مالم الذرّة

AECS AECS

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

AECS AECS

المدير المسؤول

أ. د. إبراهيم عثمان

المدير العام لهيئة الطاقة الذريّة

رئاسة هيئة التحرير

أ. د. عادل الحرفوش

أ. د. محمد قعقع

AECS AECS

أعضاء هيئة التحرير

أ. د. فواز كرد علي

أ. د. مصطفى حمو ليلا

أ. د. علي حينون

أ. د. توفيق ياسين

أ. د. نزار مير علي

أ. د. نجم الدين الشرابي

أ. د. زهير قطان

AECS AECS

المتابعة والتنسيق

حسان بقلة

التدقيق اللغوي

نوال الحلح

ريما سنديان

الإخراج الفني

بشار مسعود

مهند البيضه

أمل قيروط

التنضيد الضوئي

هنادي كنفاني

غفران ناوروز

التوزيع

عتيبة المنعم

AECS AECS

المحتويات

الحقول والأمواج الكهرطيسية: ما هو أثرها على الصحة؟ 5

مقـــالات

تخصيب اليورانيوم 12

تتطلب معظم مفاعلات الطاقة النووية التجارية العاملة أو قيد الإنشاء في العالم اليوم يورانيوم «مُخصّباً» بالنظير U-235 بصفته وقوداً لها.

رؤية ثنوية الموجة والجسيم بالعين المجرّدة 25

اكتشف الفيزيائيون، من خلال قطرات ترتد عن سطح سائل في حالة اهتزاز، جملة تقليدية تسلك سلوك جسيمات كمومية.

مزايا استعمال التشعيع لأغراض الصحة النباتية ومآخذه 33

يسمح لعدد كبير من المنشآت المنتشرة في كل أنحاء العالم باستعمال الأشعة المؤينة لمعالجة المواد الغذائية.

أخبار علمية

- الفيزياء والفن التشكيلي 42
- المجلس العالمي يسعى إلى تنسيق العلوم 44
- إعادة تدوير الألمنيوم... طريقة حياة أم نمط للحياة؟ 45
- من الفكرة إلى التجربة العملية 48

نافذة على عناصر الجدول الدوري:

البروم 53

ورقات علمية

- استخدام رشاحات استنبات الفطر Cochliobolus sativus لتقييم مقاومة الشعير لمرض التلطخ البقعي 60
- الاصطناع الإشعاعي والدراسة البيولوجية لمركب (±)- ترانس--2هيدروكسي-5-((ي)--3(يود)أ لليلوكسي)--4) 3-فينيل--1ببيرازين) تترالين 60
- تأثير زمن الطحن بالكرات في خواص المحسات الغازية المصنعة من المركبات ZnO-WO3 النانوية 60
- تأثير معدل جرعة غاما على ترانزستورات JFET 61
- تحديد معدل الموت عند فراشة درنات البطاطا بعد تعريض البطاطا للتخزين المبرد 61
- تحليل مفصل لمتماثل ثنائي قسيم الصبغي Idic Y (q11.21) في صيغة صبغية موزاييكية 62
- قوانين تدرُّج لمردودات الأشعة السينية اللينة للنتروجين من البلازما المحرقية ذي الطاقة من 1 إلى 200 كيلو جول 62

تقارير علمية

- القيمة الغذائية والمكونات ضد-التغذوية في بعض النباتات الرعوية المستوطنة 63
- تأثير الإجهاد الملحي (NaCl) على نمو بعض أصناف القطن وعلى التوزع الأيوني فيها 63
- تحديد تراكيز عناصر الفلور والفسفور والكالسيوم في الأسنان بسوريا باستخدام تقنيتي PIGE & PIXE 64
- تحديد الطفرات الرئيسة المسببة للداء الكيسي الليفي لدى مجموعة من المرضى السوريين ... 64
- تطوير خوارزمية لحل برامج رياضية غير خطية متعددة الأهداف باستخدام مفهوم معدلات التعويض 65
- تقصي وجود الدايوكسينات في عينات تربة من بعض المناطق الصناعية ومواقع الغابات المحترقة في سورية، باستخدام طريقة المقايسة المناعية الامتزازية الأنزيمية ELISA 65
- حل جمل المعادلات الخطية الكثيرة العدد بشكل متواز باستخدام تجمعات الحواسيب 66
- دراسة التنوع الأليلي وتحديد مؤشرات جزيئية مرتبطة بكمية زيت الزيتون ونوعيتها باستخدام تقنية الـ SSR 66

شروط الترجمة والتأليف للنشر في مجلة عالم الذرّة

- تُرسل نسختان من مادة النشر باللغة العربية مطبوعتان بالآلة أو مكتوبتان بالحبر بخط واضح على وجه واحد من الورقة، وبفراغ مضاعف بين السطور.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- إذا تضمنت المادة صوراً أو أشكالاً، ترسل الصورة الأصلية وكذلك الأشكال مخططة بالحبر الأسود على أوراق مستقلة، إلا إذا كانت موجودة في المادة المطبوعة بلغة أجنبية (كما جاء في الفقرة "4") مرقمة حسب أماكن ورودها.
- 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 (18-2).
- 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 وردت في نص معادلة أو قانون أحرف أجنبية وأرقام نكتب المعادلة أو القانون كما هي في الأصل الأجنبي.
- 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 [ ].
- ترقم مقاطع النص الأجنبي والنص العربي بترتيب واحد في حالة الترجمة.
- يرجى من السادة المترجمين مراعاة الأمانة التامة في الترجمة.
- تخضع مادة النشر للتقييم ولا ترد إلى أصحابها نشرت أم لم تنشر.
- 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 الذرّية ـ مكتب الترجمة والتأليف والنشر

دمشق ـ ص.ب: 6091

هاتف: 6111926 11 (963+) ـ فاكس: 6112298 11 (963+)

E-mail: tapo@aec.org.sy

رسوم الاشتراك السنوي

- يمكن للمشتركين من خارج القطر إرسال رسم الاشتراك إلى العنوان التالي:

المصرف التجاري السوري ـ فرع رقم 13 ـ مزة جبل ـ دمشق ـ ص.ب: 16005، رقم الحساب 2/3012.

أو بشيك باسم هيئة الطاقة الذرّية السورية.

- يمكن للمشتركين من داخل القطر دفع قيمة الاشتراك بحوالة بريدية على العنوان التالي:

مجلة عالم الذرّة ـ مكتب الترجمة والتأليف والنشر ـ هيئة الطاقة الذرّية السورية ـ دمشق ـ ص.ب: 6091 مع بيان يوضح عنوان المراسلة المفضل.

أو يدفع رسم الاشتراك مباشرة إلى مكتب الترجمة والتأليف والنشر في الهيئة: دمشق ـ شارع 17 نيسان.

- **رسم الاشتراك من داخل القطر: للطلاب (200) ل.س، للأفراد (300) ل.س، للمؤسسات (1000) ل.س.**
- **رسم 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 الذرّة إعلام الشركات والمؤسسات العاملة في قطاع التجهيزات العلمية والمخبرية كافة والصناعات المتعلقة بها عن فتح باب الإعلان التجاري فيها، للمزيد من الاستفسار حول رغبتكم بنشر إعلاناتكم التجارية يرجى الكتابة إلينا أو الاتصال بنا وفق العنوان الوارد أعلاه.

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.

الحقول والأمواج الكهرطيسية: ما هو أثرها على الصحة؟

لا يشير استعراض الدراسات الوبائية والتجريبية الموثوقة إلى وجود أثر سببيٍّ ملموس للحقول والأمواج الكهرطيسية على الصحة. ومع ذلك، فإن نشر نتائج متناقضة يعزز الريبة لدى الجمهور.

- تنتشر معلومات عديدة، وغالباً متناقضة، حول تأثير الحقول والأمواج الكهرطيسية على الصحة.
- لم يتم إثبات وجود زيادة في عدد حالات السرطان لدى الأشخاص البالغين القاطنين في جوار خطوط الجهد العالي.
- ليس هناك أيّ أثر مثبت للأمواج ذات الترددات الراديوية الخاصة بالهاتف الخلوي أو بالهوائيات، ولكن الدراسات طويلة الأمد ما تزال غير مكتملة.
- إن الآثار الحيوية الوحيدة المعروفة هي الآثار الحرارية، ولا تظهر عند سويات التعرض العادية المستعملة.

الكلمات المفتاحية: أمواج كهرطيسية، تأثير بيئي، خطوط الجهد العالي.

Key words: *electromagnetic waves, impact invironment, high voltage lines.*

يهيئ الجهل وعدم اليقين المناخ الملائم لتقبل الأفكار المشوشة، ويعزّزان الشائعات والمخاوف غير المنطقية. فماذا نفكر عند عدم وجود اليقين، وعندما لا يكون لدينا إجابة واضحة عن الأسئلة التي نطرحها على أنفسنا، وعندما نقرأ معلومات متناقضة؟ مَثَلُ كلّ ما يلامس الأثر البيئي على الصحة، يشكّل السؤال عن آثار الحقول الكهرطيسية على الصحة موضوع جدال. وإذا كانت طبيعة هذه الظواهر المُسبّبة معقدةً، فإن تفسير نتائج الدراسات العلمية لها سيكون بالقدر نفسه من التعقيد. ليس من المريح أن تكون طبيعة هذه الظواهر معقدة، لأن السؤال حول الآثار الصحية للحقول الكهرطيسية يشغل عموم الناس بسبب قرب مصادر هذه الحقول واستدامة التعرض لها.

هل هذه المخاوف مبرّرة أم لا؟ إن الجدال بكامله يتجسد في هذه الكلمات القليلة. ويتساءل الجمهور: ما هي الدراسات المنجزة حول الآثار المحتملة للحقول الكهرطيسية على الصحة؟ هل ينشر العلميون كامل نتائجهم؟ هل يحجز السياسيون بعض الملفات؟ لماذا تقوم وسائل الإعلام بتضخيم أيّ مقال تحذيري، أو أي قرار مشابه، بمنع تنصيب محطة أساسية، أو حتى إلغائها؟ وإذا ما جرى الحديث عن ذلك، فهذا يعني أن هناك مشكلة. وإذا لم يجرِ الحديث عنه، فهذا يعني أنه يتم إخفاء شيءٍ ما عنا.

سنحاول هنا استخلاص الخطوط العريضة مما تحمله إلينا الدراسات المتنوعة والنشرات المتعددة في هذا المجال مع تلافي العديد من العقبات التي سنقوم تباعاً بتحليلها. سيتم التركيز على نموذجي الحقول الكهرطيسية اللذين يعتبران الأكثر إثارةً للقلق لدى الجمهور: الحقول الكهرطيسية لخطوط الجهد العالي والترددات الراديوية الصادرة عن الهوائيات التابعة للمحطات الأساسية من نوع GSM (Global System for Mobile Communications) أو النظام الشامل للاتصالات الهاتفية الخلوية وأنظمة الهواتف والاتصالات اللاسلكية.

دُرس أثر الحقول الكهرطيسية على الصحة بالرجوع إلى مقاربتين متتامتين: من جهة، الدراسات التجريبية (على خلايا أو حيوانات)، ولكن الشدّات المستخدمة في هذه التجارب كانت بشكلٍ عام أعلى بكثير من تلك التي نكون معرضين لها، والدراسات الوبائية من ناحية أخرى. غير أن تلك الأخيرة تكون أحياناً قابلة للنقد بسبب الطرائق المتبعة وبسبب أن الدراسات غير المتجانسة قد عولجت أحياناً بالطريقة نفسها ضمن الدراسات الإحصائية نفسها التي، في هذه الحال، لا يكون لها معنى. ومع ذلك، عندما نعلم انحرافاتها –ونتجنب الوقوع فيها– سننجح في وضع فكرة أكثر دقة حول أثر الأمواج الكهرطيسية على الصحة ونتمكن من استخلاص بعض النتائج. وهذا ما سوف نقوم به هنا.

الخطوط ذات الجهد العالي

إن تعرضاً مهمّاً للحقول الكهرطيسية، وعلى الأخص للحقول المغنطيسية ذات الترددات المنخفضة جداً (من مرتبة 50 هرتز)، يمكنه أن يولّد تيارات كهربائية في المتعضية. وعندما تكون هذه التيارات عالية الشدة، ستكون قادرة على تحريض ردّات فعل عضلية لا إرادية أو اضطرابات في نبضات القلب. غير أن مثل هذه الآثار لا يمكن أن يظهر عند شدات الحقول التي نتعرض لها في حياتنا اليومية. ومن أجل شدّات أخفض، ولكن دائماً أكبر بكثير من الشدات المعتادة، يمكن لهذه التيارات أن تؤدي إلى تصوّر بقع مضيئة في حقل الرؤيا، ولكن، مرة أخرى، هكذا شدّات ليست كتلك التي يمكن أن نتعرض لها في الشروط العادية.

بالإضافة إلى تلك الآثار المتعلقة بظاهرة التحريض الكهرطيسية، يمكن لظواهر غير مباشرة أيضاً أن تتولّد، مثل انفراغ الشحنات الكهربائية الذي يحدث عندما نلامس جسماً ناقلاً، معزولاً عن الأرض، ومُحمَّلاً بكمون أعلى من الكمون الأرضي. في حين أنه عند السويات التي تهمنا، لا يكون لانفراغات الشحنة المماثلة في الشحنة أيّ أثر على الصحة.

بدأت آثار الحقول المغنطيسية ذات الترددات المنخفضة جداً (خطوط الجهد العالي) تثير قلق عموم الناس بعد أن نُشرت، في عام 1979، الدراسة الوبائية لنانسي وريثايمر Nancy Wertheimer وإيدي ليبر Ed Leeper، من جامعة كولورادو، في دنفر، والتي تبيّن أن خطر الإصابة بسرطان الدم في مرحلة الطفولة يكون أكبر عند الأطفال القاطنين بالقرب من خطوط الجهد العالي. ولقد أعقبت هذه الدراسة الوبائية عشرات الدراسات الأخرى، وأيضاً بالعديد من التجارب المخبرية، غير أن النتائج بقيت محلّ نقاش.

يمكننا من خلال عدد من الدراسات المتوفرة استنتاج أن هذه الحقول الكهرطيسية لا تسبّب السرطان عند الحيوانات المخبرية، ولكن توجد هناك زيادة في خطر الإصابة بسرطان الدم في مرحلة الطفولة لدى الأطفال المعرضين، بشكل طويل الأمد، لحقول مغنطيسية ذات سوية تقارب تلك الموجودة في جوار خطوط الجهد العالي. وهذا الاستنتاج، المنشور في العام 2000 من قبل أندريس أهلبوم Andres Ahlbom وزملائه من معهد كارولينسكا، في ستوكهولم، في السويد، ومن قبل ساندر غرينلاند Sander Greenland وزملائه في جامعة كاليفورنيا، في لوس أنجلس، يستند إلى نتائج دراسات تحليلية لاحقة جمعت كلّ واحدة منهما ما يقارب خمس عشرة دراسة وبائية نُفذَت على هذه القضية.

بناءً على هذه النشرات وعلى تقييم جميع النشرات العلمية حول هذا الموضوع، قرّر المركز الدولي لأبحاث السرطان، le Centre

International de la Recherché sur le cancer (CIRC)، وضع الحقول المغنطيسية ذات الترددات المنخفضة جداً في المجموعة 2B، حيث تمّ جمع العوامل المحتملة المسرطنة للإنسان. مع الإشارة هنا إلى أن التحليل المشترك لسبع دراسات أُنجزت بعد العام 2000 من قبل لايكا خايفتس Lika Kheifets وزملائها، من جامعة كاليفورنيا، في لوس أنجلس، قد أفضى إلى نتيجة مماثلة لتلك التي نُشرت في العام 2000. إذاً، لم يتم البرهان على وجود الأثر المسرطن للحقول المغنطيسية ذات الترددات المنخفضة جداً لدى البالغين ولا حتى لدى الأطفال، فيما عدا خطر سرطان الدم.

فهل يمكننا تقدير تلك الزيادة في خطر الإصابة بسرطان الدم لدى الأطفال؟ ترتبط هذه الزيادة إحصائياً بالتعرض للحقول المغنطيسية ذات الترددات المنخفضة جداً، وذلك بدءاً من شدة تعرض من مرتبة 0.4 ميكروتسلا، وهي القيمة التي وجدت، على سبيل المثال، في المساكن الموجودة في جوار خطوط الجهد العالي. ولهذا كله، نؤكد تماماً أنه حتى لو وجدت علاقة ترابط بين هذين المعطيين، فإنه لم يكن بالإمكان إثبات وجود أي علاقة سببية: لم يكن ممكناً تبيان أن خطوط الجهد العالي هي التي تسبّب وجود الزيادة في خطر الإصابة بسرطان الدم لدى الأطفال.

وإذا كانت هذه العلاقة السببية حقيقية، ستكون هذه الحقول مسؤولة، بحسب معهد المواد والقياسات المرجعية الهولندي، عن حالة واحدة إضافية سنوياً من سرطان الدم في مرحلة الطفولة في تجمع سكاني من 35 مليون نسمة. نشير هنا إلى أن الكثير من العوامل الأخرى معروفة أو مشتبه بها على أنها تساعد على حدوث سرطان الدم لدى الأطفال. ونذكر على سبيل المثال الأشعة المؤينة، وبعض الالتهابات، والمبيدات، والتعرض لعدد من المواد الكيميائية، بالإضافة إلى عددٍ من العوامل المرتبطة بالاستعداد الوراثي.

هل تحرض هذه الحقول المغنطيسية آثاراً أخرى على الصحة؟ لقد أُنجز العديد من الدراسات على خلايا وحيوانات مخبرية. وتمّ البحث من خلالها عن آثار أخرى غير التسبّب بالسرطانات، إلا أن هذه الدراسات لم تكشف عن وجود آثارٍ قابلة للتكرار. بالمحصلة، لا تشير الدراسات المتوفرة إلى أن الحقول المغنطيسية ذات الترددات المنخفضة جداً تعيق تكاثر الحيوانات أو تطورها (أو الإنسان)، ولا حتى تستطيع أن تسبّب أيّ أثرٍ مباشرٍ مضرٍّ بالـ DNA، المورّث الجيني للفرد. وبالمقابل، تبقى هناك شكوك حول وجود تفعيل محتمل من قبل تلك الحقول لأثر العوامل التي نعلم أنها مسؤولة عن الطفرات أو أنها تسبّب الأورام.

وفي أغلب الدراسات المنجزة على البشر، فقد تمّ التركيز على فرط الحساسية للحقول الكهرطيسية (انظر المؤطر: الأشخاص الحسّاسون كهربائياً)، فيما يتعلق بالنظام المناعي، وبالدم، وبالميلاتونين (هرمون)، وبمنظومة القلب والأوعية الدموية أو بالجهاز العصبي المركزي أيضاً. وبالرغم من بعض الآثار العابرة أو قليلة الأهمية، بيّنت النتيجة النهائية أنه لا توجد أدلة على قدرة الحقول المغنطيسية ذات الترددات المنخفضة جداً على إحداث آثار مؤذية للصحة عند السويات التي نتعرض لها عادةً في محيطنا اليومي.

ومع ذلك، فقد أمكن لمعطيات حديثة العهد أن تدلّ على وجود خطر آخر كان مهملاً حتى الوقت الحاضر. فمنذ عدة سنوات، أشارت نشرات علمية إلى وجود زيادة محتملة بالفعل، ولكن لم يتم التحقّق من وجودها حتى يومنا هذا، في أمراض عصبية تنكسية، مثل مرض الخَرَف Alzheimer، عند الأشخاص المعرضين للحقول المغنطيسية في محيط عملهم، أو عند الأشخاص القاطنين في جوار خطوط الجهد العالي. إن الوقت ما يزال مبكراً جداً كي تؤخذ هذه المؤشرات في الحسبان، ولكنها مع ذلك تفرض توخي الحذر، وإجراء دراسات إضافية.

إذاً، فيما يتعلق بخطوط الجهد العالي، يوجد خطر مرتفع قليلاً لحدوث سرطان الدم في مرحلة الطفولة وذلك دون أن يكون ممكناً وضع علاقة بين السبب والأثر، ومن الواجب مستقبلاً مراقبة انتشار الأمراض العصبية التنكسية في سياق مماثل.

الترددات الراديوية والاتصالات الهاتفية الخلوية

ماذا يمكننا القول حول مصدر آخر للتلوث الكهرطيسي: الرادار، وأمواج الراديو والتلفاز، والهوائيات الأساسية التابعة لها، والهاتف الخلوي والـ Wi-Fi، وذلك بغض النظر عن بعض أمثلة من التطبيقات التي تسمح بنقل المعلومات بواسطة الأمواج الكهرطيسية؟ والمقصود هنا هو الترددات الراديوية أو الأمواج المكروية. إن تطبيقات هذا النموذج من الاتصال تتضاعف بدون توقف، مما يؤدي إلى تزايد تعرض الجمهور للحقول الكهرطيسية.

يُولّد هذا التعرض للترددات الراديو (كما هو الحال في الترددات المنخفضة جداً) نوعاً من القلق، وخاصةً عندما يكون التعرض مفروضاً وليس مختاراً بشكلٍ طوعي. لقد تعزّز هذا القلق من خلال تقارير علمية ذات مضامين متناقضة وقابلة للجدال أحياناً، وكذلك من خلال دلائل تحذيرية وحوارات لا حدود لها عبر وسائل الإعلام. يجب في حالة الترددات الراديوية، وأكثر في حالة الحقول الكهرطيسية ذات الترددات المنخفضة جداً،

آثار الترددات الراديوية بحسب الجرعة

عندما نكون معرضين لحقول الترددات الراديوية الكهرطيسية، تمتص أجسامنا الطاقة. وتتعلق كمية الطاقة الممتصة في أجسامنا بعدة معاملات مثل كثافة القدرة، والتردد، والثياب التي نرتديها، وغيرها.

تستطيع الترددات الراديوية أن تسبّب آثاراً حرارية عندما تكون الزيادة في درجة حرارة الجسم أعلى من درجة واحدة. وهذا الأثر الحراري هو الوحيد الذي يُقرُّ جميع العلميين بوجوده.

وفي مجال الترددات الراديوية، نستعمل معدل الامتصاص النوعي،(*le taux d' absorption specifique (TAS*، من أجل تقدير الجرعات. يقابل هذا المعدل الطاقة الممتصة في واحدة الكتلة والزمن؛ ويعبّر عنه بالواط على الكيلوغرام. وهو يساوي مربع كثافة التيار (*i*) مقسومة على الكتلة النوعية للنسيج الحيوي المعرض (ρ، يعبّر عنها بالكيلوغرام على المتر المكعب) وعلى الناقلية الكهربائية لهذا النسيج الخلوي (σ، مقدّرة بالسيمنز على المتر). وبما أن الطاقة الممتصة، *E*، تساوي *i/σ* يكون لدينا:

$$TAS = i^2/\sigma\,\rho \quad \text{أو} \quad TAS = \sigma\,E^2/\rho$$

يسمح معدل الامتصاص النوعي بتقدير الارتفاع في درجة الحرارة (*Dt*) العائد لامتصاص هذه الطاقة من خلال العلاقة التالية:

$$\Delta T = TAS\ T/c_{th}$$

حيث *Cth* هي السعة الحرارية النوعية للنسيج الحيوي، ويُعبّر عنها بجول على كيلوغرام وعلى درجة سلسيوز.

وهكذا، فإن معدل الامتصاص النوعي هو قياس لامتصاص الطاقة كما أنه في الوقت نفسه قياس لارتفاع درجة الحرارة في النسيج الحيوي أو الجسم المعرض. يمكن لزيادة حرارة الجسم أن تشرح بسهولة معظم الآثار التي غالباً ما تُعزى على نحو خاطئ إلى الحقول الكهرطيسية ذات الترددات الراديوية المستخدمة في الاتصالات الهاتفية الخلوية.

إنها الآثار غير الحرارية –أي بدون ارتفاع درجة الحرارة– التي تشكّل موضوع النقاش فيما يخص الآثار الحيوية للأمواج المستخدمة في الاتصالات الهاتفية الخلوية. واليوم، يُقرُّ معظم العلميين بإمكانية وجود الآثار غير الحرارية دون أن يكونوا بالوقت نفسه مقتنعين بضررها، وهذا هو مضمون الجدال بأكمله. فلتقدير الآثار السميّة لعوامل كيميائية، يستعمل الباحثون غالباً جرعات عالية من المادة المختبرة، كي يتمكّنوا بسهولة أكبر من الكشف عن وجود الآثار المحتملة. وبالتالي، فهم يعمّمون النتائج التي حصلوا عليها عند جرعات عالية على الجرعات المنخفضة التي نتعرض لها.

أما من أجل الاتصالات الهاتفية الخلوية، فهذا الأسلوب ليس ممكناً، وذلك لأن آليات العمل (إذا وجدت) ستكون مختلفةً بشكل جذري. فاليوم، نعلم أننا لا نستطيع تعميم النتائج التجريبية العائدة إلى «جرعات عالية»، حيث يكون الأثر الحراري مسيطراً، على نتائج التعرض الحقيقي غير الحراري. فقط التجارب المنفّذة عند «جرعات منخفضة» سيكون لها معنى، لكن هذا هو بشكلٍ خاص المجال الذي لأجله لا تزال النتائج مثيرة للجدل. وليست التجارب بقادرة على أن تظهر أن الحقول الكهرطيسية ذات الترددات الراديوية المستخدمة في الاتصالات الهاتفية الخلوية هي مضرّة بالصحة.

توخي الحذر عندما يتم تقييم المعطيات العلمية، وبالتحديد بسبب خاصية أساسية للترددات الراديوية (التي تشكّل الأمواج المكروية جزءاً منها). وبالفعل، فبعكس الحقول الكهرطيسية ذات الترددات المنخفضة جداً، يمكن للترددات الراديوية أن تحرض أثراً حرارياً في متعضية معينة تتعرض لشدّات حقل عالية.

تفسّر الآثار الحرارية هذه معظم الآثار الحيوية المحسوسة في يومنا هذا. فهي تنتج عن زيادة الحرارة الموضعي في العضو الذي يتعرض لتأثيرات الأمواج المكروية: إن جزيء الماء قطبي، وهذا يعني أن الشحنة الكهربائية تكون موزعة بشكلٍ غير متجانس. وعند التردد العالي لفرن الأمواج المكروية، لا يمكن لثنائي القطب أن يتبع الاهتزازات المفروضة عليه من قبل الحقل الخارجي، وذلك بسبب الاحتكاك بين الجزيئات (العائد للروابط الهدروجينية)، وهو ما يؤدي إلى تسخين الماء، مما يسبّب اضطراب العديد من الآليات الكيميائية الحيوية. وبغية تلافي التعرض لحقول ذات شدة مماثلة، تؤخذ بعض الإجـراءات. ولهذا، تكون أفـران الأمـواج المكروية الحديثة مزوّدة بالعديد من أنظمة الحماية من أجل تخفيض تسريب الأمواج المكروية إلى خارج الفرن.

أما بالنسبة لهوائيات البث (محطات GSM الأساسية) وكلّ مصادر الإرسال الأخرى للراديو وللاتصالات اللاسلكية (Wi-Fi، على سبيل المثال)، فهي ترسل شدات ضعيفة جداً محدثة أقلّ أثر حراري ممكن. وكما ذُكر سابقاً، فإننا حتى لو عرفنا الأثر الحيوي لشدّات عالية كافية لإحداث آثار حرارية على الخلايا أو الحيوانات، فإنه لا يمكن لأحد تعميم هذه النتائج على حالات التعرض غير الحراري التي نواجهها بشكلٍ يومي.

ومع ذلك، غالباً ما يتم تجاهل هذه الخطوة بشكل عام بسبب عدم المعرفة. فمن الواجب البقاء في حالة حذر دائم، لأن العديد من الدراسات تبدي انحرافات (عيوباً في قياس الجرعة الحيوية، وفي عدد الحالات، سواء من حيث عدد الحيوانات أو من حيث عدد الخلايا غير الكافي لتكون التجربة ذات معنى من الناحية الإحصائية، إلخ...). علاوةً على ذلك، لا يمكن لأية دراسة منفصلة أن تكون بذاتها كافيةً لكي يعتبر تعميمها ممكناً: كما هو الحال بالنسبة لجميع مواضيع البحث، يجب أن تكون نتائج دراسة ما مثبتة بنتائج غيرها من الدراسات. بالإضافة إلى ذلك، من الضروري أن تتوافر دراسات من طبائع مختلفة (وبائية، وتجارب في المختبر على متطوعين أصحّاء أو على أشخاص يدّعون أنهم حسّاسون للأمواج، وعلى خلايا أو على حيوانات) وضمن مجالات مختلفة للأطوال الموجية قبل إمكانية التوصل إلى نتيجة نهائية فيما يخص وجود أثر حيوي أو عدم وجوده، أياً كان.

فيما يتعلق بالحقول الكهرطيسية للاتصالات الهاتفية الخلوية، فقط الآثار غير الحرارية، التي تُعدّ ممكنة ولكنها مثيرة جداً للجدل، هي التي يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار. فبالرغم من وجود عدد كبير جداً من الدراسات المنجزة حتى الآن، إلا أن المعطيات الحالية لا تسمح بصياغة نتيجة محددة، وفقاً لما بيّنته تقييمات علمية مختلفة. فلا تسمح الأبحاث العلمية المنجزة في المختبر in vitro (المحدودة في حالة الحقول الكهرطيسية ذات الترددات المنخفضة جداً) بتحديد نموذج تأثير محتمل، وذلك بالرغم من أن الدراسات المنفّذة على المادة الوراثية، وعلى العامل المناعي وتعبير المورثات وعلى إنتاج البروتينات، وعلى الإجهاد المؤكسد ومسالك التنبيه في الخلايا والموت المبرمج (الموت المبرمج للخلايا) هي ليست بقليلة!

يمكن أن يُصاغ بيان الحالة ذاته فيما يخص الدراسات المطبّقة على الحيوان، حيث بُحث عن أثر الأمواج الراديوية على مدة الحياة، ووزن الجسم أو ظهور مرض ما، وبشكلٍ خاص السرطان. يظهر ما يقارب خمسين دراسة منجزة حتى الوقت الحاضر حول هذه المفاهيم المختلفة والمنشورة في مجلات علمية متميزة أن الحصيلة الإجمالية تقع بوضوح في صالح غياب الآثار. كما أن حوالي مئة دراسة كانت قد نُشرت أيضاً عن الآثار الممكنة للحقول الكهرطيسية على الحاجز الدماغي الدموي (مرشح انتقائي يحمي الدماغ ضد أيّ عوامل ممرضة محتملة موجودة في الدم)، ولكن لم تسمح النتائج بالمجموع بالإعلان عن آثار ذات قيمة، إلا حين تمّ تعريض الحيوانات لشدّات عالية جداً لدرجة أنها أدّت لحدوث آثار حرارية. وهكذا أيضاً كانت الحالة بالنسبة لدراسات على الخصوبة، مظهرة بأن هذه الأخيرة قد اضطربت بسبب الشدّات العالية، المولّدة لآثار حرارية.

ماذا يُقال عن الهاتف الخلوي؟ لقد قام العديد من المجموعات بإجراء دراسات وبائية بحثاً عن نماذج مختلفة لسرطان الدماغ أو لسرطان الغدة اللعابية، حيث إن الدماغ والمناطق المجاورة له هي الأكثر تعرضاً للحقول الكهرطيسية أثناء استخدام الهاتف الخلوي دون سماعة الأذن (نشير هنا إلى أن استعمال سماعة الأذن يُبعد مصدر الأمواج الراديوية عن الدماغ). ومع ذلك، فقد قدّمت هذه الدراسات إذاً وبشكلٍ أساسيٍّ نتائج سلبية. غير أنه، ونظراً لأن بداية الاتصالات الهاتفية الخلوية تُعدُّ حديثة العهد نسبياً، ما يزال الوقت مبكراً لاستنتاج أي شيءٍ يتعلق بالأثر طويل الأمد. وبالفعل، إن الدراسات المتمحورة حول استخدام الهاتف الخلوي والتي استمرت فترة زمنية مهمّة (أكثر من عشر سنوات) ما تزال قليلة العدد، كما أن فترة تطبيقها تبقى غير كافيةٍ ليكون من الممكن الحصول على معلومات صالحة بشكل

الأشخاص الحسّاسون كهربائياً

تشتكي أعداد متزايدة من الأشخاص من أعراض ليست نوعية يدّعون أنها ترتبط بالتعرض للحقول الكهرطيسية (خطوط الجهد العالي، وهوائيات GSM، إلخ...) والتي تظهر عند سويات تعرض لا تسبّب أيّ ردّات فعل لدى معظم الأشخاص، وهي أقلّ بكثير من التوصيات الدولية.

في بعض الحالات، يتأثر الأشخاص لدرجة أنهم يعزلون أنفسهم، فكانوا مجبرين على توقيف عملهم وتغيير نمط حياتهم. ويذكر أشخاص آخرون أعراضاً أقلّ خطورة، ولكنهم يحاولون دائماً تجنب العديد من مصادر الحقول الكهرطيسية. نتحدث مراراً وتكراراً عن فرط الحساسية للكهرباء، وفرط الحساسية الكهرطيسية أو أيضاً فرط الحساسية الذاتي البيئي المنسوب إلى الحقول الكهرطيسية. فمن الممكن أن تكون الأعراض حقيقية: آلام في الرأس، والدوار، وتسرّع في معدل نبضات القلب، والاضطرابات المعوية، والتعب، والوخز، وغيرها.

وبالرغم من وجود عدد كبير من الدراسات المخبرية، أو في بيئة مسيطر عليها، لم يكن فرط الحساسية هذا محقّقاً على الدوام بشكلٍ واضح. وقد كانت معظم الدراسات سلبية ولا تسمح إذاً بتحديد أي رابط سببي، مباشر، بين الشكاوى وبين التعرض للحقول الكهرطيسية.

وفي بعض الحالات يظهر ما يسمى بأثر نوسيبو Nocebo، أي أن هؤلاء الأشخاص يشعرون بالمرض، لأنهم مقتنعون بضرر الحقول التي يتعرضون لها. ولكنه يبقى ضرباً من التهور أن تختصر كلّ شكوى بأثر نوسيبو.

في أغلبية الدراسات المعتمدة على التحريض، حيث نضع الشخص المدروس في شروط تعتبر مؤذية، كانت الدراسات قصيرة الأمد وربما لم تكن كافية إذاً من أجل إثبات وجود فرط الحساسية. وبالتالي ما يزال الأثر السببي غير مثبت، وهذا لا يعني بالضرورة أنه لا يجب أن تؤخذ هذه الأعراض في الحسبان والتي هي فعلاً حقيقةٌ بذاتها.

تام ونهائية. إن السرطان وأورام المخ الحميدة للدماغ هي من الأمراض التي تتطور ببطء، وفقط الدراسات التي تجري على مدى عشرين سنة أو أكثر يمكنها أن تسمح بوضع حدٍّ نهائيٍّ لهذا الجدال.

التوصيات المتعلقة بالترددات الراديوية

نظراً لاهتمام الناس وللعدد المهمّ من الدراسات حول الآثار الحيوية للترددات الراديوية، فقد اعتبر المركز الدولي لأبحاث السرطان أنه قد حان الوقت لاستخلاص حصيلة الدراسات حول

الأخطار المسرطنة للترددات الراديوية. ولهذه الغاية، اجتمع ثلاثون علمياً قدموا من 14 دولة مختلفة في الفترة من 24 إلى 31 أيار/مايو عام 2011 في مقر الـ CIRC في مدينة ليون.

لقد أُخِـذَت كلّ الدراسات الوبائية بعين الاعتبار، لكن تلك التي قام بها لينارت هاردل Lennart Hardel، من جامعة أوريبرو، في السويد، وأخرى أُنجزت ضمن مشروع إنترفون Interphone، اشترك فيها أكثر من 13 دولة مختلفة، فكان لهاتين الدراستين دورٌ تفضيليٌّ على الدراسات الأخرى في استنتاجات مجموعة العمل. لم تبيّن دراسة إنترفون وجود رابط بين استخدام الهاتف الخلوي وخطر متزايد للإصابة بالسرطان، ولكن بدا أن الأشخاص الأكثر تعرضاً كانوا أكثر عرضةً للإصابة بورم دماغي من الأشخاص قليلي التعرض. وفي حالة الأشخاص المصابين، تمّ تحديد مكان الورم في أغلب الأحيان في الجانب الموافق لجهة استخدام الهاتف الخلوي. لكن تحليل هذه النتائج والأسلوب المتبع للحصول عليها قد أشار إلى أن العديد منها قد نتج عن عيوب في التفسير.

أما بالنسبة لدراسات ل. هاردل L. Hardell، فهي أكثر تحذيراً، إذ كانت وما تزال تشكّل موضع انتقاد، وذلك بسبب أنها تضمّنت أخطاء منهجية. ومع ذلك، توصّل فريق عمل الـ CIRC إلى أن النتائج ليست على الأرجح ناجمة حصراً عن عيوب أو أخطاء. وهذا هو السبب الذي من أجله اعتبر أنه لا يمكن إقصاء الأثر السببي في الوقت الحاضر، على الأقل فيما يتعلق بالأورام الدماغية وأورام العصب السمعي. وقد اعتبرت المعطيات المتعلقة بأنواع السرطان الأخرى (الغدد الليمفاوية، والسحائية وغيرها) غير كافية حتى يتبنى الـ CIRC أيّ موقف.

وهكذا صنّف الـ CIRC الترددات الراديوية ضمن الفئة 2B، أي إنها تردّدات «يمكن أن تكون مسرطنة للإنسان»، وهو التصنيف نفسه الموافق للحقول المغنطيسية ذات الترددات المنخفضة جداً. ومحور التذكير هنا بأن القهوة، والصوف الزجاجي أو الستارين هي أمثلة أخرى على العوامل المصنفة ضمن الفئة 2B. هذا التصنيف هو إشارة مهمّة، ولكن لا يجب إعطاؤه أهمية أكثر مما يستحق، لأن هذا التصنيف يشير إلى أن هذه الأمواج هي عوامل مسرطنة ممكنة، وليست محتملة.

ما هي الاستنتاجات؟

في هذا المجال حيث تتجمع النتائج العلمية، وهي سلبية بشكل أساسي، عبر السنين، وبما أنه لا يوجد لدينا سجل خبرةٍ كافٍ من أجل الحصول على دراسات وبائية صالحة بشكلٍ تام، فقد حاولنا القيام بتوصيف الوضع الراهن. وهكذا، يبدو أن خطوط الجهد العالي تشير إلى زيادة في عدد حالات السرطان في مرحلة الطفولة بمقدار حالة واحدة لكلّ 35 مليون نسمة، وذلك بدون أن يكون من الممكن إثبات العلاقة بين السبب والنتيجة. أما فيما يتعلق بالترددات الراديوية، فإن الشدّات المستخدمة في الهاتف الخلوي أو هوائيات الإرسال الأساسية للمحطات الأساسية هي غير كافية لإحداث أثر وحيد معروف بشكل حقيقي بإمكانه إحداث أثرٍ مؤذٍ، والمقصود هنا هو أثر حراري. ولم تشر التحليلات اللاحقة للدراسات الموثوقة إلى وجود أثر على الصحة. وفي الوقت ذاته، ليس من الممكن إثبات غياب الأثر. ونظراً لأن المركز CIRC قد صنّف الترددات الراديوية في فئة العوامل التي من الممكن أن تكون مسرطنة للإنسان، فإنه يمكننا إذاً أن ننصح باستخدام سماعة الأذن وبعدم استخدام الخلوي في مناطق التغطية الضعيفة، لأنه، وفي مثل هذه الشروط، تزداد شدة الأمواج التي يرسلها الهاتف الخلوي.

في الختام، وفيما يتعلق بالأطفال، فإن العديد منهم تحت المراقبة وسوف تسمح نتائج الدراسات المستقبلية الطويلة الأمد بمعرفة ما إذا كان للترددات الراديوية أثر على صحتهم أم لا. في الوقت ذاته، لن تكون النتائج متوفرة قبل حوالي عشرين سنة. وخلال هذه الفترة، يكون من الأفضل تجنب الاستخدام المفرط للهواتف الخلوية من قبل الأطفال الصغار. وربما يمكننا تقديم توصيات بتفضيل استخدام الرسائل القصيرة SMS، لأن جهاز الهاتف يكون عندئذٍ أكثر بعداً عن الدماغ.

- ***لوك فيرشيث***، *هو أستاذ علم السموم في جامعة أنفيرس في بلجيكا، ويترأس فريق عمل الأشعة غير المؤينة في المجلس البلجيكي الأعلى للصحة.*
- ***جاك فاندرستريتن***، *هو عضو في الخلية البيئية الخاصة بالمؤسسة العلمية والطب العام، وهو مساعد علمي في مدرسة الصحة العامة في جامعة بروكسل الحرة.*

‹ *نُشر هذا المقال في مجلة* ***Pour la Science, No 409, Novembre 2011***، *ترجمة* ***د. عصام أبو قاسم***، *هيئة الطاقة الذرّية السورية.*

تخصيب اليورانيوم

- تتطلب معظم مفاعلات الطاقة النووية التجارية (495 مفاعلاً) العاملة أو قيد الإنشاء في العالم اليوم يورانيوم «مُخصّباً» بالنظير U-235 بصفته وقوداً لها.
- تنطوي العملية التجارية الأساسية المستعملة لتخصيب اليورانيوم على أجهزة الطرد المركزي. ثمّة عملية أسترالية تعتمد على الإثارة الليزرية، وهي قيد التطوير في الولايات المتحدة الأمريكية.
- قبل التخصيب، يجب تحويل أكسيد اليورانيوم إلى فلوريد اليورانيوم بحيث يمكن معالجته بالحالة الغازية، في درجة حرارة منخفضة.
- من وجهة نظر سياسة عدم الانتشار النووي، يُعدُّ تخصيب اليورانيوم من التقانات الحساسة التي تتطلب خضوعاً لرقابة دولية مشددة.

هيئة الطاقة الذرية السورية

يتألف معظم اليورانيوم الموجود في الطبيعة من نظيرين، U-235 وU-238. تنتج الطاقة في المفاعلات النووية من "الانشطار" أو تقسيم ذرّات U-235، وهـي عملية تطلق الطاقة على شكل حرارة. ويُعدُّ U-235 النظير الانشطاري الرئيسي لليورانيوم.

يحتوي اليورانيوم الطبيعي على 0.7% من النظير U-235. وما تبقى (99.3%) هو في الغالب النظير U-238 الذي لا يسهم مباشرة في عملية الانشطار (على الرغم من أنه يقوم بذلك بشكل غير مباشر من خلال تشكيل نظائر انشطارية من البلوتونيوم). إن فصل النظائر هي عملية فيزيائية تؤدي إلى تركيز (إثراء) أحد النظائر بالنسبة للنظائر الأخرى. إن معظم المفاعلات النووية هي من نمط مفاعلات الماء الخفيف (وهي من نوعين: مفاعل الماء المضغوط pressurized water reactor (PWR) ومفاعل الماء المغلي boiling water reactor (BWR))، وتتطلب تخصيباً لليورانيوم بدءاً من 0.7% إلى 3% وحتى 5% من U-235 في وقودها.

يكون كلٌّ من اليورانيوم U-235 وU-238 متطابقين كيميائياً، ولكنهما يختلفان في خواصهما الفيزيائية، وخاصة في الكتلة. تحتوي النواة في ذرّة النظير U-235 على 92 بروتوناً و143 نتروناً، وهو ما يعطي كتلة ذرّية مقدارها 235 وحدة. وتحتوي النواة في ذرّة النظير U-238 أيضاً على 92 بروتوناً، ولكن لديها 146 نتروناً، أي ثلاثة نترونات أكثر من U-235، وبالتالي لديه كتلة مقدارها 238 وحدة.

يسمح الفرق في الكتلة بين U-235 وU-238 بفصل النظيرين عن بعضهما، ويجعل من الممكن زيادة أو «إثراء» نسبة U-235. تستفيد عمليات التخصيب الحالي جميعها، بصورة مباشرة أو غير مباشرة، من هذا الاختلاف الصغير في الكتلة.

تستعمل بعض المفاعلات، على سبيل المثال، التصميم الكندي Candu ومفاعلات Magnox البريطانية، اليورانيوم الطبيعي كوقود لها. (وعلى سبيل المقارنة، فإن اليورانيوم المستعمل في الأسلحة النووية يجب أن يُخصَّب في محطات مصمّمة خصّيصاً لإنتاج ما لا يقل عن 90% من النظير U-235).

تتطلب عمليات التخصيب أن يكون اليورانيوم في شكل غازي في درجة حرارة منخفضة نسبياً، وبالتالي يتمّ تحويل أكسيد اليورانيوم القادم من المنجم إلى سداسي فلوريد اليورانيوم في عملية مسبقة، في مصنع تحويل منفصل.

مراكز التخصيب الدولية، والنهج المتعدد الأطراف

استناداً إلى مقترحات الوكالة الدولية للطاقة الذرّية (IAEA) وروسيا، ولقيادة الولايات المتحدة للشراكة العالمية للطاقة النووية global nuclear energy partnership (GNEP)، هناك تحركات لإنشاء مراكز دولية لتخصيب اليورانيوم. يُعدُّ ذلك واحدة من المنهجيات النووية المتعددة الأطراف multilateral nuclear approaches (MNA) التي دعت إليها الوكالة الدولية للطاقة الذرّية. إن جزءاً من الدافع وراء إيجاد مراكز دولية هو جمع إمكانات تخصيب اليورانيوم الجديدة كلها، وربما في نهاية المطاف جمع كل عمليات التخصيب، في ظل رقابة دولية كإجراء لعدم الانتشار النووي. وبشكل محدّد، إن ما تعنيه الرقابة لا يزال بحاجة للتعريف، ولن تكون موحدة في جميع الحالات. غير أن وجود ملكية وتشغيل مشترك بين عدد من البلدان يعني، على الأقل، أن هناك مستوى من الأمن الدولي، وهو أمر غير محتمل في مرفق تملكه وتشغله بصرامة حكومة وطنية.

وأول هـذه المراكز الدولية هو المركز الدولـي لتخصيب اليورانيوم the International Uranium Enrichment Centre (IUEC) في موقع أنجارسك Angarsk في سيبيريا، بالاشتراك مع كازاخستان وأرمينيا وأوكرانيا حتى الآن. يُعنى المركز بتوفير إمدادات مضمونة من اليورانيوم المنخفض التخصيب لمفاعلات الطاقة في دول حديثة الاستعمال للطاقة النووية ولديها برامج نووية صغيرة، وذلك من أجل منحها المساواة في المشروع، ولكن دون السماح لها بالوصول إلى تقنية التخصيب. احتفظت روسيا بمعظم الملكية، وفي شباط/فبراير عام 2007 كان IUEC قد دخل في قائمة المنشآت النووية الروسية المؤهلة لتنفيذ ضمانات الوكالة. وقد أعربت الولايات المتحدة عن دعمها لـ IUEC في أنجارسك. وسوف تبيع IUEC خدمات التخصيب جميعها ومنتج اليورانيوم المُخصّب.

في بعض النواحي، هذا هو ما يشبه الآن إلى حدٍّ بعيد مجموعة المتابعة يورودیف Eurodif، حيث توجد محطة كبيرة للتخصيب في فرنسا بخمسة مالكين (فرنسا بنسبة 60%، وإيطاليا وإسبانيا وبلجيكا وإيـران) وهي تعمل من قبل الدولة المضيفة بموجب ضمانات الوكالة دون إعطاء المشاركين إمكانية الوصول إلى التقنية، غير أنهم ببساطة يُمنحون بعض الحق في الحصول على حصّة من المنتج، وحتى ذلك فإنه مقيّد في حالة إيران. اقترحت هيئة الطاقة الذرّية الفرنسية أن مصنع جورج بيسي

George Besse II الجديد الذي حلّ محل يوروديف ينبغي أن يكون مفتوحاً للشراكات الدولية على أساس متماثل، علماً أنه تم حتى الآن بيع أسهم بسيطة، بمجموع قدره 10%، من شركة التخصيب تريكاستين Societe d`Enrichissement du Tricastin (SET)، التابعة لـ أريفا Areva، وإلى GDF Suez، وهي شريكة يابانية، وإلى شركة إنتاج الطاقة النووية الكورية Korea Hydro and Nuclear (KHNP) Power.

تُعدُّ مجموعة الثلاث دول يورينكو Urenco أيضاً مماثلة ولكن مع مزيد من المحطات في بلدان مختلفة (المملكة المتحدة وهولندا وألمانيا)، غير أن التقنية هنا ليست متاحة للبلدان المضيفة ولا في متناول أصحاب الأسهم الآخرين. ومثل وضع روسيا مع IUEC، جعلت يورينكو (التي تملكها المملكة المتحدة وهولندا بصفتهما حكومتين مضيفتين، إضافة إلى شركة E.On وRWE في ألمانيا) الأمر واضحاً بأنه عندما تستعمل تقانتها في المراكز الدولية فلن تكون في متناولهم. توجد محطة جديدة لها في الولايات المتحدة الأمريكية، حيث تقوم الحكومة المضيفة بالرقابة وليس بالتحكم الإداري.

لا يوجد لمحطة أريفا الجديدة المقامة في الولايات المتحدة الأمريكية أي تنوع في الملكية زيادة على أريفا نفسها، لذلك سوف تكون محطة فرنسية خالصة ولكنها على أراضي الولايات المتحدة. ومحطة التخصيب الرئيسية الأخرى الوحيدة في العالم الغربي هي شركة الولايات المتحدة للتخصيب United States Enrichment Corporation (USEC) القديمة جداً، في الولايات المتحدة الأمريكية.

إن المشروع العالمي للتخصيب بالليزر الذي يمكن أن يمضي لبناء محطة تجارية في الولايات المتحدة الأمريكية يعتمد على مساهمة شركات مقرها في ثلاث دول: الولايات المتحدة الأمريكية (51%)، وكندا (24%) واليابان (25%).

التحويل Conversion

يخرج اليورانيوم من المنجم بصفته مركّزاً بأكسيد مستقر يُعرف بالصيغة U_3O_8 أو بصفته فوق أكسيد. يحتوي هذا اليورانيوم على بعض الشوائب، ويجب، قبل التخصيب، إخضاعه إلى مزيد من التحسين قبيل تحويله إلى سداسي فلوريد اليورانيوم (UF_6)، المعروف بعبارة هكس hex.

تعمل محطات التحويل بشكل تجاري في الولايات المتحدة الأمريكية وكندا وفرنسا والمملكة المتحدة وروسيا والصين.

يجري تحويل أكسيد اليورانيوم إلى UF6 بوساطة عملية تطاير فلوريد جافة في الولايات المتحدة الأمريكية، في حين تستعمل جميع التحويلات الأخرى عملية رطبة.

بعد عملية التكرير الأولي لـ U_3O_8 (أو فوق الأكسيد)، والتي قد تنطوي على إنتاج نترات اليورانيل، يجري إرجاع ثلاثي أكسيد اليورانيوم في فرن بواسطة الهدروجين إلى ثنائي أكسيد اليورانيوم. ويتفاعل هذا الأخير، بعد ذلك، في فرن آخر، مع فلوريد الهدروجين (HF) لتشكيل رباعي فلوريد اليورانيوم. ومن ثم يُدخل رباعي فلوريد اليورانيوم في مفاعل ذي سرير مميّع بوجود الفلور الغازي لإنتاج UF_6. تتضمن العملية الرطبة البديلة تصنيع رباعي الفلوريد من أكسيد اليورانيوم بطريقة رطبة، وذلك باستعمال HF المائي.

يمكن توريد بعض الإمدادات الثانوية بعد تخفيض تخصيب

قدرات التحويل الأساسية في العالم

الشركة	قائمة القدرات (طن U بصيغة UF6)
Cameco, Port Hope, Ont, Canada	12,500
Cameco, Springfields, UK	6000
JSC Enrichment & Conversion Co (Atomenergoprom), Irkutsk & Seversk, Russia	25,000*
Comurhex (Areva), Pierrelatte, France	14,500
Converdyn, Metropolis, USA	15,000
CNNC, Lanzhou, China	3000
IPEN, Brazil	90
Total	76,090

* تقدر قدرات التشغيل بـ 12000 وحتى 18000 طن U سنوياً.

اليورانيوم العالي التخصيب أو بإعادة تخصيب المخلفات (انظر أدناه)، أو توريد الموجود بالفعل على هيئة UF_6. يحتاج اليورانيوم المُدوّر من محطات إعادة المعالجة إلى تحويل بحيث يمكن تخصيبه.

كيمياء التحويل

في العملية الجافة، يجري أولاً تكليس أكسيد اليورانيوم المركّز (تسخينه بشدة) لاستبعاد بعض الشوائب، ثم يجري تكتيله وسحقه.

وفي العملية الرطبة، يُحلُّ أكسيد اليورانيوم المركز في حمض الآزوت. ويخضع محلول نترات اليورانيل $UO_2(NO_3)2.6H_2O$، الناتج، إلى عملية استخلاص بمحلول ذي تيار عكسي، وذلك باستعمال ثلاثي بوتيل الفسفات المذاب في الكيروسين أو الدوديكان. يجمع اليورانيوم بوساطة المستخْلِص العضوي، حيث يمكن غسله بواسطة محلول حمض الآزوت المُمدَّد، ومن ثمّ تركيزه عن طريق التبخير. يُكلّس المحلول في مفاعلٍ ذي سرير مُميَّع لإنتاج UO_3 (أو UO_2، إذا سخّن بما فيه الكفاية).

وفيما بعد يُرجَع كل من U_3O_8 النقي، الناجم عن العملية الجافة، وأكسيد اليورانيوم UO_3 النقي، الناجم عن العملية الرطبة، في فرن بواسطة الهدروجين للحصول على UO_2.

$$U_3O_8 + 2H_2 ===> 3UO_2 + 2H_2O \quad deltaH = -109\ kJ/mole$$

أو

$$UO_3 + H_2 ===> UO_2 + H_2O \quad deltaH = -109\ kJ/mole$$

ثمّ يُفاعل هذا الأكسيد المُرجَع مع فلوريد الهدروجين الغازي (HF) في فرن آخر لتشكيل رباعي فلوريد اليورانيوم (UF_4)، وإن كان ذلك في بعض الأماكن يجري مع HF المائي في حالة العملية الرطبة:

$$UO_2 + 4HF ===> UF_4 + 2H_2O \quad deltaH = -176\ kJ/mole$$

وبعد ذلك يُحقن رباعي الفلوريد في مفاعلٍ ذي سرير مُميَّع، أو في برجٍ على هيئة شعلة، مع تيار من الفلور الغازي لإنتاج سداسي فلوريد اليورانيوم، UF_6. يجري تركيز سداسي الفلوريد "هكس" ويخزّن.

$$UF_4 + F_2 ===> UF_6$$

تحدث إزالة الشوائب في كل خطوة.

يكون UF_6، لاسيما إذا كان رطباً، أكّالاً للغاية. وعند تسخينه يكون غازيّاً، مناسباً للاستعمال في عملية التخصيب. وفي درجة حرارة أخفض وتحت ضغط معتدل، يمكن إسالة UF_6. يُعبّأ السائل داخل أسطوانات مصمّمة خصّيصاً ومشكلة من الفولاذ، وتكون سميكة الجدران وتزن أكثر من 15 طناً عند تعبئتها بشكل كامل. وعندما يبرّد، يصبح السائل UF_6 داخل الأسطوانة على شكل بلّورات صلبة بيضاء ويُشحن إلى أماكن استعماله بهذا الشكل.

وفي موقع الاستعمال، تخضع بيئة محطة التحويل وإدارة أمنها إلى اللوائح التنظيمية المطبقة على أي محطة لتصنيع المواد الكيميائية المتضمنة مواد كيميائية قائمة على الفلور.

التخصيب

ظهر عدد من عمليات التخصيب تاريخياً أو في المختبر، لكن اثنتين منها فقط، هما عملية الانتشار الغازي وعملية الطرد المركزي، تشتغلان على المستوى التجاري. وفي كلتيهما، يجري استعمال الغاز UF_6 كمادة تغذية. تكون جزيئات UF_6، المعتمدة على ذرّات U-235، أخف من باقي الجزيئات بحوالي واحد في المائة، وهذا الاختلاف في الكتلة هو أساس كلتا العمليتين. إن عملية فصل النظائر هي عملية فيزيائية*.

تعمل محطات التخصيب التجارية الكبيرة في فرنسا وألمانيا وهولندا والمملكة المتحدة والولايات المتحدة الأمريكية، وروسيا، مع محطات أصغر في أماكن أخرى. ويجري حالياً بناء محطات طرد مركزي جديدة في فرنسا والولايات المتحدة الأمريكية. وثمة محطات عديدة أخرى تسعى لزيادة قدراتها.

تتألف المادة الأولية للتخصيب من سداسي فلوريد اليورانيوم (UF_6) الناتج من محطة التحويل. وبعد التخصيب، يجري تشكيل تيارين من UF_6: الأول يحوي المنتج المُخصّب المتضمن أعلى تركيز لـ U-235 الذي سيستعمل لصنع وقود نووي، والثاني يحوي المخلفات المحتوية على تركيز أضعف من U-235، والمعروف باليورانيوم المستنفد depleted uranium (DU). يشكل فحص تيار

* تقدمت عملية كيميائية واحدة إلى مرحلة المصنع التجريبي ولكنها لم تُستعمل. استثمرت عملية شيمكس Chemex الفرنسية اختلافاً طفيفاً جداً في نزعة (ميل) النظيرين لتغيير التكافؤ أثناء عملية أكسدة/إرجاع، وذلك باستعمال الطورين المائي (التكافؤ III) والعضوي (IV).

قدرات التخصيب العالمية: عاملة ومخطط لها (1000 وحدة عمل عيارية سنوياً)

البلد	الشركة والمحطة	2010*	2015	2020
فرنسا	Areva, Georges Besse I & II	8500	7000	7500
ألمانيا وهولندا والمملكة المتحدة	Urenco: Gronau, Germanu; Almelo, Netherlands; Capenhurst, UK.	12,800	12,800	12,300
اليابان	JNFL, Rokkaasho	150	750	1500
الولايات المتحدة الأمريكية	USEC, Paducah & Piketon	11,300*	3800	3800
الولايات المتحدة الأمريكية	Urenco, New Mexico	200	5800	5900
الولايات المتحدة الأمريكية	Areva, Idaho Falls	0	0	3300
الولايات المتحدة الأمريكية	Global Laser Enrichment	0	2000	3500
روسيا	Tenex: Angarsk, Novouralsk, Zelenogorsk, Seversk	23000	33000	بين 30 و 35000
الصين	CNNC, Hanzhun & Lanzhou	1300	3000	بين 6000 و 8000
باكستان والبرازيل وإيران	متنوعة	100	300	300
مجموع وحدات العمل العيارية تقريباً		57350	68000	بين 74 و 81000
المتطلبات (سيناريو عياري لـ الجمعية النووية الدولية)		48890	56000	66535

* المصدر: تقرير الجمعية النووية الدولية لعام 2009، ودورة الوقود للجمعية النووية الدولية، والجلسة العامة حول التخصيب لـ WNFC في نيسان/أبريل 2011. وهناك مصادر أخرى تشمل ريزندي في البرازيل، وKahutab في باكستان، وRattehallib في الهند وناتانز في إيران.

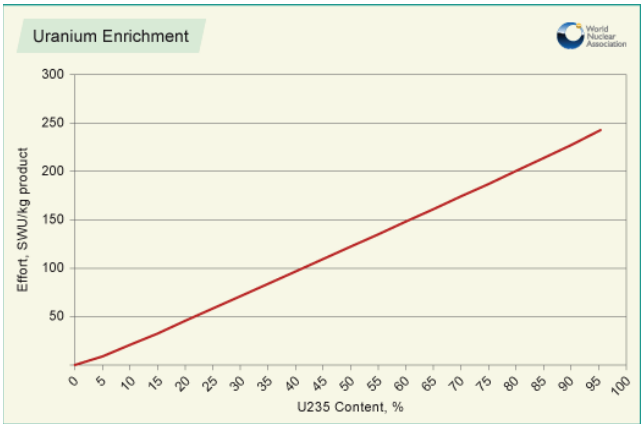
المخلفات (تعيين تركيز U-235) عاملاً مهماً لأنه يحدد بشكل غير مباشر حجم العمل الذي يجب القيام به على كمية معينة من اليورانيوم من أجل الحصول على منتج معين التركيز. قد يكون تركيز المواد الأولية من U-235 متفاوتاً، اعتماداً على المصدر. يحتوي اليورانيوم الطبيعي على تركيز يقارب 0.7% من U-235، في حين يكون التركيز في اليورانيوم المدوّر حوالي 1% وفي المخلفات المراد إعادة تخصيبها بين 0.25 و0.30%.

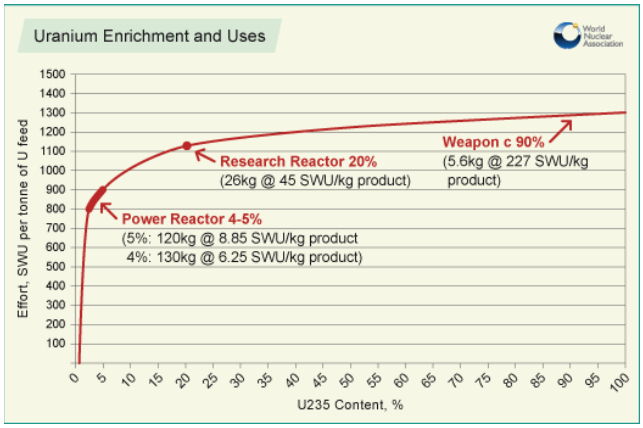
تُقاس قدرة محطات التخصيب بدلالة "وحدات العمل المنفصلة separative work units (SWU)". تُعدُّ SWU وحدة معقدة، وهي تدل على المُدخل الطاقي بالنسبة لكمية اليورانيوم المعالج، أي الدرجة التي خُصِّب إليها هذا النظير (أي مدى الزيادة في تركيز النظير U-235 بالنسبة للمتبقي) ومستوى استنفاد ما تبقى، المسمى 'مخلفات tails'. تحدد وحدة عمل الفصل بشكل صارم: وحدة عمل فصل كيلوغرام واحد، وهي تقيس كمية العمل المنفصل المنفذ لتخصيب كمية معينة من اليورانيوم عندما يتم التعبير عن كميات التغذية والمنتجات بالكيلوغرامات. كما تستعمل الوحدة SWU بالأطنان أيضاً.

على سبيل المثال، إن إنتاج كيلوغرام واحد من اليورانيوم المُخصّب إلى 5% من U-235 يتطلب 7.9 SWU إذا تمّ تشغيل المحطة على مخلفات بتركيز 0.25%، أو 8.9 SWU إذا احتوت المخلفات 0.20% (مما يتطلب تغذية 9.4 كيلوغراماً فقط بدلاً من 10.4 كيلوغراماً من اليورانيوم الطبيعي). هناك دائماً مقايضة بين تكلفة تخصيب وحدة عمل الفصل وتكلفة اليورانيوم.

يُبيّن الرسم البياني الأول جهد التخصيب (SWU) لكلّ وحدة من المنتج، ويظهر الثاني نتائج تغذية طن واحد من اليورانيوم الطبيعي للحصول على كلٍّ من حالات التخصيب الثلاث: إذ نحصل على كمية تتراوح بين 120 و 130 كيلوغراماً من وقودِ مفاعل الطاقة، أو على 26 كيلوغراماً من وقودِ مفاعل بحوث نموذجي، أو على 5.6 كيلوغراماً من المواد الممكن استعمالها لتصنيع سلاح نووي. يتسطّح المنحنى الثاني بشكل كبير في الأعلى بسبب أن كتلة المواد المُخصّبة تدريجياً تنقص إلى هذه الكميات، العائدة لطن واحد من اليورانيوم الطبيعي، أي أن ذلك يتطلب جهداً أقل للتقدم في التخصيب. إن الزيادة الصغيرة نسبياً في الجهد اللازم لتحقيق زيادة عن مستويات التركيز الطبيعي هي السبب في اعتبار محطات التخصيب تقنية حسّاسة فيما يتعلق بمنع انتشار الأسلحة، وبخضوعها لإشراف شديد جداً بموجب الاتفاقيات الدولية. إن الوقود اللازم سنوياً لتحميل مفاعل الماء الخفيف النموذجي باستطاعة 1000 ميغا واط كهربائي إلى مستويات التخصيب العليا المطلوبة في هذه الأيام يتطلب حوالي (140000 SWU). ترتبط تكاليف التخصيب عملياً بالطاقة الكهربائية المستعملة. تستهلك عملية الانتشار الغازي حوالي 2500 كيلو واط ساعي في كلّ SWU، في حين تتطلب محطات الطرد المركزي الغازي الحديثة فقط حوالي 50 كيلو واط ساعي في كلّ SWU.

تساوي تكلفة التخصيب ما يقرب من نصف تكلفة الوقود





النووي وحوالي 5% من التكلفة الإجمالية للكهرباء المتولدة عنه. كما أنه كان يشكل في الماضي التأثير الرئيسي لغازات الدفيئة الناجمة عن دورة الوقود النووي التي استعمل فيها الفحم لتوليد الكهرباء اللازمة للتخصيب. ومع ذلك، فإن تكلفة استعمال محطات الطرد المركزي الغازي الحديثة لا تساوي سوى 0.1% فقط من مكافئ ثنائي أكسيد الكربون الناجم عن توليد الكهرباء المولَّدَة بالفحم، أو ما قد يصل إلى 3% في أسوأ الحالات.

تحتاج المرافق التي تشتري اليورانيوم من المناجم إلى كمية ثابتة من اليورانيوم المُخصّب لصنع الوقود اللازم تحميله في مفاعلاتها. تتعلق كمية اليورانيوم الواجب توريدها إلى شركة التخصيب بمستوى التخصيب المطلوب (U-235%) وبمحتوى المخلفات من (U-235%) أيضاً. يحدّد محتوى المخلفات المتعاقد عليه كمية اليورانيوم الطبيعي اللازم توريده للحصول على الكمية المطلوبة من منتج اليورانيوم المُخصّب enriched uranium product (EUP)، إذ إن قلة كمية المخلفات تعني تطبيق المزيد من خدمات التخصيب (لاسيما الطاقة). وتتمتع الجهة المُخصّبة، مع ذلك، ببعض المرونة فيما يتعلق بالمحتوى الفعلي للمخلفات في المحطة.

فإذا كان المحتوى الفعلي للمخلفات أقل من المتعاقد عليه، يمكن للجهة المُخصِّبة تخصيص بعض اليورانيوم الطبيعي الفائض لبيعه (إما على شكل يورانيوم طبيعي أو EUP) على حسابها الخاص. وهذا ما يُعرف باسم التغذية الناقصة underfeeding. أما في الوضع المعاكس، حيث يكون المحتوى الفعلي للمخلفات أعلى، فيجب على المُخصِّب عندئذ استكمال اليورانيوم الطبيعي المُورَّد له مع بعض ممّا يملكه في حسابه الخاص، وهذا ما يسمى التغذية المتخمة overfeeding. وفي كلتا الحالتين، يبني المُخصِّب قراره اعتماداً على الحالة الاقتصادية للمحطة وتبعاً لثمن اليورانيوم وتكلفة الطاقة.

تنحو التوجهات السائدة في تقنية التخصيب إلى إيقاف محطات الانتشار القديمة، حيث قدّرت تكلفة ذلك منذ العام 2000 نحو 15 مليار دولار أمريكي.

مصدر العرض	2000	2010	المخطط لها عام 2017
الانتشار	%50	%25	0
الطرد المركزي	%40	%65	%93
الليزر	0	0	%3
اليورانيوم العالي التخصيب من الأسلحة القديمة	%10	%10	%4

تتمتع عمليات التخصيب الثلاث الموصوفة أدناه بخصائص مختلفة. تُعدُّ عملية الانتشار مرنة في الاستجابة لتغيرات الطلب وتكاليف الطاقة ولكنها كثيفة الاستهلاك للطاقة. ومع تقنية الطرد المركزي، من السهل إضافة وحدات قدرة بهدف التوسّع، ولكنها غير مرنة ويكون تشغيلها أفضل بكامل طاقتها مع تكلفة تشغيل منخفضة. يمكن أن تحقق تقنية الليزر مستوى منخفضاً جداً من اختبارات المخلفات، كما أنها قابلة أيضاً للتوسيع في وحدات المحطة.

عملية الانتشار الغازي

نُفِّذَ تخصيب اليورانيوم التجاري أول مرّة بوساطة عملية الانتشار في الولايات المتحدة الأمريكية. ومن ثمّ في روسيا وفي المملكة المتحدة وفرنسا، إضافة إلى الصين والأرجنتين أيضاً. إنها عملية طاقة مُكثفة جداً، إذ تتطلب حوالي 2400 كيلو واط ساعي لكل SWU*. وتقول الشركة الأمريكية لتخصيب اليورانيوم United States Enrichment Corporation (USEC) إن الكهرباء

* قُدّر أن 7% من مجمل طلب الطاقة الكهربائية الأمريكية حصلت عن طريق محطات التخصيب في ذروة الحرب الباردة، حيث كانت الحاجة لـ 90% من U-235 المطلوب، بدرجة تخصيب بين 3 إلى 4% لازمة لتوليد الطاقة.

تساهم بـ 70% من تكلفة الإنتاج في محطتها بادوكا Paducah.

في السنوات الأخيرة تفردت الولايات المتحدة وفرنسا لوحدهما باستعمال هذه التقنية على نطاق واسع. أما المحطة الكبيرة المتبقية USEC في الولايات المتحدة فقد أنشئت بالأصل لتنفيذ برامج تسلّح وتصل استطاعتها إلى حوالي 8 ملايين SWU سنوياً، وسيستمر استثمارها في تخصيب بعض المخلفات حتى العام 2013 قبل توقيفها. وفي جنوب فرنسا، في منطقة تريكاستن Tricastin، توجد محطة أكثر حداثة باستطاعة 10.8 مليون كغ SWU سنوياً تعمل منذ عام 1979. ويمكن لمحطة جورج بيس George Besse I هذه إنتاج يورانيوم مُخصّب بدرجة 3.7% سنوياً، أي بما يكفي لوقود 90 مفاعلاً نووياً استطاعة كل منها 1000 ميغا واط كهربائي. جرى إغلاقها في منتصف العام 2012، بعد تشغيل استمر 33 عاماً. وقد بدأت محطة GB II العمل بصفتها بديلاً لها.

محطة التخصيب George Besse I الكبيرة في تريكاستن بفرنسا (إلى جانب أبراج التبريد). توفر لها المفاعلات النووية الأربعة ما يزيد على 3000 ميغا واط كهربائي.

شكلت عملية الانتشار الغازي في السنوات الأخيرة حوالي 25% من إمكانية التخصيب في العالم. مع ذلك، وعلى الرغم من أنها أثبتت استدامةً ووثوقية، فإن غالبية محطات الانتشار الغازي تقترب من نهاية عمرها الافتراضي، ويجري التركيز على تقنية التخصيب بالطرد المركزي لتحلّ محلّها.

تنطوي عملية الانتشار على استعمال الضغط لإجبار غاز سداسي فلوريد اليورانيوم على عبور سلسلة من الأغشية المسامية أو الحواجز الغشائية. ونظراً لكون جزيئات U-235 أخف من جزيئات U-238 فإن تحركها يكون أسرع وتمتلك فرصة أفضل بقليل للمرور عبر مسام الغشاء. وبالتالي فإن UF_6 الذي ينتشر عبر الغشاء سيكون أكثر تركيزاً (تخصيباً) مما كان عليه قبل أن يعبر الغشاء، في حين يكون الغاز الذي لم تمر جزيئاته قد خضع لاستنفاد قليل من جزيئات U-235.

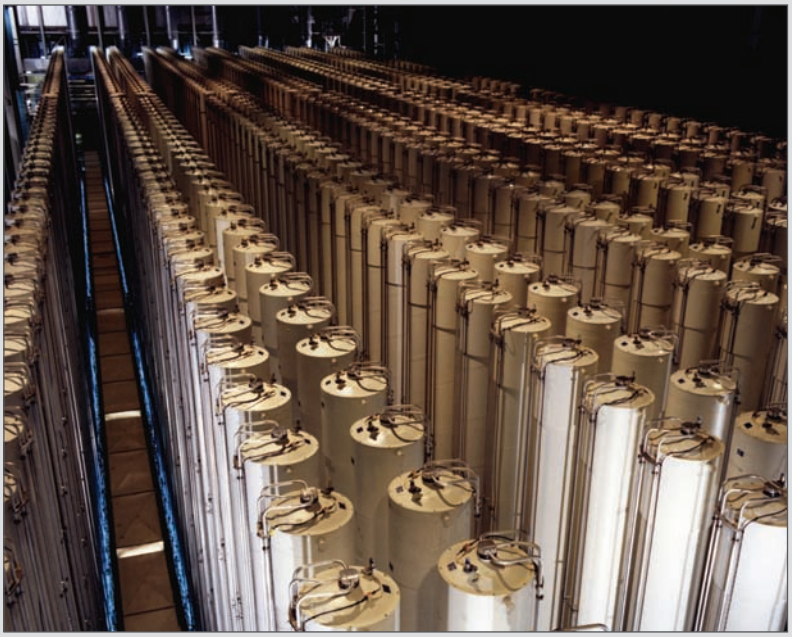
تتكرر هذه العملية مرات عدة في سلسلة من مراحل الانتشار تسمى الشلال. تتضمن كلّ مرحلة ضاغطاً وناشراً ومبادلاً حرارياً لإزالة الحرارة الناجمة عن الضغط. يجري سحب المنتج UF_6 المُخصَّب من إحدى طرفي الشلال وتجري إزالة UF_6 المستنفد عبر الطرف الآخر. تجب معالجة الغاز عبر ما يقرب من 1400 مرحلة للحصول على منتج بتركيز يتراوح بين 3 و 4% من U-235. تتمتع محطات الانتشار عادة بقدرة فصل كمية صغيرة في المرحلة الواحدة (وبالتالي تحتاج لعدد كبير من المراحل) ولكنها قادرة على التعامل مع كميات كبيرة من الغاز.

عملية الطرد المركزي

نُفذت عملية الطرد المركزي الغازي أول مرة في أربعينيات القرن الماضي ولكنها أُجلت لصالح عملية الانتشار الأبسط منها. غير أنها طُوّرت ووُضعت قيد التنفيذ في ستينيات القرن الماضي بصفتها تقنية تخصيب من الجيل الثاني. فهي اقتصادية على نطاق أصغر، مثلاً، دون 2 مليون وحدة عمل فصل سنوياً، مما يسمح بتطوير منتظم لمحطات أكبر. إنها أكثر كفاءة طاقية من عملية الانتشار، فهي تتطلب فقط ما بين 50 إلى 60 كيلو واط ساعي لكل SWU.

طُورت عملية الطرد المركزي على مستوى تجاري في روسيا، وفي أوربا، من قبل شركة يورينكو Urenco، وهي مجموعة صناعية كونتها الحكومات البريطانية والألمانية والهولندية. يشكل إنتاج المحطات الروسية الأربع في Seversk وZelenogorsk وAngarsk وNovouralsk حوالي 40% من الطاقة العالمية. تشغل شركة يورينكو محطات تخصيب اليورانيوم في المملكة المتحدة وهولندا وألمانيا وتقوم ببناء محطة في الولايات المتحدة.

تُشغِّل شركتا JNC وJNFL في اليابان محطات طرد مركزي صغيرة، وجرى تصميم JNFL في روكاشو Rokkasho لتشتغل باستطاعة 1.5 مليون SWU سنوياً. تمتلك الصين محطتي طرد مركزي صغيرتين مستوردتين من روسيا. واحدة منهما في لانزهو Lanzhou باستطاعة 0.5 مليون SWU سنوياً وأخرى رئيسية في هانزهن Hanzhun تعمل بـ 0.5 مليون SWU سنوياً ويجرى مضاعفة حجمها. تمتلك البرازيل محطة صغيرة يجري تطويرها إلى 0.2 مليون SWU سنوياً. طورت باكستان تقنية تخصيب بالطرد المركزي، ويبدو أنها بيعت إلى كوريا الشمالية. (أنجزت إيران تقنية طرد مركزي متطورة ومُرخّصة. وتشير تقارير الوكالة الدولية للطاقة الذرّية إلى امتلاك إيران محطة ناطنز Natanz لتخصيب الوقود النووي، إذ تحتوي هذه المحطة حالياً على 9000 أسطوانة طرد مركزي).



تجمع من أجهزة الطرد المركزي في محطة يورنكو

يوجد في كل من فرنسا والولايات المتحدة محطات من الجيل السادس. ويجري الآن استعمال تقنية يورنكو للطرد المركزي لاستبدال محطات الانتشار القديمة، وذلك لأسباب ليس أقلها أنها أكثر اقتصاداً في التشغيل. وكما هو ملاحظ، تتطلب محطة الطرد المركزي قدرة أقل من 50 كيلو واط ساعي لكل SWU.

بدأت محطة أريفا الفرنسية الجديدة، Georges Besse II، تشغيلها التجاري في نيسان/أبريل 2011 وستصعد بطاقتها لتصل إلى 7.5 مليون SWU سنوياً في العام 2016.

بدأت محطة يورنكو الجديدة في نيو مكسيكو إنتاجها التجاري في الولايات المتحدة في شهر حزيران/يونيو عام 2010. ويتوقع أن تصل طاقتها البدائية الكلية إلى 3 مليون SWU سنوياً في العام 2013، وخطط لها أن تصل إلى 5.7 مليون SWU سنوياً في العام 2015، وهو ما يكفي 10% من حاجة الكهرباء في الولايات المتحدة.

ولاحقاً لذلك، تقوم أريفا ببناء محطة روك إيغل Eagle Rock في وديان إيداهو في الولايات المتحدة بطاقة 3.3 مليون SWU سنوياً، ويتوقع أن تبدأ عملها في العام 2014، لتصل إلى كامل طاقتها الإنتاجية في العام 2019.

بنت شركة الولايات المتحدة للتخصيب محطة طرد مركزي خاصة بها في بيكتون Piketon، في أوهيو Ohio، في موقع بورتسماوث Portsmouth نفسه حيث كانت تعمل محطة تجريبية لوزارة الطاقة في ثمانينيات القرن الماضي باعتبارها تتويجاً لبرنامج بحث وتطوير كبير جداً. وتقدر تكلفة تشغيلها في العام 2012 بـ 3.5 مليار دولار أمريكي. صُمّمت هذه المحطة لتكون قدرتها السنوية الأولية 3.8 مليون SWU، وإن كان تطبيق الترخيص يجيز الوصول إلى 7 مليون SWU والسماح بالتوسع. أدى التصريح بالتخصيب إلى تخصيب يصل إلى 10%، في حين تعمل معظم المحطات بتخصيب يصل إلى 5% من النظير U-235، الأمر الذي بات عائقاً خطيراً مع تزايد الوقود المستهلك في المفاعل. بدأت سلسلة البيان العملي في أيلول/سبتمبر عام 2007 باستعمال نحو 20 نموذجاً أولياً، وبدأ التشغيل التجاري لسلسلة من أجهزة الطرد المركزي في آذار/مارس عام 2010. إنها أجهزة ضخمة جداً، يصل طولها إلى 13 متراً، ولكل منها قدرة 350 SWU سنوياً. لكن المشروع بأكمله قد توقف في تموز/يوليو عام 2009 في انتظار مزيد من التمويل. أُنفق ما مجموعه 1.95 مليار دولار في الفترة من آذار/مارس عام 2007 إلى كانون الأول/ديسمبر عام 2010، وكان من المتوقع بعد ذلك زيادة في التكلفة مقدارها 2.8 مليار دولار أمريكي. في آذار/مارس عام 2010 قدمت وزارة الطاقة 45 مليون دولار لشركة الولايات المتحدة للتخصيب من أجل استمرار التطوير.

كما في عملية الانتشار، تستعمل عملية الطرد المركزي الغاز UF_6 للتغذية وتستفيد من اختلاف طفيف في الكتلة بين U-235 وU-238. تجري تغذية الغاز في سلسلة من الأنابيب المفرّغة، التي يحوي كل واحد منها محوراً دوّاراً بطول يتراوح بين 3 و5 أمتار وبقطر يبلغ 20 سم*. وعندما تُدار الأسطوانة حول محورها بسرعات تتراوح بين 50,000 و70,000 دورة في الدقيقة، يتزايد تركيز الجزيئات الثقيلة، U-238، بجوار الحافة الخارجية للأسطوانة. وبالمقابل تجري زيادة في تركيز جزيئات U-235 الخفيفة بجوار محور الأسطوانة. يمكن لتدفق التيار العكسي الناجم عن التدرُّج الحراري أن يسمح باستخلاص الناتج المُخصّب من نقطة مجاورة للمحور، واستخلاص الجزيئات الثقيلة من نقطة عند حافة الأسطوانة.

يُشكّل الغاز المُخصَّب جزءاً من تغذية المراحل اللاحقة في حين يعود الغاز UF_6 المستنفد إلى المرحلة السابقة. وفي النهاية يسحب كلٌّ من اليورانيوم المُخصَّب والمستنفَد من الشلال لتنفيذ المقايسات المطلوبة.

وللحصول على فصل فعّال للنظيرين، تُدوَّر أسطوانة الطرد المركزي بسرعة عالية جداً، بحيث يتحرك الجدار الخارجي للأسطوانة الدوّارة ما بين 400 و500 متر في الثانية ليعطي مليون ضعف من التسارع الأرضي.

على الرغم من أن قدرة حجم جهاز طرد مركزي واحد أصغر بكثير منه في مرحلة انتشار وحيدة، إلاّ أن قدرته على فصل النظائر أكبر بكثير. تتكون كل مرحلة من مراحل الطرد المركزي عادة من عدد كبير من أجهزة الطرد المركزي في الوقت نفسه. وهكذا تُرتب هذه المراحل وفق سلسلة مماثلة لما هي عليه في حالة الانتشار. مع ذلك، وفي عملية الطرد المركزي، قد يكون عدد المراحل فقط 10 إلى 20، بدلاً من ألف أو أكثر في حالة الانتشار.

العمليات الليزرية

كانت عمليات التخصيب بالليزر محور اهتمام لبعض الوقت. إنها تقنية الجيل الثالث الواعدة بمدخلات طاقية أقل، وبانخفاض في رأس المال المستثمر وبانخفاض في مقايسات النفايات، وبالتالي تقديم مزايا اقتصادية كبيرة. ثمة واحدة من هذه العمليات تكون جاهزة للاستعمال التجاري. تصنف العمليات الليزرية في فئتين: عمليات ذرّية وأخرى جزيئية.

بدأ تطوير الفصل النظيري الليزري لبخار ذرّي (AVLIS وSILVA بالفرنسية) atomic vapor laser isotope separation في سبعينيات القرن الماضي. وفي عام 1985 دعمت الحكومة الأمريكية هذه التقنية بصفتها تقانة جديدة لتحلّ محلّ محطات الانتشار الغازي لأنها ستصل إلى نهاية حياتها الاقتصادية في وقت مبكر من القرن الحادي والعشرين. مع ذلك، وبعد صرف نحو 2 مليار دولار أمريكي في مجال البحث والتطوير، جرى التخلّي عنها في الولايات المتحدة الأمريكية لصالح فصل النظائر بالتحريض الليزري سيليكس separation of isotopes by laser excitation (SILEX)، وهي عملية جزيئية طُوّرت في تسعينيات القرن الماضي من أجل فصل النظائر لإنتاج يورانيوم مُخصَّب باستعمال الليزر. توقف العمل الفرنسي على SILVA الآن، بعد تنفيذ برنامج دام لمدة 4 سنوات حتى عام 2003 لإثبات الجدوى العلمية والتقنية للعملية. جرى في هذا البرنامج إنتاج ما يقارب من 200 كيلو غرام من اليورانيوم المُخصّب بنسبة 2.5%.

تعمل عمليات البخار الذرّي على مبدأ التأيُّن بالضوء، حيث يجري استعمال ليزر قوي لتأيين ذرّات معيّنة موجودة بشكل بخار من معدن اليورانيوم. (يمكن طرد إلكترون من ذرّة بوساطة ضوء ذي تردّد معيّن. إذ تَستعمل تقنيات الليزر الخاصة باليورانيوم تردّدات يتم ضبطُها لتؤيِّن ذرّة النظير U-235 دون أن تؤثر على ذرّة النظير U-238). وهكذا تنجذب أيونات U-235 إلى لوحة مشحونة سلباً ليتمّ جمعها. يمكن لتقنيات الليزر الذرّية فصل نظائر البلوتونيوم أيضاً.

تعتمد العمليات الجزيئية التي جرى البحث فيها على مبدأ التفكك بالضوء لـ UF_6 إلى UF_5+ صلب، وذلك باستعمال الإشعاع الليزري المنضبط على النحو الوارد أعلاه لكسر الرابطة الجزيئية الواصلة بين واحدة من ذرّات الفلور الست وU-235. وهذا ما يتيح لجزيء UF_5 المُؤيَّن أن ينفصل عن جزيئات UF_6 غير المتأثرة والحاوية لذرّات U-238، وهكذا يكون قد تحقق فصل النظائر. إن أي عملية تستعمل UF_6 تناسب دورة الوقود التقليدية بسهولة أكبر من العملية الذرّية.

إن العملية الرئيسية لتخصيب اليورانيوم هي تقنية **SILEX**، التي تستعمل UF_6 وتُعرف الآن بتقنية التخصيب الليزري العالمي (الشامل) **global laser enrichment** (GLE). في عام 2006، دخلت GE شريكاً مع منظومات سيليكس الأسترالية لتطوير الجيل الثالث من عملية سيليكس. سمحت هذه الشراكة لـ GE (التي هي الآن

* يصل طول أجهزة الطرد المركزي التابعة لشركة الولايات المتحدة للتخصيب إلى 12 متراً وبأقطار تتراوح بين 40 و50 سم. يبلغ طول أجهزة الطرد المركزي الروسية أقل من 1 متر. تكون أقطار الأجهزة الصينية أكبر، لكنها أقصر من أجهزة يورنكو.

GE-Hitachi) ببناء حلقة اختبار على مستوى هندسي في الولايات المتحدة الأمريكية، ومن ثمّ محطة تجريبية أو سلسلة رائدة، بإمكانها أن تعمل في العام 2012، وأن تتوسع لتصبح محطة تجارية كاملة. وبصرف النظر عن الـ 20 مليون دولار أمريكي والدفعات اللاحقة، فإن اتفاقية الترخيص ستقود إلى عائدات تتراوح بين 7 و12%، وإن الكمية الدقيقة تتعلق بمدى انخفاض تكاليف نشر التقنية تجارياً. في منتصف عام 2008، دخلت شركة كاميكو Cameco (وهي شركة عالمية تهتم بتجارة اليورانيوم) في المشروع GLE، ودفعت 124 مليون دولار للحصول على حصة 24%، إلى جانب GE (51%) وهيتاشي (25%). (في بداية عام 1996، حصلت كاميكو على حقوق تقييم وتطوير سيليكس لليورانيوم ولكنها انسحبت من المشروع في عام 2003).

يُشار إلى سيليكس بـ GE، التي أعيدت الإشارة إليها بـ GLE، بصفتها "تقنية لتغيير قواعد اللعبة" مع "احتمال كبير جداً" بالنجاح. تستكمل GE-Hitachi برنامج حلقة الاختبار، إذ حقّقت المرحلة الأولى منه بالفعل نجاحاً في تلبية معايير الأداء، وقد بدأ التصميم الهندسي للمنشأة التجارية. تشغل GEH حلقة الاختبار التابعة لـ GLE في مركز الوقود النووي العالمي global nuclear fuel (GNF) في مدينة ويلمينغتون، حيث توجد منشأة تصنيع الوقود شمالي كارولينا (GNF) وهي شراكة بين GE وتوشيبا وهيتاشي.

في تشرين الأول/أكتوبر عام 2007، وقّعت أكبر المرافق النووية في الولايات المتحدة، إكسيلون Exelon وإنترجي Entergy، رسائل نوايا لعقدٍ من أجل خدمات تخصيب اليورانيوم بالليزر العالمية LLC (GLE). قد توفر المرافق أيضاً لـ GLE دعماً عند الحاجة لتطوير محطتها على نطاق تجاري. وفي آب/أغسطس عام 2010، وافقت شركة TVA على شراء خدمات تخصيب من GLE بقيمة 400 مليون دولار أمريكي إذا مضى المشروع قدماً.

وفي منتصف عام 2009، تقدمت GEH بالجزء الأخير من تطبيق ترخيصها لمحطة GLE هذه، والتي كان من المتوقع أن تحتاج 30 NRC شهراً للانطلاق. في نهاية شباط/فبراير عام 2012 نشرت NRC مراجعة بيئية مواتية للمشروع وخلُص تقييم سلامة المشروع إلى أن برامج الحماية المادية للمواد النووية الخاصة وللمواد السرية ولمراقبة المواد والمحاسبة المقدمة توفر أساساً كافياً لكلٍّ من السلامة وضمانات تشغيل المنشأة. وبعد مراجعة تموز/يوليو التي قدمها مجلس السلامة الذرّية والتراخيص في NRC، صدر في أيلول/سبتمبر 2012 الترخيص الكامل لبناء محطة تصل إلى 6 ملايين SWU سنوياً وتشغيلها. سوف تقرر GLE الآن في ضوء الاعتبارات التجارية ما إذا كانت ستمضي قدماً لقيام منشأة التخصيب على نطاق واسع في ويلمينغتون. يمكن للمشروع أن يعمل بدءاً من العام 2014 ليُخصِّب U-235 حتى 8%، وأن يصل إلى طاقة سنوية تبلغ 6 ملايين SWU في عام 2020.

جرت أيضاً تطبيقات على نظائر مستقرة لكل من السليكون والزركونيوم طورتها منظومات سيليكس قرب مدينة سدني.

تُعدُّ عملية التفاعل الكيميائي بوساطة الانتقاء الليزري للنظير (كريسلا) chemical reaction by isotope selective laser (CRISLA)، عملية جزيئية أخرى للفصل النظيري بالليزر والتي تمثّل مراحل أولى للتطوير. يجري في هذه التقنية تشعيع غاز بليزر أمواج خاصّة قادرة على إثارة واحد فقط من النظائر. يُعرّض الغاز بأكمله إلى درجات حرارة منخفضة كافية لتسبب تكثيف الغاز على سطح بارد أو تخثيره. ليس من المرجح أن تتكثف جزيئات الغاز المُثارة مثل تكثف الجزيئات غير المُثارة. وبسبب التكثف على جدار بارد، فإن الغاز الخارج من المنظومة يكون مُخصَّباً بالنظير الذي حُرِّض بالليزر.

عملية كهرمغنطيسية

كان السعي لتنفيذ عملية الفصل النظيري بحقل كهرمغنطيسي electromagnetic isotope separation (EMIS) مبكراً جداً، وذلك باستعمال مطياف الكتلة calutrons. طُورَت هذه التقنية في وقت مبكر من أربعينيات القرن الماضي في مشروع مانهاتن بهدف استعمال اليورانيوم العالي التخصيب في صنع قنبلة هيروشيما، ولكن تمّ التخلي عن ذلك بعد وقت قصير. لكنه عاد للظهور كاتجاه رئيسي لبرنامج العراق السري لتخصيب اليورانيوم من أجل الأسلحة المكتشف في عام 1992. تستعمل تقنية EMIS مبادئ مطياف الكتلة نفسها (وإن كان ذلك على نطاق أوسع بكثير). حيث تُفصل فيها أيونات اليورانيوم-238 عن أيونات اليورانيوم-235 لأنهما ترسمان مسارين قوسيين مختلفي نصف القطر عندما تتحركان عبر حقل مغنطيسي. تحتاج هذه العملية لطاقة كثيفة جداً، أي حوالي عشرة أضعاف الطاقة المستهلكة في عملية الانتشار.

عمليات ديناميكية هوائية

وصلت اثنتان من العمليات الديناميكية الهوائية إلى مرحلة العرض في غضون سبعينيات القرن الماضي. إحداهما تسمى

عملية الفوهة النفاثة، حيث بنيت المحطة في البرازيل، والأخرى طورت في أفريقيا الجنوبية وتسمى عملية أنبوب دوّامة هيليكون vortex Helikon. لا توجد أي منهما في الاستعمال الآن، على الرغم من أن الأخيرة هي رائدة في مجال جديد للبحث والتطوير. إنهما تعتمدان على تيار غازي عالي السرعة يَحمِل UF_6 المُصنّع ليدور سالكاً مساراً دائرياً نصف قطره صغير جداً، مما يسبب ضغطاً مُتدرّجاً مماثلاً لذاك الذي يحدث في جهاز الطرد المركزي. يمكن توجّه الجزء الخفيف نحو المركز والجزء الثقيل نحو الخارج. ثمة حاجة لآلاف المراحل للحصول على المنتج المُخصّب اللازم للمفاعل. تحتاج كلٌّ من العمليتين لطاقة كثيفة، أكثر من 3000 كيلو واط ساعي/SWU. لم تكن محطة Helikon Z موجهة تجارياً في وقت مبكر من ثمانينيات القرن الماضي، وكانت قدرتها أقل من 500,000 SWU في السنة. تتطلب هذه المحطة حوالي 10,000 كيلو واط ساعي/SWU.

تستعمل عملية الفصل الديناميكي الهوائي aerodynamic (ASP) separation process، المُطوّرة من قبل كليدون Klydon في جنوب أفريقيا، أجهزة طرد مركزي ذات جدار ثابت مماثل مع حقنٍ مماسيٍّ بالغاز UF_6. تعتمد هذه العملية على هيلكون، لكن التصريح النظامي لم يختبر حتى الآن على UF_6، إنما استعملت نظائر خفيفة مثل السليكون. ومع ذلك، ثمة استقراء من النتائج يَتوقع الحصول على معامل تخصيب لكلّ وحدة قيمته 1.10 (وللمقارنة يساوي ذلك 1.03 في Helikon) مع ما يقارب 500 كيلو واط ساعي/SWU. تعطي التوقعات تكلفة تخصيب أقل من 100 دولار أمريكي/SWU، مع تقسيمٍ متساوٍ بين مُدخلات رأس المال والتشغيل والطاقة اللازمة.

وصلت عملية كيميائية واحدة إلى مرحلة المحطة التجريبية ولكنها لم تُستعمل. استثمرت عملية شيمكس الفرنسية French Chemex process الفرق الضئيل في الميل النظيري لتغيير التكافؤ في عملية أكسدة/إرجاع، وذلك باستعمال الطورين المائي (التكافؤ III) والعضوي (IV).

الفصل بالبلازما**

تصف عملية الفصل بالبلازما تقنية تستعمل مغانط فائقة الناقلية وفيزياء البلازما. ففي هذه العملية، يستعمل مبدأ التجاوب السيكلوتروني الأيوني ion cyclotron resonance لإحداث تنشيطٍ اصطفائي للنظير U-235 ضمن بلازما تتضمن خليطاً من الأيونات. طوّر الفرنسيون هذه التقنية وأوقفوا برنامجهم في العام 1990، إلاّ أنها لا تزال تستعمل لفصل نظائر مستقرة.

تخصيب اليورانيوم المعاد معالجته

يجري في بعض البلدان إعادة تصنيع الوقود المستنفد لاسترداد اليورانيوم والبلوتونيوم الموجودين فيه، ولتخفيف الحجم النهائي للنفايات العالية المستوى من الإشعاع. يجري في العادة إعادة تدوير البلوتونيوم بشكل فوري إلى وقود من أكسيد مختلط mixed-oxide (MOX)، من خلال خلطه مع الوقود المستنفد.

وحيث تجب إعادة استعمال اليورانيوم المُسترَد من الوقود النووي المُستعمل المعاد تصنيعه (RepU)، فإن ذلك يحتاج لتحويله وإعادة تخصيبه. يتعقد هذا الأمر بوجود الشوائب واثنين من النظائر الجديدة على وجه الخصوص: اليورانيوم-232 واليورانيوم-236، اللذين يتشكلان في المفاعل من الأسر النتروني أو بعده، ويزداد التعقيد مع ارتفاع مستويات الحرق. يكون اليورانيوم-232 إلى حدٍّ بعيد نتاج اضمحلال اليورانيوم-236، ويزيد هذا النظير مع مرور زمن تخزين الوقود المستعمل، وتبلغ الزيادة ذروتها في غضون عشر سنوات. وكلاهما يضمحل بسرعة أكبر بكثير من اضمحلال اليورانيوم-235 واليورانيوم-238، كما تصدر إحدى البنات الناتجة عن اليورانيوم-232 إشعاع غاما قوياً جداً، مما يعني أن التدريع ضروري في أي محطة تحوي مواد أكثر من آثار صغيرة جداً من هذا النظير. إن النظير U-236 ماصٌّ للنترونات وهذا ما يعيق التفاعل المتسلسل، مما يتطلب الحاجة إلى مستوى أعلى من تخصيب U-235 في المنتج للتعويض. فمن أجل مفاعل بورسيل Borssele الهولندي الذي يستعمل عادة وقوداً مُخصّباً بنسبة 4.4%، يكون اليورانيوم المعاد معالجته المُخصّب المُعوَّض (c-ERU) مُخصّباً بنسبة 4.6% للتعويض عن اليورانيوم-236. ولكونهما أخف، يميل كلا النظيرين إلى التركُّز في الخرج المُخصّب (بدلاً من الخرج المستنفد)، وهكذا يكون اليورانيوم المعاد تصنيعه وتخصيبه ليصبح وقوداً يجب أن يفصل من اليورانيوم الطازج المُخصّب. يعني وجود U-236 على وجه الخصوص أن معظم اليورانيوم المعاد تصنيعه يمكن إعادة تدويره مرة واحدة فقط، والاستثناء الرئيسي هو في المملكة المتحدة مع وقود advanced gas-cooled reactor) ((AGR) المصنع من يورانيوم ماغنوكس* Magnox المعاد تدويره.

* ماغنوكس Magnox: هي مفاعلات مضغوطة، مبرّدة بغاز ثنائي أكسيد الكربون، تستعمل اليورانيوم الطبيعي، وهي مفاعلات غرافيت معدّل أُعيد تصنيعه (المترجم).
** إعداد المترجم.

كلّ هذه الاعتبارات تعني أن اليورانيوم المُعاد تصنيعه فقط من يورانيوم ضعيف التخصيب ووقود مستعمل ضعيف الحرق هو المُعاد تدويره عادة بشكل مباشر ضمن محطة تخصيب. وعلى سبيل المثال، جرى استعمال حوالي 16000 طن من اليورانيوم المُعاد تصنيعه من مفاعلات ماغنوكس* في المملكة المتحدة للحصول على نحو 1650 طناً من وقود AGR المُخصّب، وذلك باستعمال محطتي تخصيب. وقد استعملت كميات أقل بكثير في أماكن أخرى، في فرنسا واليابان. ثمة حالات أخرى من إعادة التخصيب، مثل الحصول على وقود لكلٍّ من سويسرا وألمانيا وروسيا، تجري حالياً عن طريق مزج اليورانيوم المُعاد تصنيعه مع اليورانيوم العالي التخصيب.

ومن شأن عملية الليزر نظرياً أن تكون مثالية لتخصيب اليورانيوم المُعاد تصنيعه لأنها تتجاهل كلّ شيء عدا U-235 المطلوب، ولكن هذا يبقى قيد الإثبات بوجود تغذية مُعادة التصنيع.

تظل النفايات الناجمة عن تخصيب اليورانيوم المعاد تصنيعه ملكاً للمُخصّب. جرى تخصيب بعض اليورانيوم المُعاد تدويره من قبل شركة تينيكس Tenex في محطة سيفرسك Seversk لصالح أريفا الفرنسية، وذلك وفق عقد صدر عام 1991 مدته عشر سنوات يغطي حوالي 500 طن من UF_6. نُشرت تقارير في وسائل الإعلام الفرنسية عام 2009 تزعم أن نفايات من محطات الطاقة النووية الفرنسية خزنت في سيفرسك تشير بوضوح إلى هذا الموضوع.

تخصيب مخلفات اليورانيوم المُستَنفد

غالباً ما تركت نشاطات التخصيب المبكرة مخلفات اليورانيوم المستنفد بتركيز يقارب 0.30% من U-235، وكان هناك عشرات آلاف الأطنان من هذه المخلفات متوضعة هنا وهناك بصفتها ملكية لشركات التخصيب. ومن آثار التخصيب العسكري، ولاسيما في روسيا، كان هناك الكثير من القدرات الفائضة غير المستعملة. بناءً على ذلك، ومنذ منتصف تسعينيات القرن الماضي، أرسلت أريفا ويورنكو بعض المخلفات العالية التخصيب إلى روسيا لإعادة تخصيبها من قبل شركة تينيكس. لم تتوقف هذه الترتيبات إلاّ في العام 2010، غير أن روسيا قد تستمر في إعادة تخصيب المخلفات الروسية. تمتلك روسيا الآن كافة مخلفات التخصيب الثانوي، ويقال أنها تحوي حوالي 0.10% فقط من U-235.

بعد التخصيب

يُحوَّل UF_6 المُخصّب إلى UO_2 ويُصنَّع على شكل حبيبات وقود، وفي النهاية على هيئة خزف مُكلّس، معلباً في أنابيب معدنية مشكلاً قضبان وقود، بطول تقليدي يصل إلى أربعة أمتار. يشكل عددٌ من القضبان ما يُسمى تجميعة وقود fuel assembly، جاهزة لتحميلها في المفاعل النووي.

اليورانيوم المستنفد وإزالة التحويل

يُخزّن اليورانيوم المستنفد على المدى البعيد بشكل UF_6 أو على هيئة U_3O_8 بعد إزالة التحويل بحيث يسمح لـ HF بإعادة التدوير وهو المفضّل. وفي وقت مبكر من عام 2007، جرى إزالة تحويل ما يقرب من ربع المخزون العالمي البالغ 1.5 مليون طن من اليورانيوم المستنفد. بلغ ما أُزيل تحويله عالمياً في نهاية العام 2010 حوالي 60000 طن سنوياً.

تتبع المحطة الرئيسية المخصصة لإزالة التحويل إلى شركة أريفا في موقع تريكاستن، في فرنسا، وتقوم بمعالجة 20000 طن سنوياً، علماً أن التقانة بيعت إلى روسيا، وتعمل المحطة الآن بطاقة 10000 طن سنوياً في منطقة زيلينوغورسك Zelenogorsk في سيبيريا. هذا وقد جرى بناء محطتين من قبل خدمات التخلص من اليورانيوم uranium disposition services (UDS) في منطقتي بورتسموث Portsmouth وبادوكا Paducah، في الولايات المتحدة الأمريكية، باستطاعة سنوية مقدارها 13500 و18000 طن على التوالي. يجري حالياً بناء محطة من قبل الشركة الدولية للنظائر International Isotopes (INIS) باستطاعة 6500 طن سنوياً في نيو مكسيكو، في الولايات المتحدة الأمريكية.

تَستعمل هذه المحطات بشكل أساسي عملية جافة، مع عدم وجود نفايات سائلة. إنها مشابهة لتلك المستعملة من أجل الجزء المُخصّب، وإن كان بمعدل 20000 طن سنوياً في محطة واحدة.

* نظراً لعدم تخصيب وقود Magnox في المقام الأول، فهو معروف حالياً بيورانيوم ماغنوكس المستنفد Magnox depleted uranium (MDU). جرت معايرة نحو 0.4% من U-235 وتحويلها إلى UF_6، ثم خُصِّبت إلى 0.7% في محطة انتشار في شركة الوقود النووي البريطانية المحدودة BNFL ومن ثمّ إلى 2.6% وإلى 3.4% في محطة الطرد المركزي في شركة يورينكو. وحتى منتصف تسعينيات القرن الماضي، صُنّع حوالي 60% من مجموع الوقود AGR من وقود ماغنوكس المستنفد، ووصلت الكمية إلى حوالي 1650 طناً من اليورانيوم المنخفض التخصيب. توقفت إعادة تدوير وقود ماغنوكس المستنفد في عام 1996 نتيجة لعوامل اقتصادية.

يجري أولاً تبخير UF_6 في موصدات autoclaves مع تدفق هوائي، ومن ثمّ يتفاعل فلوريد اليورانيل (UO_2F_2) مع الهدروجين عند 700 درجة سلزيوس لنحصل على منتج HF وبيعه للمحوِّلين وبودرة U_3O_8 المعبأة في حاويات سعتها 10 أطنان من أجل التخزين.

$$UF_6 + 2H_2O ===> UO_2F_2 + 4HF$$

$$3UO_2F_2 + 2H_2O + H_2 ===> U_3O_8 + 6HF$$

تستعمل محطة INIS في إيداهو عملية إزالة تحويلٍ مختلفة قليلاً متبوعة بعملية استخلاص الفلور fluorine extraction process (FEP). وقد استُعملت محطة إزالة التحويل لإنتاج معدن اليورانيوم المستنفد DU العسكري حيث جرى شراؤه من قبل INIS. في هذه العملية، يتبخر UF_6 في موصدات ويضاف الهدروجين للحصول على UO_2 مستنفد ومركب UF_4 اللامائي الذي يشكل المنتج الأساسي للبيع. تتضمن عملية FEP كذلك تفاعل بعض من UF_4 مع السليكا للحصول على فلوريد السليكون (SiF_4) باعتباره شريكاً في المنتج التجاري.

ينتقل لقب المُلْكية عادة إلى المُخصِّب كجزء من الصفقة التجارية. تُعدُّ هذه المنتجات في بعض الأحيان على أنها نفايات، رغم أن ذلك فقط لأسباب قانونية أو تنظيمية في الولايات المتحدة الأمريكية، لكن عادة ما تُفهم على أنها موردٌ استراتيجيٌّ طويل الأمد يمكن استعماله في جيل مستقبلي من مفاعلات النترونات السريعة. إن أيّ عملية تخصيب أكثر كفاءة ستجعله أيضاً مورداً قابلاً للاستعمال الفوري لتوفير المزيد من U-235. تكون شركات التخصيب المالكة لكميات كبيرة من اليورانيوم المستنفد متيقنة تماماً بأن مخزونها يشكل مدخرات مهمة.

قضايا بيئية

باستثناء بسيط فيما يخص اليورانيوم المُعاد معالجته، يتضمن التخصيب مواد طبيعية إشعاعية ذات عمر مديد فقط، أي لا يوجد تشكل لمواد انشطارية أو إشعاعات مادية، كما هو الحال في المفاعل. يكون كل من مادة التغذية والمنتج والمادة المستنفدة على شكل UF_6، على الرغم من أن اليورانيوم المستنفد يمكن تخزينه على المدى البعيد بشكل U_3O_8 الأكثر استقراراً.

اليورانيوم ليس سوى مشع ضعيف، وتُعدُّ سميته الكيميائية، وبخاصة المركب UF_6، أكثر أهمية من سميته الإشعاعية. فالتدابير الوقائية اللازمة لمحطة تخصيب هي بالتالي مماثلة لتلك المتخذة في الصناعات الكيميائية الأخرى المعنية بإنتاج المواد الكيميائية المفلورة.

يُشكل سداسي فلوريد اليورانيوم، عند تعرضه للرطوبة، مادة أكّالة جداً (HF، حمض الهدروفلوريك)، لذلك فإن أيّ تسرّب يُعدُّ غير مرغوب فيه. ومن هنا:

- تجب مراقبة الغاز في جميع مناطق محطة الطرد المركزي تقريباً والحفاظ على ضغط الغاز UF_6 أدنى من الضغط الجوي، وبالتالي فإن أيّ تسرّب مُحتمل سيؤدي إلى تدفق الغاز نحو الداخل فقط.
- يجب توفير احتواءٍ مزدوج للمناطق القليلة التي تتطلب ضغوطاً عالية.
- يجب تجميع الغازات المنطلقة ومعالجتها بالشكل المناسب.

مصادر المعطيات المعتمدة

Heriot, I.D. (1988). Uranium Enrichment by Centrifuge, Report EUR 11486, Commission of the European Communities, Brussels.

[تخصيب اليورانيوم باستعمال الطرد المركزي، التقرير الأوربي رقم 11486]

Kehoe, R.B. (2002). The Enriching Troika, a History of Urenco to the Year 2000. Urenco, Marlow UK.

[ثلاثية التخصيب، قصة يورنكو لغاية العام 2000]

Wilson, P.D. (ed., 1996). The Nuclear Fuel Cycle - from ore to wastes. Oxford University Press, Oxford UK.

[دورة الوقود النووي، من الفلز وحتى النفايات]

IAEA 2007, *Management of Reprocessed Uranium - current status and future prospects*, Tecdoc 1529.

[إدارة اليورانيوم المعاد معالجته: الوضع الراهن وآفاق المستقبل]

هايدي ليدفورد، *كامبردج، ماساتشوسيتس.*

نُشر هذا المقال في ***www.world-nuclear.org***، ترجمة **د. عادل حرفوش**، *رئاسة هيئة التحرير.*

رؤية ثَنْوية الموجة والجسيم بالعين المجرّدة

اكتشف الفيزيائيون، من خلال قطرات ترتد عن سطح سائل في حالة اهتزاز، جملة تقليدية تسلك سلوك جسيمات كمومية.

- يمكن جعل قطرة سائل صغيرة ترتد لفترة تطول بقدر ما نريد على سطح حوض في حالة اهتزاز شاقولي.
- تتنقّل الجملة المؤلفة من الموجة (التي تحدثها القطرة) والقطرة التي ترتد عنها، ولهذا تدعى هذه الجملة جوّال walker.
- إن سلوك مثل هذه الجوّالات walkers يولد ظواهر كانت حتى الآن تميز الميكانيك الكمومي.
- إن اكتشاف هذه الجملة الغريبة، يجدد الحديث حول تفسير الميكانيك الكمومي.

الكلمات المفتاحية: موجة، جسيم، ميكانيك كمومي.

Key words: *wave, particle, quantum mechanics.*

هيئة الطاقة الذرية السورية

كانت الأشياء في نهاية القرن التاسع عشر تبدو واضحة للفيزيائيين. فقد كان يتوفر لديهم، لوصف الطبيعة، نوعان متميزان جيداً من الأجسام: الأجسام الكتلية (التي كان من الممكن في أغلب الأحيان اختزالها إلى نقاط مادية) والأمـواج. وقد كان من الممكن بهذه الأدوات المفاهيمية وصف حركات الكواكب وخصائص الغازات وانتشار الصوت... إلخ.

ولكن الضوء ظل موضوع نقاش بسبب انتشاره في الخلاء. وقد حصل الاقتناع بعد تردّد بأن الضوء موجة وليس كياناً جسيمياً. انقلب هذا النظام التقليدي في بداية القرن العشرين وخاصة عندما قدم أينشتاين في عام 1905 بأنه لا يمكن تفسير المفعول الكهرضوئي (طرد إلكترون خارج المعدن المضاء) إلاّ إذا كان الضوء مكوناً من حبيبات طاقة يمكن تمثيلها بجسيمات (الفوتونات حالياً).

وتبعاً للمنطق نفسه، ولكن في الاتجاه المعاكس، تنبأ الفرنسي لوي دوبروي في عام 1923 أنه لابد للجسيمات المادية أن تتميز بمظهر موجي. وسرعان ما أكدت نبوءته تجربة انعراج الإلكترونات. ومنذ ذلك العصر، قبل الفيزيائيون بأن الجمل التي تخضع للفيزياء الكمومية هي أجسام تفردية تبدي في آن معاً خصائص موجية وجسيمية. وهذا ما اتفق على تسميته ثَنْوية الموجة والجسيم. كما صار من المسلَّم به أيضاً أن هاتين الطبيعتين متكاملتان ولا يمكن رصدهما في الوقت نفسه.

كان ينظر للأمواج المذكورة، في النماذج الكمومية الأولى، على أنها أمواج تقليدية في مجال الفيزياء. ولكن مع نهاية العام 1920 بدا أن الأمواج حلول لمعادلة أساسية اكتشفها النمساوي إرفن شرودنغر، وهي تمثل في الحقيقة كثافات احتمالية لوجود الجسيم، وليس لها إلاّ معنى إحصائياً. لهذا السبب، يبدو أن الأمواج الكمومية ليس لها مكافئ تقليدي.

هذا هو الوضع حسب التفسير الحالي للميكانيك الكمومي. فهو يختلف كثيراً عما كان يفكر فيه دوبروي في نموذجه القديم «الموجة الدليل» أو «الحل المضاعف». (انظر المؤطر «نظريات الأمواج الموجّهة في الميكانيك الكمومي»). فقد افترض دوبروي أن كل جسيم يترافق ديناميكياً بموجة حقيقية في الفضاء الفيزيائي، تسهم في توجيهه. تحافظ الموجة الحل، لمعادلة شرودنغر في هذا النموذج على دورها في التمثيل الإحصائي. غير أنه لم تسمح أي تجربة تقليدية أو كمومية حتى الآن بملاحظة توجيه موجة لجسيم بشكل مباشر.

لكننا اكتشفنا مثل هذه الجملة في تجربة تُدْخِل قطرات سائل. سوف نبين في بادئ الأمر كيف أنه يمكن الحصول على جسم يجمع بين الموجة والجسيم، توجه الموجة فيه الجسيم (أو الموجّه). ثم نبين، أن الخصائص الديناميكية لهذا الجسم، كالتي تظهرها التجارب المختلفة، تبدي شكل ثَنْوية موجة وجسيم يمكن مقارنتها بالثَنْوية الكمومية.

الجوال: القطرة وموجتها

ولدت النواة الأولى لهذه التجربة في عام 2004 من مشروع للسنة الثالثة من شهادة الإجازة في جامعة Paris Diderot. وهي مثال ممتاز من حيث الفائدة التي يمكن أن يجنيها المدرِّسون والباحثون في نشاطهم التدريسي. فقد اقترحنا على أحد الطلاب وهو شارلز–هنري غوتييه أن يدرس تجريبياً إمكانية عدم امتزاج Non- coales-cence قطرة سائلة (زيت السليكون) بركيزة من المائع نفسه.

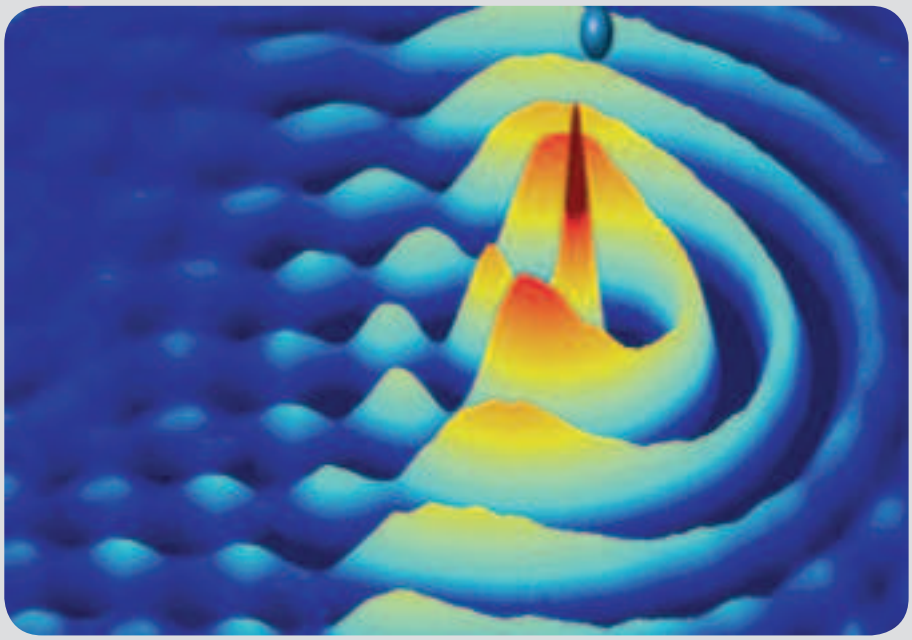
في الشروط العادية، تختفي قطرة السائل الموضوعة على سطح السائل نفسه في بضعة أعشار الثانية. وهو الزمن اللازم لتمزق غشاء الهواء الذي يفصل القطرة عن الحوض. لاحظنا أثناء هذا المشروع أنه يمكن منع هذا الامتزاج coalescence، إذا جعلنا سطح الركيزة يهتز شاقولياً (انظر المؤطر الأول). عندما يكون التسارع الناجم عن الاهتزاز أعلى بقليل من تسارع الثقالة، ترتد bounce القطرة عن السطح؛ تسمح هذه الحركة لغشاء الهواء الذي يفصلها عن الركيزة بالتجدد في كل اهتزازة. يمكن بذلك الإبقاء على القطرة خلال زمن غير محدود في نوع من الاسترفاع المهتز على سطح السائل.

وعندما انتهى العام الدراسي، تابعنا هذه التجربة في مختبراتنا، وكانت تنتظرنا مفاجأة ثانية. فقد وجدنا أن القطرات المرتدة بقطر من مرتبة الملّيمتر، تشرع بالحركة تلقائياً على سطح المائع وتتنقّل عليه بسرعة من مرتبة السنتمتر في الثانية لدى زيادة سعة الاهتزاز الشاقولي وفي حالة موائع أقل لزوجة، وسرعان ما أدركنا أن هذا المفعول يرتبط مباشرة بأمواج السطح التي يحدثها ارتداد القطرة بشكل دوري عن سطح الحوض.

ارتدادات القطرة عن انحدارات الأمواج

لفهم ما يحدث عندما نجعل سائلاً يهتز شاقولياً بسعات كبيرة، يجب تذكر أن استقرار سطحه يختل تلقائياً ليتغطى بأمواج مستقرة تواترها نصف التواتر القسري. إنها اللااستقرارية instability التي يطلق عليها لااستقرارية فاردي Faraday instability، التي وصفها فاردي لأول مرة في عام 1831 (انظر المؤطر الأول).

كانت التسارعات الشاقولية في تجاربنا دائماً دون عتبة اللا استقرارية instability threshold لذا كان سطح المائع مستوياً في غياب القطرة. تَحدُث ظاهرة الترجل عندما تكون سعة الاهتزاز



1. موجة على سطح سائل في حالة اهتزاز وقطرة في طريقها للارتداد عن هذا السطح. في الأداة التي درسها المؤلفان ترتد القطرة على الموجة التي أحدثتها هي نفسها. وتضاريس السطح الممثلة هنا، مكبرة شاقولياً بعامل 20. يبلغ طول الموجة (البعد بين ذروتين) نحو 4.5 mm.

المفروضة قريبة جداً من السعة التي تظهر عندها لاستقرارية فاردي. إن الاضطراب العائد لوجود القطرة المرتدة يكفي في هذه الحالة لإطلاق أمواج فاردي الضعيفة التخامد موضعياً والتي يعتمد زمن تخامدها المميز على التباعد عن العتبة. وبذلك تُحدِث كل صدمة للقطرة مجموعة من الأمواج المتحدة المركز المستقرة حول نقطة التصادم.

تشكل الأمواج التي تحدثها الارتدادات المتتالية، في هذه الشروط، نتوءاً يكبر مع زيادة الإثارة. يصبح هذا الوضع غير مستقر، فوق عتبة معينة، وتنتهي القطرة بالانحراف بشكل طفيف. وتأتي لترتد عن منحدر النتوء الرئيسي (انظر الشكلين 1و2). إن اصطدام القطرة بسطح مائل موضعياً يعطيها دفعة أفقية صغيرة. تتكرر تغذية الحركة فيما بعد عند كل اصطدام. وهكذا تنتهي حركة قطرة معزولة إلى نظام مستقر، تكون دورة كل ارتداد فيه مطابقة لما سبقها. وتصبح القطرة مدفوعة ذاتياً autopropulsée فهي ترتد surfe على موجتها الخاصة بسرعة من مرتبة عُشْر سرعة الأمواج.

الجوال walker (اسم نطلقه على الكيان المتشكل من القطرة وموجتها) هو جسم لا تظهر ديناميكيته إلاّ باجتماع الموجة والجسيم. إذا اندمجت القطرة مع الحوض، تتلاشى الموجة. وبالمقابل تتوقف القطرة إذا اختفت الأمواج أو تخامدت إلى حدٍّ كبير. أي إنه جسم ثَنْوي ذاتياً: لا توجد الأمواج من دون القطرة ولا يمكن من دون الأمواج التي تولدها القطرة أن تتنقل هذه الأخيرة. وحسب معرفتنا، هو الجسم الوحيد الذي يبدي بنية ديناميكية ثَنْوية تتحكم فيه القوانين التقليدية.

قادنا ظهور شكل للثنوية في هذا العالم الجهري (العياني) إلى التفكير بتجارب مماثلة للتجارب المؤسسة للميكانيك الكمومي، الذي تؤدي فيه ثَنْوية الموجة والجسيم دوراً رئيسياً. سنهتم هنا بظاهرتين مميزتين للعالم الكمومي: الشك uncertainty، على نحو ما يظهر في متراجحات أو علاقات الشك لهايزنبرغ (الذي يشترط عدم إمكانية تحديد موضع جسيم واندفاعه في الوقت نفسه) والتكمية.

التداخل والتوزع الإحصائي لانحرافات القطرة

شكلت مشاهدات أشكال الانعراج والتداخل، تاريخياً، برهاناً حاسماً لصالح الطبيعة الموجية للضوء. وتُعدُّ التجارب التي قام بها الإنكليزي توماس يانغ في عام 1802 من أشهرها. حيث تسقط موجة ضوئية مستوية أحادية اللون على شاشة عاتمة فيها شق واحد أو شقان ضيقان (من مرتبة بضعة أطوال موجية). نلاحظ بعد مرور الضوء من شق وحيد أن الضوء ينعرج، أي يُظهر تشتتاً لاتجاه انتشاره. أما في حالة شقين فيكون التشتت دورياً: تلاحظ مناطق مضيئة وعاتمة على التناوب، هي أهداب التداخل. وقد كانت هذه المشاهدات دليلاً حاسماً على الطبيعة الموجية للضوء.

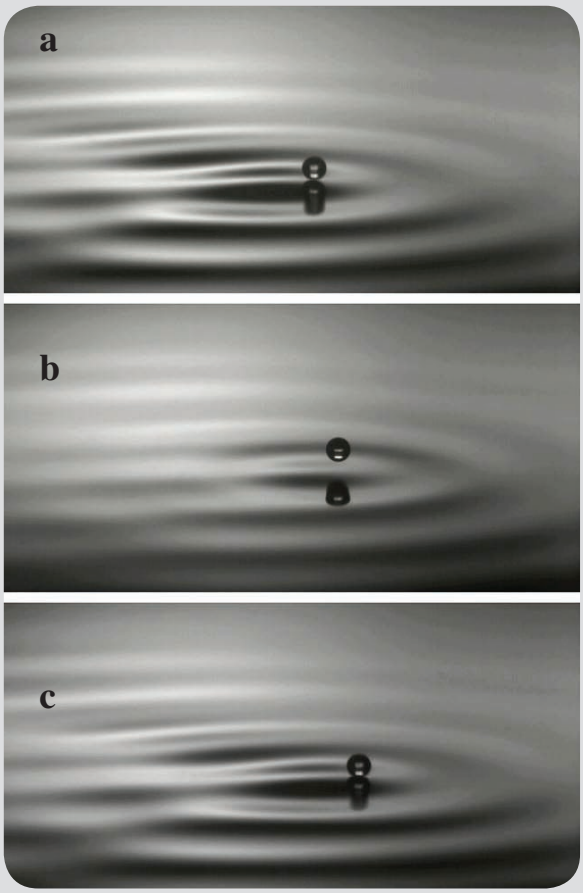
وقد أعيد إجراء مثل هذه التجارب في القرن العشرين، عندما رأت النور الفرضية الفوتونية: فقد كان ثمة تساؤل، في الواقع، عما يمكن أن يحدث في شروط يكون فيها التدفق الضوئي ضعيفاً جداً،

كما لو كان فوتون وحيد فقط موجوداً في الجملة في كل لحظة. إن هذه التجارب التي أجريت في بادئ الأمر على الفوتونات؛ تكررت على جسيمات كالإلكترونات والذرّات وحتى الجزيئات، وجرى التأكد من الحصول على النتائج نفسها.

نعلم حالياً كيف نكشف مثل هذه الجسيمات الواحد تلو الآخر. حيث تظهر على شاشة المشاهدة خلف الشق، نقاط تأثير الجسيمات المتتالية، حيث يبدو أن كلاً منها قد خضع لانحراف عشوائي، في الوقت الذي يبدي فيه تراكم آثارها شكل انعراج. وبالتالي، فإن هذا الشكل يبرز من التوزع الإحصائي لانحراف عدد كبير من الجسيمات الفردية.

في حالة شقين، نلاحظ سلوكاً مماثلاً، تتوزع الآثار على شكل تداخل. يعني هذا الأمر سلوكاً غامضاً للجسيم الواحد الذي يعبر من خلال الشقين في آن معاً. يمكن إجراء قياس نوعي لمعرفة من أي شق يمر جسيم معين. نكشف عندئذ مروره من أحد الشقين. غير أن مثل هذا القياس يتلف شكل التداخل. هكذا، وحسب عملية القياس الذي نختار إجراءه، يمكن تحديد الشق الذي يمر منه الجسيم، وفي أي حالة تختفي التداخلات، أو نهمل ذلك ونراقب شكل التداخل التراكمي، وهي إحدى مفارقات الميكانيك الكمومي الرئيسية. وقد كتب ريتشارد فاينمان في إحدى محاضراته بخصوص تجارب التداخل الضعيفة التدفق: «سنعالج في هذا الفصل فوراً العنصر الأساسي للسلوك الغامض بالشكل الأكثر غرابة. سنختار دراسةَ ظاهرةٍ مستحيلة التفسير، بكل تأكيد، بشكل تقليدي، وهي في قلب الميكانيك الكمومي. وهي تتضمن في الحقيقة السر الوحيد mystery.

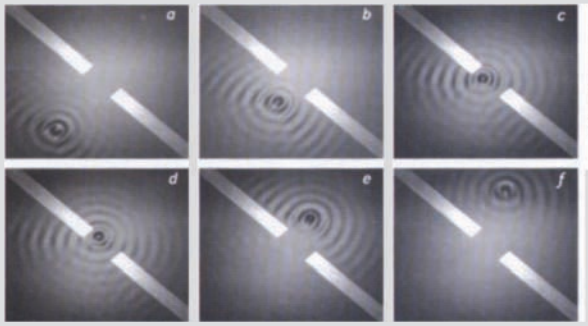
وقد دفعتنا هذه الحالة بقوة لمحاولة إجراء تجربة مماثلة بالاعتماد على الجوّالات. حيث نجعل الجوّالات، الواحدة تلو الأخرى، تعبر جداراً فيه فتحة أو فتحتان تؤدي دور شق أو شقين (انظر الشكلين 1 و3). نلاحظ انحراف مسار جوّال معين يعبر حاجزاً فيه شق. يمكن الاعتقاد بوجود ترابط ذاتي بين زاوية



2. ثلاث صور متتالية لجوّال ترى جانبياً. وقد أخذت الصورتان *a* و*b* في اللحظة التي تمس فيها القطرة السائل عند السطح المائل للنتوء الرئيسي للموجة التي أحدثتها الارتدادات السابقة.

انحراف الجوّال بعد مروره بالشق ووسيط الارتطام (المكان الدقيق لعبوره) في الشق.

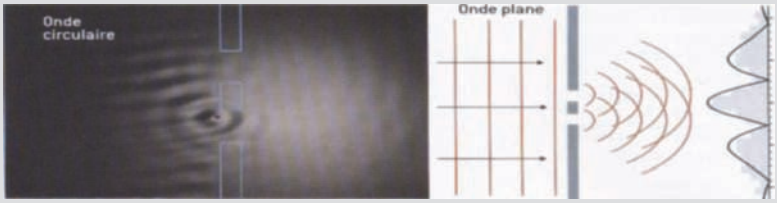
تدل القياسات في الواقع على أن هذا الانحراف عشوائي. إذ يمكن للجوال لدى عبوره الشق أن ينحرف إلى اليسار أو إلى اليمين. عندما نعيد التجربة عدداً كبيراً من المرات نحصل على سلوك إحصائي، يُترجم بمخطط الانحرافات من أجل قيم لوسيط التصادم موزعة بشكل متجانس تقريباً (انظر الشكل 3). حيث



3. يبين هذا التعاقب للكليشات (من *a* إلى *f*) انعراج الجوال في أثناء مروره خلال شق. تتشكل الشاشة من حاجز تحت الماء، يظهر فاتحاً. يبدو أن مسار الجوال عشوائي بعد عبوره الشق، ولكن، بتكرار التجربة ندرك أنه يمكن مقارنة التوزع الإحصائي لزوايا انحراف الجوال ببروفيل السعة الناتج عن انعراج موجة مستوية من خلال شق (*g*).

يتوزع معظم الجوّالات في فص رئيسي عرضه الزاوي λ_F/L تحيط به نهايات ثانوية (λ_F الطول الموجي لأمواج فاردي وL عرض الشق). إن المخطط الحاصل يقابل تماماً شكل انعراج موجة مستوية طولها الموجي λ_F تعبر شقاً عرضه L.

يمكن أيضاً إجراء المكافئ لتجربة شقي يانغ باستخدام حاجز فيه شقان (انظر الشكل 4). إن مخطط الانحرافات الملاحظة يوافق في هذه الحالة شكل تداخل موجة مستوية طولها الموجي λ_F، وتعبر شقين عرض كل منهما L والبعد بينهما d. إن هذه النتيجة تشبه بشكل مدهش النتيجة الكمومية. لنلاحظ مع ذلك هنا، في حالة أي تحقيق تجريبي أن الشق الذي تعبره القطرة معروف وبالتأكيد وحيد. غير أن الموجة التي ترافق القطرة تعبر الشقين. عن طريق هذه الوساطة إذن يكون مسار القطرة التي تعبر الشق حساساً لوجود الشق الآخر.



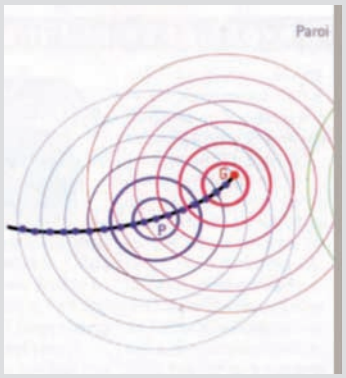
4. إجراء تجربة شقي يانغ التقليدية بجوالات. *يبين الشكل جوالاً يقترب من الشقين. يمكن ملاحظة الانحراف المسبق لمساره بالأمواج المنعكسة عن الحاجز. نرى أيضاً أن أمواج سطح السائل تعبر الشقين. كما هو الحال لدى عبور فتحة واحدة، يلاحظ أن التوزع الإحصائي لانحرافات القطرة (الرمادي على المخطط) هو نفسه لشكل التداخل (المنحني الأسود)، الذي تحدثه موجة واردة مستوية. نلاحظ أن الموجة (المستوية) التي تولد التوزع الإحصائي مختلفة كلياً عن الموجة (الدائرية تقريباً) التي ترافق القطرة في مسارها الخاص.*

للقطرات ذاكرة جيدة

في التجارب السابقة، كانت المسارات الفردية بجوار الشقوق معقدة وتنتج من تفاعل الجوال مع بيئته عن طريق الأمواج.

إن حقل الموجة الموجود على سطح السائل معقد عموماً نظراً لبطء تخامد الأمواج المتولدة في كل تصادم للقطرة مع سطح السائل. يمكن فهم هذا المفعول بدراسة جوّال حر يقع بعيداً عن أي جدار. يتمتع هذا الجوال بمسار مستقيم، ويظهر مجال حقله بنية تداخل معقدة، تنتج عن انضمام كل أمواج فاردي التي تولدت أثناء ارتدادات القطرة المتتالية (انظر الشكل 5). وقد سمحت عمليات المحاكاة العددية بتكرار هذا المفعول بدقة.

والنقطة الأساسية هي أن حقل الموجة هذا يعتمد على مسار القطرة السابق. إن هذه الخاصية التي نطلق عليها "ذاكرة المسار" هي سبب نوعية specificity ديناميك الدليل. أضف إلى ذلك، أنه يمكن تغيير العمق الزمني لهذه الذاكرة تجريبياً. يعتمد هذا، في الحقيقة، على التباعد عن عتبة لاستقرارية فاردي. وهكذا نحصل بزيادة اهتزاز حوض السائل على حقول للموجة أكثر تعقيداً، ناجمة عن ازدياد عدد الأمواج التي ولّدتها الصدمات الماضية للقطرة.



5. إن ذاكرة المسار مسؤولة عن تعقيد مجال الموجة. *ففي لحظة معينة، حيث توجد القطرة في G، ينجم تشوه سطح السائل عن انضمام الأمواج الدائرية المستقرة المتولدة في كافة النقاط التي زارتها القطرة مؤخراً (النقاط الزرقاء). لم نمثل هنا إلاّ الموجة المتولدة في أثناء الصدمة الأكثر حداثة (بالأحمر) وإحدى الأمواج السابقة (تلك التي تولدت في P بالأزرق). يزداد كل من العمق وعدد المنابع القديمة التي تسهم في توجيه القطرة لدى الاقتراب من عتبة لاستقرارية فرادي ويقل تخامد الأمواج. أخيراً تضاف أمواج منعكسة بالقرب من جدار.*

يظل مسار القطرة مستقيماً، طالما أن الجوّال متحرر من أي قيد. وتتعقد الحالة بوجود الحواجز. حيث ترتدّ الأمواج في هذه الحالة نحو الجوال وتؤثر على حركته. يتفاعل الجوال مع الحواجز على نحو يشبه تقريباً ما تقوم به الخفافيش أو الدلافين التي تحلل الأصداء فوق الصوتية، بالتفاعل عن بعد. ينتج الانحناء الموضعي الذي ترتد عنه القطرة، في جوار عائق معين من انضمام موجتين في نقطة الارتطام وهما الموجة الناجمة عن الارتطام السابق مباشرة والموجة الصادرة في وقت سابق والمنعكسة عن الحواجز. تتحدد الدفعة impulsion التي تستقبلها القطرة في كل ارتداد بانضمام مجمل هذه الأمواج، وهو انضمام يدمج بشكل موجي معلومات حول بيئة القطرة.

أضف إلى ذلك أن هذا الدمج هو تكراري. عند كل ارتداد للقطرة، يتعدل مسارها بالانضمام عند مستوى نقطة الارتطام، إلى مجمل الأمواج المنعكسة والمباشرة الصادرة سابقاً. من شأن الانحراف العنصري الناتج أن يعدّل موقع الارتطام التالي، مما يسهم

مقابل ذلك بتعديل حقل الموجة. بتعبير آخر، يتم توجيه ديناميكية الجوال بالتوزع المكاني للمنابع المصْدِرة في الماضي.

يمكن النظر لذاكرة المسار على أنها شكل أصيل للاتموضع الزمكاني. ينقلب هذا اللاتموضع إلى شك في كل الحالات التي يفترض فيها احتباس للجوال. إذ إن الديناميك الذي يعتمد على ذاكرة المسار يؤدي، في الواقع، في هذه الحالة إلى مسارات شواشية. وهذا ما نلاحظه خاصة في تجارب الانعراج. يولد المرور من خلال شق، مسارات فردية ومعقدة وغير متوقعة تحدِث التوزعات الإحصائية الملاحظة.

قادتنا النتائج السابقة إلى أن نتساءل أيضاً عن البنية التي يمكن أن تكون لحقل الموجة عندما تكون حركة الجوال دائرية، وما هو تأثيرها بالمقابل على مسار القطرة. لكي تتبع كتلة معينة تجريبياً حركة دائرية، يجب تطبيق قوة عمودية على سرعتها. يمكن التفكير بنوعين من القوى. إحداهما قوة لورنتز، وهي القوة المغنطيسية المطبقة على شحنة متحركة، والأخرى قوة كوريوليس Coriolis التي تطبق على جسم متحرك في جملة في حالة دوران.

الحركات الدائرية المكماة

قمنا بالتعاون مع أنتوان إيدي وجوليان مختار في عام 2010 بدراسة الحالة الثانية، بتدوير الخلية التجريبية. تشير قوانين الفيزياء التقليدية إلى أن القطيرة التي تتحرك بسرعة V، لابد أن تكون حركتها في المَعْلَم الدائر، دائرية نصف قطرها $R = V/2\Omega$، حيث Ω سرعة الدوران الزاويّة. وهذا ما نلاحظه في حالة جوّالٍ ذاكرةُ مساره ضعيفة. يتم الحصول على ذاكرة ضعيفة عندما يكون الاهتزاز القسري للجملة بعيداً عن عتبة لااستقرارية فاردي Faraday instability threshold. بالاقتراب من العتبة، يزداد زمن بقاء الأمواج، وتزداد ذاكرة الجوال ويصبح حقل الموجة أكثر تعقيداً وأكثر امتداداً. ندرك في هذه الشروط أن أنصاف أقطار المدارات لم تعد تتطور بشكل مستمر: عندما نزيد سرعة الدوران، يتناقص نصف القطر على قفزات بين بعض القيم المتتالية (انظر الشكل 6). يمكن إلحاق هذه القيم المتقطعة بعدد صحيح $(n = 0,1,2,...)$ حيث يقابل النمط $n = 0$ المدار الأكثر تراصاً (الحاصل في حالة سرعات دوران مرتفعة).

وبذلك تُكَمّى المدارات الممكنة للقطرة تلقائياً. يمكن البرهان على أن هذه التكمية تنتج مباشرة عن ذاكرة المسار. يتم إحداث حقل

التجربة ولااستقرارية فاردي

في التجارب الواردة في هذه المقالة، توضع خلية تحوي حوضاً صغيراً من زيت السليكون الذي تبلغ لزوجته 20 ضعفاً من لزوجة الماء على مولد للاهتزاز (يعمل مكبراً للصوت). يخضع السائل لتسارع شاقولي يقع بين صفر و 6 g (حيث g تسارع الثقالة) ولتواتر 80 Hz. نلاحظ أن السطح كله، عندما يتجاوز تسارعه 4.2 g، يتغطى بشبكة من الأمواج المستقرة. تمثل هذه الأمواج لااستقرارية فاردي، حيث تنجم الأمواج الملاحظة عن قسر وسيطي لأمواج السطح. يعني هذا الأمر أن التكييف المثير يخص أحد وسطاء الجملة، وهو هنا الثقالة الفعالة.

من خصائص القسر الوسيطي (التي يستخدمها الأطفال لزيادة سعة اهتزاز الأراجيح) أن يكون دور الحركة المثارة ضعف الدور القسري. تحدث على سطح السائل موجة سطح طولها الموجي λ_F تقبل هذا الدور.

تم تحقيق جميع التجارب بسعات قسرية أخفض من عتبة إطلاق لااستقرارية فاردي. حيث يتم توضيع قطرات مكوّنة من السائل نفسه وأقطارها من مرتبة 0.7 mm فوق السطح المهتز. وفي حالة سعات قسرية أعلى من g ترتد القطرة دورياً عن سطح السائل من دون أن تندمج فيه أبداً. وعندما تقترب السعة القسرية من 4.2 g، ندرك ظاهرتين. تصبح سعة الارتدادات بحيث لا تمس القطرة السطح إلاّ خلال دور من اثنين. وبالتالي فإن دورها من الآن فصاعداً هو دور أمواج فاردي نفسه. وهكذا تصبح القطرة عامل إثارة موضعية فعّالاً، يحدِث أمواجاً دائرية مستقرة حول نقطة الاصطدام. ترتد القطرة في هذه الحالة عن نتوء تزداد أهميته شيئاً فشيئاً.

تثير هذه الحالة غير المستقرة حركة القطرة، فيصبح الارتداد لا تناظرياً، وتدفع القطرة نفسها. إن زمن تدني الأمواج المثارة بالصدمات السابقة هو وسيط يتحكم فيه البعد في حالة عتبة لا استقرارية فاردي: في الحالة النموذجية، عندما يطبق تسارع قدره 3.8 g، ينجم حقل الموجة من انضمام الارتدادات العشرة الأخيرة، في حين أنه من أجل 4.16 g يدمج الحقل ذاكرة الصدمات الـ 100 الأخيرة.

الموجة في هذه الحالة بمجموعة من المنابع المتوزعة على دائرة. وتبعاً لقطر هذه الأخيرة، تظهر قوة إضافية شعاعية radiale. إن هذه القوة، التي يحرضها حقل الموجة تضيف إسهاماً طارداً مركزياً أو جاذباً مركزياً إلى قوة كوريوليس لإحداث المستويات المتقطعة الملاحظة.

هل يوجد علاقة بين تكمية مدارات القطرة والميكانيك الكمومي؟

ثمة تشابه واضح بين قوة لورنتز وقوة كوريوليس. يؤدي كل من القوتين إلى حركات مدارية، تؤدي سرعة دوران العتبة في الحالة الثانية دوراً مماثلاً للقوة المغنطيسية. نعرف فضلاً عن ذلك، في الميكانيك الكمومي، أن الشرط الذي يطلق عليه «بور–سومرفلد» الذي يكون طول المدار بموجبه مضاعفاً لطول الموجة، يفرض أن تكون مدارات إلكترون يخضع لحقل مغنطيسي، والتي تسمى مدارات لانداو، مكماة. يمكن أن نتساءل فيما إذا كان هناك رابطة بين تكمية لانداو والتكمية الملاحظة في حالة القطرات.

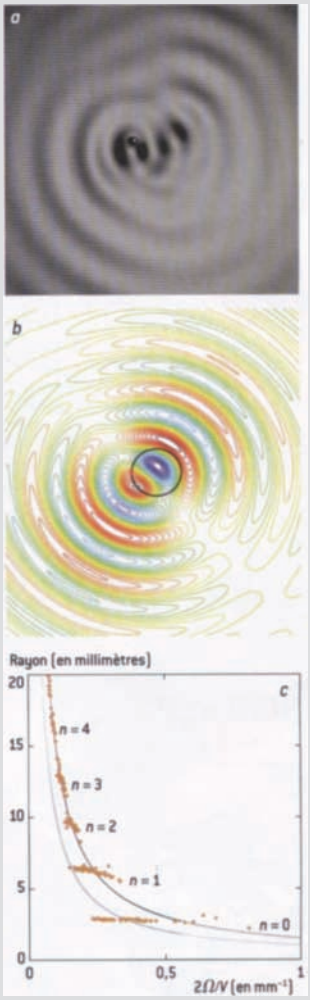
يمكن أن يبدو السؤال غبياً نظراً لأن التكمية في الميكانيك الكمومي، ترتبط بثابت بلانك h الذي لا يؤدي أي دور هنا. لكن هذا الثابت لا يتدخل إلاّ في تحديد طول موجة دوبروي λ_{dB}. لهذا السبب يمكن التعبير عن أقطار مدارات لانداو مباشرة بدلالة λ_{dB}. وبالطريقة نفسها تعدّ أقطار مدارات الجوالات تابعاً لطول موجة فاردي λ_F. وبالتعرف على هذين الطولين الموجيين λ_{dB} و λ_F، يظهر تشابه بين التكمية في الميكانيك الكمومي والتكمية التي نلاحظها في حالة القطيرات.

من الممتع جمالياً القيام بهذه التجارب. غير أن أهميتها ترتبط بوضوح علاقتها المحتملة بالميكانيك الكمومي. من وجهة النظر هذه، يكمن عيبها في بعدها الكبير عن هذا الأخير. حيث لا يتدخل ثابت بلانك في هذه الجملة، المتبددة بشدة (تبدد الطاقة) والمغذاة، في حين أن الحالة الكمومية غير متبددة. أضف إلى ذلك أن موجة السطح تنتشر في وسط مادي، هو أثير غائب في الميكانيك الكمومي.

ولكن أهمية تجربتنا تأتي أيضاً بشكل رئيسي من هذا البعد عن الحالة الكمومية. على السلم المجهري، يفرض شرط بلانك نفسه في كل الظواهر، ولهذا السبب يستحيل إجراء قياس لا يؤدي إلى اضطراب الجسم المراد قياسه بشكل جذري. يمكن إجراء هذه القياسات الدخيلة في جملتنا والحصول على نتائج يمكن مقارنتها. وهكذا، فإن انعراج جوال هي تجربة دخيلة ترمي إلى تحديد موقع الجوال كيفما اتفق في الاتجاه العمودي على حركته. ولإجراء هذا القياس نحن مجبرون على الحدّ من الامتداد العرضاني للموجة. وقد قادنا هذا الأمر، بعد القياس، كما بينا، إلى عدم تعيين في اتجاه السرعة. يتعلق الأمر في هذه الحالة بمكافئ تقليدي لمبدأ الشك لهايزنبرغ، بعد إجراء التغيرات الضرورية.

نظراً لكون جملتنا، عيانية، فإن تفاعلها مع الضوء مهمل وبالتالي يمكن مراقبتها بشكل غير دخيل. حيث يمكن خاصة رؤية ما يحدث في أثناء تجارب الانعراج أو التداخل. ففي كل تحقيق للتجربة، يلاحظ أن القطرة تتبع، في جوار الشقوق، مساراً معقداً. والجوال الذي يوجهها هو أيضاً معقد ويحمل معلومات عن المسار السابق بقدر المعلومات عن البيئة المكانية التي تشكلها الحواجز. تعود الحالة وتتبسط إحصائياً: يكشف تكرار التجربة أن احتمال الانحراف في اتجاه معين يعطى بانعراج أو تداخل موجة مستوية عبرت الشقين. غير أن هذه الموجة غير مرئية على الإطلاق في تجربة معينة (الشكل 4).

توحي نتائجنا التجريبية بأن نموذجاً مضاعف الحل من النوع الذي اقترحه دوبروي في بادئ الأمر (انظر المؤطر الثاني) يمكن أن يشكل الوجه الخفي للسلوكيات الإحصائية الكمومية. في تجربتنا، يوجَّه كل جوال بموجة موجِّهة. تؤدي التوزعات الإحصائية الحاصلة بالقياسات الدخيلة إلى إبراز كثافات وجود تتميز بطبيعة موجية. غير إن موجة الكثافة هذه، والتي هي المماثل لموجة حل معادلة شرودنغر، لا ترى مباشرة على الإطلاق، على سلم تجربة جوال أحادي.



6. *عندما ندوّر الخلية التي تحوي السائل* *(بسرعة زاوية يمكن التحكم فيها)، يخضع الجوّال لقوة Cariolis في المَعْلَم الدائر. إن هذه القوة العمودية على سرعة الجوال V تجعله يرسم حركة دائرية (الصورة في a، المحاكاة الحاسوبية في b). عندما نزيد ذاكرة المسار، تصبح المدارات التي يتغير نصف قطرها باستمرار مع الدوران (c، المنحني الأسود) منفصلة (النقاط الحمر). ينشأ هذا الأمر من قوة التكمية الناجمة عن انضمام الأمواج الصادرة على طول كامل المسار الدائري.*

نظريات الأمواج الموجّهة في الميكانيك الكمومي

تحقق تجارب الجوالات على السلم العياني توجيه جسيم بموجة. إن هذه الحالة قريبة من تلك التي تخيلتها النماذج التي تدعى الموجة الموجّهة للميكانيك الكمومي. يجب إذن تذكر، باختصار، تاريخ هذه النماذج التي تدعى نماذج دوبروي-بوم. مع أن دراسة هذه النماذج باستمرار، يعدّها مختصو الميكانيك الكمومي غير ضرورية. إن التطور التاريخي لهذه النماذج معقد، غير أن دراسته تدل على أنه يجدر التمييز بين النماذج التي اقترحها كل من لوي دوبروي والأمريكي ديفد بوم على الترتيب.

فنموذج بوم الذي اقترحه في عام 1952 هو أكثر النماذج شيوعاً حالياً، يؤدي فيه حل معادلة شرودنغر دور الموجة. يمكننا بتحويل رياضي فصل هذه المعادلة إلى جزأين: معادلة تبسط استمرارية الكثافات الاحتمالية، ومعادلة للحركة تحدد المسارات في الفضاء الفيزيائي. غير أننا لن نحصل إلاّ على مظهر آخر لأمواج الاحتمال نظراً لكون معادلة شرودنغر هي نقطة انطلاق هذه الطريقة. تجمع هذه الطريقة بين مسارات الجسيمات الوهمية وتدفق الكثافات الاحتمالية. وهكذا تخضع هذه الجسيمات لكمون جديد يدعى الكمون الكمومي الذي ينشأ عن تابع موجة حل معادلة شرودنغر.

يختلف نموذج بوم جذرياً عن النموذج الذي كان يتطلع إليه دوبروي الذي كان يأمل أن يصف حركة الجسيمات الفردية في الفضاء الفيزيائي والتمكن في آن معاً من استنتاج الخصائص الإحصائية من هذه الحركة.

اقترح دوبروي في بحوث عام 1927، والتي أعادها في عام 1953، نموذجاً مضاعف الحل يتضمن حقلين موجيين. يصف الأول حركة الجسم الفردي في الفضاء الفيزيائي؛ وهو يتألف من حزمة من الأمواج، تتضمن في مركزها منطقة فريدة تتميز بسعة كبيرة جداً تكافئ جسيماً نقطياً. يتم توجيه هذا التفرد بحزمة أمواجه التي تشكل موجة موجِّهة. وهذا ما يمنح ديناميك التفرد خصائص موجية تحرض لاتوضعاً مكانياً. وبذلك يمكن للتفردات (الجسيمات) في هذا النمودج أن تنحرف مثلاً وتعطي (إحصائياً) شكل انعراج أو تداخل. أما الموجة الثانية التي اعتبرها دوبروي فهي تابع الموجة الذي وصفته معادلة شرودنغر. تترجم هذه الموجة، التي ليست فيزيائية بالمعنى التقليدي، السلوك الإحصائي للجسيمات وفقاً للتفسير المعتاد للميكانيك الكمومي. فهي تترافق بسلوك وسطي وتسمح بالتنبؤ عن الخصائص الإحصائية الملاحظة.

مع ذلك ظلت أفكار دوبروي هذه، كأفكار بوم، هامشية، حيث يبدو أن الطريقة العادية تكفي لتفسير البيانات التجريبية.

جدل قديم لم ينته بعد

توحي المشاهدات بمنشأ الخصائص الإحصائية للجوالات. حيث يسعى الديناميك العائد إلى وجود ذاكرة المسار إلى أن يصبح شواشياً في كل بيئة محصورة، نظراً لأن ذلك يحرض تحللاً proliferation للمنابع الثانوية. يرتبط حقل الموجة الناتج بالهندسة الموضعية، حيث يسعى إلى إثارة أنماط اهتزازها الخاصة. تتماشى النتائج الأولية التي تخص الكثافات الاحتمالية لوجود جوالات في التجاويف، بالإضافة إلى ذلك، مع هذا التوجه. وبذلك يمكن للموجة الموجَّهة أن تكون سبب الحقل الوسطي الذي يعكس هندسة البيئة والمشترك في كل الحالات.

إن النظرية العيارية للميكانيك الكمومي التي ابتكرتها مدرسة كوبنهاغ توفر قانوناً يسمح بالتنبؤ عن نتائج القياس بدقة في تشكيلة كبيرة جداً من الحالات. تؤدي فيها ثَنْوية الموجة والجسيم دوراً رئيسياً.

إن هذه الاحتمالية للميكانيك الكمومي تحتفظ، على الرغم من فعاليتها، بطبيعة فردية. فهي تفرض، خلافاً لكل الظواهر الفيزيائية الإحصائية الأخرى، وبشكل مدهش بأنه لا يمكن لأي آلية خفية حتى لو كانت معقدة أن تتدخل على مستوى الجسيم الفردي وأن تكون مسؤولة عن السلوكيات الاحتمالية. إن هذه العقبة بالتحديد هي التي جعلت دوبروي أو آينشتاين يعتقد بأن النظرية الكمومية كانت غير مكتملة أساسياً.

غير أنه يبدو أن أي تقريب للميكانيك الكمومي لم يأخذ مفعول الذاكرة في الحسبان. يحرض هذا المفعول، كما رأينا، في حالة جوالاتنا لاتموضعاً زمكانياً يسبب مبدأ الشك والتكمية. لذلك نعتقد بأن النقاش القديم حول الطبيعة غير الكاملة للميكانيك الكمومي في تفسيره الحالي لم يغلق.

إيمانويل فورت، إيف كورد.

نُشر هذا المقال في مجلة ***Pour La Science, n° 409, Novembre 2011***، ترجمة **د. سهام طرابيشي**.

مزايا استعمال التشعيع لأغراض الصحة النباتية وماخذه

الكلمات المفتاحية: التشعيع، المعالجات، الطرائق الخلاقة في مكافحة الآفات، منظمة الأغذية والزراعة العالمية، هيئة مستشارين فنية، الحجر، الصحة النباتية، الاتفاقية الدولية لحماية النبات، المعايير الدولية.

Key words: Irradiation, treatments, ICPM, FAO, technical panel, quarantine, phytosanitary, IPPC, international standards.

مقدمة

يسمح لعدد كبير من المنشآت المنتشرة في كل أنحاء العالم باستعمال الأشعة المؤينة لمعالجة المواد الغذائية. فقد وجد، على سبيل المثال، عند كتابة هذه المقالة، 32 منشأة مرخصة لتشعيع الغذاء لأسواق الاتحاد الأوربي. ولكن عمليات التشعيع في الاتحاد الأوربي تستعمل للقضاء على الأحياء الدقيقة في البهارات إضافة إلى تعقيم المستحضرات الصيدلانية والتجميلية والتجهيزات الطبية؛ غير أنها لا تستعمل، في الوقت الحاضر، لمكافحة الآفات على الخضار وثمار الفاكهة. مع ذلك، فمن الممكن، ضمن الإطار التنظيمي للاتحاد الأوربي، تشعيع المواد الغذائية المصدرة لدول الاتحاد بهدف منع انتشار الآفات الغريبة (الحجرية) الغازية.

هيئة الطاقة الذرية السورية
مكتب نظم المعلومات
http://www.saec.sy

لقد قبلت مجموعة من القواعد والإجراءات العامة للسيطرة على موضوع تشعيع الأغذية في كل دول الاتحاد الأوربي وهذه القواعد موجودة في دليل الاتحاد رقم EC/2/1999، وتتضمن هذه القواعد السماح باستعمال التشعيع لتخليص المواد الغذائية من الكائنات الحية الضارة للنباتات أو المنتجات النباتية. ولكن بعض دول الاتحاد لا تسمح إلا بتشعيع النباتات العطرية المجففة والبهارات والتوابل، في حين تسمح دول أخرى في الاتحاد بتسويق أنواع كثيرة أخرى من المواد الغذائية المشعة. فمثلاً، سمحت القواعد الناظمة لتشعيع الأغذية في المملكة المتحدة، في عام 2009، بتشعيع تسع مجموعات واسعة من المواد الغذائية ومن ضمنها ثمار الفاكهة (لجرعة لا تزيد وسطياً عن 2 كيلو غراي) والخضار (بجرعة لا تزيد وسطياً عن كيلو غراي واحد).

تستعمل أعداد متزايدة من الدول، في أماكن أخرى من العالم، التشعيع بوصفه معاملة صحة نباتية لمعالجة المنتجات النباتية الطازجة المعدة للتصدير، في حين تتحرى دول أخرى عن إمكانية استعمال التشعيع لهذه الأغراض. ومع تزايد حجم السلع المستعملة في التبادل التجاري بين دول العالم، تبدو الحاجة ملحة لإيجاد معاملة فعالة تقضي على الآفات الموجودة في السلع المتبادلة لمنع انتشار الآفات الغريبة (الحجرية) الغازية. وقد أدى الحظر على جميع استعمالات غاز بروميد الميثيل (ضمناً لأغرض الصحة النباتية واستعمالات ما قبل التصدير)، في دول الاتحاد الأوربي؛ إلى تزايد الحاجة لبديل فعال. تناقش هذه المقالة مزايا استعمال الأشعة المؤينة ومآخذه من وجهة نظر الصحة النباتية.

القوانين الناظمة في بريطانيا والاتحاد الأوربي

يجب أن تخضع جميع الأغذية والمكونات الغذائية المشعة في الاتحاد الأوربي لشروط الدليلين EC2/1999 وEC/3/1999 ووفقاً لهذين الدليلين، يمكن تشعيع الغذاء لأربعة أهداف فقط هي: تخفيض احتمال انتقال الأمراض عن طريق الغذاء، وتخفيض تلف المواد الغذائية، وتقليل الفقد في تلك المواد الناتج عن النضج المبكر، أو الإنبات أو البرعمة، وتخليص المواد الغذائية من الكائنات الحية الضارة للنباتات أو المنتجات النباتية. إضافة إلى ذلك، يشترط دليل الاتحاد الأوربي رقم EC/2/1999 أيضاً أن يقتصر السماح بتشعيع الأغذية على الحالات التي توجد فيها حاجة تقنية معقولة لذلك، وألاّ يؤدي ذلك إلى خطر صحي وأن يقدم فائدة للمستهلك، وألاّ يستعمل بوصفه بديلاً من الإجراءات الصحية أو الإجراءات الزراعية أو التصنيعية الجيدة. وضعت التشريعات المطبقة في بريطانيا في صك القانون، وتتضمن هذه التشريعات المنشآت المرخص لها بتشعيع الأغذية في دول الاتحاد الأوربي وخارجه وقد وضع الاتحاد الأوربي قائمة عملية أولية للمواد الغذائية المشعة التي يسمح الاتجار بها بحرية بين دول الاتحاد، ولكن القائمة الكاملة لم يتفق عليها بعد والمتفق عليه في الوقت الحاضر هو مجموعة واحدة فقط من الأغذية هي «النباتات العطرية المجففة والبهارات والتوابل». مع ذلك، يمكن للمسؤولين في كل دولة السماح بتشعيع مواد غذائية أخرى ريثما يتم الاتفاق على القائمة النهائية للمواد الغذائية المسموح بتشعيعها. فمثلاً، يسمح في المملكة المتحدة بتشعيع ثمار الفاكهة والخضار والحبوب والأبصال والدرنات والسمك والمحار والدجاج، إضافة إلى النباتات العطرية المجففة والبهارات والتوابل، وذلك حتى توضع القائمة الواسعة للمواد الغذائية المسموح بتشعيعها في الاتحاد الأوربي. ويمكن تشعيع الغذاء فقط في منشآت التشعيع المرخص لها بذلك ويجب أن يوضع عليها عبارة «مشعع» أو «معامل بالأشعة المؤينة».

يوجد، من أصل 32 منشأة مرخص لها بتشعيع الأغذية لأسواق الاتحاد الأوربي، 22 منشأة تشعيع موجودة في دول الاتحاد نفسها، وعشر منشآت خارج دول الاتحاد (في ما يسمى دول «العالم الثالث»). رخصت المنشآت الموجودة في دول الاتحاد الأوربي لتشعيع الأغذية من قبل السلطات الوطنية، وبعض هذه المنشآت مرخص لها بتشعيع النباتات العطرية المجففة والبهارات والتوابل فقط. ولكن في بلدان أخرى (بلجيكا، جمهورية التشيك، فرنسا، إيطاليا، هولندا، بولونيا، وبريطانيا) يمكن السماح لهذه المنشآت بتشعيع مجال أوسع من المواد الغذائية.

أما فيما يتعلق بمنشآت التشعيع العشر الموجودة خارج دول الاتحاد الأوربي (ثلاث منشآت منها في جنوب إفريقيا، وثلاث في الهند، واثنتين في تايلاند، وواحدة في سويسرا وواحدة في تركيا)، فقد رخصت من قبل الاتحاد الأوربي لتشعيع الأغذية للتصدير والبيع في دول الاتحاد، والتراخيص الممنوحة من قبل الاتحاد الأوربي هذه واسعة (عامة) وتعني المواد الغذائية عموماً: أي المواد الغذائية ومكونات هذه المواد (المواد الغذائية وفقاً للتعريف الوارد في دليل الاتحاد (.1999/2/EC ويمكن للمنشآت العشر الموجودة في دول العالم الثالث، إذا سمحت القوانين المحلية (لكل دولة) في دول الاتحاد الأوربي المستوردة، أن تشعع أنواعاً عديدة من المواد الغذائية للتصدير. فمثلاً، يمكن تشعيع

أزهار الزنجبيل الأحمر بعد 18 يوماً من التشعيع (على اليسار، 335 –422 غراي) مقابل أزهار غير مشعة (على اليمين) تبين بأن الجرعات المستعملة لأغراض الصحة النباتية يمكن أن تطيل العمر التخزيني للسلع الطازجة.

الخضار وثمار الفاكهة في هذه المنشآت بغرض التصدير إلى المملكة المتحدة طالما أن هذه المنشآت مرخصة لتشعيع هذه المواد من قبل السلطات في بلد المنشأ.

ومن الممكن، في الإطار التنظيمي الراهن، تشعيع المواد الغذائية المصدرة إلى دول الاتحاد الأوربي، لمنع انتشار الآفات الغريبة (الحجرية) الغازية. وعلى ذلك، تحتاج سلطات التحري في بلدان الاتحاد الأوربي لأن تكون قادرة على التعامل مع هذه المستوردات من حيث إجراءات الفحص والتأكد من المعاملات وما شابه.

صادقت منظمة حماية النباتات الأوربية المتوسطية (EPPO)، في عام 1993، على استعمال جرع معينة من الأشعة المؤينة، ضد أنواع عدة من مفصليات الأرجل، على المواد غير الغذائية (أزهـار الزينة مثلاً)، ولكن هذه المعاملات لم تستعمل على الإطلاق والواقع أنها سحبت في عام 2011. وفي عام 2009 وضعت المنظمة نفسها (EPPO) قاعدتين جديدتين لاستعمال الأشعة المؤينة بغرض وقف إصابة المواد غير الغذائية، تحديداً بذور الحبوب و الأخشاب. وفي العام نفسه وضعت قاعدة لتشعيع المواد المخزونة تتضمن مواد غذائية.

قضايا الأمان

توصلت منظمة الأغذية والزراعة، والوكالة الدولية للطاقة الذرية، ومنظمة الصحة العالمية (FAO/IAEA/WHO)، في عام 1981، اعتماداً على مجال واسع من الدراسات العلمية، إلى نتيجة مفادها أن تشعيع أي مادة غذائية بجرعة إشعاعية لا تزيد عن 10 كيلو غراي، يُعدُّ آمناً وصحياً. ذلك على اعتبار أن البيانات التي كانت متوفرة في ذلك الوقت تركزت على استعمال جُرع إشعاعية لا تزيد عن 10 كيلو غراي. ونتيجة لذلك، فقد اعتمد دستور تشعيع الأغذية المنسوخ، لعام 1983 والدستور المعياري العالمي لتشغيل منشآت التشعيع المستعملة لتشعيع الأغذية، للعام نفسه 1983، جرعة 10 كيلو غراي على أنها معدل الجرعة العليا المسموح بها في تشعيع الأغذية.

أجـرت منظمة الصحة العالمية لاحقاً مراجعة للأغذية المشعة من حيث الأمان والقيمة الغذائية اعتماداً على تقييم لكل الدراسات ذات العلاقة التي جرت منذ عام 1980، وقد أشارت نتائج هذه المراجعة التي نشرت في عام 1994 إلى أن تكنولوجيا تشعيع الأغذية قد اختبرت بشكل كاف دون أن يكتشف وجود أي مظهر ضار بالصحة لهذه التقنية، وأنه، طالما طبقت إجراءات التصنيع بشكل جيد فإن تشعيع الأغذية يُعدّ إجراءً تقنياً آمناً وفعالاً، وأن احتمال وجود أخطار ناتجة عن عدم الالتزام بإجراءات التصنيع الجيدة لا يختلف عن تلك الخاصة بالطرائق الأخرى المستعملة في تصنيع الأغذية مثل التعليب والبسترة والتجميد.

التأمت، فيما بعد، في عام 1997، مجموعة دراسة مشتركة من منظمة الأغذية والزراعة العالمية والوكالة الدولية للطاقة الذرية ومنظمة الصحة العالمية، لمراجعة كل البيانات المتعلقة بالمظاهر السمية والميكروبيولوجية والغذائية والكيمائية الإشعاعية والفيزيائية للأغذية المعرضة لجرعة إشعاعية تزيد عن 10 كيلو غراي. وقد أخذت هذه المجموعة المشتركة بعين الاعتبار صحة الغذاء المشعع بجرع عالية، وكفايته الغذائية، ووصلت إلى نتيجة مفادها أن الغذاء المشعع بأي جرعة مناسبة للوصول للهدف التكنولوجي المطلوب آمن للاستهلاك، وكاف من الناحية الغذائية. ولما كان، من الناحية التطبيقية، استعمال الجرعة الإشعاعية للحصول على الغرض المطلوب تقنياً مع مراعاة إجراءات التصنيع الجيدة، يستدعي عدم التضحية بالخصائص الذوقية للغذاء المشعع، لم تر المجموعة ضرورة لوضع حد أعلى للجرعة. وقد اعترف دستور تشعيع الأغذية الحالي الذي تم تبنيه في عام 2003 بهذه النتيجة وجاء فيه أنه: «لتشعيع أي غذاء، يجب أن تكون الجرعة الممتصة الدنيا المطبقة كافية للحصول على الهدف التقني منها، وأن تكون الجرعة الممتصة العليا أقل من تلك التي يمكن أن تؤدي إلى الإخلال بأمن المستهلك أو

صحته، أو أن تؤثر بشكل سلبي على سلامة البنية التركيبية أو الخصائص الوظيفية أو الحسية للغذاء المشعع، ويجب ألاّ تزيد الجرعة الممتصة العليا المستعملة لتشعيع الأغذية عن 10 كيلو غراي، إلا في الحالات الضرورية وللوصول إلى أهداف تصنيعية مشروعة». وبشكل مشابه، تشير مراجعة عام 2003 للدستور العالمي لتصنيع الغذاء إلى الجرع الإشعاعية من وجهة نظر تطبيقها وقياسها بالشكل المناسب، دون التوصية بحد أعلى لجرعة تشعيع الغذاء.

ولذلك، فقد خضعت مسألة سلامة الغذاء المشعع وصحته لعدد من الدراسات، ومن ضمنها مراجعات من قبل المجتمع العلمي والمنظمات الدولية، ويشير الإجماع العلمي إلى أن تناول الغذاء المشعع مسألة آمنة. لكن، كما هو الحال في كل عمليات تصنيع الأغذية، فإن تعريض الغذاء لدرجة عالية من الشدة في المعاملة يمكن أن يؤثر في خصائصه الذوقية، ولكن، من الناحية العلمية، فإن تأثيرها على الطعم أو الإحساس أو الشكل أو الرائحة هي التي يمكن أن تحدد الجرعة العليا التي يمكن تطبيقها على مادة غذائية معينة، وليس أية اعتبارات أمنية.

التشعيع ومفصليات الأرجل

إن مقاومة مفصليات الأرجل للأشعة المؤينة تفوق كثيراً مقاومة الإنسان والفقاريات الراقية الأخرى، ويعود السبب في ذلك، بشكل رئيسي، إلى أن خلاياها تنقسم بشكل فعال خلال مرحلة الانسلاخ فقط. ومرحلة الحشرات الكاملة، عموماً، هي أكثر المراحل تحملاً أو مقاومة للأشعة المؤينة، نظراً لأنها مكونة، إلى حد كبير، من خلايا متمايزة لا تخضع لعملية استبدال.

راجع هلمان تأثيرات التشعيع في مجموعات مختلفة من الآفات الحجرية (آفات الحجر الزراعي) ووصل إلى نتيجة مفادها أنه، في حين أن جرعة لا تزيد على 150 غراي كافية لمكافحة بعض الآفات مثل أنواع المن والذباب الأبيض وذباب الفاكهة والخنافس والجعالات، يتطلب مكافحة بعضها الآخر، مثل بعض أنواع رتبة حرشفيات الأجنحة والحلم (العث)، جرعة 350 غراي. وقد شجعت المجموعة الاستشارية العالمية لتشعيع الأغذية (ICGFI)، منذ عام 1986، على وضع معاملات تشعيع عامة لأغراض الصحة النباتية. وفي عام 2006 وضعت هيئة الخدمات الصحية للنباتات والحيوانات في وزارة الزراعة الأمريكية (USDA–APHIS) قانوناً جديداً يحدد جرعة 400 غراي على أنها جرعة عامة لمعالجة كل الآفات النباتية التابعة لصف الحشرات، فيما عدا العذارى والحشرات الكاملة لرتبة حرشفيات الأجنحة، وجرعة

ثمار المانكا المشععة المستوردة من المكسيك إلى الولايات المتحدة الأمريكية.

150 غراي على أنها جرعة عامة ضد كل أنواع ذباب الفاكهة من عائلة ذبابة الفاكهة (مع إمكانية استعمال جرع إشعاعية أقل لأنواع محددة من ذباب الفاكهة). ولكن، يمكن القضاء على الكثير من الآفات باستعمال جرع أقل بكثير عن 400 غراي. ويمكن للمعاملات الإشعاعية العامة أن تسرِّع عملية دخول السلع الجديدة للأسواق.

يستعمل التشعيع لأغراض الصحة النباتية (PI)، غالباً، بوصفه معاملة مفردة، ولو أن بعض الدارسات قد اقترحت إمكانية استعماله مع المعاملة بالحرارة المنخفضة مما يمكن من استعمال جرع إشعاعية أقل لمعاملة السلع المنخفضة التحمل للأشعة المؤينة. وقد لاحظ هلمان أن التشعيع بمفرده كان مساوياً في فعاليته، في بعض الحالات، للتشعيع مع الحرارة المنخفضة. كما بيّن موي وآخرون عدم وجود أي تفاعل بين الغمر بالماء الساخن والتشعيع ضد النيماتودا المسببة لتدرن جذور البندورة.

أحد المشاكل الرئيسية في استعمال الأشعة المؤينة لأغراض الصحة النباتية (PI) هي أن الأشعة المؤينة لا تقتل الآفة مباشرة، بل تجعلها عقيمة أو غير قادرة على متابعة تطورها أو غير قادرة على التكاثر. وبشكل مشابه، لاتؤدي المعاملات التجارية الأخرى (مثل الحرارة المرتفعة، الحرارة المنخفضة)، دائماً، إلى موت فوري لكل أفراد مجتمع الآفة ويمكن أن يعتمد قبول هذه المعاملات على الزمن الفاصل بين المعاملة والفحص.

ولذلك، فالمعالجة بالأشعة المؤينة لا تسمح لموظف الحجر الزراعي بالتأكد من أن السلعة قد عولجت بشكل ناجح، وذلك باستعمال الطريقة البسيطة التي تعتمد على الكشف عن وجود

الحشرات الحية. فبخلاف الطرائق الأخرى في المعالجة، من الممكن أن نجد حشرات حية في شحنات عولجت بشكل صحيح، ولو أن المعالجة ستؤدي إلى موت فوري لجزء من المجتمع الحشري الموجودة في المنتج المشعع. ولذلك، فعلى نظام التشعيع الاعتماد على وثائق قوية تؤكد بأن المعالجة قد تمت بشكل جيد. كما يجب اتباع الإجراءات الكفيلة بحماية الشحنات المشععة من إعادة الإصابة أو الاختلاط مع الثمار غير المعالجة. وبعبارة أخرى، فإن هذا النظام يعتمد على توثيق قوي يؤكد أن المعالجة قد تمت بشكل كاف، إضافة إلى حماية كافية للشحنات المعالجة من إعادة الإصابة. وينطبق هذا الإجراء أيضاً على جميع طرائق المعالجة التي لا تترك بقايا على المواد المعالجة، وحيث تستطيع الآفة إعادة الإصابة بعد الحصاد.

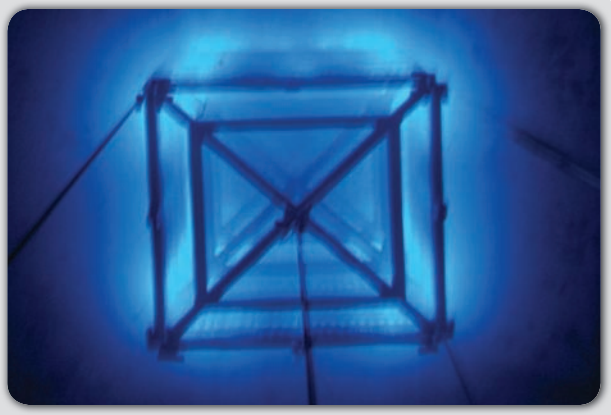
عالمياً، يزيد عدد الدول التي تسمح بتشعيع الغذاء بشكل تجاري عن 60 دولة وذلك بغرض تأخير النضج وإطالة العمر التخزيني للسلع (الشكل 1)، إضافة إلى وقف الإصابة بعد الحصاد لأغراض الحجر، ولو أن هذه الاستعمالات محدودة. وتتضمن قائمة الدول خارج الاتحاد الأوربي التي لديها تشريعات تسمح باستعمال التشعيع لأغراض الصحة النباتية الأرجنتين وأستراليا وبنغلادش والبرازيل والصين والهند وإسرائيل والمكسيك والفلبين وروسيا وتايلاند وتركيا وأوكرانيا والولايات المتحدة الأمريكية وفيتنام.

فمثلاً، يمكن تشعيع أي نوع من الغذاء في البرازيل، وهنالك خطط لبناء عدد من منشآت التشعيع وتطويرها لغرض تصدير ثمار الفاكهة إلى الولايات المتحدة الأمريكية. ولكن، قد يكون من الضروري تطوير بعض التقنيات لبعض السلع. فمثلاً، كما هو الحال في أية معاملة أخرى، كلما انخفضت درجة شدة المعالجة (مثلاً حرارة، جرعة كيميائية، جرعة إشعاعية)، انخفض احتمال حدوث أي أذى للثمار، وخاصة منها العوائل الحساسية (مثل الأفوكادو). فعند استعمال التشعيع على نطاق تجاري، على دفعات كبيرة من الإنتاج، وللتأكد من أن جميع أجزاء الحاوية قد تعرضت للجرعة الممتصة الدنيا اللازمة للحصول على الفعالية المطلوبة، فإن بعض أجزاء الحاوية قد تتعرض لجرع أعلى بكثير من الحد الأدنى المطلوب (حتى ثلاث مرات أعلى). يعود ذلك لأسباب عدة منها: (1) انخفاض مستوى الإشعاع على مسافة من المصدر الإشعاعي (2) تباين كثافة المادة في أجزاء مختلفة من الحاوية (طريقة تعبئة المادة أثناء التشعيع إضافة إلى الاختلافات الطبيعية للسلع نفسها (3) تصميم محطة التشعيع (وخاصة طريقة توضع المصدر المشع ومسار الحاوية داخل حقل التشعيع). ومن الممكن تخفيض الاختلافات في الجرعة داخل الحاوية، وأفضل ما يتحقق ذلك في منشآت التشعيع المصممة خصيصاً لمعالجة المواد النباتية. ولكن، في وحدات التشعيع المتعددة الأغراض، لا تتوفر بشكل فعال تجارياً، كل الخطوات اللازمة لتخفيض الاختلافات في الجرعة.

المعايير الدولية

وجدت الهيئة الاستشارية الفنية للمعالجة الصحية للنباتات (TPPT) لجمع التوصيات المتعلقة بمعالجة النباتات لأغراض الصحة النباتية (الحجر الزراعي) ومراجعتها وإصدارها لاستعمالها عالمياً. وقد تبنت، حتى تاريخه (تاريخ هذه المقالة)، 14 معالجة إشعاعية لأغراض الصحة النباتية كملحق للنظام العالمي لمكافحة الآفات رقم (ISPM 28)، بعنوان المعالجة الصحية النباتية للآفات الخاضعة للتنظيم (الآفات الحجرية)، وتضم تسع معاملات لأنواع من ذبابة الفاكهة (Tephritidae) وثلاثاً لأنواع من الخنافس (Curculionidae) واثنتين لأنواع من الفراشات الليلية (Tortricidae). وقد أدى تبني الدليل العالمي لاستعمال التشعيع بوصفه إجراء صحة نباتية إلى المصادقة على استعمال التشعيع لمعالجة السلع الغذائية.

يتزايد عدد الدول التي تستعمل التشعيع بوصفه إجراء صحة نباتية لغرض تصدير ثمار الفاكهة، بشكل رئيسي ولكن ليس حصرياً، إلى الولايات المتحدة الأمريكية، ومن هذه الدول فيتنام والهند وتايلاند والمكسيك وأستراليا. كما أن هنالك دولاً أخرى، ومن ضمنها ماليزيا والفلبين والصين وتشيلي والأرجنتين وجنوب إفريقيا، تتحرى أو تقترح استعمال التشعيع لأغراض



توهج أزرق (أشعة تشيرنكوف) ناتج عن الجسيمات العالية الطاقة المارة عبر الماء في منشأة تشعيع بأشعة غاما.

الصحة النباتية. وقد وضعت الولايات المتحدة الأمريكية الترتيبات اللازمة للموافقة النهائية للهند وتايلاند وفيتنام والمكسيك وجنوب إفريقيا لغرض تصدير ثمار الفاكهة المشعة إلى الولايات المتحدة الأمريكية. وتتجلى إحدى التطورات الراهنة في السماح، تجارياً، باستيراد منتجات إلى الولايات المتحدة الأمريكية ضمن برنامج يتضمن استعمال التشعيع لأغراض الصحة النباتية في الولايات المتحدة الأمريكية (مثلاً المانكا المستوردة من الباكستان وتعمل إدارة الخدمات الصحية النباتية والحيوانية في وزارة الزراعة الأمريكية على تطوير الإطار التنظيمي المناسب للسماح باستيراد ثمار الفاكهة إلى الولايات الجنوبية من الولايات المتحدة الأمريكية (الإطار التنظيمي والخطة التشغيلية للاستيراد إلى الولايات الشمالية موجودة). وتقوم إدارة الخدمات الصحية للحيوان والنبات، عند التفكير بإيجاد أسواق جديدة لاستيراد ثمار الفاكهة أو الخضار الطازجة، بتحديد قائمة الآفات الحجرية المرافقة للسلعة المستوردة من الدولة المعنية، أي تقدر مسار الخضار وتحدد أنواع الآفات الحجرية التي يمكن أن يتم (أو لا يتم) القضاء عليها بشكل فعال في تلك المعاملة. وقد لا يؤدي استعمال جرعة 400 غراي العامة إلى القضاء الكامل على بعض الآفات الحجرية مثل المسببات المرضية الفطرية والنيماتودا، ولذلك، فقد تتطلب مكافحتها إجراءات إضافية لمنع إدخالها على الثمار المستوردة. ومن الضروري أيضاً فحص السلع المستوردة لوجود هذه الآفات، إضافة إلى الآفات غير المستهدفة.

تطور أستراليا، بفعالية، موضوع التشعيع لأغراض الصحة النباتية وتصدر أنواعاً عالية الجودة من ثمار المانكا إلى نيوزيلندة، وتحمل الثمار لصاقة كتب عليها «شعع لغرض حماية بيئة نيوزيلندة». سمح أيضاً، ضمن برنامج الأغذية المعيارية بين نيوزيلندة وأستراليا (FSANZ)، كوكالة حكومية بين البلدين، بتشعيع أنواع أخرى من ثمار الفاكهة، وهي ثمار الخبز والرامبوتان والكارمبولا وتفاح الكستر واللونكان والليشي والمانغوستين والبابايا. كما تدرس الوكالة نفسها إمكانية السماح بتشعيع ثمار الكاكي لأغراض الصحة النباتية. ويمكن أن يؤدي التشعيع إلى حدوث بعض التغيرات في المكونات الغذائية الكبرى والصغرى، وفقاً للجرعة، ولكن، بشكل عام، لا تسبب الجرع الإشعاعية التي لا تزيد عن 1 كيلو غراي (1000 غراي) أية تغيرات معتبرة في نوعية ثمار الفاكهة والخضار، والواقع أنها يمكن أن تؤدي إلى تحسن في بعض المواصفات مثل زيادة العمر التخزيني (تبطئ سرعة النضج مثلاً) وتحسين الطعم. ولكن، مع وجود إجماع علمي وتقني على استعمال تقنية التشعيع، لا يلقى هذا الشكل من المعالجة موافقة الجميع.

الكلفة

تزيد كلفة التشعيع لأغراض الصحة النباتية، بشكل عام، عن كلفة البدائل الأخرى المستعملة للغرض نفسه، ويعود السبب في ذلك، بشكل رئيسي، إلى الكلفة العالية لإقامة منشآت التشعيع. ولكن، وعلى اعتبار أن استثمار منشآت التشعيع لأغراض الصحة النباتية لا يتم بشكل مثالي في الوقت الراهن، فإن تزايد استعمالها مستقبلاً سيؤدي إلى انخفاض كلفة تشعيع الوحدة الواحدة. إضافة إلى ذلك، فإن الخيارات الأخرى المقبولة للتشعيع كثيراً ما تكون غير متوفرة أو تسبب ضرراً غير مقبول للسلع الطازجة. فمثلاً، مع أن كلفة تشعيع الرامبوتان في هاواي تصل إلى 0.60 دولار/كغ، اعتبرت هذه الكلفة اقتصادية نظراً لسعر الثمار المرتفع نسبياً وعدم توفر معاملة صحة نباتية أخرى تسمح باستيراد الثمار إلى الولايات المتحدة الأمريكية.

قبول المستهلك

يعارض البعض تشعيع الأغذية دون سبب موجب، وتمتنع بعض متاجر المواد الغذائية عن بيع المنتجات المشعة ليس لأنها ضد تشعيع الأغذية، بل خوفاً من أن تتهم بالقيام بعملية غير متفق عليها. وقد بيّن عدد من الدراسات أن معظم الناس لا مانع لديهم من شراء المواد الغذائية المشعة، وأن نسبة هذه المجموعة تتزايد مع ازدياد المعرفة حول هذه التقنية. ويجب، وفقاً لدستور الغذاء، وضع لصاقة على الغذاء المشعع تحمل عبارة «مشعع» أو «معامل بالأشعة المؤينة». ويعتقد البعض أن هذه العبارة غير ضرورية لأنها تحمل معنى تحذيرياً، وأن تبنى عبارة لا تحتوي على مشتقات كلمة «أشعة» مثل «مبستر إلكترونياً» يمكن أن يكون أكثر قبولاً لعامة الناس. وتحمل المنكا الأسترالية المصدرة إلى نيوزيلندة لصاقة صفراء صغيرة تقول «مشععة لحماية البيئة الأسترالية». ويقترح العالم هلمان أن للتشعيع لأغراض الصحة النباتية ميزتين على معظم استعمالات تشعيع الأغذية مما يزيد من احتمال الاستعمال التجاري لتشعيع النباتات لأغراض الصحة النباتية هما: (1) تعطي الجرع المنخفضة المستعملة لأغراض الصحة النباتية انطباعاً بوجود حد أقل من المشاكل في هذه العملية (مع أنها تحمل تأكيداً على أن استعمال الجرعة العالية لتشعيع الأغذية لم يظهر أي مشكلة على صحة الإنسان) و (2) إن إجراءات الصحة النباتية إلزامية في حال استيراد بعض السلع.

يتطلب الاستعمال التجاري للتشعيع لأغراض الصحة النباتية تحديد درجة تحمل السلع الطازجة للمعاملة. تتحمل ثمار الكاكي اليابانية المبينة هنا 0.4-0.5 كيلو غراي ويبدأ ظهور النضج المبكر على جرعة 0.5 كيلو غراي.

المناقشة

بشكل مشابه للتبخير بغاز بروميد الميثيل والمعاملة بالحرارة المنخفضة، يمكن استعمال التشعيع لأغراض الصحة النباتية على السلع المغلفة والموضوعة على شكل بالات، مخفضة بذلك كلفة التعامل معها بعد التشعيع، وهي مسألة يمكن أن تسيء أيضاً للنوعية. ولكن، من المهم أن تصمم منشآت التشعيع لتستطيع، بشكل خاص، تقديم جرع إشعاعية منخفضة لكامل الدفعة، والتأكد من خرج أقصى لجهاز التشعيع لتخفيض الكلفة إلى حدها الأدنى. ويعد التشعيع لأغراض الصحة النباتية من أكثر طرائق المعالجة الصحية النباتية للمنتجات الطازجة، المقبولة تجارياً، تحملاً كبديل للتبخير بغاز بروميد الميثيل. يمكن التشعيع لأغراض الصحة النباتية من تصدير سلع لم يكن من الممكن تصديرها من قبل بسبب عدم وجود معاملة صحة نباتية فعالة تستطيع تلك السلع تحملها. وبالرغم من إمكانية إجراء التشعيع لأغراض الصحة النباتية بسرعة معقولة، فإن هذه العملية لا تتم، عملياً، بالسرعة المتوقعة لأسباب عملية تتعلق بنقل السلع المنتجة من مناطق زراعية واسعة إلى المنشآت المرخصة، على اعتبار أن الكلفة العالية تحدد عدد منشآت التشعيع الممكن بناؤها وتشغيلها، وبالتالي فلن تتوفر هذه المنشآت دوماً بالقرب من مناطق الإنتاج. ومن المآخذ الأخرى على استعمال التشعيع لأغراض الصحة النباتية أن قطاع الزراعة العضوية لا يقبل هذه التقنية. وبيّن هلمان أن مكونات هذه الصناعة (غير المتناغمة) يمكن أن تقبل في النهاية التشعيع لأغراض الصحة النباتية لأن الفلسفة التي تعتمد عليها الزراعة العضوية تقوم على دعم استعمال المعاملات التي تسبب أدنى حد ممكن من التغير في السلعة المعاملة عن حالتها الطبيعية. ويمكن الجدل بأن هذه المعالجة هي التشعيع على اعتبار أنه لا يترك أية بقايا على المواد المعالجة، ويسبب الحد الأدنى من التغيرات الفيزيائية والكيميائية للسلع المعاملة وعدد السلع الطازجة التي تتحمل التشعيع أكبر من تلك التي تتحملها أية معاملة أخرى.

يعتقد أنصار هذه التقنية أنها يمكن أن تكون قد اقتربت من النقطة التي تتبنى بها الصناعة التشعيع بشكل أوسع، على سبيل المثال لتعقيم الطعام وبسترته ومعاملات الصحة النباتية. ويشير منتقدي التشعيع لأغراض الصحة النباتية إلى صعوبة التعامل مع حقيقة إمكانية –ولو نظرياً– اكتشاف آفات حجرية حية –حتى لو أنها عقيمة– خلال عمليات فحص المستوردات. ويعود ذلك لحقيقة أنه، لكي نبقي الجرعة الإشعاعية أخفض ما يمكن، فإن هدف المعاملة (أي مقياس الفعالية أو الاستجابة المطلوبة) كثيراً ما يكون إنتاج حشرات عقيمة بدلاً من القتل الفوري الذي يتطلب، بشكل عام، جرعاً إشعاعية أعلى بكثير. اعتمدت الاعتراضات أيضاً على القلق الناتج من وجود حشرات حية، عقيمة، أو حتى إمكانية الحصول على جيل أول عقيم لهذه الحشرات، في بعض الحالات، مما يعني إمكانية التقاطها على مصائد المراقبة في الدول المستوردة. ولكن مختصي علم الحشرات في منظمة حماية النبات في بعض البلدان لديهم خبرة معتبرة في تمييز حشرات ذبابة الفاكهة من الجنس Anastrepha وCeratitis العقيمة في مثل هذه المصائد، على اعتبار أن هذه الحشرات تطلق بشكل روتيني في برامج إطلاق الحشرات العقيمة، ولذلك، فإن ظهور الذبابات العقيمة المشعة ليس مشكلة. يزداد التأثير البيولوجي للجرعة مع زيادة معدلها، ولذلك، فهناك نوع من المقايضة بين الحصول على التأثير المطلوب (منع خروج الحشرات الكاملة مثلاً) وإبقاء معدل الجرعة أخفض ما يمكن. وأيضاً، على اعتبار أن معدل الجرعة العظمى التي يمكن أن نحصل عليها، تجارياً، غالباً ما يكون، عملياً، ضعف الجرعة المستهدفة (على الأقل في بعض أجزاء الدفعة المشعة)، هنالك نقطة تأثير حدية (أي عندما نهدف للحصول على جرعة 500 غراي يمكن أن نحصل، حقيقة، على جرعة 1 كيلو غراي)، يؤدي تجاوزها إلى حدوث أذى للسلع المشعة، وهذا المستوى يقل كثيراً عن 1 كيلو غراي لبعض الثمار الحساسة مثل المانكا. ولذلك، فاختيار الجرعة كثيراً ما تحدده هذه الأمور والحساسية الإشعاعية للنوع المهمّ من الناحية الحجرية. وبعبارة أخرى، تختار

جرع منخفضة تحت مميتة، بشكل مقصود، لتقليل أي أذى للسلع المشعة.

يمكن الجدل بأنه عندما لا يكون القتل، بالضرورة، هو الهدف النهائي المطلوب، كما هو الحال في التشعيع لأغراض الصحة النباتية، عندئذ، ببساطة، لا يكون الفحص بعد التصريح الرسمي (بالتشعيع) مطلوباً، أو ضرورياً (فيما عدا التحري عن الآفات غير المستهدفة). ولكن، هذا الاتجاه يعتمد على نظام موثوق ومعالجة معتمدة قبل إعطاء التصريح، وهذا ليس ما يحدث عادة في معظم الدول (ومنها الاتحاد الأوربي). والحل الوحيد الآن هو تطوير نظام كامل الموثوقية لمنح الشهادات (لا مجال للخطأ فيه). وعلى اعتبار أنه لا يوجد طريقة موثوقة للتأكد من أن الآفات المكتشفة في السلع المستوردة قد شععت أم لا (وبأي جرعة) فإن الدول الراغبة في استيراد شحنات مشعة تحتاج إلى تدريب موظفي الصحة النباتية لديها (كي يستطيعوا التغلب على مشكلة وجود آفات حية ولو أنها ستموت في النهاية دون أن تستطيع التكاثر).

«يجب ألاّ تزيد الجرعة الممتصة العليا المستعملة لتشعيع الأغذية عن 10 كيلو غراي، إلا في الحالات الضرورية وللوصول إلى أهداف تصنيعية مشروعة»

وبالرغم من أن احتمال مصادفة حشرات كاملة على الشحنات المشعة أمر مستبعد لأسباب عدة (الحشرات تتعذر خارج الثمار، والحشرات المشعة لا تعيش طويلاً، وأعداد الآفات في كل الحالات قليلة جداً نتيجة الاعتماد على نظام إنتاج وقياسات عالية الجودة لحماية المحصول)، سيكون هنالك حاجة خاصة لتدريب مفتشي منظمة حماية النبات (NPPO) لفحص الشحنات المشعة. والمفتشون قد يقومون بفحوصاتهم، في كل الحالات، (كما يجب أن يفعل مفتشو الحجر عند التصدير) للآفات غير المستهدفة بعملية التشعيع. وكثيراً ما لا يوجد معالجة بديلة، بعد سحب بروميد الميثيل، عدا إتلاف الشحنات المصابة أو إعادة تصديرها.

أخيراً، من المفيد التأكيد على أن التشعيع لأغراض الصحة النباتية لا يقصد به معالجة السلع المصابة بشدة بالآفات، بل إن هذه المعالجة مصممة لتأمين أمن حجري، ومدعمة فنياً بالإجراءات العملية لحماية العائل مثل الإجراءات الزراعية الجيدة، والفحص قبل الموافقة النهائية، وإجراءات التحقق من حصول المعالجة وغيرها، وذلك للتقليل، بطريقة منهجية، من أخطار الآفة. فاحتمال وجود آفات حية، بعد المعالجة، حتى لو كانت معاقة تطورياً أو عقيمة، يؤكد على أهمية الحصول على منتج خالٍ من الآفات قبل المعالجة. فشروط برتوكول مونتريال للبلدان النامية لوقف كل استعمالات غاز بروميد الميثيل بحلول عام 2015، إلا لأغراض الحجر الزراعي والمسائل الإسعافية الخطيرة، تؤكد على وجود حاجة ملحة لإيجاد طريقة فعالة بديلة لمعالجة السلع المصدرة. ورغم توفر عدد من المعاملات البديلة التي يمكن أخذها بعين الاعتبار مثل التبريد، التسخين/التبخير، المعالجة بالبخار الساخن، التغطيس بالماء الساخن، الجو المعدل وغيرها، فإن التشعيع فعال ضد معظم الحشرات والحلم (العث) وبمستويات جرعة لا تؤثر في جودة السلع المعالجة، وبالتالي فهي الطريقة المثالية لتطوير معاملات حجرية عامة. كما أنها توفر إمكانية الوصول إلى أسواق التصدير عالية القيمة وتقليل الفقد ما بعد الحصاد.

رايموند كانون، جاي هالمان، كارل بلاكبورن.

نُشر هذا المقال في مجلة – ***Outlooks on Pest Management*** ***June 2012***، ترجمة **د. محمد منصور**، هيئة الطاقة الذرية السورية.

References

1. Anon. (2004). Commission Decision of 7 October 2004 amending Decision 2002/840/EC adopting the list of approved facilities in third countries for the irradiation of foods. Official Journal of the European Union (2004/691/EC).
2. Anon. (2005). Commission Decision of 4 December 2007 amending Decision 2002/840/EC as regards the list of approved facilities in third countries for the irradiation of foods. Official Journal of the European Union (2007/802/EC).
3. Anon. (2009a). Statutory instrument No. 1584. The Food Irradiation (England) Regulations 2009. © Crown copyright 2009.
4. Anon. (2009b). List of Member States' authorisations of food and food ingredients which may be treated with ionising radiation. Official Journal of the European Union (2009/C 283/02).
5. Anon. (2010a). Statutory instrument No. 2312. The Food Irradiation (England) (Amendment) Regulations 2010. © Crown copyright 2010.
6. Anon. (2010b). Commission Decision of 22 March 2010 amending Decision 2002/840/EC as regards the list of approved facilities in third countries for the irradiation of foods, Official Journal of the European Union (2010/172/EU).
7. Anon. (2011). List of approved facilities for the treatment of foods and food ingredients with ionising radiation in the Member States. Official Journal of the European Union (2011/C 77/09).
8. APHIS (Animal and Plant Health Inspection Service) (2006) Treatments for Fruits and Vegetables. Rules and regulations, 71, 4451–4464.
9. Bakri, A., Heather, N., Hendrichs, J., & Ferris, I. (2005). Fifty Years of Radiation Biology in Entomology: Lessons Learned from IDIDAS. Annals of the Entomological Society of America 98: 1–12. http://ididas.iaea.org/default.aspx
10. [CAC] Codex Alimentarius Commission. 2003. General standard for irradiated foods. Rome:FAO.3pp.http://www.codexalimentarius.net/download/standards/16/CXS_106.pdf.
11. Cannon, R.J.C. (2006). The Work and Function of the CPM Panel on Phytosanitary Treatments. Outlooks on Pest Management 17: 220–222. Dionisio, A.P., Gomes,
12. R.T. & Oetterer, M. (2009). Ionizing radiation effects on food vitamins: a review. Brazilian Archives of Biology and Technology 52: 1267–1278.
13. EFSA (2011). Statement summarising the Conclusions and Recommendations from the Opinions on the Safety of Irradiation of Food adopted by the BIOHAZ and CEF Panels. EFSA Journal 9 (4), 2107.
14. EPPO (2009a). Disinfestation of wood with ionizing radiation. EPPO bulletin 39, 34–35.
15. EPPO (2009b). Irradiation of stored products to control stored product insects in general. EPPO bulletin 39, 37–38. EPPO (2009c). Low energy electron treatment of cereal seed against fungi. EPPO bulletin 39, 36.
16. EU (2009). List of Member States' authorisations of food and food ingredients which may be treated with ionising radiation. Official Journal of the European Union C 283/5, 24.11.2009.
17. Eustice R.F.& Bruhn, C.M. (2006). Consumer acceptance and marketing of irradiated foods. In: Food irradiation: research and technology (eds. C. H. Sommers and X. Fan) pp. 63–83. Ames, Iowa: Blackwell Publishing and Institute of Food Technologists.
18. FAO (2006). International Standards for Phytosanitary Measures ISPM No. 18, Guidelines For The Use Of Irradiation as a Phytosanitary Measure (2003).
19. Follett, P.A.; Willink, E.; Gastaminza, G. & Kairiyama, E. (2008). Irradiation as an alternative quarantine treatment to control fruit flies in exported blueberries. Revista industrial y agrيcola de Tucumjn 85: 43–45. ISSN 1851–3018.
20. FSA (2009). Importing irradiated food. http://www.food.gov.uk/ foodindustry/imports/imports_advice/irradiated FSA (2010). Explanatory Note on Legislation Controlling Contaminants in Food and Food Irradiation. http://www.food.
21. gov.uk/multimedia/pdfs/legcontamfood.pdf.
22. Green, A. (2008). USDA's operational experience in the growing use of irradiation as a plant quarantine treatment for safe trade. http://www.iiaglobal.org/uploads/documents/imrp2008/ Alan%20 Green.pdf
23. Hallman G.J. (2000). Review article: Expanding radiation quarantine treatments beyond fruit flies. Agricultural and Forest Entomology 2: 85–95.
24. Hallman, G.J. (2001). Irradiation as a quarantine treatment, pp. 113–130 in, Molins, R. (ed) Food Irradiation Principles and Applications, Wiley-Interscience, New York.
25. Hallman, G.J. (2011). Phytosanitary applications of irradiation. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 10: 143–151.
26. Hallman, G.J., Levang-Brilz, N.M., Zettler, J.L. & Winborne, I.C. (2010). Factors affecting ionizing radiation phytosanitary treatments, and implications for research and generic treatments. Journal of Economic Entomology 103: 1950–1963.
27. Heather, N.W. & Hallman, G.J. (2007). Pest Management and Phytosanitary Trade Barriers. CABI Publishing, Wallingford, UK. Morehouse, K.M. & Komolprasert, V. (2004). Irradiation of food and packaging: an overview. In: Irradiation and food packaging (eds. C.H. Sommers and X. Fan) pp. 1–11. ACS Symposium Series. Washington, DC: American Chemical Society.
28. Moy, J.H., Chinnasri, B., Sipes, B.S., Schmitt, D.P., Hamasaki, R.T., Mersino, E. F. & Yamakawa, R.M. (1999). Radiation disinfection or disinfestation of nematodes, aphids, mites, thrips, and other pests on food plant materials: evaluation for effectiveness and product quality, pp. 105–113 in: Irradiation as a Quarantine Treatment for Arthropod Pests, Proc. Final Res.
29. Coord. Meeting, Honolulu, HI, IAEA, Vienna. Stearns, D.W. (2006). A future uncertain: food irradiation from a legal perspective. In: Food irradiation research and technology (Eds. C. H. Sommers and X. Fan) p. 263–78. Ames, Iowa: Blackwell.
30. Torres-Rivera, Z. & Hallman, G.J. (2007). Low-dose irradiation phytosanitary treatment against Mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae). Florida Entomologist 90: 343–346. USDA (2006). Importation of Fresh Mangifera indica (mango) Fruit from India into the Continental United States: Risk Management. October 2006. V2.0
31. USDA (2007). Importation of Litchi chinensis (litchi or lychee), Dimocarpus longan (longan), Mangifera indica (mango), Garcinia mangostana L. (mangosteen), Nephelium lappaceum L. (rambutan), and Ananas comosus (pineapple) into the United States from Thailand: Risk Management. January 25, 2007 Ver. 1.5
32. USDA-APHIS (2006). US Federal Register 71(18), 4451–4464. 27 June 2006. FR Doc No: 06-746. www.gpo.gov WHO (1981). Wholesomeness of irradiated food. Report of a joint FAO/IAEA/WHO expert committee. WHO Technical Report Series 659.
33. WHO (1994). Safety and nutritional adequacy of irradiated food. World Health Organization, Geneva 1994.
34. WHO (World Health Organization), 1999. High-dose irradiation: wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert, Committee. Geneva,
35. World Health Organization, 1999 (WHO Technical Report, Series, No. 890).

أخبار علمية

الفيزياء والفن التشكيلي

*يتناول روبرت كريس **Robert P Crease** في مقالته المنشورة في مجلة **Physics World** العدد **13** من العام **2012** كتباً عدة تحرّت كيفية تأثير الفيزياء على الحركات الفنية التشكيلية.*

لا تُحدث الاكتشافات العلمية ثورة في العلوم فحسب بل بوسعها أيضاً أن تولد أثراً عميقاً ودائماً في الفنون المرئية وكذلك في الأدب. وثمة مثال شهير على ذلك هو وقع ما فعلته اكتشافات غاليليو بالمناظير على شِعر Milton * من خلال وصفه للكون في قصيدته الملحمية «الفردوس المفقود». وعلى أي حال، إن الكتابة عن الصلات بين الفيزياء والفنون أمر صعب إنجازه بالشكل اللائق، فمن السهولة بمكان استخلاص روابط سطحية بينهما لكن من الصعب إقامة دوافع فنية حقيقية وراءها. ولحسن الحظ، ظهرت حديثاً كتب –أو أعيد نشرها– وهي أصيلة وموضوعية تلقي الضوء مجدداً على تأثير الفيزياء على الفنون التشكيلية، وتشرح جيداً ما ترمي إليه بكل معنى الكلمة.

لنأخذ مثلاً الكتاب الرائد «البُعد الرابع والهندسة اللا إقليدية في الفن المعاصر» The Fourth Dimension and Non-Euclidean Geometry in Modern Art للباحثة في تاريخ الفن من جامعة تكساس ليندا هندرسون Linda Dalrymple Henderson والذي كان قد نُشر أول مرة في العام 1983 وقد أعيد نشره حديثاً بمقدمة منقحة. يتناول الكتاب مراجعة لتطورات الهندسة اللا إقليدية في أواخر القرن التاسع عشر وبزوغ اهتمام شائع بهذه الهندسات، ثم يتحرى الكتاب هذا الأثر في فن الرسم خلال النصف الأول من القرن العشرين.

كان موضوع «الأثير» –وهو المادة غير المنظورة التي اعتُقِد أنها تملأ الفضاء– ضمن العناوين الجذابة التي شاعت والتي ربطها العلماء الأفذاذ في ذلك العصر بالبعد الرابع، حيث احتوى الأثير على «الانتظام غير المرئي للأشياء». وثمة اكتشافات فيزيائية أخرى

كانت لاقت شيوعاً على نطاق واسع تشمل التركيبة غير المنظورة للواقع reality تضمنت اكتشاف الإلكترون والعناصر المشعة والأشعة السينية X-ray. وبحسب اقتباس في الكتاب للباحث في تاريخ العلوم إيوان مورس Iwan Rhys Morus نذكر فيه قوله: مع بداية القرن العشرين "كانت حدود الواقع الحقيقي شديدة الضعف".

وتشرح هندرسون بنفاذ بصيرة كيف ولِمَ أصغى الفنانون واستجابوا على نحو خلاق لتلك التطورات. فقد ربط التكعيبيون Cubists أعمالهم الفنية بشكل جلي بالبعد الرابع إلا أنهم لم يكونوا الوحيدين. وتبينُ هندرسون أن البعد الرابع كان محل اهتمام خلال العقود الثلاثة الأولى من القرن العشرين لدى الفنانين في كل حركة رائدة معاصرة تقريباً (في الرسم). لقد شجعت فكرة البعد الرابع الفنانين على الاستغناء عن المنظور التقليدي ومحاولة التجريد. وكذلك أعادت الحيوية ثانية لصورتهم الذاتية كأشخاص ذوي رؤىً، بوسعهم التواصل مع الواقع الذي لم يكن باستطاعة الآخرين اكتشافه.

** شاعر إنكليزي عاش في القرن السابع عشر (1608–1674) اشتهر بقصائده الملحمية وبقوة جدله المنطقي (المترجم).*

وعلى مدى العقدين الأولين من القرن العشرين، كان البعد الرابع مرتبطاً على نحو شائع بالفضاء، لكن بعد العام 1919 ومع إثبات نظرية أينشتاين العامة وطرح منكوفسكي لمفهوم الزمكان space-time بدأ البعد الرابع على نحو متزايد بالارتباط بالزمن. كان هذا مايزال صحيحاً عند صدور كتاب هندرسون أول مرة في العام 1983، فمنذ ذلك الوقت ساهم نهوض نظرية الأوتار string theory ونظرية الأغشية brane theory ورسومات الحاسوب computer graphics في إعادة النظر في الأثر الفني للتفسير المكاني الذي تغطيه هندرسون خلال "مقدمة" كتابها الجديدة البالغة 96 صفحة في الطبعة المحدَّثة.

فكر الفنان السريالي

كان للفيزياء المعاصرة أيضاً وقع شديد على الحركة الفنية التشكيلية التي تُعرف بالسريالية (فوق الواقعية) – Surrealism وهي موضوع قام بتغطيته غافين باركنسون Gavin Parkinson عام 2008 في كتابه "السريالية، الفن والعلوم المعاصرة: النسبية وميكانيك الكم ونظرية المعرفة" Surrealism, Art and Modern Science: Relativity, Quantum Mechanics, Epistemology. يوضح باركنسون وهو مؤرخ في معهد Courtauld للفنون في لندن، أن الفنانين السرياليين استجابوا على نحو متطور ثقافياً للمناخات الفلسفية والنفسية والعلمية والمعقدة سياسياً في ذلك العصر. ويبدأ باركنسون مدعياً تقديمه "لأول تأريخ شامل مع تحليل وتفسير" لحماسة السيريالية للفيزياء المعاصرة برسم صورة للحقبة المبكرة لنظريتي النسبية والكم، وهو جزء في الكتاب كان "كابوساً" له في الكتابة حسب قوله. على أية حال، سيجد الفيزيائيون روايته التي تعتمد التأريخ الموثوق، دقيقة ومثيرة للاهتمام على حدٍّ سواء.

بعد ذلك يقتفي باركنسون أثر الفنانين والمبدعين السرياليين (الفرنسيين حصراً) وكيف واءموا لغة الفيزياء المعاصرة ومفاهيمها ومجازاتها في تحديد هوية أعمالهم وإبداعها. وكان في طليعة هؤلاء أندريه بريتون André Breton وهو "زعيم المنظرين السرياليين"، والذي تبعه كل من مارسيل دوشام Marcel Duchamp وماكس إرنست Max Ernst وسلفادور دالي Salvador Dali وآخرون. ويكتب باركنسون قائلاً: لقد ألهمتهم النظرية النسبية وميكانيك الكم عبر إظهار التمسك بالتقليد المطلق للفضاء الثلاثي الأبعاد 3D والإدراك الحسي العادي وبإماطة اللثام عن الجوانب الحديثة للواقع.

كتب بيير مابيل Pierre Mabille المتعاون مع بريتون عام 1940 قائلاً: إن الفيزيائيين هم "الورثة الشرعيون للتراث المدهش". وبالفعل يقدم باركنسون حجته على نحو مقنع، إذ لا يمكن فهم التيارات الحالية للفن المعاصر تماماً دون معرفة وقع الفيزياء المعاصرة على الفنانين المعنيين. ولا يتخوف باركنسون على أية حال من الإشارة إلى مكامن "السطحية" لدى الفنانين أو "الطيش المفرط" أو متى كانوا ببساطة غير متعمقين في استجلاب مفاهيم الفيزياء ومجازاتها.

ويتابع باركنسون قائلاً: "على نحو مشابه للجدار المُبَقَّع الرطب، بوسع نظرية الكم استحضار أية وجهة نظر حول العالم عند التمعن فيها طويلاً بما يكفي". لكنه يبين ببراعة لماذا شاهد هؤلاء الفنانون ما فعلوه وكيف أدخلوه ضمن أعمالهم. وتنتهي الحكاية عندما بدأت حادثة هيروشيما بفصم عرى الحب للفيزياء المعاصرة وبلغ هذا الانفصال ذروته في العام 1958 بصدور بيان رسمي للفنانين السرياليين عنوانه "افضحوا الفيزيائيين وأخلوا المختبرات".

النقطة الحرجة

يوثق كتابا هندرسون وباركنسون أثر مكتشفات علمية محددة على حركات فنية خاصة بأسلوب شامل وطريقة متأنية. من بين الكتب الأخرى التي تتناول التقاطعات بين الفيزياء والعلوم بأسلوب ممتع ولو بطريقة علمية أقل نذكر كتاب لين غامويل Lynn Gamwell "سبر اللامنظور: الفن والعلم والروحانيات" الصادر في العام 2002، وكتاب ليونارد شلين Leonard Shlain "الفن والفيزياء: تصورات متوازية في الفضاء، الزمان والضوء" (1991 وأعيدت طباعته في 2007). إن غامويل أمينة مكتبة وباحثة في تاريخ الفن وقد شرحت كتابها بإسهاب وذكاء، في حين أن شلين الذي فارق الحياة في العام 2009 وكان جراحاً بالمران، تناول كتابه لكونه متحمساً للموضوع أكثر من كونه فناناً أو عالماً.

إن ما هو مذهل بالنسبة لي تماماً هو الأثر الذي تضفيه الفيزياء على الفنون بأساليب مختلفة شتى. لقد أثّرت في فن النحت والموسيقا والأدب.

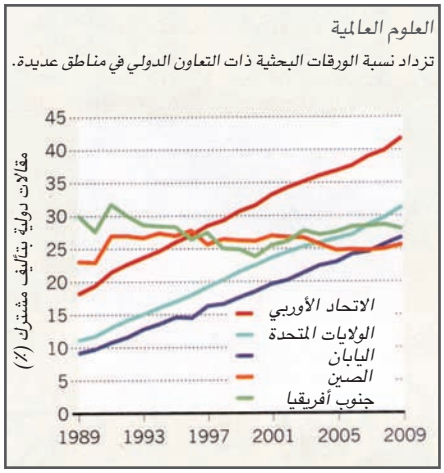
نُشر هذا الخبر في مجلة ***PhysicsWorld, 13 December 2012***.
ترجمة **د. سمير الخواجة**، هيئة الطاقة الذرية السورية.

المجلس العالمي يسعى إلى تنسيق العلوم

يوافق رؤساء وكالات البحث من جميع أنحاء العالم على صياغة مبادئ مشتركة كي تساعد في التعاون.

إن مظاهر التعاون البحثي عالمياً تتضاعف بسرعة، ويتجلى ذلك في كون ثلث نشرات العلم والهندسة في العالم الآن تُظهِر مؤلفين من أكثر من بلد واحد. لكن ليس كلّ وكالات التمويل الوطنية تدير علومها بالطريقة نفسها التي يمكن أن تعرقل مشاريع تتخطى الحدود. فالباحثون في الصين، على سبيل المثال، يحصلون على منح للتمويل من خلال عمليات مختلفة عن نظرائهم الأوربيين.

ولمعالجة المشكلة، تشكّل منتدى طوعي يُدعى مجلس الأبحاث العالمي (GRC)، لتبادل أفضل الممارسات وتشجيع المبادئ المشتركة. وفي أيار/مايو من عام 2011، التقى رؤساء ما يقارب خمسين وكالة تمويل أبحاث وطنية في مقرّات مؤسسة العلوم الوطنية (NSF) للولايات المتحدة، في أرلينغتون بفرجينيا، لمناقشة جدول أعمال (أجندا) مجلس الأبحاث العالمي الذي تضمّن مسائل مثل مراجعة النظراء، وتبادل المعطيات، ونزاهة البحث، والوصول المفتوح، والتطوير الوظيفي والسلوك الأخلاقي في مجال البحث على البشر. ونظراً لكونها أكبر وكالات الأبحاث المتجمعة على الإطلاق، فقد كانت «لحظة تاريخية»، كما تقول سوزان فورتير S. Fortier، رئيسة مجلس أبحاث العلوم الطبيعية والهندسة الكندي.



يأمل صوبرا سوريش S. Suresh، مدير NSF الذي نسَّق الاجتماع، أن مجلس الأبحاث العالمي (GRC) سيكون وسيطاً في التعاون الدولي وترتيبات التمويل المشترك لتعزيز عولمة العلوم. يقول غلوسيوس أوليفا G. Oliva، رئيس المجلس الوطني البرازيلي للتطوير العلمي والتقاني: «من الآن فصاعداً، ستجتمع الوكالات بصورة أكثر تكرارية –حيث يُعقد اجتماع واحد على الأقل في كلّ منطقة من مناطق العالم الخمس قبل كلّ اجتماع عالمي سنوي لمجلس الأبحاث العالمي GRC– وسترسل مزيداً من الأعضاء العاملين إلى الخارج في تبادل زيارات».

لقد كان تنظيم المنتدى مفخرة رائعة فعلاً، لكن لم يتضح بعد كيف يمكن تطوير GRC. يقول كايرون فلاناجان K. Flanagan، الذي يدرّس سياسة العلم والتقانة في جامعة مانشستر بالمملكة المتحدة: «الشيء الأساسي هو أنه ينبغي ألاّ يصبح هذا مكاناً كبيراً وباهظاً للحديث العلمي الدولي».

صدر عن اللقاء الأول للمجلس GRC مجموعة من البيانات القصيرة غير المثيرة للجدل حول مبادئ مشتركة لمراجعة النظراء من أجل تقييم استحقاقات المشاريع العلمية المقترحة. وتتضمن هذه المبادئ الشفافية والسلامة والنزاهة والسرية، ولكنها ليست ملزمة قانونياً، بل تخدم فقط التطلعات المشتركة. يقول فلاناجان: «إذا بقيت التصريحات عند هذا المستوى العام فإنها لن تكون مزلزلة».

ولكن في السر، كان رؤساء الوكالة يشتركون في النصائح والخبرة. فعلى سبيل المثال، يقول أوليفا إن وكالته تقع تحت تأثير ضغط الحكومة كي تركّز على المسائل العملية، وهي تفكّر مجدداً بنظامها التقويمي ليشمل مؤشرات تقيّم الإبداع. وبهذا الصدد يقول: «من الجميل أن نرى بلداناً أخرى تتعامل مع هذه المؤشرات».

وقبل اجتماع المجلس GRC الرئيسي القادم–الذي سينعقد في برلين عام 2013، حيث يتوقع أن يصل عدد أعضاء المجلس في ذلك الوقت إلى 100 عضو– ستناقش المجموعة سلامة البحث وتؤمن اتصالاً مفتوحاً بالمعطيات العلمية والأبحاث المنشورة. لقد وضعت المبادئ الأساسية لسلامة البحث في التوجيهات الدولية في بيان سنغافورة الذي وافق عليه كلٌّ من الباحثين والممولين في عام 2010. لكن ماتياس كلاينر M. Kleiner، الذي يقود مؤسسة البحث الألمانية DFG، وهي الممول الرئيسي للبحث في ألمانيا، يقول إنه بإمكان المجلس GRC أن يناقش الأسئلة العملية مثل كيفية معالجة مسألة الباحثين الذين عوقبوا لسوء سلوكهم في أحد البلدان، لكنهم يقومون بأبحاثهم بحرية في مكان آخر.

يقول كلاينر: «إن الموافقة على مبادئ الوصول المفتوح ستكون أصعب بكثير، ولكن القضية المهمّة هي أنه "في التعاون العالمي فقط يمكننا الوصول حقاً إلى حلول موثوق بها وعملية ومستدامة".

نُشر هذا الخبر في مجلة *Nature,Vol 485, 24 May 2012*.
ترجمة **د. محمد قعقع**، رئاسة هيئة التحرير.

إعادة تدوير الألمنيوم... طريقة حياة أم نمط للحياة؟

تُعدُّ عملية إعادة التدوير أمراً روتينياً في العالم الغربي، وهي خيار مثله مثل تنفيذ التمارين الرياضية وتناول طعام حمية صحي. يتناقض ذلك بشكل كامل مع الحالة في الهند، حيث تشكّل عملية إعادة التدوير نمط حياة للآلاف الذين ليس لديهم خيارٌ آخر للحياة. لا تدير الحكومة الهندية أية برامج لإعادة التدوير وإنما تنقل النفايات بغباء إلى خارج المدن بواسطة حاويات كبيرة. فيتحلّق الهنود العاطلون عن العمل حول هذه الحاويات للبحث عن أية مادة يمكن إعادة تدويرها. تُباع المواد المجمّعة لمعامل إعادة تدوير صغيرة تعمل وفق تكنولوجيا بدائية وبشروط عمل سيئة. ويوجد العديد من هذه المعامل في حي فقير يُدعى– دارافي Dharavi في مدينة مومباي، العاصمة الاقتصادية للهند. يعمل موظفو هذه المعامل لساعات طويلة مقابل أجور ضئيلة، ولكنهم ممتنون لحصولهم على عمل في بلد نسبة البطالة فيه مرتفعة.

حامد مختار هو أحد العاملين في قطاع إعادة التدوير الهندي. عمره خمس عشرة سنة ويكسب قوته بالعمل في مجال إعادة تدوير خردة الألمنيوم. يستيقظ كلّ يوم قبل الساعة السابعة صباحاً، يغتسل ويتناول طعام الإفطار ثم يبدأ عمله. ومن حقه ساعة واحدة لتناول الغداء ليتابع عمله حتى الساعة الثامنة مساءً، حيث يقوم بصهر خردة الألمنيوم. وفي نهاية اليوم، ينام حامد في سريرٍ يجاور تماماً فرن الصهر.

حامد هو واحدٌ من آلاف الهنود الذين يعيشون في هذه المنطقة التي تُعدُّ واحدة من أكبر المناطق الفقيرة في جنوب آسيا، ويجنون الأموال من العمل في تدوير الألمنيوم وإعادة استخدامه. لا يدعم هؤلاء الناس أنفسهم فقط، بل ابتدعوا صناعة تدرُّ ملايين الدولارات والتي غيّرت الاقتصاد الإقليمي وسمحت للناس بكسب رزقهم.

إعادة تدوير الألمنيوم في دارافي Dharavi

تتضمن عملية إعادة التدوير في دارافي ثلاث مراحل مهمّة. أولاً، يتم تجميع منتجات الألمنيوم المستعملة والملقاة، ولاسيما عبوات الصودا والجعة القديمة. ثانياً، تُنقع العبوات في الحمض لإزالة التصاميم والأسماء عنها. ثالثاً، تُسحق العبوات وتُصهر بعد ذلك في فرن. ويعمل حامد في معمل يستقبل العبوات المسحوقة ويصهرها في فرن يستمدّ طاقته من الفحم. وفور انصهار العبوات بشكل كامل، يُصب المزيج المنصهر في قوالب على شكل قضبان

ألمنيوم ويُبرّد. تُنقل هذه القضبان بعد ذلك إلى معمل آخر في المنطقة نفسها، وهناك، تُصهر ثانية، ويحوَّل السائل المنصهر بواسطة آلة خاصة إلى كتل تُستخدم لاحقاً لصناعة أشكال جديدة من الألمنيوم.

إن فرن الصهر الذي يستخدمه حامد عبارة عن حفرة في الأرض بعمق متر واحد تقريباً (3.3 قدم) وبعرض نصف متر (1.6 قدم). يوجد منفس في قعر الحفرة يتصل بأنبوب يوصلُ الأكسجين إلى أخفض جزء من الفرن. يُعبأ الفرن بالفحم ويُشغَّل لتتجاوز حرارته الدرجة 660°C، وهي درجة انصهار الألمنيوم. يحتفظ حامد ببوتقة في أعلى الفرن مصنّعة من كربيد السليكون ومملوءة بخردة الألمنيوم، علماً أن هذه البوتقة تستمر بحالة صلبة حتى درجة الحرارة 2730°C.

لماذا يُعاد تدوير الألمنيوم؟

تُعدُّ عملية إعادة تدوير الألمنيوم ذات فائدة لأن استخلاصه من فلزاته مكلف وملوث للبيئة ويستهلك كمية كبيرة من الطاقة. ولفهم كيفية استعمال الألمنيوم للحصول على الحاجيات اليومية، دعونا نتفحّص كيفية تصنيع علبة من الألمنيوم (الشكل 1). عند إعادة تدوير علبة الألمنيوم، وبغض النظر عن المراحل الأولى المتمثلة بالوصول إلى المصهور الأول، يصبح الألمنيوم المدوَّر جزءاً من حلقة يمكن تكرارها مراراً دون فقدان الألمنيوم لخصائصه.

يُستخلص الألمنيوم من فلز يعرف باسم البوكسايت (Bouxite)، المؤلف من أكسيد الألمنيوم (Al_2O_3) ومركّبات أخرى تحتوي على الألمنيوم والسليكون والتيتانيوم والحديد. يفصل أكسيد الألمنيوم عن

بقية العناصر بطريقة تدعى (Bayer process)، التي تتألف من ثلاث مراحل. أولاً، يُذاب البوكسايت في محلول من هدروكسيد الصوديوم (NaOH) بدرجة حرارة وضغط عاليين. يحتوي المزيج الحاصل على محلول ألومينات الصوديوم $[NaAl(OH)_4]$ وبقايا غير منحلة من البوكسايت تحتوي على الحديد والسليكون والتيتانيوم.

تتشكل ألومينات الصوديوم من خلال تفاعل كيميائي لأكسيد الألمنيوم مع هدروكسيد الصوديوم والماء وفق ما يلي:

$$Al_2O_3 + 2NaOH + 3H_2O \longrightarrow 2NaAl(OH)_4$$

ترسو البقايا غير المنحلة بشكل متدرج في قعر الخزان وتُزال لاحقاً.

في المرحلة الثانية، تُضخ ألومينات الصوديوم إلى خزان كبير، ولدى تبرّدها تتفكك إلى هدروكسيد الألمنيوم وهدروكسيد الصوديوم وفق ما يلي:

$$NaAl(OH)_4 \longrightarrow Al(OH)_3 + NaOH$$

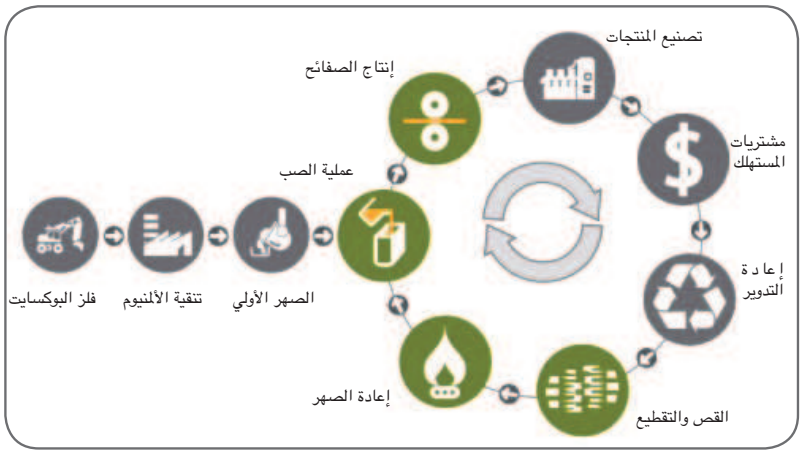
يترسّب هدروكسيد الألمنيوم في قعر الخزان ويسحب بعد ذلك.

في المرحلة الثالثة، يُسخن هدروكسيد الألمنيوم إلى الدرجة 980°C، مما يؤدي إلى تشكّل أكسيد الألمنيوم وفق التفاعل التالي:

$$2Al(OH)_3 \longrightarrow Al_2O_3 + 3H_2O$$

يُستحصل على الألمنيوم بعد ذلك من أكسيده بتقنية تُدعى صهر الألمنيوم (Aluminum Smelting). تعتمد هذه الطريقة بشكل أساسي على عملية تُدعى التحلّل الكهربائي (Electrolysis)، حيث يستخدم فيها التيار الكهربائي لإنتاج العناصر المكوّنة لمركّب كيميائي. يتحلّل هدروكسيد الألمنيوم إلى ألمنيوم وأكسجين (الشكل 2). تُطبّق عملية التحلل الكهربائي على السوائل فقط. ونظراً لعدم انحلال أكسيد الألمنيوم في الماء، فإنه يُحلّ في كريوليت منصهر (Na_2AlF_6)، مكون من أيونات Na^+ و AlF_6^{3-}.

يتحلّل أكسيد الألمنيوم مشكلاً أيون $Al_2OF_6^{2-}$ وأيون F^-، وذلك إثر تفاعله مع القليل من أيونات AlF_6^{3-} من مصهور الكريوليت (molten cryolite)، وفق ما يلي:



الشكل 1- دورة واقعية لتدوير الألمنيوم. تحصل عملية الاستخلاص عبر ثلاث مراحل: استخلاص البوكسايت، وتنقية الألمنيوم وصهر أولي. تنفّذ المراحل الأخرى على كلٍّ من الألمنيوم المستخلص والمدوّر على حدٍّ سواء.

$$Al_2O_3 + 4\,AlF_6^{3-} \longrightarrow 3\,Al_2OF_6^{2-} + 6\,F^-$$

يترسب الألمنيوم على الإلكترود السالب الذي يدعى كاثود (cathode) وفق تفاعل الإرجاع التالي (كسب إلكترونات):

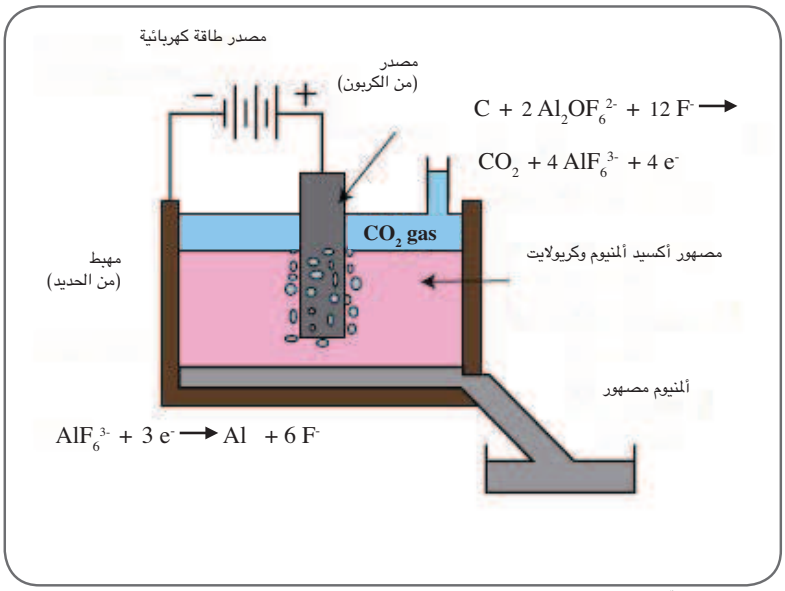
$$AlF_6^{3-} + 3\,e^- \longrightarrow Al + 6\,F^-$$

تتفاعل أيونات $Al_2OF_6^{2-}$ مع الإلكترود الموجب (anode) (المصنّع من الكربون) ليتشكل ثنائي أكسيد الكربون وأحادي أكسيد الكربون وفق تفاعل الأكسدة التالي (خسارة إلكترونات):

$$C + 2\,Al_2OF_6^{2-} + 12\,F^- \longrightarrow CO_2 + 4\,AlF_6^{3-} + 4\,e^-$$

وبدمج تفاعل الإذابة لأكسيد الألمنيوم وتفاعلي الأكسدة والإرجاع نحصل على التفاعل العام التالي:

$$2Al_2O_3 + 3\,C \longrightarrow 3\,CO_2 + 4\,Al$$



الشكل 2- تحلّل أكسيد الألمنيوم

تتضمن الخطوة التالية عملية صب مصهور الألمنيوم في مصبات أو قوالب وتركه يتصلب آخذاً الشكل المطلوب. تُمرّر بعد ذلك كتل أو قضبان الألمنيوم المتصلبة بشكل قسري عبر بكرات لتتحول إلى صفائح ذات سماكة أقلّ من 2.5 سم. تُقطع الصفائح لتصنّع كعبوات تُرسل إلى معامل صناعة المشروبات، حيث تُعبأ وتُختم وتُباع للمستهلك.

في العالم الغربي، تُجمع عبوات الألمنيوم وتُرسل إلى مركز إعادة التدوير لتُغسل وتُصنّف ثم تُسحق وتُرسل بعدها إلى معمل تصنيع الألمنيوم، حيث تُقطّع ويُعاد صهرها وتصلّب ثانية.

في الهند، تُجمع العبوات من أكوام القمامة وتُرسل إلى شركات خاصة صغيرة، لتغسل هناك من قبل أناس مثل حامد باستخدام الحمض في درجة حرارة الغرفة والضغط العادي. يُصهر بعد ذلك ألمنيوم العبوات في فرن درجة حرارته 660°C ويُصب مصهور الألمنيوم لاحقاً في قالب ليأخذ شكلاً معيناً.

إن عملية إعادة تدوير الألمنيوم أرخص بكثير من عملية استخلاصه التي تتطلّب رفع درجة الحرارة إلى 1000°C، إضافة إلى ضرورة استعمال مواد أخرى مثل الكريوليت (cryolite) وهدروكسيد الصوديوم، وكمية معتبرة من الكهرباء.

مزايا إعادة تدوير الألمنيوم

إن الميزة الأساسية للتدوير هي تقليص كمية النفايات اللازم دفنها أو حرقها. وبالنسبة للألمنيوم، هنالك ميزة أخرى تتمثّل في أن بديل إعادة تدويره في حال دفن عبوات الألمنيوم هو الحاجة لتصنيع عبوات جديدة من فلز الألمنيوم. لذلك، فإن عملية تدوير الألمنيوم لها ميزة اقتصادية إضافة إلى الميزة البيئية.

ليس من المفيد اقتصادياً إعادة تدوير كلّ المواد، فالبلاستيك، مثلاً، غالباً ما ينتج من مواده الخام بكلفة أرخص من إعادة تدويره. ولذلك غالباً ما تُحرق نفاياته أو تُدفن بسبب عدم جدوى تدويره.

هنالك معوقات أخرى تمنع إعادة تدوير بعض المواد، مثل الزجاج الأخضر، والسبب هو ليس عدم إمكانية إعادة تدوير الزجاج وإنما عدم إمكانية تغيير لونه حيث سيبقى أخضر للأبد. الكثير من العبوات الزجاجية الخضراء تُصدّر إلى الولايات المتحدة محتوية على مشروبات أجنبية الصنع مثل عبوات الجعة والنبيذ، لكن القليل من منتجات الزجاج الأخضر تُصنّع في الولايات المتحدة، وهذا يعني أن معظم الزجاجيات الخضراء لا يُعاد تدويرها هناك.

إن عملية إعادة تدوير الألمنيوم سهلة لأن الألمنيوم معدن غير قابل للصدأ كما هو الحال بالنسبة للحديد مثلاً.

تغيير حياة

الشكر لسكان منطقة دارافي وأحدهم حامد، لأن نسبة كبيرة من الألمنيوم يُعاد تدويرها في الهند. فلولا جهودهم لما أُعيد تدوير شيء على الإطلاق. ثمّة فرق كبير بين الهند والولايات المتحدة في هذا المجال، وهو أن الهند ليس لديها أية خطة أو برنامج لإعادة التدوير، ولا يلزم الهنود بفصل النفايات، في حين يُشجّع سكان الولايات المتحدة لفعل ذلك.

إن مئات الآلاف من الهنود يؤمّنون قوتهم من المواد القابلة للتدوير من حاويات القمامة الشعبية. ويعرّضهم ذلك إلى مخاطر صحية عديدة لأنهم يعملون في بيئة غير نظيفة. يواجه عمال معامل إعادة التدوير، مثل حامد، مخاطر صحية، فهم غير مزوّدين بأجهزة حماية، وبالرغم من ذلك، فهم يعملون بالقرب من أفران درجة حرارتها 660°C. فحامد، مثلاً، يعمل إحدى عشرة ساعة يومياً ويتمتع بوقت راحة قصير وليس لديه الفرصة ليلتحق بالمدرسة، إضافة إلى أنه وآخرين يعملون بشروط مروّعة، ولا بديل عن ذلك في كسب العيش.

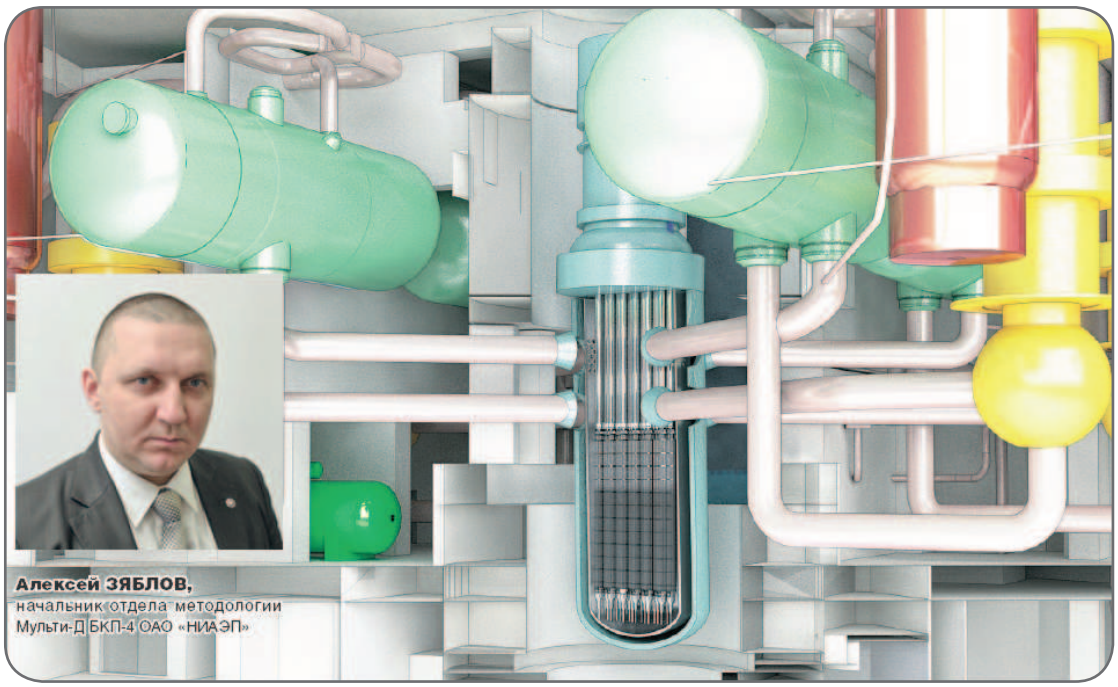
تبدو عملية إعادة التدوير في الولايات المتحدة كهواية جيدة لبعض من يريد تبنّيها. أما في الهند، فهي حبل النجاة لأناس يكافحون للبقاء على قيد الحياة وتحسين اقتصادهم المحلي، وهو ما يعمل على تذكيرنا بأن إعادة التدوير لا تستطيع فقط تحسين البيئة بل تستطيع تغيير الحياة أيضاً.

نُشر هذا الخبر في مجلة ***ChemMatters, April 2012***
ترجمة **حبيب شليويط**، هيئة الطاقة الذرية السورية.

من الفكرة إلى التجربة العملية

تقنية متعددة الأبعاد *Multi-D* في المشروع النموذجي والأمثلي لمفاعل الماء المضغوط «*VVER-TOI*»

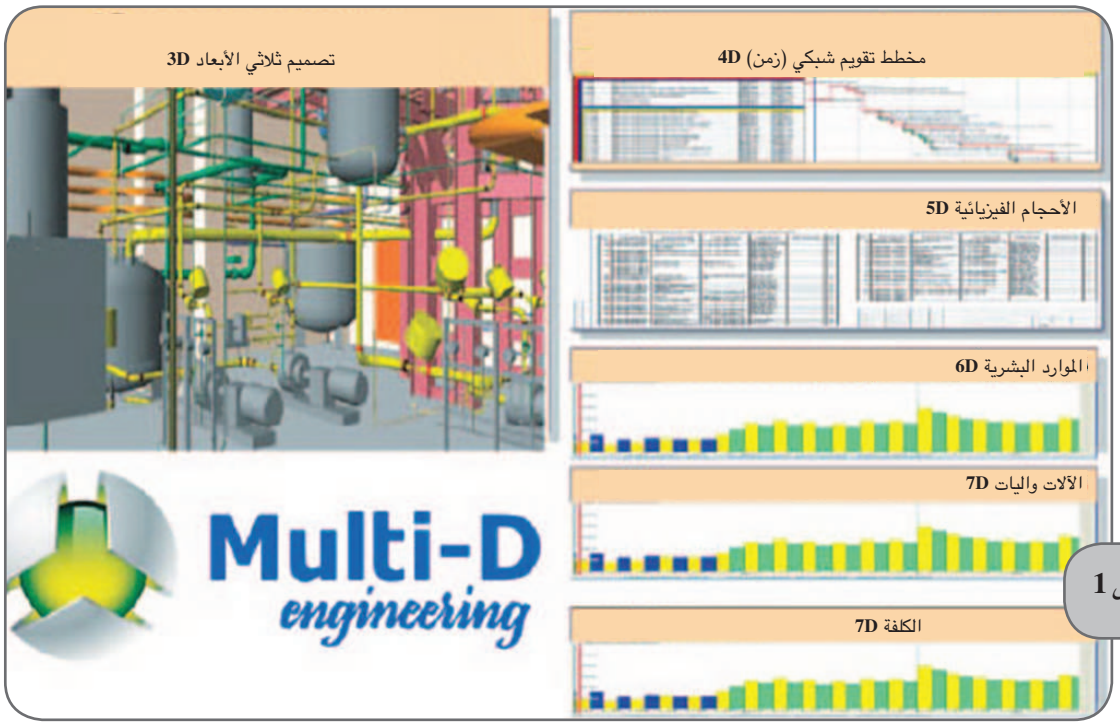
إعداد: ألكسي زيابلوف، رئيس قسم تقنية متعددة الأبعاد "*Multi-D*" الروسية



1- خلفية ظهور تقنية متعددة الأبعاد «Multi-D»

أدت الحاجة إلى نظام إدارة للمشاريع المتقدمة في عصر نهضة الطاقة الذرّية الروسية والانتقال إلى تشييد الوحدات الطاقية لمحطة الطاقة الذرّية، إلى ظهور منهجية جديدة في إعداد مخططات تقويم شبكية لمشروع بناء تلك الوحدات الطاقية، باستخدام الكود "Primavera". صاغت هذه المنهجية طريقة موحدة لإدارة المشاريع في كل المنشآت، على أساس منظومة مخططات تقويم شبكية متعددة المستويات.

ظهر توجه جديد لبناء نظم إدارة للمنشآت، ضمن إطار التعاون الدولي مع شركة توشيبا (اليابان)، خصوصاً في موضوع تطوير تقنية الأبعاد الستة D6، ولقد كان هذا التوجه في الأساس لإدراك الحاجة إلى استخدام وسائط معاصرة للعرض البصري ثلاثي الأبعاد D3 لتصميم محطة الطاقة الذرّية وتشييدها، وتشكيل فضاء معلوماتي مُوحّد، يجمع بين عمليات التصميم والتوضيع والتشييد والتجميع والاستثمار للمحطة. إن اقتحام الأسواق الدولية ومواجهة المنافسة الشديدة في بناء محطات طاقة ذرّية، والحاجة إلى إنشاء منظومة فعّالة لإدارة تشييد مشروع "VVER-TOI"، يضمن الإنجاز في أقصر زمن ممكن وأقل قدر من التكلفة وجودة البناء النموذجي للوحدات الطاقية لمحطة طاقة ذرّية، يتطلب فرض شروط لظهور نظام ابتكاري لإدارة المنشأة، تأخذ بالاعتبار خصوصية الهندسة الروسية. وبذلك تشكّلت في هذا القطاع بيئة فكرية جديدة لإدارة المشاريع، أطلق عليها تقنية متعددة الأبعاد "Multi-D"، (الشكل 1).



الشكل 1

2- المنهجية الابتكارية لتقنية "Multi-D" في عمليات إدارة المنشأة

ينطوي تطبيق تقنية "Multi-D" على تعديل المخطط التقليدي لإدارة مشروع بناء محطة طاقة ذرّية. وبناءً على الخبرة المتراكمة حالياً، تستخدم شبكة نظم متعددة المستويات لإدارة المنشأة بالاعتماد على مخططات تقويم شبكية، تعتمد على التخطيط «من الأعلى إلى الأسفل». يُشكل، في مرحلة إبرام عقد بناء المشروع، مخطط المستوى -1، الذي يُثبت المراحل المفتاحية لإنجاز المشروع. ويحضر عند إعداد وثائق المشروع، مخطط استراتيجي أكثر تفصيلاً لمنشأة الوحدات الطاقية من المستوى -2، والمبنية وفقاً للإطار الزمني الوارد في مخطط المستوى -1. ويُرسم، بنتيجة إعداد وثائق العمل، مخطط تشغيلي من المستوى-3 للسنة التقويمية الأولى، يأخذ أيضاً بالاعتبار المدد الزمنية والتواريخ، والتوجيهات الواردة في مخططي المستويين -1 و-2. تفرض المخططات التشغيلية من المستوى -4 على منجزي العمل تحقيقه ضمن المدد الزمنية والتواريخ المنصوص عليها في المخططات الزمنية للمستويات العليا، وضرورة التقيّد الدقيق بالمواعيد الإدارية والتي غالباً لا تُمكّن التقني من التخطيط على النحو الأمثل، وعليهم أيضاً أمثلة عملية بناء المنشأة، نظراً لعدم تضمن المخططات الإدارية آلية (إثبات) تقدير مدة العمل. وهذا أمر خطير، لاسيما عند تنفيذ مشروع جديد، بسبب غياب خبرة التشييد العملية. أما تقدير الوقت اللازم للعمل عند إدخال تقنية جديدة في التشييد، فيُعد إشكالية كبيرة. تقترح تقنية "Multi-D" استخدام آلية التخطيط «من الأسفل إلى الأعلى»، حيث تتشكل من البداية المخططات التشغيلية لأدنى المستويات، التي تستخدم فيها بيانات نظم صناعية (نورمات) لتقدير مدد الأعمال الابتدائية. تُوحد المخططات المثلى في مخطط لمستوى أعلى، ومن ثم تتم الأمثلة مرة أخرى عند مستوى أعلى، وهكذا، حتى يتم تشكيل مخطط «يُثبّت» المستوى-1. ولكن للنموذج الموصوف قيد ملحوظ ووحيد، وهو ضرورة وجود نموذج ثلاثي الأبعاد 3D مفصل للوحدة الطاقية في مرحلة مبكرة من مراحل إنجاز المشروع، ويمثل مشروع "VVER-TOI" هذه الإمكانية.

3- أخذت أفضل الخبرات الدولية بالحسبان عند إنشاء منظومة إدارة لمنشأة قائمة على أساس تقنية "Multi-D"

يُعدُّ إنشاء وإدخال منظومة إدارة لمنشأة الوحدة الطاقية، عملية معقدة. وهذا مرتبط إلى حدٍّ كبير بضرورة أمثلة التشييد، الموجه نحو تقليص مدة بناء المنشأة وكلفتها. يجب بناء نظام فعال للإدارة مع استخدام أعظمي لعمليات الأتمتة خلال عمر الوحدات الطاقية، بدءاً من التصميم وانتهاءً بخروج المنشأة من الاستثمار. ومن الضروري لذلك، تحليل الخبرة المتراكمة محلياً ودولياً في مجال تشييد وإدخال نظم إدارة المنشآت.

تناولت الدراسة تجربة التطبيق العملي لأنظمة إدارة تشييد الشركات الهندسية الكبرى في العالم مثل: CEA (مشروع ITER) وتوشيبا وميتسوبيشي للصناعات الثقيلة وشركة البناء الصينية للهندسة النووية وشركة Siemens AG وشركة بناء السفن Mayer Werft.

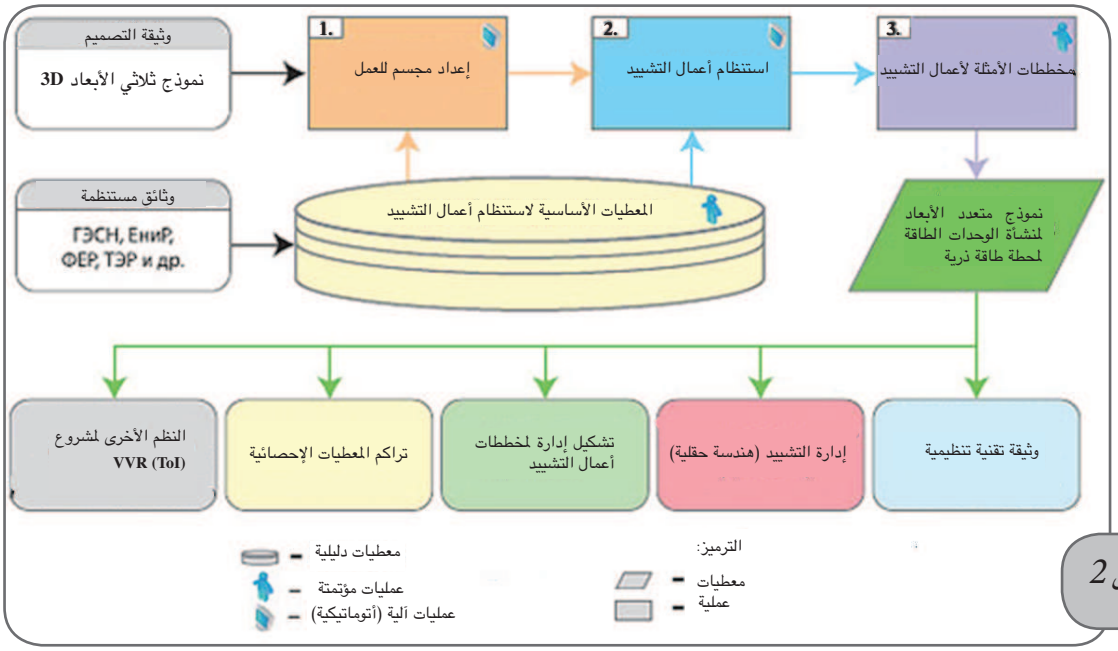
درس المقترح من قبل ستةٍ من مصنّعي البرمجيات المتخصصة في تطوير مشاريع نظم المعلومات لإدارة المشاريع باستخدام التصوير ثلاثي الأبعاد D3، وهي: Dassault Syst mes, Intergraph, Bentley, AVEVA, Siemens, Synchro وقد مكن تحليل أفضل الخبرات الدولية من الدراسة التفصيلية للقضايا ولمشاكل إدخال نظم إدارة المنشآت المعقدة، التي قد نصطدم بها عند إنشاء النظم وضبطها، وبالتالي تجنب تكرار الوقوع في عدد من أخطاء الآخرين عند تنفيذ منظومة إدارة المنشأة في إطار مشروع "VVER-TOI".

أدت نتائج التحليل إلى خلاصة، أنه لا يتوفر حالياً في العالم، نظام إدارة جاهز ومجرب للمنشآت الصناعية المعقدة، يُلبي جميع احتياجات مشروع "VVER-TOI".

وذلك لتقليل المخاطر عند إنجاز البرمجيات وفق تقنية "Multi-D" بشرط اختصار فترة تنفيذ مشروع "VVER-TOI" والحفاظ على البيئة التنافسية بين منتجي البرمجيات. وهكذا يمكن القول:

- تُعدُّ شركة Dassault أكثر مجموعة الأدوات تقدماً للتنفيذ الآلي للمشاريع متعددة الأبعاد "Multi-D"، وتملك توظيفاً متطوراً لأعمال البناء صالحاً لإعداد الوثائق الضرورية المختلفة،
- في حين تُعدُّ شركة Intergraph مناسبة لتنفيذ مسائل الهندسة الحقلية مباشرة في موقع تشييد محطة الطاقة الذرّية، ومتكاملة بشكل عميق مع المعطيات الهندسية (بما في ذلك مشروع ثلاثي الأبعاد 3D) ولديها بنية تحتية أكثر بساطة.

بعد تحديد منتجات البرمجة، يبدأ العمل لاستكمال البرامج



الشكل 2

4- دراسة الوظائف وتحديد البرامج

مكنت دراسة أفضل الخبرات إلى فهم أفضل لعمليات إدارة المنشأة وتنظيم الاحتياجات لتقنية "Multi-D"، وتقرر أخيراً إجراء تحليل مقارن واختيار المنتجات البرمجية من أجل استكمال العمل. أعُدت بالتعاون مع شركة "K4"، طريقة فريدة من نوعها للتحليل المقارن للمنتجات البرمجية، تعتمد على تقدير كل ناتج بالتوافق مع لائحة المعايير المتفق عليها، والتحقق من مجموع قرائنها.

وقد ساهم التقدير المنفذ بالتعاون مع ممثلين عن مشروع الطاقة الذرّية وفرع تصميم المشاريع لاتحاد الطاقة الذرّية الروسية، في إبراز أهم المتصدرين في سوق البرمجيات المتعلقة بموضوع تقنية "Multi-D" وهما شركتا: Dassault Syst mes وntergraph. لقد تقرر استكمال إدخال تقنية "Multi-D" على أساس المنتجات البرمجية، وصياغة الإجراءات التفصيلية للعمليات التجارية لمنظومة إدارة التشييد باستخدام تقنية "Multi-D".

5- إعداد نموذج الإجراءات التجارية في إطار تحقيق تقنية "Multi-D"

يتمثّل هدف إعداد العمليات التجارية التفصيلية لتقنية "Multi-D" لتشييد الوحدات الطاقية في الاعتماد على تدفق المعلومات الأساسية لضمان وضع تصورات مرئية من جميع المشاركين في المشروع «VVER-TOI»، بشأن منظومة إدارة المنشأة. يبيّن الشكل 2 المخطط الأساسي لتحقيق منظومة إدارة منشأة باستخدام تقنية "Multi–D" على مستوى مجموعات الإجراءات. تُعدُّ بيانات النموذج الثلاثي الأبعاد 3D الأساس للنمذجة باستخدام تقنية

"Multi-D" مع مواصفات عناصر الوحدات الطاقية التي لا تدخل في هذا النموذج. تدخل هذه البيانات في منظومة إدارة التشييد من منظومة إدارة البيانات الهندسية والتصميمية. تُعدُّ مجموعتا العمليات 1 و2 المسؤولة عن إعداد البيانات المؤتمتة لتشكيل مخططات الأداء النموذجي لكل عنصر، مع الإشارة إلى حجم العمل والآليات، والأدوات والتجهيزات والتكلفة. تتشكل مواصفات العناصر المركبة خلال إنجاز مجموعة العمليات1 بالاستناد إلى بيانات المشروع. ويشير كلّ عنصر مركب إلى مجموعة عناصر(أو عنصر) من النموذج ثلاثي الأبعاد 3D، والتي تقترن مع عملية التشييد وتتضمن موقع المشروع والعناصر المركبة والمتجاورة. تُنظم كل العناصر المركبة وفق فضاء محدد: علامات، أماكن (مناطق). ويتشكل بنتيجة إنجاز مجموعة العمليات1:

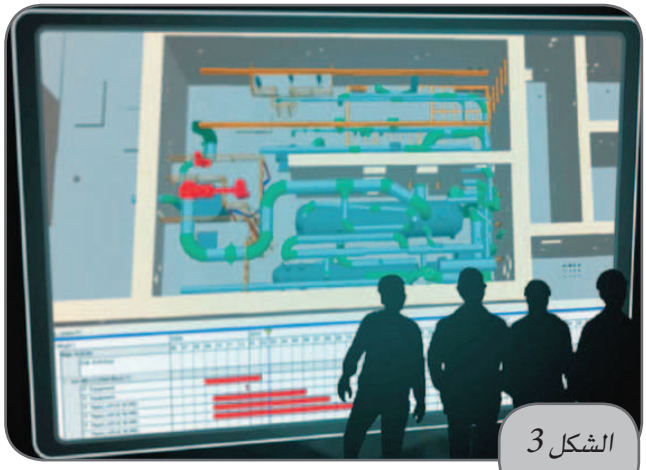
- قائمة بالعناصر المركبة لتحديد أطقم العمل وفق عملية التركيب؛
- هيكل المبنى وفق علامات وأماكن (مناطق) كأساس لإنشاء مخطط WBS لنموذج "Multi-D".

تتشكل خلال إنجاز مجموعة العمليات 2، لكل عنصر من العناصر المركبة، جملة من الأعمال. وتُختار الوسائل الآلية والمعدات والأدوات اللازمة لإنجاز هذه الأعمال. تُحدد أطقم العمال والمصاريف اللازمة للقيام بالعمل. وتجري استناداً للبيانات الناتجة، أتمتة التقدير الآلي لفترة كل عمل.

تسمح مجموعة العمليات 3:

- بإنشاء مخططات نموذجية، بالاستناد إلى البيانات الناتجة عن مجموعتي العمليات1 و2، لإنجاز مخطط العمل وفق المناطق (أماكن العمل والعلامات) لكل نوع من الأنشطة (أعمال بناء وأعمال حرارية– ميكانيكية وأعمال كهربائية)؛
- تحديد التسلسل الأكثر فعالية لأداء الأعمال وفق الفعالية، مع توزيع القوى العاملة والآلات، وذلك عن طريق أمثلة المنحنيات ضمن المنطقة بين المناطق؛
- بالحصول على مخطط مقترن مع التجميع لإنجاز الأعمال لجميع أنواع الأنشطة، مع التوزيع المتجانس لموارد العمل والآلات والتكاليف، وذلك عن طريق تشكيل مخططات تابعة لنوع النشاط فيما بينها.

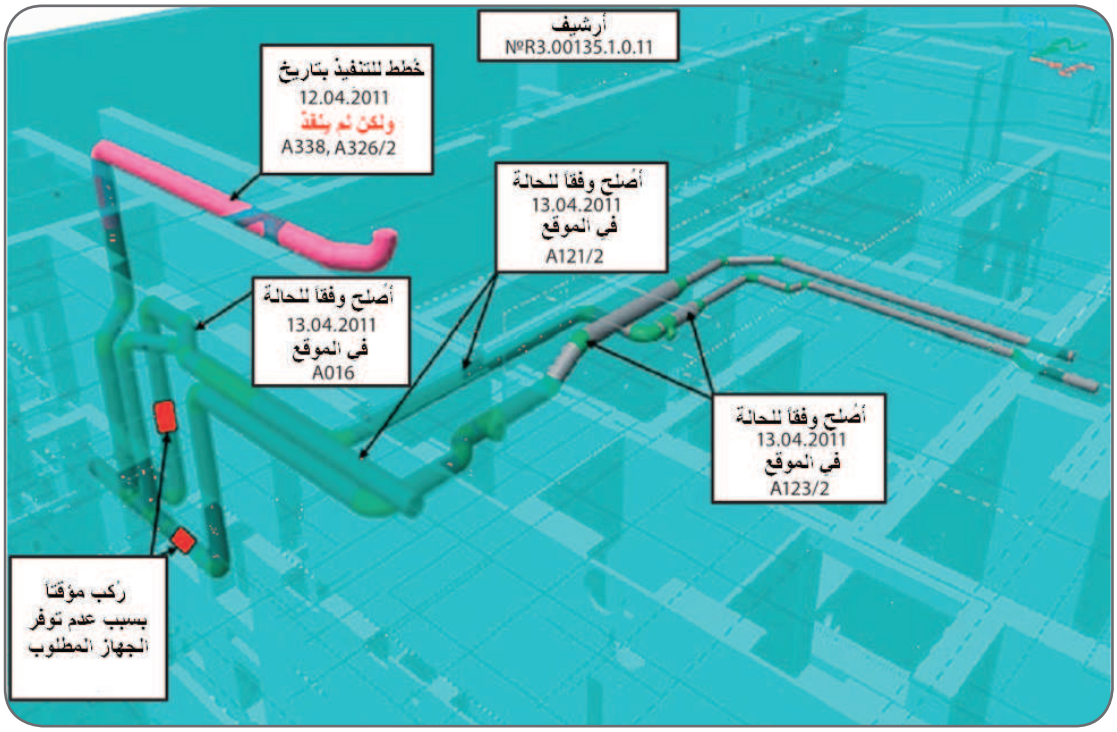
يُعدُّ النموذج "Multi-D" لتشييد الوحدات الطاقية لمحطة طاقة ذرّية، نتيجة لإنجاز مجموعة العمليات 3. يُحضّر استناداً إلى معطيات نموذج "Multi-D" لتشييد الوحدات الطاقية لمحطة طاقة ذرّية، ملحق التشكيل المؤتمت كوثيقة تنظيمية– تقنية. تُنفذ هندسة



الشكل 3

حقلية، خلال مرحلة إنجاز أعمال التركيب والتشييد، وينتج عنها مخطط عمل مفصل على مستوى المهام اليومية مع استخدام مجسم منظور ثلاثي الأبعاد (الشكل 3).

يجري خلال تنفيذ أعمال التركيب والتشييد، اختيار المعطيات الحقيقية وفقاً لفترات إنجاز الأعمال والمصروف وأطقم العمال والآلات والتجهيزات المستخدمة. تُستخدم هذه البيانات لتدقيق نموذج Multi-D، الأمر الذي يسمح بسرعة وكفاءة الاستجابة للحالات القاهرة. يسمح نظام إدارة البناء بإعداد مخططات المستويين-3 و-4 من تشكيل وأمثلة نموذج "Multi-D" للوحدات الطاقية. تتزامن المخططات مع منحنيي المستويين-1 و-2 المعدّين وفقاً للكود Primavera في مرحلة إبرام عقد المشروع. يجري تدقيق منحنيات المدد من تقنية Multi-D على موضوع الانحراف عن فترات إدارة التشييد والأحداث التقنية المفتاحية المدرجة ضمن الالتزامات بموجب العقود.



تُبنى وظائف تقنية "Multi-D" لتشييد الوحدات الطاقية، على استخدام قاعدة معلومات دليلية– مستنظمة لمشروع "VVER-TOI" مصدر للمعلومات، يضمن معايير إلكترونية ومتطلبات وقواعد ومواقع ومعلومات أخرى. تُعدُّ قاعدة المعلومات الدليلية– المستنظمة جزءاً من نموذج اقتصادي لتشييد محطة طاقة ذرّية. وتوفر المنظومة، التحديث المستمر لقاعدة المعلومات الدليلية– المستنظمة، عن طريق تراكم المعلومات الحقيقية والإحصائية المتعلقة بتشييد المنشأة.

تتكامل تقنية "Multi-D" لتشييد الوحدات الطاقية مع منظومات أخرى لمشروع "VVER-TOI" (منظومة إدارة معطيات التخطيط والتصميم ومنظومة إدارة الشراء والتوريد)، كذلك مع المنظومات المشمولة في برنامج الطاقة الذرّية الروسية «Rosatom».

6- استمرار تطوير البرنامج من أجل تقنية "Multi-D"

يستمر تطوير برامج تقنية Multi-D لمشروع "VVER-TOI" من قبل الشركتين المنتجتين: Intergraph و DASSAULT SYSTEMES. يُستخدم الوصف التفصيلي لمنظومة معلومات العمليات– التجارية، المستخدمة لتشييد الوحدات الطاقية على أساس تقنية MULTI-D، كمعطيات دخل لمواصلة التطوير. وهكذا، لا تكون المنظومة وفق الكود؛ ولكن بدلاً من ذلك تشكلت مسألة التطوير دون مراعاة لرغبات البائعين. في البداية، أدى ذلك إلى عدة صعوبات عند التواصل مع مطوري الكود، ولكن بعد ذلك سمح بالتنفيذ الكامل للوظائف الإدارية اللازمة للمنشأة.

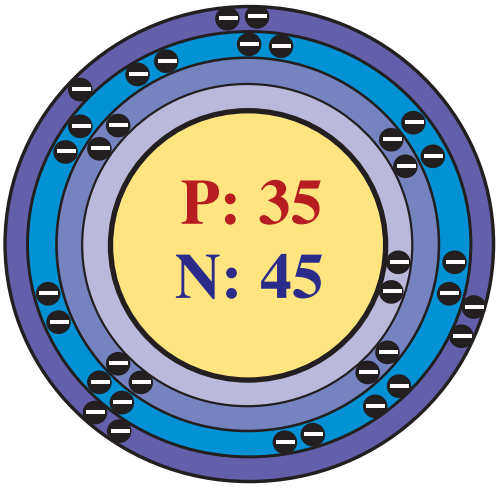
7- التطوير المستقبلي لتقنية "Multi-D"

نُفذت رسمياً كلّ مراحل العمل بشأن وضع منظومة إدارة للمنشأة وتشكيل منهجية لتقنية "Multi-D" لمشروع "VVER-TOI". ولكن يتطلب إتمام التطوير وضبط البرامج، إنجاز عمل كبير لترتيب الوثائق التنظيمية، وإجراء تدريب للمستخدمين والتشغيل التجريبي للمنظومة. وعلى الرغم من ذلك، فنحن في بداية طريق طويلة لاستخدام الإمكانيات الكاملة لتقنية "Multi-D". يسمح فقط الاستخدام الفعلي في مواقع البناء، بإنشاء آلية فعّالة لإدارة المشاريع أثناء تشييد الوحدات الطاقية لمحطة طاقة ذرّية، وبالتالي إيجاد ميزة تنافسية للتكنولوجيا الروسية في السوق العالمية للهندسة النووية.

نُشر هذا الخبر في مجلة الطاقة الذرّية الروسية، العدد 12، عام 2012،
ترجمة: د. محمد سوقية، هيئة الطاقة الذرية السورية.

البروم

الرمز:	Br
العدد الذرّي:	35
الكتلة الذرّية النسبية:	79.904 (1)
درجة انصهاره:	-7.2 °C
درجة غليانه:	58.8 °C
كثافته	3.1028 $g.cm^{-3}$
حالات الأكسدة:	7, 5, 4, 3 , 1, -1



البروم عنصر كيميائي رمزه Br وعدده الذرّي 35، ويقع في مجموعة الهالوجينات في الجدول الدوري. يكون البروم في درجة حرارة الغرفة سائلاً أحمر بنياً مدخناً، وهو أكّال وسام، وذو خصائص متوسطة بين خصائص الكلور واليود. لا يوجد البروم حراً في الطبيعة، إلا أنه يوجد على شكل أملاح هالوجينية فلزية متبلورة حلولة وعديمة اللون، مشابهة لملح الطعام.

يوجد البروم بتركيز أندر من تراكيز ثلاثة أرباع العناصر الكيميائية في القشرة الأرضية، ومع ذلك، فقد سبّبت انحلالية أيونه العالية تراكمه في المحيطات، ويجري استخلاصه بسهولة بسويات تجارية من تجمعات المياه الملحية. أُنتج حوالي 556000 طن في العام 2007، وهي كمية مشابهة لما أنتج من عنصر المغنيزيوم الأكثر وفرة بكثير.

وفي درجات الحرارة العالية، يجري الحصول بسهولة على ذرّات البروم من مركّبات البروم العضوية، وهي عملية تتجسد بإنهاء تفاعلات متسلسلة كيميائية لجذور حرة. وهذا ما يجعل هذه المركّبات مفيدة في إخماد الحرائق، وهو الاستعمال الصناعي الرئيسي للبروم، إذ يستهلك أكثر من نصف الإنتاج العالمي لهذا العنصر. تتيح الخاصية نفسها لمركّبات برومية عضوية طيارة، معرضة للنشاط الشمسي، تشكيل ذرّات بروم خالصة وانبعاثها في الغلاف الجوي، مسببة تدمير طبقة الأوزون بسبب فعاليتها العالية جداً. ورغم هذا الأثر الجانبي غير المرغوب فيه فقد جرى تشكل العديد من المركّبات العضوية البرومية الطيارة مثل بروميد المثيل، وهو مبيد حشري استَهلك سابقاً الكثير من البروم الصناعي، إلا أن تصنيعه أوقف فيما بعد. تحدث الاستعمالات المتبقية في سوائل حفر الآبار، بسبب أن البروم يُعدُّ مادة وسيطة في صناعة الكيماويات العضوية، وفي صناعة أفلام التصوير.

لا توجد للبروم وظيفة أساسية لدى الثدييات، مع أنه يستعمل بشكل تفضيلي إلى جانب الكلوريد من قبل أنزيم مضاد للطفيليات في الجهاز المناعي البشري. كانت هناك حاجة للبروميدات العضوية، ويحصل إنتاجها بشكل أنزيمي من البروميد بواسطة بعض أشكال الحياة الدنيا في البحر، الطحالب بشكل خاص، علماً أن رماد الأعشاب البحرية كان أحد مصادر اكتشاف البروم. وفي المجال الصيدلاني، يمتلك أيون البروم، Br^-، تأثيرات كابحة للجهاز العصبي المركزي، كما كانت أملاح البروم واحدة من المسكنات الطبية الرئيسية في فترة ماضية، قبل أن تحلّ محلّها مخدرات ذات مفعولٍ أقصر ديمومة.

خصائصه

الفيزيائية

يوجد البروم العنصري على هيئة جزيء ثنائي الذرّة، Br_2. وهو سائل كثيف متحرك وأحمر بني وضعيف الشفافية، ويتبخر

بسهولة في الظروف العيارية من الضغط ودرجة الحرارة ليعطي بخاراً برتقالياً (يشبه لونه لون ثنائي أكسيد النتروجين) ذا رائحة كريهة جداً تشبه رائحة الكلور. وهو واحد من عنصرين وحيدين في الجدول دوري المعروفين بأنهما سائلان في درجة حرارة الغرفة (الزئبق هو العنصر الثاني، مع العلم أن كلاً من السيزيوم والغاليوم والروبيديوم ينصهر في درجة حرارة أعلى بقليل من درجة حرارة الغرفة).

يتحول البروم إلى معدن عند تعرضه إلى ضغط أكبر من الضغط الجوي بـ 540000 مرة تقريباً. ويتحول إلى بنية معينية مركزية الوجه a face centered orthorhombic structure عند ضغط أكبر من الضغط الجوي بـ 736300 مرة. وعند ضغط أكبر من الضغط الجوي بـ 981818 مرة يتحول إلى هيئة شكل أحاديّ الذرّة monoatomic معيني مركزي.

عنصر البروم

الكيميائية

يتمتع البروم بفعالية أقل من فعالية الكلور ولكنه أكثر تفاعلاً من اليود، ويتفاعل بعنف مع المعادن، خاصة بوجود الماء، مشكلاً أملاح البروم. وهو أيضاً فعّال تجاه معظم المركّبات العضوية، خاصة بوجود الإضاءة، بصفتها شرطاً يساعد على تفكك جزيئه الثنائي الذرّة لتوليد جذور البروم الحرة:

$$Br_2 \rightarrow 2Br$$

ينحل البروم قليلاً في الماء، إلا أنه شديد الانحلال في المحلات العضوية مثل ثنائي كبريتيد الكربون ورباعي كلوريد الكربون والكحولات الأليفاتية وحمض الخل.

نظائره

يوجد نظيران مستقران للبروم، ^{79}Br (50.69%) و^{81}Br (49.31%). ويوجد على الأقل 23 نظيراً آخر معروفة. العديد من نظائر البروم هي نواتج انشطار. وكثير من نظائر البروم الثقيلة الناتجة من الانشطار هي مُصدِرات نترونية متأخرة. وتكون جميع نظائر البروم المشعّة قصيرة العمر نسبياً. إن أطول عمر نصف فيها يعود للنظير ^{77}Br المنقوص النترونات ويبلغ 2376 يوماً. ويبلغ أطول عمر نصف للنظير ^{82}Br الغني بالنترونات 1471 يوماً. وهناك عدد من نظائر البروم يُظهر مماكبات متبدلة الاستقرار. كما يُظهر النظير ^{79}Br المستقر مماكباً مشعاً، بعمر نصف قدره 4.86 ثانية، إذ إنه يضمحل عبر انتقال تماكبي ليصل إلى الحالة الأساسية المستقرة.

تاريخه

جرى عزل البروم من قبل الكيميائيين، كارل جاكوب لويغ Carl Jacob Lowig وأنطوان جيروم بالارد Antoine Jerome Balard، في العامين 1825 و1826على التوالي، وكل على حدة. وَجد بالارد كيماويات البروم في رماد الأعشاب البحرية في المستنقعات المالحة حول مدينة مونبلييه Montpellier بفرنسا. واستعملت الأعشاب البحرية للحصول على اليود، لكنها تحوي البروم أيضاً. قطّر بالارد محلول رماد العشب البحري المشبع بالكلور من أجل الحصول على البروم. تشبه خصائص المادة الناتجة خصائص وسطية بين خصائص الكلور واليود. حاول بهذه النتائج إثبات أن المادة كانت كلوريد اليود (ICl)، وبعد فشله في التوصل إلى ما كان يظنه تأكد بأنه وجد عنصراً جديداً وسماه موريد muride، مشتقاً من الكلمة اللاتينية muria التي تعني الماء المالح.

عزل لويغ البروم من نبع مياه معدنية عام 1825 في مدينته باد كروزناش Bad Kreuznach. استعمل لويغ محلولاً لملح فلزي مشبعاً بالكلور واستخلص البروم بوساطة ثنائي إتيل الإيتر. وبعد تبخير الإيتر بقي لديه سائل بنّي. ووظف هذا السائل بصفته عينة لعمله لطلب وظيفة في مختبر ليوبولد جميلان Leopold Gmelin في هيدلبرغ Heidelberg. تأخر نشر نتائجه ونشر بالارد نتائجه أولاً.

بعد ذلك قام كل من لويس نيكولا فوكلن Louis Nicolas Vauquelin ولويس جاك تينارد Louis Jacques Thénard وجوزيف لويس غاي لوساك Joseph-Louis Gay-Lussac بإعادة تجارب الشاب الصيدلاني، بالارد، وعرضت النتائج بمحاضرة في أكاديمية العلوم، ثم نشرت في حوليات الكيمياء والفيزياء. لم يُنتج البروم بكميات كبيرة حتى العام 1860.

كان الاستعمال التجاري الأول في ألواح فضية، إلى جانب بعض التطبيقات الطبية البسيطة. وفي العام 1840 اكتُشف أن البروم يتمتع بمميزات تفوق ميزات بخار اليود المستعمل سابقاً لإنشاء طبقة من هاليد الفضة الحساسة للضوء والمستعملة في صناعة الألواح الفضية.

استُعمل كل من بروميد البوتاسيوم وبروميد الصوديوم بصفتهما مُضادّي تشنج ومهدئين في نهاية القرن التاسع عشر وبدايات القرن العشرين، إلى أن حلّت محلهما تدريجياً هدرات الكلورال، $C_2H_3Cl_3O_2$، ومن ثمّ أدخلت الباربيتورات barbiturates. وفي السنوات الأوائل من الحرب العالمية الأولى استعملت مركّبات البروم مثل بروميد الكزيليل بصفة غاز سام.

وجوده

لا يوجد عنصر البروم ثنائي الذرّة، Br_2، بحالة طبيعية. وبدلاً من ذلك، فهو موجود حصراً على هيئة أملاح البروم في كميات منتشرة في صخور القشرة الأرضية. وبسبب الرشح، تراكمت أملاح البروم في مياه البحر بتركيز يصل إلى 65 جزءاً من مليون جزء، أي بتركيز أقل من تركيز الكلور. يمكن استخلاص البروم بشكل اقتصادي من آبار المياه المالحة الغنية به ومن مياه البحر الميت (الحاوية على 50000 جزء من مليون جزء). يوجد البروم في القشرة الأرضية بتركيز وسطي مقداره 0.4 أجزاء من مليون جزء، مما يضعه في المرتبة 62 بين العناصر الأكثر وفرة. ويتراوح تركيز البروم في الأتربة عادة بين 5 و40 جزءاً من مليون جزء، إلا أن بعض الأتربة البركانية يمكن أن تحوي حتى 500 جزء من مليون جزء. إن تركيز البروم في الغلاف الجوي ضعيف جداً، وهو بحدود بضعة أجزاء من تريليون جزء فقط. يوجد عدد كبير من مركّبات البروم العضوية بكميات صغيرة في التربة.

توجد احتياطيات البروم في منطقة شاندونغ الصينية وفي مياه البحر الميت. أما الاحتياطيات الكبيرة فتوجد في الولايات المتحدة الأمريكية في مقاطعتي كولومبيا والاتحاد في أركانساس.

إنتاجه

يُعدُّ إنتاج البروم موضوعاً حيوياً، وقد تضاعف إنتاجه ست مرات منذ ستينيات القرن الماضي. أُنتج عالمياً حوالي 556000 طن (أي بقيمة 2.5 بليون دولار أمريكي تقريباً) في العام 2007. تعالج المياه المالحة الغنية بالبروم بغاز الكلور، من خلال تدفق هذا الأخير مع الهواء عبر المياه. إذ يتم في هذه المعالجة أكسدة أيونات البروميد إلى البروم بوساطة غاز الكلور.

$$2\ Br^- + Cl_2 \rightarrow 2\ Cl- + Br_2$$

طريقة الإنتاج في المختبر

لا يحضر البروم عادة في المختبر، وذلك بسبب وفرته التجارية وإمكانية تخزينه على المدى البعيد. ورغم ذلك، يمكن تحضير كميات صغيرة من البروم عبر تفاعل بروميد الصوديوم الصلب مع حمض الكبريت المركز (H_2SO_4). تتمثل المرحلة الأولى بتشكل بروميد الهدروجين (HBr)، وهو عبارة عن غاز، ولكن، إضافة إلى ذلك، وتحت ظروف هذا التفاعل، يتأكسد قليل من HBr بوساطة حمض الكبريت ليتشكل البروم ($_2Br$) وثنائي أكسيد الكبريت (SO_2).

$$NaBr\ (s) + H_2SO_4\ (aq) \rightarrow HBr\ (aq) + NaHSO_4\ (aq)$$

$$2\ HBr\ (aq) + H_2SO_4\ (aq) \rightarrow Br_2\ (g) + SO_2\ (g) + 2\ H_2O\ (l)$$

هناك أيضاً طرائق بديلة تتمثل بتفاعل حمض غير مُؤكسِد مثل حمض بروم الماء المدّد مع فوق برومية الصوديوم، BrO، علماً أن حمض فوق البروم، HBrO، المتشكل منهما يكون غير ثابت بوجود البروميد، الذي يُرجَع بواسطته تبعاً للتفاعل التالي:

$$2\ OBr^-\ (aq) + 4\ HBr\ (aq) \rightarrow 2Br2 + 2H_2O + 2Br^-$$

التفاعلات هنا هي عكس تفاعلات الإبدال disproportionation reactions للبروم العنصري، وتسمى إبدالات مشتركة comproportionation. ثمة تفاعل مماثل مع فوق كلورات الصوديوم، الحمضية، والكلور، مؤدية إلى الكلور العنصري.

تعطي التفاعلات المتضمنة عامل أكسدة، مثل فوق منغنات البوتاسيوم أو ثنائي أكسيد المنغنيز، مع أيونات البروميد بوجود حمض، تعطي البروم أيضاً في التفاعلات المماثلة لتشكل عنصر الكلور واليود من حمض ومُؤكسِد.

مثله مثل اليود، ينحل البروم في الكلوروفورم لكنه قليل الانحلال في الماء. يمكن زيادة انحلاليته في الماء بوجود أيونات البروميد. تُحضّر محاليل البروم المركزة بشكل نادر في المختبر بسبب المخاطر. ومثلما هي الحال مع محاليل الكلور أو محاليل اليود، تكون ثيوكبريتات الصوديوم عاملاً فعالاً في إرجاع البروم إلى بروميد عديم اللون والرائحة، وهكذا نكون في حالة تعامل مع بقع وروائح من العنصر في أماكن غير مرغوب فيها. وللسبب نفسه، تستعمل الثيوكبريتات في التصوير للتعامل مع البروم الحر في بروميد الفضة الداخل في المستحلبات الفلمية.

مركّباته وكيمياؤه

في الكيمياء العضوية

كما هو الحال مع الهالوجينات الأخرى، يَحلّ البروم محلّ الهدروجين في المركّبات الهدروكربونية، مرتبطاً بشكل تشاركي مع ذرّات الكربون. و كما هو الحال مع الهالوجينات الأخرى أيضاً،

يكون ناتج ارتباط البروم مع الكربون في هذا الارتباط، C-Br، عديم اللون عادة إذا كان المركّب قبل الاستبدال عديم اللون. ينتج عن الاستبدال بالبروم المرتبط تشاركياً زيادة في كثافة المركّب العضوي وارتفاع في درجة انصهاره.

تحدث بَرْوَمَةُ المركّبات العضوية إما بتفاعلات الضمّ أو بتفاعلات الاستبدال. يخضع البروم إلى الألفة الإلكترونية في حالة الضم إلى الروابط المضاعفة في الألكِنات alkenes، وذلك عبر وسيط أيوني حلقي يحوي البروم. يؤدي هذا التفاعل في محاليل لا مائية، مثل ثنائي كبريتيد الكربون، إلى منتج ثنائي البروم. وعلى سبيل المثال، سيُنتج التفاعل مع الإتيلِن المركّب التالي: 2،1-ثنائي بروم الإيتان. يخضع البروم أيضاً إلى تفاعل ضم بالألفة الإلكترونية مع الفينولات والأنيلينات. وعندما يستعمل البروم على هيئة محلول مائي، تتشكل كمية قليلة من بروموهدرين إضافة إلى مركّب ثنائيّ البروم. وهكذا تُستعمَل وثوقية فعالية محلول البروم المائي بصفته عامل اختبار لوجود الألكِنات والفينولات والأنيلينات. وكغيره من الهالوجينات الأخرى، يشارك البروم في تفاعلات الجذور الحرة. وعلى سبيل المثال، تتم برومة الهدروكربونات عند معالجتها مع البروم بوجود الضوء.

يمكن للبروم بسهولة في بعض الأحيان برومة حموض كربوكسيلية في الموقع ألفا α–position بوجود كمية قليلة من الفسفور. تُعدُّ هذه الطريقة، تفاعل هيل–فولهار–زيلنسكي، أساساً للطريقة التجارية من أجل الحصول على حمض بروم الخل. تُفضل البروميدات العضوية عادة على الكلوريدات الأقل فعالية العوامل الحاوية لليوديدات الأكثر كلفة. وهكذا، غالباً ما تُولّد مركّبات غرينيار ومركّبات الليثيوم العضوية من البروميدات المقابلة.

جرى التحقق من أن بعض المركّبات الحاوية على البروم تستنزف الأوزون وأنها تتراكم في الأجسام الحية. وكنتيجة لذلك، توقفت صناعة العديد من مركّبات البروم، وُمنعت، أو يجري العمل على إيقاف تصنيعها. وقد أشار بروتوكول مونتريال إلى ضرورة إيقاف تصنيع هذه المركّبات.

في الكيمياء اللاعضوية

تخضع مركّبات البروم اللاعضوية إلى تنوع في حالات الأكسدة التي تتراوح بين -1 و+7. ففي الطبيعة، تكون الحالة المسيطرة هي (Br^-)، وانطلاقاً من حالة الأكسدة -1 تكون جميع المخرجات عائدة بشكل كامل للكائنات الحية ولفعل البروم مع المؤكسدات الناجمة عن فعل حيوي، مثل الأكسجين الحر free oxygen.

كما في حالة الهالوجينات الأخرى، يكون أيون البروم عديم اللون، ويشكل عدداً من الأملاح الفلزية الأيونية الشفافة، مماثلاً بذلك حالة الكلور، ويكون أيون البروم شديد الانحلال في الماء.

ندرج فيما يلي أمثلة من مركّبات لحالات الأكسدة المتنوعة للبروم:

حالات أكسدة البروم	المركّب
1-	HBr
0	Br_2
1+	BrCl
3+	BrF_3
5+	BrF_5
5+	BrO_3^-
7+	BrO_4^-

يقوم البروم بدور مؤكسِد، عند أكسدة أيونات اليود إلى اليود، ويكون بذلك قد أُرجِعَ هو إلى البروميد:

$$Br_2 + 2\ I^- \rightarrow 2\ Br^- + I_2$$

يمكن للبروم أن يؤكسِدَ المعادن وأشباه المعادن أيضاً إلى بروميداتها المقابلة. ويكون البروم غير الرطب أقل فعالية تجاه العديد من المعادن من البروم الرطب. يتفاعل البروم الجاف بشكل عنيف مع الألمنيوم والتيتانيوم والزئبق إضافة إلى العناصر القلوية الترابية والمعادن القلوية.

يؤدي البروم المنحل في المحلول القلوي إلى مزيج من البروميد وفوق البروميت:

$$Br_2 + 2\ OH^- \rightarrow Br^- + OBr^- + H_2O$$

يُعدُّ فوق البروميت مسؤولاً عن تبييض محاليل البروميد. ويؤدي تسخين هذه المحاليل إلى تحول فوق البروميت إلى برومات، وهو عامل أكسدة قوي مشابه تماماً للكلورات.

$$3BrO^- \rightarrow BrO_3^- + 2Br^-$$

وبعكس مسار تشكل فوق الكلورات، لا يمكن الحصول على فوق البرومات عبر التحلل الكهربائي إنما فقط عبر تفاعل محاليل البرومات مع الفلور أو الأوزون.

$$BrO_3^- + H_2O + F_2 \rightarrow BrO_3^- + 2HF$$

$$BrO_3^- + O_3 \rightarrow BrO_4^- + O_2$$

يتفاعل البروم تفاعلاً عنيفاً وانفجارياً مع معدن الألمنيوم، مشكلاً بروميد الألمنيوم:

$$2Al + 3Br_2 \rightarrow 2AlBr_3$$

يتفاعل البروم مع الهدروجين الغازي ويعطي بروميد الهدروجين:

$$H_2 + Br_2 \rightarrow 2HBr$$

كما يتفاعل البروم مع يوديدات المعادن القلوية وفق تفاعل إزاحة، ويشكل هذا التفاعل بروميدات المعدن القلوي إضافة إلى عنصر اليود:

$$2NaI + Br_2 \rightarrow 2NaBr + I_2$$

$$2KI + Br_2 \rightarrow 2KBr + I_2$$

تطبيقاته

يُستعمل أنواع كثيرة من مركّبات البروم العضوية في الصناعة. يحضر بعضها من البروم وتحضر الأخرى من بروميد الهدروجين، الذي يُحصل عليه من حرق الهدروجين في البروم.

يوضح تفاعل الضم التالي آلية تشكل (1،2- ثنائي بروم الإيتان)، وهو مركّب البروم العضوي المنتج بكميات كبيرة:

$$C_2H_4 + Br_2 \rightarrow CH_2BrCH_2Br$$

في تثبيط الشعلة

تشكل مثبطات الشعلة البرومية سلعة متزايدة الأهمية، وتمثل الاستعمال الأوسع للبروم. وعندما تحترق المواد المُبرْوَمة، يُؤدي تأخر الشعلة إلى تشكل حمض الهدروبروميك الذي يدخل في التفاعل المتسلسل الجذري radical chain reactiojn لتفاعل النار المُؤكسِد. والآلية هي أن الجذور الشديدة الفعالية لكل من الهدروجين والأكسجين والهدروكسي تتفاعل مع حمض الهدروبروميك لتشكل جذور بروم أقل فعالية (أي، ذرّات بروم حرة)، حيث يمكن لذرّات البروم هذه أن تتفاعل أيضاً بشكل مباشر مع جذور أخرى لتساعد في إيقاف التفاعلات المتسلسلة للجذور الحرة التي تميز الاحتراق.

ولتشكيل بوليميرات مُبرومَة ومواد بلاستيكية، يمكن للمركّبات المحتوية على البروم أن تندمج ضمن البوليمير خلال عملية البلمرة. تتمثل إحدى الطرائق في دمج كمية صغيرة نسبياً من موحود monomer مُبرومَ في عملية البلمرة. وعلى سبيل المثال، يمكن استعمال بروم الفينيل في إنتاج متعدد الإيتيلِن polyethylene ومتعدد كلوريد الفينيل polyvinylchloride ومتعدد البروبيلِن polypropylene. يمكن أيضاً إضافة جزيئات نوعية عالية البَرْوَمة لتساهم في عملية البلمرة. فمثلاً، يمكن إضافة رباعي بروم ثنائي الفينول tetrabromobisphenol A إلى متعددات البولي إستر polyesters أو إلى صمغيات الإيبوكسي، حيث تصبح جزءاً من البوليمير. تصنّع مواد الإيبوكسي المستعملة في ألواح الدارات المطبوعة عادة من مثل هذه الريزينات المثبطة للشعلة، المشار إليها بـ FR عند اختصار المنتجات (FR-2 وFR-4). ويمكن في بعض حالات المركّب المحتوي على البروم إضافته بعد البلمرة. وعلى سبيل المثال، يمكن إضافة عشاري بروم ثنائي فينيل الإيتر decabrobodiphenyl ether إلى البوليمير النهائي.

ثمة عدد من مركّبات الميثان المهلجنة المُبرومَة الغازية أو الشديدة التطاير غير سامة وتقوم بدور عوامل فائقة مانعة للشعلة وفق الآلية نفسها، وهي فعّالة بشكل خاص في الأجواء المغلقة كما في حالة الغواصات والطائرات والمركّبات الفضائية. إلاّ أنها مكلفة ويرجع التقلص الكبير في إنتاجها واستعمالها إلى دورها في استنزاف الأوزون. فهي لم تعد تستعمل في إطفاء الحرائق التقليدية، لكن استعمالاتها محصورة في إطفاء النيران بشكل آلي في التطبيقات الفضائية والعسكرية. تتضمن هذه المواد بروموكلوروميثان (CH_2BrCl) وبروموكلوروثنائي فلوروميثان ($CBrClF_2$) وبروموثلاثي فلوروميثان ($CBrF_3$).

في الإضافات البنزينية

كان بروميد الإيتيلِن يضاف للبنزين الحاوي عوامل الرصاص المضادة للدق. فهو يسيطر على الرصاص مشكلاً بروميد الرصاص الطيار، الذي يطرح من المحرّك. كان هذا التطبيق يستهلك 77% من البروم المستعمل في العام 1966 في الولايات المتحدة. تناقص هذا التطبيق منذ سبعينيات القرن الماضي بسبب التشريعات البيئية.

في المبيدات الحشرية

استعمل بروميد الميثيل السام بصفته مبيداً مطهراً للتربة وللمنازل، وذلك بواسطة طريقة الخيام، واستعمل بروميد الإيتيلِن بالطريقة ذاتها. جرى حالياً تصنيف جميع هذه المركّبات البرومية العضوية الطيارة بصفتها عوامل استنزاف للأوزون. إذ قرّر بروتوكول مونتريال التخلص تدريجياً من المواد الكيميائية المستنزفة للأوزون في نهاية العام 2005، وتوقف استعمال كافة المبيدات البرومية العضوية (يستعمل في التطهير المنزلي، بدلاً من هذه المواد، مركّبات مثل فلوريد السلفوريل، الذي لا يحتوي على الكلور ولا على الفلور اللذين يدمران الأوزون). وقبل صدور بروتوكول مونتريال عام 1991، جرى استعمال ما يقرب من 35000 طن من هذه المواد في عمليات السيطرة على الديدان الخيطية والفطريات والأعشاب الضارّة وأمراض التربة الأخرى.

في الطب والبيطرة

الاستعمال: استعملت مركّبات البروم، وبخاصة بروميد البوتاسيوم، بشكل كثيف بصفتها مسكنات في القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين. يستمر استعمال البروميدات على شكل أملاح بسيطة بصفتها مضادات تشنج في المجالين البيطري والطب البشري، علماً أن الاستعمال الأخير يتبدل من دولة لأخرى. وعلى سبيل المثال، لم توافق السُلْطات المسؤولة عن الغذاء والدواء في الولايات المتحدة

على استعمال البروميد لمعالجة أي مرض، وقد استبعد من كافة وصفات المسكنات منذ العام 1975. وهكذا، فلم يعد هناك قياس روتيني لسويات البروميد في المختبرات الطبية في الولايات المتحدة. ورغم ذلك، تتابع مختبرات الفحوص التشخيصية الطبية البيطرية، حسب الطلب، بقياس سويات البروميد في الدم، وذلك للمساعدة في معالجة داء الصرع لدى الكلاب.

السميّة: يمكن أن يؤدي الاستعمال المديد لبروميد البوتاسيوم (أو أي ملح بروميدي) إلى تسمم برومي. تسبّب حالة تردّي المنظومة العصبية المركزية هذه سمية معتدلة للبروميد بجرعات من عدة غرامات لدى الإنسان والثدييات الأخرى. يساهم عمر النصف الطويل جداً لأيون البروميد (حوالي 12 يوماً) في سمية بروميد تراكمية في سوائل الجسم. كما أن دخول البروميد عن طريق الفم قد يسبّب طفحاً جلدياً مشابهاً لحب الشباب.

في الاستعمالات الأخرى

● تُشكل بروميدات الكالسيوم والصوديوم والزنك جزءاً لا بأس به من سوق البروم. تشكل هذه الأملاح محاليل كثيفة في الماء، وتستعمل بصفتها سوائل للحفر، وتسمى في بعض الأحيان السوائل الملحية المُنقية.

● يستعمل البروم أيضاً في إنتاج الزيوت النباتية المُبرومَة، التي تستعمل بصفتها مُستحلِبات في العديد من المشروبات الغازية ذات الطعم الحامضي. وبعد إدخاله في أربعينيات القرن الماضي جرى استعماله بكثافة إلى أن حدّدت استعماله كلٌ من المملكة المتحدة والولايات المتحدة في أواسط السبعينيات، وجرى تطوير مُستحلِبات بديلة. غير إن المشروبات الغازية المحتوية على زيت النبات المُبرومَ ما تزال تباع في الولايات المتحدة.

● تدخل المركّبات العضوية المبرومة في العديد من الأصبغة والكيماويات الزراعية والصيدلانية. يُحضر كلّ من 1-برومو-3-كلوروبروبان و1-بروموإيثيلنبنزن و1-بروموألكانات بواسطة ضم HBr إلى الألكِنات بشكل مضاد لقاعدة ماركوفنيكوف. يستعمل بروميد الإيثيديوم، EtBr، بصفته صبغة للدنا في هلام الرحلان الكهربائي.

● يستعمل البروم في المركّبات ذات قرائن الانكسار العالية.

● كما في حالة الكلور، يستعمل البروم في تعقيم برك السباحة، وبخاصة في المنتجعات الصحية، حيث يُولّد في المكان من إضافة البروميد إلى فوق أكسيد الهدروجين.

● يستعمل البروم في مركّبات تنقية المياه وتنقية كلٍّ من المعقمات والمبيدات الحشرية، مثل الترالومثرين ($C_{22}H_{19}Br_4NO_3$).

● يستعمل بروميد البوتاسيوم في بعض المظهرات التصويرية لإبطال تشكل التشويش (وهو إرجاع للفضة غير مرغوب فيه).

● يستعمل بخار البروم كمرحلة ثانية في تحسيس الألواح الفضية لتظهيرها تحت بخار الزئبق. ويقوم البروم بدور مسرّع للتحسس الضوئي للألواح المُؤيَّنة مسبقاً.

● يستعمل البروم أيضاً لتخفيف التلوث بالزئبق الناجم عن محطات الطاقة المُستخدِمة للفحم، ويمكن إنجاز ذلك إما بمعالجة الكربون المُنشّط مع البروم أو بحقن مركّبات البروم ضمن الفحم قبل الاحتراق.

● كما يمكن استعمال البروم بعملية استبدال صناعي باستعمال المبادل الميثيلي في الثيمين القاعدي المندمج في الدنا، مشكلاً 5-بروموبوراسيل (5-Bromo-1H-pyrimidine-2,4-dione). وعندما تُقحم هذه القاعدة في الدنا يمكن أن تسبّب خصائصها، ذات الارتباط الهدروجيني المختلف، تغيّراً إحيائياً عند موقع هذه القاعدة المزدوجة. ويكون مركّب 5-بروموبوراسيل عندها مُغيِّراً صنعيّاً.

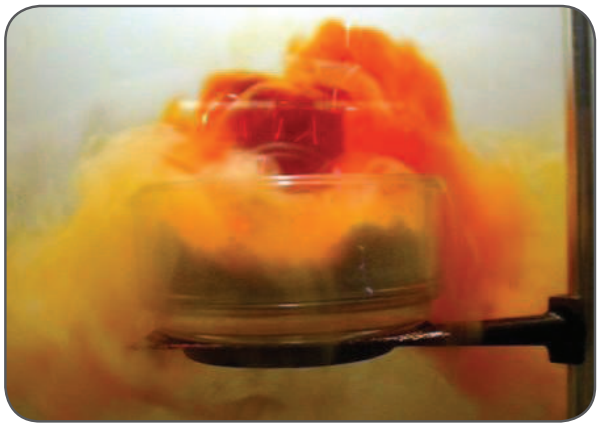
دوره الحيوي

لم يُعرف للبروم دورٌ أساسيٌّ في صحة الإنسان أو الثدييات، إلا أن مركّبات البروم اللاعضوية والعضوية المتشكلة بشكل طبيعي يمكن أن يُفيد بعضها في الكائنات الحية العليا من خلال التعامل مع الطفيليات. وعلى سبيل المثال، يوفر البيروكسيداز المحمّض، بوجود H_2O_2 المتشكل بوساطة الحمض، ووجود أيونات الكلور أو أيونات البروم، آلية محتملة تقوم فيها الحماضات بقتل الطفيليات المتعددة الخلايا وبعض البكتيريا الأخرى. إن البيروكسيداز الحمضي هو بيروكسيداز هالوجيني يستعمل البروم بشكل تفضيلي عن الكلور للوصول إلى هذه الغاية، مولداً حمض فوق البروميت (hypobromous acid).

تُعدُّ الكائنات البحرية مصدراً أساسياً للمركّبات العضوية المكلورة، وجرى تحديد هوية أكثر من 1600 مركّب حتى العام 1999، أكثرها وفرة هو بروميد الميثيل (CH_3Br)، ويقدر ما تنتجه

صبغ النسيج الأرجواني

حلزون البحر المفترس المتوسط الحجم



الطحالب سنوياً بـ 56000 طن. يشكل بروميد الميثيل 80% من الزيت الأساسي لطحالب هاواي. يتشكل معظم المركّبات العضوية المُبروَمة في البحر عبر تأثير الأنزيم الطحلبي الوحيد، بيروكسيداز بروم الفاناديوم. وعلى الرغم من أن هذا الأنزيم هو المولد الأغزر للبروميدات العضوية، فإنه توجد بيروكسيدازات مبروَمة أخرى في الطبيعة لا تستعمل الفاناديوم.

وأشهر مثال لمركّب عضوي يحوي البروم ويستعمله الإنسان منذ العصور القديمة هو صبغ النسيج الأرجواني the fabric dye Tyrian purple. ويتم إنتاج صبغة النيلة المُبروَمة بواسطة حلزون البحر المفترس المتوسط الحجم، the marine gastropod Murex brandaris. لم تكتشف طبيعة المركّب العضوي المُبروَم قبل العام 1909.

إجراءات الوقاية والأمان

البروم العنصري سام ويسبّب الحروق. وبصفته عاملاً مؤكسداً، فإنه غير متوافق مع معظم المركّبات العضوية واللاعضوية. وينبغي الحذر عند التعامل مع البروم، إذ عادة ما يجري نقله في خزانات فولاذية مبطنة بالرصاص، ومدعومة بإطارات معدنية قوية.

وعندما يجري خلط بعض المركّبات الأيونية الحاوية للبروم مع فوق منغنات البوتاسيوم ($KMnO_4$) ومادة حمضية، تظهر غيمة بنية مصفرة من غاز البروم تمثلها الصورة التالية:

$$6Br^- + 2MnO_4^- + 8H^+ \rightarrow 3Br_2 + 2MnO_2 + H_2O$$

ينبعث من هذا الغاز رائحة تشبه رائحة المواد المستعملة في التبييض، وهي مزعجة جداً للأغشية المخاطية. وعند التعرض لهذا الغاز، ينبغي للمرء الانتقال إلى الهواء الطلق فوراً، وإذا ما تزايدت أعراض التسمم بهذا الغاز، ينبغي اللجوء إلى العناية الطبية.

موقعه في الجدول الدوري وتصنيفه

إعداد: **د. عادل حرفوش**، رئيس هيئة التحرير.

ورقات علمية

استخدام رشاحات استنبات الفطر Cochliobolus sativus لتقييم مقاومة الشعير لمرض التلطخ البقعي

The use of Cochliobolus sativus culture filtrates to evaluate barley resistance to spot blotch

د. محمد عماد الدين عرابي، م. محمد جوهر

قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية

ملخص

يعد التلطخ البقعي الذي يسببه المرض Cochliobolus sativus مرضاً ورقياً خطيراً مهماً بشكل خاص في المناطق الدافئة والرطبة خلال موسم نمو الشعير. أجري في هذه الدراسة تقصي احتمالية استخدام رشاحات الفطر C. sativus المستزرع على وسط البطاطا دكسروز بوصفها سريعة وفاعلة في غربلة الشعير لمقاومة مرض التلطخ البقعي. كانت رشاحات مستنبت الفطر C. sativus قادرة على إحداث أعراض الإصابة بمرض التلطخ البقعي على الأوراق، بشكل مماثل لتلك الملاحظة تحت الظروف الحقلية، حيث لم يكن هناك فرق واضح بين الأعراض الورقية المتحصل عليها من الرشاحات الناتجة عن الاستنبات أو من المرض نفسه. لم يلاحظ ظهور أعراض للمرض على نباتات الشاهد المعامل بوسط بطاطا دكستروز أو بالماء المعقم. كانت هناك علاقة ارتباط بين النسبة المئوية لسطح الورقة المصاب (LAI) بالفطر C.sativus والنسبة المئوية لسطح الورقة النخرية (LAN) برشاحة الاستنبات ($r = 0.94$; $P<0.001$). يمكّن استخدام طريقة رشاحات الاستنبات الموطدة من إجراء غربلة سريعة لمقاومة الشعير لمرض التلطخ البقعي، الأمر الذي يجعلها مفيدة في أمثلة عديدة من الدراسات على هذا المرض.

الكلمات المفتاحية: الفطر، الشعير، اختبار المقاومة، مرض التلطخ البقعي.

Key Words: *Bipolaris sorokiniana, Hordeum vulgare L., resistance test, spot blotch.*

• نشرت هذه الورقة في مجلة: *Sydowia*.

الاصطناع الإشعاعي والدراسة البيولوجية لمركب (±)- ترانس-2-هيدروكسي-5-((ي)-3-(يود)أليلوكسي)-3-(4-فينيل-1-بيبرازين) تتراين

د. ثائر أسعد، د. عبد الحميد الريس

قسم الكيمياء

ملخص

يُبين هذا العمل نتائج كل من الوسم الإشعاعي والتوزّع الحيوي الأولي في أدمغة الجرذان لمركب II-[^{123}I]-(±). وُسم المركب الجديد لمشتق البنزوفيزاميكول II-[^{123}I]-(±) باليود ^{123}I من المماثل n-tribu-tyltin بنجاح وبنقاوة إشعاعية أكبر من 97% وبمردود يتراوح بين 50-55%. أظهر المركب II-[^{123}I]-(±) توضعاً في المخيخ أكبر من توضعه في مواقع الدراسة الأخرى. أجريت دراسة حركية لهذا المركب لبيان فيما إذا كان يقدم ميزة بالمقارنة مع المركب المرجعي ^{123}I - IBVM ولقد أظهرت النتائج أنه في كل نقطة قمنا بدراستها هنالك توضع نوعي أقل بالمقارنة مع المركب المرجعي. أكدت منحنيات تغير النشاط الإشعاعي مع الزمن للمركب الجديد II-[^{123}I]-(±) أنه أقل فائدة لاستكشاف VAChT في الجسم الحي بواسطة تقنية SPECT. إضافة إلى لذلك فمن المعروف جيداً أن التفاعل مع موقع الترابط لـ VAChT ذو انتقائية فراغية، لذلك فإن العمل مع مركبات نقية تماكبياً يمكن أن يحسن انتقائية المركب المشع.

الكلمات المفتاحية: مرض ألزهايمر، التوزع الدماغي، الجرعة المحقونة، الوسم باليود المشع، مماثلات الفيزاميكول، النواقل الحويصلية للأستيل كولين.

Key Words: *Alzheimer's disease; Brain biodistribution; injected dose; radioiodination; vesamicol derivatives; vesicular acetylcholine transporter.*

• نشرت هذه الورقة في مجلة: *Nukleonika*.

تأثير زمن الطحن بالكرات في خواص المحسات الغازية المصنعة من المركبات النانوية $ZnO-WO_3$

Influences of ball-milling time on gas-sensing properties of $ZnO-WO_3$ nanocomposites

د. أحمد المحمد، فاطمة مقصود

قسم الفيزياء

ملخص

دُرست العلاقة بين استجابة المحس الغازي لغاز NO_2 والبنية النانوية لجسم المحس المشكل من دارات ذات أغشية سميكة من المركبات النانوية $ZnO(WO_3)$. حُضرت المركبات النانوية من أكاسيدها بالطحن في مطحنة الكرات عالية الطاقة لفترات زمنية متعددة (1–21 h)، حُددت استجابة المُحس لـ 100 ppm من غاز NO_2، من نسبة قيم المقاومة الكهربائية في الهواء إلى تلك القيم في غاز بسيط، حيث وُجد أنها تصل بالحد الأعلى لحوالي 80 في الزمن 21 h من زمن الطحن بمطحنة الكرات عالية الطاقة (HEBM). تُظهر مشاهدات الحالة الحبيبية XRD و SEM، وباستخدام تحاليل توزع الحجم الحبيبي، أن ازدياد زمن الطحن بمطحنة الكرات عالية الطاقة (HEBM) يؤدي إلى ازدياد الحجم المسامي بمتوسط حجم مسامي 20–35 nm. يشير ذلك إلى أن كل تغير في البنية النانوية مسؤول عن التقدم الملحوظ في الاستجابة لغاز NO_2. للمقارنة بين أزمنة الطحن المختلفة، تم عرض استجابة الجسيمات النانوية من WO_3 أو ZnO المُحضرة بطريقة الطحن بمطحنة الكرات عالية الطاقة (HEBM) لغاز NO_2 وذلك للمقارنة بين المركب الجديد والمركبات المؤلفة له. حيث وجد أن الاستجابة لغاز NO_2 في الزمن 21h من زمن الطحن بمطحنة الكرات عالية الطاقة HEBM أكبر 10 مرات من أزمنة الطحن الأخرى.

الكلمات المفتاحية: مطحنة الكرات العالية الطاقة، NO_2، محس غازي، مركبات نانوية، WO_3، ZnO.

Key Words: *High Energy Ball Milling, NO_2, Gas sensitive, Nanocomposites, WO_3, ZnO*

• نشرت هذه الورقة في مجلة: *Advanced Materials Research Vol. 324 (2011).*

تأثير معدل جرعة غاما على ترانزستورات JFET

Dose rate effect of gamma on JFET transistors

د. جمال الدين عساف

قسم الخدمات العلمية

ملخص

جرى عرض تأثير الجرعة على خواص الضجيج الإلكتروني لعينات ترانزستور الأثر الحقلي JFET مشعة بأشعة غاما. وتغيرت قيمة معدل الجرعة بين 0.5 و19 kGy/h من أجل قيمة ثابتة للجرعة قدرها 600 kGy. لم تلاحظ أي علاقة واضحة ومحددة بين مقدار الضجيج ومعدل الجرعة على كامل المجال المدروس. ومع ذلك أمكن استقراء بعض النتائج عندما تمت تجزئة المجال الكلي إلى مجالات جزئية لقيم منخفضة ومتوسطة وعالية. استند هذا الاستقراء إلى تفاعلات داخل JFET والضجيج الإلكتروني الناتج.

الكلمات المفتاحية: ترانزستورات JFET، معدل الجرعة، أشعة غاما، الضجيج.

Key Words: *JFET transistors; dose rate; gamma ray; noise.*

• نشرت هذه الورقة في مجلة: *Radiation Effect and Defects in Solid.*

تحديد معدل الموت عند فراشة درنات البطاطا بعد تعريض البطاطا للتخزين المبرد

Evaluation of Potato tuber moth mortality following postharvest cold storage of potatos

د. جورج سعور، د. أنطونيوس الداود، هالة إسماعيل

قسم التقانة الحيوية

ملخص

خضعت أطوار النمو المختلفة لحشرة فراشة درنات البطاطا Phthorimaea operculella (Zeller) لدرجات حرارة منخفضة، لتحديد تأثير التعريض لفترات زمنية قصيرة وطويلة على النسبة المئوية لفقس البيوض، ومعدل الموت عند اليرقات، وأطوال الأعمار عند الحشرات البالغة. لم تتجاوز النسبة المئوية لفقس البيوض، عند جميع الأعمار، نسبة 12 و38% بعد التعريض لمدة 35 يوماً لـ درجتي حرارة 3 و7 مئوية، على التتالي. تأثرت سلباً مقدرة اليرقات بعمر 1 و8 أيام على البقاء نتيجة التعريض لدرجات الحرارة المنخفضة. لم تتمكن اليرقات بعمر يوم واحد من البقاء حية لأكثر من 42 يوماً عند التعريض لدرجة حرارة 3 مئوية. لم يسجل خروج للفراشات بعد تعريض اليرقات بعمر 8 أيام لمدة 56 يوماً لدرجة حرارة 7 مئوية. تمكنت، في تجارب أطوال الأعمار عند البالغات، ما نسبته 5.5 و8.3% من الفراشات من البقاء حية رغم التخزين لمدة 28 و35 يوماً في درجتي حرارة 3 و7 مئوية، على التتالي. يمكن الاستفادة من درجات الحرارة المنخفضة المطبقة في المخازن المبردة بوصفها فعالة للحد من تطور إصابة درنات البطاطا، بعد حصادها، بحشرة فراشة درنات البطاطا.

الكلمات المفتاحية: فراشة درنات البطاطا، بعد الحصاد، التخزين المبرد، إدارة الآفات

Key Words: *Potato tuber moth; Postharvest; Cold storage; Pest management*

• نشرت هذه الورقة في مجلة: *Corp Protection*.

تحليل مفصل لمتماثل ثنائي قسيم الصبغي Idic (q11.21) Y في صيغة صبغية موزاييكية

Detailed analysis of an idic(Y)(q11.21) in a mosaic karyotype

د. وليد الأشقر، عبد الصمد وفا، فاتن معسس

قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية، دائرة الوراثة البشرية، هيئة الطاقة الذرية السورية

Thomas Liehr, Elisabeth Klein

مشفى جينا الجامعي، معهد الوراثة البشرية، جينا، ألمانيا.

ملخص

تشكل التبدلات التي تطال الصبغيات الجنسية حوالي 0.5% من حالات الولادات الحية. يتنوع النمط الظاهري للأفراد الذين لديهم سلالات خلوية موزاييكية، ويظهرون تبدلات بنيوية في الصبغي X وY، ومن الصعب التنبؤ بهم. تتنوع الأنماط الظاهرية المترافقة مع موزاييكية في الصبغيات الجنسية من إناث لديهن متلازمة تيرنر إلى ذكور عقيمين، وتتضمن أفراداً لديهم التباس في تحديد الجنس. نعرض في هذه الدراسة حالة ذكر بعمر 13 سنة مع علامات ظاهرية لمتلازمة كلاينفلتر مع وجود متماثل ثنائي قسيم مركزي للصبغي Y وصيغة صبغية نهائية 45,X[4]/46,X,idic(Y) (q11.21)[95]/47,XX,+idic(Y)(q11.21)[1].

أظهر تطبيق تقنيات الوراثة الخلوية الجزيئية عالية الدقة، بالإضافة لدراسات جزيئية وجود نسختين من منطقة التحديد الجنسي للصبغي Y (SRY) ونسختين عن القسيم المركزي للصبغي Y، بالإضافة إلى ذلك، حددت نقطة الكسر في الموقع Yq11.21 بأنها بين الموقعين 13.4 و 14.3 ميغا أساس (hg 18) (MB). نعرض هنا حالة مريض لديه نسختان من Ypter إلى Yq11.21 في أغلب الخلايا، ويظهر علامات ظاهرية لمتلازمة كلاينفلتر. يمكن أن ينشأ هذا التناذر بسبب الوجود البارز للسلالة الخلوية 47, XX, idic (Y) (q11.21) المكتشفة في 1% من خلايا الدم المحيطي. يمكن أن تثبت هذه النتائج فائدتها في حالات مماثلة تترافق مع علامات متلازمة كلاينفلتر لكنها تبدي غياب السلالة الخلوية 47,XXY في الدم المحيطي.

الكلمات المفتاحية: *متماثل ثنائي قسيم الصبغي Y، جنس ملتبس، تهجين متألق في الموضع، عصائب متعددة الألوان، سلسلة، مورثة موقع تحديد الجنس، عامل غياب النطاف.*

Key Words: *isodicentric Y chromosome, ambiguous genitalia, fluorescence in situ hybridization, multicolor banding, sequencing, sex determining region gene, azoospermia factor.*

• نشرت هذه الورقة في مجلة: *Molecular Medicine Reports 2012*.

قوانين تدرُّج لمردودات الأشعة السينية اللينة للنتروجين من البلازما المحرقية ذي الطاقة من 1 إلى 200 كيلو جول

Scaling Laws of Nitrogen Soft X-Ray Yields from 1 to 200 kJ Plasma Focus

د. محمد عاقل، البروفسور سينغ لي

هيئة الطاقة الذرية - قسم الفيزياء

ملخص

أجريت تجارب عددية بشكل منظم لتحديد مردود الأشعة السينية اللينة للنتروجين من أجل البلازما المحرقية المثلى للنتروجين مع الطاقة المختزنة E_0 من 1 kJ إلى 200 kJ. تم إيجاد قوانين تدرُّج مردود الأشعة السينية اللينة للنتروجين، بدلالة الطاقات المختزنة E_0، و تيار الانفراغ الكلي Ipeak، و تيار تضيق التمحرق Ipinch. وُجد أن مردودات الأشعة السينية للنتروجين تتصاعد وسطياً مع E_0 مقدرة بالكيلو جول (الطاقات المختزنة) $Y_{sxr,N} = 1.93\times E_0^{1.21}$ J مع تصاعد يبدي انخفاضاً تدريجياً مع ارتفاع الطاقة المختزنة E_0 في المجال. إن الترقّي الأكثر متانةً هو $Y_{sxr} = 8\times10^{-8} I^{03.38}_{pinch}$. وُجد مردود الأشعة السينية اللينة الأمثل للنتروجين من أجل البلازما المحرقية ليكون حوالي 1 kJ من أجل الطاقة المختزنة 200 kJ. هذا يدل على أن البلازما المحرقية للنتروجين هي منبع جيد للأشعة السينية اللينة في مجال نافذة الماء عندما تُصمم بشكل صحيح.

الكلمات المفتاحية: *البلازما المحرقية، الأشعة السينية اللينة، غاز النتروجين، نموذج لي.*

Key Words: *plasma focus, soft x-ray, nitrogen gas, Lee model code.*

• نشرت هذه الورقة في مجلة: *Journal of Fusion Energy*.

تقارير علمية

القيمة الغذائية والمكونات ضد-التغذوية في بعض النباتات الرعوية المستوطنة

Nutritive value and anti-nutritional components in some local range plants

د. محمد راتب المصري
قسم الزراعة

ملخص

جرى تقييم القيمة الغذائية لبعض الأنجم الرعوية المحلية المعمرة المتحملة للجفاف (الشيح العشبي الأبيض Artemisia herba-alba والصر أو شوك الحنش Noaea mucronata وخزام Lavandula officialis وشداد كداد Astragalus spinosus والقبار الشوكي Capparis spinosa) النامية طبيعياً في المنطقة شبه الصحراوية الشرقية–الجنوبية من سورية عن طريق تقدير المادة العضوية المهضومة في الزجاج (IVDOM) والطاقة الاستقلابية (ME) والطاقة الصافية لإنتاج الحليب (NEL) ومحتواها من المكونات الغذائية وضد–التغذوية. اختلفت قيم المكونات الغذائية وضد التغذوية ومكونات الجدار الخلوي وأشكال الآزوت وIVDOM وME وNEL في الأنواع النباتية المدروسة. وجدت أعلى تراكيز للبروتين الخام (CP) والآزوت المنحل بالمحلول الدارئ (BS-N) في نبات القبار الشوكي (229 و19 غ/كغ مادة جافة على التوالي)، بينما وجدت أقل التراكيز في بقية الأنواع النباتية المختبرة (104-97 و8-6 غ/كغ مادة جافة على التوالي). وكانت تراكيز الفينولات الكلية (TP) والتانينات القابلة للحلمهة (HT) مرتفعة في نبات الشيح العشبي الأبيض (45 و23 غ/كغ مادة جافة على التوالي). واحتوت النباتات الرعوية المختبرة على تراكيز منخفضة من التانينات الكثيفة (1.1-0.4 غ/كغ مادة جافة). وبلغت قيم IVDOM وME وNEL في الأنواع النباتية المدروسة 702-481 غ/كغ مادة جافة و9.08-6.25 ميغاجول/كغ مادة جافة و4.54-3.03 ميغاجول/كغ مادة جافة على التوالي. وكان الترتيب التنازلي للأنواع النباتية المدروسة من حيث قيم IV-DOM وME وNEL وبشكل مؤكد إحصائياً ($P<0.05$) كالتالي: القبار الشوكي>شداد كداد>خزام>الشيح العشبي الأبيض>الصر. ولم يؤد إضافة مستحضر بولي إيتيلين غليغول (PEG, 6000) إلى العينات النباتية التي جرى تحضينها مع سائل الكرش بنسبة 2:1 (مادة:PEG) إلى زيادة قيم IVDOM وME وNEL. وارتبطت قيم IVDOM وME وNEL بشكل سلبي مع الألياف الخام ومكونات الجدار الخلوي وبشكل إيجابي مع CP وBS-N. ارتبطت تراكيز TP وHT بشكل سلبي مع BS-N وبشكل إيجابي مع اللغنين. ويوصى باستخدام النباتات الرعوية المحلية في تغذية الحيوانات المجترة لتغطية جزء كبير من احتياجاتها الغذائية.

الكلمات المفتاحية: نبات رعوي، قيمة غذائية، جدار خلوي، تانينات، آزوت، طاقة، معامل هضم، بولي إيتيلين غليغول.

Key words: *Range plant; Nutritive value; Cell wall; Tannins; Nitrogen; Energy; Digestibility; Polyethylene glycol.*

تأثير الإجهاد الملحي (NaCl) على نمو بعض أصناف القطن وعلى التوزع الأيوني فيها

Effect of salt stress on growth, ion distribution and partitioning in some cotton varieties

د. باسل صالح
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية

ملخص

أجريت تجربتان لاختبار تحمل الإجهاد الملحي (NaCl) عند بعض أصناف القطن (Gossypium hirsutum L.) متوسطة طول التيلة المنتشرة في سورية وذلك في تجربة أصص.

في التجربة الأولى، اختبرت خمسة أصناف من القطن: حلب 118، حلب 33/1، حلب 90، رقة 5 ودير الزور 22 تحت تراكيز مختلفة من NaCl (0,50, 100, 200 mM) لمدة 8 أسابيع. سبّب الإجهاد الملحي انخفاضاً في طول النباتات وعدد الأوراق عند جميع الأصناف، بينما انخفضت المساحة الورقية مع زيادة الملوحة في كافة الأصناف المختبرة المعاملة مقارنة مع الشاهد باستثناء الصنف دير الزور 22. أشارت نتائجنا إلى أن المساحة الورقية، الكلوروفيل a & b وقيم الكلوروفيل الإجمالي SPAD يمكن استخدامها للتمييز بين الأصناف المتحملة للإجهاد الملحي وتلك الحساسة. بهذا الخصوص فإن الصنف دير الزور 22 يختلف عن بقية الأصناف بتحمله العالي للملوحة مقارنة مع الصنفين حلب 118 وحلب 33/1. من جهة أخرى، بينت النتائج المتعلقة بالكتلة الحية والتوزع الأيوني أن ازدياد الملوحة سبّب انخفاض الوزن الرطب والجاف للأوراق، والساق والجذور بعد المعاملة. أظهرت دراسة التحليل الأيوني تراكم مستويات عالية من الأيونات والكاتيونات في مستوى الأوراق مقارنة مع الجذور عند كل الأصناف المختبرة. كما

انخفضت أيضاً الانتقائية K/Na، والنسبة Mg/Na في الأوراق والجذور مع ازدياد تركيز الملوحة عند كل الأصناف المختبرة. في هذا السياق، سجلت القيمة العليا للمؤشرات الثلاثة السابقة في الصنف دير الزور 22 بينما كان أخفضها عند الصنف حلب 118. خلصت النتائج إلى أن النسب K/Na في الأوراق، والنسبة Mg/Na في الأوراق والجذور يمكن أن تكون الآلية لتحمل الملوحة عند القطن. في هذا السياق، فإن الصنف دير الزور 22 قد طور آلية تحت ظروف الملوحة مقارنة مع بقية الأصناف الأخرى المختبرة. أما في التجربة الثانية فقد اختبرت أربعة أصناف من القطن، Aleppo118 & Deltapin50 Deir-Ezzor22, Ni-ab78, وذلك تحت تأثير 200 mM NaCl ولمدة 7 أسابيع. أظهرت النتائج أن طول النبات، وطول الجذر، وعدد الأوراق، والمساحة الورقية، ومحتوى الأوراق من الكلوروفيل a & b، والضغط الإسموزي، ومؤشر محتوى الكلوروفيل (CCI)، والوزن الجاف للكتلة الحية biomass ونسبة الوزن الجاف للجذر/المجموع الهوائي قد انخفضت بشكل معنوي مع المعاملة الملحية. كان هذا الانخفاض ملحوظاً عند A118 & DP50 مقارنة مع الصنفين DE22 & N78. كما لوحظت اختلافات في محتوى الأوراق من الرطوبة النسبية (RWC) بين الأصناف الأربعة المختبرة. انخفضت RWC للأوراق بشكل كبير عند A118 & DP50 بينما ازدادت زيادة طفيفة عند الصنفين DE22 & N78. أشارت هذه الدراسة عموماً إلى أن الضغط الإسموزي والرطوبة النسبية RWC وكذلك محتوى الكلوروفيل CCI يمكن اعتمادها كمؤشرات مفيدة تعكس نشاط الاستقلاب في النسيج النباتي ويمكنها أن تساهم في مسح سريع لتحمل الملوحة بين أصناف القطن. وجد أن أفضل ضبط إسموزي (RWC) وأخفض قيم للضغط الإسموزي وأقل انخفاض في CCI ومحتوى الكلوروفيل a & b وأدنى انخفاض في الوزن الجاف للكتلة الحية وأعلى نسبة للوزن الجاف للجذر/المجموع الهوائي نسبياً في الصنفين DE22 & N78 مقارنة مع بقية الأصناف. لهذا فإن هذه الدراسة أدت إلى فهم أفضل لاختلاف استجابة هذه الأصناف المدروسة تجاه المعاملة الملحية.

الكلمات المفتاحية: الكلوروفيل a & b، القطن، محددات النمو، RWC، الإجهاد الملحي، Mg/Na، K/Na، SPAD.

Key words: *Chlorophyll a and b, cotton, growth parameters, RWC, salt stress, SPAD, K/Na, Mg/Na.*

تحديد تراكيز عناصر الفلور والفسفور والكالسيوم في الأسنان في سورية باستخدام تقنيتي PIGE & PIXE

Determination of Fluorine and other light elements in Syrian teeth by PIGE and PIXE techniques

د. إلياس حنا بكرجي، د. مثنى أحمد ، مروان دويعر

قسم الكيمياء

ملخص

هدفت هذه الدراسة إلى تحديد تركيز عنصر الفلور في الأسنان في بعض مناطق القطر العربي السوري لمعرفة دوره في حماية الأسنان من التسوس ومقارنة هذا التركيز مع نسبة تركيز الفلور في ماء الشرب بالمناطق المدروسة، إن أهمية هذا العنصر تنبع من أنه يؤدي دورين أساسيين في جسم الإنسان فهو يؤدي دوراً في حماية الأسنان ومنع تآكلها وفي حماية عظام الجسم لأن انخفاض مستوى تركيزه إلى حدود منخفضة يؤدي إلى أخطار جسيمة على بنية الهيكل العظمي لجسم الإنسان، ولكن من الجدير معرفته كذلك أن ارتفاع تركيز هذا العنصر وزيادة معدل تناوله عن طريق الأطعمة الغنية به أو زيادة معدله في مياه الشرب قد تؤدي إلى ما يعرف بتسمم الفلورة والتي يمكن أن تسبب أذى يصيب عظام جسم الإنسان أيضاً، كما درست شوارد العناصر المعدنية المختلفة في مياه الشرب للمناطق المدروسة باستخدام تقانتي التحليل الأيوني Dionex للشوارد الموجبة والكروماتوغرافيا الأيونية للشوارد السالبة، للتحقق فيما إذا كانت إضافات الفلورة إلى مياه الشرب ضمن النسب المسموح بها عالمياً (Fluorine 1-3mg g^{-1}) ونظراً لاستخدام تقنية PIGE بشكل أساسي في هذه الدراسة وإمكانية تحليلها لبعض العناصر ذات العدد الذري المنخفض فقد تم في هذه الدراسة تحديد تراكيز عناصر الصوديوم والمغنيزيوم والفسفور والكالسيوم أيضاً لمقارنة تراكيزها مع ما أنجز سابقاً من أعمال.

الكلمات المفتاحية: تقنية PIGE، تركيز الفلور، الفلورة، التحليل بالحزم الأيونية، التفاعلات النووية.

Key words: *PIGE, Fluorine concentration, Fluoridation, Ion Beam Analysis, Nuclear reactions*

تحديد الطفرات الرئيسة المسببة للداء الكيسي الليفي لدى مجموعة من المرضى السوريين

Identification of Main Cystic Fibrosis Mutations in a Group of Syrian Patients

تطوير خوارزمية لحل برامج رياضية غير خطية متعددة الأهداف باستخدام مفهوم معدلات التعويض

Developing an algorithm for solving mathematical nonlinear multiobjective programs using the concept of substitution rates

د. محمد طلاس
قسم الخدمات العلمية

ملخص

تم في هذا العمل أولاً تطوير خوارزمية نقاط داخلية بهدف أمثلة تابع وحيد الهدف غير خطي (حالة تعظيم) معرف على مجموعة جزئية محدبة ومتراصة (مغلقة ومحدودة) من الفضاء الحقيقي المألوف $\mathbf{R}^n$، حيث إن هذه المجموعة معرفة أيضاً من خلال قيود رياضية غير خطية. تم تطوير تلك الخوارزمية بالاعتماد على مفهوم توابع الحجز اللوغارتمية (توابع الكمون).

تم ثانياً تطوير خوارزمية نقاط داخلية بهدف أمثلة توابع هدفية غير خطية عديدة (حالة تعظيم) معرفة على مجموعة جزئية محدبة ومتراصة من الفضاء الحقيقي المألوف $\mathbf{R}^n$، حيث إن هذه المجموعة معرفة أيضاً من خلال قيود رياضية غير خطية. تستخدم تلك الخوارزمية الطريقة الرياضية غير الخطية الوحيدة الهدف السابقة، في كل تكرار، من أجل توليد متجهات بحث داخلية بهدف استخدامهما لاحقاً من أجل اشتقاق تقريب مقبول لمتجهة التدرج لتابع الإفادة (التفضيل) المعرف ضمنياً عند التكرار الآني. يتم بعد ذلك توليد متجهة التحسين. ومن أجل توضيح كيفية عمل الخوارزمية تم القيام بعرض مثال عددي.

الكلمات المفتاحية: برمجة متعددة الأهداف، طرائق النقاط الداخلية، دوال الحجز، طريقة نيوتن، أمثلة متعددة الأهداف.

Key words: *Multiobjective programming; Interior point method; Barrier function; Newton's method; Multicriteria optimization.*

تقصي وجود الدايوكسينات في عينات تربة من بعض المناطق الصناعية ومواقع الغابات المحترقة في سورية، باستخدام طريقة المقايسة المناعية الامتزازية الأنزيمية ELISA

Determination of Dioxins in Soil Samples from industrial and burned forest sites in Syria Using an Enzyme Linked Immunosorbent Assay (ELIZA)

إياد غانم، مالك العرفي، عامر أبو النصر
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية

ملخص

جمعت 60 عينة تربة من خمس مناطق مختلفة من سورية، 4 مناطق منها صناعية وواحدة هي منطقة غابات تعرضت لحرائق طبيعية وكان توزع هذه العينات كالتالي:

منطقة مصفاة بانياس والمحطة الحرارية (7 عينات)، المنطقة المحيطة بمعمل الإسمنت في طرطوس (11 عينة)، منطقة غابات الفرنلق – اللاذقية (22 عينة)، منطقة الوعر وغربي المصفاة – حمص (20 عينة).

جرى تقصي وجود الدايوكسينات في هذه العينات باستخدام مقايسة مناعية امتزازية مرتبطة بالأنزيم ELIZA.

أظهرت النتائج خلو العينات المأخوذة من المنطقة المحيطة بمصفاة بانياس والمحطة الحرارية ومعمل إسمنت طرطوس وحصين البحر ومزرعة العروس في طرطوس من أي حدود قابلة للكشف من الدايوكسين، كما خلت العينات المأخوذة من مناطق الغابات المحروقة في الفرنلق – اللاذقية (22 عينة)، من أية آثار قابلة للكشف فيما عدا العينات المأخوذة من منطقة طريق نبع عيسى وقرية شحرورة حيث احتوت 8 عينات (36.36%) و6 عينات

د. رامي جرجور
قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية

ملخص

إن الداء الكيسي الليفي هو المرض الجسمي المتنحي الأكثر انتشاراً بين البيض، وهو داء معمم يصيب الغدد الخارجية الإفراز ويتصف بتظاهرات سريرية شديدة التفاوت وتشمل الجهاز التنفسي والهضمي والتناسلي. أجريت هذه الدراسة على 36 مريضاً سورياً مصاباً بالداء الكيسي الليفي سريرياً. تم الكشف عن 36 طفرة في الموضع المورثي لمورثة CFTR باستخدام التهجين العكسي وتقانة ARMS. إن الطفرة ΔF508 هي الأكثر شيوعاً في المرضى السوريين.

الكلمات المفتاحية: الداء الكيسي الليفي، مورثة الداء الكيسي الليفي، طفرات، سورية.

Key words: *Cystic fibrosis, (CFTR) gene, mutations, Syria.*

(27.27%) على تراكيز من الدايوكسينات تراوحت بين 5-15 و15-25 جزءاً في التريليون على التتالي.

أظهرت النتائج احتواء العينات المأخوذة من منطقة الوعر (17 عينة) على تراكيز عالية من الدايوكسين مقارنة مع العينات المأخوذة من المناطق الأخرى، إذ احتوت ثلاث عينات (17.6%) على تراكيز تراوحت بين 15-25 جزءاً في التريليون، بينما احتوت 4 عينات (23.5%) على تراكيز من الدايوكسين تراوحت بين 25-50 جزءاً في التريليون، بينما احتوت العينات المتبقية وعددها 10 (58.8%) على تراكيز أعلى من 50 جزءاً في التريليون وهو الحد الأعظمي الذي يمكن قياسه بواسطة المقايسة المناعية المستخدمة في الدراسة. إن النتائج المقدمة في الدراسة الحالية تستدعي إجراء دراسة متابعة تفصيلية لمنطقة الوعر –حمص تهدف إلى إجراء مسح دقيق للمنطقة وتأكيد النتائج.

الكلمات المفتاحية: الدايوكسين، تربة، مقايسة مناعية امتزازية أنزيمية، ELISA، TCDD، PCDDs.

Key words: *Dioxin – soil – ELISA – PCDDs- TCDD.*

حل جمل المعادلات الخطية الكثيرة العدد بشكل متواز باستخدام تجمعات الحواسيب

Solving Large Dense Linear Systems of Equations Using Cluster Based Parallel Computing

علي طاهر حسن، د. زين جنيدي

قسم الخدمات العلمية

ملخص

يستخدم حل جمل المعادلات الخطية في معظم الحسابات العلمية، وتعدُّ المعالجة المتوازية الحل الوحيد حالياً الذي يسمح بحل الجمل الضخمة خلال وقت مقبول. تم في هذا العمل دراسة هذا الموضوع بشكل نظري، ومن ثم تم إنجاز البرمجية اللازمة لذلك بالكامل، وتمت مقارنة النتائج مع منظومة Matlab البرمجية المعروفة.

الكلمات المفتاحية: جمل المعادلات الخطية، معالجة متوازية، هندسة البرمجيات العالية الأداء، تجمعات الحواسيب.

Key words: *Linear System of Equations – Parallel Computing - High Performance Software Engineering – Cluster Computing.*

دراسة التنوع الأليلي وتحديد مؤشرات جزيئية مرتبطة بكمية زيت الزيتون ونوعيتها باستخدام تقنية الـ SSR

Study of allele diversity and detection of molecular markers related to oil quantity and quality using SSR technique

د. لبنى مقراني، د. سهى الأشتر، م.عماد النابلسي، د. عبد الرحمن كلحوت، د. مصطفى المعلم، د. نزار ميرعلي

قسم البيولوجيا الجزيئية والتقانة الحيوية

ملخص

يهدف هذا البحث الذي درسنا فيه أربعين صنفاً من أصناف الزيتون السورية والعالمية إلى تقصي جوانب عدة تتعلق بالمسافات الوراثية بين هذه الأصناف وبالغنى الوراثي الذي يميزها، من ناحية، وبالمواقع الوراثية التي تتحكم في أهم خصائص الزيت، من ناحية أخرى. استخدمنا من أجل ذلك تقنية الـ SSR في إنجاز التحليل الجزيئي لهذه الأصناف، والتي أعطت أزواج مرئساتها الثمانية عشر 56 حزمة بمعدل 3 حزم للمرئسة الواحدة و41 حزمة ذات تعددية بمعدل حزمتين. تراوحت قيم التنوع الأليلي (PIC) بين 0 و0.83 وقد سجلت أعلى قيمة من أجل الموقع GAPU103A. المعدل العام للـ PIC قدر بـ 0.47. تراوحت نتائج التماثل بين أصناف الزيتون بين 0.51 و1.00، مما يشير إلى مسافات وراثية ضعيفة نسبياً. أما فيما يتعلق بالكشف عن مؤشرات جزيئية ذات ارتباط بخصائص الزيت فقد استخدمت طريقتان إحصائيتان: طريقة Association Mapping وطريقة Single Marker Analysis. أظهرت نتائج الطريقة الأولى 10 ارتباطات بين المواقع الوراثية المدروسة ومواصفات الزيت. أما الطريقة الثانية فقد أظهرت مؤشرين جزيئيين، يرتبط الأول بخمس مواصفات هي: الوزن الرطب، النسبة المئوية للزيت (من الوزن الجاف)، النسبة المئوية للزيت (من الوزن الرطب)، حمض اللينولييك وحمض الأرشديك، والثاني يرتبط بثلاث صفات هي: النسبة المئوية للماء، نسبة الكولسترول ونسبة ستيغماستنول Δ-7-. تشترك الطريقتان في صفتين هما نسبة حمض الأرشديك ونسبة الكولسترول. يمكن الاستفادة من هذه النتائج في برامج تربية الزيتون وتحسينه في المستقبل.

الكلمات المفتاحية: زيتون، تماثل وراثي، تنوع أليلي، معلمات جزيئية.

Key words: *Olive, SSR, PIC, Similarity, Association Mapping, Single Marker Analysis.*

Aalam Al-Zarra

A journal published in Arabic four times a year, by the Atomic Energy Commission of Syria. It aims to disseminate knowledge of nuclear and atomic sciences and the different applications of the atomic energy.

Managing Editor

Prof. Dr. Ibrahim Othman

Director General of A.E.C.S.

Editors-In-Chief

Prof. Dr. Adel Harfoush

Prof. Dr. Mohammad Kaaka

Members of Editing Committee

Prof. Dr. F. Kurdali

Prof. Dr. M. Hamo-Leila

Prof. Dr. A. Hainoun

Prof. Dr. T. Yassin

Prof. Dr. N. Mirali

Prof. Dr. N. Sharabi

Prof. Dr. Z. Kattan

Distribution

Otaiba Moneim

Typesetting

Hanadi Kanafani

Gofran Nowruz

Artistic Layout

Bashar Masoud

Mouhannad Al-baidah

Amal Kirot

Language Audit

Nawal AL-Halah

Rima Sendyan

Follow-up & coordination

Hassan Bakleh

http://www.saec.sy

مكتب نظم المعلومات

هيئة الطاقة الذرية السورية