلكترونات وتنتقل اهتزازات الشبكات lattice vibrations في هذه المنظومات. إلا أن الخلاط المعدنية التي تتشكل منها أشباه البلورات هي مواد معقدة ويصعب جداً تحديد خواصها الفيزيائية، بل وحتى تصعب تمييزها أصلاً. ونتيجة لذلك، ثمة اهتمام كبير بإيجاد منظومات شبه دورية أكثر بساطة وأقل أبعاداً.

تتمثل إحدى الطرائق لإنجاز ذلك باستخدام سطوح شبه بلورية كهيكل للنمو. وعندها تنمو بنى نانوية وأغشية رقيقة على سطوح شبه دورية وتكتسب بعدئذ تناظرات جديدة غير مألوفة وخواص تخصّ

الشكل 2 - غشاء فيبوناتشي نانوي المقياس



يكشف المجهر الماسح النفقي البنية الفيبوناتشية لسطوح شبه بلورية (مساحة كل من الصورتين تساوي  $10 \text{ nm}^2$ ).

(a) يحتوي السطح المتناظر الخماسي المرتبة لشبه بلورة من الألمنيوم والبلاديوم والمنغنيز على نجوم قائمة خماسية المرتبة وهي تمثل منخفضات شكلتها الذرات المحيطة بها.

(b) حينما يتنامى غشاء رقيق شبه دوري من النحاس على هذا السطح، تتشكل صفوف ذرات النحاس بحيث يفصل بينها نوصان من التباعدات (0.73 و 0.45nm). يكون قتالي صفوف النحاس شبه دوري، وتساوي النسبة بين هذين العددين المتوسط الذهبي ضمن حدود الخطأ التجريبي.

انتقالية كالحديد والكوبالت والنيكل، في حين أن أشباه البلورات المبنية على الزنك والمنغنيز تحوي عناصر ترابية نادرة مثل الهوليوم وجميعها ذات عزوم مغناطيسية قوية. ولكن التجارب التي أجريت على أشباه البلورات المغناطيسية أثارت بعض الخلاف.

في عام 1997 لاحظ بينوا شاربيه Benoît Charier وزملاؤه في مختبر لويس نيل للمغناطيسية والتابع لمركز البحوث CNRS في غرونوبل بفرنسا انتظاماً مضاد المغناطيسية الحديدية واسع المدى في شبه بلورة ذات عشرين وجهاً من عناصر ترابية نادرة. ولكن تاكو ساتو Taku Sato وزملاءه من معهد بحوث علم المواد في تسوكوبا Tsukuba في اليابان جادلوا بأن هذه التأثيرات تعود إلى أطوار بلورية مغناطيسية في العينة. بيد أن الموديلات النظرية تتنبأ بإمكانية وجود انتظام مغناطيسي واسع المدى في أشباه البلورات، وقد وجد فريق ساتو في عام 2000 ترابطات سبينية مضادة المغناطيسية وقصيرة المدى في أشباه بلورات ذات عشرين وجهاً مصنوعة من الزنك والمنغنيز والهوليوم. ولقد استنهض هذا الاكتشاف اندفاعاً من الفعالية بين فيزيائيين نظريين أخذوا يبحثون عن تفسير لهذه المغناطيسية عبر استخدام موديلات تقليدية وأخرى كمومية لسببنا متأثرة في ترتيبات شبه دورية ذات بعدين.

إن الذرات في شبه البلورة تجد نفسها في أوساط موضعية مختلفة، الأمر الذي يعني أن التأثيرات المغناطيسية غالباً ما يعثرها الإحباط ويكلمات أخرى لا يوجد أي بنیان ممكن يسمح للسبينات بالاصطفاف في اتجاهها المفضل. وثمة مثال مألوف على ذلك يتمثل في السبينات الحديدية المضادة على شبكة مثلثية triangular lattice. فالسبينات الثلاثة هنا لا يمكنها أن تترتب بحيث تكون جميع السبينات المجاورة معاكسة لها في الاتجاه.

يمكن نمذجة السلوك المغناطيسي في أشباه البلورات بشكل سبينات تقليدية (أي وحدة أشعة رئيسة) على رصف بنروز Penrose tiling، وتتأثر هذه الوحدة من خلال تأثر تقليدي ثنائي القطب. ومؤخراً أظهرت إلينا فيدميدنكو Elina Vedmedenko وزملاؤها بجامعة هامبورغ وكذلك معهد ماكس بلانك للبنى الميكروية في Halle (وكلاهما في ألمانيا) وبشكل نظري أن هذا النهج يقود إلى بنيانات configuration أساسية غير متوقعة تتشكل بسببها حلقات منتظمة عشوائية الوجهة تشتمل على سبينات مشوهة. ويمكن أن يشاهد ذلك في المحاكيات simulations وكذلك في موديل تجريبي ماكروسكوبي (عياني) يتألف من مغناط صغيرة على رصف بنروز (تبليط بنروز) (الشكل 3).

تكشف محاكيات مماثلة لمغانط حديدية مضادة تقليدية أجزها أحد المؤلفين لهذا المقال (أيوي غريم بالتعاون مع فيدميدنكو ورولاندر فایسندينجر Roland Wiesendanger من جامعة هامبورغ)، أن السبينات يمكن أن تقود إلى انتظام في المواد ذات المغناطيسية الحديدية المضادة على الرغم من توجيهها باتجاهات متباينة. وهنا

فوق جزيئية supramolecular ذات تناظر دوراني من المرتبة الثانية عشرة. وتتألف هذه البلورة من "دندرونات" dendrons (بمعنى جزيئات على هيئة أغصان الشجر تحيط بمجموعة جزيئات تتوضع في لبها). تجمعت الجزيئات ذاتياً على هيئة كرات تدعى مذيلات micelles تنتظم بعدئذ في بنية شبه دورية أثناء تبرّد السائل. ويكون شبه التبلور هذا ذا بعدين، لأن البنية تكون دورية باتجاه محور تناظر من المرتبة الثانية عشرة، بينما تكون شبه دورية في المستوي العمودي على المحور.

لقد حفزت الخواص غير المألوفة لهذه البنى الباحث أونغار والعاملين معه على إقامة علاقة رائعة مع مسألة كالفن Kelvin problem المشهورة والتي طرحها عام 1887 إذ تسأل عن الشكل الذي تتطلبه فقاعات متساوية الحجم حتى تشكل أقل مساحة سطح ممكنة من الرّبذ؟ وكان كالفن نفسه يظن أن الشكل هو بنية مكعبية متمركزة مملوءة بخلايا غير منتظمة لكل منها 14 وجهاً.

ولكن دنيس واير Denis Weaire وروبرت فيلان Robert Phelan من كلية ترينيتي في دبلن أظهرها أنه يمكن الحصول على سطح للرّبذ أقل مساحة إذا كان هذا الرّبذ يحتوي على نوعين مختلفين من الفقاعات: أحدهما ذو 14 وجهاً والآخر ذو 12 وجهاً. أما ما يطلق عليها اسم بنية فيلان واير Phelan Weaire فإنها ذات تناظر وثيق الصلة بتناظر شبه البلورة السائلة التي وجدها أونغار وزملاؤه، الأمر الذي يوحي بأن النماذج المبنية على هذا الطور العضوي قد تقود إلى حل أفضل لمسألة كالفن.

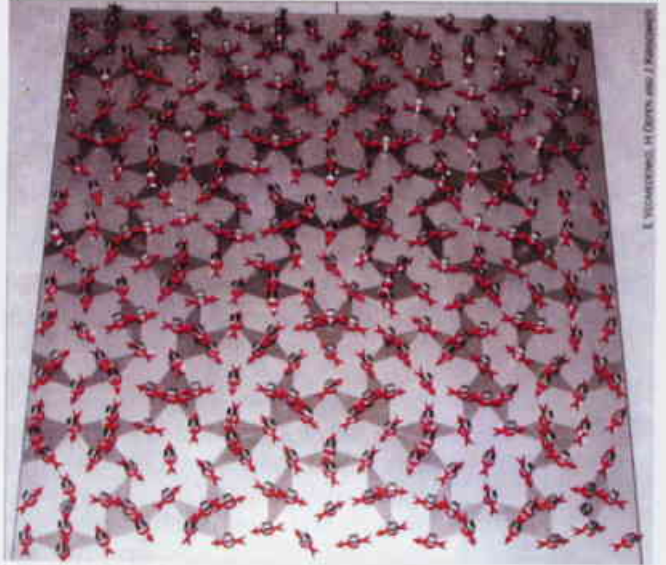
## الخلاف المغناطيسي

تعد المغناطيسية في أشباه البلورات أفقاً ساحراً، لأن الانتظام الذري الدوري غير المنتظم المعقد يمكن أن يؤثر على انتظام العزوم المغناطيسية. وعليه فإن أشباه البلورات المغناطيسية قد تفتح إمكانيات جديدة في تطبيقات السبينترونات spintronics مثل الصمامات السبينية أو رؤوس القراءة المغناطيسية. وفي الحقيقة، قد يكون بالإمكان تنمية طبقات سطحية شبه دورية ذات خواص مغناطيسية، لأن المغناطيسية تعتمد بدرجة كبيرة على الانتظام الواسع المدى للعزوم المغناطيسية في الأجسام الصلبة.

تتوجّه العزوم المغناطيسية في المواد ذات المغناطيسية الحديدية في نفس الاتجاه، في حين تتوجّه العزوم المتجاورة في المواد ذات المغناطيسية الحديدية المضادة antiferromagnetic باتجاهات متناوية. إن الآلية الفيزيائية التي تسبب هذا الانتظام معقدة ولكن يمكن وصفها بواسطة موديلات models بسيطة تتضمن العزم الزاوي الذاتي للإلكترونات أو سبيناتها وتسبب التأثير الذي يجعل السبينات القريبة تصطف في نفس الاتجاه أو في اتجاهات متعاكسة (أنظر مجلة physics world عدد تشرين الثاني/نوفمبر 2004).

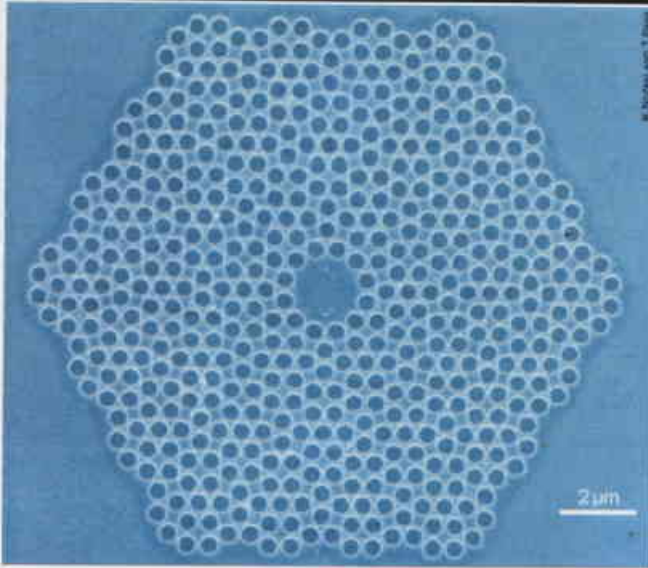
لدينا أسباب وجيهة تجعلنا نتوقع أن تكون أشباه البلورات مغناطيسية. فأشبه البلورات المبنية على الألمنيوم تحتوي على عناصر

### الشكل 3 - المغنطيسية في أشباه البلورات



تعتمد المغنطيسية على الانتظام الواسع المدى للعزوم المغنطيسية في الجسم الصلب، مما يعني أنها يمكن أن تكون مختلفة تماماً عن المنظومات الدورية. يتكوّن هذا الموديل الماكروسكوبي من مناطق صغيرة متوضعة على رؤوس الرؤف البروزي (تمثل الأسهم الحمراء العزوم المغنطيسية). ففي بنيانيات الحالة الأساسية تشكل بعض المغنطيسية حلقية عشوائية الأضلاع، في حين يبقى بعضها الآخر غير انتظام، وتكون حجوم هذه الحلقات متساوية على امتداد العينة، وتترابط الحلقات وفق قواعد محددة.

### الشكل 4 - مواد فوتونية شبه بلورية



يكون للبلورات الفوتونية شبه الدورية (التي تشكل فيها ثقوب دقيقة عديدة على نحو لادوري، ولكن وفق نموذج منتظم)، درجة من التناظر أعلى من تناظر نظائرها الدورية، مما يعني أنها تبدي خواص فوتونية متشابهة في جميع الاتجاهات. وفي هذا المشهد لشبه بلورة فوتونية ذات تناظر اثني عشري المرتبة مصنوعة بالطريقة الليثوغرافية (أي طريقة الطباعة الحجرية) عيب يتمثل في نقطة تفتقر إلى سبعة ثقوب تتوضع في المركز. يمكن أن تستحث في هذه البنية إصدار ضوء ليزري تتحدد فيه الأنماط بالفرجة العنصائية الفوتونية.

أعلى يجعلها تمتلك فجوات عصبائية تحدث بشكل أساسي عند الطاقة ذاتها بغض النظر عن اتجاه الانتشار.

يمكننا إنشاء بلورات فوتونية أحادية البعد بواسطة تكديس طبقات من مواد عازلة كهربائياً Dielectric وفق قواعد بسيطة، كذلك التي تشترطها متتالية فيبوناتشي. وفي الحقيقة، فإن ماهيتو كوموتو Mahito kohmoto وزملاؤه من جامعة أوتا Utah كانوا أول من اقترحوا في عام 1987 إنتاج طبقات من هذا القبيل، وفي عام 2002 بين مو وانغ Mu Wang وزملاؤه بجامعة نانجنج Nanjing في الصين أن الضوء يمكن أن ينفذ بصورة مثالية عبر بنية كهذه تتألف من طبقات من التيتانيوم وأكسيد السليكون.

ومؤخراً، استطاع توشييهيكو بابا Toshihiko Baba و كنفو نوزاكي Kengo Nozaki بجامعة يوكوهاما الوطنية في اليابان تصنيع ليزر فوتوني شبه دوري يبدي نمطين من نماذج الليزر lasing عند التواتر ذاته، (الشكل 4). ونشير إلى أنه لا يمكن تحقيق ذلك في البلورات الفوتونية الدورية، وأن هذه البنية تظهر بوضوح أن المواد الفوتونية شبه الدورية يمكن أن تقدم إمكانات أكبر وأداءً أفضل من نظائرها الدورية.

ثمة أصناف أخرى من البنى شبه الدورية تبدي خواصاً أعقد من خواص بنى فيبوناتشي. ففي متتالية "تومورس Thue\_Morse" مثلاً يتم ترتيب طبقتين ضوئيتين A و B لتشكيل متتالية BAABA. ولقد درست مؤخراً خواص الفجوة العصبائية لبني

تُمنع العزوم المغنطيسية من تشكيل بنية تامة مضادة التوازي بفعل الإحباط، ولكن يبدو أن هذه العزوم تنظم نفسها وفق نمط مثالي. إن بني مبتكرة كهذه يمكن أن تفسر وصفاً الانتظام الحديدي المضاد القصير المدى لأشباه البلورات التي تم رصدها. ومع هذا فثمة تفسيرات أخرى لما حدث اعتماداً على معالجة كمومية للسبينات كتلك التي تقدم بها أنورادا جاغاناثان Anuradha Jagannathan وزملاؤه من جامعتي باريس وكاليفورنيا الجنوبية Southern California.

### أشباه البلورات الفوتونية

وكذلك تقدّم التناظرات المعقدة في أشباه البلورات طرائق جديدة لمداولة الضوء. فمُنذ اكتشاف المواد الفوتونية في أوائل تسعينيات القرن المنصرم، بذلت جهود كبيرة لفهم المواد ذات الفرجات في العصبائب الفوتونية وتعد هذه الفرجات مناطق لا تسمح بانتشار الضوء في مجالات تواتر معينة. وتشبه المواد ذات الفرجة العصبائية الفوتونية نظائر كهرمغنطيسية لأنصاف النواقل، وهي مواد مثيرة للاهتمام نظراً لإمكانية استخدامها في صنع نبائط إلكترونية مكروية مبنية على الفوتونات بدلاً من الإلكترونات (انظر مجلة Physics World عدد أغسطس/آب 2000).

إن التحدي الذي نصادفه حين إنشاء مواد فوتونية حقيقية يتمثل في تصميم فجوة عصبائية تسلك السلوك نفسه في جميع الاتجاهات. ويصعب تحقيق هذا الأمر في بلورة دورية لأن الدور pe- riód يختلف باختلاف الاتجاهات. أما أشباه البلورات فتمتلك تناظراً

وكذلك تطرّقنا فقط للتطبيقات المحتملة لأشباه البلورات نفسها. بيد أن الخواص الفيزيائية العديدة الهامة وغير الاعتيادية لهذه المواد تشتمل على ناقلاتها الحرارية والإلكترونية المنخفضة جداً، وكذلك توترها السطحي المنخفض، ومقاومتها الممتازة للاهتراء، ومعامل الناقلية النوعية الكهربائية السالب، بالإضافة إلى انخفاض طاقتها السطحية. ولقد قادت هذه الخواص إلى وافر من أفكار تخصّص التطبيقات، مثل الأغشية المقاومة للاهتراء، وتخزين الهيدروجين، والمنظومات التحفيزية catalytic systems والإلكترونيات المكروية. ويجري الآن تقصّي هذه التطبيقات بعمق في مختبرات شتى على امتداد العالم.

لقد فتنت أشباه البلورات العلماء منذ اكتشافها، ليس بسبب تناظراتها المحرّمة وحسب، بل وكذلك بسبب الطبيعة المعرفية المتمازجة لأشباه البلورات. فلقد حضر المؤتمر الدولي حول أشباه البلورات والذي يعقد مرة كل ثلاث سنوات فيزيائيون، وكيميائيون، وعلماء مواد، وعلماء بلورات، وعلماء تعدين، إضافة إلى رياضياتيين ومهندسين وغيرهم. وبينما يعزّز هذا الميدان لفيف غني من مفاهيم معتمدة فإن ثمة وفرة من الفرص الشيقية والمسائل المثيرة يمكن أن يتصدى لدراستها باحثون جدد. ويبدو من المؤكد أن الجمال الممتنع لأشباه البلورات سيواصل اجتذاب معجبين جدد لعدة سنوات قادمة.

متعددة الطبقات كهذه من قبل لوكا دال نيفرو Luca Dal Negro وزملائه من جامعة ترينتو بإيطاليا الذين وجدوا خواصّ ملفتة للنظر تخصّص نفاذية الضوء وانعكاسه (انظر مجلة Physics World، عدد نيسان/إبريل 2003). وفي الحقيقة، فإن هذه الخواص إذا ما جمعت إلى مرونة تنمية طبقات متعددة ذات أشكال مختلفة يمكن أن تقدم فرصاً جديدة جذابة لإنتاج تجايف ليزيرية متعددة التواتر ولصنع محسّرات ومرشحات ضوئية كثيفة.

## توقعات مستقبلية

حاولنا في هذا البحث الوجيه إضافة نكهة على بعض مجالات من البحوث العلمية قادنا إليها بصورة مباشرة أو غير مباشرة اكتشاف أشباه البلورات. وهناك مجالات أخرى تطبّق فيها أفكار مبنية على أشباه البلورات نذكر منها الفونونيات Phononics وهي المعادل الصوتي للفوتونيات photonics. ولما كانت أشباه البلورات موحّدة الخواص في جميع الاتجاهات isotropic فيما يتعلق بانتشار الأمواج الصوتية، فإن بالإمكان صنع مواد ذات فرجات عصبائية فونونية. وثمة مجال آخر قيد الاهتمام حالياً يتمثل في تشكيل نماذج ذات بُعدين اثنين في طبق مائي عن طريق إخضاع هذا الطبق إلى اهتزازات شاقولية ذات تواترين. وتدعى هذه التجارب تجارب موجة فارادي Faraday wave experiments.



# أخبار علمية





## 1- آثار الإشعاع على الصحة \*

يمكن أن تكون للرأي المثير للجدل القائل بأن كميات صغيرة من الإشعاع ربما لا تكون ضارة بالفعل عواقب اجتماعية واقتصادية كبيرة

ليس هناك من قضايا متعلقة بالفيزياء حساسة سياسياً أو ذات تأثير محتمل على المجتمع مثل تأثيرات السويات المنخفضة من الإشعاع على الصحة. فإذا اعتبر حد كمية الإشعاع التي يُسمح بأن يتعرض لها المرء عالياً جداً، فربما عانى الناس من أذية إشعاعية. أما إذا كانت الحدود منخفضة جداً، فقد يصبح استخدام العديد من التقنيات السريرية والتشخيصية - إضافة إلى أدوات البحث التي تعتمد على النظائر المشعة - غير عملي أو مستحيلًا. ومثل هذه الحدود قد تؤدي أيضاً إلى إنفاق بلايين الدولارات على تنظيف كميات صغيرة جداً وغير ضارة من المواد الإشعاعية.

وهذه القضية على وشك أن تثير القلق أكثر من ذلك. يقول أنطون بروكس A. Brooks، وهو متخصص في علم السموم الإشعاعية بجامعة ولاية واشنطن: "هنالك تغير أساسي في البيولوجيا الإشعاعية". منذ عام 1999 اشترك في برنامج بحثي برعاية وزارة الطاقة الأمريكية (DOE) يدرس تأثيرات كميات صغيرة من الإشعاع على المتعضيات. والآن يعمل بروكس مستشاراً لموقع الجامعة (lowdo se.tricity.wsu.edu) الذي يراقب برنامج وزارة الطاقة ويقدم معلومات للجمهور حول هذا الموضوع. ويبدو أن تأثير كميات صغيرة من الإشعاع أكثر تعقيداً بكثير مما كان يُظن في السابق، فهو مزيج من مجموعة من الآثار المفيدة والضارة التي - تحت عتبة معينة - ربما تكون غير ضارة للمتعضية.

هذا التغير الأساسي له نتائج اجتماعية واقتصادية كبيرة، وسوف يثير الجدل. فالفكرة القائلة بأنه لا ينبغي أن يقلق الناس بشأن الإشعاع عندما يكون دون عتبة معينة، على سبيل المثال، تعارض افتراضات واهتمامات الناشطين المعارضين للطاقة النووية. فهم يذكرون بشكل منتظم الآثار الصحية السلبية المفترضة للجرعات الصغيرة جداً من الإشعاع في الحملات ضد محطات الطاقة النووية، وشحن المواد المشعة، وتخزين النفايات المشعة. وهذا يمكن أن يجعل سن تشريعات ذات قاعدة علمية غير شعبي على الصعيد السياسي.

### النموذج القديم

إن بروكس لديه رهان شخصي في البحث الإشعاعي. فقد شب في أوتا Utah التي تبعد حوالي 100 ميل عن موقع اختبار عسكري أمريكي فوق الأرض للأسلحة النووية. كانت التفجيرات تحدث في الصباح الباكر، وكان بروكس غالباً ما يراقبها وهي تضيء السماء



نقطة التحكم -  
حيث ينبغي وضع  
حدود الإشعاع

ويشعر أنها أحدثت هزة أرضية. في عام 1953، عندما كان في المدرسة العليا كان أحد أسوأ هذه الاختبارات واسمه "Dirty Harry" قد نشر سقطاً ذرياً fallout فوق مدينته بعد تغير غير متوقع في اتجاه الرياح.

أصبح بروكس مهتماً بالسقوط وتأثيراته، وفي عام 1963 من أجل الحصول على درجة الماجستير في جامعة أوتا، أجرى دراسات على السقوط في مزارع إنتاج الألبان في الولاية. ومن أجل الحصول على درجة الدكتوراه في كورنيل، درس تأثيرات الإشعاع على الصبغيات وتعلم تعقيدات "منحني التأثير/الجرعة"، الذي يرسم بياناً للضرر البيولوجي لمتعضية بدلالة الجرعة التي تتلقاها. وتبدأ البيانات في هذا المنحني من جرعات كبيرة نزولاً إلى جرعات 25 راد تقريباً، حيث لا تكون مخاطر السرطان مختلفة على نحو بارز عنها في حالة إشعاع الخلفية. وتحت تلك النقطة، لا توجد بيانات حتى زمن قريب على الأقل.

فماذا يحدث تحت تلك الجرعة؟ إن الطريقة التقليدية للإجابة على هذا السؤال - النمط القديم - كانت ببساطة رسم خط مستقيم بين أخفض نقطة بيانية ومبدأ الإحداثيات. بمعنى آخر، افترض الناس أن أي كمية من الإشعاع - مهما تكن صغيرة - تحدث تأثيراً ضاراً إلى حد ما، وليس هنالك عتبة لا يكون للجرعات دونها تأثير ذو شأن. والتخمين - وكان ذلك مجرد تخمين - فرضته صورة فيزيائية تدعى "نظرية الضربة" hit theory، التي تقول بأن خلية واحدة يضربها جسيم مؤين واحد تؤدي إلى طفرة واحدة.

يقول بروكس: "لقد قدمت نظرية الضربة صورة جميلة وأنيقة طالما أحبها الفيزيائيون، لكننا نحن البيولوجيين صدقنا الفيزيائيين لفترة طويلة أكثر من اللازم".

### النموذج الجديد

إن برنامج وزارة الطاقة الأمريكية المتعلق ببحث الإشعاع المنخفض الجرعة مصمم لدراسة التأثير بين الجرعات المنخفضة

## 2- الأوزون يعقد موضوع التبدل المناخي ☆



يساهم الأوزون، كواحد من ملوثات الهواء، بشكل عميق في تغيير طريقة تشكل الغيوم، وذلك من خلال تحطيم المركبات العضوية التي تغطي عادة الجسيمات المنقولة جواً وتبطن تشكل القطيرات. ووفق ما أورده الباحثون الذين أعلنوا عن هذه الآلية المكتشفة حديثاً فإنها يمكن أن تكون لها تأثيرات كبيرة على المناخ. والمشكلة أن أحداً لا يعلم ما إذا كان هذا التأثير سيسرع الاحترار العالمي أم سيبطئه.

تتظلل الأرض بالغيوم التي تساعد في تخفيف الاحترار العالمي. إن الاكتشاف الجديد سيضاف إلى الهموم حول كم هي قليلة معرفتنا فيما يتعلق بالعمليات التي تتشكل بموجبها الغيوم وإلى أي مدى تتأثر الغيوم بالنشاط البشري، تعدُّ الغيوم الآن الارتباب الأكبر فيما يتعلق بالتنبؤ بسرعة التبدل المناخي.

تتشكل الغيوم من قطرات تتكون أثناء تكاثف بخار الماء على جسيمات صلبة غالباً ما تكون أملاحاً بحرية معلقة في الهواء، تنمو القطيرات وتتصادم وتتحم لتشكل قطرات كبيرة إلى حدِّ كافٍ لتسقط مطراً.

ففي هواء نظيف، تتباطأ عملية نمو القطرات بسبب وجود أغشية عضوية تتشكل طبيعياً على سطح جسيمات الملح البحري. ولأن هذه الطبقات العضوية كارهة للماء فهي بالتالي تعيق احتمال تقبل الجسيمات للماء، وتعمل ككابح طبيعي في تشكل الغيوم وتساقط المطر. ولكن في دراسات أجرتها كاثرين تومسون وزملاؤها من جامعة لندن في مختبر أبلتون في مقاطعة أكسفورد، في المملكة المتحدة، قاموا، ولأول مرة، بقياس كيفية مهاجمة المؤكسيدات الطبيعية والمصنعة الموجودة في الجو لهذه الطبقات العضوية. فقد قاموا بضخ رذاذ دقيق من مياه البحر وحمض الأوليك (حمض الزيت) في غرفة معدنية، ومن ثم أدخلوا الأوزون. وباستخدام مطيافية رامان، تمكن الباحثون من معرفة التأثير

والمنظومات البيولوجية. وقد قاد البحث المستنبت من هذا البرنامج الناس إلى معرفة أهمية العوامل المختلفة التي تتعارض مع افتراضات النموذج القديم، وأهم ثلاثة منها هي: الاستجابة التلاؤمية، والتأثيرات غير المشاركة وعدم الاستقرار الجينومي. يُقصد بالاستجابة التلاؤمية أنه عندما تُضرب خلية أو منظومة بيولوجية أخرى، فيمكنها أن تتلاءم مع الأذية - أي أنها لاتصبح فقط مقاومة للضربات الأخرى، بل للأنواع الأخرى من التعرضات الضارة، كالجنور الحرة. أما التأثيرات غير المشاركة فتعني أن ضرب خلية واحدة يمكن أن يؤثر عليها وعلى الخلايا المجاورة أيضاً. والخلايا غير المضروبة، على سبيل المثال، يمكن أن تساهم في الاستجابة التلاؤمية، ويعني عدم الاستقرار الجينومي أن أثر ضرب خلية واحدة قد لا يظهر مباشرة وإنما يظهر بعد أن تخضع الخلية لعدد كبير من الانقسامات الخلوية. ويمكن أن ينطوي العاملان الأولان على نتيجة نهائية مفيدة في حين أن الثالث ضار.

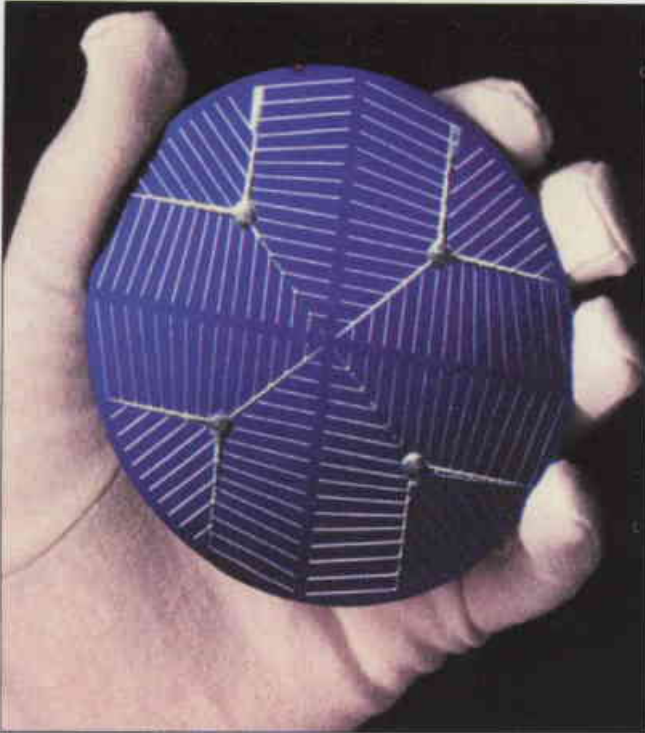
وعلى مدى عدة عقود أُطلق على الفكرة القائلة بأن للجرعات المنخفضة من الإشعاع تأثيرات إيجابية على الصحة اسم "الحفز hormesis" التي كانت يخلط بينها أحياناً وبين الاستجابة التلاؤمية، لكن الحفز ينتمي، كما يقول بروكس، إلى النموذج القديم المتعلق بضرية واحدة تؤدي إلى أثر واحد فقط مع تغيير إشارة التأثير في المتعضية من السالب إلى الموجب. ويضيف قائلاً أن البحث الجديد يوحي بضرورة تغيير فهمنا كلياً حول كيفية انتقال خلية من عادية إلى خبيثة. وثمة مزيج معقد من العوامل يفعل فعله، إذ تحصل أمور عند جرعات عالية ولا تحدث عند جرعات منخفضة، ولابد أن تكون ثمة عتبة.

### النقطة الحرجة

ثمة خطران في حالة التزمنا جانب الحذر وأخذنا حدوداً للإشعاع منخفضة جداً. أحدهما مالي: فحدّ محافظ إلى حدِّ الإفراط يمكن أن يضع الموارد المحدودة على تهديدات أقل خطورة أو حتى غير موجودة. في حين يستمر تعريض الناس إلى تهديدات أكثر خطورة لكنها مثيرة بدرجة أقل من الناحيتين العاطفية والسياسية، كالتهديدات التي تشتمل على ملوثات كيميائية أو شروط غير صحية. وثمة خطر آخر مفاهيمي: فحدّ محافظ بإفراط يعزز الخوف من تهديدات صغيرة جداً أو غير موجودة وبالتالي يقلل من أهمية قدرة المجتمع على التمييز بين الأخطار الفعلية والأخطار غير الفعلية. ويمكن بسهولة أن يتحول حدّ الوقاية الإشعاعية المحافظ بإفراط إلى خط ماجينو بيئي - وهو أمر ضار لأنه يضع الموارد القليلة ويكون عرضة للمناورة السياسية ويعزز الجهل الشعبي وليس السلامة.

إن حدود الوقاية الإشعاعية تقدم مع ذلك مجالاً آخر تهدد فيه الأيديولوجيات ومحاولات وضع سياسات تعتمد على العلم السليم. □





لا تزال الخلايا الشمسية المصنعة من مواد بلورية لاعضوية هي المسيطرة على السوق.

قال السيد تشنق تانغ: "هذا تطور هام جداً" وهو فيزيائي كيميائي في شركة إيستمان كوداك في روتشيستر، نيويورك، الذي طور فريقه أول خلية شمسية مبنية على المادة العضوية في عام 1986. ولا يزال الخبراء يقولون بأنه من المرجح أن ترتفع معدلات كفاءة الخلايا العضوية لتبلغ 10% حتى تتمكن من إحداث انطلاقة قوية في سوق الخلايا الشمسية.

لقد كان من الصعوبة بمكان الوصول إلى كفاءة مقدارها 6%. ومن بين أكثر المشاكل كانت خواص الامتصاص الضوئي الضعيفة للمواد.

ولإعطاء الخلايا الشمسية إمكانية التقاط أفضل للفوتونات الواردة من الشمس، لا بد من أن يستعمل الباحثون طبقة عضوية ماصة للفوتونات ثخينة أولاً ولكن إذا كانت هذه الطبقة ثخينة جداً فإن الفوتونات الممتصة ستولد حرارة قبل أن يتم تحويلها إلى كهرباء. فعملية امتصاص الفوتون تولد جسيماً اسمه إكسيتون يتكون من إلكترون متار مرتبط مع معاكسه ذي الشحنة الموجبة "الثقب". وحتى تتولد الكهرباء لا بد لهذه الإكسيتونات من أن تجد طريقها إلى سطوح المادة التي يجب أن تكون مهيأة طاقياً لفصل هذه الإكسيتونات إلى شحناتها المتعاكسة، والتي يجب عندها أن تجد طريقها إلى الأقطاب المشحونة المتقابلة. ولسوء الحظ فإن هذه الإكسيتونات تسير عادة مسافات صغيرة قبل أن تتحد مكوناتها من الإلكترونات والثقوب مجدداً فتطلق طاقتها الزائدة على شكل حرارة.

التأكسدي للأوزون فهو إما أن يدمر الطبقة العضوية حول جسيمات ملح البحر المنفردة، أو يحولها إلى طبقة أكثر ذوباناً في الماء.

أشار الباحثون في تقريرهم الصادر في مجلة الجمعية الكيميائية الأمريكية (JACS Communications) إلى أن القطيرات الناتجة المتشكلة تكبر بما يزيد عن الخمس.

تتضمن المؤكسدات في الجو الهيدروكسيل والأوزون الذي يتشكل في دخان المدن إنما ينتشر لاحقاً حول العالم. وبسبب التلوث فقد تضاعف تركيز الأوزون في الطبقة الجوية السفلى خلال العقود الأخيرة.

والسؤال الآن: ما هو تأثير التراكم الممكن لمؤكسدات مثل الأوزون على الغيوم والمناخ. قالت تومسون: "نحن نعتقد أن تغير حجم الجسيمات الذي لاحظناه قد يكون عاملاً أساسياً في تحديد تشكل جديد للغيوم وفي انعكاسية الأرض، وبالتالي فله تأثير مناخي رئيسي". ولكن أي تأثير بالضبط، هذا يبقى غير واضح.

أحد الإمكانات هو أنه مع وجود قطيرات تنمو بسرعة كبيرة تتشكل غيوم أكثر، مما سيظل سطح الكوكب ويساعد في تخفيف الاحترار العالمي. والأمر المحتمل حدوثه بشكل مساوٍ هو أن تنامي أسرع للقطيرات سيؤدي إلى الغيوم ستنج مطراً بسرعة أكبر، وتتبعثر بسرعة، مما سيقود إلى عالم أقل غيوماً وأسرع احتراراً.

وتقول تومسون: "ليس من السهل التنبؤ ما إذا كان التأثير سيؤدي إلى الاحترار أو التبريد. فنحن بالفعل نحتاج إلى دراسات نموذجية خاصة تتضمن فيزياء - مكروية للغيوم". ويوافق غراهام فينغولد المتخصص في نمذجة الغيوم في الإدارة الوطنية للمناخ والمحيط في بولدر، كولورادو، في الولايات المتحدة، على أن تحطيم الطبقات العضوية حول الجسيمات الملحية ربما سيقود إلى توليد مزيد من القطيرات. ولكنه يقول محذراً: "نظراً لقلة ما يُعرف عن طبيعة ووفرة وتوزع المركبات المكونة للأغشية العضوية فإنني أرى أن توقع التأثيرات المناخية الكبيرة هو أمر تخميني إلى حد بعيد". □

### 3- الخلايا الشمسية العضوية تحاول اللحاق

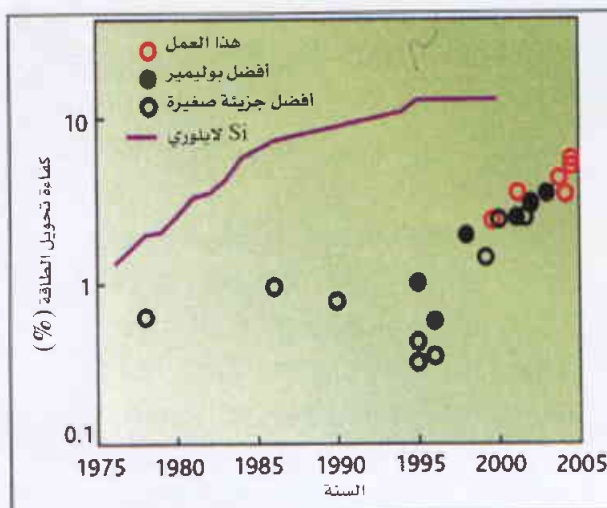
أنجز الباحثون في مجال الإلكترونيات في السنوات الأخيرة تقدماً كبيراً في تحويل المواد العضوية إلى مواد مصدرة للضوء وإلى دارات منطقية للحاسوب. لكن حلمهم في أن تؤدي هذه التطويرات إلى خلايا شمسية عضوية جديدة رخيصة وسهلة التصنيع، أحبطه انخفاض معدل تحويلها ضوء الشمس إلى كهرباء. لكن ستيفن فورست S. Fovrest من جامعة برنستون وطالبه جيا فنغ كو J.Xu أعطيا بريق أمل لمستقبل الخلايا الشمسية العضوية وذلك برفع كفاءة هذه الخلايا من بضعة أجزاء من المئة إلى نحو 6%.

## 4 = لقاح لمرض القلب يلوح في الأفق\*

يمكن أن تفيد مجموعة من الحقنات أثناء الطفولة في وقاية الناس من مرض القلب في مراحل لاحقة من العمر. وبالنسبة لأولئك المصابين بانسدادات في الشرايين، فقد تُقدّم جرعة من الأضداد antibodies على شكل لقاح فوائده فورية. تلك هي الرؤية الجذابة التي تطرحها الدراسات الجارية على الحيوانات.

"إنها لفكرة جذابة جداً" حسبما يقول خبير القلب أندرو نيوباي A. Newby في مشفى بريستول الملكي في المملكة المتحدة، الذي ترأس إحدى جلسات اجتماع شبكة المختصين الأوروبيين بعلم الوراثة العائلية الذي انعقد في كامبردج مؤخراً حين جرى عرض بحث هذا اللقاح. وأضاف هذا الخبير إلى ذلك قوله: "سيكون اللقاح من حيث المبدأ معالجة في زمن قصير ولكنه يعطي وقاية طوال العمر".

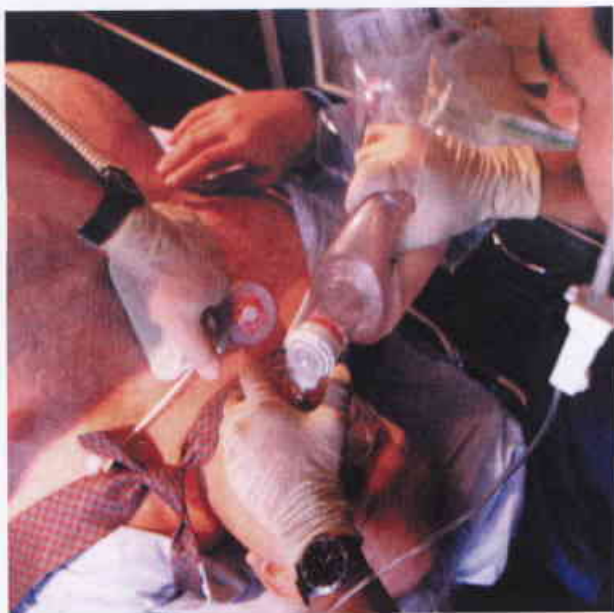
يشكل المرض الإكليلي القلبي السبب الرئيسي للموت في العالم، إذ يحصد ما ينوف على سبعة ملايين ضحية سنوياً. صحيح أن العوامل الوراثية تلعب دوراً فيه، ولكن ثمة خيارات في أسلوب الحياة مثل التدخين والغذاء العالي الدسم تُعدُّ مسؤولة كذلك. فمعظم نوبات القلب تسببها جلطات دموية في شرايين القلب توقف تزويد عضلة القلب بالدم. وغالباً ما يتمثل المسبب المباشر لذلك في انفصال لويحات plaques دسمة تبطن شرايين القلب ضمن ما يصفه غوران هانسون G. Hansson في معهد كارولنسكا باستكهولم في السويد بـ "عصيدة خطيرة" مؤلفة من فسفوليبيدات وبروتينات ملتصقة بالصفائح الدموية platelets، وتشكل هذه اللويحات المنفصلة ما يسمى بالجلطة clot.



تزداد كفاءة الخلايا الشمسية العضوية فتترب من تلك الخلايا السليكونية اللايلتورية.

لقد طبقت مجموعة فورست حلاً متشعباً لهذه المشكلة والمشاكل الأخرى، فبدؤوا بطبقات من مواد ذات امتصاصية مختلفة للفوتونات - مزيج من فتاليوسيانين النحاس والكربون 60 محضرة بحيث تتيح للإكسيتونات الانتقال أكبر مسافة ممكنة قبل اتحادها. وثانياً ولزيادة ميزة فصل شحنات الإكسيتونات، شكلوا مناطق اتصال تؤدي إلى زيادة سطح المنطقة بين المواد الماصة والطبقات العضوية الأخرى المصممة لتحريك الإلكترونات والثقوب باتجاه الأقطاب المتعاكسة. وبعدها وبسبب كون شدة الضوء في الخلية أعلى ما يمكن عند نحو مئة نانومتر من القطب المشحون سلباً فإن الباحثين قاصوا الفراغ بين ذلك القطب والطبقة الماصة للفوتونات لكي تكون قمة الشدة الضوئية واقعة في البقعة المرغوبة من المادة الماصة للفوتونات.

وأخيراً فقد كدس فريق فورست الخلايا الشمسية بعضها فوق بعض بحيث إنه حتى إذا لم تتمكن الخلية الأولى من امتصاص كامل الضوء الساقط فإن الخلايا الأخرى ستكمل العمل، والتركيب الناتج لهذه الخلايا الذي نشر في 6 كانون الأول في مجلة Applied Physics Letters قاد إلى زيادة مذهلة في الكفاءة. وعلى الرغم من هذا فإن كفاءة الخلايا الشمسية العضوية لا تزال منخفضة جداً حتى تتمكن من الدخول إلى السوق، كما يقول تانغ. لكن لدى فورست خططا لزيادة كفاءة هذه الخلايا بشكل أكبر وذلك بإضافة طبقات تمنع انعكاس الضوء وخروجه من الخلية، إضافة إلى أمور أخرى. ويجب كذلك على مصنعي الخلايا الشمسية العضوية أن يبرهنوا على أن عناصرهم يمكنها أن تتحمل التعرض الطويل للعوامل الجوية القاسية من حرارة وأمطار وثلج وجليد ورياح. وكما قال تانغ حتى تحصل على كفاءة بحدود 6% فإنه لا بد من أن يكون كل شيء صحيحاً. □



\* نُشر هذا الخبر في مجلة NewScientist 25 December 2004, 1 January 2005.

من العالم مصانع البروتين الخلوية التي تُدعى (الريبوزومات) على إضافة حموض أمينية غير مألوفة ومجموعات عضوية أخرى إلى السلاسل البروتينية. واليوم، حقّق باحثون من معهد ماساشوسيتس للتقانة وجامعة تكساس في أوستن إمكانية جعل الريبوزومات تُزيّن البروتينات بجسيمات نانوية ذهبية لا عضوية. ويمكن أن يفتح هذا الإنجاز الباب لاختبارات جديدة حول الإمكانيات الإنشائية للريبوزومات وكذلك ابتكار طرق مُحدّثة لتصوير البروتينات.

يقول ستيفن بينر S. Benner، وهو مختصّ بالكيمياء الحيوية في جامعة فلوريدا بمدينة غينزفيل، ويحتلّ مختبره موقعا رائداً في تقنيات البيولوجيا التركيبية synthetic biology لتوسيع الأبجدية الجينية بهدف اصطناع بروتينات مستحدثة: "إن هذا الشيء حلّو إلى حدّ ما". ويذكر بينر أن دقائق الذهب تميل للظهور واضحة وبمميّز resolution كبير في تقنيات تصوير، مثل المجهر الإلكتروني النافذ. وهذا يجعل رقع الذهب البالغة الصغر مفيدة في إيضاح بنية بروتينات، مثل البروتينات المنظّمة في الأغشية الخلوية، والتي يصعب تصويرها باستخدام تقنيات التصوير البروتيني التقليدية، مثل التصوير البلوري بالأشعة السينية x-ray crystallography. وينبغي لترصيع البروتينات بدقائق نانوية مختلفة الحجم أن توفّر للباحثين طريقة جديدة لدراسة مسائل أساسية حول الريبوزومات، مثل كبر الدقائق التي يمكن لهذه المصانع (أي الريبوزومات) أن تتعامل معها.

يستند البحث الجديد إلى تجارب سابقة كانت الكيمائية أنجينا بلشر A. Belcher وزملاؤها في جامعة تكساس قد أنشؤوا فيها بروتينات بكتيرية قادرة على بناء أنماط مختلفة من دقائق نانوية لا عضوية (الصفحة 2442 من عدد شهر ديسمبر/كانون الأول لعام 1999 من مجلة Science). ولكن هذه التقنية لم تستطع أن تتحكّم في المواقع النهائية لاستقرار الدقائق النانوية على البروتينات. وقد ذكرت تلميذة بلشر (أيونا بافل I. Pavel) أثناء الاجتماع أنها بالتعاون مع أستاذتها قد توصلتا إلى حلّ المشكلة بفضل المساعدة الكبيرة من جانب الريبوزومات، إذ إن هذه المصانع التي تبني البروتينات تقرأ الكود الحمضي النووي للرنا الرسول messenger RNA (التي تمثل بنفسها ترجمة مشتقة من الدنا) وتتبع تعليماته في تجميع الحموض الأمينية حسب التتالي sequence المبرمج في ذلك الكود. وبهذه العملية، التي تُعرف باسم الترجمة translation، تظهر تعليمات الرنا الرسول على هيئة خط من كلمات ثلاثية الحروف تُدعى الكودونات codons. وفي الريبوزوم، ثمة مجموعة أخرى من جزئيات رناوية تُدعى الرنا الناقل transfer RNA تملك كودونات قارئة للرنا الرسول عند إحدى نهايتيه وتحمل الحمض الأميني الموافق عند نهايته الأخرى. وتقوم هذه المجموعة (أي الرنا الناقل) بترجمة تلك الكودونات إلى

تبحث مجموعات عديدة على امتداد العالم في طرق تمنع تشكل هذه اللويحات أو ما يسمّى التصلب الشرياني atherosclerosis. فهذه العملية تتضمن تآثراً interaction معقداً بين جهاز المناعة والبروتين الدهني المنخفض الكثافة (LDL) الذي يضم الكوليسترول في الدم.

منذ حوالي عشر سنوات حاول جان نلسون J. Nilsson في جامعة لوند بالسويد إثارة هذه الاستجابة المناعية عبر إعطاء LDL المؤكسد للفئران، إذ إن LDL المؤكسد هو الشكل الرئيسي للبروتين الموجود في اللويحات، وتوقع نلسون بذلك أن يرى مزيداً من التصلب الشرياني. ولكنه كان على خطأ، حتى إنه قال: "لقد أذهلنا عدم التصلب الشرياني لدى الفئران".

ومن هنا شرع نلسون يُفكّر بإمكان تلقيح المرضى ضد التصلب الشرياني، وهي فكرة أخذت مجموعته ومجموعة هانسون تبحثانها كل على حدة. ويستخدم الفريقان كلاهما شذفاً fragments من الشكل المؤكسد للبروتين الدهني المنخفض الكثافة oxidised form of LDL من أجل تحريض جهاز المناعة على مهاجمة اللويحات عند بداية تكوّنها.

ولاختبار هذه الفكرة قام الفريقان بحقن مجموعات الفئران بشدّف LDL أو بشاهد من الماء المالح. فأبدت الفئران التي أعطيت لقاح الـ LDL انخفاضاً يصل إلى 70 في المئة في عدد اللويحات كما ظهر توقف في تنامي اللويحات الموجودة حسبما ذكر نلسون وهانسون في اجتماع كامبردج. ولم تكن هناك علامات لأية تأثيرات مرضية.

"إنها فكرة جذابة جداً. فمن حيث المبدأ، سيكون اللقاح معالجة في زمن قصير نسبياً ولكنه يعطي وقاية طوال العمر".

لقد قطع نلسون شوطاً أبعد مما تقدم لدى تقصّيه ما إذا كان حقن أضداد شدّف LDL، بدلاً من انتظار قيام الجسم بإنتاجها بعد اللقاح، يؤدي النتائج نفسها كذلك. توحي التجارب الأولية في الفئران بأن هذه الأضداد المحقونة تكون فعالة خلال زمن قصير وذات فعالية تعادل فعالية اللقاح تقريباً.

ولغرض تعميق هذه الفكرة انضم نلسون إلى شركة Bioinvent السويدية. ويأمل نلسون وهانسون أن يبتدئا تجارب أولية على البشر في غضون سنتين. بيد أنه ما من أحد حتى الآن يفهم الآليات المعنيّة بذلك أو ما إذا كان هذا المدخل سيصلح في حالة البشر. □

## 5- مهندسو البروتينات يستهدفون الذهب\*

لقد غدت البروتينات شجرة عيد ميلاد محبّبة لدى المختصين في الكيمياء الحيوية بحيث تتقبّل جميع أنواع الزينات الجزيئية. وفي السنوات الأخيرة، استحثّت مجموعات بحثٍ في أرجاء مختلفة

\* نُشر هذا الخبر في مجلة Science, Vol 306, 17 December 2004.



منذ أمد في تطبيقات مثل إشارات المرور الضوئية وإشارات سكك الحديد وأضواء مدارج المطارات، وأضواء الدراجات، وأضواء المكابح وأضواء التلفزيون الخلفية وكل أشكال هندسة الأضواء الكشافة.

فلماذا إذن مازلنا لا نستخدم الديودات LED في إنارة بيوتنا؟ إن العقبة في ذلك تكمن في كونها لا تستطيع بكفاءة إصدار الضوء الأبيض الدافئ الذي نحصل عليه من منابع التقليدية، على الأقل حتى الآن. ويتنبأ المهندس شوپرت الذي يعمل في معهد Rensselaer البولتيكنيكي في نيويورك قائلاً: "لاشك أن هذا سيحدث على الرغم من العوائق التقنية".

تمتاز الديودات LED بمزايا كثيرة عن المصابيح المتوهجة في الوقت الحاضر، فالشعيرة filament المتوهجة يجب أن تصل إلى 2000 درجة سلزية قبل أن تصدر الضوء. وفي أضواء إشارات المرور، على سبيل المثال، يستخدم مصباح كهربائي مزود بمرشح filter أحمر ما بين 100 و150 واط في حين تحتاج صفيقة تتألف من 12 من الديودات الحمراء التي تستخدم الآن في 70% من أضواء إشارات المرور في كاليفورنيا 12 واط فقط. أضف إلى ذلك أن درجة الحرارة المنخفضة للديودات LED أثناء عملها يعني أنها يمكن أن تدوم عشرات السنين لأنها لا تحتوي على شعيرة ساخنة تفتنى بالاحتراق. وعلاوة على ذلك، فهي لا تحتاج لإيوائها في حيازة زجاجية سريعة العطب.

لكن الديودات LED ما تزال غير قادرة على التفوق على المصابيح المتفلورة. إن مصابيح الفلورة fluorescent أكثر كفاءة بخمس مرات من مصابيح التوهج. وهي تولد الضوء عن طريق استتارة ذرات بخار الزئبق في أنبوب زجاجي فتجعلها تطلق ضوءاً فوق بنفسجي يرتطم بعدئذ بطلاء فسفوري داخل الأنبوب فيمتص بدوره ضوءاً ذا طول

حموض أمينية نوعية specific تقوم الريبوزومات بعدئذ بحبكها بعضها مع بعض.

ولكن الرنا الناقل لا يضيف في العادة دقات نانوية لا عضوية إلى البروتينات. ولذلك قررت بلشر، الموجودة حالياً في معهد ماساشوستس للتقانة، بالاشتراك مع مختبر كارين براونينغ K. Browning للكيمياء الحيوية في جامعة تكساس، صنع رنا ناقل خاص بهما يستطيع القيام بهذا العمل. وقد استفادت من حقيقة أن الحمض الأميني المسمى سيستئين cysteine يؤدي مجموعة سلفهيدريل متفاعلة ذات ألفة كبيرة للذهب. فبدأت باستخدام تقنيات بيولوجية جزئية متيسرة لتوليد كميات كبيرة من الرنا الناقل المحمل بالسيستئين، ومن ثم أجريتا التفاعل بين السيستئين ودقات الذهب بطريقة أضافت دقيقة ذهب واحدة إلى كل سيستئين. وبعد ذلك، قامت بتحضير خلاصة من الإشريكية القولونية Escherichia coli تحتوي على ريبوزومات وعلى جميع الجزيئات البانية للبروتين اللازمة فيما عدا الرنا الناقل السيستئيني. وبعدئذ، قامت بإضافة هذا الرنا الناقل السيستئيني الموسوم بالذهب إلى الحساء. وأخيراً، قامت بإضافة الرنا المرسل الذي يكوّد code بروتيناً يُعرف باسم البروتين المتفلور الأخضر الذي يحتوي في العادة على اثنين من السيستئين في سلسلته البروتينية. وأثناء قيام الريبوزومات بحبك نسخ البروتين بعضها مع بعض، قامت بإضافة السيستئينات الموسومة (المرصعة) بالذهب بحيث يترن كل بروتين بدقيقتين نانويتين، وهي نتيجة توضحت جيداً في اختبارات التصوير اللاحقة.

وفي هذا السياق، يقول بينر وآخرون غيره إن مثل هذه الرقع tags اللاعضوية يمكن أن تقدّم معالم تصويرية تعرفنا بدقة على المواقع النهائية للدقات النانوية لدى اندماجها في البروتينات، وهي معلومة حاسمة لتحديد بني البروتينات المعقدة جداً. وإذا صحّ ذلك فإنه سيكون هدية سارة للعديد من المختصين بالبيولوجيا البنيوية structural biology. □

## 6- ضوء أبيض في نهاية النفق ☆

تحلّ الإنارة المعتمدة على الديودات المضدرة للضوء (LED) محلّ الإنارة بالمصابيح المتوهجة ذات الكفاءة الطاقية المنخفضة في الكثير من التطبيقات. فلماذا إذن الانتظار كيما تنير الديودات LED بيوتنا؟

إذا كنت قد زينت شجرة عيد الميلاد لديك بالديودات LED الملونة بدلاً من المصابيح التقليدية هذه السنة، فلن تكون الوحيد الذي تتحوّل إلى هذا الشكل البازغ للإضاءة بديودات الحالة الصلبة.

لقد مضى عشرون عاماً على استخدام الديودات المضدرة للضوء وإثبات كفاءتها الطاقية المذهلة، مما يعني أن فوزها في المنافسة مع المصابيح التوهجية العادية السريعة العطب والشهرة للطاقة قد حُسم

الضوء الأزرق القريب من فوق البنفسجي وتصدر مزيجاً من أطوال موجية حمراء وصفراء وخضراء تبدو بمجموعها معاً بيضاء. وتستخدم ديودات LED كهذه في مصابيح الجيب ومصابيح الدرجات.

لكن آلية إصدار الضوء ذات المرحلتين هذه تعني ضياع بعض الطاقة فحبيبات الفسفرة تتحول بعض الطاقة إلى حرارة، ولكي تفوق كفاءة الديودات (LEDs) كفاءة أنابيب الإنارة المنزلية المتفلورة لا بد من إزالة هذا الضياع.

ولذلك يفتش الباحثون عن طريقة لإنتاج الضوء الأبيض من الديودات LED بوضع ديودات LEDs زرقاء وخضراء وحمراء معاً على شبيّة Chip دون استخدام المواد الفسفورية، لكن هناك مشكلة تتمثل في أن الديودات الخضراء تكون غير فعّالة.

ويقول تساو Tsao: "الأخضر يختلف تماماً عما يحيطه، وهو الجزء المفقود".

تستخدم الديودات LED الزرقاء والخضراء نصف الناقل نفسه المؤلف من نتريد الغاليوم المُطعم بالإنديوم indium doped gallium nitride، ولكن الديودات الخضراء تتطلب مزيداً من الإنديوم. وكلما يُزاد الإنديوم يصبح سقوط الإلكترونات في الثقب أبطأ، وهذا يخفض إنتاج الضوء.

يحاول الباحثون التغلب على هذه الصعوبات عبر إيجاد مُصدّرات emitters خضراء جديدة. ويتنبأ شورت أنه بينما تستخدم الديودات LEDs البيضاء الحالية ما يعادل نصف القدرة power التي تستخدمها مصابيح التوهج لإنتاج السطوع نفسه، فإن المواد الجديدة يمكن أن تخفض ذلك إلى جزء من عشرة أجزاء في حوالي سنتين من الزمن وهذا سوف يجعل الديودات LEDs البيضاء خياراً ملازماً للاستخدام في المنزل. □

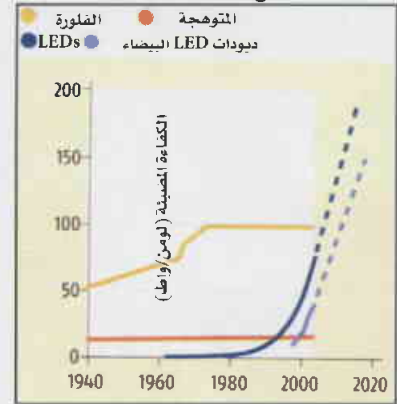
## 7- بلازما سحيقة القدم؟ الباحثون يحاولون الحصول على الحالة البدائية للمادة ☆

يعتقد علماء بروكهافن أنهم شاهدوا دليلاً على بلازما (الكواركات والغلوونات quark-gluon) التي طال البحث عنها. ولكن هناك أمر ما غير صحيح تماماً.

في عام 2000 اعتقد علماء في سيرن CERN، المختبر الأوروبي لفيزياء الطاقة العالية بالقرب من جنيف في سويسرا، أنهم على وشك خلق حالة للمادة لم تُشاهد إلا في الأجزاء القليلة من الثانية بعد نشوء الكون. بيد أن زملائهم في مختبر بروكهافن الوطني في أبتون بنيويورك، الذين يعملون في مسرع جديد أكثر قدرة، كانوا أكثر ثقة

### ديود أفضل

لن تضئ الديودات LEDs بيوتنا حتى تفوق كفاءتها المصابيح المتفلورة



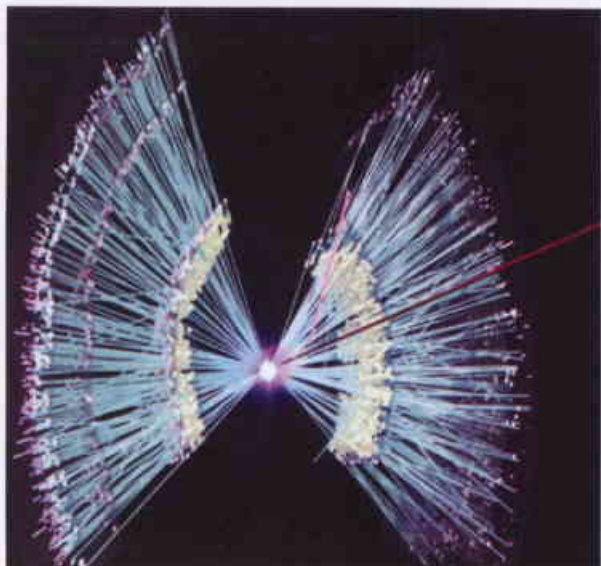
موجي واحد ويصدر ضوءاً آخر ذا فلورة بيضاء، وتستجر هذه العملية القليل جداً من القدرة power: بحيث يستطيع أنبوب متفلور استطاعته 11 واط أن يسطع بضياء مصباح توهج استطاعته 60 واط. يقول جيف تساو J.Tsao، وهو باحث في مختبرات سانديا الوطنية في نيومكسيكو، "لقد تفوقنا باستخدام الديودات LED على مصابيح التوهج، لكن المنى الذي ننشده يتمثل في الانتصار على الفلورة، الأمر الذي يتطلب مزيداً من البحث".

يمكن أن يتحسن أداء الديودات LED البيضاء إذا أمكن التغلب على جملة من التحديات. فالديودات LED تضم شظيرة من نمطين من أنصاف النواقل أحدهما غني بالإلكترونات والآخر ناضب منها فحينما تطبق فلتية على الديود LED تنتقل الإلكترونات من الجانب الغني بها إلى الجانب الناضب وتسقط في مستويات طاقة أخفض متنازلة عن طاقتها على شكل ضوء. ويؤدي تعديل طفيف في كيمياء الديود إلى تغيير في اتساع فرجة الطاقة energy gap وبالتالي في لون الضوء الصادر.

ثمة مواد جديدة يمكن أن تخفض القدرة التي تستخدمها الديودات LEDs إلى جزء من عشرة أجزاء السوية المستخدمة اليوم جاعلة من هذه المواد خياراً ملازماً.

بدأ التقدم نحو صنع ديودات LED بيضاء بصورة جدية في عام 1993 حين استخدمت الشركة اليابانية Nichia نتريد الغاليوم gallium nitride في صنع أول ديود LED يصدر ضوءاً أزرق. وقد دل هذا لأول مرة على أنه يمكن توليد واستخدام ضوء ديود ذي طول موجة صحيحة لغرض قذف سطح متفسفر من أجل إنتاج ضوء أبيض.

إن أسلم وأرخص الطرق وأكثرها شيوعاً الآن لإنتاج ديود LED ذي ضوء أبيض هي طلي ديود LED أزرق بحبيبات متفسفرة تمتص



الانفجار صغير: توفر مسارات الجسيمات من تصادم عالي السرعة بين ذرتي ذهب دالات clues حول ما إذا كانت الكواركات والغلونات قد جالت طليقة.

بعضها بالبعض الآخر مولدة جسيمات ( $J/\psi$ ). لكن الكواركات التي تتجول قبل أن تتجمد سوف ترتبط، في أغلب الاحتمالات، بكواركات أكثر شيوعاً، مثل الكواركات فوق ( $ups$ ) والكواركات تحت ( $downs$ )، وتولد جسيمات مثل الميزونات  $D$  وليس جسيمات ( $J/\psi$ ).

ومن شبه المؤكد أن فريق السينكروترون SPS شاهد من الجسيمات ( $J/\psi$ ) في التصادمات العالية الطاقة ما هو أقل بكثير مما كان متوقعا. وكان هذا بالنسبة إلى بعض الفيزيائيين إشارة تدل على أنهم ربما خلقوا بلازما الكواركات والغلونات. لكن السينكروترون SPS تهاوى في العام 2000 حين وجّه المركز سيرين اهتمامه لبناء مسرع جسيمات ذي استطاعة أكبر كثيراً هو LHC (مصادم الهدرونات الكبير). وإلى أن يقلع LHC، سيكون المركز سيرين إلى حد ما خارج لعبة بلازما الكواركات والغلونات.

ولحسن الحظ أن مصادمنا ذا طاقة حتى أعلى من تلك كان قيد الظهور: وهو المصادم RHIC (مصادم الأيونات الثقيلة النسبوية) في بروكهافن. يستطيع المصادم RHIC أن يصادم نوى ذرات طاقتها أكبر بخمس مرات تقريباً من مستويات الطاقة في SPS، ويبدو أن النتائج الأولية تؤكد أن العلماء كانوا قريبين من خلق هذه البلازما المحيرة. ومع أن مكاشيف المصادم RHIC الأربعة لا تملك حتى الآن المقدرة على اكتشاف نقص في الجسيمات ( $J/\psi$ ) إلا أن العلماء كانوا يفحصون مؤشرات إيجابية أخرى. وحسب الفيزيائي ميكولوس غيلاسي M. Gyulassy من بروكهافن، فإن هذه المؤشرات هي دليل "مذهل" على أن الكواركات كانت قد تحررت من قيودها وأن "البيانات قادمة إليّ" حسبما يقول.

وما يدعم ذلك ظاهرة تدعى "تخميد النفثات jet quenching". فحينما تتصادم نواتان، تتطاير جسيمات كثيرة من مركز التصادم

بالنجاح في ذلك. وبعد مضي خمس سنوات، لم ينسب أحد لنفسه فضل صنع بلازما الكواركات والغلونات quark-gluon plasma، وهي حالة عالية الطاقة لأقصى درجة تجول فيها المكونات الأساسية للبروتونات والنترونات طليقة.

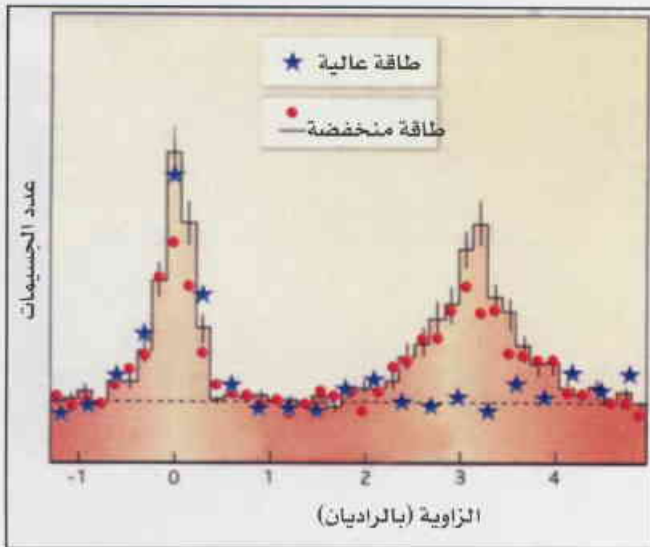
هناك شيء ما ذو أهمية يجري حتماً داخل المكاشيف العملاقة التي تسجل التصادمات العالية الطاقة للجسيمات الثقيلة التي يأمل العلماء أن تقودهم إلى هدفهم. ولكن ما هو؟ يعترف الباحثون أنهم لا يفهمون غنيمتهم بشكل جيد يكفي لمعرفة ما إذا كانوا أوقعوها في شركهم. إن ما اصطادوه لا يسلك كما ينبغي أن تسلك. ذلك هو الوضع على حدود بلازما الكواركات والغلونات. ويقول توماس كيرك T. Kirk، مدير مختبر الطاقات العالية والفيزياء النووية التابع لبروكهايفن: "إنني حائر بعض الشيء وليس متأكداً بالضبط مما ينبغي عمله. وإذا بدا الأمر وكأنني مُحبط، فهو لأنني كذلك بالفعل".

## انقشاع قريب

تكون الكواركات، التي تولف معظم المادة المعروفة، مجمدة في عالمنا البارد داخل هدرونات hadrons. وهي لا ترى أبداً لوحدها غير مرتبطة أو تتجول حرة طليقة. ولكن في الكون البدئي الساخن جداً، يعتقد العلماء أن الكواركات أو الغلونات، التي تربط الكواركات بعضها مع بعض، قد تدوّمت وتراقصت لبرهة قصيرة قبل أن "تتجمد" وتشكل هدرونات. ولقد كان الباحثون وما زالوا يحاولون أن يعيدوا خلق هذه البرهة القصيرة التي هي حقبة بلازما الكواركات والغلونات.

يشبه الجسيم المصادم ماكنة زمن: كلما كانت طاقته أعلى استطاع رؤية الماضي الأبعد. وفي سينكروترون البروتونات الفائقة (SPS) super proton synchrotron في سيرين، أوصلت التصادمات ذات (3.5 TeV) العلماء إلى نحو أجزاء قليلة من مليون من الثانية عقب الانفجار الأعظم. فباستخدام مغناط ضخمة، ضرب السينكروترون SPS (المدفون تحت الأرض خارج جنيف) ذرات الرصاص بعنف بعضها بالبعض الآخر بسرعات كبيرة لدرجة أن المكونات النووية (البروتونات والنترونات) انفلقت وانسكبت محتوياتها خارجاً. وقد حلل العلماء رذاذ الجسيمات الناتج التي تولد بعضها من كواركات وغلونات لنوى الرصاص، في حين نشأ البعض الآخر من طاقة التصادم الهائلة نفسها، باحثين عن مؤشرات تدل على أن الكواركات والغلونات قد انصهرت مرة أخرى وجالت متحررة من قيودها المعتادة.

كان الدليل إيحائياً إن لم يكن مقنعاً. فثمة مؤشر واعد يتمثل بفقدان لافت للنظر لنوع محدد من الجسيمات يُدعى ( $J/\psi$ )، وهو مؤلف من كوارك نادر نسبياً يُعرف باسم شارم Charm ومن نظيره مضاد المادة. وقد جادل العلماء أن هذا النقص ربما يكون مؤشراً على كواركات جواله حرة. وهاكم السبب: يتولد الكوارك شارم ومضاده جنباً إلى جنب انطلاقاً من طاقة وليس من مادة نووية (لا تحتوي البروتونات والنترونات على أية كواركات شارم أو كواركات مضادة). ويحتمل جداً أن تميل الكواركات المتجاورة لأن يتحد



مركز سائل: تتدفق الجسيمات الناتجة عن التصادمات المنخفضة الطاقة في اتجاهين متعاكسين مثلها مثل دوران في هذا الخطوط (النقاط الحمراء). ومن الممكن أن يمثل انخفاض إحدى الدورتين في المناطق العالية (النجوم الزرقاء) الانتقال إلى بلازما كواركات وغلونات شبيهة بالسائل.

نتوقع أن تتمكن من رصد إشارة مباشرة للتحوّل الطوري الذي ستعانيه المنظومة أثناء تبرّدها". لم يحصل ذلك التوفيق، بل بدلاً من ذلك، ترك العلماء مع جملة من الظواهر (تتمثل في تخميد النفثات، والجريان الإهليلجي، وعدد من الظواهر الفريدة الأخرى) التي تدلّ على أن شيئاً ما جديداً يحدث ولكن يخفق في أن يشكل برهاناً حاسماً. ويتابع بليزوت قائلاً: "ما من واحدة من هذه الظواهر بحدّ ذاتها تبين وجود حالة جديدة تماماً من المادة".

وفي الوقت نفسه، أُصيب النظريون بصدمة بسبب ما ينتج عن تصادم نواتين ثقيلتين عاليتي الطاقة في المصادم RHIC. إذ توقعوا أن تتبخّر النكليونات إلى شيء يشبه الغاز. وهذا يعطي الفرصة للكواركات والغلونات بالتجوال للحظات قليلة قبل أن تتكثف مجدداً حين تهبط درجة الحرارة.

ولكن ليس هذا هو ما حدث على الإطلاق. فنتائج رصد الجريان الإهليلجي، وهي البيانات ذاتها التي ساهمت في إقناع العلماء بأن النواة لم تعد تسلك كجسم صلب، تبين أن هذه النواة لا تسلك سلوك الغاز أيضاً. فبدلاً من أن تنساب الكواركات والغلونات بين بعضها البعض دون تآثر interaction كبير، نراها تستشعر بعضها البعض بقوة. ونتيجة لذلك تسلك المادة المنصهرة في قلب التصادم (ذهب-ذهب) سلوك جسم جماعي (مثل قطرة ماء) وليس مثل مجموعة من كواركات وغلونات مفردة. وقد استنتج الفيزيائيون في الواقع أن المادة في مركز التصادم (ذهب-ذهب) تكون الأكثر شبيهاً بالمائع.

وهذا الاكتشاف ينسف إحدى الدعائم الأساسية لدليل الحصول على بلازما الكواركات والغلونات. وتفترض الموديلات التي تعلق نقص الجسيمات  $J/\Psi$  بشكل ضمني أن الكواركات والغلونات لم

حيث تكون درجة الحرارة عظمى. وفي تصادم ذي درجة حرارة منخفضة، تضرب هذه الجسيمات إحداها الأخرى مثل كرات البلياردو وتتشتت مبتعدة عن النواة على شكل نفثات jet. وقد أحدثت التصادمات في المصادم RHIC عدداً أقل مما هو متوقع من النفثات. وجادل العلماء بأن "تخميد النفثات" هذا حدث لأن الجسيمات كانت تسلك على نحو أشبه بتكتلات ذاتية من شمع لزج منها بكرات بلياردو صلبة. وعن طريق تلاصق مكوثبات النوى وانتقال الطاقة من بعضها إلى البعض الآخر قبل أن تنطلق مبتعدة بعضها عن بعض بقوة أقل، يكون سلوكها مثل سائل أو غاز أكثر منه مثل كرات صلبة. وهذا السلوك هو بالضبط ما تنبأ به العلماء حين تنصهر البروتونات والنترونات وتتحرر منها الكواركات.

وكذلك كان الأسلوب الذي تطايرت فيه الجسيمات في النواة من التصادم أسلوباً يميّز السوائل. فقد سلكت الجسيمات كما لو أنها موجودة في بركة صغيرة تتوسع بدل أن تسلك سلوك كرات بلياردو صلبة وتتبعثر في جميع الاتجاهات بعد التصادم. وقد بين هذا المفعول الذي يُعبر عنه في بارامتر يُسمى "الجريان الإهليلجي elliptic flow" أن مادة ما بعد التصادم كانت أقرب إلى مجموعة من أجسام منصهرة منها إلى مجموعة أجسام صلبة.

وتشير تجارب أكثر حداثة، تتضمن تصادم ذرات الدوتريوم والذهب، إلى الاتجاه نفسه. فقد توقع الفيزيائيون أن تختفي المفاعيل الناتجة عن بلازما الكواركات والغلونات، من أمثال "تخميد النفثات" لأن الكتلة الأقل للدوتريوم لا تنقل طاقة كافية إلى التصادم لتسبب انصهار النكليونات nucleons. وبالفعل، اختفت المفاعيل الغربية مثلما كان متوقعاً. ويقول غيلاسي إنه في حالة التصادمات (ذهب-ذهب) كان هناك نقص حاد في عدد النفثات التوأمية، أما في تصادمات (الدوتريوم-ذهب) فقد عادت هذه النفثات من جديد.

## هل جرى تجميدها؟

بدا أن الاستنتاج واضح: لقد خلق العلماء بلازما كواركات وغلونات. فلماذا إذن لم يعلن فريق المصادم RHIC عن هذا الاكتشاف؟ الجواب هو أن بلازما الكواركات والغلونات لا تسلك إطلاقاً السلوك الذي توقعه الفيزيائيون.

فمن ناحية، ليس هناك تحول طوري محكم وواضح لدى انتقال الكواركات والغلونات من حالتها العادية المتكثفة إلى حالة بلازما الكواركات والغلونات. ولو أنك أضفت حرارة إلى كمية من جليد ذي درجة الحرارة القريبة من درجة الصفر السليزية، لارتفعت درجة حرارته في البداية ثم توقفت فجأة عن الارتفاع لدى تعيّر طور الجليد من الصلب إلى السائل، ثم تعاود درجة الحرارة ارتفاعها بمجرد أن يكون كل الجليد قد انصهر.

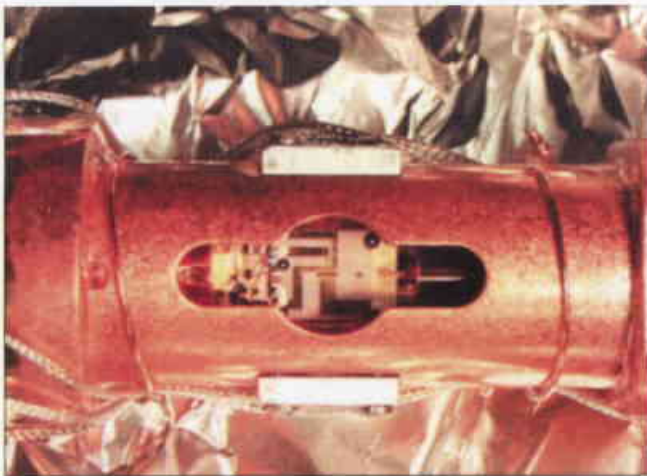
لكن ليست كلّ التحولات الطورية بهذا الإحكام والوضوح. ويقول جان بول بليزوت J.-P. Blaizot، وهو فيزيائي في ساكليه: "لكننا كنا

## 8- الوجود في دقة تحديد الزمن\*

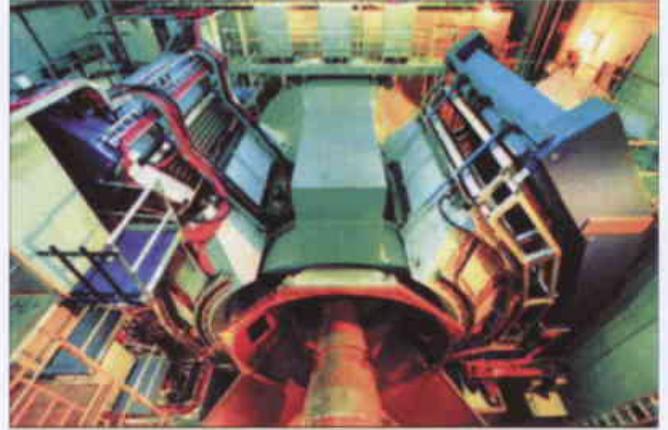
يتسارع الزمن بالنسبة لميقاتية السيزيوم الذرية. وللحصول على فواصل عشرية أكثر دقة في حافظات الوقت العالمية الرئيسية، ينصرف الباحثون إلى بعض الزوايا الخفية لميكانيك الكم.

دافيد واينلاند D. Wineland يدرك الزمن كثيراً مثلما يدركه سائرنا؛ فالزمن يمر سريعاً حينما يقترب موعد نهائي ما لكنه يتقدم ببطء شديد حينما يقدّر لك أن تعلق في زحمة مرور. لكن واينلاند، المتخصص بالفيزياء الذرية والليزرية في المعهد الوطني الأمريكي للمواصفات والتقانة (NIST) في بولدر (كولورادو) له صلة أخرى بالزمن، صلة لا يستطيع معظم الناس استيعابها. فهو يسعى مع زملائه في المعهد الوطني الأمريكي للمواصفات والتقانة إلى تجزئة الوقت بدقة تفوق صغراً أي مسعى تمّ في هذا الصدد.

إن لهذا الأمر مؤداه، نظراً إلى أن صانعي أول ميقاتية ذرية قسّموا الثانية بشكل قاطع وصل فيه الارتياح في قياسهم إلى 0.0000000001 فقط من الثانية. وكان ذلك في عام 1949. أما أداة اليوم القياسية، وهي ميقاتية السيزيوم الذرية F1 في NIST، فقد خفضت هذا الرقم إلى 0.0000000000000007 من الثانية. فلو كانت قد وُضعت ميقاتية بمثل هذا المستوى من الدقة يوم انقضت الديناميكيات قبل 65 مليون عام، لما نقصت أكثر من الثانية إلا قليلاً في الوقت الحاضر. وفوق ذلك، إذا أفلح فريق NIST، فإن ميقاتيته - وهي مزيج من الليزر والأيونات المأسورة - لن تنقص بمقدار ثانية في غضون 30 بليون سنة، بفرض أن أحداً ما بقي يرقب الأمر حتى حينئذ.



مصيدة زمنية: يحاول فريق NIST في هذه المصيدة جعل أيونات الألومنيوم والبريليوم ترقص بشكل متوالف.



مجهر ضخم: يتّصف المكشاف PHENIX - واحد من أربعة تزيّن حلقة التسريع في المصادم RHIC في بروكهافن - بأنه يستكشف الظواهر بأصغر المقاييس المتاحة للبشر.

تكن تتأثر بقوة بعضها مع بعض، وأن كواركات شارم الضعيفة التآثر تتطير مبتعدة بعضها عن بعض بسرعة ثم تتكاثف مجدداً مع كواركات لا شارمية noncharm. ولكن في سائل يتحرك بصورة جماعية (ويسلك سلوك السائل مباشرة بعد التصادم)، لا تكون لدى كواركات شارم الفرصة ذاتها لكي تنفصل. وبكلمات أخرى، إذا كانت "الخبيصة" في مركز التصادم تسلك سلوك سائل شديد التآثر وليس سلوك غاز ضعيف التآثر، فإن نقص الجسيمات ( $J/\psi$ ) يمثل مأزقاً.

هكذا، ورغم الوضوح بأن شيئاً ما جديداً يحدث في مركز التصادمات العالية الطاقة في المصادم RHIC، إلا أن هذا الشيء ليس هو الغاز الذي توقعه العلماء. ويقول جيمي ناغل J. Nagle، وهو فيزيائي في جامعة كولورادو في بولدر، وعضو في إحدى المجموعات المتعاونة للعمل في المصادم RHIC: "هل خلقنا غازاً ضعيف التآثر من الكواركات والغلوونات؟ الجواب عن هذا السؤال هو النفي الحاسم. إننا لم نفعل ذلك". ولكن ناغل يقول أيضاً إن البيانات تُظهر أن الكواركات والغلوونات انصهرت مشكلة سائلاً شديد التآثر ذا خواص غير مفهومة حتى الآن: "وهذا هو سبب قلبي بأننا لم نحقق اكتشافاً بعد".

هل هذا السائل هو بلازما الكواركات والغلوونات الأسطورية؟ يقول بليزوت إنه من الصعب الإجابة على هذا السؤال: "هل وصلنا إلى هناك؟ حين لا نعلم أين هو هناك". إنه يصعب إعطاء جواب محدد جيداً إذا لم تكن لدينا مسألة محددة تماماً.

وهذه أيضاً أحجية تواجه المسؤولين في بروكهافن الذين التزموا رباطة الجأش خلال نصف عقد فلم يعلنوا عن اكتشاف مهم، ويقول كيرك "ربما يكون لدينا بالفعل اكتشاف جميل سيظهر عمّا قريب". □



تَكَات الميقاتية، ويستخدم الباحثون مكاشيف إلكترونية أخرى لعدّها.

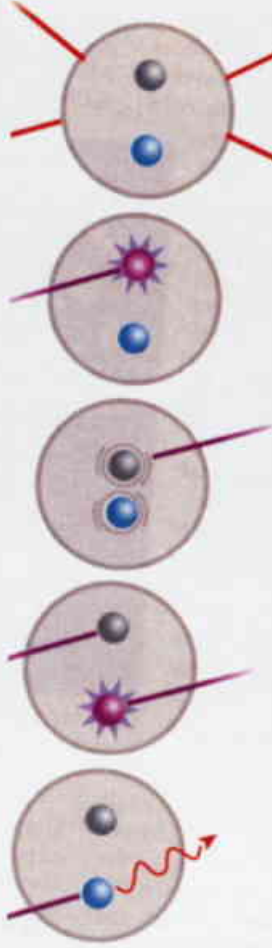
ومع أن الميقاتيات الذرية المبنية على السيزيوم شاعت على مدى قرون، فقد واصل صانعو هذه الميقاتيات تحسينها مقلّين نسب الخطأ بواقع عشرة أمثال تقريباً كل عشر سنوات. وكذلك يتطلع صانعو الميقاتيات إلى تصاميم جديدة أيضاً (انظر مراجعة ديدام، الصفحة 1318، وتقرير مارجوليس، الصفحة 1355 من عدد شهر نوفمبر لمجلة Science). ويأمل الكثيرون باستخدام التحولات الذرية في السيزيوم والذرات الأخرى التي تحدثها الليزر الضوئية التي تهتز عند تواترات تصل إلى 1000 ضعف تواترات الأمواج الكروية وبالتالي تستطيع تجزئة الثانية إلى تكات أكثر عدداً بكثير. ولكن ثمة جانب سلبي يتمثل في أن المصائد traps المبنية على الليزر والتي تحتجز ذرات السيزيوم يمكن أن تشوّش القياسات. وكنتيجة لذلك، يجب على الباحثين بالضرورة إضرام الليزر بواسطة جهاز قياس بحيث يقيدون الزمن الذي يستطيعون فيه استخدام ذراتهم بكفاءة.

ويسعى بعض صانعي الميقاتيات للالتفاف على هذه المشكلة عن طريق اصطياد أعداد صغيرة من الأيونات في أقلام قبض كهربيسية لتشوّش القياسات، مع أن هذا لا يصحّ إلا بالنسبة لبعض أنواع الأيونات. ولقد كان فريق NIST يمارس التجريب باستخدام الألومنيوم الذي يصلح جيداً في المصائد الكهربية ولكن ماصّ ضعيف للفوتونات التي تولدها الليزر الشائعة المستخدمة لتبريد الغازات الذرية إلى الحالة البليئة الحركة اللازمة للميقاتيات الدقيقة. بالإضافة

إلى ذلك، لا تتفلور أيونات الألومنيوم بسرعة كالأيونات الأخرى، مما يجعل من الصعب تحديد تحوّلها بالضبط.

لكن البريليوم، حسبما تبين، يحلّ هاتين المشكلتين. فمن السهل التبريد بالليزر، ومن السهل تحديد حالات الطاقة المختلفة لإلكتروناته؛ فذرات البريليوم في حالتها غير المستتارة أو "الأساسية" تبعثر الفوتونات سريعاً بطول موجي قدره 313 نانومتراً، لكنها شفافة لهذا الضوء حينما تكون في حالتها المستتارة. ولكن خلافاً للألومنيوم، لا تملك ذرات البريليوم تحوّلًا فائق الحدة عند تواتر ضوئي من حالة طاقة إلى أخرى - وهذه أخبار سيئة بالنسبة للميقاتية الذرية.

لهذا يستعير الآن زملاء واينلاند وهم: بيت شميدت P. Schmidt، وتيل روزنبناند T. Rosenband، وجيمس بيركويست J. Bergquist، وواين إيتانو W. Itano طريقة بارعة تُعرّف بالأحجولة الكمومية quantum entanglement، التي تستخدم في الحوسبة الكمومية



رقصة ومضنية: سلسلة من النبضات الليزرية تبرّد أيوني الألومنيوم والبريليوم، وتثبّر الألومنيوم وتحوّل هذه الطاقة أولاً إلى حركة الأيونات ومن ثم إلى إلكترونات البريليوم مما يسمح بفلورته.

إن هذا المستوى من الضبط قد يبدو خاصاً بفئة من الناس، بينما هو بوضوح يصلح لأغلب الاستعمالات. لكن الميقاتيات الذرية اليوم باتت أساسية لاغنى عنها بالنسبة لمجموعة كبيرة من التطبيقات بدءاً بنظم الملاحة التي تعتمد على السواتل والشبكات الحاسوبية وانتهاء بإدارة الشبكات الكهربائية والاتصالات الهاتفية الخلوية. ويستمر باحثو NIST وآخرون غيرهم في دفع التقانة قدماً ليس فقط بأمل إطلاق التطبيقات الجديدة التي تستدعيها على الدوام الإنجازات الجوهرية في قياس الزمن، بل لأنهم يستطيعون تحقيق ذلك أيضاً. ولطالما شغف باري تيلور B. Taylor، وهو فيزيائي متقاعد في NIST، بالقول، بأن ما من مجال يفوق في رومانسيته الفاصلة العشرية من قياس الزمن.

تعتمد كافة الميقاتيات على مكونين رئيسيين هما: نواس أو "هزاز" oscillator آخر يُحدّث سلسلة منتظمة من "التكات" وطريقة لعدّ وعرض تلك التكات مع مرور الزمن. ولعلّ العمل البارِع في الضبط الدقيق للوقت وإزاحة تلك الفاصلة العشرية نحو الوراء يتمثل في تقليل المؤثرات الخارجية على مكونات الميقاتية. فهناك على سبيل المثال تغيرات ضئيلة في درجة الحرارة والرطوبة والثقالة الموضعية يمكن أن تُغيّر حركة النواس أو احتكاك المسنّنات إلى حدّ يكفي على مدى أسابيع وأشهر لتراخي انضباط الساعة ببطء.

وفي عام 1945 اقترح فيزيائي أمريكي وهو إيزادور رابي I. Rabi أن السلوك الميكانيكي الكمومي للذرات يمكن أن يهيئ هزازاً منبعاً إلى درجة كبيرة ضد المؤثرات الخارجية. ولاحظ رابي أن الميكانيك الكمومي يحصر الإلكترونات حول الذرات في حالات طاقة محددة، وأن ضرب الذرات بالتواتر الصحيح تماماً من الإشعاع الكهربيسية يمكن أن يجعل الإلكترونات تقفز من حالة إلى أخرى. ومن حيث الجوهر، تسلك الذرات كمستقبلات راديوية فائقة الدقة يمكن توليفها إلى محطة ما بتواتر شديد النوعية.

توجد في حالة السيزيوم قفزة واحدة كهذه، تدعى بالتحوّل المفرط الدقة hyperfine transition، ويحدث عندما تُضرب الذرة بأمواف مكروية ذات تواتر قدره 9.192.631.770 ذبذبة في الثانية. وبعد أن تعاني ذرات السيزيوم هذا التحوّل فإنها تتفلور لدى ضربها بنبضة ليزرية مضبوطة التوليف. لذلك فمن أجل استخدام السيزيوم كمقياس ذرية، يسمح scan الباحثون عينة من ذرات السيزيوم بأمواف مكروية على امتداد طيف من التواترات إلى أن يروها تتفلور، ويعدّدن يوقفون مُصدّر الأمواف المكروية الذي بحوزتهم عند ذلك التواتر. وتكون اهتزازات الأمواف المكروية هي

في أجزاء من الكنتليون من الثانية. ويضيف واينلاند قائلاً: "لكن الكلام رخيص. فنحن لم ننجح ذلك حتى الآن". وإذا ما أنجزوا ذلك، سيخلق هذا معياراً جديداً لقياس الزمن لن يكون تحقيقه صعباً فحسب بل سيكون فهمه صعباً أيضاً. □

## 9- الكريبتون ★

### ما هو الكريبتون؟

الرمز: Kr

العدد الذري: 36

(عدد البروتونات في النواة)

الكتلة الذرية: 84

(عدد البروتونات والنترونات في النواة)

إن الكريبتون غاز عديم اللون والرائحة والطعم، وهو أثقل من الهواء بحوالي ثلاثة أضعاف. وكان قد اكتشف في عام 1898 على يد السير ويليام رامزي Sir W. Ramsay

و مورييس ترافيرز M. Travers وذلك في الثمالة residue المتبقية بعد تبخير الماء والأكسجين والنتروجين والهليوم والأرغون من عينة من الهواء السائل. ويأتي اسمه من كتاب يوناني يُدعى كريبتوس kryptos، بمعنى مكتوم. وباعتباره غازاً نبيلاً، فإنه يكون بوجه عام خاملاً ولا يشكل إلا القليل جداً من المركبات الكيميائية. وهو يظهر في الطبيعة بشكل ستة نظائر مستقرة. (مع العلم بأن النظائر هي أشكال مختلفة من عنصر ما تحمل نفس عدد البروتونات في النواة ولكن مع عدد مختلف من النترونات). ويُعدُّ الكريبتون-84 أوسعها انتشاراً، إذ يُؤلف حوالي 57% من الكريبتون الطبيعي. أما النظائر المستقرة الخمسة الأخرى وتوافرها فهي: الكريبتون-78 (0.4%)، والكريبتون-80 (2.3%)، والكريبتون-82 (12%)، والكريبتون-83 (11%)، والكريبتون-86 (17%).

يوجد أحد عشر نظيراً مشعاً أساسياً للكريبتون يمتلك اثنان منها فقط (هما الكريبتون-81 و الكريبتون-85) عمر نصف half-life طويلاً بقدر يسوِّغ القلق. إذ يبلغ عمر النصف الخاص بالكريبتون-81 (210.000 سنة)، والكريبتون-85 (11 سنة)؛ أما عمر النصف لسائر نظائر الكريبتون الأخرى فهو أقل من يومين. إن الكريبتون-85 هو النظير الشاغل لدى مواقع الإدارة البيئية لوزارة الطاقة الأمريكية (DOE)، مثل موقع هانفورد Hanford. فهو يُنتج بواسطة انشطار اليورانيوم والبلوتونيوم، كما يوجد في الوقود النووي المستهلك. أما الفعالية النووية المنخفضة للكريبتون-81 فإنها تحدُّ من مخاطره الإشعاعية.

### من أين يأتي الكريبتون؟

يوجد الكريبتون بشكل طبيعي في النيازك والفلزات بكميات ضئيلة جداً. ويوجد طبيعياً في الغلاف الجوي بتركيز يبلغ حوالي

(وهي خصوصية أخرى لمختبر واينلاند) لربط حالتَي أيونين بحيث يستفيدان من الصفات المفضلة الممنوحة لكل منهما. وهنا يكون الهدف نقل معلومات التحول الذري من ذرة ميقاتية جيدة (هي الألومنيوم) إلى ذرة الكشف الجيدة (وهي البريليوم).

يبدأ الباحثون بحبس أيونين من البريليوم والألومنيوم معاً في حجرة بالغة الصغر. ثم يخضع الأيونان لمزيد من الانحصار بواسطة حقل كهربيسي يدفعهما إلى الخلف نحو المركز كلما حاولا الإفلات. وبعد ذلك، يستخدم الباحثون طرائق ليزرية معيارية لتبريد الأيونين حتى جزء من الدرجة فوق الصفر المطلق. ومع أن أيون الألومنيوم لا يمتص الضوء الليزري بسرعة لتبطينه، فإنه يرتطم بأيون البريليوم باستمرار، محوّلاً بعض طاقته الحركية. ويجري بعدئذ تبريد أيون البريليوم الذي يسلك كبراد للألومنيوم، بواسطة الليزر.

و حين يتم حبس الأيونين وتبريدهما، يُقدَّان بليزر آخر، ليطلقا فوتونات ذات طول موجي قدره 267 نانومتراً. وهذه المرة يأتي دور أيون الألومنيوم في العمل. فيدفع الضوء الممتص إلكتروناته إلى حالة حرّة للميكانيك الكوموي تدعى تراكب الحالات وهي جزء من حالة أساسية وجزء من حالة مستتارة. وتقوم نبضة ليزرية أخرى بضرب أيون الألومنيوم لتعيده إلى حالته الأساسية وتحول طاقته الاستتارية إلى تغيير في حركة أيوني الألومنيوم والبريليوم المتحدّين، اللذين ينتقلان في حالتها الفارقة البرودة بشكل متوائم يشبه جزئياً منفرداً. ثم يقوم زوج آخر من النبضات الليزرية بتحويل طاقة الحركة هذه إلى حالة تراكب لأيون البريليوم الذي يؤثر بدوره في فلورة البريليوم استجابة لنبضات ليزر استكشاف نهائي. وحالما يتم توليف هذه التجربة وإطلاقها، يستخدم الفريق اهتزاز ليزر استثارة الألومنيوم حين يكون عدد تكات الميقاتية 1.1 كدريليون<sup>1</sup> تكة في الثانية.

ومع أن واينلاند يقول أنه بقي يناقش من زوايا مختلفة فكرة استخدام الأحيولة الكوموية في ميقاتيات لمدة عشر سنوات، فإنه لم ينشئ هيكل المشروع إلا مؤخراً. وتوحي الدلائل الأولى بأن هذا الهيكل صالح للعمل. ويعمل أفراد فريق NIST الآن على تثبيت نتائجهم وتعديل جهازهم الليزري لإيجاد أفضل تحوّل طاقي شبيه بالميقاتية في الألومنيوم.

يقول كارت غيبيل K. Gibble، وهو متخصص بالفيزياء الذرية في جامعة ولاية بنسلفانيا، أنه إذا صحّت التلميحات المبكرة، فإن ذلك بالتأكيد خطوة هامة. أما في الوقت الحاضر، حسب قوله، فإن الوقت مازال مبكراً جداً لمعرفة ما إذا كانت هذه الطريقة أو طرائق أخرى سوف تدفع بالنهاية المرتبة العشرية إلى أبعد حدّ. ويقول واينلاند: "يتمثل المكسب في أن الدقة والاستقرار ينبغي أن يحقق تحطيم الرقم القياسي". وقد طرحنا أرقاماً مثل 10<sup>18</sup> تضاهي قياس الزمن

1 كدريليون: رقم مؤلف من واحد إلى عيبنه 15 صفرًا.

★ نُشر هذا الخبر في مجلة ANL, October 2001.

وقد تمت إعادة تعريف هذه الوحدة في شهر أكتوبر/تشرين أول عام 1983 بأنها طول مسار الضوء في الفراغ خلال فاصل زمني قدره 1/299,792,458 من الثانية. ويستخدم الكيربتون-85 المشع في الكشف عن التسريبات في الحاويات المختومة، على أساس تحديد الذرات المتسربة من خلال إشعاعاتها. كما يُستخدم الكيربتون-85 أيضاً لإثارة الفسفور في مصادر ضوئية بدون منبع طاقي خارجي، وكذلك في الطب لاكتشاف فتحات القلب الشاذة.

### ما هو شأن الكيربتون في البيئة؟

توجد أعلى تراكيز الكيربتون في الغلاف الجوي. إذ يوجد الكيربتون في الهواء بتركيز يساوي حوالي  $(1\text{cm}^3/\text{m}^3)$ ، أو جزء من المليون حجماً. وعلى أساس كتلوي، فإن التركيز يساوي حوالي  $(3\text{ mg/kg})$ . ولغرض المقارنة، يكون تركيز الكيربتون في الغلاف الجوي لكوكب المريخ حوالي ثلث هذه الكمية أي  $(0.3\text{ cm}^3/\text{m}^3)$ . وهذا، ويوجد الكيربتون بشكل طبيعي في القشرة الأرضية بتركيز يساوي حوالي  $0.15$  ميكروغرام لكل غرام  $(\mu\text{g/kg})$ ، كما يكون تركيزه في ماء البحر حوالي  $(0.21\text{ }\mu\text{g})$  في كل لتر). ولقد تم إطلاق الكيربتون-85 إلى الغلاف الجوي عبر أنشطة إعادة معالجة الوقود النووي وكننتيجة لما مضى من اختبارات الأسلحة النووية فوق سطح الأرض. ونذكر أنه في عام 1970، وصل تركيز الكيربتون-85 في الغلاف الجوي إلى حوالي 10 بيكو كوري (pCi) في كل متر مكعب، وبخاصة من اختبارات الأسلحة النووية وأنشطة إنتاج البلوتونيوم. ولقد أضحى التركيز الآن أقل مستوى إلى حد كبير بسبب عمر النصف القصير نسبياً لهذا النكليد المشع، وتوقف تجارب الأسلحة النووية على سطح الأرض في أوائل الستينيات من القرن المنصرم، وإغلاق منشآت إنتاج البلوتونيوم في مواقع الإدارة البيئية لوزارة الطاقة (DOE). أما المحيطات والسطوح الأرضية فليست بلايع مهمة لهذا النكليد المشع. إن المصدر الأساسي الوحيد للكيربتون-85 في موقع هانفورد Hanford Site هو مخزون الوقود النووي المستنفذ هناك.

### ماذا يحدث له داخل الجسم؟

نظراً لأن الكيربتون غاز نبيل، فهو لا يشترك عادةً في أي من العمليات البيولوجية. فبعد أن يدخل الجسم، يمكن أن تذوب كمية صغيرة جداً منه في الدم وتتوزع بالتالي في الأعضاء والأنسجة عبر الجسم. ومع ذلك، فإن النسيج الأكثر إقلاقاً بعد التعرض لغمامة من غاز الكيربتون-85 هو الجلد بشكل عام باعتبار أن أغلب الجرعة تتجمّع عن جسيمات بيتا التي تصاحب التحلل الإشعاعي للكيربتون-85.

### ما هي التأثيرات الصحية الأساسية للكيربتون؟

يتمثل الهَمُّ الصحي الرئيس للكيربتون في الاحتمال المتزايد لتلحيز السرطان، ويعدُّ السبيل الأكثر خطورة هو التعرض الخارجي لغمامة من الغاز. وبعد دخوله إلى الجسم فإن الجرعة

$1\text{cm}^3$  في كل متر مكعب من الهواء. أما الكيربتون-85 المشع فهو موجود في البيئة الطبيعية بكميات زهيدة بسبب الانشطار التلقائي والمحرض نترونيا لليورانيوم وباقي الأكتينيدات. كما يوجد كل من الكيربتون-81 والكيربتون-85 في الغلاف الجوي بفعل تفاعلات أسر النترونات المنطلقة من نترونات الأشعة الكونية المتأثرة مع نظائر الكيربتون المستقرّة. ويمكن الحصول على الكيربتون كمنتج ثانوي byproduct بواسطة فصله من الهواء المسال.

إن المصدر الأساسي للكيربتون-85 هو الانشطار النووي. فحينما تنتشر ذرة اليورانيوم-235 (أو أي نكليد انشطاري آخر)، فهي تنقسم عادة بشكل لا تناظري asymmetrical إلى شذفتين كبيرتين – ويكون ناتجَي الانشطار عدداً كتلويان mass numbers ما بين 90 إلى 140 تقريباً. (العدد الكتلي هو مجموع عددي البروتونات والنترونات في نواة الذرة). ويُعدُّ الكيربتون-85 ناتجاً انشطاريّاً ذا مردود انشطاري يبلغ حوالي 0.3%. أي إنه يتم إنتاج ثلاث ذرات من الكيربتون-85 في كل 1000 عملية انشطار. وقد تم تحرير ما يقدر بـ 5 ملايين كوري (curies) من الكيربتون-85 إلى الجو كنتيجة لتجارب الأسلحة النووية منذ عام 1945 وحتى عام 1962. ويولد مفاعل نووي تجاري ضخم حوالي 300.000 كوري من الكيربتون-85 في السنة، وتُستبقى جميعها داخل عناصر الوقود. ويمثل هذا النكليد المشع الغازي أحد مكونات الوقود النووي المستنفذ، وينطلق إلى الغلاف الجوي لدى معالجة هذا الوقود. ولقد تم إطلاق حوالي 50.000 كوري من الكيربتون-85 إلى الغلاف الجوي نتيجة لحادثة "Three Mile Island" التي تمزق فيها عدد كبير من عناصر هذا الوقود.

### كيف يتم استخدامه؟

يدخل الكيربتون في عدد من التطبيقات الطبية والصناعية. وهو يُستخدم بمفرده أو في اتحاد مع الأرجون والنيون في الأنوار المفلورة. إنه يصدر لونا برتقالياً محمراً ساطعاً مُميّزاً، وهو يُستخدم في الإنارة في المطارات لأن الضوء الأحمر يُرى لمسافات بعيدة كما أنه يخترق الضباب والسديم بمقدار يفوق في مداه الضوء العادي. وكذلك يُستخدم الكيربتون في مصابيح الإسقاط الحاوية على خيط التنغستين والمستخدم في أجهزة عرض الشرائح والأفلام المنزلية. هذا، ويولد ليزر غاز الكيربتون ضوءاً مركزاً وشديداً للغاية، وتُستخدم أجهزة الليزر هذه في تطبيقات طبية مثل جراحة شبكية العين، ونشير هنا إلى أن ضوء ليزر الكيربتون الشديد يسبب تجلط الدم خلال الجراحة، وبذلك يمنع استمرار النزف وما يستتبعه من فقدان البصر، مع العلم بأن الليزر ذو دقة متناهية بحيث لا تصاب الأنسجة المحيطة بأذى.

يستخدم الكيربتون كذلك ككمييار للقياس standard لأن الخطوط الطيفية لنظائره حادة جداً. ففي عام 1960، عرّقت هيئة المقاييس والأوزان العالمية طول المتر المعياري بالأطوال الموجية  $1,650,763.73$  (في الفراغ) للخط الأحمر-البرتقالي لطيف إصدار الكيربتون-86.

## ما هي الخطورة؟

تُعدُّ جرعات الإشعاع المتأتية من استنشاق الكريبتون أو ابتلاعه صغيرة المقدار قياساً بالجرعة المتأتية من الإشعاع الخارجي، وهذا ما قد يحدث في حال غمامة من غاز الكريبتون. وعلى نقيض معظم النكليديات المشعة الأخرى، فإن خطورة الوفاة بالسرطان طويلة العمر لم تتطوّر فيما يخص استنشاق نظائر الكريبتون أو ابتلاعها. إن المسار الوحيد الذي تطوّرت فيه معاملات خطورة الوفاة بالسرطان تمثّل في التعرّض الخارجي. وقد استُخدمت معاملات خطورة أشعة غاما الخارجية للكريبتون-81 والكريبتون-85 في تقدير مخاطر الإصابة بالسرطان طويلة العمر في حال الانغمار في غمامات الكريبتون. فإذا افترضنا إطلاقاً من الكريبتون قد حدثت وأن 100.000 من الناس تعرّضوا بشكل مستمر لغمامة من هواء ذي تركيز وسطي يبلغ 1 pCi/cm<sup>3</sup> على مدى عام واحد، فإن العدد المقدّر للسرطانات المميّنة في هذه المجموعة البشرية سيكوّن 2 فيما يتعلق بالكريبتون-81 وأقل من 1 فيما يتعلق بالكريبتون-85 (هذا بالمقارنة مع 25000 شخص من هذه المجموعة يتوقع لهم الموت بالسرطان لجميع أسباب السرطان الأخرى في الولايات المتحدة بشكل وسطي). وتعود هذه الخطورة إلى جسيمات بيتا وأشعة غاما المرافقة لنظيري الكريبتون (انظر الجدول 1). □

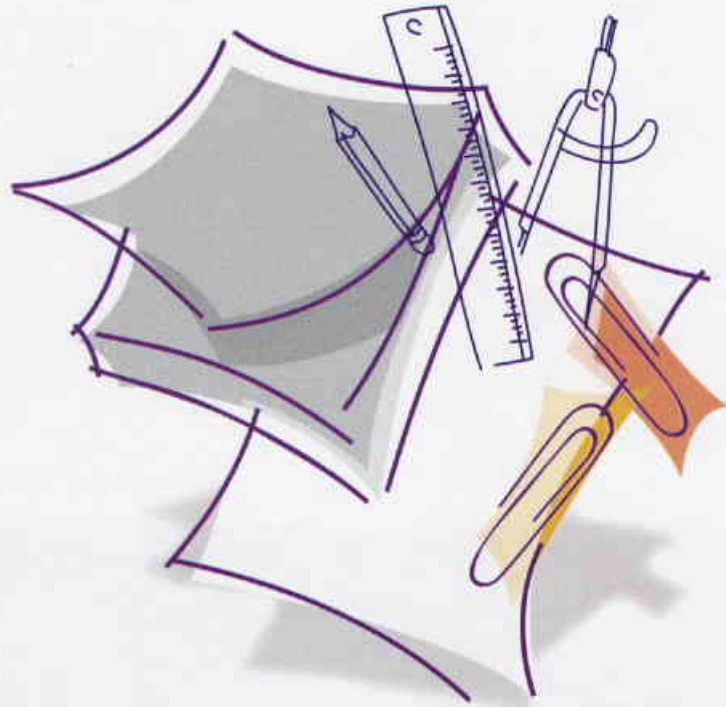
الخواص الإشعاعية لنظائر الكريبتون الرئيسية						
النظير	عمر النصف (yr)	النشاط النوعي (Ci/g)	نوع التحلل	طاقة الإشعاع (MeV)		
				ألفا	بيتا	غاما
Kr-81	210.000	0.021	EC	-	0.0051	0.012
Kr-85	11	400	β	-	0.25	0.0022

EC = electron capture = أسر الإلكترونات، Ci=curie، كوري، g = gram = غرام، و MeV = million electron volts = المليون إلكترون فولت. (-) تعني أن العملية غير مطبّقة. أعطيت القيم مضروبة حتى رقمين معنويين.

الإشعاعية للكريبتون-85 (الذي يشكّل النظير الأساسي للخطورة لدى DOE) - المتأتية من غمامة خارجية من الغاز تفوق بأكثر من 130 ضعفاً الجرعة الإشعاعية المتأتية من غاز موجود في الرئتين، وبأكثر من 200 ضعف الجرعة المتأتية من أي غاز في أعضاء وأنسجة الجسم. بالنسبة للكريبتون-81، تترافق معظم الجرعة بأشعة غاما التي ستشعّع جميع أنسجة وأعضاء الجسم. وعلى النقيض من ذلك، فإن الكثير من الجرعة الإشعاعية للكريبتون-85 يتأتّى من جسيمات بيتا، ويكون الجلد هو النسيج الأساسي الأكثر تأثراً.



# ورقات البحث





# تجزئة TSP الموسوم بـ $^{32}\text{P}$ والمضاف إلى الترب الكلسية\*

د. أحمد فارس أصفري

قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

د. رفعت المرعي، محمد الحاميش

قسم الكيمياء - هيئة الطاقة الذرية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

## ملخص

استُعملت تربة كلسية بنية حمراء داكنة (calcixerollic xerochrept) من شمال سوريا في تجربة أصص لدراسة مصير سماد سوبرفسفات الثلاثي (TSP) بوجود محصول وبدونه (قمح قاسي محلي - بحوث [Triticum turgidum] L. group durum (Desf.)). أُضيف للتربة TSP الموسوم بـ  $^{32}\text{P}$  بمعدل (17 مكغ P/غ تربة)، وجمعت عينات من التربة والنباتات في مواعيد متتالية. شكّل فسفور التربة اللاعضوي حوالي 94% من فسفور التربة الكلي، منها فقط 50-80% حلولة. وكانت مركبات فسفات الكالسيوم هي الشكل السائد (≥ 68%) من فسفور التربة اللاعضوي الحلول تليها فسفات الحديد المُحتَجَز (≥ 48%)، وكانت جميع الأشكال الأخرى ≥ 9%. أظهرت القياسات النظرية أن حوالي 50% من فسفور السماد كان غير متبادل خلال يومين، وتغيرت قيم TSP في كل شكل من فسفور التربة اللاعضوي بنسب مشابهة نسبياً لنسب تراكيز أشكال الفسفور في التربة. هذا وكان الفسفور المتاح (من التربة و TSP) في التربة المزروعة أكثر مما كان عليه في التربة غير المزروعة، ولم تؤثر النباتات في توزيع الفسفور من السماد بين الأشكال المختلفة لفسفور التربة.

الكلمات المفتاحية: أشكال الفسفور، تربة سورية، فسفور-32.

## مقدمة

يهتم الباحثون في مصير الفسفور في الترب الكلسية لإيجاد وسائل تحسين كفاءة استعمال المحاصيل للأسمدة الفسفورية (≥ 32%). تعود هذه الكفاءة المنخفضة إلى التفاعلات الكيميائية والفيزيائية للأسمدة الفسفورية في الترب، والتي تحدد نواتجها الثانوية الفسفور المتاح. فقد حُدد في الترب أكثر من ثلاثين شكلاً للفسفور بعد إضافة الأسمدة الفسفورية، ومن بين الأشكال اللاعضوية التي وجدت؛ Al-P، Fe-P، Ca-P (هوكر Hooker ورفاقه، 1980؛ ليندساي Lindsay ورفاقه، 1962). إن بعض أشكال الفسفور تلك انتقالي والبعض الآخر ثابت وتتأثر بخصائص التربة. إذ إن pH التربة، الكاتيونات المتبادلة وخاصة  $\text{Ca}^{2+}$  و  $\text{Mg}^{2+}$ ، محتوى  $\text{CaCO}_3$ ، محتوى الطين وسعة التبادل الكاتيوني CEC للتربة تضبط معدل امتزاز الفسفور وتفاعلاته وتثبيتته في الترب الكلسية (برار Brar وكوكس Cox 1991؛ غونزيكار Ghonsikar وميوسيند Musande 1978). ذُكر أيضاً أن المادة العضوية في التربة تزيد الفسفور المتاح وذلك بتأخير تفاعل الفسفور المضاف مع Al-P، Fe-P، Ca-P أو بتحرير الفسفور من تلك الأشكال (تومر Tomer ورفاقه، 1984). وعلى الرغم من ضخامة العمل المنجز على الفسفور اللاعضوي

يعتبر الفسفور المتاح في الترب كمية متغيرة تحددها تفاعلات وتوازات متسلسلة بين أشكال الفسفور ومصادره في التربة. وهكذا فإن الفسفور الكلي الممكن إتاحتها للنبات يسمى بالفسفور المتغير (labile) الذي يُعتبر بأنه سيتوازن بسرعة مع فسفور المحلول، والذي يُفترض بأنه يساوي الفسفور المتبادل نظرياً مع  $^{32}\text{P}$  خلال زمن محدد (فيكسن Fixen وچرووف Grove، 1990، ص 154). يسمى الفسفور المتاح للنبات في التربة بالفسفور المتاح حيوياً (bioavailable)، إشارة إلى كمية فسفور التربة التي يمكن لمحصول ما امتصاصها خلال دورة حياته والتي يفترض بأنها تساوي الفسفور المتبادل نظرياً (موريل Morel وبلينشيت Planchette، 1994). وعلى كل حال، تختلف النباتات في ماهية الفسفور المتاح لها حيوياً، وذلك تبعاً لخصائصها وتعايشها مع فطور المايكوريزا (mycorrhizal fungi). كما تلعب العوامل البيئية (الرطوبة ودرجة الحرارة) دوراً في تحديد الفسفور المتاح في أي نظام تربة - نبات، لأن الفسفور المتاح يؤثر في نمو وإنتاج النبات وعلى الأنشطة الكيميائية والحيوية في التربة.

\* نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة Plant and Soil، 2004.

فوق سطحها وأغلق الكيس. خضت التربة في الكيس يدوياً لمدة 4-3 دقائق، ثم تركت ليهدم الغبار في الكيس ثم أخذت العينات بمقدار 10 غ تربة من كل كيس ثم وضعت التربة في أصيصها. استخدمت عينات التربة لتحديد P المتاح و P الكلي والنشاط الإشعاعي والأشكال المختلفة من P في التربة عند بداية التجربة. كما غطيت أربعة أصص إضافية (تحتوي على 1 كغ من التربة المسمدة) ووضعت بين أصص التجربة لتستعمل كمجموعة جديدة من التربة غير المزروعة بعد إعادة زراعة التربة المزروعة (الفقرة التالية).

### الزراعة، الري والاعتيان

استعمل القمح القاسي المحلي صنف بحوث [Triticum turgidum L. Group durum (Desf.)] في التربة المزروعة. حيث زرعت البذور النابتة (10 بذور/أصيص) على عمق 2 سم ورويت مباشرة بإضافة الماء إلى سطح التربة (مغطى بورقة ترشيح) تدريجياً حتى قرب الإنبات (40% وزنياً)، ثم وضعت الأصص في الهواء الطلق داخل مسيج مسقوف في محطة أبحاث AECS في دير الحجر. رويت الأصص غير المزروعة حتى 35% وزنياً (ليتسنى اعتيان التربة بعد 48 ساعة) ووضعت مع الأصص المزروعة. كان الري يتم مرتين في الأسبوع لحفظ رطوبة التربة عند 40% وزنياً، وكانت الأصص تترك بدون ري (لمدة 2-3 أيام) قبل الاعتيان لتسهيل خلط التربة والحصول على عينة تربة ممثلة  $\approx 100$  غ تقريباً.

أعيدت الزراعة بعد 46 يوماً عندما هلك جميع البادرات (مرحلة الورقة الأولى) بالصقيع. وأزيلت متبقيات النباتات الميتة وأهملت. قبل إعادة الزراعة، جمعت عينة تربة مركبة من الأصص الأربعة لكل مرحلة اعتيان (مُشكّلين 5 مكررات مركبة من المراحل) لتحديد تركيز الفسفور والنشاط الإشعاعي والأشكال المختلفة للفسفور في التربة عند ذاك التاريخ (البداية الجديدة). جمعت عينات منفصلة لكل من التربة والنبات من كل أصيص عند الفترات التالية (أيام بعد الزراعة): 15، 29، 57، 72، و 86 يوماً متطابقة على التوالي مع 61، 75، 103، 118، و 132 يوماً بعد الرؤية الأولى. كما جمعت عينات التربة من الأصص غير المزروعة عند الفواصل الزمنية التالية (أيام بعد الرؤية الأولى): 2، 8، 15، 30، 45، 59، 72 و 85 يوماً.

قطعت النباتات عند 1 سم فوق سطح التربة وجففت على الدرجة  $70^{\circ}\text{C}$  لمدة 48 ساعة ووزنت ثم استعملت لتحديد تركيز الفسفور والنشاط الإشعاعي لكل أصيص. خلطت التربة في الأصص بعد اعتيان النبات، وأخذت عينة 100 غ لتحديد الفسفور المتاح وأشكال الفسفور والنشاط الإشعاعي لكل أصيص. كما قيس رطوبة التربة بتجفيف 10 غ من التربة على  $105^{\circ}\text{C}$  لمدة 24 ساعة.

### تحليل واستخلاص فسفور التربة

استُخلص P المتاح في التربة (1 غ تربة) بإجراء بيكربونات الصوديوم (أولسن Olsen ورفاقه، 1954). واعتبر أن P المتاح في

في الترب الكلسية، فإن تغيرات هذه التفاعلات والأشكال التي ينتقل إليها الفسفور المتاح بحاجة إلى المزيد من البحث الإضافي. كما أن تأثير النباتات في هذه الأشكال لم يدرس بعد. ولذلك صُممت هذه الدراسة لتقدير: (1) كمية الفسفور المتاح في التربة بعد إضافة سماد TSP، وتوزع الفسفور على الأشكال الكيميائية المختلفة في الترب الكلسية. (2) تأثير النباتات على كمية الفسفور المتاح من TSP المضاف وتوزع الفسفور المضاف على مختلف أشكال فوسفور التربة.

### المواد والطرائق

#### تحضير التربة وتصميم التجربة

جمعت الطبقة السطحية بعمق 20 سم من التربة البنية الحمراء الداكنة (كالسيزيروليك زيروكريبت calcixerollic xerochrept) من تل حديا (شمال سوريا) وهي تمثل نوعاً لتربة زراعية رئيسية في سوريا. التربة ذات قوام طيني و pH (5/1 ماء) 7.9 و EC و 1.4 OM و 1.46 % CEC و 65.2 ملمول/100 غ تربة) وحوالي 94% من فوسفور التربة لاعضوي و6% عضوي، والفسفور المتاح (Olsen-P) كان 8 مكغ P/غ تربة.

جُففت التربة هوائياً ومررت عبر غربال بفتحات 3 مم لإزالة الحصى والجذور والكدر، ثم عبر غربال بفتحات 2 مم وخلطت واستعملت في تجربة الأصص لتحديد مصير TSP المضاف بوجود محصول وبدونه (قمح). قسمت التربة إلى الأوزان 1، 2، 7 كغ لتتناسب مع أحجام الأصص المستعملة. واستعملت التربة المزروعة في أصص 1 كغ لاعتيان أول مرحلة نمو، واستعملت أصص ال 2 كغ للثانية، وأصص ال 7 كغ للمراحل اللاحقة حتى الحصاد. وخصصت أربعة أصص لكل موعد اعتيان؛ واستعملت للتربة غير المزروعة فقط 4 أصص من حجم 1 كغ لجميع مواعيد الاعتيان أثناء التجربة. ووزعت الأصص تبعاً لتصميم كامل العشوائية (completely randomized design) وحللت البيانات ببرنامج ستاتفيو StatView.

### التسميد

استعمل 11 غ من سماد TSP (2.17 مكغ P) الموسوم بـ  $^{32}\text{P}$  (النشاط الإشعاعي 3848 ميغابيكريال تقابل 1776 ميغابيكريال/غ P) في هذه التجربة. حيث أضيف 10 غ إلى التربة واحتفظ بـ 1 غ لمعايرة تفكك  $^{32}\text{P}$  خلال التجربة. أضيف السماد TSP الموسوم بمعدل 17 مكغ P/غ تربة بنشاط إشعاعي 30.2 كيلوبيكريال (kBq) يكفي لـ 9 أعمار نصف. خلطت كمية TSP الخاصة بكل أصيص مع 100 غ من التربة من كل أصيص بخلاط ميكانيكي (دوراني) لمدة 10 دقائق، ثم خلطت الـ 100 غ مع باقي التربة في الأصيص في كيس بلاستيكي. رُشت التربة في الكيس برذاذ الماء بلطف لتفادي التغيير، ثم نثرت يدوياً الـ 100 غ المسمدة من تلك التربة



التربة غير المزروعة هو مجموع P أولسن من التربة و P أولسن من TSP المعلم، في حين أن P المتاح في التربة المزروعة هو مجموع P أولسن (من التربة و TSP المعلم) و P النبات. كما يتألف P النبات من التربة و P السماد، ولذلك فإن الحصول على تركيز P المتاح (مكغ P/غ تربة) من التربة و TSP، تم بتقسيم كمية P النبات من TSP أو من التربة في كل مرحلة على وزن التربة في أخصبهم وإضافتها إلى كمياتها في P أولسن. وعلى كل، فإن P في النبات من TSP المعلم يمكن أن يكون قد أتى من TSP في P أولسن ومن المتحرر من TSP المتبادل أيونياً مع P التربة.

إن حجم العينة (1 غ) المستعمل لتحديد P المتاح قد استعمل من قبل معظم الباحثين، على الرغم من صغره واحتمال تسببه في خطأ بتحديد P. لقد حاولنا في تجربتنا تحقيق تمثيل جيد للتربة وذلك بأخذ حوالي 100 غ تربة من كتلة 1-7 كغ تربة مستعملة في التجربة وهي كافية لتمثيل كتلة التربة والعينة من 1 غ يُتوقع أن تكون ممثلة لـ 100 غ تربة. وعلى كل، فإن الخطأ المعياري SE في معظم مواعيد الاعتيان أثناء التجربة كان 3% لـ P المتاح و6% لـ P أولسن من TSP في التربة غير المزروعة، وفي التربة المزروعة كان SE في معظم الحالات 8% لـ P أولسن من التربة و TSP و10% لـ P أولسن من TSP، فيما عدا حالة استثنائية واحدة فقط كان SE 15% لـ P أولسن من TSP في التربة المزروعة. لهذا فإن الخطأ الذي يمكن أن يسببه حجم العينة الصغير (1 غ تربة) قليل وضمن المجال المقبول ويمكن إهماله تأثيره في تحديد P المتاح.

استخلص P اللاعضوي الكلي (2 غ تربة مجففة هوائياً) بمحلول حمض HCl المركز (37%) ومحلول NaOH (1 مولر) (كو 1996). واستخلص P الكلي بهضم التربة (1 غ) باستعمال مزيج من حمض الأزوت وحمض فوق الكلور (HClO<sub>4</sub>) بنسبة 2:1 مع التسخين، ثم أضيف بحذر حمض فلور الماء (HF) للأكسدة المادة العضوية ولطرده السيليكات (أولسن Olsen وسوميرس Sommers المعدلة، 1982). وتم الحصول على P العضوي من الفرق بين P التربة الكلي و P التربة اللاعضوي الكلي. واستخلصت (5 غ تربة) الأشكال المختلفة لفسفور التربة (P ضعيف الارتباط، Al-P، Fe-P، Ca-P، Fe-P، المحتجز، Al-Fe-P المحتجز، و P المتبقي) بإجراء الاستخلاص المتتالي لتشانج Chang و جاكسون Jackson (1957). فقد حددت تراكيز الفسفور في 2 مل (pH ≈ 2) من المستخلصات في قمع فصل سعة 50 مل بإضافة 1 مل من حمض HClO<sub>4</sub> (72%) ومحلول موليبيدات الأمونيوم (2.5%) واستخلص المعقد المتشكل (NH<sub>4</sub>)<sub>3</sub>PMo<sub>12</sub>O<sub>40</sub> بإضافة 10 مل من ايزوبوتيل أسيتات (IBA) وميتيل ايزوبوتيل كيتون (MIBK) بنسبة 2:8، وخص المزيج وفصلت الطبقة العضوية ونقلت إلى كأس. ثم قيس امتصاص المعقد للضوء في خلية كوارتز بمسار ضوئي 5 مم عند 340 نانومتراً (المرعي ورفاقه، 1999 (Al-Merey et al)).

إن إجراء الاستخلاص المتتالي لتشانج و جاكسون (1957) قد تشابه صعوبات في استخلاص Al-P بـ NH<sub>4</sub>F ويمكن أن ينتهي باستخلاص غير كامل لـ Al-P (هوكر Hooker ورفاقه، 1980). ويعكس ذلك، أشار سيرس Syers ورفاقه (1972) إلى أن Al-P المستخلص بـ NH<sub>4</sub>F قد يكون مبالغاً فيه. وعلى كل فإن إجراء الاستخلاص لا يحدد القيم الحقيقية لأشكال P، بل يزيدنا بقيم تقديرية للأحواض التي يمكن استخلاصها بكواشف نوعية.

### تحليل واستخلاص P النبات

كُست عينات جزئية (1 غ أو أقل) من قطع النبات الجافة عند الدرجة 580°C لمدة 6 ساعات ثم هضمت بإضافة 10-15 مل من محلول HNO<sub>3</sub> (≈ 0.1 مولر) والتسخين عند 50°C حتى تبخر ثلثي محلول الحمض. برّد المعلق المتبقي ومدد قليلاً بالماء المقطر وغلي ثانية لمدة 5 دقائق ثم برّد ومدد ثانية ثم رشح. استعملت نواتج الاستخلاص لقياس النشاط الإشعاعي لـ <sup>32</sup>P و P النبات الكلي. حدد تركيز P الكلي في 10 مل من مستخلصات النبات بإضافة 10 مل من ميثافانادات الأمونيوم ثم قيس الامتصاص عند طول الموجة 440 نانومتراً بجهاز المطياف الضوئي.

### تحديد <sup>32</sup>P

حدد النشاط الإشعاعي لـ <sup>32</sup>P في مستخلصات النبات والتربة بعدد شيرينكوف باستعمال عداد الوميض السائل بوجود مرجع داخلي (<sup>32</sup>P) لكل محلول لتصحيح الحجب اللوني والكيميائي الناتج من محاليل الاستخلاص المختلفة. وضع كل مستخلص من المستخلصات النباتية في عبوة بلاستيكية (20 مل) لقياس نشاطه الإشعاعي، في حين استعمل فقط 1-6 مل من مستخلصات التربة (تبعاً لنشاطها الإشعاعي) وأكملت الحجم إلى 20 مل بإضافة محاليل الاستخلاص لكل شكل.

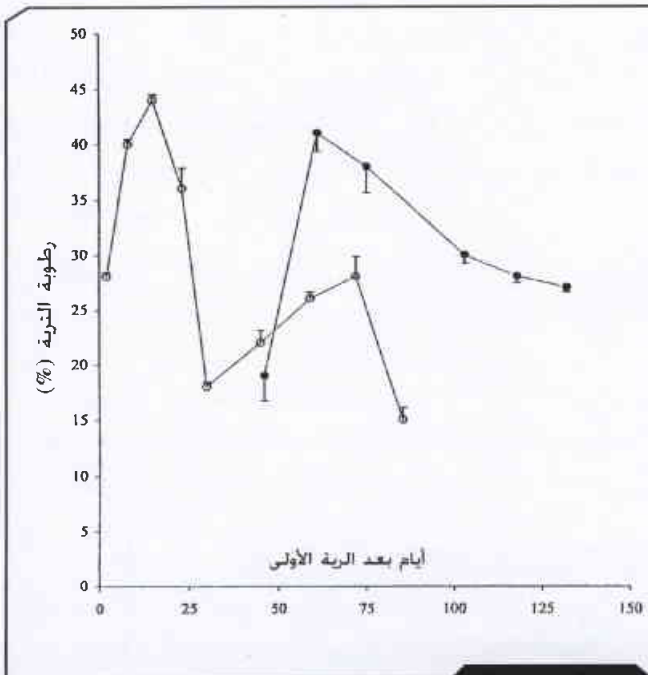
استعمل النشاط النوعي لـ <sup>32</sup>P في عينات التربة والنبات لحساب كمية P من السماد في النباتات وفي كل شكل من P التربة وفقاً لهذه المعادلة:  $T_p = \frac{R_p}{R_f} P_f$ ؛ حيث Tp هي الكمية (مكغ P/غ تربة) المتحولة من سماد TSP إلى شكل P التربة المستخلص، R<sub>p</sub> النشاط النوعي لـ <sup>32</sup>P في شكل P المستخلص، R<sub>f</sub> النشاط النوعي لـ <sup>32</sup>P في السماد TSP و P<sub>f</sub> معدل السماد المضاف (مكغ P/غ تربة). اعتمدت جميع هذه الحسابات على مفهوم التمديد لأسمدة P الموسومة المضافة (IAEA، 2001)، وحقيقة أن النباتات ستمتص P دون تمييز لمصادره ووفقاً لمساهمتها النسبية في P المتاح. كما يفترض أيضاً أن سماد TSP الموسوم قد خلط بشكل متجانس.

### النتائج والمناقشة

#### P المتاح

تغير P المتاح الكلي (P أولسن من التربة و TSP) في التربة غير المزروعة بين 12 و 21 مكغ P/غ تربة على مدى 72 يوماً، ثم انخفض

أثناء نمو النبات بمنحى متناقص قليلاً نحو الحصاد. كما أن P أولسن من التربة ومن TSP في اليومين 75 و103 كان أعلى في التربة المزروعة بـ 4 و11 مكغ P/غ تربة مما هو في التربة غير المزروعة في اليومين 72 و85 على التوالي (الشكل 1). إن الزيادة في P المتاح في التربة المزروعة عنها في التربة غير المزروعة مذكورة من قبل باربر Barber (1980). لقد لوحظت الزيادة في P المتاح في التربة المزروعة مقارنة بالتربة غير المزروعة بعد اليوم 61 واستمرت. إذ كانت النباتات في اليوم 61 في مرحلة نمو الأربع ورقات، أي إن تأثير النبات في P المتاح (P أولسن من التربة زائد TSP) يمكن إهماله لحينه. وفي فترات النمو اللاحقة، فإن المفرزات والأنزيمات من جذور النبات قد تكون ساعدت على زيادة P أولسن في التربة المزروعة وزيادة كمية P المشتق من P غير المتبادل P non-exchangeable. ولذلك فإن امتصاص النبات لـ P يمكن أن يستنفذ حوض P المتغير بالإضافة إلى P المتاح في التربة. وعموماً، كان P الممتص جزءاً صغيراً من P المتاح و P التربة في النباتات (64-79%) كان أكثر من P السماد في بدايات النمو، ولكنه تناقص بشكل مفاجئ وكان (43%) أقل عند الحصاد النهائي.

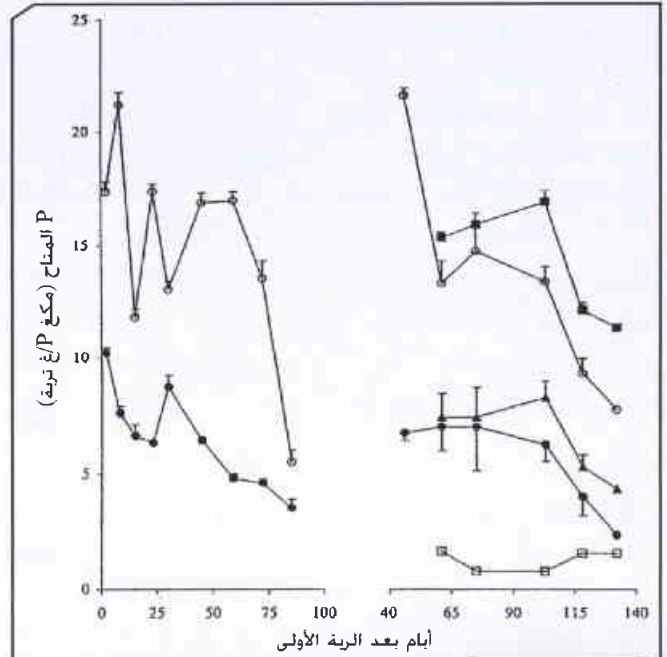


الشكل 2

تغيرات محتويات رطوبة التربة خلال التجربة، ● تربة مزروعة ○ تربة غير مزروعة؛ I الخطأ المعياري.

كان محتوى رطوبة التربة في التربة المزروعة (27-41%) في اليوم 61 وأزمنة الاعتيان اللاحقة (15-27%) أكثر من محتوى رطوبة التربة غير المزروعة عند الأزمنة المقابلة (الشكل 2). وكان P المتاح (P أولسن من التربة وتـSP زائد P النبات) في التربة المزروعة في اليوم 61، وفي التربة غير المزروعة في اليوم 59 (الزمن المقابل)، متشابهاً

بشدة إلى 6 مكغ P/غ تربة خلال 13 يوماً الأخيرة (الشكل 1). وأظهر النشاط الإشعاعي لـ  $^{32}P$  في مُستخلّصات التربة أن P المتاح من TSP كان 10 مكغ P/غ تربة بعد يومين من إضافة TSP وترطيب التربة، ثم تناقص قليلاً إلى 4 مكغ P/غ تربة في نهاية التجربة (الشكل 1). وعلى العكس من ذلك، فإن P المتاح من التربة بعد يومين ازداد بشدة من 7 إلى 14 مكغ P/غ تربة خلال 6 أيام، ثم تغير بين 4 و14 مكغ P/غ تربة بشكل مشابه لتغيرات P المتاح الكلي على مدى 64 يوماً ثم تناقص إلى 2 مكغ P/غ تربة في نهاية التجربة.

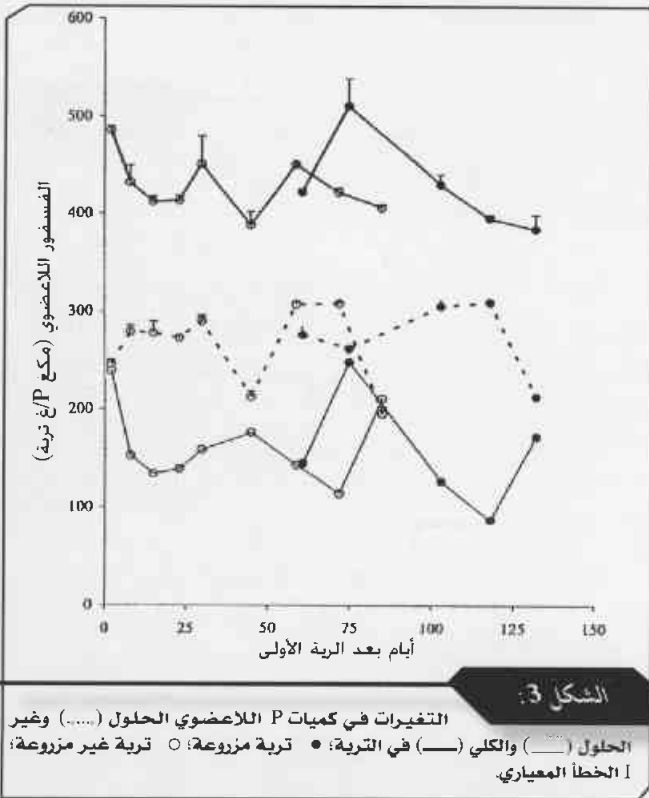


الشكل 1

التغيرات في P المتاح وأجزائه في التربة المزروعة وغير المزروعة خلال التجربة ● أولسن من TSP؛ ○ أولسن من التربة وتـSP؛ ▲ أولسن من TSP زائد P النبات من TSP؛ ■ أولسن من TSP والتربة زائد P النبات؛ □ P النبات من التربة؛ I الخطأ المعياري.

وفي التربة المزروعة كان P المتاح الكلي (P أولسن من التربة زائد TSP) أعلى منه في التربة غير المزروعة وتغير بين 13 و20 مكغ P/غ تربة أثناء نمو النبات (بادرة ذات 4 ورقات إلى الحصاد) في الفترة بين 61-132 يوماً بعد إضافة TSP (الشكل 1). واستقرت القيم (18-20 مكغ P/غ تربة) لمدة 42 يوماً ثم تناقصت بشدة خلال 29 يوماً التالية إلى 13 مكغ P/غ تربة عند الحصاد. وكان P السماد المتاح (P أولسن من TSP زائد P النبات من TSP) أثناء نمو النبات أيضاً أعلى (≈ الضعف) مما هو في التربة غير المزروعة ومتشابهاً بالاستقرار (9-10 مكغ P/غ تربة) لمدة 42 يوماً وتناقص بعدها بشدة إلى 5 مكغ P/غ تربة عند الحصاد. وعلى العموم، كان P التربة المتاح (P أولسن من التربة زائد P النبات من التربة) أعلى مما هو في التربة غير المزروعة حيث سلك نمطاً متشابهاً لـ P المتاح الكلي. إذ تغير تركيزه بين 8 و10 مكغ P/غ تربة

إن معظم هذه التفاعلات عكوسة وشكل P السائد والناجم من هذه التفاعلات يتحكم بمعدلات تفاعل P المضاف مع أشكال P وإتاحة P في التربة. فقد اقترح جو Guo ويوست Yost (1998) أن حوض P عكوس الإتاحة ويتألف على الأغلب من P المنحل من مركبات مثل Ca-P و P من مواقع داخل حبيبات أكاسيد المعادن و P المترافق مع أكاسيد Fe و Al، و P العضوي القابل للتمعدن. وأشار ليندساي (1979، ص 200)، إلى أنه عندما يترسب MCP، يتناقص تركيز P في المحلول بنسبة 2/1 لأن كل مول من Ca يرسب 2 مول من P في حين أن ترسب DCP أو DCPD يقلل تركيز P بنسبة 1/1، أي أن كل مول من Ca يرسب مع مول واحد من P. كما أورد فيكسن وچروڤ (1990) أن تحرير P الممتز ليس كاملاً ويتبع ظاهرة "التباطؤ التدريجي hysteresis" بسبب الآليات المختلفة كالترسيب والحجز والانتشار في الحالة الصلبة والارتباط المضاعف مع السطوح الغروية.



### تجزئة P السماد المضاف و P التربة اللاعضوي

يظهر الشكل 3 أن P اللاعضوي الكلي في التربة كان بين 384-511 مكغ P/غ تربة ونسب P المحلول وغير المحلول افي الكواشف المستعملة في إجراء تشانج وجاكسون (1957) تغيرت بين 195-309 مكغ P/غ تربة و 87-248 مكغ P/غ تربة على التوالي أثناء التجربة في التربة المزروعة وغير المزروعة. ودلت البيانات على أن 50-80% من P اللاعضوي في التربة كان حلوياً. كما أن كمية P السماد المتحولة إلى P التربة اللاعضوي الكلي تغيرت بين 11-20 مكغ P/غ تربة، في حين

على الرغم من أن محتوى الرطوبة في التربة المزروعة كان 14% أكبر مما في التربة غير المزروعة (الشكلان 1 و 2). ويعد اليوم 61، كان P المتاح في التربة المزروعة أكبر مما في التربة غير المزروعة ومطابقاً لتأثير النبات (بعد مرحلة الورقات الأربع). وهذا قد يوحي بأن محتوى رطوبة التربة قد يكون قد تبادل الأثر مع النبات لزيادة P المتاح في التربة المزروعة. إذ وجد إيفانوف Ivanove وشاكادزكبن Shakhzhakban (1993) أن P المتاح بازدياد مع زيادة رطوبة التربة في التربة المحضنة عند محتوى رطوبة 40-80%.

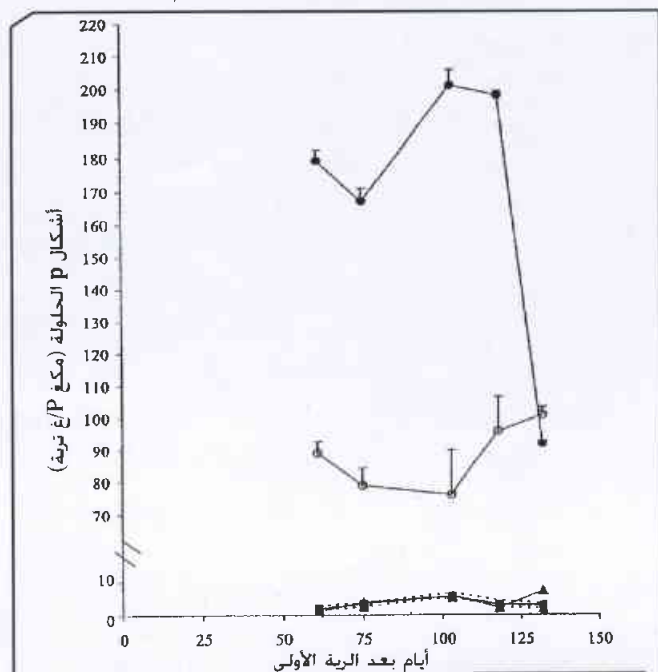
تشير البيانات في الشكل 1 إلى أن نسبة عالية (41%) من P السماد قد تحولت إلى شكل غير متاح بعد يومين من انحلال TSP ولم تساهم في P المتاح لاحقاً، وازدادت النسبة غير المتاحة مع الزمن إلى 82% من TSP المضاف في نهاية التجربة (خلال 85-132 يوماً)، ومن جانب آخر، ازداد P التربة المتاح الأساسي (8 مكغ P/غ تربة) في أربع مناسبات أثناء التجربة وكانت الزيادة في بعض الحالات تساوي ≈ الكمية غير المتاحة من TSP، وتوحي بالتبادل الأيوني بين P السماد و P التربة. وهذا التبادل الأيوني قد يكون حدث بالآليات التالية: تبادل نظيري، مَز sorption ونَز desorption، ترسيب، الحجز الغروي - البلوري crystal-colloidal occlusion والمز الكيميائي chemisorption (باربر، 1984؛ سامبل Sample ورفاقه، 1980).

في حالتي التربة، كان P أولسن من التربة وليس P أولسن من TSP هو الجزء الرئيس المتغير من P المتاح. ويمكن أن تعزى تغيرات P أولسن من التربة إلى عاملين أساسيين هما: محتوى رطوبة التربة؛ وأشكال P الكيميائية في التربة وتفاعلاتها مع TSP المضاف وبين الأشكال نفسها.

اختلف محتوى رطوبة التربة عند الاعتيان أثناء التجربة ولم يكن له تأثير ثابت في P المتاح في التربة المزروعة وغير المزروعة (الشكلان 1 و 2)، فمثلاً، كان P أولسن من التربة في اليوم 8 (محتوى الرطوبة 40%) ثلاثة أمثال P أولسن في اليوم 15 (محتوى الرطوبة 44%) في التربة غير المزروعة، وفي التربة المزروعة كان P أولسن في اليوم 46 (محتوى الرطوبة 19%) = ضعف P أولسن في اليوم 61 (محتوى الرطوبة 41%). هذا التأثير غير الثابت لمحتوى رطوبة التربة على P المتاح يمكن أن يعزى إلى: (1) الاختلاف في مواعيد الاعتيان يؤدي إلى فترات مختلفة من تفاعلات P؛ و (2) محتوى رطوبة التربة المقيس في أيام الاعتيان يمثل سوية رطوبة التربة عند الاعتيان بدلاً من محتوى رطوبة التربة خلال الفترات الزمنية للاعتيان، لأنه ينتج عن تبخر الماء من التربة خلال الفترة (2-3 أيام) بين الريتين الأخيرة و مواعيد الاعتيان.

تختلف أشكال الفسفور في التربة في انحلاليتها، تراكيدها وثباتها الكيميائي، فعند إضافة TSP إلى التربة الكلسية ينحل ويتفاعل مع مركبات P مكوناً أشكالاً انتقالية L-P وأخرى أكثر ثباتاً.

التحولات في P التربة من المركبات الحلولة إلى الأقل انحلالاً أو غير الحلولة والتفاعلات المرافقة لـ P السماد معهم.

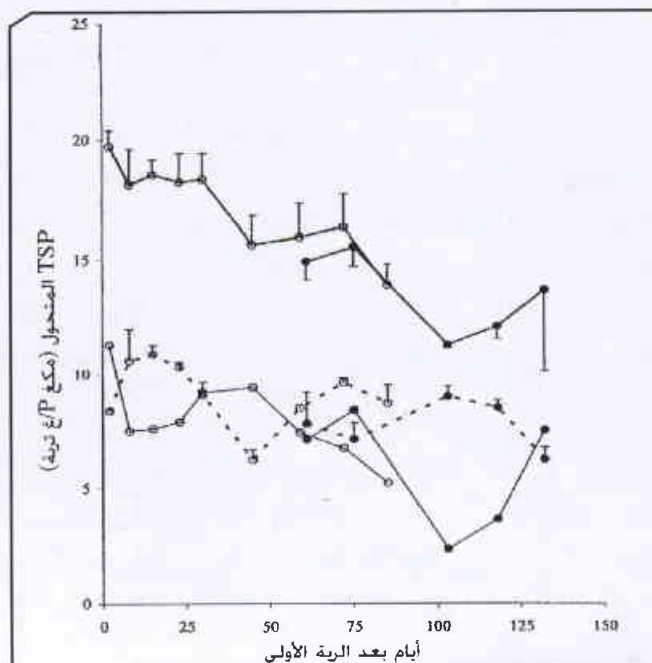


الشكل 6

تغيرات تركيز أشكال P اللاعضوي الحلولة في التربة المزروعة، Occ. Al-Fe-P، Fe-P، Al-P، Ca-P؛ التربة غير المزروعة، Occ. Fe-P، P-ضعيف الارتباط، Occ. Fe-P؛ الخطأ المعياري.

يظهر الشكلان (5 و 6) أن Ca-P ككل يؤلف النسبة الرئيسية (43-68%) من P التربة الحلول. إذ تغير Ca-P أثناء التجربة بين 209-87 مكغ P/غ تربة في التربة المزروعة وغير المزروعة. وتغيرت تراكيز Occ. Fe-P و Occ. Al-Fe-P و Fe-P و Al-P و P ضعيف الارتباط، بين 101-71 و 9-3 و 9-1.4 و 6-1 و 7-1 مكغ P/غ تربة على التوالي. فنسبة Occ. Fe-P تشكل الجزء الرئيس الثاني (23-48%)، وتشكل جميع الأشكال المحددة الأخرى نسبة صغيرة فقط (3-9%) من P التربة. كما أظهرت البيانات أن تأثير النباتات في توزيع P بين الأشكال المختلفة كان مهملاً، على الرغم من أنها يمكن أن تكون قد ساعدت على انحلال كمية طفيفة من P أكثر مما هي عليه في التربة غير المزروعة، وهذه الكمية الصغيرة نسبياً زادت P المتاحة كما ذكر سابقاً.

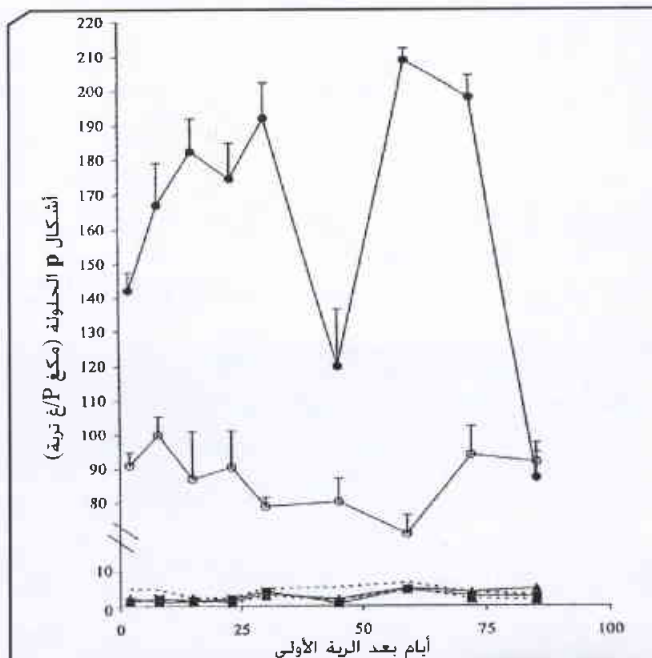
إن التغيرات الكبيرة في تركيز Ca-P الحلول أثناء التجربة يمكن أن تعزى إلى الفروقات في معاملات الانحلالية والثباتية الكيميائية لمركبات Ca-P في التربة، وإلى تفاعلاتها المستمرة والعكوسة في التربة لحين الوصول إلى حالة من "الموازنة الكيميائية Chemical balance". تُعزى هذه الآلية عندما تضطرب موازنة P التربة بإضافة كمية من P (P السماد) إلى الوسط أو تغير محتوى الرطوبة أو بنشاط النبات. والأشكال الأكثر أهمية المعروفة، والتي تختلف في انحلاليتها وتتحول من شكل حلول إلى آخر أقل انحلالاً وبالعكس



الشكل 4

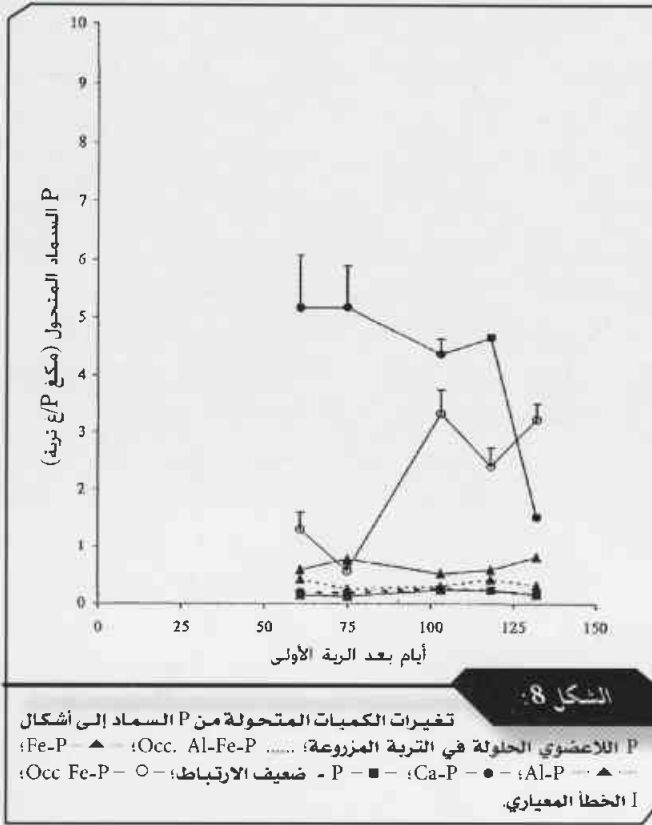
كميات P السماد المتحوّلة إلى P التربة اللاعضوي (—) وتغيرات جزئية الحلولة (.....) وغير الحلولة (—)؛ تربة غير مزروعة؛ تربة غير مزروعة؛ الخطأ المعياري.

كانت الكمية المتحوّلة إلى الجزء الحلول اللاعضوي بين 6-11 مكغ P/غ تربة (33-79% من P السماد) مع وبدون النباتات (الشكل 4). هذه التغيرات في جزء P التربة اللاعضوي الحلول، والتغيرات المرافقة لـ P السماد فيه تعود للطبيعة المستمرة والعكوسة لهذه



الشكل 5

تغيرات تركيز أشكال P اللاعضوي الحلولة في التربة غير المزروعة، Occ. Al-Fe-P، Fe-P، Al-P، Ca-P؛ التربة غير المزروعة، Occ. Fe-P، P-ضعيف الارتباط، Occ. Fe-P؛ الخطأ المعياري.



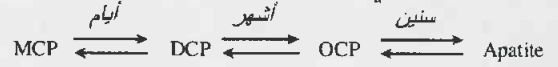
لنفس منحنى أشكال P التربة الحلولة (الشكلان 5 و6). وتدل هذه القيم على أن نسبة رئيسة (11-45%) من P السماد قد تحولت إلى Ca-P الحلول، في حين أن 3-29% تحولت إلى Occ.Fe-P و6-16% إلى جميع الأشكال الأخرى. كما تدل البيانات على أن Al-P و Fe-P في التربة كانا أكثر فاعلية نسبياً في الإمساك بـ P السماد بالرغم من نسبتها الصغيرة من P اللاعضوي الحلول (0.4-2% و 0.5-4% على التوالي) إلا أن النسب المتحوّلة من P السماد كانت 2-9% و 1-4% على التوالي. ويمكن أن يعزى هذا إلى السطح النوعي الأكبر أو إلى طاقة المزم الأعلى لكليهما من Ca-P (هاچن وتاكر، 1982، ص 78-79).

### المناقشة العامة

تتباين انحلالية أشكال P التربة المختلفة (Ca-P < Al-P < Fe-P) ... إلخ) وتحدد عملية التجزئة المتبعة الجزء القابل للاستخلاص من كل شكل لـ P التربة (فيكسن وچروف، 1990؛ وايلد، 1988، Wild). فقد كان فسفور التربة اللاعضوي غير الحلول 20-50% من P اللاعضوي الكلي، مشيراً إلى أن جزءاً كبيراً من أشكال P التربة لم يُعرف ولم تُحدد كمياته بعد في التربة. كما أن الفصل الكمي للأشكال الحلولة غير دقيق. لذلك فإن التراكيز المحددة لأجزاء P، لا تمثل محتويات مطلقة من هذه الأشكال بل تشير إلى إمكانية وجودها بمثل هذه النسب وإلى تفاعلات P المحتمل حدوثها في التربة (وايلد، 1988).

لقد تحول بشكل أيوني أكثر من نصف P المضاف (55%) إلى مختلف أشكال P التربة في 8 أيام، ولم يعد متاحاً للنباتات، في حين

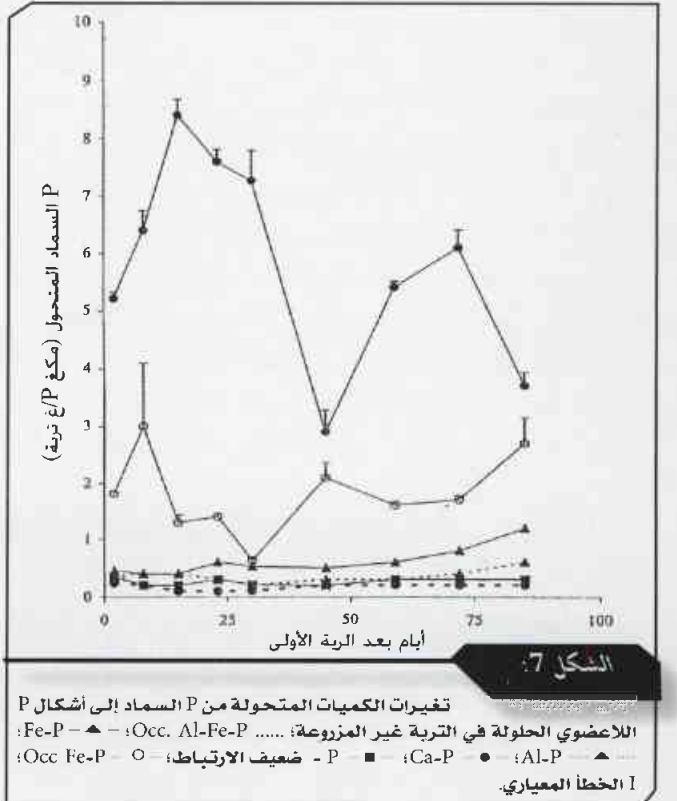
في التربة الكلسية، هي:



(هاچن وتاكر 1982، Tucker، ص 79؛ ماتنجلي، Mattingly، 1971؛ سامبل ورفاقه، 1980، ص 287).

فالفوسفات ثمانية الكالسيوم هي الشكل الأكثر وفرة في التربة الكلسية في منطقة البحر المتوسط، وتعتبر مع فسفات ثنائية الكالسيوم وأيونات P الممتازة على سطوح الطين وCaCO<sub>3</sub>، المكونات الرئيسية لـ P المتغير. وتعتبر مساهمة الأباتيت بطيئة في هذه التفاعلات بسبب بنيته البلورية الثابتة وانحلاليتها المنخفضة (هاچن وتاكر، 1982، ص 85-87). كما أن انحلالية DCP تتأثر مباشرة برطوبة التربة (روبرت Robert و لارسن Larsen، 1970) وبما أنه المكون الرئيس لـ P التربة في التربة الكلسية (مثل التربة المدروسة)، فقد يكون ساهم بشكل أساسي في تغيرات Ca-P.

أثناء التجربة كان مدى تغيرات Occ. Fe-P صغيراً نسبياً مقارنة بـ Ca-P. وهذا الفرق يمكن أن يعزى إلى طبيعة هذا الشكل الأكثر ثباتاً من Ca-P أو إلى استجابته الأبطأ لشروط الوسط، لأنه ذو بنية غروية معقدة (Fe-PO<sub>4</sub>nH<sub>2</sub>O). أما أشكال P الأخرى فكانت منخفضة التركيز إلا أن تغيراتها كانت مرتفعة نسبياً.



يظهر الشكلان (7 و8) أن P من السماد قد تحول إلى مختلف الأشكال الحلولة لـ P التربة اللاعضوي في التربة المزروعة وغير المزروعة، وأن قيمها اختلفت في كل من الأشكال أثناء التجربة وفقاً

تسلسلاً منتظماً من التفاعلات وتستطيع التحول مباشرة من المحلول إلى مركب مترسب (فاردو، 1996). كما اقترح أيضاً أن مصادر P التربة المتاح يمكن أن تكون ناتجة من أشكال ذات معدلات تحول مختلفة من الطور الصلب إلى محلول التربة وبالعكس، مشيراً إلى تغيرات محتملة في قيم P المتاح كالتالي لوحظت في هذه التجربة.

❖ تعتبر أيونات P الممتازة على الطين والبلورات الأخرى في التربة مصدراً آخر لـ P في محلول التربة، وتعتمد مساهمتها في P المتاح على حجم سطح التماس وقابلية التبادل مع محلول التربة والذي يمكن أن يكون قد ساهم بشكل طفيف في هكذا تغيرات في P المتاح (فيكسن وجروف، 1990).

❖ إن تغيرات محتويات التربة من الرطوبة تؤدي إلى مثل هذه التغيرات؛ فمحتوى أعلى من الرطوبة يذيب مزيداً من Ca-P في موقع ما ويزيد كمية Ca-P التي يمكن أن تذوب بزيادة سطح تماسها مع رطوبة التربة. كما أنها تمكن أيونات P من التحرك بسهولة أكبر عبر السطوح الصلبة للمركبات والتربة، وتزيد من إمكانية تفاعلها مع الأيونات الحرة في محلول التربة مكونة مركبات جديدة. كما تؤثر تغيرات محتوى الرطوبة في النشاط الحيوي، الذي يمكنه تحرير وتسكين P المتاح بسرعة.

إن إضافة P السماد إلى التربة سيخل بـ "الموازنة balance" بين تركيز P في محلول التربة و P المتغير، مؤدياً إلى تغيرات في P المتاح حتى استعادة "موازنة" ما، وبالاعتماد على السعة الموقية buffering للتربة، يمكن أن تؤدي "الموازنة" الجديدة إلى زيادة تركيز P في محلول التربة لما هو أعلى من التركيز الأصلي، أو إلى عدم التغيير. هذا ما وجد في هذه التجربة عند ازدياد P المتاح من 8 مكغ P/غ تربة قبل التسميد، إلى 17 مكغ P/غ تربة بعد 48 ساعة من التسميد بـ P ثم تناقص إلى 6 مكغ P/غ تربة بعد 85 يوماً. وعند انحلال حبيبات السماد P في التربة، يزداد تركيز أيونات P حول الحبيبة، مقارنة بكتلة التربة، وستنخفض pH التربة إلى  $\approx 1.5$  (هاجن وتاكر، 1982). وعلى كل، عند تذويب TSP السوري في الماء، انخفضت الـ pH من 6.7 إلى 3 بعد 72 ساعة. وتناقص pH سيزيد كمية P الحلوكة من المركبات الأقل انحلالاً. وعليه فإن أيونات P المحررة يمكن أن تتفاعل مع  $\text{CaCO}_3$  المنحلة مكونة مركبات من MCP و DCP. وستتفاعل بدورها مركبات MCP و DCP مع مركبات P المتحولة لتكوّن مركبات أكثر انحلالاً مما يؤدي إلى اضطراب الموازنة بين أشكال P في التربة، منشطاً من جديد التحول الكيميائي بين الأشكال في محلول التربة وتلك التي في كتلة التربة لحين الوصول إلى الاستقرار في غضون عدة أشهر أو أكثر.

إن نشاط جذور النبات في التربة المزروعة سيخل في موازنة P التربة بامتصاص P وبتزايد تحرر P. فقد أورد آدم Adam وبيت Pate (1992) أن بعض مفرزات وأنزيمات الجذور، أي الفسفاتاز Phosphatase، يمكنها أن تزيد من تحرر P التربة وإتاحته في

أن الجزء المتبقي (6 مكغ P/غ تربة) كان متاحاً طوال فترة التجربة. إذ تحول الجزء الرئيس من P السماد إلى Ca-P، وبدرجة أقل إلى Occ. Fe-P وتحول جزء صغير فقط إلى أشكال P الأخرى، بما يتوافق مع وفرة تلك الأشكال في التربة. حيث تفاعلت جميع أشكال P التربة مع P المضاف خلال 8 أيام تبعاً لتراكمهم وقدرتهم التفضيلية في الحصول على P اعتماداً على بنيتهم البلورية والكيميائية المختلفة (السطح النوعي والسعة الغروية لحجز P وفعالية السطح الغروي). فقد كان Fe-P و Al-P أكثر الأشكال فعالية على الرغم من أن الكمية المتحولة إليهما من P المضاف أصغر بكثير من المتحولة إلى Ca-P و Fe-P و Occ. Fe-P. إن Fe-P و Al-P الأعلى نسبياً من Ca-P بربط P المتاح تتفقان مع هولفورد Holford ومانتجلي Mattingly (1975) اللذان وضحا الدور الهام للأكاسيد المائية في مز P في الترب الكلسية ومز P بواسطة Fe-P و Al-P أقوى من Ca-P. كما أن تفاعل P المضاف مع كل أشكال P في التربة خلال 8 أيام يتفق مع فاردو Fardeau (1996) الذي اقترح أن P المضاف إلى الترب يتفاعل مع مكونات التربة ويتم تبادله النظيري مع كل أشكال P التربة المختلفة.

إن تغيرات تراكيز Ca-P و P الحلوكة في التربة قد تكون أثرت في P المتاح ويمكن أن يعزى ذلك إلى العوامل التالية:

❖ يتكون Ca-P التربة من مزيج من المركبات التي تختلف في انحلاليتها وثباتها الكيميائي ومساحة سطح وشكل جسيماتها الغروية أو البلورية. وهي في تحول عكوس ومستمر من مركب لآخر بسرعات مختلفة تعتمد على ثباتية المركب. وعلى كل، فإن سرعة تشكيل مركبات أكثر استقراراً تتأثر بمحتوى P في التربة. فقد أورد هاغن وتاكر (1982) أن هيدروكسي أباتيت (HAP)، المركب شبه المستقر وقليل الانحلال وفير في التربة غير المسمدة، في حين أن فسفات ثنائية الكالسيوم (DCP) وفسفات ثمانية الكالسيوم (OCP) وفيران في التربة الكلسية المسمدة بـ P. وكلا المركبين أكثر انحلالاً وأقل استقراراً من HAP في هذا التعاقب  $\text{HAP} < \text{OCP} < \text{DCP}$ . كما أن فسفات أحادية الكالسيوم (MCP) وفيرة أيضاً وهي المركب الأكثر انحلالاً والأقل استقراراً، وتتحوّل بسرعة (من يوم إلى عدة أيام) إلى DCP. ويفترض أن DCP يتحول إلى OCP في أسابيع، والتحول العكوس بين المركبات MCP و DCP و OCP يستمر لشهور، بينما يتحول جزء منه إلى أباتيت ببطء شديد خلال سنة. وتستمر هذه المركبات في الوجود معاً وتشارك في تفاعلات الانحلال والترسيب (على الأغلب DCP و OCP)، وبالاعتماد على وفرتها، تستمر كمصدر لـ P في محلول التربة.

❖ يتحول P التربة أو P المضاف من شكل لآخر بأليات مختلفة (مز فيزيائي أو كيميائي، حجز غروي-بلوري، تبادل أيوني، تبادل نظيري، ترسيب سطحي، ترسيبات الطور الصلب المختلفة) وتستمر هذه التفاعلات حتى بلوغ توازن متوافق مع مختلف أشكال P في التربة وخصائص التربة. وعلى كل، فإن أيونات P في محلول التربة قد لا تتبع

أحماضاً عضوية (مثل حمض السيتريك) في معدلات مختلفة اعتماداً على نوع النبات وشروط تغذية P في نظام النبات - تربة.

محيطها rhizosphere. كما أن النباتات ستعزز نشاط أنزيمات التربة في محيط الجذور rhizosphere الذي يساهم في تحرر وإتاحة P في محيط الجذور. فقد أورد هوكينغ (2001) أن النباتات تفرز

## REFERENCES

## المراجع

- Adams M A and Pate J S 1992 Availability of inorganic and organic forms of phosphorus to lupinus (*Lupinus spp.*). *Plant Soil* 145, 107-113.
- Akinremi O O and Cho C M 1991 Phosphate and accompanying cation transport in a calcareous cation exchange resin system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55, 959-964.
- Al-Merey R, Al-Hameish M and Asfary A F 1999 A new method of phosphorus determination with an improved pretreatment of occluded iron phosphate fraction in soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 30, 2419-2428.
- Barber S A 1984 Soil nutrient bioavailability. pp 9-51. John Wiley and Sons, New York.
- Barber S A 1980 Soil plant interaction in the phosphate nutrition of plant, In *The role of phosphorus in agriculture*. Eds. F E Khasawneh, et. al. pp 591-615, American Soc. Agron., Madison, WI.
- Brar S P S and Cox. F R 1991 Phosphorus sorption and availability indexes as effected by properties of calcareous soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 22, 1225-1241.
- Chang S C and Jackson M L 1957 Fractionation of Soil Phosphorus. *Soil Sci.* 84, 133-144.
- Fardeau J C 1996 Dynamics of phosphate in soils. An isotopic outlook. *Fert. Res.* 45, 91-100.
- Fixen P E and Grove J H 1990 Testing soil for phosphorus. In *soil testing and plant analysis*. 3d edn., pp 141-180. *Soil Sci. Soc. Am.* Madison, WI.
- Ghonsikar C P and Musande V G 1978 *Madras Agri. J.* 65, 796-800.
- Guo F and Yost R S 1998 Partitioning soil phosphorus into three discrete pools of differing availability. *Soil Sci.* 163, 822-833.
- Hagin J and Tucker B 1982 Fertilization of dry land and irrigated soils. pp 75-90, Springer-Verlag, New York.
- Hocking P J 2001 Organic acids exuded from roots in phosphorus uptake and aluminum tolerance of plants in acid soils. In *Advances in Agronomy*. Ed. D L Sparks. pp 63-79. Academic Press, New York.
- Holford I C R and Mattingly G E G 1975 The high and low energy phosphate absorbing surfaces in calcareous soils. *J. Soil Sci.* 26, 407-417.
- Hooker M L, Peterson G A, Sander D H and Diagger L A 1980 Phosphate fractions in calcareous soils as altered by time and amount of added phosphate. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44, 269-277.
- International Atomic Energy Agency (IAEA) 2001 Use of isotope and radiation methods in soil and water management and crop nutrition. Training course series No. 14. FAO/IAEA Agric. and Biotech. Laboratories. IAEA, Viena, Austria.
- Ivanove A L and Shakhzhakban M 1993 Inactivation and mobilization of phosphates in soils. *Eurasian Soil Sci.* (Translated) 25, 37-45.
- Kuo S 1996 Phosphorus. In *Methods of soil Analysis: Part 3, Chemical Methods*. Ed. D.L. Sparks. pp 869-919. *Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI.*
- Lindsay W L 1979 *Chemical Equilibria in Soil*. pp 180-204. John Wiley and Sons, New York.
- Lindsay W L, Frazier A W and Stephenson H F 1962 Identification of reaction products from phosphate fertilizers in soil. *Soil Sci. Soc. Proc.* 25, 446-452.
- Lopez-Hernandez D, Flores D, Siegert G and Rodriguez J V 1979 The effect some organic anions on phosphate removal from acid and calcareous soils. *Soil Sci.* 128, 321-326.
- Mattingly G E G 1971 Residual value of phosphate fertilizers on neutral and calcareous soils. *Technical Bulletin* 20. pp1-15. Ministry of Agriculture and Food. London. GB.
- Morel C and Plenchette C 1994 Is the isotopically exchangeable phosphate of a loamy soil the plant-available P? *Plant Soil* 158, 287-297.
- Olsen S R, Cole C V, Watnabe F S and Dean L A 1954 Estimation of available P in soil by extraction with sodium bicarbonate. U. S. Department of Agriculture. Circular, 939. Washington, DC.
- Olsen S R and Sommers L E 1982 Phosphorus. In *Methods of Soil Analysis: Part 2, Chemical and Microbiological Properties*. 2d edn. Ed. A. L. Page et al. pp 403-430. *Am. Soc. Agron., Madison, WI.*
- Robert M E and Larsen S 1970 The stability of dicalcium phosphate dihydrate in soil. *J. Soil Sci.* 21, 353-358.
- Sample E C, Soper R J and Racz G J 1980 Reactions of phosphate fertilizers in soils. In *The role of phosphorus in agriculture*. Eds. F E Khasawneh, et. al. pp 263-310. *Am. Soc. Agron., Madison, WI.*
- Syers J K, Smillie G W and Williams J D H 1972 Calcium flouride formation during extraction of calcareous soil with flouride: I. Implications to inorganic phosphorus fractionation schemes. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36, 20-24.
- Tomar N K, Khanna S S and Gupta A F 1984 Transformation of mixtures of Missouri rock phosphate and TSP in calcareous soil applied after incubation with organic matter. *Haryana Agriculture. University Journal Research* XIV, 324-333.
- Wild A 1988. Plant nutrients in soil: Phosphate. In *Russell's Soil Conditions & Plant growth*. Ed. A. Wild. pp 695-742. Longman Scientific and Technical, New York.

# تحسين مردود ألواح الخلايا الفوتو - فولطائية باستخدام نظام ملاحقة الشمس\*

د. علي الخمد

هيئة الطاقة الذرية، ص.ب. 6091، دمشق، سوريا

## ملخص

تقدم هذه الورقة تصميماً لنظام ملاحقة للشمس، يتم فيه التحكم بحركة لوح الخلايا الفوتو- فولطائية لتتبع الإشعاع الشمسي، وذلك باستخدام وحدة تحكم منطقي مبرمج (PLC). تم تصميم وتطوير كامل الدارات الإلكترونية والبرمجيات اللازمة لتؤدي العمليات التقنية الخاصة بهذا النظام. كما تم توظيف وحدة تحكم مبرمج PLC لتقوم بعملية التحكم والمراقبة للحركة الميكانيكية للوح الخلايا الشمسية وكذلك لتجميع وتخزين معطيات تتعلق بالإشعاع الشمسي. لقد وجد أن استطاعة الخرج اليومية الناتجة عن اللوح الشمسي قد ازدادت بمقدار تجاوز 20% عن حالة اللوح الشمسي الثابت. يمكن استخدام نظام الملاحقة الشمسية كنظام مستقل كما يمكن ربطه إلى حاسب شخصي عبر البوابة التسلسلية RS232 وذلك لمراقبة كامل العملية على شاشة الحاسوب.

## الكلمات المفتاحية: فوتو- فولطائية، نظام ملاحقة، PLC.

## مقدمة

وبالتالي الحصيلة السنوية الناتجة عن النظام الشمسي. يعتبر استخدام نظام الملاحقة أكثر تكلفةً وتعقيداً من حالة النظام الثابت ولكنه يصبح فعالاً اقتصادياً في العديد من الحالات لأنه يؤمن طاقة أكبر على مدار العام بما يتجاوز 25% [1].

تتوفر نظم الملاحقة تجارياً بشكلين، إما وحيدة المحور أو ثنائية المحور. يلاحق النظام الأحادي المحور ظهور الشمس من الشرق إلى الغرب. بينما يقوم النظام الثنائي المحور بالإضافة إلى الملاحقة شرق - غرب، بإمالة اللاقط الشمسي أو اللوح وذلك لملاحقة تغيرات الزاوية السمتية للشمس.

للتحقق من التحسن المرجو في طاقة الخرج اليومية للوح فوتو - فولطائي، تم تصميم نظام ملاحقة للشمس أحادي المحور يعتمد على وحدة تحكم منطقي مبرمج PLC. كما تم أيضاً تطوير برنامج التحكم المناسب اللازم لإنجاز كامل عملية التحكم مع إمكانية استخدام هذه التشكيلة كنظام تحصيل معطيات خاص بقيم الإشعاع الشمسي خلال ساعات النهار.

## البنية المادية للنظام

تتألف البنية المادية للنظام من الأجزاء الرئيسية التالية:

### وحدة التحكم المبرمج PLC

تم شراء هذه الوحدة، PS4-201 MM1، من شركة كلوكنر مولر وهي تعد قلب نظام ملاحقة الشمس [2].

يستقبل اللاقط الشمسي أو اللوح الفوتو - فولطائي الإشعاع الشمسي الأعظمي عندما تسقط أشعة الشمس عليه بزوايا صحيحة، وإن إمالة اللوح بزوايا غير متعامدة مع أشعة الشمس سوف ينتج عنها طاقة شمسية مجمعة أقل. لذلك فإن زاوية الميل المثلى الخاصة بنظام طاقة شمسية مجمعة أقل. لذلك فإن زاوية الميل موقع تركيب النظام وبالتطبيق الذي يراد به استخدامه. لقد تم بناء العديد من الأنظمة الشمسية وفق النموذج الثابت أو الملاحق. يتم عادة تركيب وإمالة اللواقط أو الألواح الثابتة، التي تولد الحرارة أو الكهرباء على مدار السنة، بزوايا تساوي خط عرض موقع التركيب وبذلك يتم توجيه اللاقط أو اللوح بشكل مقابل مباشرة للشمس. بالطبع، إن الوضع المثالي يناسب زمن وجود الشمس في كبد السماء (أي في فصلي الربيع والخريف)، وتكون الطاقة المجمعة بواسطة النظام الشمسي أقل من ذلك بكثير في فصلي الشتاء والصيف، وذلك للعديد من الأسباب كالغيوم في الشتاء والتبعثر الحراري في الصيف بالإضافة إلى تغير ارتفاع الشمس. ولكن في مثل هذه الحالات، من الأفضل أن يكون التجميع الوسطي السنوي للطاقة أعظماً (أي يجب أن يتم معايرة وضع زاوية اللاقط أو المجمع وأفقيته للحصول على الطاقة العظمى).

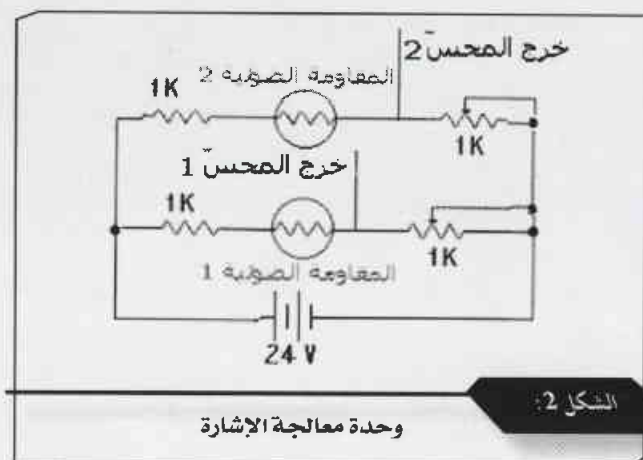
في الحقيقة، إن وجود آلية ملاحقة الشمس يزيد من كمية الطاقة الشمسية التي يمكن أن يلتقطها اللاقط الشمسي أو اللوح الفوتو - فولطائي؛ وهذا سيؤدي إلى زيادة طاقة الخرج اليومية

\* نُشرت ورقة البحث هذه في مجلة Applied Energy، 2004.



## المحسات ووحدة معالجة الإشارة

تم استخدام مقاومتين ضوئيتين متطابقتين بالخواص من أجل ملاحقة موقع الشمس وتم تركيبهما على نفس الحامل الخاص باللوح الشمسي وتم الفصل بينهما باستخدام حاجز كتيمة وذلك لتأمين تشكل خيال على إحدى المقاومتين أثناء حركة قرص الشمس. تتناقص القيمة الفيزيائية للمقاومات عند سقوط الإشعاع الشمسي على سطحها.



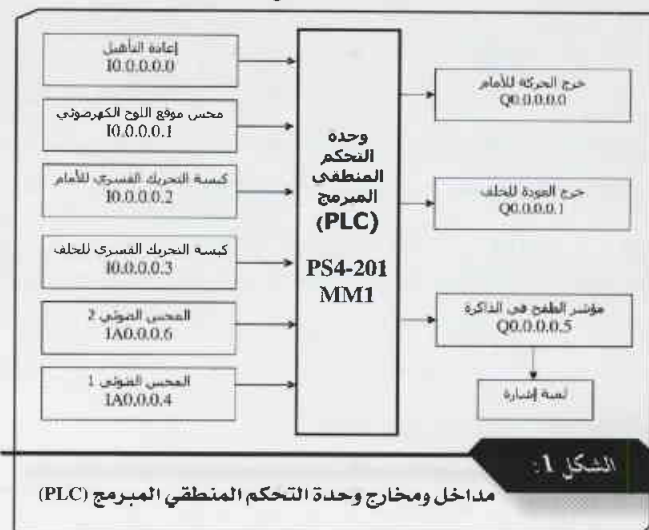
الشكل 2: وحدة معالجة الإشارة

يبين الشكل 2 مخطط الدارة الإلكترونية لوحدة معالجة الإشارة.

عندما تتردد شدة الإشعاع الشمسي، فإن قيم المقاومات الضوئية تتناقص مما يؤدي إلى تناقص الجهد الهابط على هذه المقاومات، ونتيجة لذلك فإن هبوط الجهد على طرفي المقاومة المتغيرة يتزايد (1 K). وسوف يولد هذا علاقة طردية ما بين شدة الإشعاع الشمسي الساقط والجهد الموافق له على طرفي المقاومة المتغيرة (1 K). يتم توصيل إشارتي خرج هذه الوحدة مباشرة إلى المداخل التمثيلية لوحدة التحكم المبرمج PLC التي تقوم بدورها بمقارنة هاتين الإشارتين وتولّد إشارة الخرج المناسبة التي تفعل عملية ملاحقة كهربيكانيكية للشمس.

تتكون هذه الوحدة مما يلي:

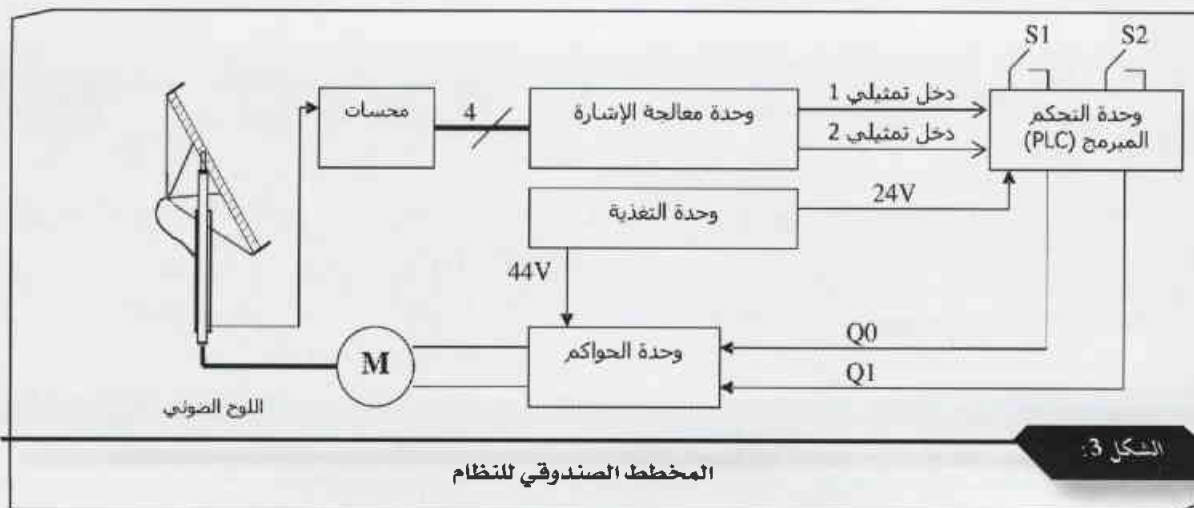
- ثمانية مداخل رقمية معزولة غلفانياً.
- ستة مخارج رقمية (ترانزستورية) معزولة غلفانياً.
- مدخلين تمثيليين (0-10 V)، يمكن أن يتحوّلوا داخلياً إلى رقميين باستخدام مبدل تمثيلي - رقمي A/D يعرض كلمة bit 10 ويتميزية مقدارها 9.7 mV.
- مخرج تمثيلي واحد (0-10 V) ويميز مقداره 2.44 mV.
- مأخذ خاص للترابط مع الحاسب تسلسلياً عبر الوصلة التسلسلية RS232.
- مأخذ خاص RS485 لربط الوحدة مع شبكة تحكمية متكاملة.



الشكل 1: مداخل ومخارج وحدة التحكم المنطقي المبرمج (PLC)

- ذاكرة ديناميكية (32 kbytes) تم تقسيمها إلى قسمين: الأول تم استخدامه لتخزين برنامج التشغيل (تحكم، مراقبة وتحصيل) بينما استخدم الثاني كمواقع تخزين للقراءات المأخوذة من واحد من المحسّين الضوئيين بالإضافة إلى أوامر الاتصال مع الحاسوب الشخصي.

يمثل الشكل 1 قيم الدخل والخرج المطبقة على مداخل PLC المختلفة.



المخطط الصندوقي للنظام

تتراوح قيمته ضمن المجال (12- 24V) وذلك وفقاً لقيمة المقاومتين R3, R4، كما هو موضح بالجدول التالي:

R4	R3	جهد الخرج
6K2	4K7	12V
9K1	4K7	15V
12K	4K7	18V
18K	4K7	24V

لقد تم اختيار قيمة كل من R3 و R4 لتأمين جهد خرج مستمر مقداره 24 V لتغذية وحدة التحكم المبرمج، كما تم تأمين الجهد 44 V مباشرة من خرج جسر التقويم وذلك لتغذية محرك التيار المستمر المستخدم في آلية التحريك الميكانيكية.

### برمجيات النظام

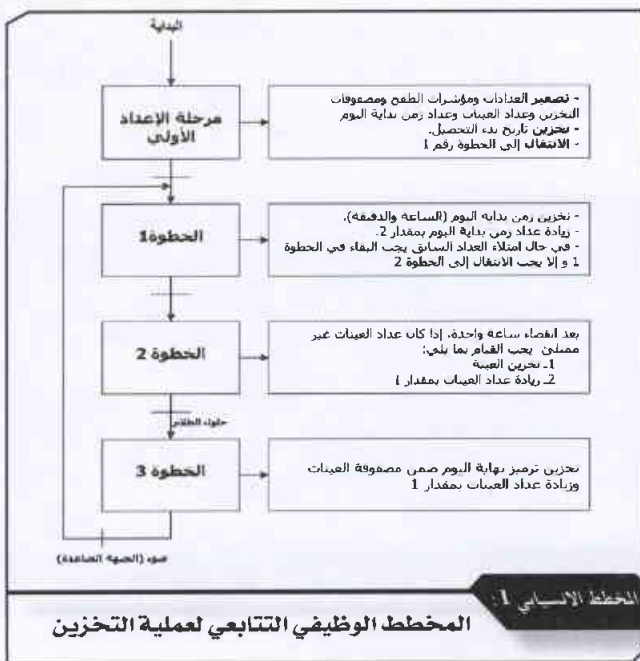
يتألف برنامج التحكم الخاص بالنظام من الجزئين الأساسيين التاليين:

#### برنامج المراقبة والتحكم الخاص بوحدة التحكم المبرمج PLC

لقد تم تطوير برنامج مناسب للقيام بعمليات التحكم والمراقبة وتحصيل المعطيات باستخدام برمجيات خاصة بـ PLC تدعى SUCOSOFT S40 [4]. يؤدي البرنامج المهام التالية:

❖ التحكم بحركة نظام الملاحقة: يبين الشكل 5 التابع المنطقي لعملية التحكم.

❖ مراقبة مداخل ومخارج PLC: المهمة الرئيسية لهذا البرنامج الجزئي هو نسخ حالة مداخل ومخارج PLC إلى مواقع خاصة ضمن الذاكرة تسمى "Markers Range" بحيث يمكن لبرنامج المراقبة الحاسوبي أن يقرأ حالة مداخل/ مخارج PLC مباشرة من هذه الذاكرة.

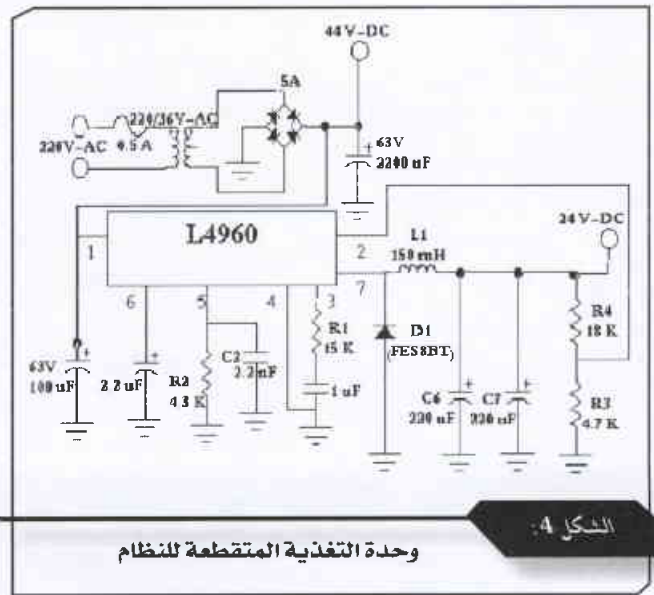


### اللوحة الفوتو - فولطائي وميكانيكية التحريك الكهرميكانيكي؛

كان اللوح الفوتو - فولطائي المستخدم في هذا المشروع من النوع "SM50-18A2" من إنتاج شركة "SIEMENS". يتألف اللوح من 36 خلية شمسية موصلة تسلسلياً. جهد الخرج لكل خلية يساوي 0.6 V، وهذا يولد طاقة خرج تقديرية مقدارها 17 V-50 W. هذا بالطبع ضمن شروط الاختبار النظامي (STC (standard test condition)، حيث الشدة الشمسية =  $1000 \text{ W/m}^2$  درجة حرارة الخلية =  $25^\circ \text{C}$ ، كتلة الهواء = 1.5.

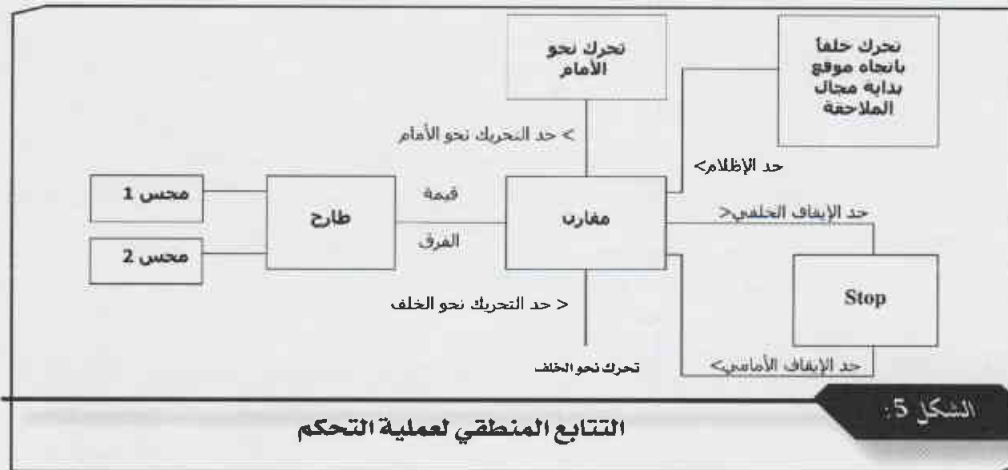
يبين الشكل 3 المخطط الصندوقي لكامل النظام.

يمكن أن يتم التحكم بالنظام يدوياً أو آلياً. تُستخدم الضاغطان S1 و S2 من أجل التشغيل اليدوي. في هذه الحالة، تقوم PLC بإصدار إشارات خرج مناسبة على المخرجين Q0 أو Q1 إلى الموصولين إلى ملفي حاكمتين وذلك لتحريك اللوح الشمسي في نفس جهة حركة الشمس أو في الاتجاه المعاكس له. بينما، في نمط التشغيل الآلي، تقوم PLC بمقارنة قيم مدخلها التمثيليين القادمين من وحدة معالجة الإشارة، ثم تقوم بتوليد الخرج الصحيح على المخارج Q0 أو Q1.



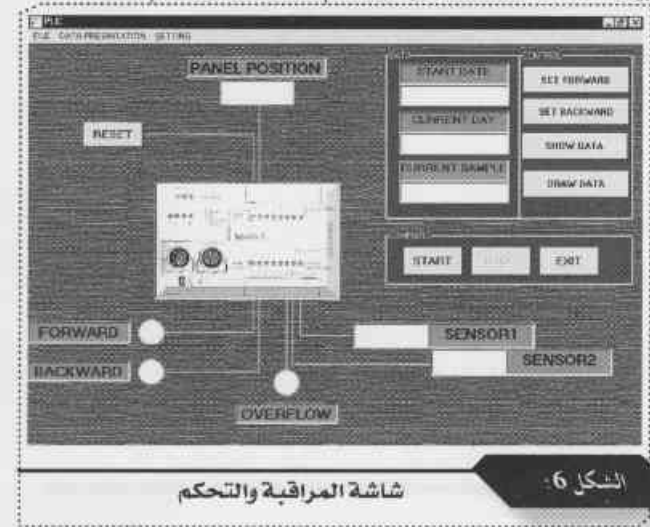
### وحدة تغذية النظام

يظهر الشكل 4 وحدة التغذية المتقطعة النمط لنظام الملاحقة. إن توظيف تقنية التغذية المتقطعة النمط هنا يؤدي إلى الحصول على وحدة تغذية ذات مردود عالٍ بضايعات منخفضة. لقد تم تصميم هذه الوحدة بالاعتماد جوهرياً على عنصر التنظيم المتقطع L4960 الذي يؤمن جهد خرج يتراوح ما بين 5.1 V و 40 V و تيار قيادة مقداره 2.5A [3]. تولد هذه الدارة جهد خرج مستمر منتظم



الشكل 5 المتابع المنطقي لعملية التحكم

في ملف خاص بذلك. بالإضافة إلى ذلك، فإن طباعة ورسم القيم المخزنة وعلى أساس يومي هي مهام أخرى ينفذها هذا البرنامج. بسن الشكل 6 شاشة المراقبة والتحكم الكامل لعملية نظام الملاحظة.



الشكل 6 شاشة المراقبة والتحكم

✧ تخزين العينات: تتم في الزمن الحقيقي عملية تخزين لقراءات المحسّات الضوئية كل ساعة. وتتم عملية التخزين ضمن مصفوفات خاصة موجودة ضمن ذاكرة تخزين المعطيات RAM. تنفذ هذه العملية في أوقات النهار فقط وتتوقف خلال الليل وتستنأف عند شروق شمس النهار التالي. في بداية كل يوم، يتم تخزين زمن البداية (ساعات ودقائق) ضمن مصفوفة مستقلة وذلك لإظهارها لاحقاً على شاشة الحاسب. عند امتلاء ذاكرة RAM تتوقف وظيفة التخزين عن العمل حتى يقوم المستخدم بالقيام بعملية تصفير (reset) لمسح المعطيات السابقة. تمت كتابة هذا الجزء من البرنامج باستخدام البرمجة وفق المخطط الوظيفي التابعي (SFC sequential functioning chart). خوارزمية هذه العملية البرمجية يبينها المخطط الانسيابي 1.

### البرنامج الحاسوبي للمراقبة ومعالجة المعطيات

تم تطوير برنامج حاسوبي خاص باستخدام لغة غرضية التوجه هي لغة 5 VISUAL BASIC. يقوم هذا البرنامج بالوظائف التالية:

- ✧ الكشف الآلي للبوابة التسلسلية (RS232 (com 1, 2, 3, 4) التي تم ربط ال PLC إليها.
- ✧ مراقبة عمل النظام: تحديد الموقع الفعلي وجهة الحركة اللوح الشمسي وإظهار قراعتي المحسّين الضوئيين، وكذلك مؤشر امتلاء ذاكرة تخزين العينات.
- ✧ التحكم القسري بتحريك اللوح نحو الأمام أو الخلف في حالة حدوث أي طارئ.
- ✧ إظهار الإعدادات الخاصة بالملاحظة الشمسية المخزنة في ذاكرة PLC (مثل حدود الحركة الأمامية والخلفية وحد الإطلام وحدود التوقف الأمامي والخلفي...) مع إمكانية تعديل هذه الإعدادات دون الحاجة للولوج إلى البرنامج الخاص بوحدة PLC.
- ✧ إظهار قيم قراءات المحسّ الضوئي التي تم تخزينها خلال دورة العمل الحالية في ذاكرة PLC العشوائية للولوج بالإضافة إلى إمكانية تخزينها

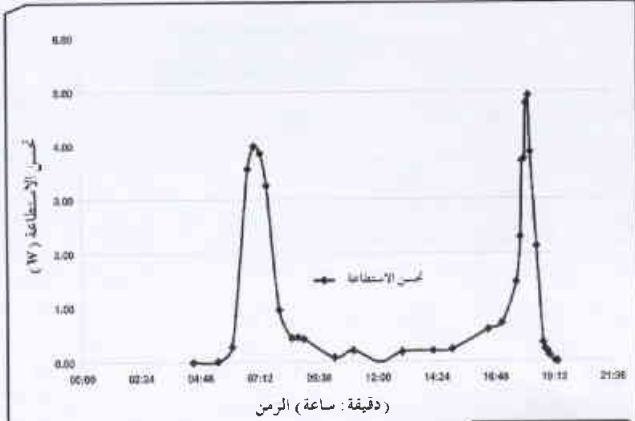
### النتائج التجريبية والمناقشة

تم اختبار أداء نظام ملاحظة الشمس المصمم ووجد أنه يعمل بشكل جيد، حيث كانت ملاحظة اللوح الشمسي تبعاً للإشعاع الساقط بشكل سلسلة وبدون أي تأخير زمني. تبدأ هذه العملية عند تشكل ظل على واحدة من المقاومتين الضوئيتين مما يسبب اختلافاً في قيمة المقاومة ويحول هذا الاختلاف إلى قيمة جهد يطبق مباشرة على المداخل التمثيلية لل PLC.

يقوم نظام الملاحظة بمسح زاوية تقارب 120 درجة من الشرق إلى الغرب يومياً، ويتوقف عن الملاحظة ويعود إلى نقطة البداية آلياً عندما تنخفض شدة الإشعاع الشمسي الساقط إلى قيمة صغيرة جداً عند غروب الشمس.

تم القيام بعمليات قياس الجهد والتيار للوح الفوتو - فولطائي باستخدام حمل ثابت في العديد من الأيام المشمسة من صيف عام 2000. وتم اعتبار يوم البداية اليوم الأول من كل شهر من هذه

باستخدام التكامل العددي. وقد وجد بأن ربح استطاعة خرج اللاقط الفوتو - فولطائي قد تحسن بمقدار يزيد على 66% خلال الفترة ما بين السادسة والتاسعة إلا ربع صباحاً، وبمقدار 3% ما بين الساعة التاسعة إلا ربع صباحاً والرابعة والنصف مساءً، وبمقدار يزيد على 45% من الساعة الرابعة والنصف وحتى السادسة والنصف مساءً. كان متوسط التحسن الإجمالي خلال كامل النهار يزيد على 20%. تمثل القياسات السابقة الحالة المثالية من أجل معظم أيام فصل الصيف، حيث كانت الانحرافات في هذه القياسات أقل من  $\pm 2\%$ .



الشكل 8: تحسن الاستطاعة خلال فترات مختلفة من اليوم

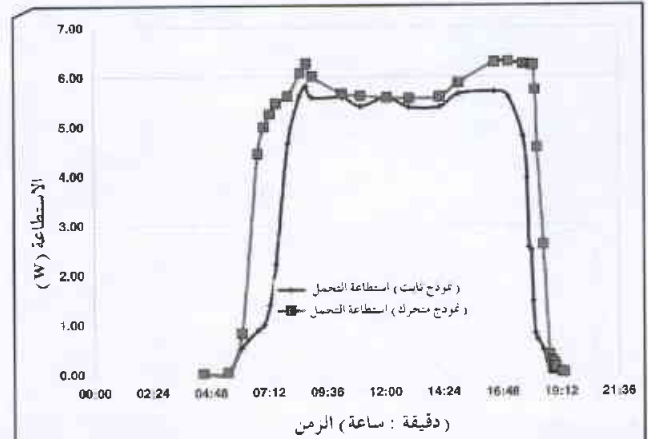
على الرغم من أن استخدام تقنيات التحكم المبرمج PLC في نظم الملاحقة الشمسية ومراقبة الألواح الشمسية الفوتو - فولطائية يعتبر أكثر كلفة وتعقيداً، فإنها تصبح فعالة اقتصادياً أكثر عند استخدامها للتحكم بتطبيقات مؤلفة من العديد من الألواح بنفس الوقت، حيث يمكن توليد كمية كبيرة من الطاقة على مدار العام.

### الاستنتاج

كانت الفائدة الأولى لاستخدام نظام ملاحقة الشمس المصمم هو التحسن الجوهري في استطاعة خرج اللوح الفوتو - فولطائي، حيث ازداد ربح استطاعة الخرج اليومية بأكثر من 20% مقارنة بحالة نظام اللوح الثابت وزاد هذا الربح على 40% على الأقل خلال فترات ساعات الصباح الباكر والمساءً. الفائدة الثانية، فإن استخدام وحدة PLC كجهاز تحكم يسمح بتوصيل العديد من الألواح الفوتو - فولطائية تسلسلياً أو على التفرع، وهذه التقنية تخفض من كلفة نظم الملاحقة وتجعلها موفرة اقتصادياً.

الفترة، وتمت عملية تجميع القراءات منذ الساعة الخامسة صباحاً وحتى الساعة السابعة والنصف مساءً من كل يوم من أجل كلا نمطي العمل (حالة اللوح الثابت، وحالة نظام الملاحقة). في نمط العمل الثابت، كان اللوح مثبتاً خلال كامل فترة القياس باتجاه الجنوب وبزاوية ميل مقدارها 33 درجة وهي زاوية الميل الأمثل في مدينة دمشق خلال هذه الفترة من السنة.

يبين الشكل 7 مثلاً عن ربح استطاعة خرج اللوح كتابع للزمن من أجل كلا نمطي العمل وذلك في اليوم الرابع عشر من آب عام 2000. كما يمكن أن يُرى، فإن استطاعة الخرج تظهر تزايداً ملموساً خلال الساعات الباكرة والمتأخرة من النهار. بالحقيقة، إن التحسن الإجمالي في حالة الملاحقة تجاوز 40% في الفترة ما بين السادسة والعاشر صباحاً والفترة ما بين الثالثة والخامسة مساءً. بينما كان التحسن بحدود 2 إلى 4% خلال ساعات الظهيرة. وهذا يعزى بشكل أساسي إلى الانخفاض في جهد الدارة المفتوحة open-circuit voltage للوح بسبب ارتفاع درجة الحرارة في هذا الوقت من النهار.



الشكل 7: منحنيات استطاعة الحمل (من أجل النموذج الثابت والمتحرك)

يبين الشكل 8 التحسن في استطاعة الخرج للوح (الفرق بين منحنىي استطاعة الحمل من أجل نموذج الملاحقة والنموذج الثابت). ولإيجاد القيمة الدقيقة لربح استطاعة النظام، فقد تم حساب نسبة المساحات المحصورة تحت كلا المنحنيين المبيينين في الشكل 7 (أي نسبة مساحة حالة نمط الملاحقة إلى مساحة حالة النمط الثابت)

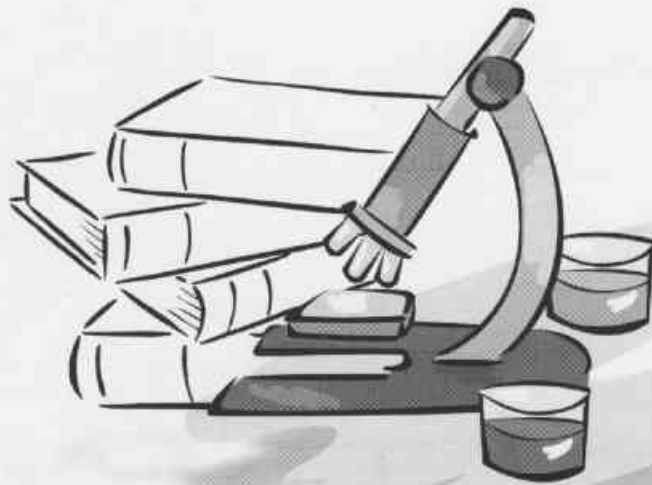
## REFERENCES

- [1]. Enslin R. Maximum power point tracking: a cost-Saving necessity in solar energy systems. Renew Energy, 1992; 6: 549.
- [2]. Sucocontrol PS4-201 MMI hardware and engineering, 1994. Klockner Moeller. No. of pages: 112, 1st edition, authors: Ralf Stang, Peter Roersch. Editor: Thomas Kracht.

## المراجع

- [3]. Motion Control Application Manual, 1987. SGS Technology and Services. SGS group. No. of pages 1151, Pages numbers:529-40.
- [4]. Sucusoft S40 software version 3.10. Moeller GmbH, 1994-1999.

# التقارير العلمية





# نمذجة رياضية لليزر CW-CO<sub>2</sub> يعمل على ديناميك الغازات باستطاعة عالية\*

شريف الحواط ، خبير المتعب

قسم الفيزياء- دائرة الفيزياء الذرية والجزيئية - هيئة الطاقة الذرية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

## ملخص

جرى تنفيذ الحل العددي لمعادلات ليزر الديناميك الغازي في مزيج CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>O باستخدام نموذج الخمس درجات حرارة (درجة حرارة انسحابية واحدة وأربع درجات حرارة اهتزازية) بواسطة برنامج حاسوبي كتب بلغة الفورتران. جرى الحصول على التغير المكاني لمقادير الديناميك الغازي من سرعة وضغط وكثافة ودرجات حرارة انسحابية واهتزازية ووسطاء الليزر من ربح (كسب) وإسكان معكوس وشدة ليزرية واستطاعة خرج بدلالة البعد عن الفوهة ضمن مجاوب ليزري عند شروط ابتدائية محددة للغاز من ضغط ودرجة حرارة وسرعة ونسب للغازات في المزيج.

**الكلمات المفتاحية:** ليزر CO<sub>2</sub>، ديناميك الغازات، نمذجة رياضية.

# تحديد نوعية المياه السطحية والجوفية في حوض العاصي (من سوريا) والأثر السلبي لبعض الملوثات على المياه والتربة والنبات في المنطقة\*\*

د. عبد الرحمن سلامي قاسم

قسم الجيولوجيا - هيئة الطاقة الذرية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

## ملخص

يبحث هذا العمل في الخصائص الفيزيائية والكيميائية ونوعية المياه السطحية والجوفية وتركيز العناصر الأساسية وبعض العناصر الأثر في المياه والتربة وأوراق بعض النباتات في منطقة حوض نهر العاصي في سوريا. تمّ تحديد المعاملات الفيزيائية وتحليل أهم عناصر المركبات الرئيسية والثانوية في 95 عينة مائية (77 عينة جوفية و 18 عينة سطحية) بطرائق التحليل الشائعة مع تحليل بعض العناصر الأساسية والعناصر الأثر في 18 عينة ترابية و 9 عينات نباتية (أوراق) باستخدام طريقة التحليل بالتنشيط النتروني.

تقييم نتائج التحاليل لهذه العينات إضافة لخرائط الأنماط والنوعية الكيميائية يبين الأثر الكبير للوضع الجيويثي والجغرافي وأثر الفعاليات البشرية في تلوث المياه والتربة ومن ثمّ النباتات تبعاً لنوعية مياه الري وتأثير المخلفات الهوائية والسائلة والصلبة للتجمعات الصناعية والمنزلية إضافة لطبيعة وتكرارية الزراعات ونمط المخصبات والأسمدة المستخدمة في منطقة الدراسة.

**الكلمات المفتاحية:** هيدروكيميا، مياه سطحية، مياه جوفية، نوعية، تلوث المياه، نباتات، تربة، آلية التحليل بالتنشيط النتروني، العناصر الأثر، العاصي، حماه، حمص، سوريا.

\* تقرير مختصر عن دراسة علمية حاسوبية أجرت في قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرية السورية.

\*\* تقرير مختصر عن بحث علمي أجري في قسم الجيولوجيا - هيئة الطاقة الذرية السورية.

## التوصيف الرياضي لمرايا الترافق الطوري\*

د. محمد الشيخ خليل ، د. سامر عباس

قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

### ملخص

عُرِضت حلولٌ عديدة لمعادلات مزج أربع موجات منطبقة بشكل متعاكس ضمن وسط متماثل المناحي. اعتبرت موجات الدخول منتظمة فراغياً وعولجت حالتها موجة الضخ الناضبة وغير الناضبة. أخذ بعين الاعتبار تقريب التغير البطيء لمطالات الحقول الكهربائية المتفاعلة بالمقارنة مع التغير المكاني المرافق. حصلنا على معادلات الموجة اللاخطية المرتبطة، وقمنا بحلها عددياً بواسطة طريقة تعتمد صيغة لوباتو Lobatto IIIa. دُرِس تأثير شدات الحزم الداخلة في التفاعل وسمك الوسط الفعال على انعكاسية مرآة الترافق الطوري.

**الكلمات المفتاحية:** الترافق الطوري، أربع موجات ليزرية منطبقة، الوسط الضوئي اللاخطي، وسط متماثل المناحي.

## برنامج حاسوبي لمحاكاة ليزر CO<sub>2</sub> النبضي\*\*

د. بشار عبد الغني

قسم الخدمات العلمية - دائرة الرياضيات والمعلوماتية - هيئة الطاقة الذرية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

### ملخص

صُمِّمَ برنامج "محاكي ليزر CO<sub>2</sub> النبضي" بهدف محاكاة عملية الإصدار الديناميكي في ليزر ثنائي أكسيد الكربون النبضي الذي يعتمد نموذج درجات الحرارة الست. يتنبأ البرنامج بسلوك نبضة الخرج الليزري المتعلق بوسائط الدخول الفيزيائية والهندسية.

**الكلمات المفتاحية:** برنامج حاسوبي، محاكاة، ليزر CO<sub>2</sub>.

## فصل نظير الإتيريبيوم <sup>168</sup>Yb بالليزر بالطريقة الذرية

### \*\*\* Atomic Vapor Laser Isotope Separation (AVLIS)

د. عبد القادر جزماتي

قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

### ملخص

نتناول في هذه الدراسة بعض الخواص الفيزيائية والكيميائية لعنصر الإتيريبيوم Yb بالإضافة إلى مخطط تأين تجاوبي للنظير <sup>168</sup>Yb. كما نذكر الأطوال الموجية الثلاثة المناسبة لعملية الفصل وعمر السويات المستخدمة في التأين، كما سنتناول الدراسة شروط الحزم الليزرية من حيث الشدات والعرض الطاقوي، كما نتناول شروط الحزمة الذرية وأموراً أخرى تتعلق بعملية الفصل.

**الكلمات المفتاحية:** فصل النظائر، ليزر، عنصر الإتيريبيوم Yb.

\* تقرير مختصر عن دراسة علمية حاسوبية أُجريت في قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرية السورية.

\*\* تقرير مختصر عن دراسة علمية حاسوبية أُجريت في قسم الخدمات العلمية - هيئة الطاقة الذرية السورية.

\*\*\* تقرير مختصر عن دراسة علمية مكتبية أُجريت في قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرية السورية.



## تحضير أشربة ذات ناقلية فائقة (Ag-BSCCO) ودراسة التيار الحرج فيها\*

د. عادل نادر

قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

### ملخص

حُضرت في هذه الدراسة أشربة Ag-BSCCO وحيدة السلك وتمّ قياس كثافة التيار الحرج الذي يمكن تمريره فيها، وذلك بدلالة فترة الإجماء التي تتعرض لها هذه الأشربة. لاحظنا بأنه عند زيادة فترة الإجماء من 8 إلى 17 ساعة فإن كثافة التيار الحرج تزداد بما يقارب 7 مرات، دون أن يكون لدينا تفسير واضح لذلك.

**الكلمات المفتاحية:** أشربة ذات ناقلية فائقة، تيار حرج، سيراميك.

## القيمة الغذائية لنبات السيسبان (*Sesbania aculeata*) النامي في تربة مالحة وتأثيره على المؤشرات التناسلية عند نعاج العواس\*\*

د. معتز زرقاوي، د. محمد راتب المصري، د. خلف خليفة

قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

### ملخص

بلغت قيم المكونات الغذائية لنبات السيسبان الكامل والسوق والأوراق مع القرون (غ/كغ مادة جافة) 130 و 42 و 218 بروتين خام و 537 و 380 و 626 مادة عضوية مهضومة، وكمية العناصر المعدنية (جزء بالمليون) 176 كالسيوم، 936 بوتاسيوم، 105 صوديوم و 39 مغنيزيوم، وكمية المادة الجافة 6008 و 2499 و 3509 كغ/هكتار. لم يؤثر السيسبان على الوزن الحي للنعاج وعلى استجابة النعاج لبرنامج توقيت الشياح، ومعدل الإخصاب، وطول فترة الحمل، ووزن المواليد ووزن الفطام، وتراكيز أو منحى تراكيز هرمون البروجستيرون.

**الكلمات المفتاحية:** سيسبان، قيمة غذائية، إنتاج، بروجستيرون، تناسل.

\* تقرير مختصر عن دراسة علمية مخبرية أجرت في قسم الفيزياء - هيئة الطاقة الذرية السورية.

\*\* تقرير مختصر عن تجربة استطلاعية مخبرية أجرت في قسم الزراعة - هيئة الطاقة الذرية السورية.

## قبول العائل ومدة التطور والقدرة التكاثرية لنوعي التريكوغراما

### T. principum و Trichogramma cacoeciae

#### على بيوض دودة ثمار التفاح ★

د. حياة المكي

قسم التقنية الحيوية - هيئة الطاقة الذرية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

#### ملخص

أُجريت تجارب خيارية في المختبر لتقدير تأثير تقبل العائل، عمر العائل، نوع العائل الأول، مدة بقاء العائل مع الطفيلي، تكرار تعريض الطفيلي لبيوض العائل وكذلك خصوبة العائل في فعالية T. principum و T. cacoeciae ضد دودة ثمار التفاح. إن مقدرة T. principum و T. cacoeciae على مهاجمة بيوض دودة ثمار التفاح لم تتأثر بنوع العائل الأول. أظهرت إناث T. cacoeciae تفضيلاً لبيوض دودة ثمار التفاح أكبر من تفضيل إناث T. principum لها. لقد ازدادت مهاجمة بيوض دودة ثمار التفاح الحديثة العمر. إن مقدرة إناث الطفيلي على تقبل العائل لم تتأثر بطول مدة البقاء مع العائل. وقد تناقص عدد البيوض المتطفل عليها وعدد أفراد الجيل الأول عند تعريض إناث الطفيلي بشكل يومي لبيوض دودة ثمار التفاح الحديثة العمر. لم تؤثر خصوبة بيوض العائل على مقدرة T. principum و T. cacoeciae على التطفل.

**الكلمات المفتاحية:** دودة ثمار التفاح، تريكوغراما، تقبل العائل، عمر العائل، فترة التعريض، خصوبة العائل.

## نزع الفلور بالترسيب من حمض الفسفور التجاري السوري المصنّع

### بالطريقة الرطبة ★★

د. محمد الخالد عبد الباقي

مكتب التعدين المائي - هيئة الطاقة الذرية - ص. ب. 6091 - دمشق - سوريا

#### ملخص

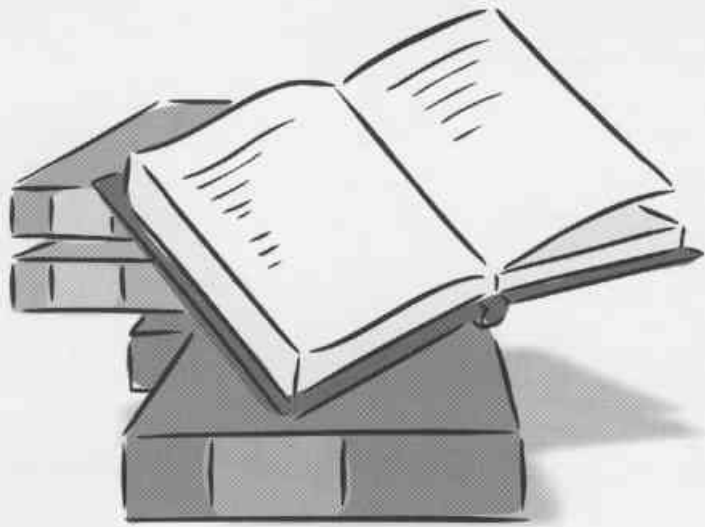
دُرست عملية نزع الفلور من حمض الفسفور التجاري السوري عن طريق ترسيبه باستخدام أملاح البوتاسيوم والصوديوم وذلك عند شروط عمل مختلفة من النسبة الستيكومترية والحرارة وزمن الخلط، وقد حققت جميع الأملاح المدروسة كفاءة عالية بإزالة الفلور تراوحت ما بين 95-97% وتم التوصل إلى الشروط المثلى التي تحقق أعلى نسبة نزع للفلور، وطُبقت هذه الشروط على كلوريد الصوديوم التجاري وكبريتات الصوديوم التجارية فحصلنا على نسبة مماثلة للنسبة السابقة حيث يفضّل استخدام كلوريد الصوديوم لرخصه وتوفره محلياً.

**الكلمات المفتاحية:** حمض الفسفور، ترسيب، فلور.

★ تقرير مختصر عن تجربة استطلاعية مخبرية أُجرت في قسم التقنية الحيوية - هيئة الطاقة الذرية السورية.

★ تقرير مختصر عن دراسة علمية مخبرية أُجرت في مكتب التعدين المائي - هيئة الطاقة الذرية السورية.

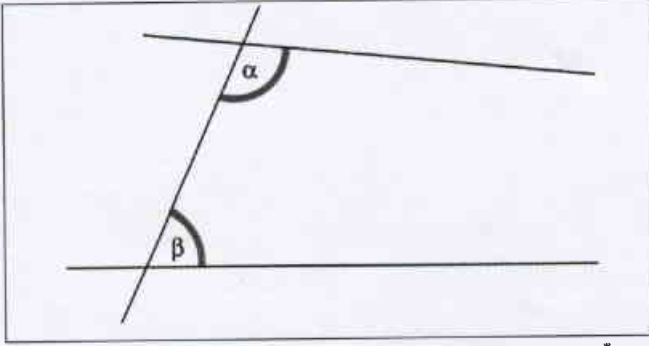
# كتب هينة مفتوحة



## 1- عوالم متوازية Parallel Worlds\*

تأليف: جاناتوس بوليائي

ترجمة: شيرين الشمراني، شيرين الشمراني، شيرين الشمراني



**مسلمة التوازي:** إذا كان الخط المستقيم الفاطح لخطين مستقيمين يجعل الزاويتين الداخليتين الموجودتين في نفس الجانب أصغر من زاويتين قائمتين (أي  $\alpha + \beta < 180^\circ$ )، فإن الخطين المستقيمين إذا امتدا إلى اللانهاية، سيبلتقيان في الجانب الذي تكون فيه الزاويتان أقل من زاويتين قائمتين.

إذا لم يتعين أن تكون الهندسة إقليدية، فبأي منطق إذاً تكون وصفاً للفضاء الفعلي الذي نعيشه؟ هل إن فضاءنا هو في واقعته إقليدي، وأن العلوم الهندسية الجديدة هي في واقع الأمر عوالم خيالية بحتة؟ أو هل يمكن أن يكون أحد هذه العلوم الهندسية الأخرى يصف واقعياً فضاءنا على نحو أفضل؟ إن هذا الأخير ممكن، إذ بالنظر إلى كونه لا إقليدياً فإنه يتمتع بخاصية اتساع القياس large-scale: أي إن الفضاء يبدو إقليدياً بالمقياس الصغير حتى لو كان لا إقليدياً بمجمله. وقد قادت أسئلة كهذه علماء الرياضيات إلى التراجع عن أي ادعاء بأن هندساتهم (وهي هنا في صيغة الجمع) قد وصفت الفضاء الفعلي. وبدلاً من ذلك، فقد بدؤوا يرون أن عملهم ينحصر في وصف الهندسات الممكنة - وكذا الموقف بالنسبة للفكرة القائلة بأن الرياضيات في أفضل الأحوال تهيب موديلات models لما يمكن أن تشبهه الحقيقة وليس بلوغ الحقيقة بشكل مباشر على نحو ما. إن البت بأي الموديلات لوصف فضاءنا الفيزيائي الفعلي قد أصبح سؤالاً مطروحاً على الفيزيائيين.

يُعد كتاب جاناتوس بوليائي "الهندسة الإقليدية وطبيعة الفضاء" أول الكتب في سلسلة جديدة نشرتها مكتبة بيرندي Burndy في معهد دبني Dibner حول تاريخ العلوم والتقانة. وتتوخى هذه السلسلة إتاحة المصادر التي تحتوي عليها هذه المكتبة لجمهور عريض من الناس. ومن أجل ذلك، تنسخ المكتبة في نسخة طبق الأصل مفردتين من مجموعة كتبها هما: كتاب بوليائي الأصلي باللاتينية (الذي نشر في عام 1832 كملحق لمؤلف رياضياتي أكثر إسهاباً بقلم والده) والترجمة الإنجليزية لعام 1896 بقلم جورج ب. هولستد G. B. Halsted وهو عالم رياضيات أمريكي فعلت كتاباته الشيء الكثير لتعميم الهندسة الحديثة. وقد سبق هاتين المفردتين "مقدمة" مطولة

يُعد اكتشاف الهندسة الإقليدية بالتأكيد واحداً من التحولات الحاسمة في تاريخ الفكر الإنساني. لقد كان تحولاً بطيئاً، بدأ في أوائل الثلاثينيات من القرن التاسع عشر ولم يتم اكتماله بحق إلا في فجر القرن العشرين. وفي هذه المسيرة، تسبب بتحول في الكيفية التي نظر بها العلماء والفلاسفة إلى الرياضيات، وإلى الفضاء المحيط بنا، وإلى الصلة بين الاثنين. ويمدنا كتاب جاناتوس بوليائي J. Bolyai "الهندسة الإقليدية وطبيعة الفضاء Non-Euclidean Geometry and the Nature of Space" بوصف غني لما حدث وكيف تم.

تبدأ القصة، مثلما يبدأ الكثير من قصص الرياضيات، بخلاصة إقليدس النافذة في الرياضيات الإغريقية التي تحمل اسم "العناصر" "The Elements". فقد كان إقليدس قد بنى وصفه للهندسة على خمس فرضيات، ويبدو أنه اعتبرها خواصً بديهية للفضاء. وتعد أربع من هذه الفرضيات بسيطة إلى حد ما، أما الخامسة المعروفة بـ "مسلمة التوازي Parallel Postulate" فهي بالغة التعقيد. لقد تساءل العديد من قراء إقليدس على مدى قرون فيما إذا كانت هذه (المسلمة) تقتضي حقاً أن تكون بهذا التعقيد. حتى إقليدس نفسه يبدو أنه قد شعر بوجود شيء ما غريب يتعلق بهذه المسلمة، إذ تجنب استخدامها بحرص إلى أن غدت ضرورة حتمية.

إن عدم الرضا عن مسلمة التوازي قاد العديد من علماء الرياضيات إلى محاولة إثباتها على أساس المسلمات الأربعة الأخرى أو إلى إيجاد حقيقة أبسط يمكن اعتبارها بشكل معقول "حقيقة بديهية" عن الفضاء الذي نعيشه ويمكن أن تستنبط منها "مسلمة التوازي". وقد اتفق الجميع على أن الهندسة الإقليدية قدمت وصفاً حقيقياً للفضاء الفعلي وأن ما كان مفتقداً هو، ببساطة، الفهم التام لكيفية وضع "مسلمة التوازي" هذه في مكانها من الصورة وضعا ملائماً.

في أوائل القرن التاسع عشر، بدأ جاناتوس بوليائي ونيكولاي إيفانوفيتش لوباتشيفسكي N. I. Lobachevskii بدراسة هذه المشكلة. وبشكل مستقل، فكر كل منهما ملياً بنوع الهندسة الذي يمكن أن ينجم إذا لم يقبل المرء بمسلمة التوازي (أطلق بوليائي على هذا اسم "هندسة الفضاء المطلق"). فاستنتجا أن الهندسة التي لا تصح فيها مسلمة التوازي (بمعنى الهندسة الإقليدية) إنما هي أمر ممكن وبدون اعتراض. وقد نشرتا بحثيهما في جهات مغمورة، مما جعل استيعاب جمهور الرياضيات لمنجزاتهما أمراً صعباً. ولكن تبين علماء الرياضيات شيئاً فشيئاً أن ثورة فكرية حقيقية قد بدأت بالفعل.

\* J. Bolyai

- يعمل فيرناندو ك. جوفي في قسم الرياضيات، مدرسة كولبي، ماي فلور هيل، وأترفل، ME 04901.  
- العرض والتحليل عن مجلة Science, vol 306, 10 December 2004. وتمت الترجمة في هيئة الطاقة الذرية السورية.

## 2 \_ الشمس: سيرة حياتها The Sun: A Biography\*

تأليف: ديفيد وايتهاوس، جون ويلي  
عرض وتحليل: هاركويس تشون

كان الفيلسوف الإغريقي أناكساغوراس Anaxagoras يعتقد أن الشمس كرة من الحديد المحمى إلى درجة الاحمرار يفوق حجمها شبه جزيرة البيلوبونيز اليونانية. أما وليم هيرشل W. Herschel، الذي أكتشف كوكب أورانوس، فقد كان يعتقد أن الكائنات الحية أقامت داخل الشمس في فترة ما. وفي الأحوال الجوية السديمية، حينما تكون الشمس باهتة جداً، يصبح بالإمكان رؤية بقع شمسية sunspots كبيرة بالعين المجردة. وأما أنا فقد جمعت كل هذه الحقائق من كتاب ديفيد وايتهاوس تحت عنوان "الشمس: سيرة حياتها".

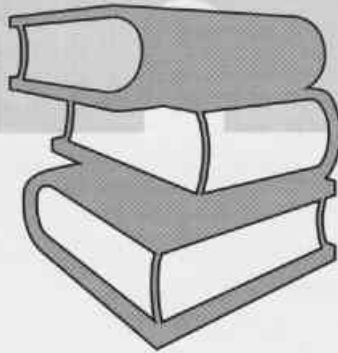
إن هذا الكتاب الذي يلي كتابه "القمر: سيرة حياته The Moon: A Biography" يُعد اكتشافاً نفيساً للعلم والتفكير والحكاية حول ذلك النجم، إذ يلامس وايتهاوس كل شيء عن الشمس بدءاً من ولادتها في سحابة باردة بين النجوم حتى موتها المتوقع كمارد أحمر منفوخ، ويتناول وايتهاوس دورة البقع الشمسية وطبيعة الشفق القطبي auroras وسر النترينو neutrino الشمسي ولغز تسخين هالة الشمس coronal heating.

يبدو أن وايتهاوس قد استكشف كل درب ممكن، ولا أستطيع إلا أن أفكر بالقدر الهائل من البحوث الذي لابد أن يكون قد تطلبه ذلك. وإنني أتساءل: ماذا بعد ذلك؟ هل هو كتاب عن المريخ: سيرة حياته؟ ويبقى السؤال بعد هذا العمل الفذ حول ما إذا كان وايتهاوس سيستطيع أن يستجمع قدرة الاستمرار.

بقلم جيريمي غراي J. Gray (عالم ومؤرخ في الرياضيات، من الجامعة المفتوحة) وهي في الحقيقة وصف كامل لقصة مسلمة التوازي، واكتشاف الهندسة الإقليدية، وتأثير هذه الأفكار بدءاً من منتصف القرن التاسع عشر حتى بدايات القرن العشرين.

تُعدّ مقدمة غراي مدعاة بهجة. فهو يطلعنا على "براهين" مزعومة مختلفة عن مسلمة التوازي، وعن جدلية كانت Kant الخلافة التي ترى أن الهندسة الإقليدية قدمت مثلاً للمعرفة البديهية التركيبية وأموراً أخرى. وفي سياق الكلام، يلتفت غراي إلى كتاب بوليبيي الخاص ويحاول أن يوجّه القارئ عبر محتوى النشرات التي أعيد نسخها لاحقاً في الكتاب. وهذا ينقل النقاش من النظرة الشاملة إلى الرياضيات المفصلة؛ ويرجّح أن يجد غير المختصين بالرياضيات هذا القسم صعباً. ولكن بالمواصلة سوف يستوعب المختصون بالرياضيات والفيزيائيون والفلاسفة وحتى الفنانون رواية غراي الرائعة حول تقبل الهندسة الإقليدية، ولن يترتب على القارئ لقاء ذلك تحمل عبء مطالب رياضية ثقيلة.

إن أيّ مؤلف يحاول الوصول إلى جمهور قراء يضم مختصين وغير مختصين سواءً بسواء، على غرار المقدمة التي تُعدّ نموذجاً لسلسلة الكتب في مكتبة بيرندي، لا بد أن يواجه قرارات صعبة. وبالرغم من أن غراي يخاطب كلا النوعين من القراء بنجاح، فالنتائج ليست متشابهة؛ إذ يحتاج القارئ أحياناً إلى القليل من الصبر عندما يتعامل مع مادة موجهة لآخرين. هؤلاء الذين يبذلون ذلك الجهد سيجدون أنهم قد اكتسبوا فهماً أكثر عمقا فيما يخص "الثورة الإقليدية" ونتائجها الواسعة المدى.



## ACCEPTANCE, DEVELOPMENT AND REPRODUCTION OF TRICHGRAMMA CACOECIAE AND T. PRINCIPUM MOTH EGGS★

H. MAKEE

*Department of Biotechnology, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria*

### ABSTRACT

Non-choice laboratory experiments were conducted to evaluate the influence of host acceptance, previous rearing host, host age and the contact time between parasitoids and host on the efficacy of *Trichogramma cacoeciae* Marchal and *T. principum* against codling moth *Cydia pomonella*. The tendency of *T. cacoeciae* and *T. principum* females to attack codling moth was not affected by previous rearing host. *T. cacoeciae* showed a greater preference for codling moth eggs than *T. principum*. Codling moth acceptance, the number of parasitized eggs and the number of emerged progeny were higher when younger codling moth eggs were offered. The tendency of parasitoids' females to oviposit was not changed when the contact time with the host was prolonged. Repeated exposure of *T. cacoeciae* and *T. principum* to fresh codling moth directly influenced the number of parasitized eggs and the number of emerged parasitoid adults. Host fertility did not affect the parasitism of *T. cacoeciae* and *T. principum*.

### Key Words

codling moth, *Trichogramma*, host acceptance, host age, contact time, host fertility.

★ A short report on a exploratory laboratory experiment achieved in the *Department of Biotechnology, Atomic Energy Commission of Syria*.

## REMOVAL OF FLUORINE FROM SYRIAN COMMERCIAL WET PHOSPHORIC ACID BY PRECIPITATION★

M. A. ABEDLBAKE

*Hydrometallurgy Office, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria*

### ABSTRACT

The removal of fluorine from Syrian commercial wet phosphoric acid was studied by precipitation with Sodium and Potassium salts in different conditions, stoichiometric ratio, temperature, and mixing time. All salts gave high efficiency of fluorine removal of 95-97%.

The ideal conditions which gave a high fluorine removal were obtained. When those conditions were applied on commercial Sodium Chloride salt and Sodium Sulphate, they gave similar yields. Sodium Chloride is recommended because it is cheaper and locally available.

### Key Words

phosphoric acid, precipitaion, fluoride.

★ A short report on a scientific computer study achieved in the *Hydrometallurgy Office, Atomic Energy Commission of Syria*.

addition to the lifetime of the involved energy states that produce ions. Also some parameters related to the atomic and laser beams such as intensity, bandwidth, and others are reported.

### Key Words

isotope separation, laser, Ytterbium Yb.

★ A short report on a scientific laboratory study achieved in the *Department of Physics*, Atomic Energy Commission of Syria.

## PREPARATION OF AG-BSCCO SUPERCONDUCTING TAPES AND MEASUREMENT OF THEIR CRITICAL CURRENTS★

A. NADER

*Department of Physics, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria*

### ABSTRACT

In this work, we prepared Mono-filament Ag-BSSCO superconducting tapes and measured their critical current densities in function of the annealing time to which they have been submitted. We found that when the annealing time is increased from 8 to 17 hours the critical current density is multiplied by 7 without plausible explanation.

### Key Words

superconducting tapes, critical current, ceramics.

★ A short report on a laboratory study achieved in the *Department of Physics*, Atomic Energy Commission of Syria.

## NUTRITIVE VALUE OF SESBANIA ACULEATA GROWN IN A SALINE SOIL AND ITS EFFECT ON THE REPRODUCTIVE PARAMETERS OF SYRIAN AWASSI EWES★

M. ZARKAWI, M. R. AL-MASRI, K. KHALIFA

*Department of Agriculture, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria*

### ABSTRACT

Nutritive components of *Sesbania aculeata* (whole plant, stems and leaves with pods), grown on salty land were (g/kg dry matter) 130, 42 and 218 for crude protein, 537, 380 and 626 digestible organic matter, 39, 176, 936 and 105 ppm for Mg, Ca, K and Na, and 6008, 2499 and 3509 kg/ha dry matter yield. *Sesbania* had no effects on mating rate, duration of pregnancy, birth weight, weaning weight, the concentration pattern of progesterone or on the response of ewes to the oestrous synchronisation programme.

### Key Words

*Sesbania*, nutritive value, yield, progesterone, reproduction.

★ A short report on an exploratory laboratory experiment achieved in the *Department of Agriculture*, Atomic Energy Commission of Syria.

## MATHEMATICAL CHARACTERISATION OF PHASE CONJUGATE MIRRORS★

M. ALSHIKH KHALIL, B. ABBAS

*Department of Physics, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus. Syria*

### ABSTRACT

Numerical solutions of backward Degenerate Four-Wave Mixing (DFWM) in isotropic media are presented. The input waves are considered to be spatially uniform. Considering the two cases of pump wave depletion, and no depletion with slowly varying amplitude approximation, nonlinear coupled wave equations were obtained and have been solved numerically by Lobatto IIIa formula. The effects input beam intensities ratio and the thickness of the interacting medium on the phase conjugate reflectivity (PCR) have been investigated.

### Key Words

phase-conjugation, DFWM, nonlinear medium, isotropic medium.

★ A short report on a computer study achieved in the *Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria.*

## A SOFTWARE TOOL TO SIMULATE TEA CO<sub>2</sub> LASER★

B. A. GHANI

*Department of Scientific Services, Mathematics and Informatics Division, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria*

### ABSTRACT

“TEA CO<sub>2</sub> Laser Simulator” has been designed to simulate the dynamic emission processes of the TEA CO<sub>2</sub> laser based on the six-temperature model. The program predicts the behavior of the laser output pulse depending on the physical and geometrical input parameters.

### Key Words

software; simulation; CO<sub>2</sub> laser.

★ A short report on a computer study achieved in the *Department of Scientific Services, Atomic Energy Commission of Syria.*

## SEPARATION OF <sup>168</sup>Yb ISOTOPE USING (AVLIS) METHOD ATOMIC VAPOR LASER ISOTOPE SEPARATION★

A. K. JAZMATI

*Department of Physics, Atomic Energy Commission, P.O. Box 6091, Damascus, Syria*

### ABSTRACT

We report in this study some physical and chemical properties of Yb element. Resonance ionization schemes of <sup>168</sup>Yb isotope are also reported. The three concerned suitable wavelengths are reported, in



---

**REPORTS**


---

## MATHEMATICAL MODELING OF A HIGH POWER CW-CO<sub>2</sub> GAS-DYNAMIC LASER★

**S. AL-HAWAT, K. AL-MUTAIB**

*Department of Physics, Atomic and Molecular Physics Division, Atomic Energy Commission  
P. O. Box 6091, Damascus, Syria*

### ABSTRACT

Numerical solution of gas-dynamic laser equations in a gas mixture CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>O was carried out, using the five temperature models (one translational and four vibrational temperatures) by a computational program written in FORTRAN.

The spatial variations of pressure, density, velocity and temperatures of the gas flow in addition to the gain, population inversion, the laser intensity and the output power from the output laser coupler were obtained as a function of the distance from the nuzzle inside the cavity, for certain initial conditions like pressure, temperature, velocity and ratio of gases in the mixture.

### Key Words

CO<sub>2</sub> laser, gas dynamics, mathematical modeling.

---

★ A short report on a scientific computer study achieved in the *Department of Physics, Atomic Energy Commission of Syria.*

---

## DETERMINATION OF SURFACE AND GROUNDWATER QUALITY IN THE ORONTES BASIN (SYRIA) AND THE NEGATIVE EFFECT OF SOME POLLUTANTS ON THE WATER, SOIL, AND PLANTS AT THIS AREA★

**A. KASSEM**

*Department of Geology, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria*

### ABSTRACT

This work deals with the physical/chemical characteristics and quality of surface and ground water in the Basin of the Orontes River in Syria. It also deals with concentration of basic elements and trace elements in water, soil and some plant leaves in that area. The internationally acknowledged methods were used to determine the physical constituents and to analyze elements of the most important basic and sub compounds in 95 water samples (77 ground samples and 18 surface samples). The Instrumental Neutron Activation Analysis was used to analyze some major elements and trace elements in 18 soil samples and 9 plant leave samples.

Evaluation of analysis results of those samples shows the great geo-ecological and geographic effect and the effect of human activities on polluting the water, soil and plants according to quality of irrigation water, effect of air, liquid and solid rejects of the industrial and municipal sites, nature and repetition of plantations and type of fertilizers and pesticides used in the studied area.

### Key Words

hydrochemistry, surface water, ground water, quality, plants, soil, instrumental neutron activation analysis, trace elements, orontes, Hama, Homs and Syria.

---

★ A short report on a scientific research achieved in the *Department of Geology, Atomic Energy Commission of Syria.*

---

## PAPERS

## FRACTIONATION OF APPLIED $^{32}\text{P}$ LABELED TSP IN CALCAREOUS SOILS★

A. F. ASFARY

*Department of Agriculture, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria*

R. AL-MEREY, M. AL-HAMEISH

*Department of Chemistry, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria*

### ABSTRACT

Calcareous dark brown red soil (calcixerollic xerochrept) from northern Syria was used in a pot experiment to study the fate of triple super phosphate fertilizer (TSP) with and without a crop (Local durum wheat [*Triticum turgidum* L. group durum (Desf.)] c v. Bohouth). The soil received  $17 \mu\text{g P/g}$  soil of  $^{32}\text{P}$  labeled TSP, and samples were collected from soils and plants at successive dates. Soil inorganic P was  $\approx 94\%$  of total soil P, with only 50-80% being soluble. Calcium phosphate compounds were the dominant fraction ( $\leq 68\%$ ) of the soluble inorganic soil P followed by occluded iron phosphate ( $\leq 48\%$ ) and all other fractions were  $\leq 9\%$ . Isotopic measurements showed that  $\approx 50\%$  of fertilizer P was non-exchangeable within 2 days, and TSP values in each fraction of soil inorganic P fluctuated in relatively similar proportions to the concentrations of P fractions in soil. Available P (soil & TSP) in cropped soil was more than that in the uncropped soil, and plants had no effect on the distribution of P from fertilizer amongst the different soil P fractions.

### Key Words

phosphorus forms, Syrian soil, phosphorus-32.

★ This paper appeared in *Plant and Soil*, (2004).

## EFFICIENCY IMPROVEMENTS OF PHOTO-VOLTAIC PANELS USING A SUN-TRACKING SYSTEM★

A. AL-MOHAMAD

*Department of Scientific Services, Atomic Energy Commission, P. O. Box 6091, Damascus, Syria*

### ABSTRACT

This paper presents a Sun-tracking design, whereby the movement of a photo-voltaic module was controlled to follow the Sun's radiation using a programmable logic-controller unit (PLC). All electronic circuits and the necessary software have been designed and developed to perform the technical tasks. A PLC unit was employed to control and monitor the mechanical movement of the PV module and to collect and store data related to the Sun's radiation. It is found that the daily output the power of the PV was increased by more than 20% in comparison with that of a fixed module. The PV-tracking system can be employed as a standalone device and it could be connected to a personal computer through the RS232 serial port to monitor the whole process on a computer screen.

### Key Words

photovoltaic, tracking system, PLC.

★ This paper appeared in *Applied Energy*, (2004).

## SLOW, STOPPED AND STORED LIGHT★

M. SCULLY & G. WELCH

*Department of Physics and Institute for Quantum Studies, Texas A&M University, College Station, US.  
Marlan O Scully is also at the Max Planck Institute for Quantum Optics, Garching, Germany.*

### ABSTRACT

Light that can be slowed to walking pace could have applications in telecommunications, optical storage and quantum computing.

### Key Words

Telecommunications, relativity, light speed, cosmology, optical technology, quantum information, wave dispersion.

★ This article appeared in *Physics World*, October 2004. It is translated into Arabic at the Atomic Energy Commission of Syria.

## INSECTS GUARD PLANTS★

A-M. CORTESERO

*maître de conférences, dirige l'équipe «Écobiologie des insectes parasitoïdes» de l'université de Rennes-I*

É. THIBOUT

*directeur de recherche au CNRS, effectue ses travaux de recherche au sein de l'équipe «relations multitrophiques» à l'Institut de recherche sur la biologie de l'insecte (IRBI), à Tours*

### ABSTRACT

It is a continuous fighting: the 300 000 species of plants of our earth do not cease to be subjected to the attack of the 400 000 herbivorous insect species. But to stand up, the strains do not lack the trumps. Their weapon, the most subtle, is to attract the predator of their assailants. Can man gain this phenomenon in his struggle against the devastators.

### Key Words

insects herbivores, entomophage, chenille.

★ This article appeared in *La Recherche*, November 2004. It is translated into Arabic at the Atomic Energy Commission of Syria.

## THE FORBIDDEN BEAUTY OF QUASICRYSTALS★

R. McGRATH

*Department of Physics and the Surface Science Research Centre of the University of Liverpool.*

U. GRIMM

*Applied Mathematics Department of Open University, Milton Keynes.*

R. D DIEHL

*Department of Physics and the Materials Research Institute, Pennsylvania State University.*

### ABSTRACT

Two decades after they were discovered, the unusual properties of quasicrystals continue to fascinate researchers from a range of disciplines.

### Key Words

quasicrystals, metallic alloy, aluminium manganese alloy, unusual properties of quasicrystal, crystal symmetries.

★ This article appeared in *Physics World*, December 2004. It is translated into Arabic at the Atomic Energy Commission of Syria.

# ABSTRACTS OF THE ITEMS PUBLISHED IN THIS ISSUE

## ARTICLES

### THE MAGNETISM OF CARBON★

M. COEY, S. SANVITO

*Department of physics, Trinity College, Dublin, Ireland*

#### ABSTRACT

Carbon is about to join the list of ferromagnetic elements, but the origins of its magnetic properties remain a mystery.

#### Key Words

ferromagnetism, periodic table, transition metals, quantum mechanics, spin of electrons, diamagnetism, Carbon.

★ This article appeared in *Physics World*, November 2004. It is translated into Arabic at the Atomic Energy Commission of Syria.

### THE BRAIN AND LOVE★

O. POSTEL-VINAY

*journalist scientific*

#### ABSTRACT

Why do some mammals behave as monogamists? What about love passions? And likewise about maternal, parental and filial affections? Unyielding science tries not only to investigate henceforth this field which was previously confined to poets, philosophers and psychologists, but even to involve intimate friendship in the process. Despite some hardships here and there, this field of attachment science is making great steps forward. The question to be raised is "How far would it go?"

#### Key Words

monogamist, mammals, vasopressine, dopamine, nature and chemistry of passion love.

★ This article appeared in *La Recherche*, November 2004. It is translated into Arabic at the Atomic Energy Commission of Syria.

### ORIGIN OF TERRESTRIAL PLANETS AND THE EARTH-MOON SYSTEM★

R. M. CANUP

*Assistant Director of the Department of Space Studies In the Instrumentation and Space Research  
Division At the Southwest Research Institute, Colorado*









#### ABSTRACT

Increasingly sophisticated computer simulations show how the four solid planets could have emerged through collisions and accretion. One late, giant collision with Earth is the likely origin of the Moon.

#### Key Words

accretion, origin of the Earth-Moon system, planetesimal hypothesis, giant impact, smooth particle hydrodynamics, wisdom-holman mapping.

★ This article appeared in *Physics Today*, April 2004. It is translated into Arabic at the Atomic Energy Commission of Syria.

	DETERMINATION OF SURFACE AND GROUNDWATER QUALITY ..... A. KASSEM ..... 79 IN THE ORONTES BASIN (SYRIA) AND THE NEGATIVE EFFECT OF SOME POLLUTANTS ON THE WATER, SOIL, AND PLANTS AT THIS AREA	
	MATHEMATICAL CHARACTERIZATION OF ..... M. ALSHIKH KHALIL, ..... 80 PHASE CONJUGATE MIRRORS	B. ABBAS
	A SOFTWARE TOOL TO SIMULATE TEA CO <sub>2</sub> LASER ..... B. A. GHANI ..... 80	
	SEPARATION OF <sup>168</sup> Yb ISOTOPE USING (AVLIS) METHOD ..... A. K. JAZMATI ..... 80 ATOMIC VAPOR LASER ISOTOPE SEPARATION	
	PREPARATION OF Ag-BSCCO SUPERCONDUCTING TAPES ..... A. NADER ..... 81 AND MEASUREMENT OF THEIR CRITICAL CURRENTS	
	NUTRITIVE VALUE OF SESBANIA ACULEATA GROWN IN A SALINE ..... M. ZARKAWI, ET ALL ..... 81 SOIL AND ITS EFFECT ON THE REPRODUCTIVE PARAMETERS OF SYRIAN AWASSI EWES	
	ACCEPTANCE, DEVELOPMENT AND REPRODUCTION OF ..... H. MAKEE ..... 82 TRICHGRAMMA CACOECIAE AND T. PRINCIPUM MOTH EGGS	
	REMOVAL OF FLUORINE FROM SYRIAN COMMERICAL WET ..... M. A. ABEDLBAKE ..... 82 PHOSPHORIC ACID BY PRECIPITATION	

---



---

**SELECTED NEW BOOKS**

(Review and analysis)

	PARALLEL WORLDS ..... BY: J. BOLYAI ..... 84 OVERVIEW & ANALYSIS: F. Q. GOUVÊS	
	THE SUN: A BIOGRAPHY ..... BY: D. WHITEHOUSE, J. WILEY ..... 85 OVERVIEW & ANALYSIS: M. CHOWN	

---



---







<b>ABSTRACTS OF THE ITEMS PUBLISHED IN THIS ISSUE IN ENGLISH</b> ..... 92
---

# CONTENTS

---

## ARTICLES










---

 THE MAGNETISM OF CARBON .....	M. COEY, S. SANVITO .....	5
 THE BRAIN AND LOVE .....	O. POSTEL-VINAY .....	11
 ORIGIN OF TERRESTRIAL PLANETS AND THE EARTH-MOON SYSTEM .....	R. M. CANUP .....	19
 SLOW, STOPPED AND STORED LIGHT .....	M. SCULLY & G. WELCH .....	28
 INSECTS GUARD PLANTS .....	A-M. CORTESERO, ET ALL.....	33
 THE FORBIDDEN BEAUTY OF QUASICRYSTALS .....	R. McGRATH, ET ALL.....	39

---

## NEWS



---

 THE HEALTH EFFECTS OF RADIATION .....	<i>PHYSICS WORLD</i> .....	47
 OZONE CLOUDS THE ISSUE OF CLIMATE CHANGE .....	<i>NEWSCIENTIST</i> .....	48
 ORGANIC SOLAR CELLS PLAYING CATCH-UP .....	<i>SCIENCE</i> .....	49
 VACCINE FOR HEART DISEASE ON HORIZON .....	<i>NEWSCIENTIST</i> .....	50
 PROTEIN ENGINEERS GO FOR GOLD .....	<i>SCIENCE</i> .....	51
 WHITE LIGHT AT THE END OF THE TUNNEL .....	<i>NEWSCIENTIST</i> .....	52
 A PLASMA TOO FAR? RESEARCHERS HUNT FOR EARLY STATE OF MATTER .....	<i>SCIENCE</i> .....	53
 TIME'S ROMANCE OF THE DECIMAL POINT .....	<i>SCIENCE</i> .....	56
 KRYPTON .....	<i>ANL</i> .....	58

---

## PAPERS

(Published worldwide by the Syrian A. E. C. Staff)

 FRACTIONATION OF APPLIED <sup>32</sup> P LABELED TSP IN CALCAREOUS SOILS .....	A. F. ASFARY, .....	63	R. AL-MEREY, M. AL-HAMEISH
 EFFICIENCY IMPROVEMENTS OF PHOTO-VOLTAIC PANELS USING A SUN-TRACKING SYSTEM .....	A. AL-MOHAMAD .....	72	

---

## REPORTS

(Unpublished works of the Syrian A. E. C. Staff)

 MATHEMATICAL MODELING OF A HIGH POWER CW-CO <sub>2</sub> GAS-DYNAMIC LASER .....	S. AL-HAWAT, K. AL-MUTAIB ....	79
--	--------------------------------	----

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.



**Managing Editor**

*Dr. Ibrahim Othman*

Director General of A. E. C. S.

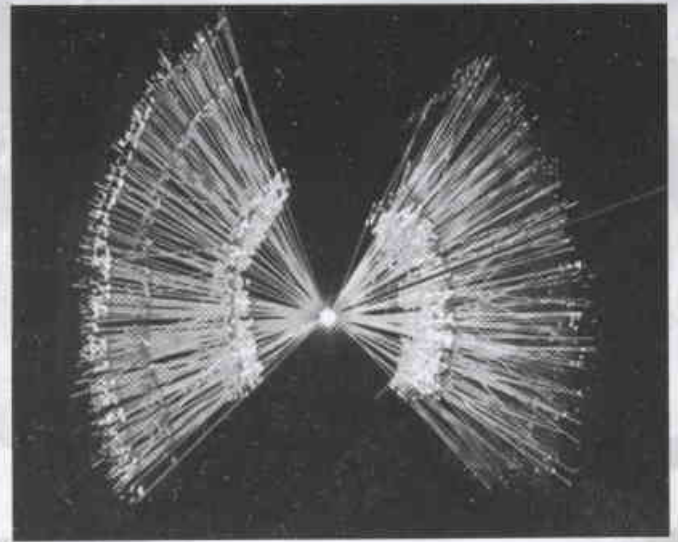
**Editorial Board**

**Dr. Adel Harfoush**

**Dr. Ziad Qutob**

# AALAM AL-ZARRA

JOURNAL OF THE ATOMIC ENERGY COMMISSION OF SYRIA



**97**

**20 th Year / MAY - JUNE /**

**2005**

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.