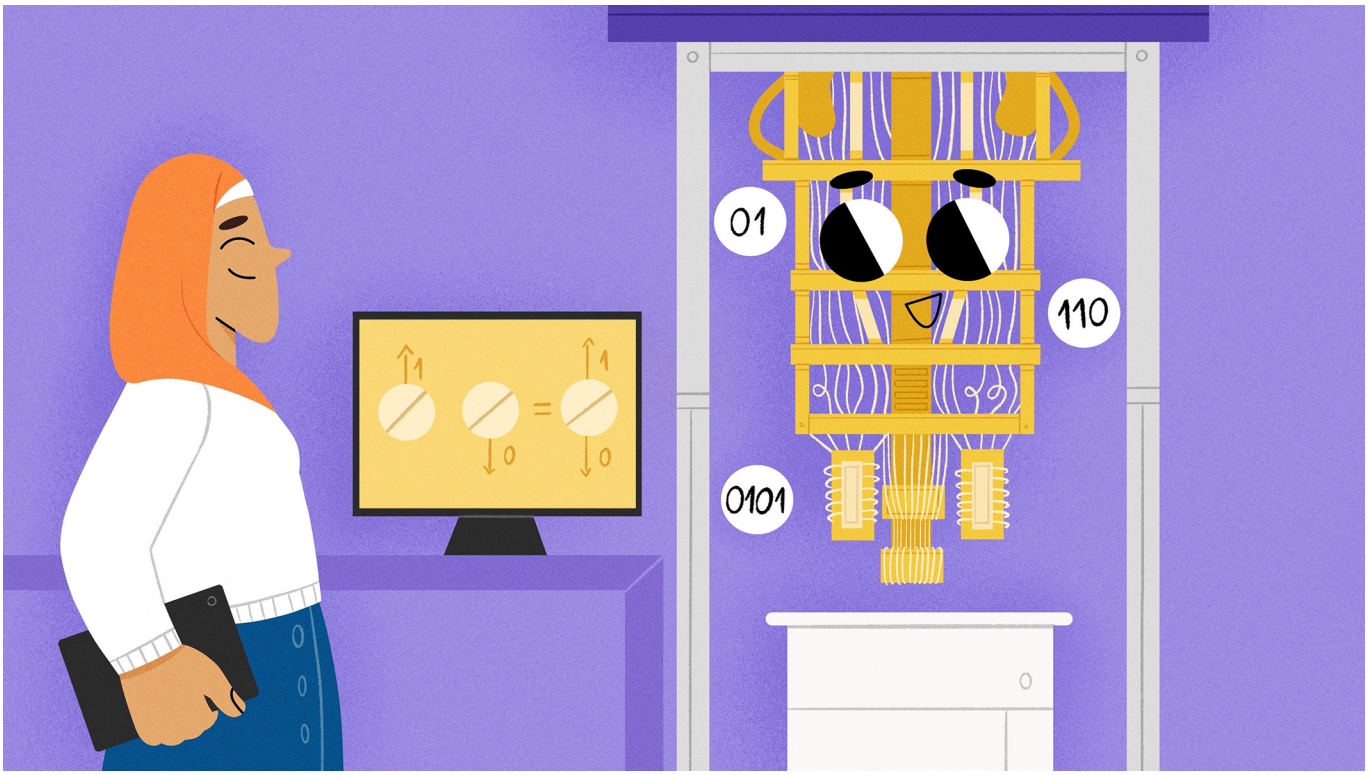
علم الفلك والفيزياء
نُشر على الإنترنت بتاريخ: 31 يوليو 2025
doi: 10.3389/frym.2024.1335355-ar



الإمكانات الهائلة لأجهزة الكمبيوتر الكمومية

Jingbo Wang و *Josh Green**
قسم الفيزياء، جامعة ويسترن أستراليا، برث، أستراليا الغربية، أستراليا

تُعدّ الحوسبة الكمومية مجالاً صاعدًا للأبحاث والتكنولوجيا يسخّر علمًا اسمه ميكانيكا الكم لإنشاء أجهزة كمبيوتر بإمكانات غير مسبوقة. وعلى الرغم من أن أجهزة الكمبيوتر الكمومية الحالية محدودة في الحجم ومُعرّضة لأخطاء كبيرة، فأجهزة الكمبيوتر الكمومية المستقبلية قد تكون قادرة على أداء مهام لم يمكن بإمكاننا مجرد تصور القيام بها حتى باستخدام أقوى أجهزة الكمبيوتر الفائقة في العالم كله. ومعنى هذا أن أجهزة الكمبيوتر الكمومية قد تحدث ثورة في العديد من المجالات المهمة في حياتنا. في هذه المقالة، سنستكشف الحوسبة الكمومية أولاً من خلال التعرف على آلية عمل أجهزة الكمبيوتر الحالية. وبعد ذلك سنتعمق في الميزات التي تجعل أجهزة الكمبيوتر الكمومية أقوى بكثير. وسنركز بشكل خاص على السبب وراء قوتها الهائلة، وهي قدرة الجسيمات الصغيرة على أن تكون في حالات متعددة في الوقت نفسه.

المراجعون الصغار

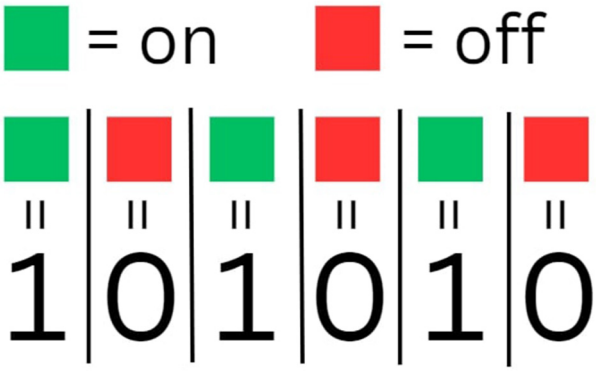
CLARE
العمر: 12

TEAM VON ZEKI
العمر: 8–10

كيف تخزن أجهزة الكمبيوتر المعلومات؟

قبل أن نتطرق إلى عالم الإمكانات الهائلة للحوسبة الكمومية، سيكون من المفيد جدًا فهم كيفية تخزين أجهزة الكمبيوتر الحالية للمعلومات. تخزّن أجهزة الكمبيوتر وحدات فردية من المعلومات تُعرف باسم وحدات البت. وكل وحدة بت تحتوي على ما قيمته 0 أو 1 ويمكن دمج عدة وحدات بت لتمثيل المعلومات. على سبيل المثال، يمكننا دمج 6 بت لإنشاء السلسلة "101010" التي تخزّن الرقم 42. وإذا دمجنا الملايين أو المليارات من وحدات البت معًا، يمكننا تخزين معلومات أكثر تعقيدًا، مثل الصور والفيديوهات وألعاب الفيديو.

يتم تخزين وحدات البت باستخدام أجهزة إلكترونية صغيرة اسمها أجهزة الترانزستور، وتعمل مثل مفاتيح التشغيل والإيقاف. إذا تم إيقاف ترانزستور، فإنه يخزّن ما قيمته 0. على الجانب الآخر، إذا تم تشغيل ترانزستور، فإنه يخزّن ما قيمته 1. يوضح الشكل 1 تمثيلاً بسيطًا للغاية لكيفية استخدام هذا المنطق لإنشاء سلاسل بت، مثل "101010". للحصول على ما يكفي من وحدات البت لتخزين المعلومات الأكثر تعقيدًا، يحتوي الهاتف الحديث العادي على مليارات من أجهزة الترانزستور المتراصة بالقرب من بعضها.



شكل 1

باختصار، تخزّن أجهزة الكمبيوتر الحالية المعلومات في الذاكرة باستخدام المليارات من أجهزة الترانزستور، وكل جهاز يخزّن وحدة بت واحدة (إما بقيمة 0 أو 1)، ويتم دمج هذه الوحدات لتمثيل المعلومات المعقدة. في الماضي، اتبعت التطورات في مجال الكمبيوتر اتجاهًا يُسمى قانون مور ويتنبأ بأن عدد أجهزة الترانزستور التي يمكن تركيبها على شرائح الكمبيوتر يتضاعف كل عامين. يمكن أن تحتوي شرائح الكمبيوتر الحديثة على أكثر من 100 مليون جهاز ترانزستور في كل مليمتر مربع ومن المحتمل أن نقترب من الحد المادي لعدد الأجهزة التي يمكننا تركيبها. وقد أدى هذا إلى احتدام الجدال حول ما إذا كان قانون مور قد "انتهى".

بت (BIT)

أصغر وحدة بيانات يمكن للكمبيوتر تخزينها، وكل بت يخزّن ما قيمته 0 أو 1.

الترانزستور (TRANSISTOR)

جهاز إلكتروني صغير يعمل كالمفتاح، وكل ترانزستور يخزّن 1 بت.

شكل 1

تمثيل بسيط لكيفية تخزين أجهزة الترانزستور للمعلومات: يكون كل ترانزستور إما في الحالة "مُشغّل" (يظهر باللون الأخضر) أو الحالة "متوقف" (يظهر باللون الأحمر). وإذا كان الترانزستور في الحالة "مُشغّل"، فإنه يخزّن ما قيمته 1، أما إذا كان في الحالة "متوقف"، فإنه يخزّن ما قيمته 0. وفي مثالنا هذا، نستخدم ستة أجهزة ترانزستور لتخزين السلسلة الثنائية "101010"، وهي رمز الرقم 42.

قانون مور (MOORE'S LAW)

ملاحظة أن عدد أجهزة الترانزستور في شريحة مايكروشيب يتضاعف كل عامين.

ما هو جهاز الكمبيوتر "الكمومي"؟

جهاز الكمبيوتر الكمومي هو جهاز يستخدم السلوك الفريد للجسيمات الكمومية للقيام بالحسابات. ولكن من أين تأتي كلمة "كمومي" وما معناها؟ تأتي الكلمة من اسم ميكانيكا الكم، وهي نظرية تصف الجوانب الفيزيائية على أصغر مقاييس الكون. وتُعدّ ميكانيكا الكم مهمة للحوسبة الكمومية لأنها تخبرنا بكيفية تصرف الجسيمات وتفاعلها مع بعضها البعض. تصف ميكانيكا الكم عالمًا مبهرًا تنتشر فيه الجسيمات في الفضاء وتكون في حالات مختلفة في الوقت نفسه وتتداخل مع بعضها مثل الموجات في المحيط [1]. ويختلف السلوك في العالم الكمومي كثيرًا عن السلوك المتوقع للعالم الذي نراه حولنا. وعلى الرغم من غرابة السلوك الذي تصفه ميكانيكا الكم، فهي من أدق النظريات التي تم تطويرها على الإطلاق في تاريخ العلوم [2].

توفر ميكانيكا الكم أفضل وصف لسلوك الجسيمات الصغيرة. على سبيل المثال، يظهر السلوك الكمومي على الإلكترونات والفوتونات (جسيمات الضوء) والنوى الذرية وهي بالتالي أمثلة على الجسيمات الكمومية. لكن ماذا عن الجسيمات التي يمكننا استخدامها لصناعة أجهزة كمبيوتر كمومية قوية؟ يُعد مبدأ التراكب من الخصائص الأساسية الأكثر أهمية على الإطلاق. في الأساس، تسمح هذه الخاصية للجسيمات الكمومية بتخزين كمية من المعلومات أكبر كثيرًا مما يمكننا تخزينه باستخدام أجهزة الترانزستور.

الكيوبت وغموض قطة شرودنغر

يُعد الاختلاف الرئيسي بين أجهزة الكمبيوتر الكمومية والعادية هو استخدام الجسيمات الكمومية بدلاً من أجهزة الترانزستور لتخزين المعلومات وإجراء الحسابات. وكما نسمي المعلومات المخزّنة في أجهزة الترانزستور بوحدات "البت"، نسمي المعلومات المخزنة بواسطة الجسيمات الكمومية وحدات "الكيوبت"، وهو اختصار "البت الكمومي". ولتفسير سبب تفوق وحدات الكيوبت على وحدات البت العادية في الإمكانات، عليك أن تفهم أولاً مبدأ التراكب في ميكانيكا الكم.

قد يبدو مبدأ التراكب مصطلحًا مخيفًا، ولكنه يعني فحسب أن تكون الجسيمات "في حالات متعددة في الوقت نفسه". يعني ذلك أن الجسيمات الكمومية يمكن أن تتواجد في عدة أنواع من التراكب، مثل أن توجد في عدة مواقع في الوقت نفسه مع التحرك في اتجاهات مختلفة. لتسهيل الأمر عليك، يمكنك تخيّل الجسيمات مثل الأمواج التي تنتشر في الفضاء وليس مثل الجسيمات النقطية.

على الرغم من غرابة ما سأقوله، ولكن يمكنك تعلّم الكثير حول التراكب الكمومي من قصة شهيرة وبسيطة حول قطة تخيلها عالم الفيزياء النمساوي إرفين شرودنغر في عام 1935 [3]. تبدأ القصة بوضع قطة في صندوق مغلق يحتوي على عنصر مشع وقارورة

الجسيمات الكمومية (QUANTUM PARTICLES)

أصغر وحدات للمادة والطاقة، ويتم وصفها من خلال ميكانيكا الكم، ومن أمثلتها الإلكترونات والفوتونات.

ميكانيكا الكم (QUANTUM MECHANICS)

مجال فيزيائي يصف سلوك الطبيعة على أصغر المقاييس، حيث يبين لنا كيف تتصرف الجسيمات وتتفاعل فيما بينها.

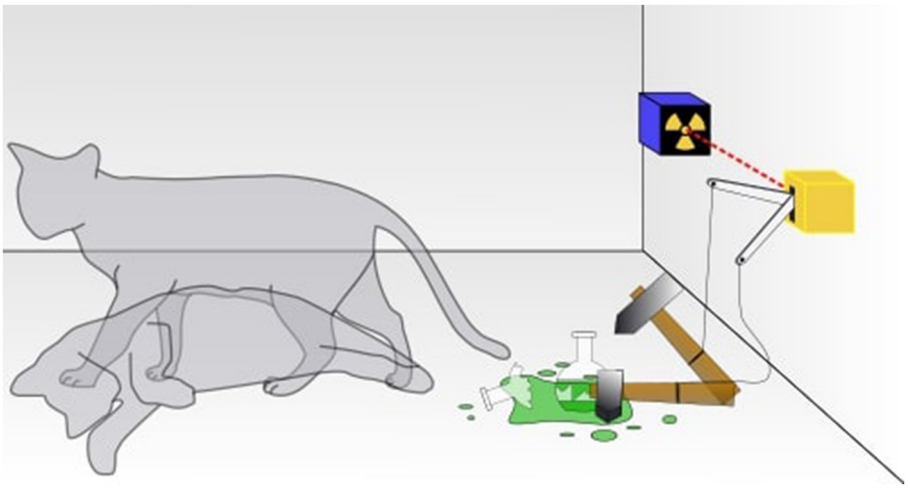
التراكب (SUPERPOSITION)

أن تكون الجسيمات في عدة حالات في الوقت نفسه.

الكيوبت (QUBITS)

بت كمومي من المعلومات. ويمكن أن يتواجد كل كيوبت في تراكب (أي أن يكون في عدة حالات في الوقت نفسه) ويخزّن 0 و1.

من السم. إذا خرج جسيم من مصدر الإشعاع (وهو شيء يحدث عشوائيًا)، فسيدق الجسيم مطرقة تتأرجح وتكسر قارورة السم، مما يقضي على القطة (الشكل 2). لا تشغل بالك بالشيء الذي تسبب في كسر قارورة السم، يكفيك أن تعرف أن هذه عملية عشوائية لا يمكن التنبؤ بها مسبقًا.



شكل 2

شكل 2

تجربة فكرية حول قطة شرودنغر: يمكن أن ينبعث الإشعاع عشوائيًا من العنصر المشع (المكعب الأزرق الصغير الذي يحتوي على علامة مشعة سوداء). وعند حدوث ذلك، يتسبب في سلسلة من الأحداث تؤدي إلى إطلاق السم الأخضر. وقبل أن نفتح الصندوق، تكون القطة (افتراضيًا) في تراكب بين حالتي الحياة والموت. قد تبدو هذه القصة سخيفة بعض الشيء ولكنها توفر تشبيهًا رائعًا لسلوك العناصر الصغيرة مثل الجسيمات الكمومية التي يمكن أن تتواجد في عدة حالات في الوقت نفسه.

إذا ظل الصندوق مغلقًا، فلا يمكننا التأكّد مما إذا كان السم قد انتشر أو لا وما إذا كانت القطة حية أم ميتة. وضّح شرودنغر أنه حتى لحظة فتح الصندوق، يجب أن نعتبر القطة حية *وكذلك* ميتة في الوقت نفسه. بمعنى آخر، تكون القطة في تراكب بين حالتي الموت والحياة. ومع ذلك، فور فتح الصندوق والنظر بداخله، يختفي هذا التراكب ونتأكد من حالة القطة.

قد يبدو الأمر سخيفًا بالتأكيد أن تعتبر القطة ميتة وحية في الوقت نفسه، ولكن هذه القصة تعطينا تشبيهًا رائعًا لكيفية وصف ميكانيكا الكم لسلوك الجسيمات. على سبيل المثال، إذا لم نقم بقياس حالة جسيم، يمكن أن يكون حقًا في تراكب حالات عديدة. ولكن عند قياس حالته، يختفي هذا التراكب و"ينهار" إلى إحدى الحالات المحتملة. يمكن أن تحمل الجسيمات في الأساس كميات ضخمة من المعلومات في التراكب، ولكن عند محاولة قياس هذه الحالة المتراكبة، نحصل فقط على جزء واحد من تلك المعلومات.

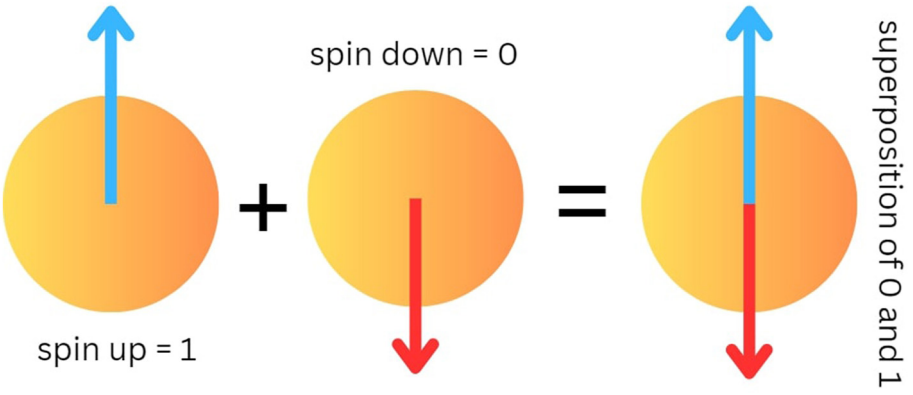
الحوسبة الكمومية: قوة المضاعفة

توضح لنا ميكانيكا الكم أن الجسيمات تتسم بخاصية جوهرية اسمها الدوران المغزلي والذي يمكن أن يتجه للأعلى أو الأسفل [1]. لتوضيح ذلك، لنفترض أن "الدوران المغزلي للأعلى" يمثل القيمة 1 وأن "الدوران المغزلي للأسفل" يمثل القيمة 0. يمكنك ملاحظة أنه تمامًا كحالة أجهزة الترانزستور، يمكن أن تخزّن الجسيمات الكمومية وحدات بت من المعلومات (وحدات كيوبت في هذه الحالة) ويمكننا دمج

الزخم الزاوي المغزلي (SPIN)

خاصية جوهرية للجسيمات، ويمكن أن يتجه الدوران المغزلي للأعلى أو الأسفل.

الجسيمات الكمومية لإنشاء سلاسل. ولكن توضح لنا ميكانيكا الكم أن الجسيمات الكمومية يمكن أن تتواجد في تراكب بين "الدوران المغزلي للأعلى" و"الدوران المغزلي للأسفل"، ما يعني أن وحدات الكيوبت يمكن أن تخزّن القيمتين 0 و1 *في الوقت نفسه*، وهذا مستحيل في حالة الترانزستور (الشكل 3).



شكل 3

تمثيل بسيط لوحدة كيوبت في تراكب بين 1 و يشير السهم على الإلكترون (الممثل بدائرة برتقالية) إلى اتجاه دوران الإلكترون المغزلي. يمكن أن يتجه الدوران المغزلي إما للأعلى (يتم إذن تخزين القيمة 1) أو الأسفل (يتم إذن تخزين القيمة 0). وبسبب مبدأ التراكب في ميكانيكا الكم، يمكن أن يدور الإلكترون للأعلى والأسفل في الوقت نفسه. وبالتالي يمكن أن يخزّن القيمتين 1 و0 في الوقت نفسه.

إذا دمجنا وحدتي كيوبت معًا، فهذا النظام المكوّن من الوحدتين يمكن أن يخزّن الحالات "00" و"01" و"10" و"11" في الوقت نفسه (أربع حالات) بينما يستطيع نظام الترانزستور المكوّن من وحدتي بت تخزين حالة واحدة فقط من هذه الحالات في وقت واحد. وإذا زدنا النظام إلى 3 وحدات كيوبت، يمكننا تخزين "000" و"001" و"010" و"011" و"100" و"101" و"110" و"111" في الوقت نفسه، أي ثماني حالات. وفي الواقع إذا دمجنا عدد n من وحدات الكيوبت، يمكننا تخزين عدد 2^n من الحالات في الوقت نفسه. وإذا كان لدينا 50 وحدة كيوبت، يمكننا تخزين أكثر من كوادريليون حالة في الوقت نفسه، مما يتيح للكمبيوتر الكمومي عدد حالات أكبر من الكمبيوتر الفائق الذي يحتوي على تريليونات من أجهزة الترانزستور، وهذه هي قوة المضاعفة. ومع ذلك، عند قياس حالة الكمبيوتر الكمومي، ينهار تراكبه ونحصل فقط على القليل جدًا من المعلومات في كل مرة. يشبه الأمر اختيار قطعة واحدة فقط من أحجية كبيرة. ومن المهم للغاية تصميم خوارزميات كمومية تضع هذا في الاعتبار. والسبيل هنا هو إنشاء خوارزمية كمومية فعالة تدرس كل الاحتمالات في التراكب وتستخرج أكبر قدر ممكن من المعلومات بشكل استراتيجي.

أجهزة الكمبيوتر الكمومية تتحول إلى حقيقة

نحن الآن في عصر الكم المتوسط الحجم الصاخب (NISQ) للحوسبة الكمومية، ما يعني أن أجهزة الكمبيوتر الكمومية الحالية محدودة الحجم ومُعرّضة لأخطاء كبيرة. وأغلب هذه الآلات لم تصبح مفيدة بعد في التطبيقات الواقعية [4]. ويعمل الباحثون والشركات الخاصة المبتكرة في العالم أجمع على تمهيد الطريق لإنشاء أجهزة كمبيوتر أكبر حجمًا وأقل عرضة للأخطاء. وقد شهد عام 2023 ظهور

أول أجهزة كمبيوتر بسعة 1,000 كيوبت، ولكننا ما زلنا بحاجة إلى المزيد من التطور في تقليل معدل خطأ هذه الآلات [5]. وعلى الرغم من أن مستقبل الحوسبة الكمومية ما زال مبهمًا، فتطور التكنولوجيا الكمومية يمكن أن يجلب للبشرية عددًا هائلاً من الإمكانات الجديدة للتواصل ومعالجة المعلومات، وقد تصحب ذلك أيضًا مجموعة جديدة من التحديات، مثل التأكد من مراعاة الأخلاق عند استخدام هذه التكنولوجيا القوية. ولكن سيحدث شيء واحد على الأرجح، وهو تغيير الحوسبة الكمومية للعالم حولنا.

شكر وتقدير

يود المؤلفون توجيه الشكر إلى وزارة الصناعة والعلوم والطاقة والموارد التابعة للحكومة الأسترالية على الدعم من خلال مشروع Quantum Girls.

إفصاح أدوات الذكاء الاصطناعي

تم إنشاء النص البديل (alt text) المرفق بالأشكال في هذه المقالة بواسطة "فرونتيرز" (Frontiers) وبدعم من الذكاء الاصطناعي، مع بذل جهود معقولة لضمان دقته، بما يشمل مراجعته من قبل المؤلفين حيثما كان ذلك ممكناً. في حال تحديدكم لأي خطأ، نرجو منكم التواصل معنا.

المراجع

1. Griffiths, D. J., and Schroeter, D. F. 2018. *Introduction to Quantum Mechanics, 3rd ed*. Cambridge: Cambridge University Press (2018).
2. Renner, R., and Nurgalieva, N. 2021. Testing quantum theory with thought experiments. *Contemp. Phys.* 61:193–216. doi: 10.1080/00107514.2021.1880075
3. Schrödinger E. 1983. "The present situation in quantum mechanics: A translation of Schrödinger's "cat paradox paper", in *Quantum Theory and Measurement*", eds. J. A. Wheeler, W. H. Zurek (Princeton: Princeton University Press), 152–167.
4. Chen, S., Cotler, J., Huang, H. Y., and Li, J. 2023. The complexity of NISQ. *Nat. Commun.* 14:6001. doi: 10.1038/s41467-023-41217-6
5. Preskill, J. 2018. Quantum computing in the NISQ era and beyond. *Quantum* 2:79. doi: 10.22331/q-2018-08-06-79

نُشر على الإنترنت بتاريخ: 31 يوليو 2025

المحرر: Amee Jeanette Hennig

مرشدو العلوم: Kanu Sinha و Aris Quintana Nedelcos

الاقتباس: Wang J و Green J (2025) الإمكانات الهائلة لأجهزة الكمبيوتر الكمومية. Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2024.1335355-ar

مُترجَم ومقتبس من: Green J and Wang J (2024) The Awe-Inspiring Power of Quantum Computers. Front. Young Minds 12:1335355. doi: 10.3389/frym.2024.1335355

إقرار تضارب المصالح: يعلن المؤلفون أن البحث قد أُجري في غياب أي علاقات تجارية أو مالية يمكن تفسيرها على أنها تضارب محتمل في المصالح.

حقوق الطبع والنشر © 2024 © 2025 Wang و Green. هذا مقال مفتوح الوصول يتم توزيعه بموجب شروط ترخيص المشاركة الإبداعية Creative Commons Attribution License (CC BY). يُسمح بالاستخدام أو التوزيع أو الاستنساخ في منتديات أخرى، شريطة أن يكون المؤلف (المؤلفون) الأصلي أو مالك (مالكو) حقوق النشر مقيدًا وأن يتم الرجوع إلى المنشور الأصلي في هذه المجلة وفقًا للممارسات الأكاديمية المقبولة. لا يُسمح بأي استخدام أو توزيع أو إعادة إنتاج لا يتوافق مع هذه الشروط.

المراجعون الصغار

CLARE، العمر: 12
تبلغ Clare من العمر 12 عامًا، وهي تدرس في المنزل منذ بداية تعليمها. وهي شخصية صاحبة مبادرة وتجيد التعامل مع التحديات الفكرية والإبداعية على حد سواء. وتستمتع بتعليم نفسها اللغة اليابانية وغزل الصوف لصنع الخيوط والتلبيد بالإبرة وتعلّم البرمجة والمشاركة في فريق روبوتات محلي وتعلم خياطة الملابس والعزف على الكمان والبيانو وتجربة وصفات في المطبخ وقراءة كل الكتب بالطبع. والمادة العلمية المفضلة لها هي الجيولوجيا وتأمل أن تصبح أمينة مكتبة.

TEAM VON ZEKI، العمر: 8–10
نحن فريق von Zek المكوّن من ثنائي محب للاطلاع (8 و10 سنوات). نحب التعرف على آلية عمل الكون. وشعارنا هو: أبسط الحلول هو الحل الصحيح في أغلب الأحوال.

المؤلفون

JOSH GREEN
طالب حاصل على مرتبة الشرف ومتخصص في الفيزياء الحاسوبية في جامعة ويسترن أستراليا، برث. وهو شغوف بالنظرية الكمومية والأنظمة الكمومية متعددة الأجسام، ويركز في أبحاثه على تشفير المعلومات في حالة أجهزة الكمبيوتر الكمومية. ويقدّم دروسًا خصوصية لطلاب المرحلة الثانوية والجامعة، كما أنه يروج للتعليم من خلال مشروع Girls Quantum للارتقاء بمجال العلوم الكمومية في أستراليا. ويمارس رياضة ركوب الأمواج في وقت فراغه.
*23174802@student.uwa.edu.au

JINGBO WANG
تدير البروفيسورة Jingbo Wang مركز أبحاث المعلومات الكمومية والمحاكاة والخوارزميات في جامعة ويسترن أستراليا. وقد قامت هي وفريقها بجهود بحثية رائدة في تطوير برامج أجهزة

الكمبيوتر الكمومية. وتشارك كذلك في إدارة مشروع Quantum Girls، وهي مبادرة وطنية تسعى إلى تعزيز تعليم الحوسبة الكمومية بين شباب المستقبل الصاعد.

النسخة العربية مقدمة من
Arabic version provided by

جامعة الملك عبدالله للعلوم والتقنية
King Abdullah University of Science and Technology