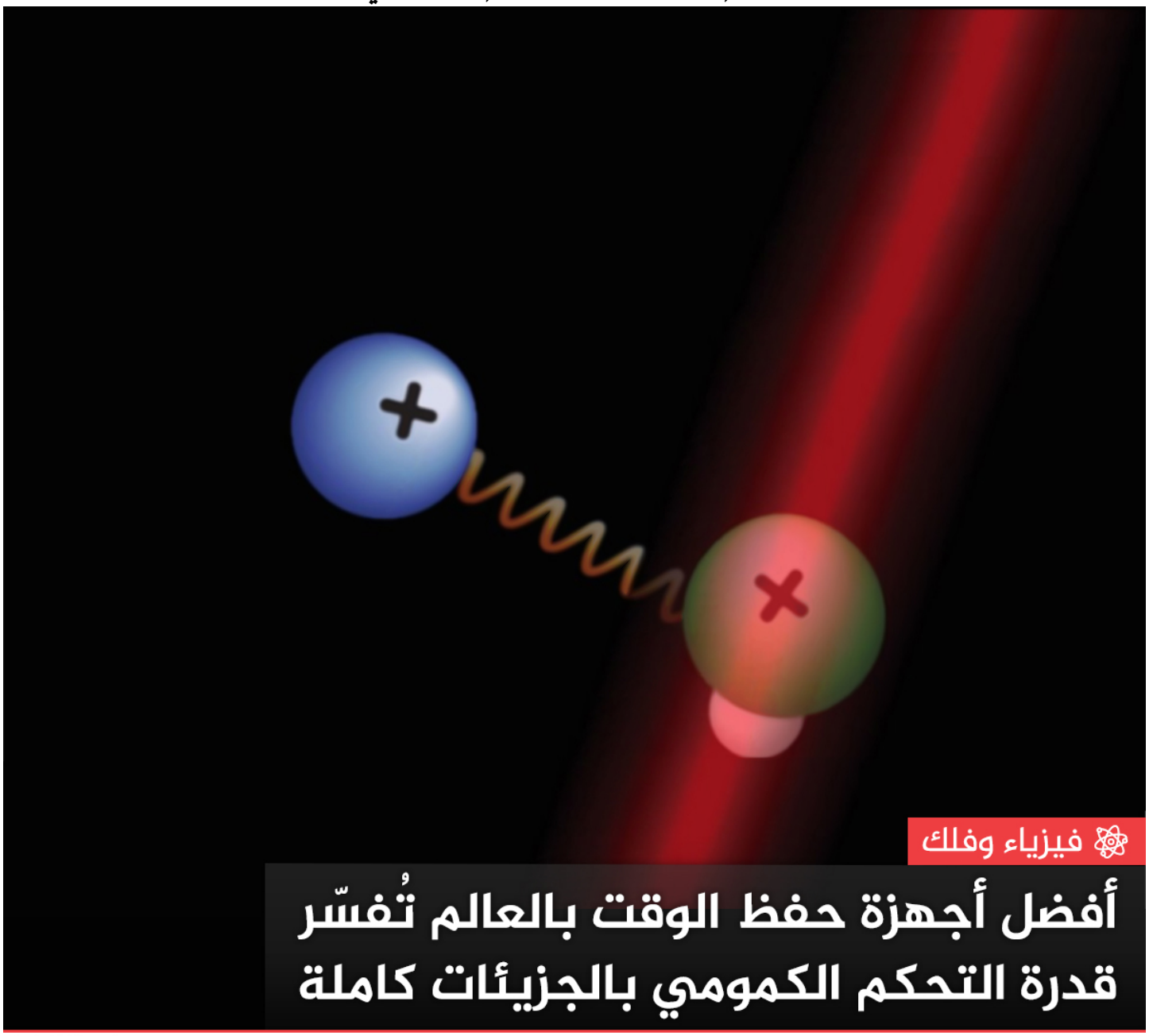
أفضل أجهزة حفظ الوقت بالعالم تُفسّر قدرة التحكم الكمومي بالجزيئات كاملة



تلعب الجزيئات دور الذرات

أظهر جهاز حفظ الوقت الأكثر دقةً في العالم قواه القادرة على تحقيق القفزة القادمة في البحث الكمومي، انطلاقًا من التحكم الكمومي لذراتٍ مفردة إلى جزيئاتٍ بأكملها.

وتفتح هذه الخطوة الجديدة في معالجة شيءٍ أكثر تعقيدًا من الذرات خياراتٍ جديدةً لكيفية تخزين أو تحويل المعلومات الكمية، أو حتى تمكيننا من البحث عن أجوبة لأعمق الأسرار الفيزيائية. ولصنع ساعة ذرية دقيقة بشكل مبالغ فيه، التي بالكاد تخسر أو تكسب ثانية واحدة خلال بضع مليارات السنين، عليك التحكم بالطبيعة الكمية للذرات.

فعل ذلك معهدُ الولايات المتحدة الوطني للمعايير والتكنولوجيا **US National Institute of Standards and Technology** (اختصار المعهد: **NIST**) فقط بحجز حِزَم من ذرات السيزيوم **caesium**، أو الإسترونتيوم **strontium**، أو الإيتربيوم **ytterbium**، وتبريدها قدر الإمكان لما يقارب الصفر المطلق عبر ضربها بليزرٍ مؤقتٍ جيدًا.

وعند ثباتها إلى حدٍّ ما، تصبح مسألة تعريض الذرات لتردد من الإشعاع الذي يتسبب باهتزاز الإلكترونات للأمام والخلف بين مستويات طاقة محددة، فينتج عن ذلك صوت الـ'تيك-توك' في الساعة. وبالرغم من أنه أكثر تعقيدًا بقليل في الواقع، إلاّ أنّ معالجة الذرات أصبحت سهلةً عندما تكون غير مرتبطةٍ ببعضها. وفور ارتباط شحناتها ببعضها في الجزيئات، يصبح فحصها والتحكم في خصائصها الكمومية صعبًا.

والطريقة الأخرى لفعل ذلك هي استعارة فكرةٍ من نوعٍ من (الساعات الكمومية المنطقية quantum logic clock)، التي تحجز أيون ألمنيوم واحدًا في حقلٍ كهربائي وجعله يترنم عند تسليط الشعاع فوق البنفسجي عليه، وبرغم ثبات الأيون عند إصدار الـ'تيك-توك' خاصته، إلاّ أنّ الألمنيوم ليس الأكثر تجاوبًا عندما يأتي الأمر للتحكم به.

إذ للتحكم به كله، يرتبط أيون الألمنيوم بأيونٍ أخر موجب الشحنة، كأيون المغنيسيوم، حيث أنّ ضرب المغنيسيوم بليزر سيقوم بتبريده، ولأنهما موجبا الشحنة، هذا يعني بأنه سيدفع الألمنيوم ليبطئ من سرعته أيضًا. ويشير جزء "المنطق الكمومي" من هذه الساعة إلى الخصائص الكمومية للألمنيوم التي تنتقل إلى شريكه، الذي يشارك المعلومات على شكل إشارةٍ ثنائيةٍ فريدةٍ من نوعها يمكن تتبعها.

وبينما يُطبَّق المفهوم ذاته على الجزيئات قبل استخدام أدواتٍ معقدةٍ قد جُهّزت للبحث عن خصائصَ واحدةٍ، طورت الأبحاث في معهد **NIST** بروتوكولًا أكثر عموميةً يمكن تطبيقه على نطاقٍ أكبر من الحالات.

وباتباع ذات الفكرة الأساسية جمع العلماء اثنين من أيونات الكالسيوم في فخٍ أيونيٍّ موجودٍ بعد تجربة انتقال قديمة. نعم، بالفعل. وبعدها قاموا بتسريب غاز الهيدروجين حتى قام أحد الأيونات بالاستغناء عن بروتون ليتحوّل لجزيء كالسيوم الهدريد، أو **CaH+**.

ولأن كلًّا منهما موجب الشحنة ومتواجد إلى جانب الآخر، أثرت حركة أيون الكالسيوم على حركة كالسيوم الهدريد كما لو كان هنالك نابض بينهما. وبتبريد أيون الكالسيوم باستخدام الليزر، يضع إلكتروناته في أقل مستويات الطاقة انخفاضًا مما يبطئ من اهتزازاتها، وبالمقابل يحدث نفس الأمر لجزيء كالسيوم الهدريد.

وقد سمح ذلك للباحثين نكز الجزيء بطريقةٍ ما من شأنها "إخبار" الذرة شيئًا عن حالتها الكمومية التي لا يمكن تحديدها مباشرًة، والتي تتواصل بدورها باستخدام إشارة.

إذ يقول جيمس تشينوين تشو **James Chinwen Chou**، عالم الفيزياء في معهد **NIST**: "أيّ خدعةٍ يمكنك تنفيذها مع الأيونات الذرية هي الآن في المتناول مع الجزيئات الأيونية، الآن سوف يستمع إليك الجزيء سائلًا: ما الذي تريد مني فعله؟". وسيُحدّد نوع المعالجة لحث استجابة فقط إن كان الجزيء في حالةٍ كموميةٍ معينةٍ، مسببًا استجابة ثنائية بسيطة من الذرة المترجمة. افترض، على سبيل المثال، إذا بُرد الجزيء الى أقل حالات الطاقة والاهتزاز، فسيظل بإمكانه الدوران عشوائيًا. وإذا أردت معرفة شيءٍ عن موقعه الدوراني فيمكنك ضربه بليزر على ترددٍ معيّن ليستهدف انتقالًا محدد في دورانه.

وإذا دار لداخل المكان المستهدف، فستجعل بعض بقايا الطاقة الجزيء يهتز. ويقول الباحث ديتريخ ليبفرايد **Dietrich Leibfried**: "يهتز الجزيء فقط، عند وجوده في الحالة الصحيحة، وتشعر الذرة بالاهتزاز وتستطيع تحويل الاهتزاز إلى إشارةٍ ضوئية نستطيع رصدها".

ويشّبه ليبفرايد التنظيم بأكمله بطريقة (بريل) للمكفوفين، التي تتمثل بالإحساس بالمعلومة بدلًا من رؤيتها.

وربما يمكن أيضًا تشبيهها بلعب لعبة العشرين سؤال مع الساحران (بين) و(تيلير)، حيث يجيب (بين) بـ"أجل" أو "لا" بالنيابة عن شريكه. وإذا ما زلت محتارًا قليلًا- فلنواجه الأمر، عندما يأتي الأمر لمكانيك الكم والقياسات الغريبة، من يمكنه لومك- قد يساعدك هذا الرسم البياني للاستفادة قليلًا من البحث.

التحكم الكمومي للجزيئات

- الخطوة الأولى: أيون كالسيوم ذري (الجسم الكروي الازرق) وأيون كالسيوم الهدريد جزيئي محجوزان معًا في مصيدة كهرومغناطيسية.
- الخطوة الثانية: يتنافر الأيونان بسبب شحنتيهما، التنافر يمثل دور النابض الذي يحجز حركتيهما معًا
- الخطوة الثالثة: الليزر يبطئ حركة الأيون الذري، الأمر الذي يبطئ الأيونَين معًا حتى تتوقف حركتهما المشتركة. الجزيء في أقل مستوياته الطاقية والإلكترونية والاهتزازية لكنه يظل يدور عشوائيًا.
- الخطوة الرابعة: ضربة من ضوء الليزر تطبق على الجزيء بتردد يستهدف انتقالًا واحدًا مميزًا فقط من دوران الجزيء.
- الخطوة الخامسة: إذا انتقل الجزيء داخل الحالة المستهدفة، عندها تعود بعض الطاقة إلى حركة الأيونين المشتركة ويعودان للحركة مجددًا. إذا لم ينتقل، تبقى الذرة والجزيء بلا حركة تقريبًا.
- الخطوة السادسة: تُغير نبضة الليزر الحالةَ الداخلية للأيون الذري إذا، وفقط إذا، كانت الأيونات تتحرك.

ويبدأ بعدها الأيون الذري بنشر الضوء، حيث يدل رصد الضوء على أنّ الجزيء الآن في الحالة الدورانية المستهدفة. وقد فتحت القدرة على تبريد الذرات والتحكم بها عالمًا من القياسات عالية الدقة والإمكانيات الرائعة في تقنية المعلومات. وقد يُمهّد التطور للوصول إلى جزيئات كاملة الطريق إلى قُرصٍ مماثلة.

وكما يقول ليبفرايد: "هذا جزء من مهمة معهد **NIST** الأساسية، أي تطوير أدوات قياس دقيقة يمكن لأناسٍ آخرين استخدامها في أعمالهم".

- التاريخ: 2018-11-28
- التصنيف: فيزياء

#الفيزياء الكمومية #الساعة الذرية #معالجة الذرات #الساعة الكمومية

المصادر

- Science alert
- الورقة العلمية

المساهمون

- ترجمة
  - مجد مراود
- مُراجعة
  - مي منصور بورسلي
- تحرير
  - رأفت فياض
- تصميم
  - سلمان عبود
- صوت
  - أهلة عبيد
- نشر
  - يقين الدبعي