

مُقابِلة مع شاي هكوهين-جورجي | دوائر موصلات فائقة تُشكِّل أساسًا للكمبيوتر الكومبي

أحد أهم المواضيع العلمية في عالم اليوم هو الكمبيوتر الكومبي، الذي يُفترض أن يقوم بتنفيذ عمليات حسابية بالسرعة والنطاق اللذين لا يستطيع أي كمبيوتر كلاسيكي عادي القيام بهما، وذلك باستخدام أسس ميكانيكا الكم. مبدأ أساسي في نظرية الكم هو مبدأ التراكب، ووفقًا له يوجد للجسيم الكومبي احتمال لأن يكون، ليس فقط في عدد من الحالات المحتملة، ولكن، في مزيج من هذه الحالات، أيضًا. على سبيل المثال، أصغر وحدة معلومات في الكمبيوتر الكلاسيكي تُسمَّى "بت" (bit) ويمكن أن يكون لها قيمة 0 أو 1، فقط، بينما وحدة المعلومات الأساسية للمعلومات الكومبية يُمكن أن تكون في إحدى هذه الحالات أو في تراكبها حتى لحظة القياس التي سينهار فيها النظام إلى الحالة المعينة التي يتم قياسها. الحاجة إلى الحوسبة الكمية أُثبِتَت في العام 1980 من قِبَل بول بنيثوف ويوري مان، ومن بعدهما، في العام 1982، من قِبَل ريتشارد فاينمان. إن إدراك حقيقة كون أجهزة الكمبيوتر الكلاسيكية لا تكفي لإجراء عمليات حسابية كمومية، نظرًا لتراكبية هذه الحسابات، أدى إلى فكرة أنه يمكن توجيه التراكب الكمي نفسه لِيشكِّل أساسًا لتنفيذ عمليات محاكاة وحسابات.

ميكانيكا الكم تنطبق في جوهرها على الأنظمة المجهرية على المستوى الذري أو الجزيئي. في منتصف الثمانينيات، تبين أن الأنظمة المجهرية "الكبيرة" لمئات الميكرونات يمكنها محاكاة السلوك الكومبي للذرات وإجراء حسابات كمية فعالة باستخدام الدوائر الكهربائية التي تحتوي على الموصلات الفائقة. الموصلات الفائقة هي الموصلات التي، في درجات حرارة أقل من درجة الحرارة الحرجة المعتادة، تُصبح المقاومة الكهربائية فيها صفرًا، بخلاف الموصل العادي، مثل المترلج على مسار جليدي كامل، بدون احتكاك، والذي سوف يستمر في الدوران إلى الأبد. ولكن، في ذلك الوقت كانت هناك شكوك كبيرة حول الاستخدام الفعلي لهذه الدوائر، لأن زمن الاتساق الذي يتم فيه تخزين المعلومات الكومبية (أو مقدار الوقت الذي يمكن فيه إجراء حساب كمي) كانت قصيرة للغاية. في السنوات العشرين الماضية، حدثت تطورات كثيرة في فهم تصميم الدوائر والمواد المكونة لها، مما أدى إلى تحسن كبير في زمن الاتساق، بما يقارب خمس مرّات، من نانو ثانية إلى 100 ميكرو ثانية. بالإضافة إلى ذلك، من أجل بناء كمبيوتر كومي، يجب أن يكون هناك مسار تكنولوجي واضح وثابت. مسار الموصلات الفائقة يبدو الآن أنه واعد، ونتيجة لذلك، فإنه يتجاوز حدود الأوساط الأكاديمية. حتى الآن، عدد من مجموعات الصناعة يعمل على تطبيق الكمبيوتر الكومبي، مثل آي بي إم، جوجل و إنتل، وهي تقوم بدفعه إلى الأمام. في نفس الوقت، هناك شكوك تتعلق بقدرة هذه التكنولوجيا أن تُستخدَم كجهاز كمبيوتر كومي من ناحية عملية، لذلك، من الضروري مواصلة البحث الأكاديمي الذي يبحث في الأسئلة الفيزيائية الأساسية في هذا المجال.

في مختبر شاي هكوهين-جورجي في كلية الفيزياء في التخنيون، يعملون حاليًا على بناء نظام سيكون أساسًا فكريًا للكمبيوتر الكومبي. سوف يُؤدِّي البحث إلى تحسين زمن الاتساق وتحسين مكونات النظام. أنهى شاي دراسته للدكتوراة في جامعة تل أبيب. خلال دراسته، استمع إلى محاضرة نظرية حول الحوسبة الكومبية أثارَت فضوله وأدت به إلى زمالة ما بعد الدكتوراه في العام 2013 في جامعة بيركلي في كاليفورنيا. في أيلول 2017 وصل شاي إلى كَلِيَّة الفيزياء في التخنيون، وهو يعمل الآن على بناء المُختبر الخاص ببحثه. هدفه الرئيسي هو الوصول إلى وضع يمكن فيه لنظام في مختبر تنفيذ محاكاة في مجال الحوسبة الكومبية، ويتم بناؤه بالكامل في مختبر في التخنيون، من الألف إلى الياء.

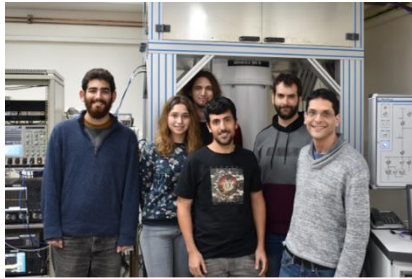
النظام، الذي يعمل في مجال ترددات الموجات الصغرى، يتكوّن من دوائر مصنوعة من موصلات فائقة من الألمنيوم، تتصرف مثل الذرات، "هذا هو البت الكومي (كيوبت Qubit) الذي سننقذ عليه الحسابات بواسطة البوابات المنطقية"، يقول شاي. الكيوبت، كما ذُكر، هي وحدة المعلومات الكومبية، ونحن نعلم من ميكانيكا الكم أن مثل هذه الجسيمات تحتاج إلى مستويات محددة ومختلفة من الطاقة (مُفردة). "نحن نحرص على ذلك في المختبر من خلال تصميم أنظمة مع مكثفات، وملفات ومكونات متقدمة (أحد هذه المكونات يسمى مفرق جوزيفسون) مصنوعة من الموصلات الفائقة. فيما بعد، نحن نتحكم في الذرات بواسطة فوتونات ذات تردد موجات صغرى تسمح لـ "الذرات" بالتواصل فيما بينها. بالإضافة إلى ذلك، من أجل أن يتصرف النظام بطريقة كمية، يجب تبريده إلى درجات حرارة منخفضة للغاية تبلغ حوالي 10 ميليكيلفين (ناقص 273 درجة مئوية تقريبًا)".

الغرض الرئيسي من التجربة الأولى هو خلق تفاعل بين البتات الكومبية (الكيوبتات) الأربع التي لا تتصل مباشرة بعضها مع البعض. يقول شاي: "التفاعل يتم عن طريق التَّحكُّم المحلي والقياس العالمي. نتحكّم في كيوبت واحد، فقط، ولكن نخلق تفاعلًا بين جميع

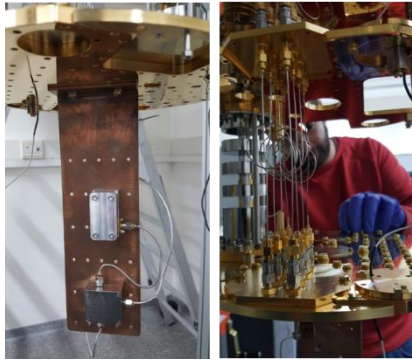
الكيوبتات بكوننا نٌشاهدها جميعًا معًا، بحيث أن المؤشّر لا يُميّز بينها. عادةً، يجب أن تكون البتات متصلة مباشرة بعضها مع البعض حتى نتمكن من تنفيذ الحسابات عليها بواسطة البوابات المنطقية. هنا يلزم أن يكون هناك تحكّم في كيوبت واحد ومُشاهدتها جميعًا معًا. مجرد القياس نفسه - مُشاهدة النظام - هو الذي يُؤيّد التفاعل". فكرة البوابة الكمومية التي في النظام، التي تُسمّى "بوابة زينو"، تبلورت أثناء زمالة ما بعد الدكتوراة لِشاي، في أعقاب تأثير زينو الكمومي المستمد من مفارقات زينو الكلاسيكية. في المفارقة الكلاسيكية عن "أخيل وسلحفاة"، يتنافس أخيل، المُحارب السريع، في الرّكض، مع سلحفاة بطيئة. المنطق هو أنه إذا كان أخيل أسرع بكثير، فسوف يلحق بالسلحفاة، حتى لو سبقته في الانطلاق، ولكن في هذه المفارقة يرتكب أخيل خطأ فادحًا ويُتيح للسلحفاة البدء في الرّكض قبله، الأمر الذي يخلق فجوة ثابتة بينهما. في كل مرة وصل فيها أخيل إلى المكان الذي كانت فيه السلحفاة من قبل، تمكنت السلحفاة من النّقدّم، وعلى الرّغم من أن أخيل كان طيلة الوقت يقترب منها، إلا أنه لم يتمكّن من اللحاق بها.

تأثير زينو الكمومي في ميكانيكا الكم يقول إنه إذا رَصَدنا بسرعة كافية (أو متواترة بما فيه الكفاية أو قوية بما فيه الكفاية) في نظام كمومي، فلن نُتيح للنظام تغيير حالة كمومية، وهو سوف "يقفل" فعليًا في حالة معيّنة. "بعبارة أخرى" يُضيف شاي "استخدام تأثير زينو الكمومي يمنع النّظام من النّطور ويُغيّفه في حالة كمومية مُحدّدة (كما هي الحال في المفارقة الكلاسيكية، حيث أخيل لا يصل إلى السلحفاة أبدًا)". في المختبر يتمثّل تأثير زينو بطريقة ديناميكية من خلال تطوير النظام. في التّأثير الديناميكي، المُشاهدة نفسها تمنع عن النظام مساحة فرعية من المساحة الأولية التي ابتدأ بها. نتيجة لذلك، نحن في الواقع نقصر تطوير النظام على مساحة معيّنة (مساحة فرعية)، بالتوازي مع "قفل" حالة النظام في تأثير زينو. هذه البوابة الفريدة تُتيح عملية منطقية متعدّدة المُشاركين (متعدّدة الكيوبتات) في عملية واحدة، بدلًا من القيام بالعديد من العمليّات لربط أزواج، كما يتم عادةً.

في نفس الوقت، يجري العمل في المختبر على تحسين مكبرات كمومية لازمة لمعالجة الإشارة الكمومية للنظام. في وقت لاحق، يُخطّط شاي تجربة لزيادة عدد الحالات الكمومية بطرق اقتصادية تشمل مُعالجة سائر مكونات النّظام. الهدف المستقبلي الفريد من نوعه هو بناء كيوبتات جديدة من مواد متقدمة. هذا النّقدّم في البحوث سوف يُسكّل في المستقبل عاملاً مهمًا في تحويل الكمبيوتر الكمومي من حلم نظري إلى هدف قابل للتحقيق.



بواسطة إفرات صباح



في الصّورة (alt): الصّورة الغُلبا: أعضاء المجموعة بجانب نظام تجريبي، (من اليسار إلى اليمين) الباهو بلومينتال، عينايف برين، بوغز كورين، حين مور، أساف درينجر، شاي هكوهين-جورجي. الأسطوانة البيضاء التي تظهر في الجزء الخلفي هي عبارة عن براد دي لوشن يتم فيه تبريد التجارب إلى درجة حرارة 10 ميليكيلفين. إلى أسفل، من اليمين: أساف يضع نظام تجربة داخل البراد. إلى أسفل، من



Department of Physics

הפקולטה לפיזיקה

اليسار: مرنان، مكوّن يتيح التحكم في "الذرات" في النظام، وأيضًا، التواصل بين الذرات بترددات مايكرو. الكيوبت موجود داخل المرنان.
المرنان موضوع في الجزء السفلي من البراد كجزء من التجربة.