

الكون الكمومي أو الكوانتي 10-2

أو

حكايات الكوانتوم الغريبة 2

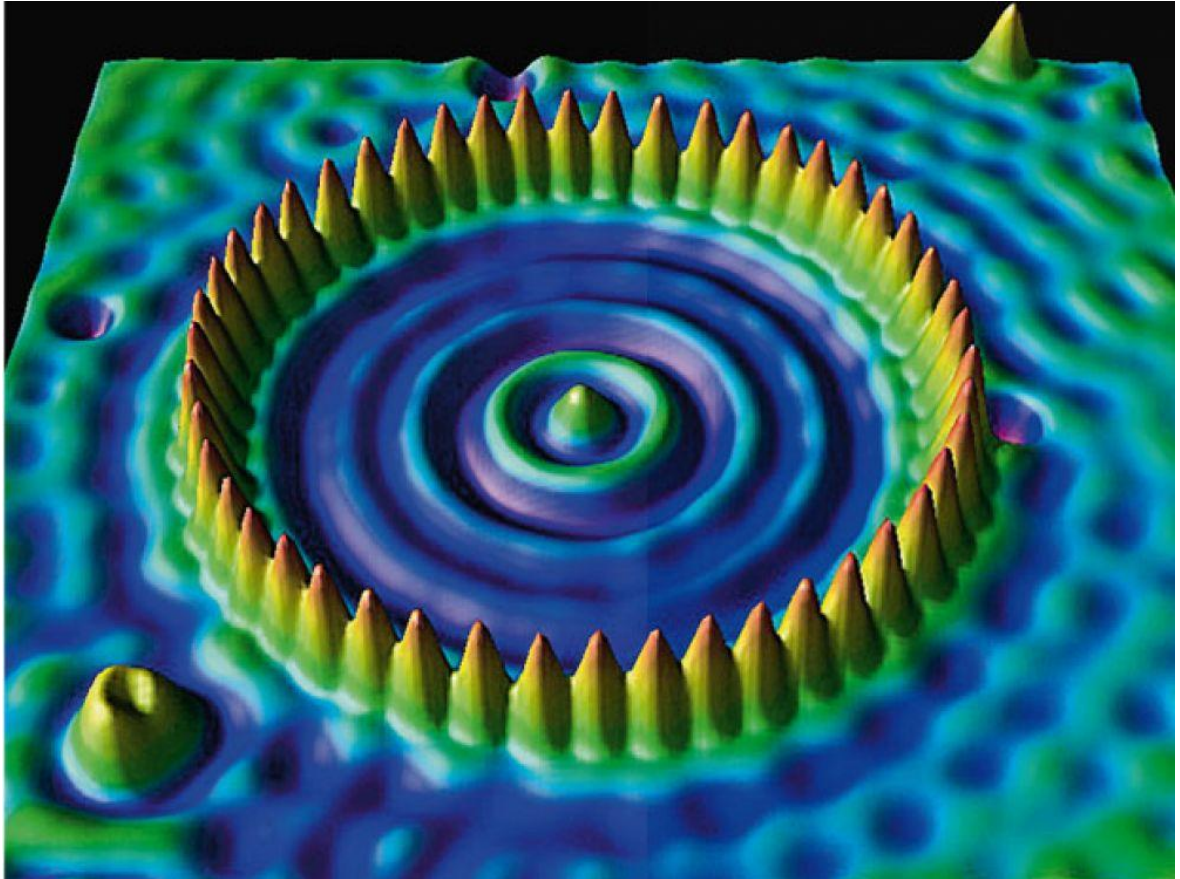
غرائب الكوانتوم أو فيزياء الكموم l'étrangeté de la physique quantique

أعداد وترجمة د. جواد بشارة

الفيزياء المعاصرة تستند على دعامتين صلدتين هما الفيزياء النسبية والفيزياء الكوانتية أو الكمومية يتعاطعان مع ما نسميه الواقع ويقدمان تصورهما لهذا الواقع سواء مافوق الذري أو مادون الذري، ماكروسكوبيك أو ميكروسكوبيك. الدعامة الأولى تصف اللامتناهي في الكبر وفق الهندسة الكونية وهيكلية وطبيعة وماهية الزمكان التي تتيحها قوانين ومعادلات نسبية أينشتاين، والثانية تبحث في هندسة وطبيعة العالم المجهرى مادون الذري في اللامتناهي في الكبر. ولكل منهما نموذج المعيارى أو القياسى سواء في نطاق الكواكب والنجوم والمجرات والسدم أو في نطاق الجسيمات الأولية المكونة للمادة الكونية .

ثورة الذرة: 25 قرناً لإثبات وجودها

كان لدى الفيلسوف اليوناني ديموقريطس الحدس: المادة تتكون من جسيمات غير مرئية. لكن الأمر استغرق 25 قرناً حتى يتمكن الفيزيائيون من اختراق جوهر الذرة والتلاعب بها بنجاح. وبالتالي الوصول إلى الطاقة النووية والإمكانات اللانهائية للعالم النانوي.



ذرات نحاسية محصورة داخل حاوية مكونة من 48 ذرة حديد. تحت عين المجهر النفقي الماسح، يمكن رؤية إلكتروناتهم تتصرف مثل الموجات.

هذا المقال مأخوذ من العدد الخاص رقم 191 "9 الثورات العلمية التي تغير العالم" بتاريخ أكتوبر / نوفمبر 2017. قصة الذرة ترويها آني غروسمان ، أستاذة باحثة في معهد علوم النانو في باريس (INSP). -جامعة بيبير-ماري-كوري) وهوبير كريفين ، فيزيائي ، باحث سابق في معمل الفيزياء النظرية والنماذج الإحصائية في جامعة أورساي ، محاضر فخري في جامعة بيبير-و-ماري-كوري.

"المادة مكونة من ذرات ..." لا أحد يحلم اليوم بالتساؤل عما يبدو أنه واضح - ومع ذلك فقد تمكنا من "الرؤية" مؤخرًا فقط! لكننا لا نعرف كثيرًا ما هي الرحلة الطويلة التي أدت إلى اكتشاف "اللبات الأساسية" للكون. لأنه من الإغريق القدماء إلى جان بيرين Jean Perrin (جائزة نوبل للفيزياء عام 1926)، الذي قدم دليلاً قاطعاً على وجود اللبتات الأولى لبناء الكون، شهدت القليل من النظريات الكثير من المغامرات!

لا تزال أصول النظرية الذرية غير مفهومة جيداً. تعود هذه العقيدة إلى الفيلسوف السابق لسقراط ديموقريطس (460 - 370 قبل الميلاد) وأبيقور (341-270 قبل الميلاد). ولكن للعثور على نص كامل صادر مباشرة من عالم ذري، علينا انتظار الفيلسوف روماني لوكريس Lucretius ، في القرن الأول قبل الميلاد ، وقصيدته عن طبيعة الأشياء. يصف المادة بأنها مكونة من جسيمات غير مرئية للعين المجردة، ذرات - من اليونانية a-tomos ، غير قابلة للتجزئة ، غير قابلة للتقسيم - تتحرك في فراغ ويمكن أن تتحد مع بعضها البعض.

لكن هذه النظرية لا تمثل سوى عصور ما قبل التاريخ للذرة الحديثة. تخمين بحث، لا يمكن اختباره بالتجربة أو يؤدي إلى أي عمل. ومع ذلك، فهي تعتمد جزئياً على الملاحظات، لأنها فجأة في وسائلها كما هي رويوت في تفسيرها. وهكذا نجد عند لوكريس وصفاً مذهلاً لرقصة حبات الغبار في أشعة الشمس، والتي تصور الحركة البراونية التي تم وصفها بعد 17 قرناً.

رائحة الكبريت في عصر النهضة:

حتى فجر الثورة الصناعية الأولى، ستختبر الفكرة الذرية رحلة طويلة عبر الصحراء. هل هذا خطأ أرسطو؟ صحيح أن الفيلسوف العظيم، الذي ستكون نصوصه موثوقة طوال العصور الوسطى، رفض بشكل قاطع نظرية ديموقريطس. في ضوء البيانات الضئيلة التي كانت متاحة آنذاك، فإن رؤيته لمادة مستمرة وطبيعة بها "رعب من الفراغ" لم تكن، مع ذلك، سخيفة، واستندت إلى منطق بعد كل شيء منطقي تماماً، على الرغم من خطأه: إذا تحركت الذرات في فراغ، فلن تواجه حركتها أي مقاومة، وبالتالي ستصل إلى سرعة غير محدودة، وهو أمر مستحيل. سيظهر خطأها فقط مع فيزياء غاليليو، والتي بموجبها يكون الجسم المتحرك المتخلى عن القصور الذاتي هو الوحيد الذي لديه سرعة ثابتة وتسارع صفري. بالنسبة لأرسطو، كانت الحركة ممكنة فقط تحت تأثير قوة ثابتة، والتي استبعدت فكرة القصور الذاتي.

سبب آخر، أكثر دوغمائية، يفسر رائحة الكبريت التي أحاطت بالنظرية الذرية حتى عصر النهضة: لم تدعم هذه النظرية فلسفة مادية فحسب، بل إنها نقية بشكل خطير بحيث تبطل العقيدة الكاثوليكية لاستحالة الجوهر. لأنه كيف يمكن أن نفسر أن ذرات الخبز والنبذ يمكن أن تتحول إلى لحم ودم أثناء الأوخارستيا

l'eucharistie؟ لم يكن هذا الكسوف الطويل للفكرة الذرية مكتملاً: في شكلها الفلسفي والتخميني، كان لها العديد من المؤيدين، من عالم الرياضيات الفرنسي بيير غاسندي (1592-1655) إلى غاليليو ونيوتن. ولكن في نهاية القرن الثامن عشر فقط ظهرت الذرات كفرضية علمية، يمكن التحقق منها بالتجربة ويمكن قياسها. كان أول من صاغها السويسري دانييل برنولي Daniel Bernoulli في مجال الفيزياء في عام 1738. وباعتماد هذه الفرضية، قدم تفسيراً رائعاً لقانون بويل ماريوت Boyle-Mariotte ، المنصوص عليه في القرن السابق، والتي بموجبها، عند درجة حرارة ثابتة، يتناقص ضغط الغاز بالتناسب مع زيادة حجمه (والعكس صحيح). بالنسبة إلى برنولي، يرجع الضغط إلى تواتر تأثيرات جزيئات الغاز على جدران الحاوية: فكلما كانت الحاوية أكبر، زادت المسافة التي يتعين قطعها، وبالتالي الفاصل الزمني بين الصدمتين، وكلما زاد انخفاض الضغط. وطوال القرن التاسع عشر، سيستخدم فيزيائيون مثل ماكسويل Maxwell أو بولتزمان Boltzmann، الذرة لشرح قوانين الديناميكا الحرارية، ولكن دون إقناع معظم زملائهم.

ذرة الكيميائي، وذرة الفيزيائي:

يُنسب للكيميائي البريطاني جون دالتون John Dalton حقاً الفضل في أصل النظرية الذرية الحديثة. بشكل مستقل عن برنولي، الذي لم يذكر عمله في أي مكان، افترض دالتون في عام 1808 وجود كريات مجهرية تتحد أثناء التفاعلات. في ذكرى أسلافه اليونانيين، قام بتعميد هذه الجسيمات بالـ "ذرات" ، والتي سيكون هناك نوع مميز لكل عنصر معروف.

جون دالتون، بين الذرية والدالتونية أو عمى الألوان: John Dalton, entre atomisme... et daltonisme

وُلد جون دالتون (1766-1844) لعائلة من الكويكرز البريطانيين، وكان باحثاً متحفظاً ومتواضعاً. بالإضافة إلى عمله في الكيمياء، وهو الذي أسس الذرية الحديثة، فقد درس بشكل خاص أمراض العيون التي تؤثر بها، والتي أثرت على رؤيته اللونية والتي أطلق عليها اسمه (بالفرنسية فقط، لأنه من الغريب، الأنجلو- ساكسونيون يسمونها *color blind* من خلال التعبير البسيط لعمى الألوان *aveugle aux couleurs*، "عمى الألوان"): بينما يسمي الفرنسيون عمى الألوان بالدالتونية *daltonisme*.

لكن هناك القليل من الحماس لهذه الفرضية. يجب أن نعترف أنه، كما هو، بعيد عن الكمال. على وجه الخصوص، لم يخمن دالتون أن ذرات نفس العنصر يمكن أن تتحد مع بعضها البعض. كان أميديو أفوغادرو Avogadro الإيطالي (1776-1856) هو من فهم هذه الحقيقة التي تبدو غير ضارة ، لكنها مكنت من حل الألغاز التي طرحتها ردود الفعل العديدة. ومع ذلك، فإن التقلبات في المفردات تلحق الضرر بالنظرية الذرية الناشئة: حيث تحدث دالتون عن "الذرات" ("بسيطة" أو "مركبة")، يقسم أفوغادرو بـ "الجزيئات" ("المكونة" أو "المتكاملة"). في عام 1833، وضع الفرنسي غودان Gaudin بعض الترتيب في المصطلحات، واصفاً الذرات بالمكونات البسيطة، والجزيئات بـ مركباتها.

ساهم أفوغادرو بشكل أساسي في النظرية الذرية الناشئة من خلال صياغة قانون، كان افتراضي بحت: عند درجة حرارة وضغط ثابتين ، تحتوي أحجام متساوية من الغازات المختلفة على نفس العدد من

الجزئيات. لكن الأمر سيستغرق أكثر من قرن حتى يتم التحقق من صحة هذا الحدس الرائع من خلال التجربة.

في خلال القرن التاسع عشر كله تقريباً، عارض أنصار الأطروحة الذرية شكوك أولئك الذين رفضوا الحكم على نظرية تستند إلى كيانات افتراضية علمية. في الفيزياء، تم تمثيل هذا التيار الأخير بواسطة "علم الطاقة"، الذي فضل الاستمرار في التفكير من حيث الطاقة على تخيل جسيمات المادة متناهية الصغر. في الكيمياء، اعتقد "المتكافئون" *équivalentistes* " أنه يمكن للمرء دراسة مجموعات العناصر المختلفة دون افتراض أنها مكونة من ذرات أو جزيئات. لكن طريقة تسجيل النقاط المكافئة الخاصة بهم، والتي تتكون من اختيار عشوائي لأحد "مكونات" التفاعل كمرجع للآخرين (على سبيل المثال، تتحد وحدة واحدة من الأكسجين مع مكافئتي الهيدروجين لتكوين مكافئ واحد من الماء.)، كان له أيضاً عيوبه. أدى ذلك لبعض المركبات إلى العديد من الصيغ والأسماء (19 لحمض الخليك *l'acide acétique* !) اعتماداً على العنصر المختار. في سياق صناعة كيميائية مزدهرة، كان هناك شعور مؤلم بالحاجة إلى وحدة في التسمية ...

في عام 1860، تحت رعاية الكيميائي الألماني العظيم فريدريش كيكولي Friedrich Kekulé ، تم تنظيم ما كان بلا شك أول مؤتمر علمي دولي كبير في كارلسروه Karlsruhe، بهدف حسم الجدل بين علماء الذرة والمكافئين. إذا انتهى الاجتماع بطلب مصالحة بين "المعسكرين"، فإنه يسمح للعلماء الذريين بالعودة إلى مقدمة المسرح، وخاصة التواصل بينهم. يعبر الإيطالي ستانيسلاو كانيزارو Stanislao Canizzarro، الذي يبرز في هذه المناسبة كقائد لهم، بشكل خاص عن رغبته في ألا نعتبر "ذرة" الكيميائي" (التي تحدد العناصر وردود أفعالها) و " "ذرة الفيزيائي" (شرح الديناميكا الحرارية) كموضوعين مختلفين - لأن الحوار بين علماء الذرة في المجالين لم يكن موجوداً في ذلك الوقت. لم تبقى هذه الرغبة حبرا على ورق: لقد فرض بيران Perrin الذرية على وجه الخصوص من خلال الجمع بين مساهمات الفيزياء والكيمياء.

قرب نهاية القرن التاسع عشر، تم ابتكار عدة طرق لقياس ثابت أفوغادرو، أي عدد المكونات الأولية (الذرات أو الجزيئات) الموجودة في كمية محددة بشكل عشوائي من المادة. ومع ذلك، فقد كان الفهم والتوضيح التجريبي لظاهرة غامضة معقدة وطويلة، وهي الحركة البراونية، هي التي أثارت دعماً شبه إجماعي من المجتمع العلمي. يعود تاريخ هذا اللغز الحقيقي، الذي يوفر حله مفتاح الذرة، إلى بداية القرن التاسع عشر. في عام 1828، لاحظ عالم النبات روبرت براون Robert Brown أن حبوب اللقاح المعلقة في الماء قد تم تحريكها في حركة لا هوائية فيها تبدو عشوائية. هذا لم تكن نتيجة أشكال الحياة المجهرية، حيث يمكن ملاحظتها أيضاً بشظايا معدنية من نفس الحجم. لسنوات، فشل العلماء في توضيح هذه الظاهرة.

غير مرئي حتى اختراع مجهر المسح النفقي Invisibles jusqu'à l'invention du microscope à effet tunnel

في عام 1905، - الذي كان عاماً حافلاً بالتأكيد - اقترح ألبرت أينشتاين تفسيراً نظرياً للحركة البراونية التي تنطوي على الذرات. إذا كانت هذه الأشياء لا تزال غير مرئية حتى في ظل أعلى مستويات التكبير التي توفرها المجاهر في ذلك الوقت، فيمكنها نقل حركاتها إلى أجسام وسيطة (تُعرف باسم البراونيون browniens)، المرئية تحت المجهر الضوئي ولكنها صغيرة بما يكفي للتأثر بصدماتها، مثل حبوب

اللقاح. من خلال مراقبة هذه الحركة البراونية في السوائل، حيث تكون الاصطدامات أكثر تواتراً من الغازات، أصبح من الممكن دراستها وقياسها. لقد وجدت عبقرية الفيزياء للتو الطريق الأصح الذي سيؤدي مباشرة إلى الذرات!

لا يزال وجودهم ليتم إثباته من خلال التحقق التجريبي من صحة هذه النظرية. كان الفيزيائي الفرنسي جان بيران هو الذي ارتقى إلى مستوى التحدي. منذ عام 1908، نجح في إثبات صحة نظرية أينشتاين من خلال سلسلة من التجارب الدقيقة والصارمة، من خلال متابعة حركات الجسيمات البراونية في عدة سوائل (ماء ، غلserin) أو عن طريق قياس كثافتها عند درجات مختلفة. ارتفاعات عمود مائي. مكنته هذه التجارب من تحديد رقم ثابت أفوغادرو Avogadro بدقة مرضية. على الأقل نسبياً، نظراً لترتيب حجم الرقم نفسه!

جان بيران، المدافع عن العلم المتاح:

بعد اكتشاف أشعة الكاثود، والتي تحولت فيما بعد إلى تدفق للإلكترونات، كرس جان بيران كل طاقته للنظرية الذرية، وعلى وجه الخصوص لقياس عدد أفوغادرو. إلى جانب إثباته بالحركة البراونية التي نظرها أينشتاين، فهو يحدد هذا العدد بما لا يقل عن اثنتي عشرة طريقة أخرى بناءً على ظواهر فيزيائية ذات طبيعة مختلفة تماماً، ولكن جميعها تعطي نفس النتيجة (باستثناء حالات عدم اليقين التجريبية).

وهكذا تمكن من "شرح المعقد المرئي من خلال غير المرئي البسيط"، فإنه يقنع المجتمع العلمي بواقع الذرات. نُشر كتابه الذرات Les Atomes في عام 1913، والذي يلخص فيه بحثه بأسلوب واضح يمكن الوصول إليه من قبل غير المبتدئين، ويظل أحد روائع الأدب العلمي. لعب بيران أيضاً دوراً بارزاً في سياسة العلوم الفرنسية. وعين كوكيل لوزارة الدولة للبحوث في الجبهة الشعبية، وعمل على نطاق واسع من أجل تأثير العلم، لا سيما من خلال تأسيس قصر الاكتشافات Palais de la Découverte في عام 1937 ثم من خلال إعطاء دفعة لإنشاء المركز الوطني للأبحاث العلمية المستقبلية CNRS.

وبالتالي، رفعت الجهود المشتركة للمُنظّر أينشتاين والمُجرب بيران الذرة من مرتبة الفرضية، التي يعتبرها الكثيرون خيالية، إلى مرتبة الحقيقة العلمية المثبتة. إن عرض بيران هو الأكثر إقناعاً حيث ظلت الذرات غير مرئية حتى اختراع المجهر النفقي (1981)، والذي أتاح أخيراً تصور الذرات وحتى معالجتها، وكذلك الجزيئات بشكل فردي. كما قال هنري بوانكاريه Henri Poincaré في عام 1913: "الذرات لم تعد خيالاً مناسباً؛ يبدو لنا، إذا جاز التعبير، أننا رأيناها منذ أن عرفنا كيف نحسبها".

سباق الـ Nanocar : الجزيئات في كتل البداية! Nanocar Race : des molécules dans les starting-blocks

فقط في نهاية القرن العشرين، بعد 2500 عام من الوجود النظري، أصبحت الذرة حقيقة مرئية، ومؤخراً ... ملموسة! نظراً لأن مجهر المسح النفقي، الذي تم اختراعه في عام 1981، لا يجعل من الممكن فقط تصور بنية الذرات والجزيئات - بعيداً، علاوة على ذلك، من الكرات الصغيرة أو المخططات الكوكبية المقترحة لأول مرة لتمثيلها - ولكن أيضاً للتلاعب بالمادة على المستوى الجزيئي: هكذا ولدت علوم النانو وتقنيات النانو. لإثبات التقدم المحرز في هذا المجال، تم تنظيم سباق "النانوكار" ، التجمعات الجزيئية القادرة على الحركة ، في 28 و 29 أبريل 2017 في مختبر سيميس Cemes (مركز تطوير المواد والدراسات الهيكلية) في CNRS في تولوز. كان على البolides الجزيئية الستة التي تم

تطويرها و "توجيهها" بواسطة باحثين من جميع أنحاء العالم أن تسافر في مسار 100 نانومتر (أي 0.0000001 متر). وفازت "السيارة النانوية" للفريق السويسري من جامعة بازل بالمسابقة.

طاقة كبيرة ومدمرة بشكل لا يصدق:

ومن المفارقات، أنه ما أن فرضت الذرة نفسها عندما تم اكتشاف أنها ليست ذرة أي أصغر جسيم مكون أولي، ولكنها بدورها يمكن أن تتحلل إلى مكونات أصغر، الجسيمات الأولية! بعد اكتشاف الإلكترونات في عام 1897 وقبل فهم دورها، أظهر رذرفورد Rutherford في عام 1911 وجود نواة الذرة. لم تكن الذرات قابلة للكسر فحسب، بل كانت في الأساس ... فارغة! كان حينها عالمًا جديدًا تم الكشف عنه للفيزيائيين، وكان مفاجئًا جدًا أنه ولد نظرية ثورية، وهي ميكانيكا الكموم. لكن تشريح المادة لم يتوقف عند هذا الحد: فقد تم اكتشاف أن النواة يمكن تقسيمها بدورها إلى نيوكليونات (بروتونات ونيوترونات)، تتكون نفسها من جسيمات أصغر، وهي الكواركات. كما تنبأ جان بيران، حيث يمكن العثور على روح علماء الذرة الأوائل اليوم في السباق الذي لا هوادة فيه في البحث عن الجسيمات الأولية، بما في ذلك بوزون هيغز boson de Higgs الشهير الذي اكتشف في عام 2012 بعد سنوات طويلة من التعقب، إذ تنبأ هيغز بوجوده سنة 1964.

كان اكتشاف الذرة بمثابة علامة على ظهور الكيمياء الفيزيائية، مما رفع الانضباط إلى مرحلة النضج الكامل. أنشأ مندلييف Mendeleïev في عام 1869، الجدول الدوري للعناصر أخذ معناها الكامل عندما يمكن ربط كل خلية من خلاياه بنوع من الذرة. وقد جعل اكتشاف التركيب الذري من الممكن توضيح طبيعة الروابط الكيميائية: مشاركة (أو تبادل) للإلكترونات بين الذرات. كان من المفهوم أيضًا، خلال القرن العشرين، أنه لضمان تماسك الجسيمات التي تتكون منها، تخفي الذرات بداخلها طاقة كبيرة، والتي يمكن استغلالها (في محطات الطاقة النووية)، ولكنها أيضًا مدمرة بشكل لا يصدق (الأسلحة الذرية).

أخيرًا، أتاح تأكيد وجود الذرات تبرير الديناميكا الحرارية الإحصائية. يمكننا بالتالي تفسير الظواهر العيانية، التي يمكن ملاحظتها على مقياسنا (مثل درجة الحرارة أو الضغط)، من خلال السلوك الجماعي للجزيئات، والتي تتطلب كميتها، التي تتحدى الخيال، معالجة إحصائية "لمتابعة" تطورها. كان برنولي على حق!

تجربة الكموم ترى وجود نسختين من الواقع في نفس الوقت:

نحن نعلم أن فهمنا للواقع متحيز للغاية. تشكل حواسنا وثقافتنا ومعرفتنا كيف نرى العالم. وإذا كنت تعتقد أن العلم سيمنحك دائمًا حقيقة موضوعية، فقد ترغب في إعادة النظر.

تمكن الفيزيائيون أخيرًا من اختبار تجربة فكرية تم اقتراحها لأول مرة في عام 1961 من قبل الحائز على جائزة نوبل يوجين وينر. تُعرف التجربة باسم "صديق فاينر Wigner" والإعداد ليس معقدًا للغاية. تبدأ بنظام كمومي له حالتان في حالة تراكب superposition، مما يعني أنه حتى تقيسه، توجد كلتا الحالتين في نفس الوقت. في هذا المثال، يكون استقطاب الفوتون (المحور الذي يدور عليه) أفقيًا وعموديًا.

صديق فاينر Wigner موجود في المختبر لإجراء التجربة وبمجرد قياسها، سينهار النظام وسيتم تثبيت الفوتون في إحدى هاتين الحالتين. لكن بالنسبة إلى فاينر Wigner، الذي لا يعرف نتيجة القياس خارج

المختبر، والأهم من ذلك والأهم من ذلك، لا يزال النظام الكمومي (والذي يتضمن أيضًا المختبر) في حالة تراكم. على الرغم من النتائج المتناقضة، إلا أن كلاهما صحيح. (هذا مشابه لقطة شرودنغر، وهي تجربة فكرية أيضًا حول التراكب، إذا كان شرودنغر وقطته في الصندوق أيضًا في صندوق معاً). لذلك، يبدو أن هناك واقعين موضوعيين، وهما صديق فاينر وفاينر، يتعايشان. وهذه مشكلة.

لم يكن اختبار هذه الفكرة ممكنًا لفترة طويلة جدًا. ليس من السهل استنتاج صيغة ميكانيكا الكم لرؤية فاينر Wigner صديقه يقوم بتجربة. ولكن بفضل الإنجازات الأخيرة، تمكن الباحثون من بناء تجربة ميكانيكا الكم من شأنها إعادة إنتاج ذلك بالضبط.

يحتوي النظام على أربعة مراقبين متشابكين وتجربة حديثة بستة فوتونات وأظهروا أنه بينما أنتج أحد أجزاء النظام قياسًا، أظهر الآخر أن القياس لم يتم. تم قياس حقيقتين في وقت واحد. يجادل الفريق بأن هذا يعزز حالة نظريات الكم التي يعتمد إطارها بالفعل على المراقب.

كتب العلماء في ورقتهم البحثية، والتي لم تخضع بعد لمراجعة النظراء ولكنها متاحة للقراءة على ArXiv: "هذا يدعو إلى التساؤل عن الوضع الموضوعي للحقائق التي وضعها المراقبان".

"هل يمكن للمرء التوفيق بين سجلاتهم المختلفة، أم أنها غير متوافقة بشكل أساسي - بحيث لا يمكن اعتبارها" حقائق عن العالم "موضوعية ومستقلة عن المراقب؟"

في حين أن العلم هو أفضل أداة لدينا لفهم الواقع، إلا أن تأثيرات وقيود المراقبين كانت معروفة لفترة طويلة. أظهرت النسبية أن المراقبين قد لا يواجهون أحداثًا متزامنة في نفس الوقت. تخبرنا ميكانيكا الكم أن المراقبين يؤثران على تجاربهم. يبدو الآن، على المستوى الكمومي على الأقل، أن حقيقتين مختلفتين يمكن أن تكونا حقيقتين في آن واحد.

المصادر

Hubert Krivine et Annie Grosman, *De l'atome imaginé à l'atome découvert.*

Contre le relativisme, De Boeck, 2015

Jean-Marc Lévy- Leblond, *L'Atome expliqué à mes petits-enfants*, Seuil,

2016

Claude Lécaille, *L'Atome, chimère ou réalité ?* Vuibert, 2009

Sur les nanocars : <http://nanocarrace.cnrs.fr>

[JH / T: MIT Technology Review]

جان بيير فارابود وجيرار كلاين ، الرعب والمصائب في فيزياء الكم ، أوديل جاكوب ، 2017

نيكولا جيزين ، الفرصة التي لا يمكن تصورها ، أوديل جاكوب ، 2012

سفين أورتولي وجان بيير فارابود ، Le Cantique des quantiques ، La Découverte / Poche ، 2007 (إعادة إصدار الكتاب المنشور في 1987)

هوبيرت كريفين و آني غروسمان : " من الذرة المتخيلة إلى الذرة المكتشفة. ضد النسبية، دي بوك ، 2015

جان مارك ليفي- لبلون ، شرح الذرة لأحفادي ، منشورات سوي ، 2016

كلود ليكاي ، الذرة ، الوهم أم الواقع؟ منشورات فويبيرت ، 2009

حول سباق سيارات النانو: راجع موقع [http:// nanocarrace. cnrs.fr](http://nanocarrace.cnrs.fr)

معجم LEXIQUE :

ذرة : **Atome** إنها أصغر وحدة للمادة المميزة للعنصر. إنها غير قابلة للتحلل كيميائياً ، على الرغم من أنها تتكون من جسيمات أصغر (جسيمات أولية) يمكن فصلها بالوسائل الفيزيائية.

جسم واحد / جسم مركب **Corps simple/corps composé** يتكون الجسم البسيط من عنصر واحد ، وبالتالي من نوع واحد من الذرات (على سبيل المثال ، الأكسجين ، أو O₂ ، أو الأوزون ، O₃) ، وهو جسم يتكون من عنصرين مختلفين على الأقل.

عنصر **Élément** المكون الأساسي للمادة. هذه هي الأجسام الكيميائية التي لم يعد من الممكن تحليلها بواسطة طرق التحليل (التقطير، التحليل الكهربائي، إلخ). أظهر لافوازييه Lavoisier ، على سبيل المثال، أن الماء ليس عنصراً، ولكنه مركب من الأكسجين والهيدروجين.

رقم (أو ثابت) أفوغادرو Avogadro الكمية المرجعية المقابلة لعدد الذرات الموجودة في 12 جراماً من الكربون 12 ، وقياس عدد المكونات الأولية (الذرات أو الجزيئات) في كمية معينة من المادة ، تسمى المول la mole . تقدر أحدث القياسات أنه سيكون حوالي $6.02214076 \times 10^{23}$ ، أو أكثر من 600 ألف مليار المليار.

الجدول الدوري للعناصر: تم إنشاء تصنيف العناصر الكيميائية في عام 1869 من قبل ديميتري مندلييف. يتم تقديم العناصر هناك من خلال زيادة الوزن الذري، حيث يجمع كل عمود العناصر التي لها خصائص متشابهة.