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