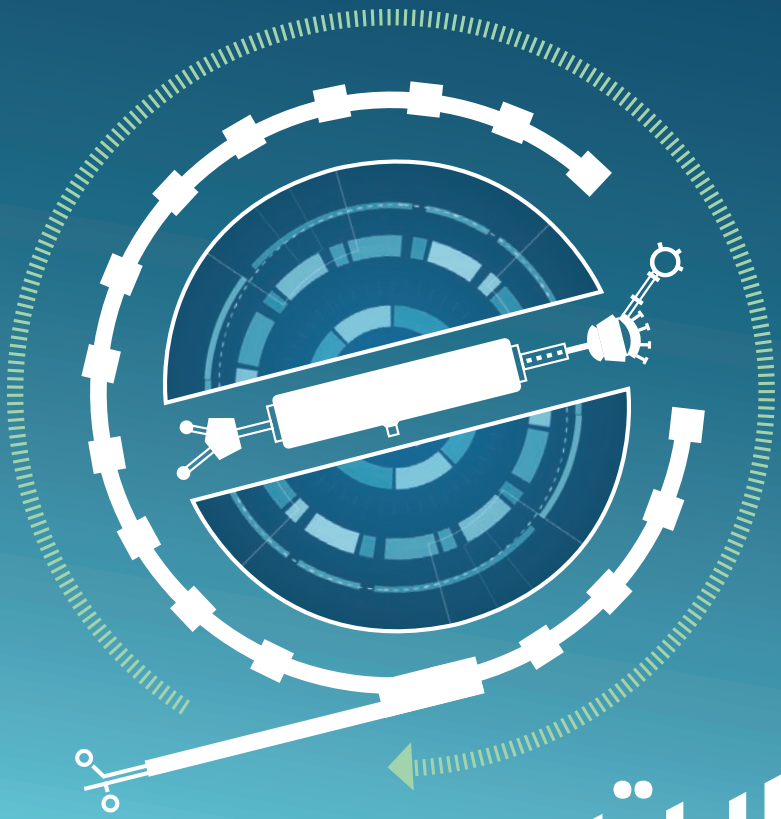
IAEA BULLETIN

مجلة الوكالة الدولية للطاقة الذرية

منشور الوكالة الرئيسي | أيار/مايو ٢٠٢٢ | www.iaea.org/bulletin



تطبيقات
المعجِّلات
وغيرها من مصادر الإشعاع المؤيِّن

ما هي معجِّلات الجسيمات؟ ص.٤

علم الآثار الرومانية القديمة يعود للساحة بالاستعانة بالعلوم النووية، ص.٨

إنشاء مرافق للإشعاع المؤيِّن في الفلبين وخارجها، ص.٢٢

مجلة الوكالة الدولية للطاقة الذرية

يصدرها مكتب الإعلام العام والاتصالات
الوكالة الدولية للطاقة الذرية

Vienna International Centre

العنوان:
International Atomic Energy Agency
Vienna International Centre
PO Box 100, 1400 Vienna, Austria
الهاتف: ٢٦٠٠-٠ (١- ٤٣)
البريد الإلكتروني: iaeabulletin@iaea.org

مدير التحرير: مايكل أمدي مادسن
المحرِّر: ميكلوس غاسبر
التصميم والإنتاج: ريتو كين

مجلة الوكالة متاحة على الموقع التالي:
www.iaea.org/bulletin

يمكن استخدام مقتطفات من مواد الوكالة التي تتضمنها مجلة الوكالة في مواضع أخرى بحُرِّية، شريطة الإشارة إلى مصدرها. وإذا كان مبيَّنا أنَّ الكاتب من غير موظفي الوكالة، فيجب الحصول منه أو من المنظمة المصدِرة على إذن بإعادة النشر، ما لم يكن ذلك لأغراض الاستعراض.

ووجهات النظر المُعرَب عنها في أي مقالة موقَّعة واردة في مجلة الوكالة لا تُمثِّل بالضرورة وجهة نظر الوكالة الدولية للطاقة الذرية، ولا تتحمَّل الوكالة أي مسؤولية عنها.

صورة الغلاف: الوكالة

تابعونا على

IAEA

تكمن مهمة الوكالة الدولية للطاقة الذرية في منع انتشار الأسلحة النووية ومساعدة كل البلدان، لاسيما في العالم النامي، على الاستفادة من استخدام العلوم والتكنولوجيا النووية استخداماً سلميًّا ومأموناً وآمناً.

وقد تأسَّست الوكالة بصفتها منظمة مستقلة في إطار الأمم المتحدة في عام ١٩٥٧، وهي المنظمة الوحيدة ضمن منظومة الأمم المتحدة التي تملك الدراية في مجال التكنولوجيات النووية. وتساعد مختبرات الوكالة المتخصصة الفريدة من نوعها على نقل المعارف والدراية إلى الدول الأعضاء في الوكالة في مجالات مثل الصحة البشرية والأغذية والمياه والصناعة والبيئة.

وتقوم الوكالة كذلك بدور المنصة العالمية لتعزيز الأمن النووي. وقد أسَّست الوكالة سلسلة الأمن النووي لتصدر في إطارها المنشورات المحتوية على الإرشادات المتوافق عليها دوليًّا بشأن الأمن النووي. وتركِّز أنشطة الوكالة أيضاً على تقديم المساعدة للتقليل إلى أدنى حد من مخاطر وقوع المواد النووية وغيرها من المواد المشعة في أيدي الإرهابيين والمجرمين، أو خطر تعرُّض المرافق النووية لأعمال شريرة.

وتوفِّر معايير الأمان الصادرة عن الوكالة منظومة من مبادئ الأمان الأساسية، وتجسِّد توافقاً دوليًّا في الآراء حول ما يشكِّل مستوى عالياً من الأمان لحماية الناس والبيئة من التأثيرات الضارة للإشعاعات المؤينة. وقد وُضِعت معايير الأمان الخاصة بالوكالة لتطبيقها في جميع أنواع المرافق والأنشطة النووية التي تُستَخدَم للأغراض السلمية، وكذلك لتطبيقها في الإجراءات الوقائية الرامية إلى الحد من المخاطر الإشعاعية القائمة.

وتتحقَّق الوكالة أيضاً، من خلال نظامها التفتيشي، من امتثال الدول الأعضاء للالتزامات التي قطعتها على نفسها بموجب معاهدة عدم انتشار الأسلحة النووية وغيرها من اتفاقات عدم الانتشار، والمتمثلة في عدم استخدام المواد والمرافق النووية إلا للأغراض السلمية.

ولعمل الوكالة جوانب متعددة، وتشارك فيه طائفة واسعة ومتنوعة من الشركاء على الصعيد الوطني والإقليمي والدولي. وتُحدَّد برامج الوكالة وميزانياتها من خلال مقررات جهازي تقرير سياسات الوكالة، أي مجلس المحافظين المؤلَّف من ٣٥ عضواً والمؤتمر العام الذي يضم جميع الدول الأعضاء.

ويوجد المقر الرئيسي للوكالة في مركز فيينا الدولي. كما توجد مكاتبميدانية ومكاتب اتصال في جنيف ونيويورك وطوكيو وتورونتو. وتدير الوكالة مختبراتٍ علميةً في كلٍّ من موناكو وزايبرسدورف وفيينا. وعلاوةً على ذلك، تدعم الوكالة مركز عبد السلام الدولي للفيزياء النظرية في تريستي بإيطاليا وتوفر له التمويل اللازم.

تسخير المعجِّلات والتكنولوجيا الإشعاعية من أجل التنمية المستدامة

بقلم: رافائيل ماريانو غروسي، المدير العام للوكالة الدولية للطاقة الذرية

"تعطي البروتونات الذرة هويتَها وتعطيها الإلكتروناتُ شخصيتَها"، بهذه الطريقة المجازية وصف مرة الكاتب بيل برايسون طبيعة المادة كلِّها. وهو وصف مناسب للَّبِنات الأساسية التي يتألف منها الكون. ويكشف كل جسيم ذري وكل عنصر كيميائي وكل نظير شيئًا عن طبيعة المادة التي يكوِّنها وماضيها وقدراتها. وتُعدُّ المعجِّلات وغيرها من التكنولوجيات الإشعاعية أدوات قيِّمة فيما يتعلق بدراسة الذرات والعمل عليها.

وتأتي المعجِّلات بأحجام وأشكال عديدة، وهناك اليوم أكثر من ٢٠ ٠٠٠ منها قيد التشغيل حول العالم. وتساعد المعجِّلات على إنتاج المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية وعلاج الأمراض وحفظ الأغذية ورصد البيئة وتعزيز المواد وفهم الفيزياء الأساسية ودراسة الماضي، بل وعلى كشف غموض الجرائم.

ويستطلع هذا العدد من مجلة الوكالة الدولية للطاقة الذرية مختلف أنواع المعجِّلات وينظر في الأساليب العديدة التي تدعم بها الوكالة تطبيقات المعجِّلات في مجالات الصحة والزراعة والبحوث والبيئة والصناعة. ويجري العمل بالعديد من التقنيات القائمة على المعجِّلات لتحقيق فوائد متنوعة من خلال تطبيق أنواع مختلفة من الإشعاعات. وهناك طائفة من التطبيقات الصناعية التي تستخدم المعجِّلات والمصادر الإشعاعية والتي تؤدي دوراً حاسم الأهمية في الاقتصاد العالمي وفي السعي إلى تحقيق التنمية المستدامة.

وتدعم مختبرات الوكالة في زايبرسدورف بالنمسا الباحثين من جميع أنحاء العالم في استخدام الإشعاع المؤيِّن بطرق مختلفة، منها تطبيق الإشعاع المؤيِّن من أجل تطوير محاصيل قادرة على تحمُّل عوامل الإجهاد البيئي؛ وتعقيم ذكور الحشرات المستخدمة في تقنية خاصة لمكافحة الآفات تقضي على البعوض وذباب تسي تسي وذباب الفاكهة في أمريكا اللاتينية وأفريقيا وآسيا وأوروبا.

وترد في هذا العدد من المجلة أمثلة أخرى تصف كيف ساعد الإشعاع المؤيِّن على حفظ سفينة قديمة؛ وكيف يُستخدم لإعادة تصميم المواد البلاستيكية وإعادة تدويرها؛ وكيف يسهم في حماية الأغذية من التحلل والآفات؛ وكيف يساعد على معرفة منشأ المفردات وتاريخ صنعها.

ونحن في الوكالة نساعد على تحفيز الابتكار في تكنولوجيات المعجِّلات والتكنولوجيات الإشعاعية. وفي سبيل ذلك، نستضيف هذا العام مؤتمرين مهمين هما المؤتمر الدولي بشأن تسخير المعجِّلات لأغراض البحث والتنمية المستدامة، وهو أول مؤتمر من نوعه؛ والمؤتمر الدولي الثاني بشأن تطبيقات العلوم والتكنولوجيا الإشعاعية، الذي يهدف إلى إلقاء نظرة متعمِّقة على النطاق الأوسع من مصادر الإشعاع المؤيِّن المتاحة، دون الاقتصار على المعجِّلات.

وفي هاتين الفعاليتين، ستجتمع الأوساط التي تستخدم هذه التكنولوجيات وتُعتبر المستفيد الأكبر منها من أجل تبادل الخبرات وأفضل الممارسات، ومن ثمَّ النهوض بالعلم ونشره لخدمة التنمية.

وبينما يتطلع المجتمع إلى العلم من أجل معالجة ما يواجهه من تحديات كبيرة ووجودية، يتطلع العلماء إلى المعجِّلات وتطبيقاتها بحثاً عن الأجوبة، وتقف الوكالة إلى جانبهم في هذا العمل من أجل التأكُّد من تمكُّن البلدان في جميع القارات من الاستفادة من هذا التطبيق النووي الفعال والمفيد.

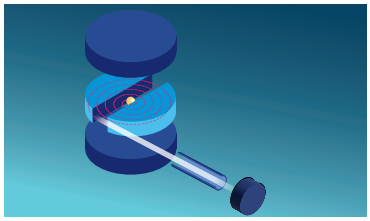
"بينما يتطلع المجتمع إلى العلم من أجل معالجة ما يواجهه من تحديات كبيرة ووجودية، يتطلع العلماء إلى المعجِّلات وتطبيقاتها بحثاً عن الأجوبة، وتقف الوكالة إلى جانبهم في هذا العمل من أجل التأكُّد من تمكُّن البلدان في جميع القارات من الاستفادة من هذا التطبيق النووي الفعال والمفيد".

– رافائيل ماريانو غروسي، المدير العام للوكالة الدولية للطاقة الذرية

(الصورة من: أنتيرو أبرونيوزا، جامعة كويمبرا)

(الصور من: الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

١ تسخير المعجِّلات والتكنولوجيا الإشعاعية من أجل التنمية المستدامة



٤ ما هي معجِّلات الجسيمات؟

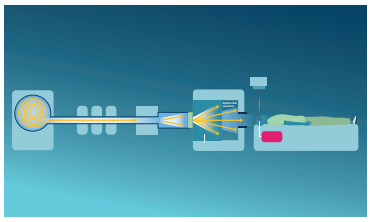
٦ فهم البيئة ومعالجة التلوث باستخدام المعجِّلات

٨ علم الآثار الرومانية القديمة يعود للساحة بالاستعانة بالعلوم النووية

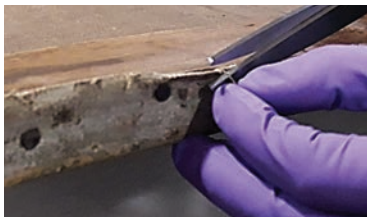
١٠ التلوث البلاستيكي

إعادة التدوير باستخدام الإشعاع لحماية البيئة

١٢ تبسيط مكافحة الآفات الغذائية من خلال التشعيع

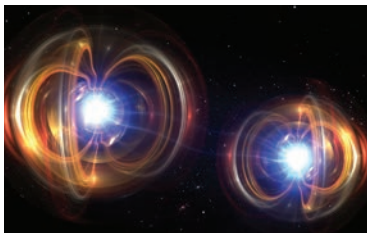


١٤ النيوترونات للخلايا العصبية والسيكلوترونات للنظائر المشعة



١٦ الذرات الكاشفة للحقيقة

التقنيات التحليلية القائمة على المعجِّلات تكشف تزوير الأعمال الفنية

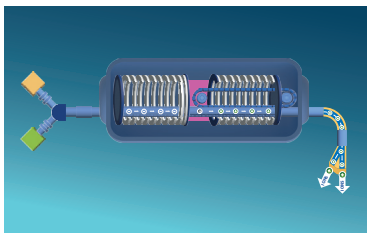


١٨ التعديل الكمومي
استخدام المعجِّلات لزرع ذرات مفردة للاستشعار البيولوجي

٢٠ استخدام التقنيات النووية لتطوير المواد المتقدمة

٢٢ إنشاء مرافق للإشعاع المؤيِّن في الفلبين وخارجها

٢٤ التمكين من استخدام مرافق التشعيع بطريقة مأمونة وآمنة وسلمية من خلال القانون



٢٦ ما تحتاجون إلى معرفته عن الحزم الأيونية

أسئلة وأجوبة

٢٨ استخدام التشعيع الصناعي من أجل عالم أفضل

رؤية عالمية

٣٠ مشروع ميرا: نظام يعمل بواسطة المعجِّلات للتصرُّف في النفايات المشعة
— بقلم حميد آيت عبد الرحيم، نائب المدير العام للشؤون الدولية، مركز البحوث النووية البلجيكي، ومدير مشروع ميرا

تحديثات الوكالة

٣٢ أخبار الوكالة
٣٦ المنشورات

ما هي معجِّلات الجسيمات؟

بقلم سوتيريوس خاريسوبولوس وفولفغانغ بيكو

الأجزاء الأساسية التي يتكون منها معجِّل الجسيمات

تنتج معجِّلات الجسيمات وتسرِّع حزماً من الجسيمات المشحونة، مثل الإلكترونات والبروتونات والأيونات، من الحجم الذري ودون الذري. ولا يقتصر استخدامها على البحوث العلمية الأساسية الرامية لتحسين فهم المادة، ولكن يمتد أيضاً لطائفة عريضة من التطبيقات الاقتصادية والاجتماعية المتعلقة بالصحة والرصد البيئي وجودة الأغذية والطاقة وتكنولوجيات الفضاء الجوي، من بين مجالات أخرى.

ومعجِّلات الجسيمات يمكن أن تكون خطية (مستقيمة) أو دائرية من حيث الشكل، وتتفاوت أحجامها تفاوتاً كبيراً. فقد يبلغ طول بعضها عشرات الكيلومترات، في حين تكفي غرفة صغيرة لاحتواء بعض آخر، بيد أنَّ جميع المعجِّلات تضمُّ أربعة مكونات رئيسية:

1. مصدر لإنتاج الجسيمات المشحونة؛
2. جهاز مركَّب لتزويد الجسيمات بالطاقة وتسريعها عن طريق تعريضها لمجال كهربائي استاتيكي أو متذبذب؛
3. سلسلة من الأنابيب المعدنية في منطقة مفرَّغة للسماح للجسيمات بالتحرك بحرية دون الاصطدام بجزيئات الهواء أو الغبار التي يمكن أن تتسبَّب في تشتيت الحزمة؛
4. نظام من المغناطيسات الكهربية لتوجيه حزم الجسيمات وتركيزها أو تغيير مسارها قبل استخدامها لقصف العينة المستهدفة.

استخدامات حزم الجسيمات

الصحة

تُستخدم الحزم في تعقيم المعدات الطبية وإنتاج النظائر المشعة اللازمة لصنع المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية لأغراض تشخيص السرطان وعلاجه. وتكفل المعجِّلات الكبيرة القدرة على تدمير خلايا السرطان، والكشف عن بنية البروتينات والفيروسات، والارتقاء باللقاحات والأدوية الجديدة إلى المستوى الأمثل.

البحوث

تُستخدم بعض المعجِّلات – الأكبر حجماً – لدفع الجسيمات دون النووية للتصادم من أجل النهوض بمعارفنا عن الكون. ويُستخدم بعض هذه المعجِّلات أيضاً في إنتاج النيوترونات.

البيئة

عادة ما يمكن استخدام حزم البروتونات في الكشف عن العناصر الكيميائية النزرة في الهواء والماء والتربة. ويمكن الاستفادة من ذلك، على سبيل المثال، في الكشف عن تركيب مختلف الملوثات ومستوى تركُّزها وإعطاء بصمة فريدة لجودة الهواء.

الصناعة

يمكن لحزم الجسيمات أن تتفاعل مع ذرات المادة المستهدفة – على سبيل المثال لتعزيز متانة تلك المادة.

أنواع معجِّلات الجسيمات

أجهزة زرع الأيونات

تُستخدم أجهزة زرع الأيونات على نطاق واسع في الصناعة، لأغراض منها على سبيل المثال تعزيز مقاومة المواد للتلف بفعل البلي والاستخدام. ويوجد حول العالم نحو ١٢ ٠٠٠ من أجهزة زرع الأيونات التي تسهم في صنع أشباه الموصلات للاستخدام في الهواتف الذكية والألواح الشمسية، وفي تصليد التشطيبات المعدنية والخزفية والزجاجية. ويمكن أيضاً استخدام أجهزة زرع الأيونات لتحسين موثوقية المواد المستعملة في الأجهزة الطبية التي تُزرع داخل الجسم.

المعجِّلات الخطية

تتفاوت المعجِّلات الخطية من حيث الطول، من معجِّلات لا يتجاوز طولها المترين إلى معجِّلات يصل طولها إلى بضعة كيلومترات. ويُستخدم الكثير من هذه المعجِّلات في البحوث العلمية. وتُستخدم المعجِّلات الطبية المركَّبة في المستشفيات لإنتاج دفقات من الأشعة السينية تُوجَّه نحو خلايا الأورام لتدميرها. ويجري تشغيل ما يقرب من ١٠٠٠ معجِّل خطي طبي حول العالم.

السنكروترونات

السنكروترونات نوع عملاق من معجِّلات الجسيمات، ويوجد منها أكثر من ٧٠ جهاز حول العالم. وتُستخدم السنكروترونات في البحوث العملية وتساعدنا على فهم القوانين الأساسية للكون، ويستعين بها العلماء في دراسة الكيمياء، والطب البيولوجي، والتراث الطبيعي والثقافي، والبيئة، ومجالات أخرى عديدة.

استخدام معجِّلات الحزم الإلكترونية في الصناعة

هناك ما يقرب من ١٠ ٠٠٠ من معجِّلات الحزم الإلكترونية العاملة على الصعيد العالمي. ويمكن استخدام هذه المعجِّلات في أغراض منها على سبيل المثال المساعدة على تعزيز متانة المواد في درجات الحرارة المتطرفة أو زيادة مقاومتها للمواد الكيميائية. وتُستخدم الحزم الإلكترونية أيضاً في تعقيم المنتجات الطبية والأغذية، وتطهير مياه الصرف الصحي. وتُستخدم أيضاً على نطاق واسع في صناعة السيارات وصناعة الفضاء الجوي، وفي بناء الآلات، وفي قطاع صناعة المنتجات الطبية.

السيكلوترونات

يوجد حول العالم أكثر من ١٢٠٠ من السيكلوترونات التي تُستخدم لإنتاج حزم البروتونات أو الديوتيرونات للاستعمالات الطبية. وتُستخدم السيكلوترونات في إنتاج النظائر المشعة اللازمة للتصوير الطبي من أجل تشخيص السرطان وعلاجه. والعديد من السيكلوترونات يوجد في المستشفيات لإنتاج المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية المحتوية على نظائر مشعة قصيرة العمر.

المعجِّلات الإلكتروستاتية

المعجِّلات الإلكتروستاتية، وأبرزها المعجِّلات الترادفية، هي نوع أقل تكلفة من المعجِّلات يستخدمه العلماء في تقصِّي خصائص المواد، ورصد البيئة، ودعم البحوث الطبية البيولوجية، ودراسة القطع التراثية الثقافية، وأغراض أخرى. ويتوقع العلماء أنَّ العدد الحالي لهذه المعجِّلات، والبالغ ٣٠٠ جهاز حول العالم، سوف يتزايد على مدى السنوات المقبلات.

اليوم يوجد أكثر من

٢٠٠٠٠

من المعجِّلات قيد التشغيل حول العالم

الحجم

من معجِّلات تسعها غرفة صغيرة

معجِّل خطي طبي

إلى عشرات الكيلومترات

السنكروترونات

(الرسوم: أدريانا فارغاس تيرونيس، الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

فهم البيئة ومعالجة التلوث باستخدام المعجِّلات

بقلم لينكا دويكانوفا

مرفق سنكروترون إليترا في تريبستي بإيطاليا.
(الصورة من: مرفق سنكروترون إليترا في تريبستي)

يمكن للفلزات الثقيلة وغيرها من المواد الكيميائية السامة أن تتسبَّب في تلويث الهواء والمياه والتربة، ومن ثمَّ الإضرار بالحياة النباتية والحيوانية. وبغية التصدي لتأثير هذه العناصر، يحتاج العلماء أولاً إلى تحسين فهمهم لسلوكها. وتسهم المعجِّلات في هذه الجهود من خلال استخدام حزم الجسيمات المشحونة لاستهداف مواد مختارة لتحليل أو تغيير سطحها أو تركيبها أو بنيتها أو غير ذلك من خصائصها.

ويقول رومان باديا، الفيزيائي المتخصِّص في الأجهزة النووية بالوكالة: "إنَّ التقنيات القائمة على المعجِّلات تكفل قدرات فريدة من نوعها وتتيح استخلاص معلومات متعمِّقة عن التلوث بطريقة سريعة وغير متلفة وفعالة من حيث التكلفة. ومعجِّلات الجسيمات التي تُستخدم من أجل فهم البيئة وتحسينها تأتي بكل الأشكال والأحجام، ويمكن لأساليب إنتاج حزم الأيونات القائمة على المعجِّلات أن تساعدنا على تحديد خصائص العينات المأخوذة من التربة والرواسب والكائنات الحية والمياه أو جسيمات الهواء الدقيقة".

والنوع الأشيع استخداماً من المعجِّلات في مجال تحديد خصائص عينات الرصد البيئي هو المعجِّلات الإلكتروستاتية (انظر الصفحة ٤).

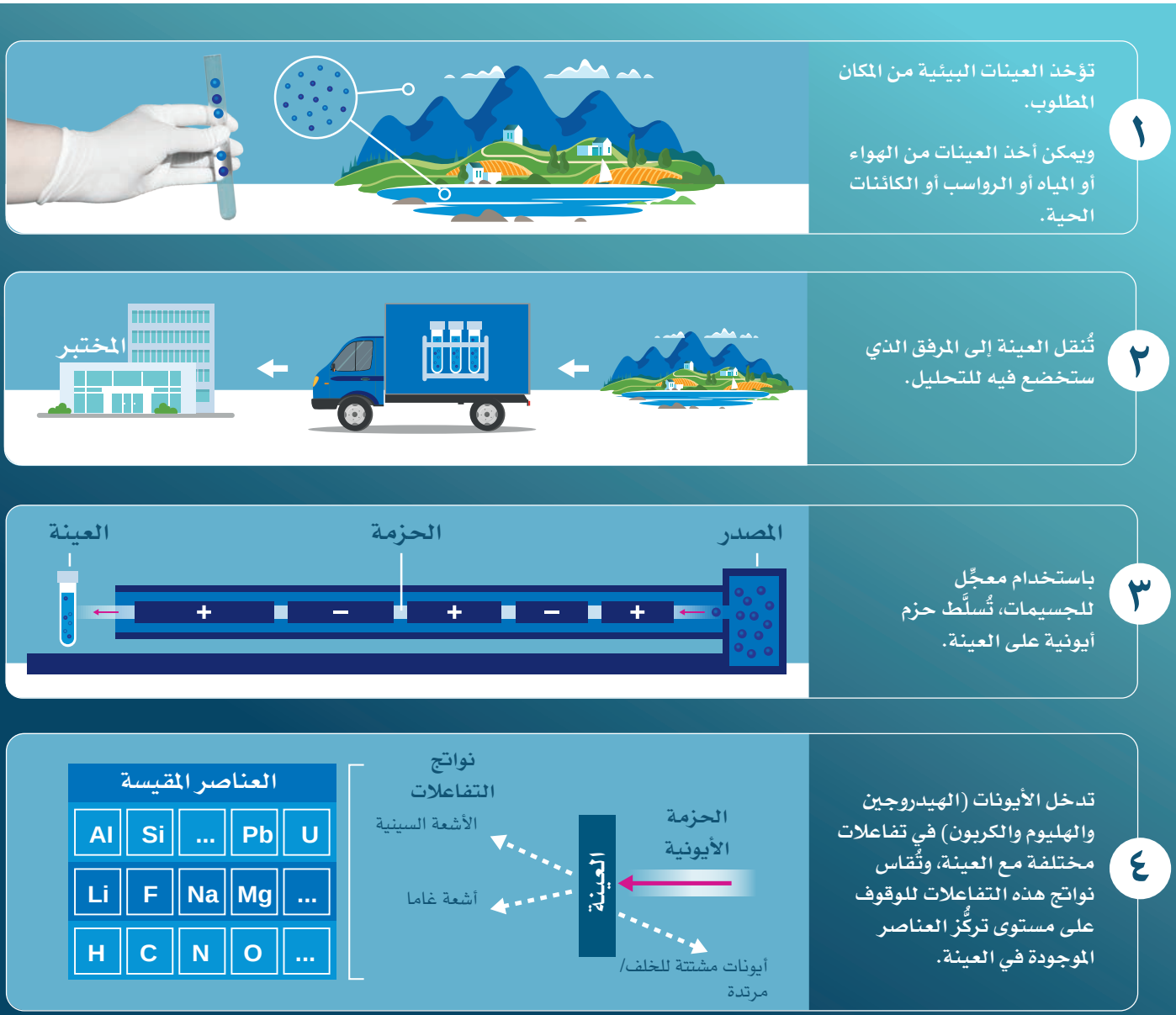
وتقييم تلوث الهواء والمياه عنصر حاسم الأهمية في معالجة القضايا الصحية على الصعيد العالمي. ويعيش في آسيا ما يزيد على ٦٠ في المائة من سكان العالم ويوجد فيها ١٣ من أكبر مدن المعمورة. وتحتل قضية تلوث الهواء والمياه موقعاً متقدماً من جدول الأعمال في المناطق التي يغلب عليها الطابع الحضري في القارة. وبغية مساعدة الخبراء على تحديد خصائص عينات الهواء، تتعاون الوكالة مع ١٥ بلداً آسيويًّا لأخذ عينات أسبوعية من الجسيمات العالقة في الهواء بشكليها الناعم والخشن، والتي تؤثر في نوعية الهواء الذي يتنفسه أكثر من ١١٠ مليون شخص. وفي الفترة بين عامي ٢٠٠٢ و٢٠١٧، لم يكن دور تقنيات الحزم الأيونية القائمة على المعجِّلات قاصراً على الكشف عن وجود العديد من العناصر في العينات المأخوذة، وإنما شمل أيضاً المساعدة على تحديد المصادر المحتملة لتلوث الهواء.

وبالإضافة إلى ذلك، يمكن استخدام الحزم الإلكترونية، وهي غير الحزم الأيونية (انظر الصفحة ٢٦)، لمعالجة مياه الصرف أو المواد البلاستيكية (انظر الصفحة ١٠). وعلى سبيل المثال، تكفل هذه التقنية ميزة واضحة بالمقارنة بالتكنولوجيات التقليدية المستخدمة في معالجة المياه، مثل أساليب المعالجة الكيميائية والبيولوجية، لأنَّ الحزم الإلكترونية لا تتطلب استخدام مطهرات كيميائية للقضاء على الكائنات الحية الدقيقة. وفي مقاطعة هوباي بالصين، يوجد مرفق معالجة متخصص يستخدم تكنولوجيا الحزم الإلكترونية لتعقيم مياه الصرف الطبي وتفتيت المضادات الحيوية. وقد أُنشئ المرفق بالاستناد إلى تكنولوجيا نقلتها الوكالة ليوفِّر القدرة على معالجة ٣٠ مليون لتر من مياه الصرف الصناعية يوميًّا، وبذلك يُعدُّ أكبر مرفق في العالم لمعالجة مياه الصرف بالاستعانة بالتشعيع. وتؤدي عملية المعالجة إلى وفورات قدرها ٤,٥ مليار لتر من المياه العذبة سنويًّا – أي ما يكفي لتلبية احتياجات ١٠٠ ٠٠٠ شخص من مياه الشرب.

وفي الوقت نفسه، تُستخدم السنكروترونات، وهي نوع خاص من المعجِّلات الحلقية، أيضاً في الدراسات البيئية وتساعد الخبراء على تحليل العناصر والوقوف على توزُّعها وتحديد الفصيلة الكيميائية التي تنتمي إليها. وباستخدام الأشعة السينية كوسيلة للسبر، يمكن نشر هذه المعجِّلات المعقَّدة في عمليات التعدين والعمليات الصناعية، في الحالات التي لا توفِّر فيها

الأساليب التقليدية بيانات كافية لتوقُّع النتائج البيئية المحتملة أو مستوى التوافر البيولوجي أو المخاطر الناجمة عن التلوث. وفي مجال التعدين، على سبيل المثال، تساعد السنكروترونات على توقُّع السلوك في المستقبل، مثل تحرُّك الفلزات أو المعادن أو ذوبانها.

ومنذ فترة تزيد على سبع سنوات، تشترك الوكالة مع مرفق سنكروترون إليترا في تريبستي في تشغيل محطة نهائية متعددة الأغراض في خط الحزم الإشعاعية القائم على تألق الأشعة السينية. ومن خلال الجهود التعاونية من هذا القبيل، تدعم الوكالة وتروج لأنشطة البحث والتدريب القائمة على الإشعاع السنكروتروني لفائدة الأفرقة البحثية، خصوصاً في البلدان ذات الخبرات والموارد المحدودة فيما يتعلق بالوصول إلى مرافق الإشعاع السنكروتروني واستخدامها. وقد ساعدت هذه التجارب على دراسة المسائل البيئية في عدَّة بلدان، بما يشمل جسيمات الهباء الجوي الدقيقة في الغلاف الجوي وداخل المباني في هنغاريا والأردن؛ والتوزُّع المكاني للرصاص في الغطاء النباتي في المناطق المحيطة ببيئات المناجم في إسبانيا؛ والتوزُّع والحالة الكيميائية للكادميوم المتراكم في المحار الصدفي والمروحي في إيطاليا؛ والتيتانيوم في البيئات الزراعية المعدَّلة برواسب طينية مأخوذة من محطات معالجة المياه في المكسيك؛ والعمليات المجهرية التي ينطوي عليها التقليل من الملوثات في الأنهار الملوثة بسبب المناجم في إيطاليا.



(الرسوم: أدريانا فارغاس تيرونيس، الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

علم الآثار الرومانية القديمة يعود للساحة بالاستعانة بالعلوم النووية

بقلم مايكل أمدي مادسن

في عام ١٩٩٦، وقع الغواص البلجيكي رينيه فوترز على اكتشاف أثري لا يتكرر مرتين في حياة المرء. فبينما كان يستكشف المياه على عمق ٤٥ متراً قرب جزيرة فيلي أوريولي الكرواتية في البحر الأدرياتيكي، عثر على تمثال عتيق غامض مصنوع من البرونز. وعكف الباحثون على دراسة التمثال بعناية لأكثر من عقد من الزمن لتحديد عمره ومنشئه، بل والأساليب المستخدمة في صنعه، بفضل التقنيات النووية.

استخدم الباحثون تقنيات قائمة على المعجِّلات من أجل تحديد عمر تمثال أبوكسيومينوس ومنشئه والأساليب المستخدمة في صنعه.

(الصورة من: المستخدم Vassil، ويكيميديا كومنز)

ويجسِّد التمثال أبوكسيومينوس، وهو رجل رياضي عارٍ من الثياب مفتول العضلات، يمسح العرق والغبار من على جسده. وعقب استخراج التمثال من البحر في عام ١٩٩٩، كان قد تعرَّض لقدر كبير من التآكل ومن ثمَّ بدأت عملية طويلة لإزالة الملح من عليه وترميمه. وبعد الانتهاء من هذه العملية في عام ٢٠٠٥، وجد علماء الآثار أنفسهم في حيرة من أمرهم: إنَّ فكرة التمثال ليست فريدة من نوعها، فهل أصله روماني أم يوناني؟ ولم يكن من الممكن تحديد منشأ التمثال حتى عام ٢٠٠٩، حين استُخدم معجِّل جسيمات للمساعدة على توفير شيء من الوضوح.

وتقول السيدة لينا باسل، مسؤولة المشاريع المساعدة في مجال علوم التراث بالوكالة: "لقد استند الكشف عن ماضي تمثال أبوكسيومينوس إلى عدَّة تقنيات نووية من أجل تحسين فهم بنيته على المستوى الذري". وتعمل السيدة باسل مع خبراء من أنحاء مختلفة من العالم لتطبيق التقنيات النووية من أجل تصنيف القطع الأثرية. وتُحيل السيدة باسل إلى دراسة نُشرت في مجلة علم الآثار في عام ٢٠١٠، تمكَّن الباحثون فيها، بعد تطبيق تقنية قياس الطيف الكتلي باستخدام المعجِّلات على المواد العضوية التي عُثر عليها داخل تمثال أبوكسيومينوس، من تحديد تاريخ صُنع التمثال عن طريق التأريخ الكربوني على أنه يقع في الفترة بين عام ١٠٠ ق.م. وعام ٢٥٠ م.

وطبَّق الباحثون أيضاً تقنية انبعاث الأشعة السينية المستحث بالجسيمات، وهي تقنية قائمة على المعجِّلات، من أجل تحديد التركيب الأصلي للخليط المعدني المستخدم في سبك التمثال، وتقنية قياس الطيف الكتلي البلازمي المقرون بالحث المتعدد اللاقطات من أجل تحسين فهم التركيب النظيري للرصاص المستعمل في التمثال. والنظائر هي الأشكال المحدَّدة التي يتخذها العنصر الكيميائي والتي تختلف من حيث الكتلة الذرية والخصائص الفيزيائية. ويمكن للعلماء النظر في نسب نظائر الرصاص المختلفة في أي عينة وإجراء مقارنة مرجعية مع الخصائص المعروفة للمناطق الجغرافية من أجل تحديد المكان الذي يعود إليه منشأ العينة. وتقول السيدة باسل: "لقد استخدموا التقنية التحليلية القائمة على المعجِّلات لتحديد أنَّ منشأ الرصاص المستعمل في التمثال يعود إلى شرق جبال الألب أو سردينيا، وخلصوا إلى أنَّ التمثال هو استنساخ روماني لأصل يوناني".

وبعد خمس سنوات، فحص الباحثون تمثال أبوكسيومينوس مرة أخرى باستخدام تقنية انبعاث الأشعة السينية المستحث بالجسيمات بمستوى عالٍ من الاستبانة العمودية. ووجدوا أنَّ شفَّتي التمثال، المضافتين إليه بطريقة الترصيع، مصنوعتان من النحاس الخالص غير المخلوط. وكشف التصوير بالأشعة السينية الكيفية التي وُضعت بها قطع الترصيع وثُبِّتت في مكانها، وكذلك تقنيات السبك واللحام المتطورة المستخدمة في صُنع الأطراف. وخلص الباحثون إلى أنَّه من الواضح أنَّ تمثال أبوكسيومينوس هو استنساخ لتمثال أقدم كثيرا – يعود إلى منتصف القرن الرابع قبل الميلاد، وأنَّه صُنع عن طريق تقنية سبك غير مباشرة باستخدام الشمع المتبدِّد وخليط معدني ذي تركيب منخفض الرصاص.

وتقول السيدة باسل: "إنَّ التقنيات القائمة على المعجِّلات تؤدي دوراً مهمًّا في تصنيف القطع التراثية، وحالة تمثال أبوكسيومينوس تبيِّن لنا أنَّه كثيرا ما يلزم اتباع نهج قائم على استخدام عدَّة أنواع من التحاليل. وتعمل الوكالة على تحفيز الاستعانة بهذه التطبيقات". ومنذ عام ٢٠١٨، تعمل الوكالة ودولها الأعضاء على الترويج لمبادرة تسخير الذرة من أجل التراث، وأقامت العام الماضي شراكة

استراتيجية مع جامعة باريس-ساكلاي في فرنسا للنهوض باستخدام التقنيات النووية في تصنيف وحفظ التراث الثقافي والطبيعي. وبالتعاون مع الوكالة، ستركِّز الجامعة على البحث العلمي والتطوير، وعلى نقل المعارف وأفضل الممارسات فيما بين الخبراء حول العالم.

الرومان يُبعثون من نهر الرون

لا يقتصر استخدام التقنيات النووية في علم الآثار على التصنيف، فالتشعيع يؤدِّي منذ فترة طويلة دوراً مهمًّا في حفظ القطع الأثرية. ومن المعروف على نطاق واسع أنَّ مومياء الفرعون المصري رمسيس الثاني التي يبلغ عمرها ٣٢٠٠ عام خضعت للتشعيع في عام ١٩٧٧ لإزالة الفطريات والحشرات منها، بيد أنَّ هذه التكنولوجيا ما زالت تُستخدم بصورة مستمرة في العديد من المشاريع منذ ذلك الحين.

وفي عام ٢٠٠٤، وعلى عمق لا يتجاوز أربعة أمتار تحت سطح نهر الرون في مدينة آرل بفرنسا، اكتُشفت سفينة رومانية تعود للقرن الأول الميلادي. وأُطلق على السفينة اسم "آرل-رون ٣"، وهي عبارة عن صندل مصنوع من خشب البلوط بطول ٣١ مترا، والمرجَّح أنها غرقت بفعل فيضان مفاجئ غطَّاها بطبقة رقيقة من الطمي.

ويقول السيد لوران كورتيلا، وهو مهندس بحوث في الورشة الإقليمية المعنية بالمحافظة النووية على القطع الفنية (ARC-Nucléart) في غرونوبل بفرنسا، والتي توفِّر خدمات الترميم والحفظ: "لقد ساعد الطمي في المحافظة على السفينة ومحتوياتها من القطع الأثرية القيمة، إلا أنَّ البكتريا اللاهوائية تسبَّبت في إذابة سليولوز الخشب ليحلَّ الماء محله. وكان ذلك يشكِّل تحديا في عام ٢٠١١ حين حاول الباحثون التخطيط لرفع السفينة من قاع النهر ووضعها في أحد المتاحف، لأنَّ الخشب سينهار حين يجف".

وابتكرت الورشة الإقليمية حلا لتلك المشكلة: حيث غمروا الخشب في غليكول البولي إيثيلين، وجفَّفوه بالتجميد، وعالجوا أجزاء من السفينة بالتشعيع. ويقول السيد بوم سو هان، أخصائي الكيمياء الإشعاعية بالوكالة، الذي يعمل ضمن إطار مبادرة تسخير الذرة من أجل التراث للترويج لاستخدام تكنولوجيات التشعيع في حفظ التراث الثقافي: "على غرار تجفيف المواد اللاصقة بمجفِّف الشعر، استخدم أخصائيو الترميم التشعيع لتصليد الصمغ القابل للمعالجة الإشعاعية ومن ثمَّ المحافظة على تماسُك البنية الداخلية للألياف الخشبية". ويقدِّم السيد هان الدعم لجهود حفظ التراث الثقافي ويرى أنَّ الطلب على هذه التطبيقات يتزايد.

ويقول السيد هان: "يمكنكم زيارة السفينة آرل-رون ٣ اليوم في المتحف الإقليمي لمدينة آرل القديمة بفرنسا، لكن ليس عليكم الذهاب إلى فرنسا لمشاهدة قطع أثرية محفوظة باستخدام التشعيع، فهذه التقنيات تُطبَّق على نطاق واسع". وفي عام ٢٠١٧، أصدرت الوكالة المنشور المعنون Uses of Ionizing Radiation for Tangible Cultural Heritage Conservation ("استخدام الإشعاع المؤيِّن في حفظ التراث الثقافي الملموس")، والذي يعرض أمثلة لتطبيق هذه التقنيات بنجاح حول العالم. ويعمل السيد هان الآن على إعداد الإصدار التالي من نفس السلسلة الصادرة عن الوكالة، والذي يركِّز على الممارسات الجيدة في تطهير قطع ومحفوظات التراث الثقافي باستخدام الإشعاع المؤيِّن. ومن المتوقع أن يصدر هذا المنشور في عام ٢٠٢٣.

"إنَّ التقنيات القائمة على المعجِّلات تؤدي دوراً مهمًّا في تصنيف القطع التراثية، وحالة تمثال أبوكسيومينوس تبيِّن لنا أنَّه كثيرا ما يلزم اتباع نهج قائم على استخدام عدَّة أنواع من التحاليل".

— لينا باسل، مسؤولة المشاريع المساعدة في مجال علوم التراث، الوكالة

استُخدمت التقنيات النووية في حفظ السفينة الرومانية القديمة، آرل رون ٣، وهي الآن معروضة في المتحف الإقليمي لمدينة آرل القديمة بفرنسا.
(الصورة من: Cd13/MdDa/Chaland Arles Rhône 3 © Remi Benali)

التلوث البلاستيكي

إعادة التدوير باستخدام الإشعاع لحماية البيئة

بقلم بوجا دايا

تبعد جزيرة هندرسون أكثر من ٥٠٠٠ كيلومتر عن أقرب كتلة برية رئيسية، وربما تكون بذلك المكان الأكثر عزلة على وجه الأرض. ومع ذلك، ورغم خلو هذه الجزيرة الفردوسية الواقعة في جنوب المحيط الهادئ من أيِّ وجود بشري، فهي تغصُّ بأكثر من أربعة ملايين من القطع والجسيمات البلاستيكية. والضرر الناجم عن القمامة المتناثرة على شواطئ جزيرة هندرسون لا يقتصر على المنظر السيِّء، بل إنَّ هذه النفايات تقتل الأحياء البحرية التي تختنق أو تُحاصر بسببها. وليس الركام البلاستيكي من هذا القبيل إلا مثالاً واحداً لمصير المواد البلاستيكية المنتَجة منذ عام ١٩٥٠ والتي تزيد كميتها على ثمانية مليارات طن.

وتعمل الوكالة مع خبراء من جميع أنحاء العالم من أجل تغيير ذلك المصير وحماية الحياة البحرية والبيئة من التلوث البلاستيكي. وتُجري الوكالة، بالتعاون مع شركائها، أنشطة بحث وتطوير بهدف استخدام تقنيات قائمة على الإشعاع المؤيِّن في إعادة معالجة وإعادة تدوير المواد البلاستيكية بتكلفة ميسورة. وتنطوي هذه التقنيات على استخدام معجِّلات الحزم الإلكترونية (انظر الصفحة ٢٦) من أجل تشعيع المواد البلاستيكية المستهلكة بهدف إعادة تدويرها وتيسير إعادة تشكيلها للاستخدام في منتجات أخرى.

وهذه التقنية واعدة لأنَّها ليست جديدة بالكامل، بل لها قصة نجاح طويلة. فالبوليمرات المشعَّعة موجودة حولنا في كل مكان، من الإطارات المطاطية في عجلات السيارات إلى أنابيب المياه الساخنة وعبوات الأغذية. وتقول السيدة سيلينا هوراك، رئيسة قسم منتجات النظائر المشعة والتكنولوجيا الإشعاعية في الوكالة: "إذا كان بإمكاننا أن نستخدم هذه التكنولوجيا في التطبيقات الصناعية لإكساب المواد البلاستيكية سمات جديدة، فليس ثمة ما يمنعنا من استخدام التشعيع أيضاً لإعادة تشكيل تلك المواد وإعادة هيكلتها لتحسين قابليتها لإعادة التدوير والتقليل من كمية المواد البلاستيكية المتخلَّص منها".

وتتألَّف المواد البلاستيكية من أنواع مختلفة من البوليمرات – وهي مواد تتكوَّن من سلاسل طويلة أو شبكات من مجموعات متكررة من الذرات يُطلق عليها المونومرات. ويؤدي تشعيع البوليمرات إلى التأثير فيها بأشكال مختلفة مفيدة لأغراض إعادة تدوير النفايات البلاستيكية والتقليل منها وإعادة استخدامها.

ويتصدر الجهود البحثية في هذا المجال مشروعٌ بحثي منسق جديد تابع للوكالة يهدف إلى تطوير استخدام الإشعاع المؤيِّن في إعادة تدوير النفايات البوليمرية. وتقول السيدة بين جيرمايا باربا، أخصائية البحوث العلمية في معهد البحوث النووية الفلبيني: "إنَّ تشعيع المواد لم يعد مجرد أداة في مجال التصنيع بل صار أيضاً أداة لإعادة التدوير، ولذلك فالتقنيات القائمة على الإشعاع المؤيِّن التي تُستخدم في تعديل البوليمرات مهمة أيضاً لإعادة معالجة النفايات البلاستيكية". والمعهد الذي تعمل فيه السيدة باربا يمثِّل بلداً واحداً فقط من بين ١٨ بلداً تتعاون من أجل دراسة كيفية استخدام عمليات التشعيع من قبيل الربط البيني وقصِّ السلاسل والزرع وغيرها من عمليات التعديل السطحي لمساعدة البلدان على تطوير منهجيات لإعادة التدوير بتكلفة أقل وتيسُّر أكبر.

الربط البيني للبوليمرات

تشير عملية الربط البيني إلى استخدام التشعيع بالحزم الإلكترونية لتكوين جسور بين جدائل المادة

بلغت كمية المواد البلاستيكية المنتَجة منذ عام ١٩٥٠ نحو ثمانية مليارات طن. وجانب كبير من هذه الكمية الهائلة متروكٌ دون جدوى في مقالب القمامة أو في المحيطات أو على الشواطئ.

(الصورة من: ميكلوس غاسبر، الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

البوليمرية. ويؤدي ربط جدائل المادة البوليمرية معاً إلى تحسين خصائصها، ويمكن أن يُستخدم لصُنع منتجات أطول عمراً وأكثر مقاومة وأفضل جودة. والربط البيني ممارسة شائعة في إنتاج إطارات المركبات، لأنَّها تتيح للجهات المصنِّعة تقليل حجم المطاط وسمكه – ومن ثمَّ خفض تكاليف المواد الخام وتكاليف الإنتاج، وتعزيز استدامة المنتَج.

تدنية المواد البوليمرية

يُستخدم التشعيع بطريقة عكسية تقريباً من خلال عملية قصِّ السلاسل – التي يجري فيها تقطيع المواد البوليمرية أو "تدنيتها". ويقول السيد أولغون غوفن، خبير البوليمرات المعالجة إشعاعيًا في جامعة هاجيتيبه التي تقود الجهود في هذا المجال في تركيا: "إنَّ هذه العملية تزيد من هشاشة المواد ومن سهولة طحنها لتحويلها لبوليمرات أدق. وعلى سبيل المثال، فإنَّ مادة مثل البولي تترافلورو إيثيلين، وهي مادة طلاء كيميائية معروفة باسم علامتها التجارية الأشهر "تيفلون"، يمكن تدنيتها ثم استخدامها في مواد تشحيم زيوت المحركات والمواد المضافة إلى الأحبار". وفي إطار المشروع البحثي المنسق المذكور، يدرس الخبراء كيفية استخدام قصِّ السلاسل في عملية إعادة التدوير الكيميائية، التي تنطوي على ردِّ المنتج إلى شكله الكيميائي الأساسي لإنتاج مواد خام جديدة أو وقود. ويضيف السيد غوفن أنَّ استخدام قصِّ السلاسل في إعادة التدوير يمكن أن يؤدي إلى تحسُّن هائل في إنتاج منتجات جديدة من المواد البوليمرية المصمَّمة للاستخدام لمرة واحدة.

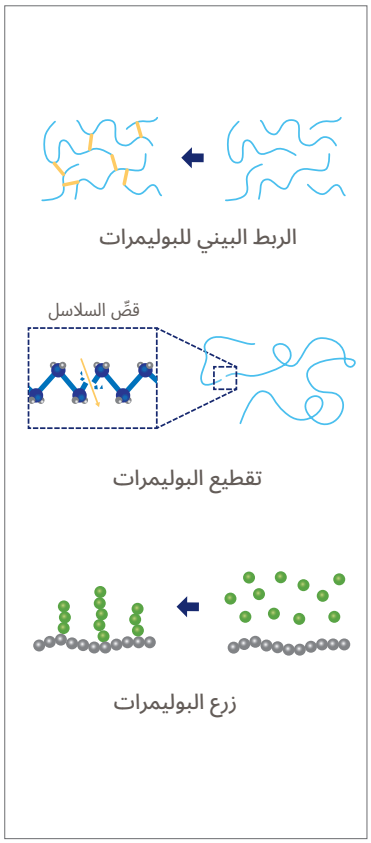
زرع البوليمرات

يُقصد بزرع البوليمرات عملية تكوين سلسلة بوليمرية قصيرة مصمَّمة خصيصاً على سطح مادة بوليمرية أخرى من أجل تعديل خصائصها. ويمكن استخدام التقنية نفسها لمزج مادتين بوليمريتين غير متوافقتين في الأحوال العادية، لتيسير إعادة تشكيل النفايات وإعادة هيكلتها.

وليست هذه التقنيات إلا بعضاً من جملة الأساليب التي تستكشف الوكالة بها إمكانية استخدام الإشعاع المؤيِّن في إعادة تدوير النفايات البلاستيكية. وتقول السيدة هوراك: "إنَّ نفس الأدوات التي تُستخدم في قطاع الصناعة يمكن تطبيقها في مجال إعادة التدوير، وهي تشكِّل جزءاً قليل التكلفة ومتيسر التوافر من الحل اللازم للتقليل من النفايات البلاستيكية الضارة ببيئتنا". وتضيف السيدة هوراك أنَّ المشروع البحثي المنسق الجاري سوف يحسِّن تكنولوجيا إعادة تدوير المواد البلاستيكية ويثبت صحتها ويساعد على تقييم جدوى استخدامها في البلدان. وسوف يضع المشروع أيضاً خطة لنقل المعارف وتحويلها إلى إجراءات عملية.

وبغية تحسين القدرات حول العالم فيما يتعلق بتطبيق التقنيات الإشعاعية المبتكرة من أجل التقليل من النفايات البلاستيكية عن طريق إعادة تدويرها، أطلقت الوكالة مبادرة نيوتك لمكافحة التلوث بالمواد البلاستيكية في عام ٢٠٢١. والمبادرة مكرَّسة لمساعدة البلدان على استخدام طائفة متنوعة من التقنيات النووية. وهي توفِّر أدلة قائمة على أسس علمية لتصنيف وتقييم التلوث البحري بالمواد البلاستيكية الدقيقة، وتوضِّح في الوقت نفسه استخدام الإشعاعات المؤينة في إعادة تدوير المواد البلاستيكية، وتحويل النفايات البلاستيكية إلى موارد قابلة لإعادة الاستخدام.

وتشمل مبادرة نيوتك مشاريع بحثية منسقة تساعد على توفير بيانات علمية دقيقة لتسترشد بها السياسات الرامية لمكافحة التلوث البلاستيكي، وتعزيز منهجية تتبُّع المواد البلاستيكية، وتحسين القابلية للتوسع في الأخذ بتكنولوجيا إعادة التدوير. وتوفِّر المشاريع البحثية المنسقة التي تتعهدها الوكالة في إطار المبادرة المعدات والتدريب للباحثين من أجل نقل المعارف وتيسير تنفيذ مشاريع إعادة تدوير المواد البلاستيكية. وعن طريق وضع المبادئ التوجيهية، ستساعد المبادرة البلدان على إنشاء المرافق وتهيئتها لاستخدام التقنيات النووية في مكافحة التلوث البلاستيكي.



تبسيط مكافحة الآفات الغذائية من خلال التشعيع

بقلم جوان ليو

هناك الكثير من الأشياء التي تسبق رؤيتنا للتوابل والحبوب والفواكه والخضروات قبل انتقالها من أماكنها الأصلية حتى تصل إلى أرفف محال البقالة المحلية التي نتعامل معها. فجرعة صغيرة من الإشعاعات تساعد على المحافظة على طزاجة المواد الغذائية وتحمُّلها الرحلة دون نشر الكائنات الغازِيَّة.

وتدعم الوكالة، بالشراكة مع منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو)، آخر التطورات في مجالي تشعيع الأغذية والتشعيع لأغراض الصحة النباتية للمساعدة على تبسيط عملية مكافحة الآفات وتيسير التجارة الدولية. وتشعيع الأغذية والتشعيع لأغراض الصحة النباتية أسلوبان للمعالجة فيما بعد الحصاد يستخدِمان الإشعاعَ المؤيِّن الذي تنتجه مصادر مثل الكوبالت-٦٠ أو تولِّده المعجِّلات.

وقال السيد كارل بلاكبيرن، أخصائي في تشعيع الأغذية بالمركز المشترك بين الفاو والوكالة لاستخدام التقنيات النووية في الأغذية والزراعة: "الإشعاع المؤيِّن لا يضر الأغذية ولكنه يؤثر بشدة في الميكروبات أو الآفات الغازِية، ويُمكِّن التجارة الدولية".

أجهزة التشعيع الداخلية

قبل شحن بعض المواد الغذائية إلى وجهتها الأخيرة، تُحضَّر أولاً أو تُجمَع من مكانها الأصلي، وتعبأ ثمَّ تؤخذ إلى أحد مرافق التشعيع. وغالباً ما تعتمد هذه المرافق على الكوبالت-٦٠ كمصدر للإشعاع المؤيِّن. وقال بلاكبيرن: "إنَّ الكوبالت-٦٠ سهل الاستعمال لتوليد أشعة غاما ولكن قد يكون من الصعب شراؤه ونقله". وأضاف: "ما انفكَّت الوكالة تشجِّع على اتباع نهج مبسَّط جديد يجمع بين التشعيع الداخلي بالإشعاعات الضعيفة، مثل الحزم الإشعاعية الإلكترونية المنخفضة الطاقة أو الأشعة السينية المنخفضة الطاقة، حيث يمكن وضع جهاز التشعيع داخل المصانع الغذائية أو مراكز التعبئة".

وفي عام ٢٠٢١، أثبت مشروع بحثي منسَّق تابع للوكالة جدوى استخدام الحزم الإشعاعية الإلكترونية المنخفضة الطاقة والأشعة السينية الضعيفة من أجل الحد من العدوى بالطفيليات والتلوُّث بالجراثيم. وقالت السيدة سيتسوكو تودوريكي، مشارِكة في المشروع وقائدة مجموعة بحوث في المنظمة الوطنية لبحوث الزراعة والأغذية في اليابان: "هذا يعني أنَّه يمكن تطبيق الحزم الإشعاعية الإلكترونية المنخفضة

يساعد التشعيع على المحافظة على طزاجة المواد الغذائية، مثل الفراولة، وتحمُّلها الرحلات الطويلة.

(الصورة من: راغهافندرا ميثاري، موقع Unsplash)

الطاقة أو الإلكترونات الضعيفة كمعالجة سطحية وأنَّها لا تؤثر في الخصائص النوعيّة". وتابعت قائلةً: "يمكن إدراج الحزم الإشعاعية الإلكترونية المنخفضة الطاقة في دورة المعالجة وتشغيلها في الموقع بما أنَّ طاقتها منخفضة جدًّا مقارنةً بالحزم الإشعاعية التقليدية". واستحدَث المشروع أساليب لقياس جرعات الأشعة السينية الضعيفة. ويواصل مشروع بحثي منسق جديد مخُصَّص للمعالجات بالحزم الإشعاعية المنخفضة الطاقة تطوير وتعزيز الابتكارات في مجال المعالجة الإشعاعية الداخلية للأغذية، بما يشمل تطوير أدوات وتقنيات لقياس جرعات الحزم الإشعاعية الإلكترونية المنخفضة الطاقة في أنواع محدَّدة من الأغذية، بالتعاون مع الشركاء في صناعة الأغذية.

تطوير معالجات عامة

على مرِّ السنوات الخمس عشرة الماضية، زاد حجم السلع المشعَّعة لأغراض الصحة النباتية بشكل كبير إلى ما يقرب من ١٠٠ ٠٠٠ طن سنويًّا على مستوى العالم. ومع ذلك، لا تمثل المواد الغذائية المُشعَّعة والمتداولة إلا جزءاً ضئيلاً من المواد التي تخضع للمعالجة عن طريق تدابير أخرى للصحة النباتية. وأوضح السيد غي هالمان، خبير في الصحة النباتية ومقيم في الولايات المتحدة الأمريكية، أنَّ حجم فاكهة المانجو التي تخضع للمعالجة بالماء الساخن في المكسيك وحدها، على سبيل المثال، يصل إلى ٣٠٠ ٠٠٠ طن سنويًّا. وقال هالمان: "يتسم التشعيع لأغراض الصحة النباتية بمزايا تفوق المعالجات الأخرى المستخدمة لنفس الأغراض، مثل التعريض للبرودة والحرارة والتبخير، والتي قد تغيِّر مذاق الأغذية أو قوامه". وأضاف أنَّ وجود معايير أكثر قبولاً على المستوى الدولي في مجال التشعيع يمكن أن يدعم زيادة الاستفادة من خيار المعالجة المذكور وزيادة التجارة.

وتضع الاتفاقية الدولية لوقاية النباتات، وهي معاهدة متعددة الأطراف تديرها الفاو، المعاييرَ لمنع ومكافحة انتشار الآفات. وقال بلاكبيرن إنَّ هذه المعايير تمثِّل الأساس لجميع الاتفاقات التجارية الثنائية للفواكه والخضروات المعالَجة، غير أنَّ معايير المعالجة بالتشعيع تشير فقط إلى جرعات الإشعاع المحدَّدة لكل نوع. والمعالجتان اللتان تعترف بهما الاتفاقية الدولية لوقاية النباتات، من أصل ١٩ معالجة بالتشعيع، هما معالجتان عامَّتان تمنعان ذباب الفاكهة من القدرة على الانتشار، عن طريق التجارة، في المنتجات الطازجة ومن التكاثر في أماكن جديدة حيث يمكنه تدمير الزراعة والبيئة.

وفي شباط/فبراير ٢٠٢٢، أطلقت الوكالة مشروعا بحثيا منسَّقا لمعالجة هذا الأمر واستحداث ما لا يقل عن خمسة معالجات عامة بالتشعيع لأغراض الصحة النباتية لكي تعتمدها الاتفاقية الدولية لوقاية النباتات بغية تعزيز الاستخدام التجاري للتشعيع لأغراض الصحة النباتية. وقال بلاكبيرن إنَّ هذه المعالجات العامة الجديدة بالتشعيع يمكن أن تعالج أكثر من ٩٠ في المائة من مشكلات الحجر الصحي التي تواجهها الفواكه والخضروات المتداولة.

"الإشعاع المؤيِّن لا يضر الأغذية ولكنه يؤثر بشدة في الميكروبات أو الآفات الغازية، ويُمكِّن التجارة الدولية".

— كارل بلاكبيرن، أخصائي في تشعيع الأغذية بالمركز المشترك بين الفاو والوكالة لاستخدام التقنيات النووية في الأغذية والزراعة

الإشعاع لتعقيم المنتجات الصحية

بالإضافة إلى استخدامات التكنولوجيا الإشعاعية في مجالات الصحة وجودة الأغذية والصحة النباتية، فهي تُستخدم بجرعات أكبر بكثير لتعقيم المنتجات الصحية منذ خمسينيات القرن العشرين. والعلاج الإشعاعي جزء من عملية تصنيع قرابة نصف المنتجات ذات الاستخدام الواحد في المجال الطبي، مثل الضمادات والقفازات والأثواب، وأقنعة الوجه والمحاقن وغيرها من المعدات. ويدمِّر التعقيم الإشعاعي الكائنات الدقيقة الملوِّثة مع الحفاظ على خصائص المنتج ومواصفاته.

وقالت السيدة سيلينا هوراك، مديرة قسم منتجات النظائر المشعة والتكنولوجيا الإشعاعية في الوكالة: "يُعقِّم قرابة ٥٠ في المائة من المنتجات الطبية باستخدام التكنولوجيا الإشعاعية - أشعة غاما والحزم الإلكترونية والأشعة السينية - ويشهد هذا الاتجاه تناميا". وأضافت: "علاوة على ذلك، لطالما كان الإشعاع المؤيِّن أداة فعَّالة ومتعارف عليها لتعقيم المعدات الوقائية الشخصية التي ازداد الطلب عليها كثيرا خلال جائحة كوفيد-١٩".

وفي عام ٢٠٢٠، عقب ظهور الجائحة، درست الوكالة جدوى تعقيم المعدات الطبية المستخدمة بالإشعاع المؤيَن. وخلصت الدراسة إلى أنَّه يمكن إعادة استخدام الملابس الطبية الوقائية المشعَّعة، باستثناء أقنعة الوجه التنفسيّة، مثل الأقنعة من النوعين N95 وFFP2. ووجدت الدراسة أنَّ الأقنعة المستخدمة التي خضعت للتشعيع "أظهرت انخفاضاً ملحوظاً في كفاءة الترشيح في المجال دون الميكروني". ويُعزى هذا الانخفاض، على الأرجح، إلى التغييرات في خصائص المرشح الإلكتروستاتية بسبب التشعيع.

النيوترونات للخلايا العصبية والسيكلوترونات للنظائر المشعة

بقلم مايكل أمدي مادسن

الورم الأرومي الدبقي ورمٌ خبيث شرس يمثِّل حوالي ١٥ في المائة من جميع أورام الدماغ. وحتَّى عندما يسيطر عليه العلاج في البداية، يعود في معظم الأحوال. ويمكن للجراحة والعلاج الإشعاعي أن يطيلا فترة بقاء المريض على قيد الحياة لبضعة أشهر، لكنَّ سرطان الدماغ عادةً ما يقضي على الحياة في غضون سنة إلى سنتين من التشخيص، ويبقى أقل من خمسة في المائة من الناس على قيد الحياة لمدة أطول من خمس سنوات. وعلى غرار الورم الأرومي الدبقي، يستعصي علاج أنواع عدَّة من سرطان الدماغ بسبب الطبيعة الحسَّاسة للنسيج الدماغي الطبيعي عند إخضاعه لعملية جراحية وللعلاج الإشعاعي، لكنَّ الأمل معقود على أن يتغيَّر هذا الحال قريبا، وذلك يعود جزئيًا إلى العلاجات الجديدة التي صارت ممكنة بفضل المعجِّلات التي تنتج مصادر مكثَّفة للنيوترونات.

"إنَّ إطلاق النيوترونات على ذرات البورون في أنواع معيَّنة من سرطانات الدماغ والرأس والعنق قد ينقذ الأرواح".

- إيان سواينسون،فيزيائي نووي، الوكالة

وقال إيان سواينسون، فيزيائي نووي في الوكالة: "عندما تفكِّر في إجراء تفاعلات نوويَّة، قد لا تتخيَّل أنَّ رأس الإنسان هو أفضل مكان للقيام بذلك- لكنك ستكون مخطئا". ويساعد سواينسون في إعداد إرشادات الوكالة بشأن تطبيقات المعجِّلات لإنتاج النيوترونات، بما في ذلك في مجال الطب. وقال إنَّ استخدام هذه التقنية مع نوع محدَّد من علاجات السرطان، وهو العلاج بأسر النيوترون في نواة البورون، واعد جدًّا، وأضاف: "إنَّ إطلاق النيوترونات على ذرات البورون في أنواع معيَّنة من سرطانات الدماغ والرأس والعنق قد ينقذ الأرواح".

ويستخدِم العلاجُ بأسر النيوترون في نواة البورون الطاقةَ التدميرية التي تطلقها النيوترونات، ويعتمد على تركيز الأضرار التي تلحق بالأنسجة على مكان الورم قدر المستطاع. ويمكن الاستفادة من قدرة النيوترونات التدميرية بفضل نظائر البورون-١٠. وأوضح سواينسون: "البورون-١٠ غير مشع وجيد في التقاط النيوترونات. ونتيجة لذلك، في كل تفاعلٍ نووي يجري تركيزه على مكان محدَّد للغاية، ينقسم البورون إلى جزأينِ لكل منهما طاقة عالية. وهكذا، عند حقن المريض بعقاقير خاصة تنقل البورون-١٠ إلى أماكن الورم، نُحدِث أضراراً كبيرة في السرطان".

ولا يزال العلاج بأسر النيوترون في نواة البورون في المراحل التجريبية إلى حد كبير وغير متوافر على نطاق واسع، لكنَّ الوضعَ آخذ في التغيير. ففي عام ٢٠٢٠، بدأ مرفقان للعلاج بأسر النيوترون في نواة البورون العلاجاتِ الإكلينيكية في كورِياما وأوساكا في اليابان. وفي العام نفسه، اتفقت الوكالة مع جامعة أوكياما في اليابان على تعزيز التعاون بشأن العلاج بأسر النيوترون في نواة البورون من خلال إقامة فعاليات وتبادل المعارف والمعلومات وإعداد قاعدة بيانات للمرافق التي توفِّر هذا النوع من العلاج.

وفي ذلك الوقت، قال هيروفومي ماكينو، رئيس جامعة أوكياما: "إنَّ العلاج بأسر النيوترون في نواة البورون أكثر علاجات السرطان تقدُّماً". وتابع قائلاً: "إنَّه اقتران جميل بين الفيزياء النووية الحديثة وبيولوجيا الخلايا الصيدلانية الحديثة. ومع ذلك، علينا ألا ننسى تاريخ النضال الطويل في تطوير هذه التكنولوجيا الطبية الصعبة".

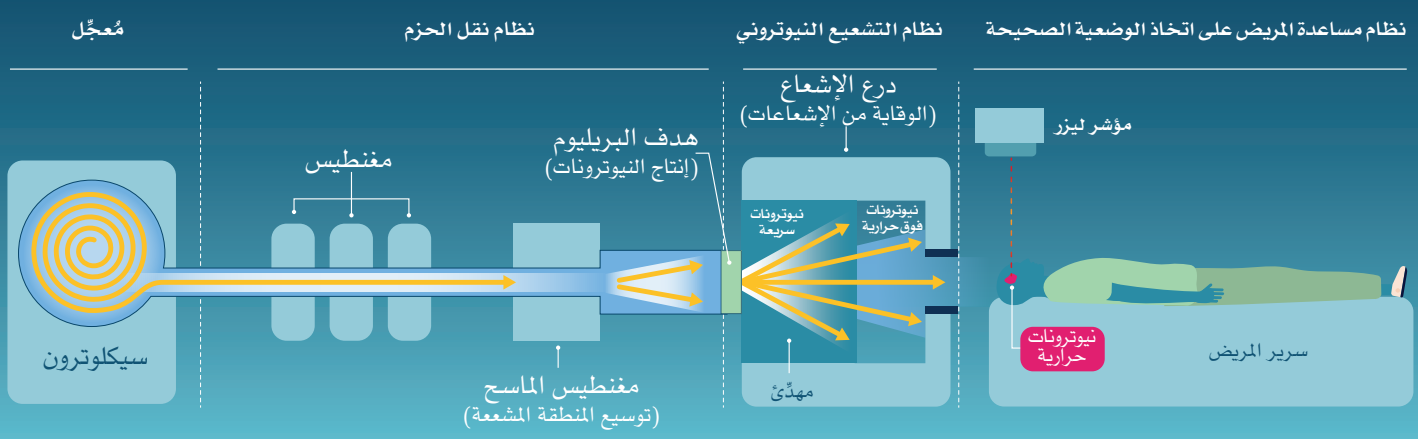
وفي عام ٢٠٠١، أصدرت الوكالة تقريرا تقنيّا عن العلاج بأسر النيوترون في نواة البورون، وقد صار عملاً مرجعيًّا في هذا المجال. وفي ذلك الوقت، كانت المصادر النيوترونية الوحيدة المشارِكة هي مفاعلات البحوث. ومنذ ذلك الحين، ظهر جيل جديد من المصادر النيوترونية المضغوطة الحجم القائمة على المعجِّلات، والتي يمكن وضعها مباشرةً في العيادات. وأسهم هذا التطور في تجدُّد الاهتمام الكبير بالعلاج بأسر النيوترون في نواة البورون.

ويجري تنفيذ مشاريع تخص العلاج بأسر النيوترون في نواة البورون في الأرجنتين والصين وفنلندا وجمهورية كوريا. وقال سواينسون: "منذ ٢٠ سنة، كان استخدام النيوترونات المولَّدة من المعجِّلات في علاج السرطان مجرَّد نظرية. أمَّا اليوم، فقد صارت هذه النظرية حقيقةً، لذلك نفكِّر في التعبير عن هذا التطور في وثيقة تقنية قادمة بعنوان "التطورات في العلاج بأسر النيوترون في نواة البورون".

ثورة السيكلوترونات

تحديد جدوى العلاج بأسر النيوترونات في نواة البورون لدى المريض يتطلَّب حقنَ مركَّب البورون الموسوم إشعاعيًا بالفلور-١٨، والذي يُنتج من خلال السيكلوترونات، ويعقب ذلك تصوير المريض باستخدام تقنية طبية نووية تسمَّى التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني-التصوير المقطعي الحاسوبي (PET–CT). ويُطلق على المركَّب الموسوم بالفلور-١٨ الاسم العلمي ٤-بورونو-٢-١٨-فلورو-فينيل ألانين، أو اختصاراً بالأحرف الإنكليزية FBPA.

عرض لنظام العلاج بأسر النيوترون في نواة البورون المُعْتَمَد إكلينيكيًا في اليابان



(الرسومات: أدريانا فارغاس تيرونيس، الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

وقال أمير رضا جليليان، كيميائي متخصِّص في النظائر المشعَّة والمستحضرات الصيدلانية الإشعاعية في الوكالة: "إنَّ المركَّب FBPA مهم، لأنه يؤكِّد للأطباء أنَّ الورم قد امتصَّ المركَّب الذي يحتوي على البورون وأنَّ المريض جاهز للعلاج بأسر النيوترون في نواة البورون. وقد لا ينجح العلاج دونه. ومع توافر العلاج بأسر النيوترون في نواة البورون على نطاق أوسع، سنحتاج إلى سيكلوترونات لتلبية الطلب على هذا المركَّب". والسيكلوترون معجِّلٌ من معجِّلات الجسيمات التي تنتج نظائرَ مشعَّة تُستَخدم في الطب النووي من خلال إطلاقها حزمة من الجسيمات على النظائر المستقرة. ويؤدي هذا التفاعل إلى تفاعل نووي يُكوِّن نظائرَ مشعَّة قصيرة العمر. وبسبب اضمحلال هذه النظائر المشعة بسرعة، يجب أن تُنتَج بالقرب من موقع إجراء العلاج أو فيه وأن تُستخدَم فوراً.

ويشير جليليان إلى أنَّه بالرغم من أنَّ عدد مفاعلات البحوث المستخدَمة في إنتاج النظائر المشعة مستقرٌّ نسبيًا، فإنَّه يزداد على المستوى العالمي عددُ السيكلوترونات الجديدة والمتعددة الأغراض والميسورة من حيث التكلفة بشكل مطرد. وتشمل أهم مزايا هذه التكنولوجيا إمكانيةَ إنتاج السيكلوترونات في المستشفيات العديدَ من النظائر المشعة القصيرة العمر التي تُستخدَم في علاج المرضى.

ومن الأمثلة على ذلك مستحضر صيدلاني إشعاعي يسمى الغلوكوز المنزوع الفلور. وهو يرتكز على الفلور-١٨ الذي يمكن إنتاجه باستخدام السيكلوترونات. ويُستخدَم هذا المقتفي الإشعاعي في حوالي ٩٥ في المائة من إجراءات التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني-التصوير المقطعي الحاسوبي، ولذلك فهو أساسي في تصوير الجهاز العصبي وتشخيص السرطان.

والغاليوم-٦٨ هو أحد ركائز المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية الأخرى، وهو المكوِّن الأساسي في عدد من المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية التشخيصية العلاجية - وهي نوع من المستحضرات الصيدلانية التي تستخدِم النظائر المشعَّة في كل من التشخيص والعلاج عن طريق الانبعاثات الإشعاعية. ويؤدي هذا النوع من المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية دورا مهمّا في تشخيص السرطان ومتابعته وتتبدى منه آمال واعدة في معالجة سرطان البروستاتا. ومع ذلك، هناك تحديات في إنتاج الغاليوم-٦٨.

وأوضح جليليان أنَّ عشرة مراكز في العالم تستخدم حاليًا السيكلوترونات بانتظام لإنتاج الغاليوم-٦٨ قائلاً: "في الوقت الحالي، الطريقة الأكثر شيوعاً لإنتاج الغاليوم-٦٨ هي من خلال نظام المولِّدات وهو نظام غير قائم على المعجِّلات، ولكنَّ المولِّدات ليس بوسعها ببساطة أن تنتج ما يكفي لتلبية الطلب. ولذلك، تُوفِّر السيكلوترونات أساليبَ بديلة فعَّالة للإنتاج المباشر وتسهم بالفعل في زيادة توافر الغاليوم-٦٨ زيادةً كبيرة". ومن الجدير بالذكر أنَّ الوكالة أصدرت عام ٢٠١٩ منشورا مخصَّصا لهذا الموضوع بعنوان "إنتاج الغاليوم-٦٨ من السيكلوترون" (Gallium-68 Cyclotron Production) وتنسِّق حاليًا مشروعا بحثيًا لدعم تبادل الخبرات الدولية في مجال إنتاج الغاليوم-٦٨ القائم على السيكلوترون.

الذرات الكاشفة للحقيقة

التقنيات التحليلية القائمة على المعجِّلات تكشف تزوير الأعمال الفنية

بقلم جوان ليو

تبدأ قصة أي لوحة عادة بتحديد الفنان والوقت الذي رُسِمَت فيه. والحق يقال، هناك بعض اللوحات التي يُزعَم أنها ذات قيمة عالية ولكنها نموذج على الخداع الإجرامي. ويمكن أن يكون تزوير الأعمال الفنية مربحاً ويمر دون اكتشاف، لكن تقنيات التحليل، بما في ذلك التأريخ بالكربون المشع عن طريق قياس الطيف الكتلي باستخدام المعجِّلات، بوسعها كشف الأعمال المزيفة.

"إن التقنيات التحليلية النووية قوية للغاية في تحديد تكوين العينات أو القطع وأصلها وأصالتها وعمرها، وبالتالي لها صلة مباشرة بعلوم التحليل الجنائي".

— آليز سيمون، فيزيائية نووية في الوكالة

وقالت أليز سيمون، فيزيائية نووية في الوكالة: "إن التقنيات التحليلية النووية قوية للغاية في تحديد تكوين العينات أو القطع وأصلها وأصالتها وعمرها، وبالتالي لها صلة مباشرة بعلوم التحليل الجنائي". وأضافت: "وفي هذا السياق، قد تكون التقنيات النووية أدوات فعالة لمجموعة متنوعة من الأغراض، مثل التحقيق في تزوير الأعمال الفنية، والكشف عن الاتجار غير المشروع، وتحديد الأغذية المزيفة والأدوية المتدنية المستوى، وتتبع تحليل الأدلة، مثل قطع الزجاج من مكان وقوع الجريمة".

وعلوم التحليل الجنائي هي تطبيق الأساليب العلمية أو المستمدة من الخبرات لفحص الأدلة للمساعدة في التحقيقات الجنائية. وهي تضم مجموعة من التخصصات، بدءاً من تحليلات الحمض النووي وبصمات الأصابع إلى تحليل المكونات والزجاج. وفي مجال التحليل الجنائي، تُستخدم المعجِّلات لتحليل تكوين المادة وهيكلها وعمرها وخصائصها الأخرى. وقالت سيمون: "توفر الأشعة السينية والنيوترونات والأيونات مزايا تفوق الطرق التقليدية". وأضافت: "يمكنها تحليل جسيم واحد من بين ملايين الجسيمات وتحديد منشئه بدقة كبيرة، مع الحفاظ على سلامة الأدلة".

التأريخ بالكربون المشع

جميع الكائنات الحية، بما في ذلك قماش اللوحات (المصنوع من الألياف الطبيعية) أو الإطار (المصنوع من الخشب)، تمتص الكربون من الغلاف الجوي، بما في ذلك الكربون-١٤. والكربون-١٤ هو نظير غير مستقر يضمحل بمعدل معروف. وعندما تموت النباتات أو الحيوانات، فإنها تتوقف عن امتصاص الكربون، ويضمحل الكربون المشع المتراكم بالفعل. ويمكن تحديد عمر المادة من خلال الكمية الموجودة من الكربون-١٤ عن طريق قياس الطيف الكتلي باستخدام المعجِّلات لقياس نسبة نظائر الكربون. وتستخدم هذه التقنية، المعروفة باسم التأريخ بالكربون المشع، على نطاق واسع لتأريخ الحفريات، وفي الآونة الأخيرة، طُبِّقت لتأريخ عمليات تزوير الأعمال الفنية المشتبه فيها. وقال لوسيل بيك، مدير مختبر قياس الكربون-١٤ في جامعة باريس-ساكلاي الفرنسية: "يوفر التأريخ بالكربون المشع للقماش أقرب تاريخ يمكن أن يكون تم فيه العمل الفني بسبب الفترة الزمنية الفاصلة بين حصد الكتان لصنع القماش والرسم الفعلي للقطعة".

وقد تذبذبت كمية الكربون-١٤ في الغلاف الجوي في التاريخ الحديث، وتحديداً من منتصف الأربعينيات والخمسينيات بسبب تجارب الأسلحة النووية. وبلغ تركيز الكربون-١٤ في الغلاف الجوي ذروته في حوالي عام ١٩٦٤ وانخفض منذ ذلك الحين. وقال بيك: "يمكننا بسهولة تحديد المواد التي تحتوي على الكربون المشع الناتج عن تجارب الأسلحة الحديثة لأن مستوى تركيزات الكربون-١٤ فيها أعلى من مستويات فترة ما قبل الخمسينيات".

وخلال تحقيق أجراه المكتب المركزي الفرنسي لمكافحة الاتجار غير المشروع بالمنتجات الثقافية في عام ٢٠١٩، اختبر بيك لوحتين من مجموعة يعتقد أنها نشأت في أواخر القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين. وجمع الباحثون عينات من الألياف من اللوحتين وخفضوها إلى حوالي ملليغرام واحد من الكربون الذي تم قياسه بعد ذلك باستخدام قياس الطيف الكتلي باستخدام المعجِّلات.

وانتهى بيك إلى أنه: "من خلال التأريخ عن طريق قياس الطيف الكتلي باستخدام المعجِّلات بالكربون المشع، تمكنا من إثبات أن اللوحتين - واحدة انطباعية والأخرى تابعة لمذهب الرسم بالنقط - كانتا مزورتين". وأضاف: "استناداً إلى الكميات الزائدة من الكربون-١٤ المكتشف في الألياف، لم يرسِم الفنانان المزعومان اللوحتين في بداية القرن العشرين، لأنهما توفيا في أربعينيات القرن العشرين. وكشف محتوى الألياف أن اللوحتين رُسِمتا في منتصف الخمسينيات أو، على الأرجح، بعد عام ٢٠٠٠". وتتوافق مستويات الكربون-١٤ المقاسة مع المستويات قبل وبعد المستويات التي بلغت ذروتها في الستينيات.

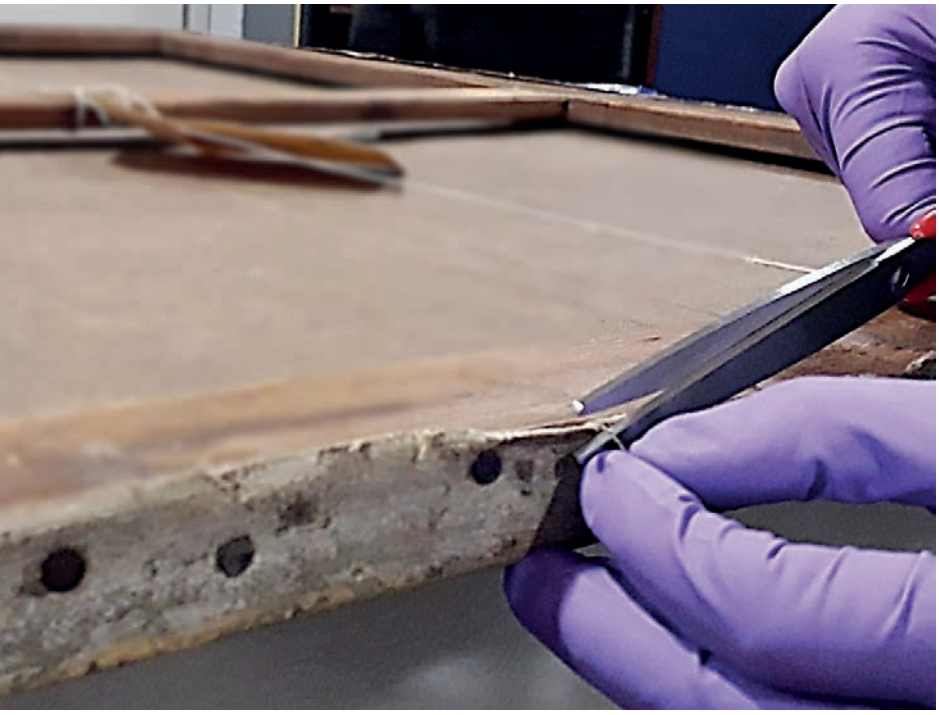
تسريع تقنيات التحليل النووي لأغراض علوم التحليل الجنائي

في عام ٢٠١٧، شرعت الوكالة في مشروع بحثي منسق مدته أربع سنوات لتعزيز تقنيات التحليل النووي لتلبية احتياجات علوم التحليل الجنائي. وركز المشروع على ثلاثة مجالات رئيسية هي: تحليل الزجاج، والاستيثاق من هوية الأغذية، والتحقق من التراث الثقافي، بما في ذلك التحقيق في تزوير الأعمال الفنية. وكان المشاركون في المشروع من إسرائيل، وإيطاليا، والبرازيل، والبرتغال، وجامايكا، وسلوفينيا، وسنغافورة، وسويسرا، وفرنسا، وفنلندا، وفييت نام، وكرواتيا، والهند، وهنغاريا. ونُشِرت بالفعل بعضُ نتائج المشروع، التي تتراوح من تحليل القهوة إلى عينات الزجاج الأمامي، وكذلك دراسة تزوير الأعمال الفنية في فرنسا، في عدد خاص من مجلة Forensic Science International (المجلة الدولية لعلوم التحليل الجنائي).

وفي إطار المشروع، استضافت الوكالة في عام ٢٠١٩ حلقة عمل بالاشتراك مع مركز عبد السلام الدولي للفيزياء النظرية في تريبستي بإيطاليا. وسلطت الضوء على الكيفية التي يمكن بها للتقنيات القائمة على المعجِّلات أن تكمل أساليب التحليل الجنائي القياسية في التحقيقات الجنائية. وفي الوقت نفسه، بدأت الوكالة أيضاً في دورة تعلُّم إلكتروني بشأن تقنيات التحليل النووي لأغراض علوم التحليل الجنائي.

وبناءً على نجاح المشروع، وقَّعت الوكالة مذكرة تفاهم مع معهد الأمم المتحدة الأقاليمي لبحوث الجريمة والعدالة في عام ٢٠٢١ لتعزيز التعاون في منع الأنشطة الإجرامية ومكافحتها من خلال العلوم والتكنولوجيا النووية.

وكخطوة تالية، تعتزم الوكالة استهلال مشروع بحثي منسق للمتابعة يركز على الكشف عن الاتجار غير المشروع بالقطع التراثية والتعدين غير المشروع عن المعادن الثمينة.



إزالة ألياف من قماش لوحة انطباعية مزعومة لاختبار ما إذا كانت القطعة مزورة.
(الصورة من: لوسيل بيك، جامعة باريس-ساكلاي)

التعديل الكمومي

استخدام المعجِّلات لزرع ذرات مفردة للاستشعار البيولوجي

بقلم جوان ليو

في مجال التكنولوجيا الكمومية، جرى الاستعانة بالمعجِّلات بشكل مكثف خلال العقد الماضي لتعديل المواد وتحديد خصائصها. وتستخدم التقنيات القائمة على المعجِّلات أيونات عالية الطاقة لتغيير الهياكل الذرية في المواد، مما يسمح للعلماء بالتحكم في سلوك الذرات المفردة. وكان الاستخدام الرئيسي للمعجِّلات في زراعة الأيونات، وهي تقنية تستخدم على نطاق واسع في صناعة أشباه الموصِّلات وهي موجودة منذ عقود.

وأوضح أندرو بيتيول، الأستاذ المشارك في جامعة سنغافورة الوطنية قائلاً: "بالنسبة لأشباه الموصِّلات، يُزرَع عدد كبير من الأيونات لتغيير الخصائص الكهربائية للسيليكون، على سبيل المثال". وأضاف: "بالنسبة للتقنيات الكمومية، لدينا هدف مختلف تماماً. فنحن نريد التحكم في الأيونات على مستوى الأيون المفرد. ونحن لا نزرع ملايين أو مليارات الأيونات بل نزرع أيوناً واحداً على وجه الدقة".

والتحدي في زرع أيون واحد هو تحديد متى يُزرَع هذا الأيون وأين وما إذا كان ما يُزرَع هو أيون واحد بالفعل. وقال بيتيول: "ولمجرد أنك تزرع الأيون في المادة، فهذا لا يعني أنه يعمل بالطريقة التي يجب أن يعمل بها كإصدار كيوبت أو كمركز لون". والكيوبتات، أو البتَّات الكمومية، هي إصدارات معقدة من البتَّات الحاملة للمعلومات المستخدمة في الحوسبة التقليدية، ومراكز الألوان هي عيوب ينبعث منها الضوء للاستشعار الكمومي.

وفي أيار/مايو ٢٠٢١، استضافت الوكالة حلقة عمل تدريبية لمدة أربعة أيام بشأن هندسة المواد باستخدام الحزم الأيونية. وتضمنت حلقة العمل مقدمة عن أجهزة الحزم الأيونية المركزة والكشف عن الأيونات المفردة. وحضر أكثر من ٨٠ مشاركاً، نصفهم من البلدان النامية، حلقة العمل الافتراضية التي نُفِّذت في إطار مشروع بحثي منسق وتهدف إلى تحسين فهم المُستجِدين في المجال الكمومي وإشراكهم. وتزامنت حلقة العمل أيضاً مع إطلاق دورة تعلُّم إلكتروني عقدتها الوكالة بعنوان "هندسة الحزم الأيونية للمواد من أجل التكنولوجيا الكمومية"، تهدف إلى إشراك الجيل القادم من الخبراء الكموميين.

وقالت أليز سيمون، فيزيائية نووية متخصصة في المعجِّلات في الوكالة: "لقد كانت الوكالة في طليعة تنسيق التعاون الدولي والبحث والتطوير في مجال التكنولوجيا الكمومية بما يتماشى مع المبادرات

سيعزز مشروع جديد للوكالة تطوير وتحسين منصة للاستشعار البيولوجي تسمح باستكشاف الآليات دون الخلوية.

(الصورة من: Adobe Stock)

الوطنية والدولية". وأضافت: "وتواصل الوكالة جهودها في مجال البحوث المنسقة لتحقيق الفوائد الكمومية من أجل الصالح العام للمجتمع". ومن شأن مشروع جديد للوكالة، يُتوقع إطلاقه في وقت لاحق من هذا العام، أن يعزز تطوير وتحسين منصة للاستشعار البيولوجي تستند إلى مراكز الألوان في الماس، مما سيسمح باستكشاف الآليات دون الخلوية. وفي المجال الكمومي، يستخدم الماس كأشباه موصِّلات لاستشعار المجالات الكهربائية والمغناطيسية في الخلايا الحية المفردة.

مراكز الألوان للاستشعار الكمومي

الماس، في أنقى أشكاله، هو شبكة من ذرات الكربون التي تحتوي على أكثر من ٥٠٠ عيب موثق ينبعث منه الضوء. وأحد هذه العيوب المعروفة هو مركز ألوان النتروجين الشاغر. ويَحدُث مركز لون النتروجين الشاغر عندما تؤخذ ذرة كربون واحدة لإنشاء مركز شاغر، وتُستَبدل ذرة الكربون المجاورة بذرة نتروجين. وأضاف بيتيول: "يمكن أن تحدث مراكز ألوان النتروجين الشاغر بشكل طبيعي وتُوزَّع عشوائيًا. وباستخدام المعجِّلات، يمكننا إنشاء هذا العيب بشكل مصطنع من خلال زرع الأيونات وإنشائها في مناطق محددة داخل بلورات الماس ذات النطاق النانوي". ومن بين العيوب المعروفة للماس أنه يمكن تضمين مركز النتروجين الشاغر في بلورات الماس النانوية، ويمكن التحكم فيه في درجة حرارة الغرفة وهو ملائم حيويًا - وليس ضاراً أو ساماً للأنظمة الحية.

وتتمتع مراكز النتروجين الشاغرة في الماس بالقدرة على استشعار المجال المغناطيسي من خلال تقنية تسمى الرنين المغناطيسي المكتشف بصريًا.

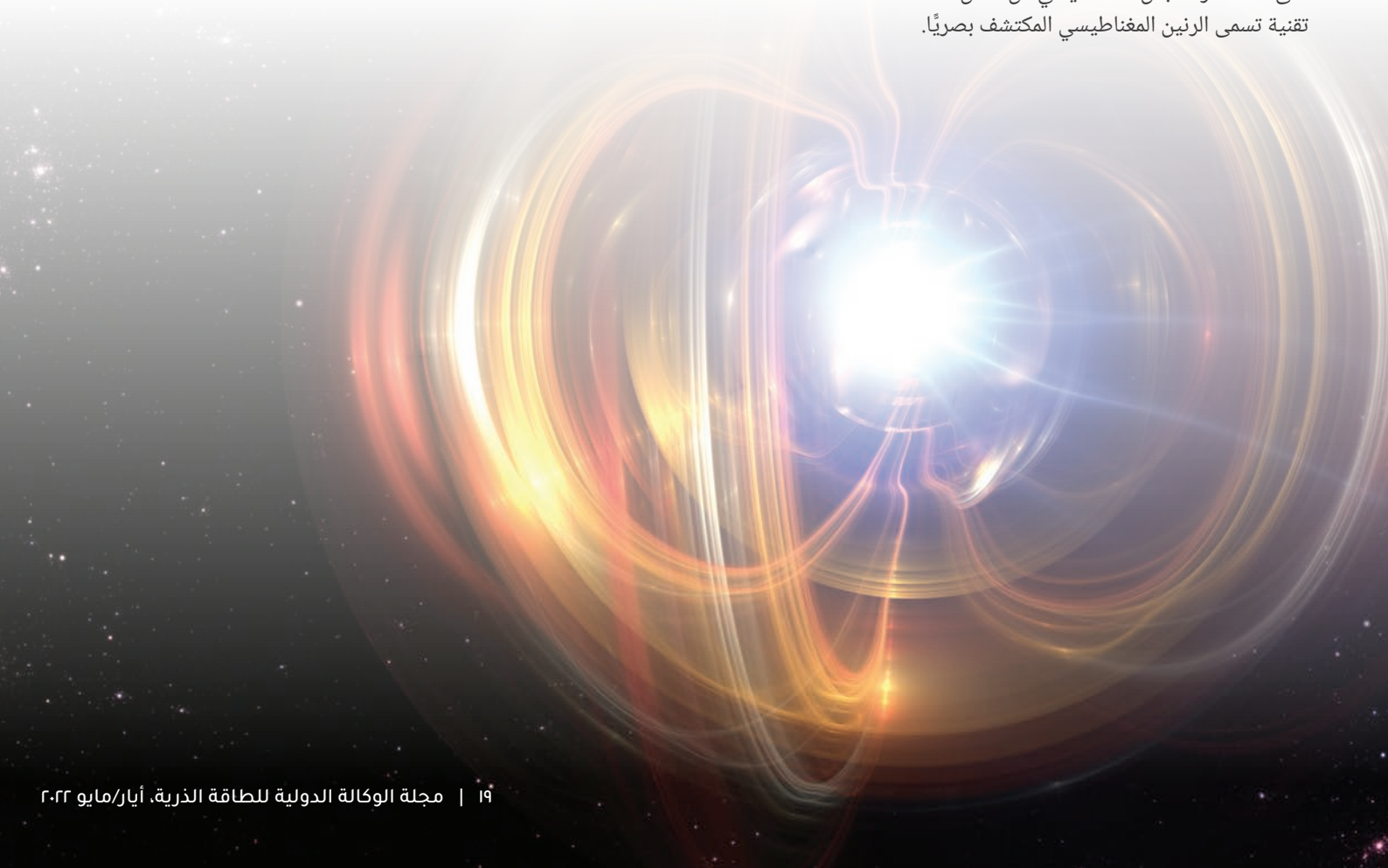
والقدرة على تصوير المجالات المغناطيسية لها آثار في كل من علم الأحياء وعلوم المواد. وأوضح بيتيول: "إنها طريقة بصرية للنظر إلى انبعاث الضوء والكشف عن المجالات المغناطيسية الصغيرة جداً التي تحدث في العمليات البيولوجية". "يمكن تطبيق تقنية الاستشعار البيولوجي الكمومي المذكورة لتصوير أو قياس العمليات التي تعمل على المستوى الخلوي ولها مجال مغناطيسي صغير جداً، مثل المجالات المغناطيسية التي تَنتج عندما تُطلَق الخلايا العصبية في أدمغتنا".

ويطبِّق بحث بيتيول الحالي تقنية الرنين المغناطيسي المكتشف بصريًا للكشف عن الملاريا. وأردف: "تحتوي خلايا الدم الحمراء التي أصيبت بالملاريا على جزيئات مغناطيسية صغيرة يمكن اكتشافها باستخدام الرنين المغناطيسي المكتشف بصريًا". وأوضح: "أي شيء يُنتِج مجالاً كهرومغناطيسيًا يمكن اكتشافه باستخدام هذه الطريقة".

وسيواصل المشروع المقبل للوكالة دراسة الاستشعار الكمومي باستخدام الرنين المغناطيسي المكتشف بصريًا، فضلاً عن تحديد خصائص أجهزة الاستشعار وتحسينها. وينبع المشروع الجديد، الذي سيجمع الباحثين الذين لديهم اهتمام مشترك بالاستشعار البيولوجي، من مشروع سابق كان أوسع نطاقاً ويهدف إلى تطوير أدوات الحزم الأيونية القائمة على المعجِّلات. وقال بيتيول: "إن الوكالة وسيلة جيدة للتعاون وأنشأت مجتمعاً للخبراء لتبادل المعلومات والتعلُّم من بعضهم بعضاً".

"يمكن تطبيق تقنية الاستشعار البيولوجي الكمومي المذكورة لتصوير أو قياس العمليات التي تعمل على المستوى الخلوي ولها مجال مغناطيسي صغير جداً، مثل المجالات المغناطيسية التي تَنتج عندما تُطلَق الخلايا العصبية في أدمغتنا".

— أندرو بيتيول، أستاذ مشارك، جامعة سنغافورة الوطنية



استخدام التقنيات النووية لتطوير المواد المتقدمة

بقلم أنس طرحي

"يمكن العثور على المواد عالية الأداء المنتجة بالإشعاع في كل مكان وفي كل شيء. وهي موجودة في الأشياء اليومية التي صارت أقوى وأكثر أماناً. حتى أن بعض هذه المواد يستعمل لجعل نمط حياتك أكثر استدامة".

- سيلينا هوراك، رئيسة قسم منتجات النظائر المشعة والتكنولوجيا الإشعاعية، الوكالة.

من التعبئة النشطة للمواد الغذائية القائمة على المركبات النانوية المحمَّلة بالزيوت الأساسية، إلى البوليمرات الفائقة الامتصاص المطعَّمة بالإشعاع، تؤدي المواد المتقدِّمة المُعالَجة بالإشعاع دوراً متزايد الأهمية في الحد من هدر الطعام، وتعزيز الأداء الزراعي، وتحسين الرعاية الصحية وأكثر من ذلك بكثير.

وبالإضافة إلى وزنها الخفيف وتصنيعها السهل، تُحسَّن الموادُ المتقدِّمة المعدَّلة باستخدام التقنيات النووية الأداءَ والمتانة. وقد عزَّزت التكنولوجيا الإشعاعية، بما في ذلك المعجِّلات، مكانتها، وأسهمت، من خلال العديد من التطبيقات، في التنمية المستدامة.

استخدامات المواد المتقدِّمة

لإنشاء مواد متقدِّمة أو تحسين إنتاج مواد عالية الأداء، أصبح دعم العديد من العمليات بالإشعاع أمراً راسخاً في الوقت الحالي ومُتبعاً في الصناعة. فعلى سبيل المثال، تُمكِّن زيادة ملاءمة المواد البلاستيكية أو المطاطية المعرَّضة للإشعاع من إنتاج مواد مختلفة، مثل الأنابيب البلاستيكية المقاومة للحرارة والضغط المستخدمة في تدوير المياه وسوائل التدفئة في المباني.

وقالت سيلينا هوراك، رئيسة قسم منتجات النظائر المشعة والتكنولوجيا الإشعاعية في الوكالة: "يمكن العثور على المواد عالية الأداء المنتجة بالإشعاع في كل مكان وفي كل شيء". وأضافت: "وهي موجودة في الأشياء اليومية التي صارت أقوى وأكثر أماناً. حتى أن بعض هذه المواد يستعمل لجعل نمط حياتك أكثر استدامة".

وتُطبَّق المعالجة الإشعاعية أيضاً من أجل تقوية أو تمتين الدهانات والأحبار ومواد الطلاء الخالية من المذيبات، وتحسين قوة مواد التعبئة والتغليف الحيوية والقابلة للتحلل البيولوجي ومقاومتها لدرجة الحرارة وعدم نفاذيتها. وتستخدم الآن السيراميك المسامي مع جزيئات الفضة النانوية المتولِّدة في الموقع في مختلف البلدان لتنقية المياه في المجتمعات الريفية.

فوائد المواد المتقدِّمة في سياق تغيُّر المناخ

تتطلب تلبية الطلب المتزايد على الطاقة مع التصدي لتغيُّر المناخ المزيد من التطورات في إنتاج الطاقة المتجدِّدة وتخزينها وإعادة تدويرها. وقال كزافييه كوكيرت، الأستاذ في جامعة ريمس شامبانيا-أردين: "التقنيات الإشعاعية مناسبة تماماً لتصنيع الأغشية المحدَّدة المهام والمركبات السائبة المستخدمة في تكنولوجيا خلايا الوقود، لإنتاج طاقة متجدِّدة أكثر كفاءة". وقال إن المعالجة الإشعاعية المسبقة يمكن استخدامها لتحسين الكتلة الحيوية الليغنوسليلوزية أو تحويل طاقة أشعة الشمس من خلال الخلايا الفلطائية الضوئية المتقدِّمة.

ولمعالجة قضية بيئية أخرى، وهي عبء النفايات البلاستيكية على الصعيد العالمي، قال كوكريت إن هناك حاجة إلى طرق فعَّالة لإعادة التدوير باستخدام الإشعاع في تصميم المنتجات البلاستيكية والمركَّبة المتقدِّمة التي لن تكون قابلة لإعادة الاستخدام بالطرق التقليدية (انظر الصفحة ١٠).

الآثار الإشعاعية على المواد المتقدِّمة

تعتبر المواد القوية والمرنة والمتينة ذات أهمية بالغة في مجال الصناعة بشكل عام، ولكنها ذات أهمية خاصة في القطاع النووي، حيث يعتمد أمان المفاعلات وجدوى عمليات دورة الوقود على المواد المستخدمة. وبالنسبة للمواد الموجودة في المفاعلات النووية، فإن أكبر تحديين هما الحرارة - التي تعالجها نظم التبريد - والإشعاع.

وقال إيان سوينسون، فيزيائي نووي في الوكالة: "تتعرض المواد الهيكلية داخل المفاعلات النووية للتلف بسبب النيوترونات السريعة التي تخرِج الذرات من موضعها وتولِّد هيدروجين أو هيليوم في شكل غاز. وقد يؤدي هذا في نهاية المطاف إلى الانتفاخ، وخلق الفراغات، والعديد من التغييرات الهيكلية والميكانيكية الأخرى التي تحد من عمرها النهائي في الخدمة". وأضاف: "لذلك فإن اختبار المواد ضد الإشعاع أمر ضروري، ويمكن أن تساعد المعجِّلات في إتاحة الاختبار على نطاق أوسع".

وتفقد الجسيمات المشحونة معظم طاقتها في نهاية رحلتها عبر المواد، مما يسبب أضراراً كبيرة ولكنها موضعية. ولهذا السبب، يخطط الباحثون لاختبار المواد المرشحة للمفاعلات النووية المستقبلية باستخدام جزيئات مشحونة من معجِّلات الحزم الأيونية.

وقال سوينسون: "إن اختبار المواد باستخدام المعجِّلات أسرع من استخدام المفاعلات"، موضحاً أن ما يمكن إكماله في يوم واحد باستخدام المعجِّلات يمكن أن يستغرق عاماً في مفاعلات الاختبار العالية الفيض. وعادة، لا تصبح العينات مشعة، ويمكن تقسيم المناطق المتضررة بعناية وفحصها باستخدام التقنيات المجهرية.

وفي عام ٢٠١٦، ساعد سوينسون في تنظيم مشروع بحثي منسق تابع للوكالة لمدة خمس سنوات وُزِّعت خلاله عينات من نفس المادة على مرافق متعددة للمعجِّلات لأغراض التشعيع، في ظل ظروف متطابقة، وعلى مفاعل البحوث السريعة BOR-60 في الاتحاد الروسي للمقارنة بينهم. وسيسهم تحليل ما بعد التشعيع في تحسين قابلية الاستنساخ من موقع إلى آخر فيما بين مرافق المعجِّلات وإلقاء الضوء على مدى جودة المعجِّلات في فحص المواد ذات الأداء الضعيف.

وفي آب/أغسطس ٢٠٢٢، ستعقد الوكالة مؤتمرها الدولي الثاني بشأن تطبيقات العلوم والتكنولوجيا الإشعاعية (ICARST-2022) لاستكشاف هذه القضايا وتسليط الضوء على التطبيقات والتطورات الإشعاعية المؤيِّنة. وسيركز المؤتمر، من بين مواضيع أخرى، على التقدم المحرز والقيود التكنولوجية أو الاقتصادية الحالية في مجالات محدَّدة من المواد المتقدِّمة، وسيساعد على استعراض الإنجازات التي تحققت في عمليات الإشعاع الراسخة لتحسين أداء المواد.

عناصر القضبان المستخدمة في المفاعلات النووية مصنوعة من مواد متقدِّمة ويجب أن تكون قادرة على تحمل الحرارة والإشعاع. (الصورة من: Adobe Stock)

إنشاء مرافق للإشعاع المؤيِّن في الفلبين وخارجها

بقلم بوجا دايا

السرطان هو ثاني أكبر سبب للوفاة في الفلبين، وفقاً للمرصد العالمي للسرطان لعام ٢٠٢٠، حيث تعاني البلاد من ما يقرب من ١٠٠ ٠٠٠ حالة وفاة سنويًا بسبب السرطان. ويكتسي الكشف المبكر عن الورم أهمية بالغة في الحد من هذه الخسائر، ولكن في ظل ارتفاع تكلفة فحوصات التصوير الطبي التي تبلغ في المتوسط ما يقرب من ٢٠٠٠ دولار أمريكي، فإنَّ العديد من الفلبينيين لا يستطيعون حتى تحمل تكلفة إجراء الفحص لمرة واحدة.

وقال كارلوس أرسيلا، مدير معهد البحوث النووية الفلبيني: "تتمثل إحدى المشكلات الرئيسية التي تواجهها الفلبين في نقص الموارد اللازمة لتطوير عمليات الكشف عن السرطان وصونها. وهذا يتسبب في عدم تشخيص العديد من مرضى السرطان وعدم علاجهم". ويأمل أرسيلا وفريقه في معالجة هذا النقص في القدرات من خلال إنشاء سيكلوترون جديد - وهو نوع من مرافق الإشعاع المؤيِّن - في مانيلا، من أجل إنتاج المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية الضرورية لتشخيص وعلاج السرطان، وكذلك أمراض الدماغ والقلب والأوعية الدموية.

ولدى الفلبين في الوقت الحالي أربعة سيكلوترونات فقط، إلا أن ملكيتها تعود إلى القطاع الخاص، ومحدودية مرافق المسح باستخدام التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني-التصوير المقطعي الحاسوبي المحدودة في البلاد تعني أن خمسة في المائة فقط من مرضى السرطان يمكنهم تلقي خدمة تشخيص السرطان. والسيكلوترونات هي معجِّلات تنتج المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية التي تُعطى للمرضى قبل إجراء فحص التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني-التصوير المقطعي الحاسوبي - وهو فحص طبي يكوِّن صوراً ثلاثية الأبعاد عالية الجودة، عادة للأعضاء والأنسجة، للمساعدة في اكتشاف الأمراض وتصوير الأورام. وإذا توافر للفلبين سيكلوترون جديد، ستتمكن من إنتاج المزيد من المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية محليًا لتحسين تقديم خدمة التصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني-التصوير المقطعي الحاسوبي.

ومن خلال استضافة المركز الجديد للبحوث والابتكارات في مجال الطب النووي لجهاز سيكلوترون وماسح للتصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني-التصوير المقطعي الحاسوبي يملكهما القطاع العام، سيتمكَّن ما يقرب من ٥٠٠٠ مريض آخر سنويًا من الحصول على تحديد دقيق لمراحل السرطان.

وقال أرسيلا: "نحن نهدف إلى إنتاج المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية لكل من المركز والمستشفى العام الفلبيني المجاور في ديليمان، مما يسمح لنا بخدمة المزيد من المرضى والعمل كأداة لبحوث السرطان". وقال إن المركز سيعمل أيضا كمركز للتدريب في المنطقة، بحيث يمكن لكل من الفلبين والبلدان المجاورة أن تعتمد على نفسها في إنتاج واستخدام المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية.

فوائد المرافق الجديدة للإشعاع المؤيِّن

تُستَخدَم النظائر المشعة وحزم الجسيمات المنتجة في مرافق الإشعاع المؤيِّن، مثل السيكلوترونات والسنكروترونات وأنواع أخرى من المعجِّلات في

يُستعان بالسنكروترون الموجود في جامعة سوراناري للتكنولوجيا بتايلند في مجالات الزراعة والطب والصيدلة والصناعة.
(الصورة من: معهد بحوث الضوء السنكروتروني)

الطب والرعاية الصحية، والأمن المائي، والأغذية والزراعة، والبحوث، وإنتاج الطاقة، والمنتجات الصناعية والاستهلاكية، والتحقيقات الجنائية، وفي الحفاظ على التراث الثقافي.

وسيؤدي إنشاء المزيد من المرافق القائمة على المعجِّلات في جميع أنحاء العالم إلى الحصول على هذه المزايا بشكل أفضل وأرخص. وإلى جانب الفلبين، يجري إنشاء مرافق جديدة في الأرجنتين وتايلند وماليزيا - وكل ذلك بدعم من الوكالة.

وعلى الصعيد العالمي، يتزايد الطلب على مرافق الإشعاع المؤيِّن، ولتحسين المساعدة المقدَّمة للبلدان من أجل تحقيق هذا الطلب، تعتزم الوكالة أن تصدر هذا العام إرشادات بشأن إنشاء مرافق الإشعاع المؤيِّن. وقال نونو بيسوا باراداس، المتخصص في مفاعلات البحوث بالوكالة والمسؤول عن هذا المنشور: "يمكن للمشاركين في تطوير مرافق الإشعاع المؤيِّن الاستفادة من الحصول على إرشادات تمكنهم من تنفيذ المشروع على نحو جيد التنظيم، مما يتيح إحراز تقدم ناجح في تنفيذه، والاستفادة الكاملة بعد بدء تشغيل المرفق وتقديم الخدمات. وسيحقق المنشور هذا الهدف فقط من خلال دمج مشورة الخبراء بشأن إنشاء المرافق الجديدة وتحسين المرافق القائمة".

ويمكن أن تحتوي مرافق الإشعاع المؤيِّن على أنواع مختلفة من المعدات لغرض التأيين. وفي تايلند، يخطط معهد بحوث الضوء السنكروتروني لبناء سنكروترون ثانٍ. ويعمل السنكروترون الأول في البلد (انظر الصورة) منذ ٢٠ عاماً ولقد ساعد الخبراء التايلنديين على استخدام الإشعاع المؤيِّن بشكل مستدام للحفاظ على القطع الأثرية التراثية الثقافية (انظر الصفحة ٨)، وقيادة تحقيقات الطب الشرعي (انظر الصفحة ١٦)، والمساهمة في البحث والتطوير.

وقال سوبارجورن روجماي، المدير المساعد للشؤون الأكاديمية ورئيس شعبة مرفق البحوث في معهد بحوث الضوء السنكروتروني: "لقد أحدثت الآلة الحالية تأثيراً كبيراً في البلاد". وأضاف: "في البداية، كان هناك نقص في المعارف، ولكن بعد وضع برامج تدريبية داخل المنطقة، أصبحنا خبراء. ومع وجود المرفق الجديد، سنتمكن من إحداث تأثير اجتماعي أكبر وتطبيق هذه التكنولوجيا على نطاق أوسع".

وتساعد مصادر الضوء السنكروتروني على تأسيس وتطوير البحوث الصناعية والطبية والأساسية. وستكون قدرة الطاقة في السنكروترون الجديد في تايلند أكبر من مثيلتها من السنكروترون القديم بمقدار ٢٫٥ مرة. وسيُستخدَم للنهوض بالبحث العلمي وتحسين اقتصاد البلد من خلال استخدام الأشعة السينية العالية الكثافة في تحسين المنتجات الصناعية والابتكار.

كما يقوم الخبراء في الأرجنتين وماليزيا بتطوير مرافق جديدة لمعجِّلات الحزم الإلكترونية. وسيمكِّن ذلك من تحقيق إنتاج أكبر للنظائر المشعة لأغراض التشخيص والعلاج الطبيين، فضلاً عن النهوض بالبحوث والتكنولوجيا في البلدين.

وترسل الوكالة، من خلال برنامجها للتعاون التقني، خبراء إلى الأرجنتين وتايلند والفلبين وماليزيا وبلدان أخرى للمساعدة في إنشاء مرافق الإشعاع المؤيِّن وصيانتها بأمان عن طريق تدريب الخبراء المحليين حتى يتمكنوا من تشغيل هذه المرافق وصيانتها بشكل مستقل. وبالإضافة إلى هذا الدعم، تنشر الوكالة معايير الأمان، وتوفر جلسات افتراضية، وتستضيف منصة للتعلُّم الإلكتروني كبوابة للمعارف الخاصة بالمعجِّلات - وهي موقع إلكتروني أسسه مجتمع المعجِّلات لخدمته يوفِّر مواد تدريبية، ومعلومات عن المعجِّلات في جميع أنحاء العالم، وغير ذلك الكثير.

"يمكن للمشاركين في تطوير مرافق الإشعاع المؤيِّن الاستفادة من الحصول على إرشادات تمكنهم من تنفيذ المشروع على نحو جيد التنظيم، مما يتيح إحراز تقدم ناجح في تنفيذه، والاستفادة الكاملة بعد بدء تشغيل المرفق وتقديم الخدمات."

— نونو بيسوا باراداس، متخصص في مفاعلات البحوث، الوكالة

التمكين من استخدام مرافق التشعيع بطريقة مأمونة وآمنة وسلمية من خلال القانون

بقلم أنثوني ويذرال وتشينشين ليانغ

يَعِدُ استخدامُ التكنولوجيا النووية على نحوٍ مأمون وآمن وسلمي بفوائد مهمة للمجتمع، لكن الإشعاعات المؤيِّنة التي تؤدي دوراً أساسيًا في العديد من التطبيقات يمكن أن تتسبَّب في مخاطر كبيرة على صحة الناس والبيئة. ولذلك يلزم وضع ترتيبات قانونية مُحكمة التنظيم لتقييم هذه الإشعاعات وإدارتها ومراقبتها من أجل تقليل هذه المخاطر إلى الحد الأدنى.

ومرافق الإشعاع المؤيِّن مهمَّة في العديد من المجالات المنطوية على استخدام التكنولوجيا النووية (انظر الصفحة ٢٢)، بيد أنَّها لا تشكِّل مخاطر إشعاعية مماثلة لمحطات القوى النووية، ومن ثمَّ لا تخضع لنفس متطلبات الأمان الإشعاعي والأمن النووي التي تخضع لها المفاعلات. ويجب أن تخضع مرافق الإشعاع المؤيِّن والأنشطة المتصلة بها لمعايير أمان متَّسقة مع اتِّباع نهج متدرج، أي أنَّها يجب أن تُرخَّص من الهيئات الرقابية، وأن تخضع للتنظيم والتفتيش من جانبها.

وتقع على عاتق الدول المسؤولية الأساسية عن وضع أطر قانونية وطنية شاملة، بما في ذلك الأطر الرقابية، والمحافظة على تلك الأطر القانونية وتعزيزها. وفي العديد من البلدان، تحتلُّ الصكوك الدستورية أعلى الهرم القانوني، ويليها الإطار التشريعي على مستوى التشريع عن طريق سنِّ القوانين.

ويوفِّر هذا الإطار الأساس القانوني لتنفيذ الصكوك الدولية الملزمة وغير الملزمة قانوناً، مثل الاتفاقية المشتركة بشأن أمان التصرف في الوقود المستهلك وأمان التصرف في النفايات المشعة، ومدونة قواعد السلوك بشأن أمان المصادر المشعة وأمنها، وكذلك معايير الأمان وإرشادات الأمن النووي ذات الصلة الصادرة عن الوكالة.

ويمثِّل الإطار التشريعي الأساس الذي يقوم عليه نظام التحكم الرقابي، ويتيح إنشاء أو تسمية هيئة رقابية تتمتَّع بالاستقلالية والموارد البشرية والمالية اللازمة، وتُكلَّف بمجموعة من المهام المحدَّدة بوضوح. وتشمل هذه المهام وضع المعايير وإصدار الأذون والتفتيش والإنفاذ، إضافة إلى تحديد المسؤوليات بوضوح وتنسيقها. ولا غنى عن هذا الإطار التشريعي حتى يمكن استخدام الإشعاع المؤيِّن استخداماً مأموناً وآمناً وسلميًا، وتتطلَّع البلدان إلى دعم الوكالة في وضع إطارها التشريعي.

> **"تظهر لنا التجربة أنَّ سنَّ القوانين النووية ليس بالمهمة السهلة دائماً. فلا بد من معالجة المجالات التقنية الواسعة الثلاثة - الأمان والأمن والضمانات - جميعاً بطريقة ملائمة وشاملة".**
>
> فولفرام تونهاوزر، رئيس قسم قوانين المجال النووي والمعاهدات بالوكالة

سنُّ القوانين ليس سهلاً دائماً

على مرِّ السنوات، التمست الحكومات الوطنية المساعدة من أجل إرساء أو تعزيز أطرها القانونية الوطنية المعنية بالتكنولوجيا النووية. ويقول السيد فولفرام تونهاوزر، رئيس قسم قوانين المجال النووي والمعاهدات بالوكالة: "تظهر لنا التجربة أنَّ سنَّ القوانين النووية ليس بالمهمة السهلة دائماً. فلا بد من معالجة المجالات التقنية الواسعة الثلاثة - الأمان والأمن والضمانات - جميعاً بطريقة ملائمة وشاملة".

وبالإضافة إلى ذلك، يجب أن تمتثل القوانين النووية الوطنية للمتطلبات الدستورية والمؤسسية التي يفرضها النظام القانوني في كل بلد، مع السعي إلى تحقيق أكبر قدر ممكن من المواءمة والاتساق مع الأطر التشريعية للبلدان الأخرى فيما يخصُّ المجال النووي.

ومن المهم الإشارة إلى أنَّه على واضعي السياسات ومتخذي القرارات أن يدركوا الطابع الخاص الذي تتسم به التكنولوجيا النووية وتطبيقاتها، لا سيما أنَّها يمكن أن تستتبع مسائل سياسية وحساسة واستراتيجية، ومخاطر أمنية ذات أهمية وطنية ودولية وإقليمية. وإضافة إلى ذلك، فعلى واضعي القوانين مراعاة البعد المتعدد القطاعات الذي تتَّسم به التكنولوجيات النووية والمرافق والأنشطة ذات الصلة، لأنَّ المرء يمكن أن يجدها في قطاعات ومجالات متعددة، ومنها الصحة والطاقة والصناعة والنقل والمياه والأغذية والزراعة.

ومن ثمَّ فإنَّ سنَّ القوانين يتطلب إجراء تقييمات شاملة لطائفة متنوعة من السياسات والقوانين والأطر

والترتيبات الرقابية القائمة ذات الصلة. وفي كثير من الأحيان، يلزم إدخال تغييرات كبيرة أو معقَّدة على السياسات القائمة، مما ينطوي على مشاكل رقابية كبيرة فيما بين الوكالات. وبالنسبة للعديد من القائمين على صياغة التشريعات، يعدُّ المجال النووي مجالاً تقنيًا معقدًا وعالي التخصص، مما يؤدي كثيراً إلى استخدام مصطلحات وتعاريف تقنية في التشريعات الوطنية.

وبغية التصدي لهذه التحديات وغيرها، يقدِّم برنامج المساعدة التشريعية التابع للوكالة الدعم للسلطات الوطنية، وهو يُنفَّذ في إطار برنامج التعاون التقني التابع للوكالة من أجل إذكاء الوعي وبناء القدرات في مجال القانون النووي، بغية إرساء معايير الأمان والأمن، بما فيها المعايير الخاصة بمرافق الإشعاع المؤيِّن وترخيصها وما ينطبق عليها من اللوائح الرقابية وعمليات التفتيش.

وتقدِّم الوكالة دعماً متعدد الجوانب يشمل الاجتماع بمتخذي القرارات وواضعي السياسات وكبار المسؤولين والمشرعين مثل البرلمانيين؛ وعقد حلقات عمل وطنية ودون إقليمية وإقليمية لطائفة واسعة من المسؤولين؛ واستعراض المسوَّدات والتشريعات النووية السارية. ويعمل البرنامج أيضاً على بناء القدرات عن طريق الدورات التدريبية، مثل معهد القانون النووي – وهو برنامج تدريبي بشأن القانون النووي تنظِّمه الوكالة على مدى أسبوعين سنويًّا ويركِّز على الصياغة التشريعية. وعلى مدى العقد الماضي فقط، تدرَّب أكثر من ٥٠٠ مسؤول في معهد القانون النووي، وأُقيم أكثر من ٢٠٠ نشاط ثنائي حول الصياغة التشريعية، وعُقدت ٥٣ حلقة عمل وطنية و١٨ حلقة عمل إقليمية ودون إقليمية.

وفي الآونة الأخيرة، عزَّزت الحلقات الدراسية الشبكية المعقودة بشأن القانون النووي الحوار حول القانون النووي بين الدول الأعضاء. وخلال السنوات العشر الماضية، اعتمد أكثر من عشرة بلدان في آسيا والمحيط الهادئ وعشرة بلدان في أوروبا وأكثر من عشرين بلداً في أفريقيا تشريعات جديدة أو منقَّحة بمساعدة من الوكالة في مجال الصياغة التشريعية. ومن أمثلة البلدان التي استفادت من هذه المساعدة بروني دار السلام والفلبين، بشأن السيكلوترونات التي رُكِّبت حديثاً لديهما، والأردن، بشأن ما لديه من المعجِّلات. وأخيراً، لا تزال كتيِّبات الوكالة عن القانون النووي، ولا سيما المنشور المعنون "كتيِّب عن القانون النووي: تنفيذ التشريعات"، منشورات مرجعية في هذا المجال.

على مدى العقد الماضي فقط، تلقى أكثر من ٥٠٠ مسؤول التدريب في معهد القانون النووي.

(الصورة من: دين كالما، الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

ما تحتاجون إلى معرفته عن الحزم الأيونية

بقلم بوجا دايا وسوتيريوس خاريسوبولوس

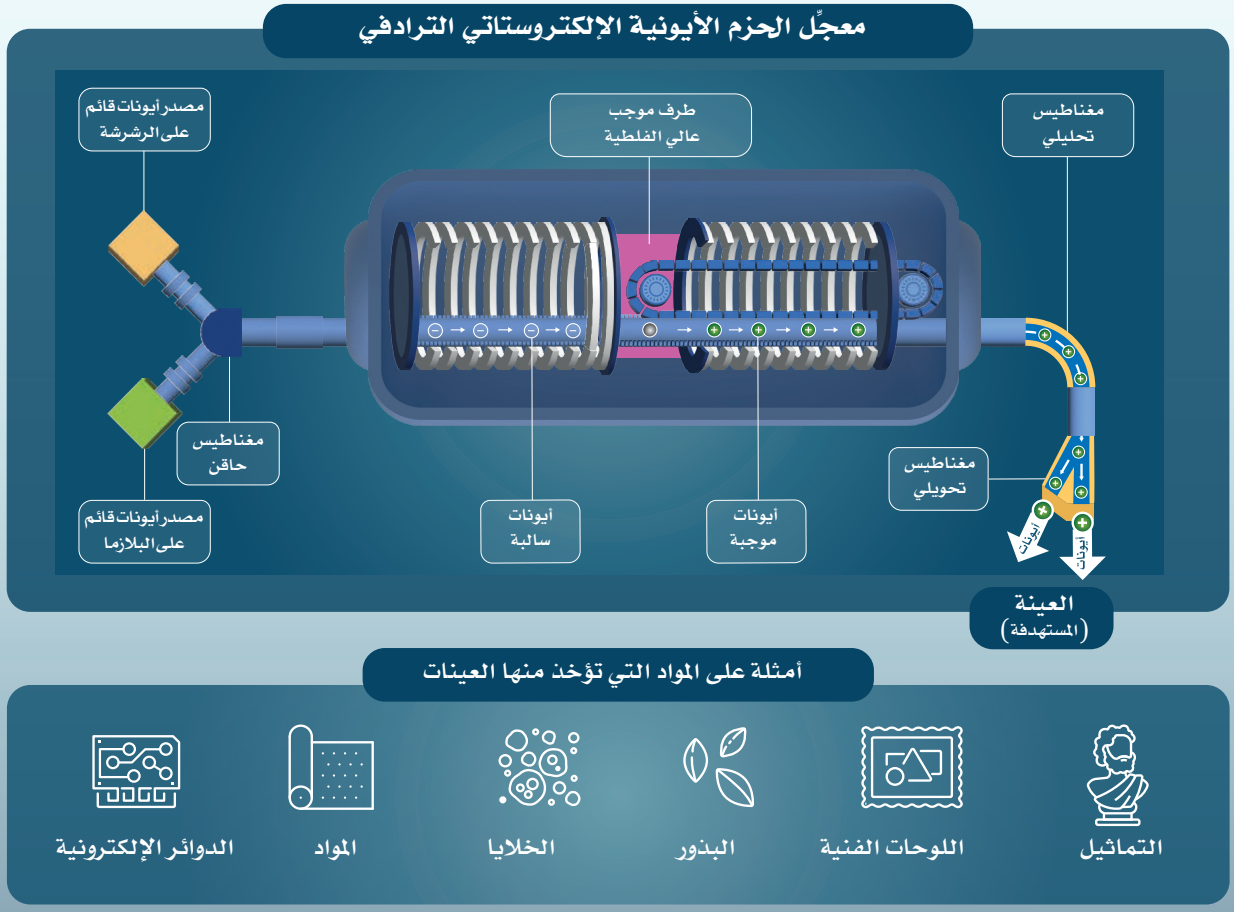
يستخدم العلماء الحزم الأيونية لتزويدنا بإجابات على أسئلة عديدة، سواء فيما يتعلق بتحديد منشأ التلوث أو تصنيف الملوثات الموجودة في الأغذية أو تصوير فرادى الخلايا البيولوجية أو تحديد الحقبة التي تعود إليها القطع التاريخية. ولكن ما هي الحزم الأيونية وكيف تُستخدم؟

الحزم الأيونية، كما يشير اسمها، هي تدفقات من ذرات تحمل شحنة كهربائية (أو أيونات). وتُنتج الأيونات التي تتكوَّن منها الحزمة باستخدام أدوات خاصة يُطلق عليها مصادر الأيونات. وتكتسب هذه الأيونات السرعة حين تدخل مجالاً كهربائيًا ينتجه معجِّل جسيمات، وبعد ذلك تُوجَّه وتُركَّز باستخدام مجالات مغناطيسية لكي تتحرك في مسارات متوازية داخل فراغ في أنبوب معدني. وبحسب نوع المعجِّل، يمكن تعجيل الحزم الأيونية لتقترب سرعتها من سرعة الضوء.

وفي حالة المعجلات الإلكتروستاتية الترادفية (انظر الشكل)، تُستخدم الحزم الأيونية في قصف عينة مادية أو هدف آخر. ويمكن أن يؤدي التفاعل مع المادة المستهدفة إلى إجبار أيونات الحزمة على تغيير مسارها، أو أن يتسبَّب التصادم في إطلاق جسيمات أو إشعاعات، أساساً في شكل أشعة سينية أو أشعة غاما. وبعد ذلك يمكن رصد هذه الإشعاعات وتحليلها.

وتكشف خصائص الطاقة والإشعاعات المنبعثة تفاصيل عن تركيب العينة المقصوفة، مثل ما إذا كانت بلورية أو غير بلورية، ومدى صلابتها، وبعض الخصائص الفيزيائية المهمة للتكنولوجيات الناشئة. وقد تختلف مواد العينات أو الأهداف أيضاً من حيث الشكل والطور المادي، فقد تكون رقائق معدنية رفيعة، أو حبيبات من التربة، أو خلايا بشرية أو حيوانية أو نباتية، أو بذوراً، أو صخوراً، أو سوائل، أو حتى مصنوعات فنية تاريخية أو تماثيل. وتبعاً لشكل المادة وتركيبها، يمكن أن يكون القصف في فراغ أو في الهواء.

وتُستخدم الحزم الأيونية المعجَّلة في تطبيقات عديدة بفضل القدرات التحليلية والتعديلية الفريدة التي تكفلها. ففي الاستيلاد الطفري للنباتات، تُستخدم الحزم الأيونية لتشعيع المواد النباتية أو الشتلات بغية تسريع عملية النمو الطبيعية من خلال حثّ الطفرات، لإنتاج محاصيل أعلى إنتاجية أو أكثر مقاومة للأمراض والجفاف.



وتُستخدم البروتونات وأيونات أخرى على نطاق واسع لإنتاج النظائر المشعة اللازمة لإعداد المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية المستخدمة في تشخيص السرطان وعلاجه. وفي مجال علاج السرطان، تُستخدم حزم البروتونات وأيونات الكربون لقصف الأورام السرطانية، خصوصاً حين لا يكون من الممكن تطبيق علاج بديل. وتبثُّ هذه الحزم الطاقة في الورم بحيث ترتفع حرارته ويتفتَّت.

ومع زيادة الطلب على مواد أمتن وأفضل، تُستخدم أيضاً مجموعة واسعة من الحزم الأيونية لتعديل خصائص المواد ومن ثمَّ تعزيز قدرتها على المقاومة. فالمركبات الفضائية أو مفاعلات الاندماج، على سبيل المثال، تتطلَّب استخدام مواد تتيح لها العمل في بيئات إشعاعية قاسية.

الحزم الإلكترونية

على غرار الحزم الأيونية، فالحزم الإلكترونية هي تدفقات من الإلكترونات ينتجها مصدر للإلكترونات في طائفة متنوعة من المعجِّلات. وتُستخدم الحزم الإلكترونية لإنتاج الأشعة السينية التي تُطبَّق في العلاجات الطبية لتشعيع الخلايا السرطانية وتدميرها. وتُستخدم الحزم الإلكترونية أو الأشعة السينية أيضاً في تشعيع الأغذية لقتل أنواع البكتيريا الخطيرة دون التأثير في قيمتها الغذائية أو جودتها أو مذاقها.

مشروع مرفق الحزم الأيونية التابع للوكالة

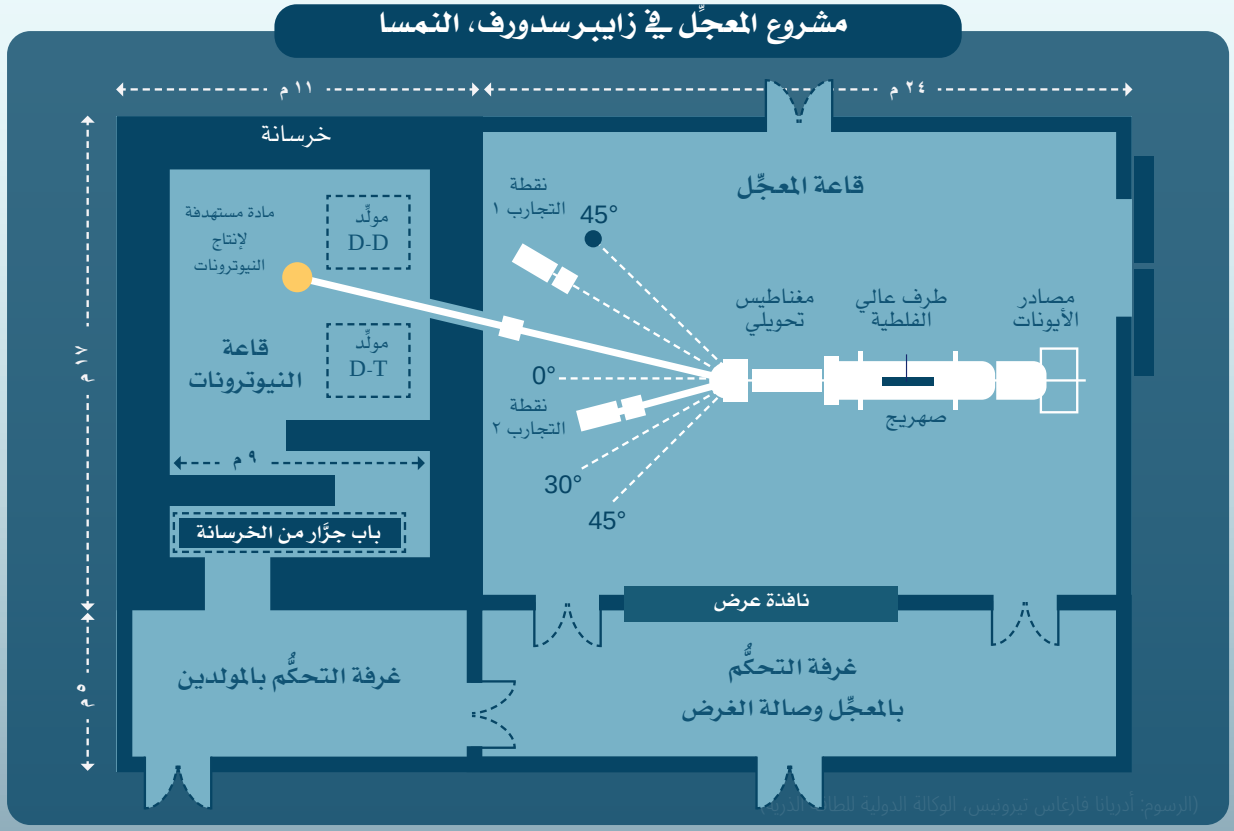
من الممكن أن تستفيد البلدان حول العالم من استخدام الحزم الأيونية والإلكترونية، وتخطط الوكالة لإنشاء مرفق خاص بها على أحدث طراز لإنتاج الحزم الأيونية باستخدام معجِّل ترادفي، في زايبرسدورف بالنمسا. وباستخدام هذا المعجِّل، ستدعم الوكالة البحوث وتسهم في تعليم وتدريب العلماء من جميع أنحاء العالم على التطبيقات المتنوعة للحزم الأيونية، بما في ذلك إنتاج الجسيمات الثانوية كالنيوترونات.

ويقول داناس ريديكاس، رئيس قسم الفيزياء في الوكالة: "إنَّ حزم الجسيمات نوع فريد من أدوات السبر، إذ لا يقتصر استخدامها على تحسين فهمنا للكون، وإنما يشمل أيضاً تحليل العمليات الفيزيائية والاستفادة منها لتحسين الحياة ودعم النمو الاقتصادي. وتُعدُّ معجِّلات الجسيمات استثماراً فعالاً من حيث التكلفة للمساعدة على تحقيق التنمية المستدامة. وسوف تتمكَّن الوكالة، بفضل المعجِّل الترادفي الجديد للحزم الأيونية، من تعزيز المساعدة التي تقدمها للبلدان من أجل النهوض بقدراتها في مجال تكنولوجيات المعجِّلات وتطبيقاتها".

وحتى يستوعب مشروع مرفق الحزم الأيونية المعجِّل الترادفي والبنية الأساسية اللازمة له والأجهزة ذات الصلة، فضلاً عن الموارد اللازمة لتشغيله، فسوف تسعى الوكالة إلى جمع مبلغ قدره ٤٫٦ مليون يورو.

"إنَّ حزم الجسيمات نوع فريد من أدوات السبر، إذ لا يقتصر استخدامها على تحسين فهمنا للكون، وإنما يشمل أيضاً تحليل العمليات الفيزيائية والاستفادة منها لتحسين الحياة ودعم النمو الاقتصادي".

– داناس ريديكاس، رئيس قسم الفيزياء بالوكالة



(الرسوم: أدريانا فارغاس تيرونيس، الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

استخدام التشعيع الصناعي من أجل عالم أفضل

بقلم مايكل أمدي مادسن

تثير كلمة "الإشعاع" الخوف لدى بعض الناس، لكن التشعيع يؤدي دوراً خفيًّا ومفيداً، وحاسم الأهمية في غالبية الأحيان، في مجالي الصناعة وسلامة الأغذية منذ أكثر من ١٠٠ عام. وسواءً استُخدمت تكنولوجيات التشعيع في تعقيم الأجهزة الطبية أو تطهير المنتجات الزراعية الطازجة أو تقوية البوليمرات الصناعية، فقد صارت جزءاً لا يتجزأ من العالم الحديث.

ومن أجل تكوين فهم أفضل لأهمية التشعيع الصناعي والتعرف على التطور الذي تشهده تكنولوجياته، تحدَّثنا مع بول وين، رئيس رابطة التشعيع الدولية ومديرها العام.

ورابطة التشعيع الدولية هي منظمة لا تستهدف الربح تضمُّ شركات ومعاهد بحوث وجامعات وهيئات حكومية من جميع أنحاء العالم، وتدعم صناعة التشعيع والمجتمع العلمي المعني بالتشعيع على الصعيد العالمي.

سؤال: أي المجالات حقَّق فيه التشعيع الصناعي القائم على المعجِّلات أثره الأكبر، وبرأيكم إلى أين تتجه هذه التكنولوجيا؟

الجواب: إنَّ المعجِّلات تُستخدم على النطاق الصناعي منذ ما يقرب من ٦٠ عاماً من أجل تحسين خصائص البوليمرات. ومن التطبيقات الرئيسية لذلك معالجة المواد العازلة المستخدمة في الكابلات من أجل زيادة مقاومتها لدرجات الحرارة المرتفعة، الأمر الذي يسهم في تحسين الأمان من الحرائق وتعزيز متانة المعدات. وثمة تطبيقات عديدة أخرى تعتمد على تعديلات كيميائية أخرى تُستحث باستخدام الحزم الإلكترونية، ومنها إنتاج مركَّب الخشب والبلاستيك للأرضيات أو صنع أنواع الرغاوي المستخدمة في صناعة السيارات. والعديد من هذه التطبيقات مسجَّل الملكية ويُطبَّق في مواقع التصنيع.

وقد أدَّى استحداث المعجِّلات العالية القدرة إلى توسيع نطاق المنتجات التي يمكن معالجتها، مما أتاح لهذه التكنولوجيا منافسة التشعيع باستخدام أشعة غاما المنبعثة من النظير المشع الكوبالت-٦٠. وتضمَّنت المجموعة الواسعة من المنتجات التي أتاحت هذه التكنولوجيا معالجتها تعقيمَ الأجهزة والعبوات الطبية، ومكونات المستحضرات الصيدلانية ومستحضرات التجميل، ومراقبة الأغذية من الناحية الميكروبية. ولا يزال التشعيع بأشعة غاما حتى اليوم هو التكنولوجيا السائدة في هذه التطبيقات.

من المرجح أنَّ جانباً كبيراً من النمو في سوق التشعيع التقليدي بأشعة غاما سوف يتحوَّل إلى المعجِّلات في المستقبل.

– بول وين، رئيس رابطة التشعيع الدولية ومديرها العام.

سؤال: هل هناك تحوُّل من التشعيع باستخدام المصادر المشعة والتكنولوجيات القائمة على المعجِّلات؟

الجواب: هناك توجُّه إلى تحقيق هذا التحوُّل، وهو يتعلق أساساً بتعقيم الأجهزة الطبية نظراً إلى الزيادة المتسارعة في الطلب على الأجهزة الطبية ومن ثمَّ على التعقيم. والتشعيع هو أسلوب التعقيم المفضل فيما يخصُّ نسبة تقل قليلاً عن نصف حجم الأجهزة التي تتطلب التعقيم على الصعيد العالمي، ويستأثر التعقيم بأشعة غاما بأكثر من ٨٠ في المائة من هذا

الحجم. غير أنَّ ظروفًا متعددة، قد يكون بعضها مؤقتاً، منعت مؤخراً إمدادات الكوبالت-٦٠ من مواكبة الطلب المتزايد. وعادةً ما لا تفضل الجهات المصنعة للأجهزة الطبية طريقة على أخرى، فهي لا تود إلا أن تكون منتجاتها معقَّمة على نحو سليم.

وللتعقيم بأشعة غاما المنبعثة من مصادر الكوبالت-٦٠ ميزتان مهمتان، وهما البساطة والموثوقية. وللمعجِّلات ميزات أيضًا ومنها أن تشغيلها لا يتطلب سوى الكهرباء وإمكانية إيقاف انبعاث الإشعاعات المؤيِّنة مؤقتاً. وستحدِّد قوى السوق أيَّ تكنولوجيا من هاتين التكنولوجيتين ستسود في المستقبل، ولكن من المهم حاليًا أن تظلَّا متوافرتين نظراً إلى الحاجة إليهما لتلبية الطلب على التعقيم.

ولا بد من الإشارة إلى أنَّه فيما يتعلق بقدرات المعالجة، يمكن استخدام أشعة غاما لمعالجة كل ما يُعالج باستخدام معجِّلات الإلكترونات، إلا أنَّ العكس ليس صحيحاً. ومع ذلك، يمكن أن تُزوَّد بعض المعجِّلات بهدف معدني يحوِّل الحزم الإلكترونية إلى الأشعة السينية التي تشبه أشعة غاما في خصائصها.

سؤال: يتزايد الطلب على التطبيقات الصناعية القائمة على المعجِّلات، لا سيما في البلدان النامية، فما هي التحديات التي يجب أن تتغلّب عليها هذه التكنولوجيات لكي تتوفر بسهولة أكبر؟

الجواب: من المرجح أنَّ جانباً كبيراً من النمو في سوق التشعيع التقليدي بأشعة غاما سوف يتحوَّل إلى المعجِّلات في المستقبل. فعدد موردي المعجِّلات يتجاوز عدد موردي الكوبالت-٦٠، لكنَّ هذا العدد يقتصر على قرابة اثني عشر مورِّداً في حالة الأجهزة العالية الطاقة والعالية القدرة، ويقلُّ كثيراً عن ذلك في حالة المعجِّلات المزودة بالقدرة على إنتاج الأشعة السينية. ولا يزال تطور نظم الأشعة السينية محدوداً لكنه ينمو بسرعة انطلاقاً من مستوى متدنٍّ.

ولم تُعتمد المعجِّلات بقدر كبير بعدُ في العديد من البلدان النامية. ويعود ذلك أساساً إلى ما تتطلبه المعجِّلات من استثمارات كبيرة، ومستوى تعقُّد الأجهزة مقارنة بأجهزة التشعيع بأشعة غاما، وعدم توافر إمدادات فائضة ومستقرة من الكهرباء. ومن المرجَّح أنَّ العقبات من قبيل توافر الموارد البشرية والقيود المالية واستيفاء متطلبات الأمان سيمكن التغلُّب عليها بسهولة أكبر مقارنة بالمشاكل المتعلقة بالبنية الأساسية وحجم السوق. ولذلك، ففي الوقت الراهن لا تبدو التكنولوجيا القائمة على المعجِّلات مناسبة بدرجة كبيرة لجميع البلدان النامية.

سؤال: تعمل رابطة التشعيع الدولية والوكالة معاً على مبادرات مختلفة، مثل المؤتمرات الدولية وحلقات العمل للباحثين الشباب. كيف تفيد هذه المبادرات الاستخدام المتزايد لتكنولوجيا المعجِّلات؟

الجواب: تتوافق أهداف الرابطة مع بعض أهداف الوكالة. والرابطة ملتزمة بالحياد التكنولوجي في الترويج للاستخدامات المأمونة والمفيدة للتكنولوجيات الإشعاعية. وفي حين أنَّ نظراء الوكالة هم الحكومات ووكالاتها، فإنَّ رابطة التشعيع الدولية تمثِّل أساساً سوق التشعيع الصناعي. وتتعاون رابطة التشعيع الدولية مع الوكالة في عدد متزايد من المبادرات.

سؤال: أي التطورات في مجال التشعيع الصناعي القائم على المعجِّلات هو الأكثر إثارة لحماسكم؟ وهل سيؤدي هذا التطور إلى "تغيير قواعد اللعبة"؟

الجواب: يُعدُّ التشعيع داخل خط الإنتاج باستخدام الإلكترونات المنخفضة الطاقة والأشعة السينية المنخفضة الطاقة نهجاً جديداً واعداً للغاية. ويقوم هذا الابتكار على استخدام نماذج مصغَّرة من المعجِّلات أو المصابيح الباعثة، ومن الممكن أن يجعل التشعيع في متناول الجهات المصنعة في قطاعات عديدة. ورغم محدودية التطبيقات المحتملة بسبب اختراق الأشعة المنخفضة الطاقة للمواد، فإنَّ المصابيح الباعثة تمتاز بصغر حجمها وقابليتها للدمج في خطوط التصنيع. وتشمل التطبيقات الأولية تعقيم المحاقن قبل ملئها في الصناعة الصيدلانية وتعقيم المواد بسرعة كبيرة على خطوط التعبئة المعقَّمة الخاصة بالحليب أو المشروبات الغازية.وأعطيكم مثلاً واحداً في هذا الصدد، حيث طوَّرت شركة سويسرية آلة لإزالة التلوُّث من المكونات الغذائية بحجم يقارب خزانة كبيرة. وتُستخدم هذه النظم أيضاً في مكافحة الآفات باستخدام تقنية الحشرة العقيمة التي تعدُّ الوكالة من أبرز أنصارها، وكذلك في بحوث البيولوجيا الإشعاعية. ومن المطلوب بذل المزيد من الجهود لتوسيع مجال التطبيقات الممكنة، لاسيما باستخدام النظم الصغيرة الحجم القائمة على الأشعة السينية المنخفضة الطاقة، ولكن ما من شكٍّ في أنَّ هذا التطور يمكن أن يغيِّر قواعد اللعبة.

مشروع ميرا: نظام يعمل بواسطة المعجِّلات للتصرُّف في النفايات المشعة

بقلم حميد آيت عبد الرحيم

حميد آيت عبد الرحيم هو نائب المدير العام للشؤون الدولية في مركز البحوث النووية البلجيكي، ومدير مشروع ميرا والمنظمة غير الربحية المعنية به. وهو أستاذ في فيزياء المفاعلات والهندسة النووية في جامعة لوفان الكاثوليكية، ومنسقٌ وشريك في عدة مشاريع تابعة للمفوضية الأوروبية تتعلق بالنظم النووية المتقدمة، وفصل النفايات النووية القوية الإشعاع، وإدارة التحويل النووي. وهو أيضاً عضو في عدَّة مجالس علمية ومنظمات بحثية ومعاهد دولية، وقد قلَّده ملك بلجيكا في عام ٢٠١٤ وسام التاج البلجيكي برتبة ضابط سامٍ تقديراً لإسهاماته في علم الطاقة النووية وإغلاق دورة الوقود.

إنَّ إحدى الحجج الأساسية – والخاطئة – التي تُذكر أحياناً للاعتراض على استخدام القوى النووية هي أنَّه "ما من حلٍّ لمشكلة النفايات النووية". فمستويات السميَّة الإشعاعية للوقود النووي المستهلك الذي لم يخضع لإعادة المعالجة تبقى أعلى من المستويات الموجودة في خام اليورانيوم الطبيعي لفترة تصل تقريباً إلى ٣٠٠ ٠٠٠ سنة، وتبقى معظم كمية اليورانيوم والبلوتونيوم موجودة فيه دون أن تحترق. وفي حين توجد حلول تقنية للتخلُّص من الوقود المستهلك على هذا المدى الطويل، فثمة مسار آخر يتمثَّل في إعادة تدوير الوقود النووي.

ويمكن إعادة تدوير كلٍّ من اليورانيوم والبلوتونيوم الموجودَين في الوقود المستهلك من خلال إعادة المعالجة ومن ثمَّ إعادة استخدامهما في وقود نووي جديد لتوليد مزيد من القوى. بيد أنَّ الرواسب الناتجة من عمليات إعادة المعالجة العادية تخلِّف أكتينات ثانوية – أي عناصر قريبة من اليورانيوم في الجدول الدوري لكنها لا يمكن أن تحترق في مفاعلات القوى الحالية. وتظلُّ النفايات المشعة التي تحتوي على أكتينات ثانوية تتطلَّب ١٠ ٠٠٠ سنة حتى تعود إلى مستويات الإشعاع الطبيعية.

ومشروع ميرا MYRRHA (المفاعل البحثي الهجين المتعدد الأغراض الخاص بالتطبيقات التكنولوجية المتقدمة) هو مشروع قيد التشييد حاليًا في مركز البحوث النووية البلجيكي يقوم على مفهوم النظام العامل بواسطة المعجِّلات ويهدف إلى معالجة الأكتينات، وخصوصاً الثانوية منها. ويسعى المشروع إلى إيضاح النظام العامل بواسطة المعجِّلات على المستوى الهندسي، وإثبات جدوى تحويل الأكتينات الثانوية على النطاق الصناعي. وعن طريق التقليل من درجة السمية الإشعاعية، يمكن لتحويل الأكتينات الثانوية أن يؤدي إلى خفض حجم النفايات القوية الإشعاع بنسبة ٩٩ في المائة وتقليل مدة الخزن المطلوبة إلى ٣٠٠ سنة فحسب.

ويختلف تصميم مشروع ميرا عن غالبية المفاعلات الحالية في جانبين أساسيين. فأولاً، يستخدم مشروع ميرا النيوترونات السريعة، فهي لازمة لانشطار الأكتينات الثانوية. وثانياً، يمكن تشغيل مفاعل ميرا في وضع دون حرجي – أي دون التسبُّب في تفاعل انشطاري متسلسل ذاتي الإدامة – لأنَّه مقترن بمعجِّل بروتونات عالي الطاقة يُنتج النيوترونات الرئيسية اللازمة في مركز قلب المفاعل عن طريق تفاعلات التشظِّي. والتشغيل دون الحرجي عنصر ضروري لضمان التحكم في مستوى التفاعلية عند حرق الأكتينات الثانوية، كما أنَّه يوفِّر ميزة إضافية هي توقُّف التفاعل الانشطاري المتسلسل وإغلاق المفاعل بمجرد توقُّف المعجِّل. وأحد تدابير الأمان الأساسية المعمول بها في المفاعل هي أنَّه مصمَّم بحيث يمكن إزالة حرارة الاضمحلال المتبقية من خلال تدوير الهواء الطبيعي دون الحاجة لأي نظام نشط أو أي تدخل آخر.

وبغية تحويل نسبة كبيرة من نفايات الوقود المستهلك حول العالم، سيتطلب الأمر إنشاء شبكة من المرافق الصناعية. وحتى الآن، تم إثبات فعالية جميع التكنولوجيات المستخدمة في مشروع ميرا كلٌّ على حدة على النطاق المختبري في مرافق تجريبية. ومن ثمَّ فمشروع ميرا هو محطة تجريبية في مرحلة ما قبل التطبيق الصناعي تهدف إلى دمج التكنولوجيات ذات الصلة واختبارها على نطاق واسع مع تحقيق زيادة كبيرة في الموثوقية.

وهناك العديد من التحديات العلمية والهندسية والرقابية التي سيلزم التصدي لها خلال العمل على هذا المشروع الأول من نوعه. ولم يكشف الاستعراض السابق للترخيص، والذي أجرته الوكالة الرقابية النووية البلجيكية بعد مشاورات وثيقة مع منفذي المشروع، عن أي شاغل على مستوى يكفي للتشكيك في حصول مشروع ميرا على الترخيص في المستقبل. ونأمل أن هذا سوف يجتذب العديد من الشباب في بلجيكا وغيرها إلى المجال النووي الذي توليه بلجيكا أهمية كبيرة.

وفي حين أنَّ المشروع يركِّز أساساً على التصرُّف في النفايات المشعة، فلهذا المرفق تطبيقات عديدة أخرى في أحدث مجالات البحث والتطوير. وينقسم مشروع ميرا إلى ثلاث مراحل. وقد بدأ بالفعل تشييد المرحلة الأولى التي ستشهد اكتمال الجزء المنخفض الطاقة (بقدرة ١٠٠ مليون إلكترون فلط) من مجمَّع معجِّل البروتونات، وهناك العديد من الأنشطة البحثية التي يُتوقع أن تبدأ في عام ٢٠٢٧ تقريباً. وستتمحور هذه الأنشطة حول نظام فصل النظائر أثناء التشغيل (نظام ISOL@MYRRHA)، والذي يمكنه اختيار فرادى النظائر لاستخدامها في المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية وإنتاج حزم أيونية مشعة تُستعمل في مجموعة واسعة من تجارب الفيزياء النووي، مدعوماً بمرفق القدرة الكاملة المناسب لإجراء بحوث مواد الاندماج.

وبفضل الدقة العالية للقياسات التي يمكن أخذها باستخدام الحزم المشعة المنتجة باستخدام النظام المذكور، يمكن أيضاً تقديم مساهمات في فهم "النموذج المعياري" المتبع في علم فيزياء الجسيمات. وفي حال نجاح المرحلة الأولى وإثبات أنَّ المعجِّل يكفل مستوى الموثوقية غير المسبوق اللازم لتشغيل النظام العامل بواسطة المعجِّلات، ستشهد المرحلة الثانية تشغيل معجِّل البروتونات بقدرته الكاملة (٦٠٠ مليون إلكترون فلط). أمَّا المرحلة الأخيرة فهي تشييد المفاعل دون الحرجي نفسه. ويُستخدم مبرِّد من الرصاص–البزموث (Pb–Bi) لإزالة الحرارة الناتجة من المفاعل النووي. ويتسم تصميم قلب المفاعل بالمرونة ويمكن تحميله بوقود خليط الأكسيدين والأكتينات الثانوية والمواد المستهدفة لإنتاج النظائر الطبية. وسيوفِّر تجهيزات لاختبار تشعيع وتآكل المواد الهيكلية المعتزم استخدامها في المستقبل في مفاعلات الانشطار السريع بل وفي مفاعلات الاندماج. ومن الممكن استخدام مفاعل ميرا المبرَّد بالرصاص والبزموث كمحطة لاختبار التكنولوجيات التجريبية للجيل الرابع من المفاعلات السريعة المبرَّدة بالرصاص.

وقد استثمرت الحكومة البلجيكية نحو ٢٠٠ مليون يورو في مشروع ميرا حتى الآن، ودعمته في عام ٢٠١٨ بمبلغ ٥٥٨ مليون يورو للفترة من ٢٠١٩ إلى ٢٠٣٨ بناءً على تقدير تكلفة المشروع كاملاً بنحو ١,٦ مليار يورو. وقد أُنشئ كيان غير ربحي في إطار المشروع، لتمكين مشروع ميرا من أن يجتذب في المستقبل استثمارات من الحكومات والهيئات الأجنبية لكي ينتقل إلى مرحلتيه الثانية والثالثة ويباشر عمله بصفته منظمة دولية. وقد أُدرج مشروع ميرا في قائمة المحفل الاستراتيجي الأوروبي بشأن البنى الأساسية للبحوث الذي يتألف من مشاريع رائدة وفقاً لتصنيف الأوساط البحثية، كما أدرجت لجنة التعاون الأوروبي في مجال الفيزياء النووية نظام فصل النظائر أثناء التشغيل في خطتها الطويلة الأجل للمرافق الأوروبية الكبرى المعنية بالفيزياء النووية. وأُدرج مشروع ميرا أيضاً في الخطة الأوروبية الاستراتيجية لتكنولوجيا الطاقة (SET Plan)، التي تهدف إلى تشجيع التكنولوجيات المنخفضة الكربون، مما يتيح له الحصول على التمويل من المصرف الأوروبي للاستثمار.

وتنطوي إمكانية إعادة تدوير اليورانيوم والبلوتونيوم لتحويلهما إلى وقود لنظم طيف النيوترونات السريعة أيضاً على خفض الطلب على تعدين خام اليورانيوم وتزيد بدرجة كبيرة من كمية الطاقة المستخلصة منه. ونتيجةً لارتفاع الطلب في العديد من الصناعات على زيادة الكفاءة في استخدام المواد الخام والتقليل من النفايات، فقد أُدرج مشروع ميرا في السياسات الوطنية البلجيكية المعنية بالاستثمار الاستراتيجي وفي الخطة الوطنية المتكاملة بشأن الطاقة والمناخ.

رسم ثلاثي الأبعاد لمرفق ميرا بأكمله.
(الصورة من: مشروع ميرا)

نحو انتقال "عادل" في مجال الطاقة

القوى النووية تفاخر بأعلى الوظائف أجراً في قطاع الطاقة النظيفة

وفقاً لبحوث جديدة، تؤدي الاستثمارات في إنتاج الطاقة النووية إلى إيجاد فرص عمل أكثر وأعلى أجراً مقارنة بالاستثمارات في المصادر الأخرى للطاقة المنخفضة الكربون.

(الصورة من: الوكالة الدولية للطاقة الذرية)

وفق دراسة جديدة عُرضت خلال فعالية للوكالة، سيؤدي الانتقال إلى الطاقة النظيفة إلى إيجاد فرص عمل أكثر من الوظائف المفقودة بفعل الاستغناء عن الوقود الأحفوري، وسيظلُّ المجال الأعلى أجراً هو القوى النووية، التي توفِّر عدداً كبيراً من فرص العمل المستدامة لفائدة الاقتصادات المحلية والإقليمية.

وهناك أكثر من ١٣٠ من البلدان التي التزمت بالفعل أو تدرس الالتزام بهدف الوصول بصافي انبعاثات غازات الدفيئة إلى مستوى الصفر بحلول عام ٢٠٥٠، ومن ثمَّ فإنَّ الاستعداد لتأثير هذا الانتقال الذي سيشهده قطاع الطاقة في سوق العمل أمرٌ حاسم الأهمية. وفي هذا السياق، شارك ممثلون من قطاع الطاقة النظيفة في حلقة دراسية شبكية نظمتها الوكالة مؤخراً بشأن كيفية ضمان ارتفاع مستوى المعيشة وإيجاد فرص العمل في ظلِّ توجُّه الاستثمارات نحو تحقيق الأهداف المناخية.

وخلال الحلقة الدراسية الشبكية المعنونة "الاستثمار في التكنولوجيات المنخفضة الكربون: إيجاد فرص العمل من أجل انتقال عادل في مجال الطاقة"، قال السيد هنري بايير، رئيس قسم التخطيط والدراسات الاقتصادية في الوكالة: "يجب ألا يؤدي الابتعاد عن استخدام الوقود الأحفوري إلى إغفال أحد. وهذا هو المقصود بمفهوم الانتقال 'العادل'. وهناك حاجة للاستثمار في جميع التكنولوجيات النظيفة على نطاق هائل، ويجب أن يكون ذلك بطريقة تُوجِد فرص العمل وتعزِّز النمو الاقتصادي وتدعم التنمية المستدامة".

وتؤدي الاستثمارات في مصادر الطاقة النظيفة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة النووية إلى التأثير إيجابيًا في الناتج المحلي الإجمالي بما يزيد بضعفين إلى سبعة أضعاف على تأثير الإنفاق على المصادر الأحفورية مثل الغاز والفحم والنفط، وذلك وفقاً لورقة عمل نشرها صندوق النقد الدولي. وخلال الحلقة الدراسية الشبكية، عرضت الوكالة الدولية للطاقة المتجددة تحليلاً تتوقَّع فيه أنَّه في حال توقُّف ارتفاع درجة الحرارة العالمية عند ١,٥ درجة مئوية، على النحو المتوخَّى في الأهداف العالمية المتعلقة بالمناخ، فقد يرتفع عدد الوظائف في قطاع الطاقة المتجددة من ١٢ مليون وظيفة إلى ٣٨ مليون وظيفة بحلول عام ٢٠٣٠.

وقال السيد مايكل رينر، وهو مسؤول برامج في مركز المعارف والسياسات والتمويل في الوكالة الدولية للطاقة المتجددة، إنَّ عدد الوظائف الأخرى المتعلقة بالانتقال في مجال الطاقة يمكن أن يزيد من ١٦ مليون وظيفة إلى ٧٤ مليون وظيفة خلال الفترة نفسها. وفي المقابل، سينخفض عدد الوظائف في قطاع الطاقة التقليدية من ٣٩ مليون وظيفة إلى ٢٧ مليون وظيفة.

ووفقاً لورقة العمل التي نشرها صندوق النقد الدولي، فإنَّ الاستثمارات في القوى النووية تُنتِج الأثر الاقتصادي المُضاعِف الأعلى بين جميع مصادر الطاقة النظيفة. وتبيِّن الورقة أيضاً أنَّ القوى النووية توجِد فرص عمل أكثر بنسبة ٢٥ في المائة لكلِّ وحدة كهرباء مقارنة بطاقة الرياح، في حين أنَّ العاملين في القطاع النووي يتقاضون أجوراً تفوق بمقدار الثلث ما يتقاضاه العاملون في قطاع الطاقة المتجددة.

وعرض السيد فيليب كوست، كبير المستشارين في الرابطة النووية العالمية، استنباطات مشابهة. وخلال الحلقة الدراسية الشبكية، قال السيد كوست: "إنَّ المجال النووي يوفِّر وظائف بأجور أعلى من أيِّ تكنولوجيا أخرى للطاقة بنسبة تتراوح بين ٢٥ و٣٠ في المائة. ولكن من المهم الإشارة إلى أنَّه في حين أنَّ

القوى النووية توجد فرص عمل محلية حول المحطات وفي الاقتصادات الإقليمية أثناء مرحلة التشييد، كما هو الحال مع طاقة الرياح، فإنَّ القوى النووية وحدها توفِّر عدداً كبيراً من فرص العمل المستدامة للاقتصادات المحلية والإقليمية أثناء مرحلة التشغيل".

وتابع السيد كوست قائلاً إنَّ البحوث التي أجرتها الرابطة النووية العالمية وجدت أنَّ القوى النووية توفِّر فرص عمل أكثر بنسبة ٢٥ في المائة لكلِّ وحدة كهرباء في فرنسا والولايات المتحدة الأمريكية مقارنة بطاقة الرياح، وأنَّ هذه الوظائف جيدة الأجر وطويلة الأمد وغالبيتها محلية. وأضاف أنَّ الفوائد الاقتصادية للقوى النووية على المدى البعيد تتجلى أيضاً في ارتفاع مستوى توطين المعارف في البلدان المستجدة، وضرب مثلاً بجمهورية كوريا التي تزامن توسُّعها في القوى النووية مع وصول اقتصادها للمرتبة الحادية عشرة بين أكبر الاقتصادات في العالم في منتصف التسعينات. وتنتج القوى النووية نحو ثلث احتياجات جمهورية كوريا من الكهرباء.

ووفقاً للوكالة الدولية للطاقة، فنحو ٦٠ في المائة من العاملين الجدد اللازمين لتشغيل تكنولوجيات الطاقة النظيفة وكفاءة الطاقة والتكنولوجيات المنخفضة الانبعاثات بحلول عام ٢٠٣٠، والبالغ عددهم ٣٠ مليون عامل، سيشغلون وظائف جديدة عالية المهارات تتطلَّب مستوى تعليميًّا أعلى من التعليم الثانوي مثل الشهادات المهنية أو الدرجات الجامعية. وقال السيد دانييل فيتزل، رئيس وحدة تتبع الانتقالات المستدامة في الوكالة الدولية للطاقة، إنَّ على الحكومات والمؤسسات الأكاديمية أن تبدأ في وضع سياسات لتكوين هذه القوى العاملة المستقبلية.

— بقلم نيكولاس واتسون ولوسي أشتون

تحديد سلالة داء الحمى القلاعية في وقت قياسي في تونس بدعم من الوكالة والفاو

طبيب بيطري يأخذ عينة من فم بقرة مشتبه في إصابتها بمرض الحمى القلاعية في نابل شمال شرق تونس.

(الصورة من: ثامر بن حسين، وزارة الفلاحة والموارد المائية والصيد البحري في تونس)

في مطلع عام ٢٠٢٢، تلقى أحد مختبرات علم الفيروسات في تونس عينات فموية من أبقار اشتبه الأطباء البيطريون في إصابتها بداء الحمى القلاعية. وداء الحمى القلاعية هو مرضٌ شديد العدوى يصيب الحيوانات ذوات الأظلاف مثل الأبقار والخنازير والماعز، ويمكن أن يؤدي إلى اضطرابات في التجارة الإقليمية والدولية بالحيوانات والمنتجات الحيوانية. وتظهر أعراض المرض في شكل حمى وتقرحات تشبه البثور بين الحوافر وفي الفم وعلى اللسان والشفتين.

وفي غضون أيام من تقديم العينات إلى خدمة لتحديد التسلسل الجيني، تلقَّى السيد سفيان صغيِّر، أخصائي علم الفيروسات في مختبر علم الفيروسات بمعهد البحوث البيطرية في تونس، النتائج التي ساعدت على توكيد ظهور إحدى سلالات الحمى القلاعية. وتمكَّن السيد صغيِّر من إبلاغ السلطات البيطرية حتى تنفِّذ تدابير المكافحة اللازمة لمنع تفشِّي المرض. وقد أمكن الحصول على هذا التوكيد في الوقت المناسب بفضل المساعدة التي تقدِّمها الوكالة، بالشراكة مع منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة (الفاو)، من أجل تيسير توفير خدمات تحديد التسلسل الجيني وتقديم التدريب اللازم لمعالجة النتائج.

وقال السيد صغيِّر: "تلقَّينا نتائج تحديد التسلسل الجيني لعينات مأخوذة من حالة اشتبه بإصابتها بداء الحمى القلاعية بسرعة بالغة. فقد أُرسلت العينات إلى مختبر في برلين يوم الجمعة، وتلقينا النتائج بعد ظهر يوم الاثنين. وقد أتاح لنا ذلك إجراء التحليل اللازم لتحديد السلالة المحدَّدة من داء الحمى القلاعية في وقت قياسي.

وبحلول يوم الثلاثاء، كنا قد أرسلنا التقرير عن السلالة المعنية إلى السلطات البيطرية". ويلزم تحديد سلالات داء الحمى القلاعية من أجل اختيار اللقاحات الفعالة أو تطويرها.

ويُعدُّ تحديد التسلسل الجيني عنصراً مهمًّا للوقوف على ما إذا كان المرض الساري متوطِّناً أو وارداً من مكان آخر. وقال السيد إيفانشو ناليتوسكي، وهو مسؤول معني بصحة الحيوان في المركز المشترك بين الفاو والوكالة لاستخدام التقنيات النووية في الأغذية والزراعة: "يمكن لتحديد التسلسل الجيني أن يساعد على فهم الفئة التي ينتمي إليها العامل المُمرض – أي الكائن الذي يسبِّب المرض – ومن ثمَّ تحديد أي اللقاحات سيكون فعالاً ضده". فبناءً على التسلسل الجيني، يمكن رسم مخطط شجري لتطور السلالات يبيِّن المنشأ الوراثي للنوع البيولوجي المعني.

وقال السيد صغيِّر: "عن طريق تحليل تطور السلالات، خلصنا إلى أنَّ لدينا بالفعل لقاحاً يمكن أن يكفل الحماية لماشيتنا. ونفَّذت السلطات البيطرية حملة للتلقيح في المنطقة المحيطة ببؤرة ظهور المرض للتقليل من خطر تفشي داء الحمى القلاعية". ويمكن للتلقيح في محيط بؤرة ظهور المرض، أو التلقيح في نطاق وقائي، أن يساعد على منع انتشار الفيروس إلى مناطق جغرافية أخرى.

خدمة تحديد التسلسل الجيني المشتركة بين الوكالة والفاو

تمكِّن خدمة تحديد التسلسل الجيني المجانية البلدان من إخضاع مسبِّبات الأمراض لعملية تحديد التسلسل من أجل تحليلها تحليلاً متعمِّقاً. وقد تلقت الخدمة حتى الآن ما يزيد على ٥٣٠٠ عينة من ٣٠ مختبراً في ٢٤ بلداً في أفريقيا، وآسيا والمحيط الهادئ، وأوروبا، وأمريكا اللاتينية.

وقال السيد ناليتوسكي: "إنَّ تركيب تكنولوجيات تحديد التسلسل الجيني في المختبرات المحلية مكلِّف للغاية. ولا يوجد احتياج كبير إلى تحديد تسلسل كلِّ مفردة معزولة؛ بل الأمر قاصر على بضع عيِّنات من حالات تفشٍّ مختارة. ومن ناحية الجدوى الاقتصادية، من الحكمة إنشاء مسار لتمكين النظراء من الاستفادة من خدمة لتحديد التسلسل الجيني". وقد وضعت الوكالة ونشرت تعليمات تقنية مفصَّلة بشأن معالجة البيانات الأولية ورسم مخططات شجرية لتطور سلالات مسبِّبات الأمراض السارية محليًّا بناءً على النتائج المقدَّمة.

وبالإضافة إلى ذلك، فقد استضاف المركز المشترك بين الفاو والوكالة دورات تدريبية للمختبرات حول كيفية استخدام هذه الخدمة في المغرب في عام ٢٠١٧ وفي الأرجنتين في عام ٢٠١٨. وعلى المستوى الوطني، تؤدي هذه الخدمة دوراً في برامج رصد الأمراض. وأمَّا على المستوى العالمي، فهي تدعم الدراسات ذات الصلة وتقدِّم إسهامات للأوساط العلمية العالمية. وحتى الآن، نُشر أكثر من ٣٠ مقالاً في مجلات علمية قائمة على استعراض النظراء استناداً إلى نتائج مستمدة من خدمة تحديد التسلسل الجيني، مع نشر عشرات التسلسلات الجينية في قواعد البيانات المفتوحة المصدر.

— بقلم جوان ليو

تحسين الوقاية من الإشعاعات في الإجراءات الطبية باستخدام الكشف الفلوري

تتزايد وتيرة استخدام إجراءات التدخُّل الجراحي المحدود الموجَّهة بالتصوير حول العالم، فهي أقل خطورة من العمليات الجراحية التقليدية، وتكفل البقاء في المستشفى لفترة أقصر والتعافي بسرعة أكبر. وشهد عام ٢٠٢٠ تنفيذ ما مجموعه ٢٤ مليوناً من هذه الإجراءات – بزيادة قدرها ستة أضعاف منذ عام ٢٠٠٨. بيد أنَّ الأمر لا يخلو من المحاذير: فمن دون الاحتياطات الملائمة، قد يتعرَّض المرضى وأفراد الأطقم الطبية لجرعات غير ضرورية من الإشعاع بسبب الأشعة السينية التي تُستخدم في الكشف الفلوري لتمكين الأطباء من "رؤية" ما يفعلونه داخل الجسم.

وقالت السيدة جينيا فاسيليفا، وهي متخصصة في مجال الوقاية الإشعاعية بالوكالة: "لقد وقفنا على تحديات جديدة تواجه الوقاية الإشعاعية بسبب التطورات التقنية وزيادة تعقيد هذه الإجراءات، وحدَّدنا ثغرات محتملة في الإرشادات والتدريبات لتحسين وقاية المرضى والموظفين من الإشعاعات".

ويُظهر الكشف الفلوري صورة مستمرة بالأشعة السينية – باستخدام حزمة تمرُّ عبر الجسم – على شاشة عرض.

وفي إطار دعم الأوساط الطبية، عقدت الوكالة مؤخراً اجتماعاً ناقش فيه أكثر من ١٠٠ خبير من ٤٢ بلداً و١٨ منظمة دولية وهيئة مهنية التقدُّم المحرز والتحديات المطروحة في الوقاية من الإشعاعات في سياق إجراءات التدخُّل الجراحي الموجهة بالكشف الفلوري. وركَّز المشاركون على سبل تحسين وقاية المرضى وأفراد الأطقم الطبية من الإشعاعات عند تطبيق هذه الإجراءات، إذا يمكن للإشعاعات أن تتسبَّب في إصابات جلدية لدى المرضى وفي إصابة أفراد الأطقم الطبية القائمة على تنفيذ الإجراءات التدخُّلية بمرض السادِّ الإشعاعي.

إدارة وقاية المرضى وأفراد الأطقم الطبية من الإشعاعات

كثيراً ما يقتصر التأثير في الأنسجة على احمرار الجلد أو سقوط الشعر، لكن هناك حالات قليلة يمكن أن تنشأ فيها آثار أكثر شدَّة، مثل القُرح أو النخر الجلدي، وفي بعض الأحيان يكون ذلك بعد أسابيع أو شهور، بل وسنوات.

وقال رئيس الاجتماع، السيد ستيفن بولتر، أستاذ علم الأشعة الإكلينيكي والطب في جامعة كولومبيا بالولايات المتحدة الأمريكية: "ترتبط الجرعات العالية بعاملَيْن هما حجم المريض ومدى تعقُّد الإجراء من الناحية الطبية، ومن ثمَّ الحاجة إلى استخدام الكشف الفلوري لفترة ممتدة؛ ومع ذلك، فإنَّ معظم الحالات التي تظهر فيها على الأنسجة آثار شديدة غير مقصودة تقع نتيجة لافتقار القائمين على التشغيل للمعرفة أو الوعي".

وقال السيد هال ووركمان، وهو مريض عانى من إصابة جلدية خطيرة بسبب تدخُّل جراحي في القلب قبل ١٤ عاماً: "لقد استغرق إرجاع سبب إصابتي للكشف الفلوري الممتد خلال الإجراء الذي خضعت له أكثر من عام، وقد قضيت ما يزيد على ١٥ شهراً لا أنام لأكثر من ساعتين متصلتين. لقد كان مستوى الألم أشد ما يمكن للمرء أن يتخيله".

يُظهر الكشف الفلوري صورة مستمرة بالأشعة السينية - باستخدام حزمة تمرُّ عبر الجسم - على شاشة عرض. وتحظى وقاية المرضى وأفراد الطاقم الطبي من الإشعاعات أثناء هذا الإجراء بأهمية قصوى.

(الصورة من: ديسيسلافا كوستوفا- ليفتيروفا، المستشفى الوطني لطب القلب، صوفيا، بلغاريا)

وتعرَّف المشاركون أيضاً على آخر التطورات في تكنولوجيا الكشف الفلوري، بما في ذلك نوع من خرائط الجرعات الجلدية يبيِّن الجرعات الإشعاعية وفق توزيع بصري بالألوان أو بتدرُّج اللون الرمادي. ويزوِّد هذا القائمين على التشغيل بمعلومات عن رصد الجرعات لتحسين ضبط إعدادات الإجراءات وتفادي تعريض جلد المريض للإصابة.

وقال السيد بولتر: "لقد أدَّت الجهود المبذولة طيلة عشرين عاماً إلى تراجع هائل في عدد حالات الإصابات الجلدية. وكانت التحسينات المدخلة على معدات الكشف الفلوري والأجهزة الطبية من العوامل الرئيسية التي أسهمت في ذلك". وشدَّد السيد بولتر على أهمية التخطيط، خصوصاً في حالة المرضى الذين يعانون من البدانة والمرضى الذين يخضعون لإجراءات متعدِّدة، وكذلك أهمية رصد الجرعات التي يتلقاها المريض باستمرار والمتابعة الاستباقية للآثار الجلدية المحتملة في الحالات التي تتطلب استخدام جرعة كبيرة من الإشعاع في سياق إجراء معقَّد.

وبالإضافة إلى ذلك، فلا يزال رصد الجرعات التي يتلقاها أفراد الأطقم الطبية يشكِّل تحدياً في العديد من البلدان. وتشمل الجهود الرامية إلى رفع مستوى الوقاية من الإشعاعات مثلاً استخدام أجهزة إلكترونية لقياس الجرعات آنيًا، وتتبع أفراد الأطقم آليًا عن طريق نظم للرصد بالفيديو، والتدريب على أجهزة المحاكاة الافتراضية.

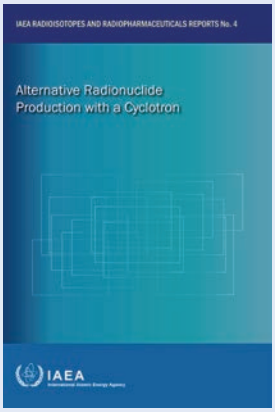
وقالت السيدة فاسيليفا إنَّ إذكاء وعي أفراد الأطقم الطبية بالوقاية الإشعاعية من شأنه أيضاً أن يسهم إسهاماً كبيراً في التقليل من تعرُّض الموظفين والمرضى للإشعاعات. وقال المشاركون في الاجتماع إنَّ التدريب العملي باستخدام مقاطع الفيديو فعَّال في هذا الصدد، ومن أمثلة ذلك الدروس التعليمية العملية الجديدة التي أعدَّتها الوكالة بشأن الوقاية من الإشعاعات في الإجراءات التدخُّلية.

الوكالة تُعدُّ دراسة بهدف التوعية

بغية سد الثغرات القائمة في البيانات المتاحة عن الآثار الإشعاعية في أنسجة المرضى، وإجراء مقارنة دولية للممارسات المعمول بها، أطلقت الوكالة دراسة دولية بشأن الجرعات التي يتلقاها المرضى خلال الإجراءات التدخُّلية الموجَّهة بالكشف الفلوري وآثارها في الأنسجة.

وقالت السيدة فاسيليفا: "يتمثَّل هدفنا في جمع البيانات على الصعيد العالمي للمساعدة على تحديث قيم الجرعات المستخدمة لبدء إجراءات متابعة حالات المرضى المعرضين لخطر الآثار الجلدية".

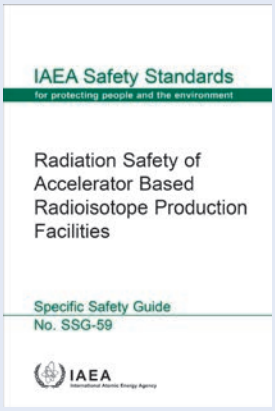
— بقلم مارغريتا غالوتشي وناتاليا إيفانوفا



Alternative Radionuclide Production with a Cyclotron

("إنتاج النويدات المشعة بطريقة بديلة قائمة على السيكلوترونات")

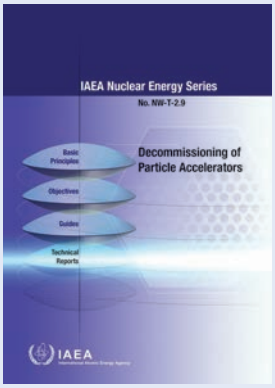
تُستخدم السيكلوترونات حاليًّا في تحضير مجموعة متنوعة من النويدات المشعة لأغراض تطبيقات التصوير المقطعي الحاسوبي بالانبعاث الفوتوني المفرد والتصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني. ولذلك فهناك مستوى مرتفع من الطلب من جانب الدول الأعضاء في الوكالة على الدعم في مجال إنتاج المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية باستخدام النظائر المشعة المنتجة بواسطة السيكلوترونات. ويصف هذا المنشور المسارات الممكنة لإنتاج النويدات المشعة باستخدام السيكلوترونات ضمن نطاقات طاقة مختلفة، ويعرض أساليب لتجهيز المستهدفات، ويقدِّم تفاصيل كيميائية عن فصل النويدات المشعة عن المواد المستهدفة. ويشمل القرَّاء الذين يخاطبهم هذا المنشور العلماء المتخصصين، والجهات المشغِّلة المهتمة بتطبيق هذه التكنولوجيا في الممارسة العملية، وأخصائيي التكنولوجيا الذين يستخدمون السيكلوترونات بالفعل في عملهم ويودُّون تحسين الاستفادة من الأدوات القائمة، والمسؤولين المشاركين في عمليات إنشاء مرافق للنويدات المشعة في بلدانهم. وقد يفيد هذا المنشور أيضاً الطلاب الذين يدرسون للحصول على شهادات عليا في المجالات ذات الصلة.



Radiation Safety of Accelerator Based Radioisotope Production Facilities

("الأمان الإشعاعي لمرافق إنتاج النظائر المشعة القائمة على المعجِّلات")

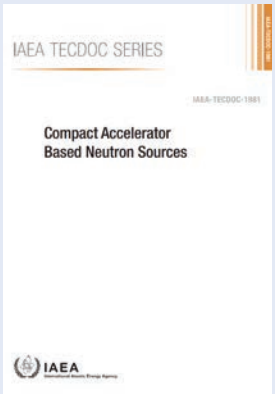
تُستخدم النظائر المشعة حول العالم في طائفة من التطبيقات الطبية والصناعية والبحثية والأكاديمية. وتُنتَج نسبةٌ كبيرة من هذه النظائر المشعة في معجِّلات الجسيمات، وهناك عدد كبير وآخذ في الازدياد من المؤسسات التي تشغِّل معجِّلات خطية أو سيكلوترونات وتصنِّع وتوزِّع المستحضرات الصيدلانية الإشعاعية، على سبيل المثال. غير أنَّ إنتاج النظائر المشعة باستخدام معجِّلات الجسيمات يشكِّل مخاطر إشعاعية كبيرة على العاملين وأفراد الجمهور والبيئة في حال تشغيل المعجِّلات من دون اتباع تدابير الأمان الإشعاعي المناسبة. ولذلك، يقدِّم دليل الأمان الصادر في هذا المنشور إرشادات عملية لتنفيذ تدابير الوقاية من الإشعاعات وتدابير الأمان في هذا النوع من المرافق المعنية بإنتاج النظائر المشعة واستخدامها.



Decommissioning of Particle Accelerators

("إخراج معجِّلات الجسيمات من الخدمة")

يقدِّم هذا المنشور معلومات عن الخبرات والدروس المستفادة في تنفيذ مشاريع إخراج معجِّلات الجسيمات من الخدمة. وبناءً على هذه المعلومات، ومع تسليط الضوء على المسائل والشواغل الشائعة، يقدِّم المنشور معلومات عملية لكلٍّ من يؤدي دوراً في هذه العملية. ويستهدف هذا المنشور الجهات المشغلة لمرافق المعجِّلات، لاسيما المرافق التي اقتربت من مرحلة الإخراج من الخدمة، أو الجهات التي تتعهَّد مرفقاً قيد التفكيك المؤجَّل، كما يستهدف الهيئات الرقابية، والجهات القائمة على التصرُّف في النفايات، وواضعي السياسات على مستوى الحكومات، والسلطات المحلية، والجهات المتعاقدة لتنفيذ الإخراج من الخدمة، ومصمِّمي المعجِّلات. ومن المتوقع أن تسهم الدروس المستفادة المبيَّنة في هذا المنشور في مسار تخطيط عملية الإخراج من الخدمة خلال مرحلة تصميم المرافق الجديدة، ومن ثمَّ التقليل إلى أدنى حد من النفايات المشعة دون المساس بالخصائص الهيكلية لهذه المرافق وبفعاليتها.



Compact Accelerator Based Neutron Sources

("مصادر النيوترونات المدمجة القائمة على المعجِّلات")

بدأ إنتاج النيوترونات باستخدام المعجِّلات في سبعينات القرن العشرين بعد تشييد معجِّلات بروتونات عالية القدرة للوصول إلى النيوترونات عن طريق التشظية. وفي الوقت نفسه، ظهرت العمليات النيوترونية المنخفضة الطاقة لإنتاج النيوترونات باستخدام معجِّلات الإلكترونات ومعجِّلات الحزم الأيونية والسيكلوترونات والمعجِّلات الخطية المنخفضة الطاقة. وصار يُشار إلى هذه المجموعة الواسعة من مصادر النيوترونات القائمة على المعجِّلات بعبارة "مصادر النيوترونات المدمجة القائمة على المعجِّلات". ويقدِّم هذا المنشور لمحة عامة عن مختلف أنواع التكنولوجيات المستعملة في مصادر النيوترونات المدمجة القائمة على المعجِّلات، سواء المتوفرة حاليًّا أو المخطط لها في المستقبل القريب. ويوضح المنشور العديد من التطبيقات التحليلية وغير التحليلية التي تُستخدم فيها النيوترونات. ونظراً للتنوع الكبير في هذه المصادر من حيث مستويات الطاقة والتكاليف، يهدف هذا المنشور أيضاً إلى توضيح أنَّه بالإضافة إلى إمكانية أن تحلَّ مصادر النيوترونات محلَّ مفاعلات البحوث الوطنية المتوسطة التدفُّق في أداء بعض المهام، فقد يصبح إنشاء مصادر نيوترونية أصغر حجماً مجديًّا على المستوى الإقليمي، وهو ما يمكن أن يؤدي في نهاية المطاف إلى توسيع إمكانية الوصول إلى مرافق إنتاج النيوترونات.

للحصول على مزيد من المعلومات أو طلب كتاب، يُرجى الاتصال بنا على العنوان التالي:

وحدة التسويق والمبيعات

الوكالة الدولية للطاقة الذرية

Vienna International Centre, PO Box 100, A-1400 Vienna, Austria

البريد الإلكتروني: sales.publications@iaea.org

طالعوا هذا العدد وسائر أعداد مجلة الوكالة عبر الرابط:

www.iaea.org/bulletin

للحصول على المزيد من المعلومات عن الوكالة وعملها، زوروا موقعنا الشبكي

www.iaea.org

أو تابعونا على

22-01569 ISSN 1819-1800