كيف تساعد قواعد بيانات الوكالة على المضي قُدماً بالبحوث من أجل التوصل إلى استخدام الاندماج استخداماً تجاريًّا

بقلم ألكساندرا بيفا

إنَّ الوعد بتسخير إمكانات الطاقة الوفيرة في مجال الاندماج النووي من خلال الاندماج التجاري يتطلب فهماً أفضل للبلازما — أي الغازات المؤينة الشديدة السخونة — وتطوير مواد للمفاعلات العالية الأداء. وبدعم العلماء الذين يدرسون سلوك البلازما، ونمذجة خصائص المواد المستخدمة في بحوث الطاقة الاندماجية، تساعد قواعد بيانات الوكالة على الدفع بعجلة البحوث نحو إنتاج الطاقة في نهاية المطاف على نطاق تجاري.

ومن الأهمية بمكان بالنسبة لتطوير طاقة الاندماج الوصول إلى الظروف القصوى اللازمة لبلوغ 'إشعال الاندماج' — وهي النقطة التي تتم عندها استدامة تفاعل الاندماج عبر الطاقة المولَّدة من ذلك التفاعل، ومن ثم الحفاظ على تلك الظروف. ويتطلب ذلك أن تقتصر أنواع وقود البلازما الناتجة عن التفاعل والواجب احتواؤها في مساحة لفترة كافية للسماح للاندماج بأن يتطوَّر ويسخِّن نفسه لدرجة التوصل إلى الاكتفاء الذاتي.

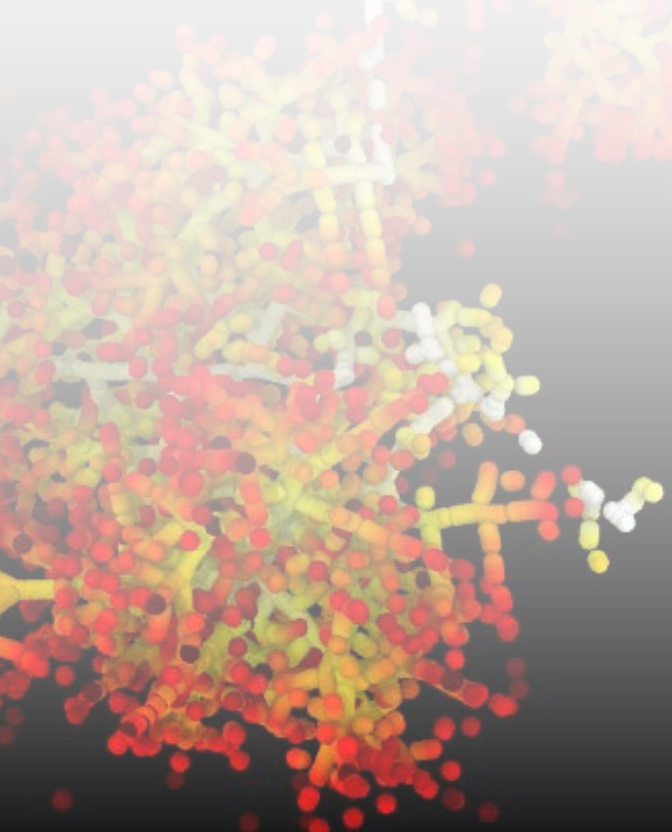
كما يتطلب الإشعال من المهندسين تطوير مواد جدار المفاعل العالية الأداء والقادرة على تحمل التدفق المطرد للطاقة في شكل حرارة ونيوترونات طليقة. وهذه الطاقة تسخِّن الجدران، ويمكن أن يؤدي القصف النيوتروني إلى تلف المادة — مما يقوِّض سلامة مادة الجدار أو يتسبب في فرقعة المادة مرة أخرى في البلازما وتبريدها.

وينبغي أن تمتص مواد المفاعل أيضاً أقل قدر ممكن من التريتيوم — وهو أحد نظائر الهيدروجين لوقود الاندماج. ووقود التريتيوم الممتص هو وقود ضائع بالنسبة للتفاعل. ولكن الأهم من ذلك أن التريتيوم مادة مشعة، وللتقليل إلى أدنى حد من كمية النفايات النووية الناتجة في نهاية المطاف ومن درجة سميتها الإشعاعية، من الأنسب ألا تمتص جدران المفاعل التريتيوم وتصبح مشعة في هذه العملية.

> **"لا يمكن التنبؤ بالخصائص ذات الصلة للمواد المرشحة إلا بوجود بيانات موثوقة مستمدة من حسابات وتجارب دقيقة."**
>
> — كريستيان هيل، رئيس وحدة البيانات الذرية والجزيئية التابعة للوكالة الدولية للطاقة الذرية

استكشاف سلوك البلازما

من الضروري الحصول على فهم عميق لسلوك البلازما في المفاعل لزيادة طول الوقت الذي يمكن احتواء البلازما فيه بواسطة القوى المغناطيسية. وتحتفظ قواعد بيانات الوكالة بمعلومات عن العمليات التي تحدث في بلازما قلب المفاعل وبلازما محيط المفاعل، وكذلك في نظم حقن الحزم المحايدة المستخدمة لتسخين البلازما من أجل التوصل إلى الإشعال. كما أنها تحتوي على بيانات عن خصائص الشوائب المختلفة التي يتم



حقنها عمداً في البلازما لأغراض التشخيص وللتخفيف من حالات عدم الاستقرار.

وقاعدة نظام تبادل البيانات الذرية التابعة للوكالة هي مستودع يسهل البحث فيه ويضمُّ بيانات تصادم مقيَّمة فيما يخص العمليات ذات الصلة بالاندماج. ويستخدمه مجتمع البحوث لإجراء عمليات تشخيص البلازما والتعرُّف على بارامترات البلازما الهامة، مثل درجة الحرارة والكثافة. وباستخدام نظام تبادل البيانات الذرية، يستطيع العلماء الحصول على فهم أفضل للخصائص التصادمية-الإشعاعية للأيونات التي تعتبر حاسمة للتوصل إلى تشخيص موثوق للبلازما.

مواد النمذجة لتحقيق الاندماج

إن نقص المرافق التي تكرِّر الظروف القصوى لمفاعل اندماج يجعل إنشاء مواد جديدة لمحطات قوى الاندماج المستقبلية أمراً معقداً. وباستخدام تقنيات النمذجة الحاسوبية، ومنصات الحوسبة العالية الأداء، وأدوات التصنيف التجريبي التحليلي، يستطيع الخبراء تصميم مواد يمكن أن تؤدي أداء جيداً في بيئة طاقة الاندماج.

ومن خلال النمذجة، يجري اكتشاف مواد جديدة والتنبؤ بموثوقية المواد الموجودة. وهذا أمر مهم بشكل خاص لجدار المفاعل الأعمق، الذي يقع في أقرب مكان للبلازما في وعاء المفاعل وهو يحمي مكونات وعاء المفاعل من التلف الذي تسبِّبه البلازما.

وقال كريستيان هيل رئيس وحدة البيانات الذرية والجزيئية التابعة للوكالة «إنَّ البيئة القصوى للجدار الأول لمفاعل الاندماج النووي تتطلب اختياراً دقيقاً للمواد التي يجب أن تصمد أمام درجات الحرارة المرتفعة وقصف الجسيمات دون أن تصبح متآكلة أو هشة أو مشعة ودون الاحتفاظ بوقود الهيدروجين. فلا يمكن التنبؤ بالخصائص ذات الصلة للمواد المرشحة إلا بوجود بيانات موثوقة مستمدة من حسابات وتجارب دقيقة.»

ويستخدم الباحثون قواعد بيانات الوكالة في بحوث طاقة الاندماج وغيرها من تطبيقات علوم وتكنولوجيا البلازما. وتقوم الوكالة بجمع البيانات وتقييمها من خلال شبكاتها ومشاريعها البحثية المنسقة واجتماعاتها التقنية، ثم توزعها من خلال قواعد بياناتها الإلكترونية المجانية والمنسَّقة والتي يسهل البحث فيها.

وقال هيل: «إنَّ قيمة قاعدة بيانات دولية منسقة هي في الدور التي تؤديه كمستودع دائم وموثوق به ويمكن الوصول إليه للبيانات المقيَّمة التي يمكن أن يستخدمها مجتمع الاندماج مجاناً. ووحدة البيانات الذرية والجزيئية التابعة للوكالة هي أيضاً وحدة فريدة من نوعها من نواح أخرى: فهي موجودة منذ أكثر من ٤٠ عاماً، وهي قديمة جدًّا في «سنوات بيانات الاندماج».

ويجري باستمرار تحسين وتوسيع قواعد بيانات الوكالة استناداً إلى الاحتياجات المحددة من البيانات للباحثين، بما في ذلك تحديد كمية وتأثيرات أوجه عدم اليقين في البيانات، وتقنيات التحقق من صحة البيانات، وتنسيقها ونشرها.

ويمكن الوصول إلى جميع قواعد البيانات المتصلة بالاندماج التي تحتفظ بها الوكالة على الموقع التالي: *amdis.iaea.org/databases*

تصور لتسلسل الاصطدامات التي تؤدي إلى تلف في مادة بلورية.

(الصورة مهداة من أندريا ساند/ جامعة آلتو)