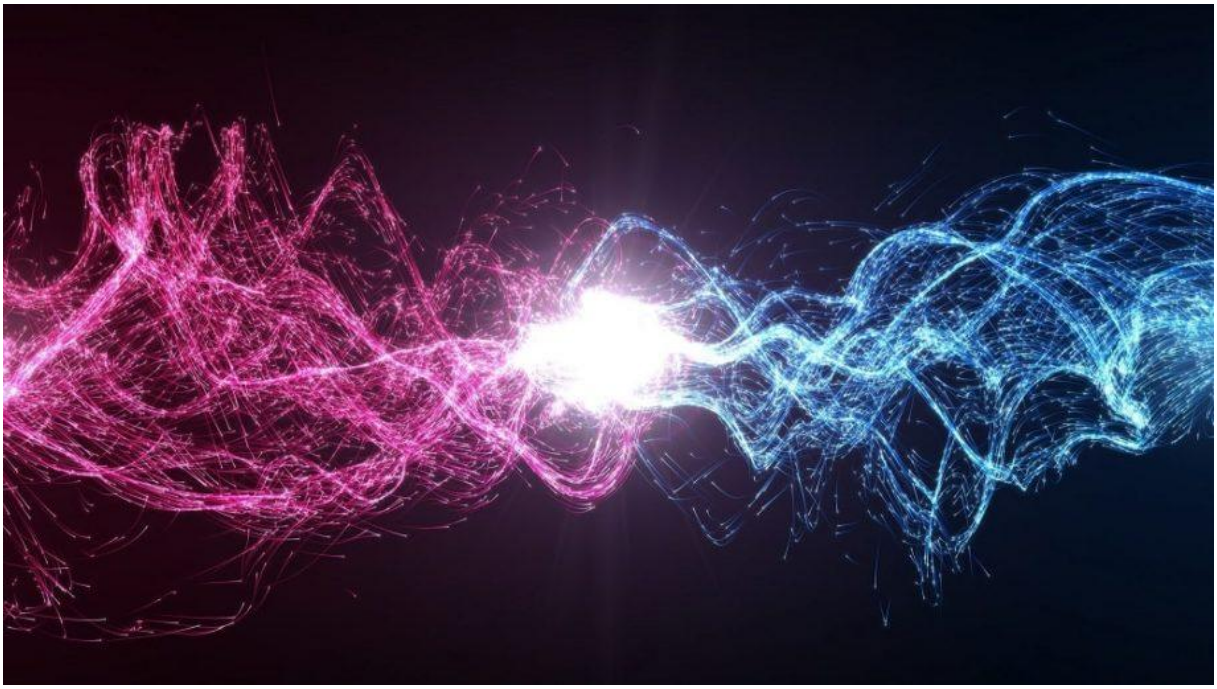
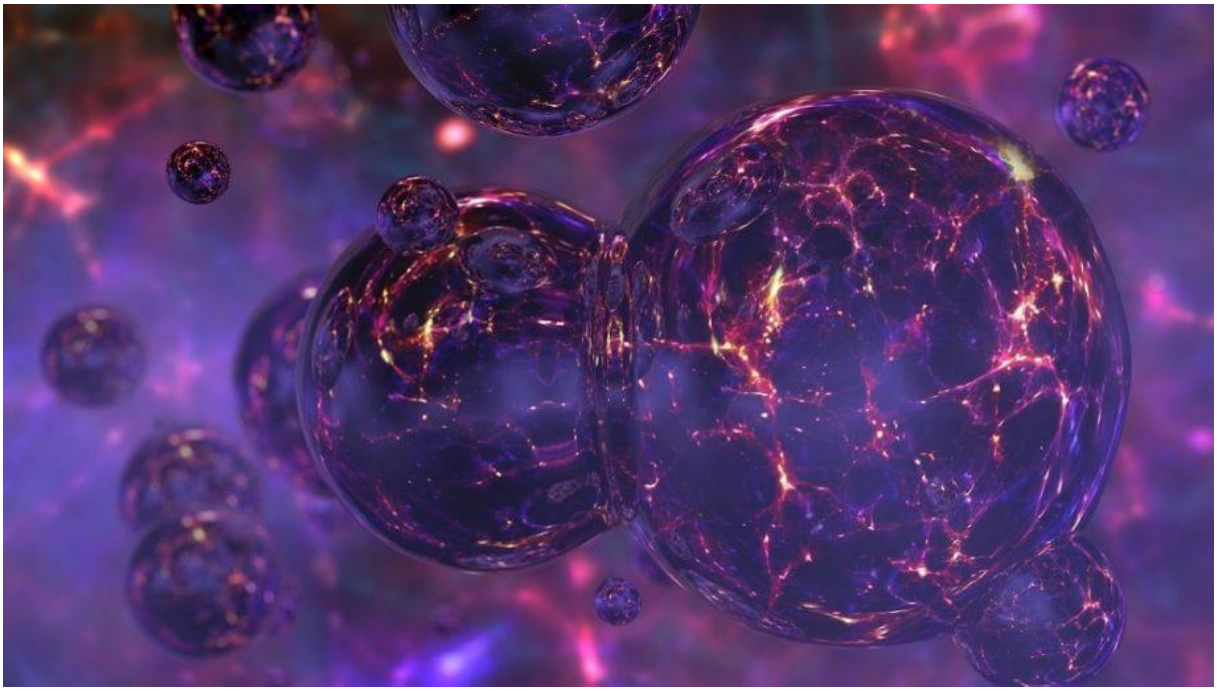
الخصائص الكمومية في الأنظمة الفيزيائية

إعداد وترجمة د. جواد بشارة



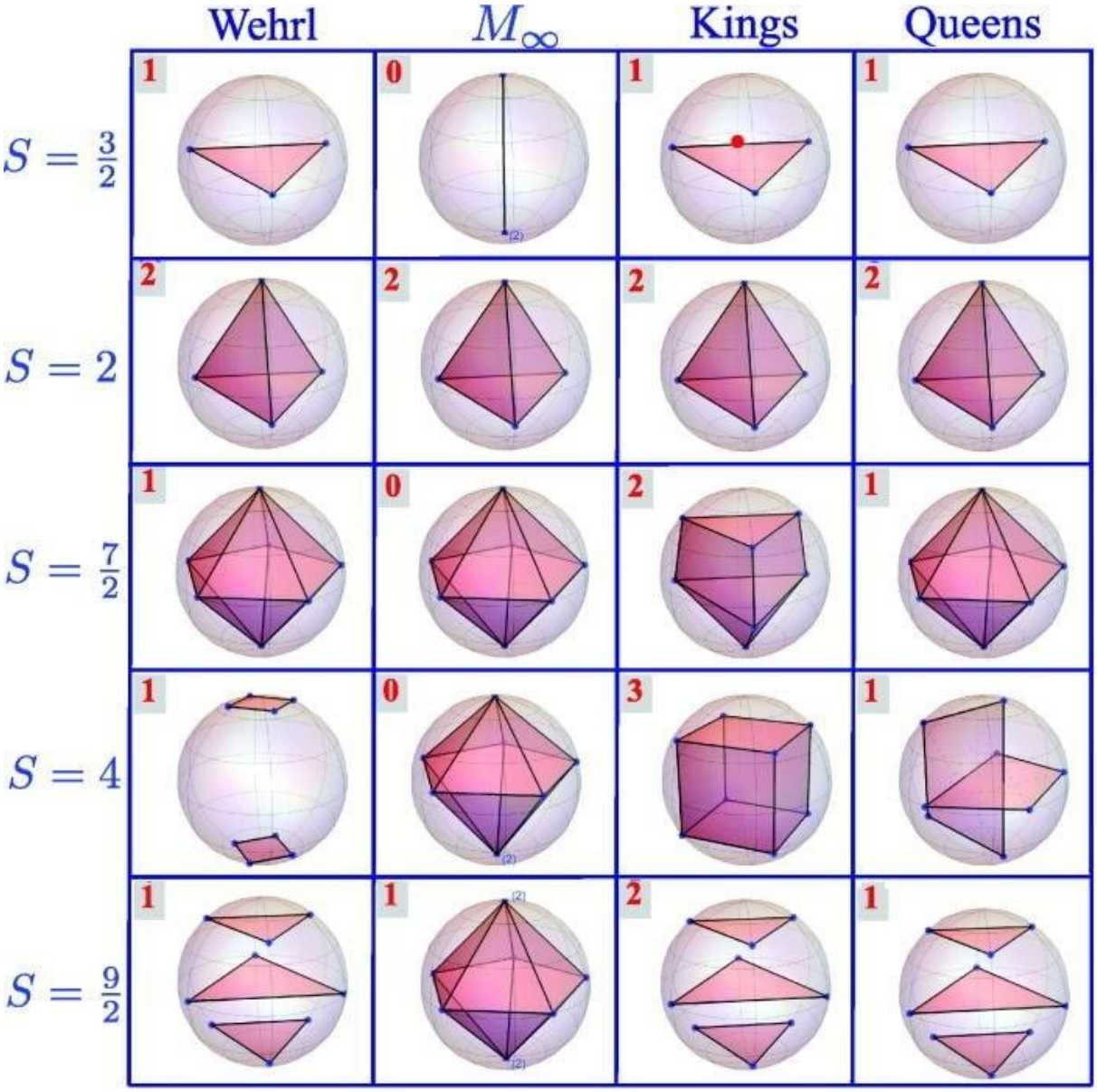
سواء كانت كائنات مجهرية في النطاق اللامتناهي في الصغر أو عيانية في النطاق اللامتناهي في الكبر، فإن جميع الأنظمة الفيزيائية تظهر خصائص كمومية .ومع ذلك، ليس كل منهم له نفس الجانب الكمومي . يمكننا القول إن بعض الأشياء "أكثر كمومية" من غيرها .لذلك سعى الفيزيائيون الكنديون إلى تطوير طريقة لتحديد "كمومية" كائن ما (درجته الكمومية بطريقة ما) ، من أجل نقل تنظيمهم من أقل كمومية إلى أكثر كميومة .إلى جانب العامل الرياضياتي البحت ، يمكن أن تؤدي هذه النتائج إلى تطبيقات حقيقية من حيث القياس الكمومي والكشف الدقيق للغاية.



لأول مرة، وجد الفيزيائيون طريقة لتحديد درجة الكموم لأي نظام فيزيائي رياضياتيًا - سواء كان جسيمًا أو ذرة أو جزيئاً أو حتى كوكبًا. تشير النتيجة إلى طريقة لتحديد "كمومية الكوانتوم" وتحديد "أكثر الحالات الكمومية" للنظام، والتي يسميها الفريق "ملوك وملكات الكموم". « Quantifier la quanticité » (*quantumness*, en anglais) بالإضافة إلى تعميق فهمنا للكون، يمكن أن يجد العمل تطبيقات في تقنيات الكموم مثل كاشفات موجات الجاذبية وأجهزة القياس فائقة الدقة .

من الكلاسيكي إلى الكموم: تواصل قابل للقياس في قلب العالم المجهري، حيث يمكن للأجسام الكمومية أن تظهر سلوكيات غريبة. على سبيل المثال، عندما يكون الجسيم في حالة تراكبsuperposition ، يكون له في نفس الوقت عدد لا نهائي من الحالات الكمومية حتى يتم قياسه. وبالمثل، بحكم الاحتمالات الواردة في دالة الموجة، يمكن للجسيم أن يعبر تلقائيًا حاجز طاقة لا يمكن التغلب عليه (تأثير النفق الكمومي .(effet tunnel quantique) من ناحية أخرى، تتبع الأجسام العيانية Les objets macroscopiques قواعد الفيزياء الكلاسيكية. فكر الباحثون طويلًا في هذه الحالة الغريبة، حيث يمكن تعريف بعض الكيانات في الكون بطريقة كلاسيكية، بينما يخضع البعض الآخر لقوانين الكموم الاحتمالية . لكن "وفقًا لميكانيكا الكموم، فإن كل شيء هو ميكانيكا الكموم. لمجرد أنك لا ترى هذه الأشياء الغريبة كل يوم لا يعني أنها غير موجودة "، كما يقول آرون جولدبيرغ ، الفيزيائي في جامعة تورنتو. ما يشير إليه غولدبيرغ هو أن الأشياء الكلاسيكية مثل كرات البلياردو هي أيضًا أنظمة كمومية. لذلك هناك احتمال ضئيل للغاية Il existe donc une probabilité infiniment أنه يمكنها، على سبيل المثال، عبور جانب طاولة بلياردو. يشير هذا إلى وجود سلسلة متصلةun continuum ، مع "الكلاسيكية" في أحد طرفيه و "الكموميةquanticité " في الطرف الآخر .

تحديد "كمومية" الأشياءQuantifier la « quanticité تمرين صعب، حيث ركزت المحاولات السابقة لتحديد الكمية الكمومية quantification de la quanticité دائمًا على أنظمة كمومية معينة، مثل تلك التي تحتوي على جزيئات الضوء ، وبالتالي لا يمكن بالضرورة تطبيق النتائج على أنظمة أخرى تتضمن جسيمات مختلفة مثل الذرات. بدلًا من ذلك، بحث غولدبيرغ ولويز سانشيز سوتو Goldberg, Luiz Sanchez-Soto وفريقهم عن طريقة عامة لتحديد التطرف في الحالات الكمومية" .يمكننا تطبيق هذا على أي نظام كمومي - ذرات أو جزيئات أو ضوء أو حتى مجموعة من هذه العناصر باستخدام نفس المبادئ التوجيهية "، كما يقول جولدبيرغ. اكتشف الفريق أن هذه الظواهر الكمومية المتطرفة يمكن أن تأتي في نوعين مختلفين على الأقل.

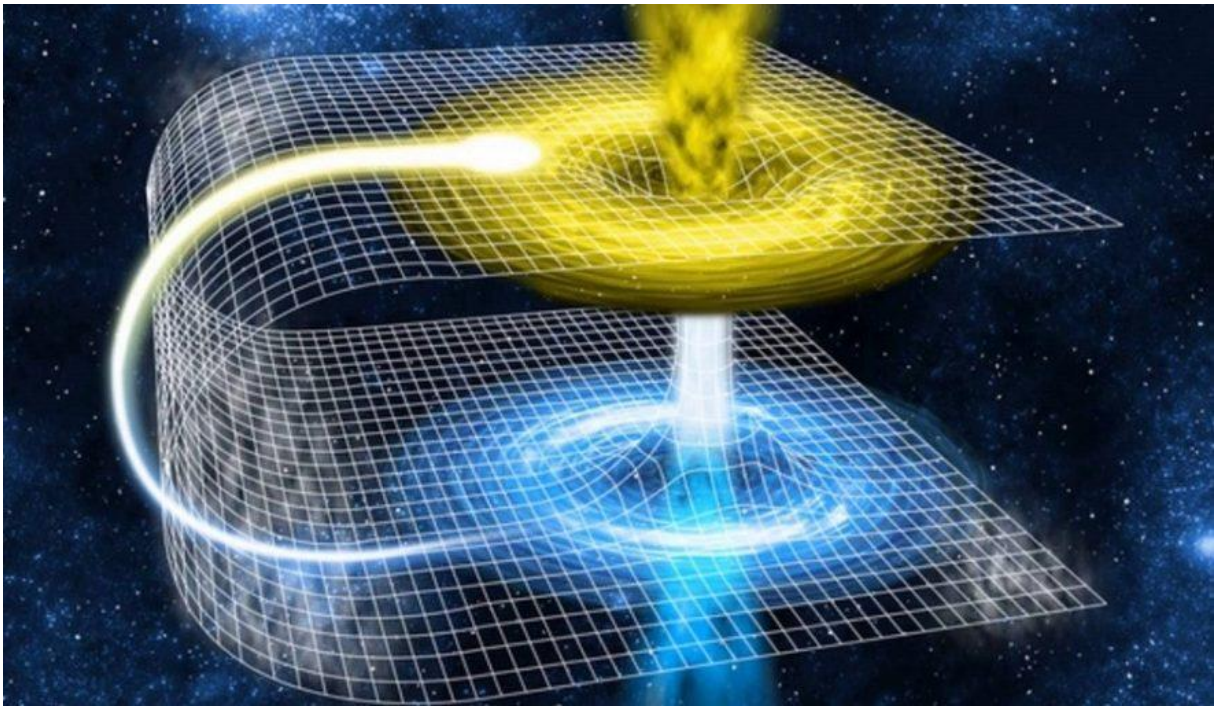


رسم بياني يوضح "ملوك وملكات الكمومية la quanticité " كدالة لقيمة البعد S وانتروبيا ويرل la dimension S, de l’entropie de Werhl(مقياس محدد للإنتروبيا للحالات الكمومية) والعزم du moment M M. لا تمثل هذه الأشكال كائنات على هذا النحو، ولكن تكوينات الحالات الكمومية التي يمكن أن تشير إلى كائنات أو أجسام معينة. إذن ما الذي يعنيه بالضبط أن يكون الجسم "أكثر كمومية"؟ هذا هو المكان الذي تصبح فيه الوظيفة صعبة ودقيقة، لأنها حسابية رياضياتية للغاية ويصعب تصورها. لكن بيتر كوك Pieter Kok ، الفيزيائي بجامعة شيفيلد Sheffield في إنجلترا، والذي لم يشارك في صياغة الورقة الجديدة، اقترح طريقة لمعرفة ذلك: أحد أبسط الأنظمة الفيزيائية هو مذبذب توافقي بسيط oscillateur harmonique- أي كرة في نهاية زنبرك أو نابض un ressort يذهب ويعود: سيكون الجسيم الكمومي في أقصى الحدود الكلاسيكية للحالة الكمومية إذا كان يتصرف مثل نظام الكرات والنوابض هذا système à billes et à ressorts ، الذي لوحظ في لحظات محددة في تم استلام وظيفة الزخم الأولي. ولكن إذا كان الجسيم سينتشر ميكانيكيًا بحيث لا يكون له موقع محدد جيدًا وتم العثور عليه طوال الطريق عبر الزنبرك أو النابض والكرة، فسيكون في إحدى تلك الحالات الكمومية المتطرفة .

تطبيقات في علم القياس الكمومي وللكشف الدقيق للغاية على الرغم من خصوصيتها، يعتبر Kok النتائج مفيدة للغاية ويأمل أن تجد تطبيقًا واسعًا. إن معرفة أن هناك حدًا أساسيًا يعمل فيه النظام بأكبر قدر ممكن من الكموم يشبه معرفة أن سرعة الضوء موجودة. يوضح كوك أن هذا يضع قيودًا على الأشياء التي يصعب تحليلها .يضيف جولدبيرغ أن أكثر التطبيقات وضوحًا يجب أن تأتي من علم القياس الكمومي، حيث يحاول المهندسون قياس الثوابت الفيزيائية وغيرها من الخصائص بدقة متناهية كأجهزة كشف الموجات الثقالية، على سبيل المثال، التي يجب أن تكون قادرة على قياس المسافة بين مرآتين بدقة أكبر من 10000/1 من حجم نواة الذرة. باستخدام مبادئ الفريق، قد يتمكن الفيزيائيون من تحسين هذا العمل الفذ. لكن النتائج يمكن أن تساعد الباحثين أيضًا في مجالات مثل الاتصالات عبر الألياف الضوئية ومعالجة المعلومات والحوسبة الكمومية les communications par fibre optique, le traitement de l’information et l’informatique quantique .

المصادر AVS Quantum Science .

يدعي الفيزيائيون أنهم خلقوا سائلًا ذا "كتلة سالبة ":



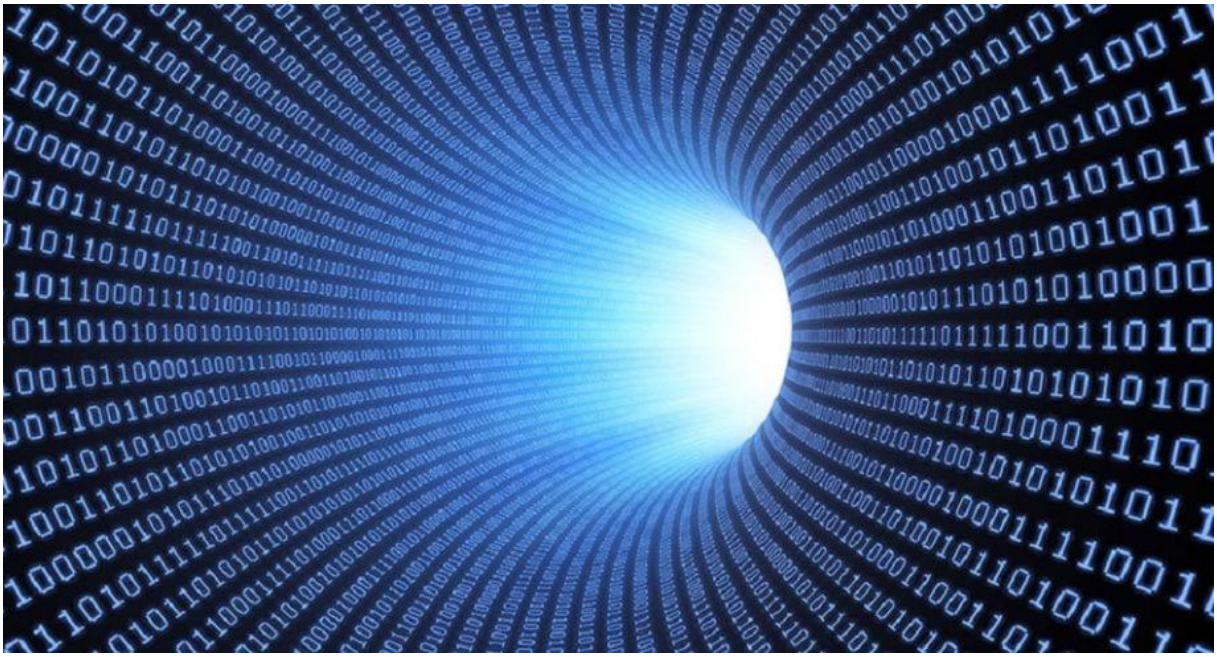
يدعي باحثون أمريكيون أنهم نجحوا في تكوين سائل ذي كتلة سالبة .يعني السائل ذو الكتلة السالبة أنه على عكس أي جسم مادي آخر معروف، عندما تضغط على السائل المذكور، فإنه يتسارع في الاتجاه المعاكس بدلاً من نفس الاتجاه الأولي. قد يقود مثل هذا السلوك العلماء إلى فهم بعض السلوكيات الغريبة التي تحدث في الثقوب السوداء والنجوم النيوترونية .لكن قبل أن نتحدث عن الثقوب السوداء والنجوم النيوترونية، دعونا نلقي نظرة على سؤال آخر: كيف يمكن لشيء ما أن يكون له كتلة سالبة؟ نظريًا، يجب

أن يكون للمادة كتلة سالبة، بنفس الطريقة التي يمكن أن تكون بها الشحنة الكهربائية سالبة أو موجبة. لذا فهو يعمل من الناحية النظرية، لكن فكرة الكتلة السالبة هي موضوع قابل للنقاش في المجتمع العلمي. في الواقع، يتساءل الباحثون عما إذا كانت الأشياء ذات الكتلة السالبة يمكن أن توجد دون انتهاك قوانين الفيزياء .يتم التعبير عن قانون إسحاق نيوتن الثاني رياضيًا بالصيغة f = ma (القوة تساوي كتلة جسم مضروبة في تسارعه). إذا أعدنا كتابة هذه الصيغة بحيث يكون التسارع مساويًا لقوة مقسومة على كتلة جسم، مع الأخذ في الاعتبار الكتلة السالبة، فهذا يعني أيضًا تسارعًا عكسيًا: يمكنك أن تتخيل نفسك تدفع كأسًا على طاولة، وسوف يتسارع في الاتجاه المعاكس لقوة الدفع الخاصة بك .في حين أن هذا قد يبدو غريبًا بالنسبة لنا، فإن هذا لا يعني أنه مستحيل. أظهرت الأبحاث السابقة دليلاً على أن الكتلة السالبة يمكن أن توجد بالفعل في الكون، دون كسر أو انتهاك لـ النظرية النسبية العامة. بالإضافة إلى ذلك، يعتقد العديد من الفيزيائيين أن الكتلة السالبة يمكن أن تكون مرتبطة بعناصر معينة اكتشفناها في الكون، مثل الطاقة السوداء أو المظلمة والثقوب السوداء والنجوم النيوترونية، وأن الأخيرة يمكن أن تساعدنا في فهم أفضل لهذه الظواهر ..لهذا السبب، حاول الفيزيائيون جاهدين إعادة تكوين الكتلة السالبة في المختبر، وهم موجودون وصل أخيرا. في الواقع، يدعي الباحثون في جامعة ولاية واشنطن أنهم تمكنوا من الحصول على سائل من الذرات شديدة البرودة التي تعمل كما لو كانت تمتلك كتلة سالبة. يقترح الفريق أيضًا أن استخدام هذا السائل سيسمح لنا بدراسة بعض الظواهر التي تحدث في الكون والتي لم نفهمها تمامًا بعد. يقول مايكل فوربس، أحد الباحثين: "الخبر السار الأول (مع هذا الاكتشاف) هو أن لدينا تحكمًا رائعًا في طبيعة هذه الكتلة السالبة، دون مزيد من التعقيدات ."من أجل إنشاء هذا السائل الغريب، استخدم الفريق الليزر لتبريد ذرات الروبيديوم إلى جزء صغير من درجة فوق الصفر المطلق، مما أدى إلى تكوين ما يعرف باسم مكثف بوز-آينشتاين. في هذه الحالة، تتحرك الجسيمات ببطء شديد وتتبع مبادئ ميكانيكا الكموم، بدلاً من الفيزياء الكلاسيكية: هذا يعني أنها تبدأ في التصرف مثل الموجات، ولها موقع لا يمكن تحديده بدقة إلا عن طريق الاحتمالية بالإضافة إلى ذلك، تتصرف الجسيمات مثل سائل خالي من أي لزوجة، وتشكل ما يسمى السائل الفائق: والذي يتدفق بالتالي دون فقدان الطاقة في حالة الاحتكاك .بفضل الليزر، تمكن الفريق من الحفاظ على هذا السائل الفائق في درجات حرارة متجمدة، ولكن أيضًا حصره في مكان صغير على شكل وعاء، بقياس أقل من 100 ميكرون في القطر. بينما ظل السائل الفائق محتجزًا في هذا الفضاء، فقد احتفظ بكتلة منتظمة وعمل بشكل طبيعي .بعد ذلك، وباستخدام ليزرات إضافية، أخرج الفريق السائل الفائق: أجبروا الذرات على التحرك ذهابًا وإيابًا لتغيير دورانها، وكسر "الوعاء" والسماح للروبيديوم بالتحرك ذهابًا وإيابًا. استخرجه بسرعة بحيث تصرف كما لو كان لديه كتلة سالبة. "عندما تضغط عليه، يتسارع تراجعياً رأسًا على عقب. يقول فوربس، إنه مثل اصطدام الروبيديوم بجدار غير مرئي .الآن يقول الفريق إن الكتلة السائلة السالبة تطابق ويؤكد ما وجدته الفرق الأخرى في بحث مختلف . ومع ذلك، لا يزال يتعين تحديد ما إذا كان هذا السائل الفائق الكتلة السالب موثوقًا ودقيقًا بما يكفي ليكون قادرًا على اختباره بشكل فعال في المختبر. الآن علينا انتظار الفرق المستقلة الأخرى لتكرار نفس النتائج. نُشر البحث في مجلة .Physical Review Letters المصادر: خطابات المراجعة الفيزيائية.

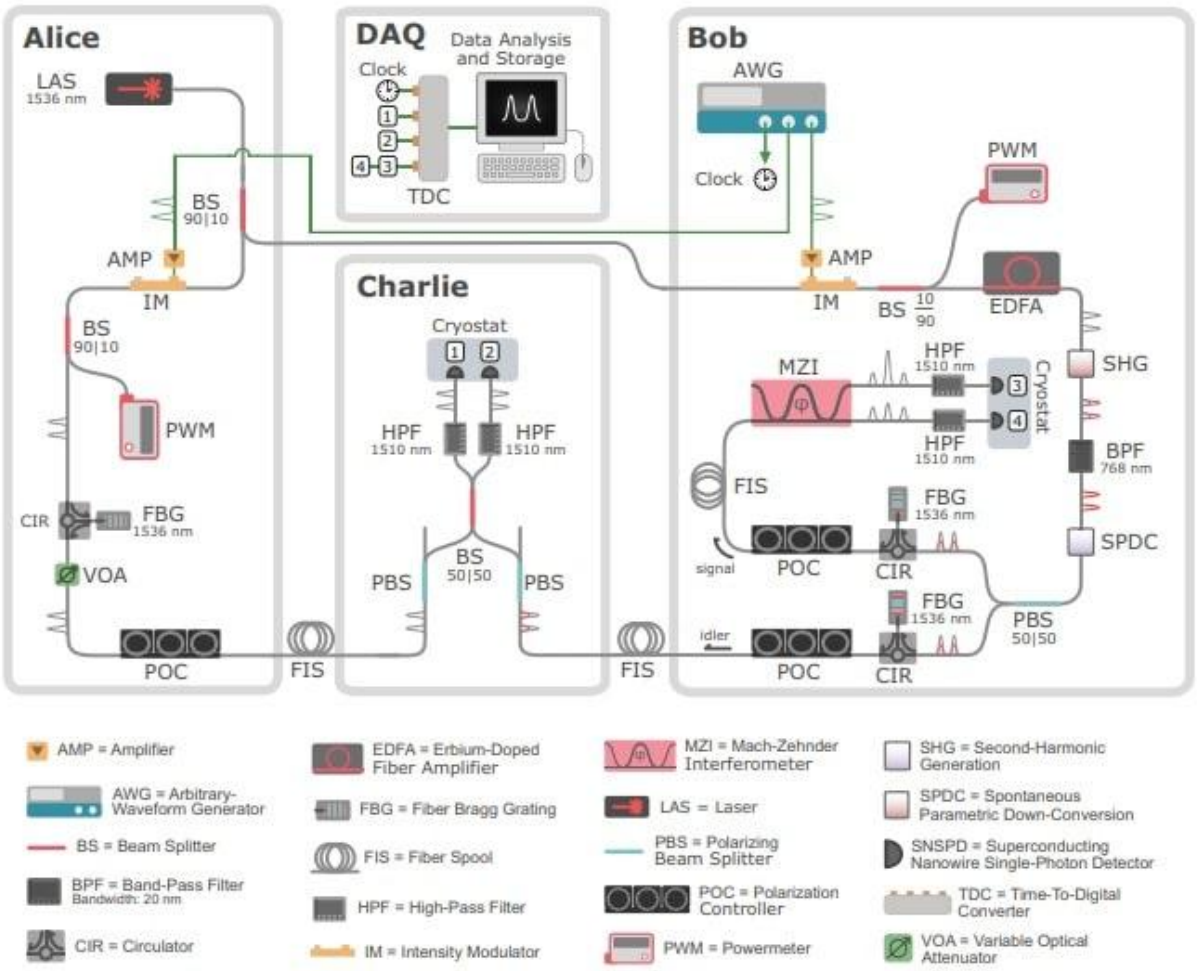
الحوسبة الكمومية والنقل الكمومي الفوري الآني:

في السنوات الأخيرة، أصبحت الحوسبة الكمومية مجالًا نشطًا للبحث، بهدف إيجاد طريقة للتحكم الفعال في المعلومات الكمومية (الكيوبتات) وإدارتها ونقلها بحيث يمكن إجراء بعض الحسابات العادية والحسابات المعقدة وإنشاء شبكات اتصال بديلة وسريعة بعد تطوير الإنترنت الكمومي un Internet quantique، من أجل السرعة والأمان الذي ستوفره للمستخدمين، حيث بات يعد مجالًا رئيسيًا للبحث بشكل خاص .ومؤخراً، نجح تعاون بين المؤسسات لأول مرة في تنفيذ نقل آني téléportation مستقر

للكيوبتات على مسافة 22 كم .مثل هذه النتيجة واعدة للغاية بالنسبة للإنترنت الكمي في المستقبل، والتي تعد آلية النقل الآني الكمومي أحد العناصر الأساسية فيها.



لقد نجح الفيزيائيون في إجراء النقل الكمي المستقر بعيد المدى بقيادة معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا، وهو تعاون بين مختبر فيرملاب Fermilab و AT&T وجامعة هارفارد ومختبر الدفع النفاث التابع لوكالة ناسا وجامعة كالغاري، أفاد المتحدث باسم فريق العلماء الذي قام بالتجربة بأنه نجح في إجراء النقل الآني للكيوبتات، وهي الوحدة الأساسية في معلومات كمومية، لمسافة أكثر من 22 كيلومترًا من الألياف في مقعدين للاختبار: شبكة كالتك كوانتوم وشبكة فيرميلاب الكمومية .على الرغم من أن التعاون كان يعلم أنه "حقق نتائج مهمة" في ربيع عام 2020، كما تقول الفيزيائية ماريا سبيروبولو، إلا أنهم امتنعوا عن مشاركة الأخبار، حتى بشكل غير رسمي على وسائل التواصل الاجتماعي، حتى يتم نشر التقرير في دراسة كاملة هذا الأسبوع" .أردنا دفع حدود هذا النوع من البحث واتخاذ خطوات مهمة لتحقيق كل من تطبيقات العالم الحقيقي للاتصالات والشبكات الكمومية واختبار أفكار الفيزياء الأساسية. لذلك عندما فعلنا ذلك أخيرًا، كان الفريق سعيدًا وفخورًا جدًا لتحقيق هذه النتائج عالية الجودة. ويسعدنا جدًا أن نكون قادرين على الانتقال إلى المرحلة التالية، باستخدام الدراية والتقنيات الخاصة بهذا العمل نحو نشر الشبكات الكمومية "، كما يقول باناجيوتيس سبينتزوريس ، مدير برنامج علوم الكم في فيرميلاب.



رسم تخطيطي للبروتوكول التجريبي الذي يشمل أليس وبوب وتشارلي. © راجو فاليفارثي وآخرون. 2020 يقول الباحثون أن تجربتهم تستخدم معدات "التوصيل والتشغيل" متوافقة ibleمع كل من البنية التحتية للاتصالات وتقنيات الكموم الناشئة. النتائج "توفر أساسًا واقعيًا لإنترنت كمومي عالي الدقة مع أجهزة عملية"، وفقًا للدراسة التي نُشرت في مجلة .PRX Quantum النقل الآني للحالات الكمومية المتشابكة: أساس مستقبل الإنترنت الكمومي لا ينطوي النقل الآني الكمومي على النقل الفعلي للمادة، ولكنه يتضمن جسيمات متشابكة. هدفت الدراسة إلى النقل الآني لحالة الكيوبت، أو "البتات الكمومية"، وهي اللبنات الأساسية للحوسبة الكمومية. وفقًا للدراسة، أنشأ الباحثون ما هو أساسًا شبكة مدمجة من ثلاث نقاط: أليس وتشارلي وبوب .في هذه التجربة، ترسل أليس إلى تشارلي كيوبت. يمتلك بوب زوجًا من الكيوبتات المتشابكة ويرسل أيضًا كيوبت إلى تشارلي، حيث يتدخل في كيوبت أليس. يعرض تشارلي كيوبت أليس على حالة بيل الكموم المتشابكة التي تنقل حالة كيوبت أليس الأصلية إلى كيوبت بوب المتبقي .رسم بياني يوضح الدقة (الاستقرار في نقل الكيوبتات) لكل حالة كمومية منقولة آنيًا. © راجو فاليفارثي وآخرون. 2020 الاختراق ملحوظ لعدة أسباب. لقد ثبت أن العديد من العروض السابقة للانتقال الآني الكمومي غير مستقرة على مسافات طويلة. على سبيل المثال، في عام 2016، تمكن الباحثون في جامعة كالغاري من إجراء انتقال تخاطر كمومي على بعد ستة كيلومترات. لقد كان الرقم القياسي العالمي في ذلك الوقت واعتبر إنجازًا كبيرًا .الهدف النهائي هو إنشاء شبكات كمومية تستخدم التشابك والتراكب لزيادة سرعة الحوسبة وقوتها وأمانها وتفوقها بشكل كبير على أجهزة الكمبيوتر التقليدية. على سبيل المثال، لدى وزارة الطاقة الأمريكية خطة طموحة لبناء شبكة كمومية بين مختبراتها الوطنية .سيتأثر أي مجال يعتمد على أجهزة الكمبيوتر بإدراك هذه التقنية، على الرغم من أن الكثير من الإمكانات المستقبلية

للشبكات الكميومة تدور حول التشفير وخوارزميات البحث والخدمات المالية والمحاكاة الكمومية التي يمكن أن تكون نماذجًا لظواهر معقدة .تم الحديث عن الحوسبة الكمومية لسنوات، وهذه الدراسة تقربنا من تحقيقها على نطاق عملي. الآن بعد أن أثبتت Fermilab و Caltech وشركاؤها هذه الخطوة الرئيسية نحو هذه الشبكات، يخطط الفريق لمواصلة تطوير تكنولوجيا المعلومات الكمومية من خلال بناء شبكة مترو، تسمى شبكة Illinois Express Quantum ، حول شيكاغو .هناك العديد من الجبهات التي يجب أن نتقدم بها. كل من تطبيقات الاتصالات الكمومية وتقنيات الشبكات وفي النهوض بهندسة النظم. نحن نعمل بجد بالفعل على تطوير البنية والعمليات والبروتوكولات للشبكات الكمومية وتحسين مقاييس معينة، بما في ذلك معدل الاتصال ونطاقه، كما يستنتجSpentzouris سبينتزوري

المصادرQuantu PRX :