

الحلقة العاشرة من الكون الكمومي أو الكوانتي 10-10

أو حكايات الكوانتوم الغرائبية 10

إعداد وترجمة د. جواد بشارة



من الناحية الكلاسيكية، سيكون من المستحيل وجود أو بناء نموذج متسق، حتى لو تم دحضه في النهاية، والذي يجعل من الممكن إثبات أن مسألة قياس الجاذبية هي بالفعل تجريبية وسيتم حلها عن طريق التجربة.

يمكن أن يعمل هذا النموذج أيضًا كنقطة انطلاق لبناء العديد من المتغيرات، كل منها يؤدي إلى تنبؤات كمومية، والتي سيكون من المثير للاهتمام مقارنتها بالتجارب. ومع ذلك، يمكن أن تصبح هذه المرونة نقطة ضعف: إذا كان من الممكن تفسير أي نتيجة تجريبية لاحقًا عن طريق تغيير النموذج على الهامش، فإن النهج العام سيفقد طابعه التنبؤي. وهكذا، في حين أن المشكلة الأولية كانت الاستحالة الواضحة لبناء نموذج واحد متماسك شبه كلاسيكي للجاذبية، هناك خطر، على العكس من ذلك، في نهاية المطاف مع العديد من الحلول.

توقعات التتبع

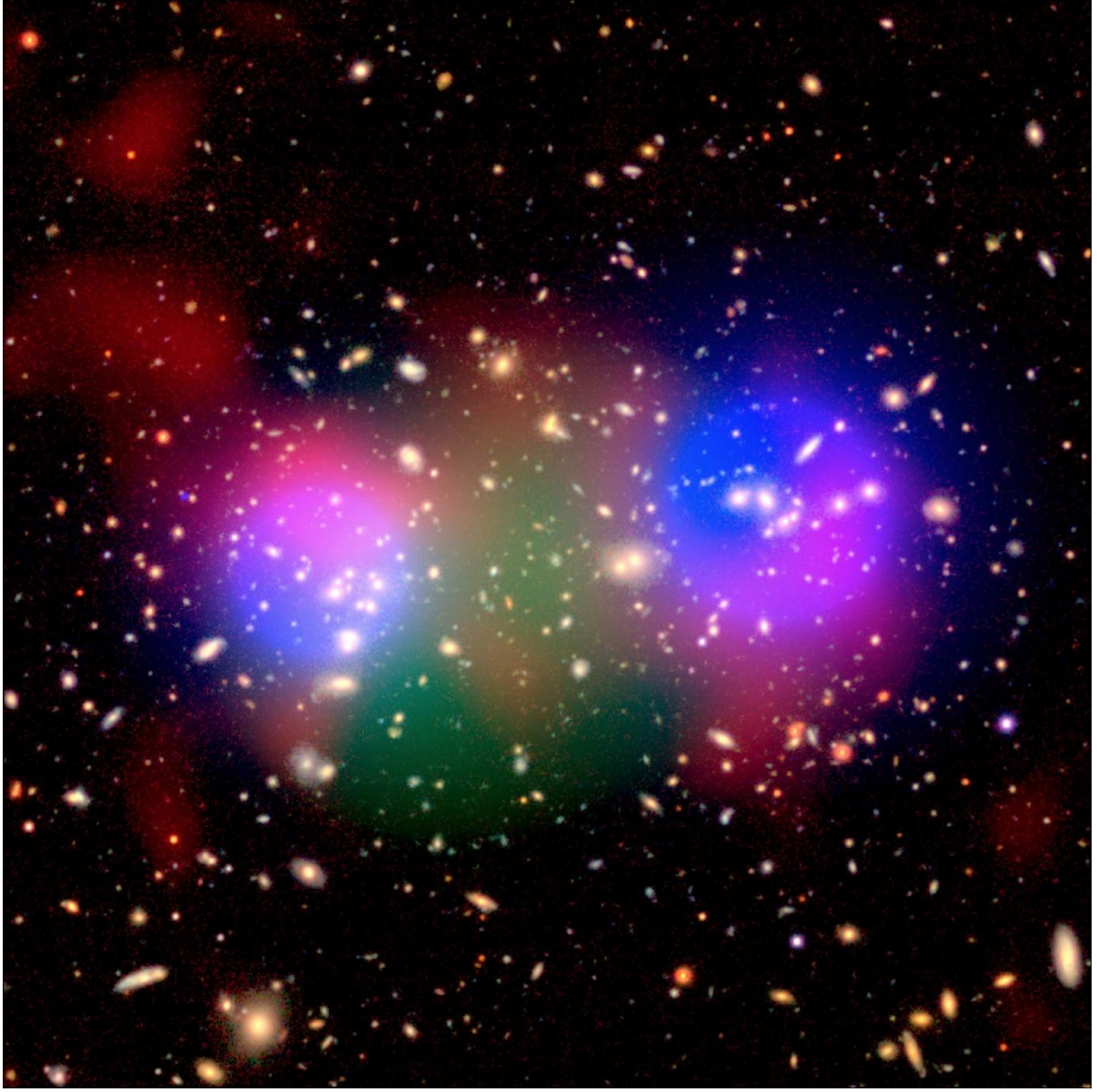
هناك طريقة أخرى للتعامل مع مشكلة الجاذبية الكلاسيكية أو الجاذبية الكمومية وهي شراء توقعات تجريبية باهظة الثمن تسمح بذلك. لاختبار أهمية شبه الجاذبية بغض النظر عن النموذج الكلاسيكي. في

عام 2017، استجاب فريق بقيادة Sougato Bose في كلية لندن الجامعية لهذا التحدي على وجه التحديد واقتروا تجربة تسمح بالاستنتاج فيما يتعلق بالطابع الكمي للجاذبية أم لا.

للقيام بذلك، استغلوا الاختلاف النوعي بين جميع المناهج شبه الكلاسيكية المتناسكة ونظرية الكم الافتراضية. الفكرة هي تشابك دالة موجية عبر قوة الجاذبية بيد أن النموذج المقترح يعمل فقط مع السرعات المنخفضة، وهو ما يكفي مع ذلك للتعامل مع جميع التجارب المعملية منخفضة الطاقة. ما هي فكرة النموذج؟ الفكرة هي تشابك دالة موجية عن طريق قوة الجاذبية لكن هذا ممكن فقط إذا كانت هذه القوة ذات طبيعة كمومية. إذا لم تكن قوة الجاذبية كمومية، فلن نلاحظ التشابك.

تتمثل صعوبة تجربة Bose في العثور على تكوين بحيث تكون جميع القوى الأخرى، ولا سيما قوة كازيمير Casimir، المرتبطة بالتقلبات الكهرومغناطيسية للفراغ، مهملة للغاية مقارنة بالجاذبية. المفاجأة هي أن التطورات التقنية المطلوبة معقولة تمامًا من حيث تقارن الميكروفا، والتحكم الكمي في الأنظمة ... التحديات موجودة وكبيرة، بالتأكيد، ولكنها لا تتناسب مع تلك الخاصة بمسرع الجسيمات بحجم النظام الشمسي، والذي يبدو ضروري للكشف المباشر عن الغرافيتون، أي الجسيم الأولي المفترض للجاذبية.

في الثمانينيات، اعتقد الفيزيائيون أن الطبيعة الكمومية أو الكلاسيكية للجاذبية كانت مسألة نظرية. قد تكون تجريبية في المستقبل القريب. النتيجة الأكثر إثارة للاهتمام هي العثور دليل على أن الجاذبية ... ليست كمومية. هذا من شأنه أن يتعارض مع ما يعتقده غالبية علماء الفيزياء والجهود التي بذلت على مدى السنوات الستين الماضية. على العكس من ذلك، إذا كانت الجاذبية كمومية، فإن نظرية الجاذبية أو الثقالة الكمومية ستصبح أكثر أهمية. •



التراكبات الكمومية صعبة ومع ذلك فإن هذا النموذج يجعل من الممكن استكشاف وسائل إدخال القوة الى الجسيمات الأولية. لكن الوضع أكثر إزعاجًا على نطاق واسع. كما أشار إروين شرودنغر بقطته الحية والميتة، فإن التراكبات ليست محصورة مسبقًا في النطاق المجهرى وتهدف نماذج الاختزال الديناميكي إلى حل هذه المشكلة عن طريق التدمير عشوائيًا للتراكبات العيانية ، مع الاحتفاظ (تقريبًا) بالتراكبات المجهرية اللازمة لشرح النتائج التجريبية. في عام 1986، اقترح العلماء الإيطاليون جيانكارلو غيراردي وألبرتو ريميني وتوليو ويبر (GRW) أن الدالة الموجية للجسيم تخضع لمعادلة شرودنغر في معظم الأوقات، ولكنها تخضع أحيانًا لـ "وميض". مع احتمال ضئيل جدًا، بحيث يكون الحدث يتجسد في مكان محدد للغاية ، يسمى الفلاش ، يتم إحكامه حوله على الفور.

في النهج القياسي أو المعياري، يكون الجسم الوحيد المتاح هو دالة الموجة. ولكن في نهج الاختزال الديناميكي، مثل نموذج GRW، تطور دالة الموجة في كل جسيم (تمليه معادلة شرودنغر) بحيث يتم مقاطعه بشكل عشوائي. إنه "وميض"، أي نقطة في الزمكان حيث يتم تدمير التراكب.

تم اختيار مصطلح "وميض" لتسليط الضوء على الجانب العابر للظاهرة (وليس له علاقة بانبعاث الضوء).

في هذا النموذج، يصبح الجسم حقيقياً في اللحظة المحددة ومكان الفلاش. إنه يتجسد ويكتسب كتلة وبالتالي يخلق مجالاً للجاذبية. ثم يجذب الجسم نحوه الدالة الموجية لبقية النظام أو، بشكل مسيء قليلاً، يجذب جميع الجسيمات الأخرى في النظام. ثم يتجسد جسيم آخر بواسطة وميض ويجذب نحوه الدالة الموجية للباقي ... بين كل ومضة، يتولى التطور الكمومي المعتاد المهمة. وهكذا تتجلى الجاذبية بطريقة متشعبة. إذا بدت هذه الديناميكية متناقضة مع الانطباع الذي لدينا عن قوة الجاذبية المستمرة، فهي متوافقة مع القيود التجريبية الحالية. ويفسر ذلك بضعف الجاذبية بين جسيمين أساسيين، فهذه القوة صغيرة جداً بحيث لا يمكن اكتشافها. لا يمكن ملاحظته إلا بأجسام عيانية كافية حيث تعطي مليارات من جسيمات الجاذبية والصدمات التي تظهر في كل مللي ثانية للمراقبين انطباعاً بأن مجال الجاذبية يتطور بسلاسة وبشكل مستمر. في مثل هذا النموذج، حيث تكون الفلاش هي المصدر، تقدم قوة الجاذبية عدداً من التوقعات التجريبية التي يمكن اكتشافها. على سبيل المثال، يضيف كل بقايا طاقة حركية للجسيمات. يمكن ملاحظة هذه الزيادة الطفيفة في الطاقة كتدفئة قابلة للقياس، على سبيل المثال، في مكثفات الذرات شديدة البرودة.

هل يجب أن نؤمن بهذا النموذج؟ ربما لا: تذكر أنه يعمل فقط في النظام غير النسبي. سيكون من المثير للاهتمام دحضه من خلال التجارب لاختبار حدود فيزياء الكموم. لكن في تطوير هذا النموذج، كان الهدف المنشود قبل كل شيء هو تقديم مثال مضاد للدعاء بأن النظرية هجينة، حيث الجاذبية محدودة التأثير وضعيفة جداً في النطاق ما دون المجهرى. تعتمد فيزياء الكموم على شكليات رياضية قوية للغاية، ولكن لا يمكن تحويلها إلى جمل تنتمي إلى اللغة العامة. لذلك من غير المعقول، بل غير المشروع، أن نرغب في تقديمها بدون معادلات. فترك - أو حتى نفي - المرئي والحساس لصالح الرسمي وحده، يجد نفسه تقريباً بدون اتصال بطريقتنا المعتادة في إدراك العالم من حولنا. فكيف نفضحه دون خيانة بكلمات بسيطة؟ سيتعين على الباحث أن يجد "حياً" تسمح له بالتعبير - للتمييز بالفعل - عن غرابة المفاهيم التي تستخدمها فيزياء الكموم. سيتكون المفتاح بلا شك في جعل القارئ يشعر كيف نشأت فيزياء تحطيم الأيقونات هذه من أزمة التمثيل. على السؤال: "أي نوع من الأجسام هي الجسيمات؟"، قدمت فيزياء الكموم إجابة مذهلة ... يبدو أنها تعطي المزيد من الواقعية لما هو مخفي مما هو معروض.

تذكر أن الفيزياء الكلاسيكية تميز بشكل أساسي نوعين من الأشياء، بمعنى معاكس: الجسيمات، من ناحية، والأمواج، من ناحية أخرى. يستند هذا الانقسام إلى اعتبارات بسيطة: الجسيمات عبارة عن كيانات نقطية، أي موضعية في منطقة محدودة للغاية من الفضاء، مثل حبيبات الرمل التي نحاول تقليص حجمها إلى الصفر؛ يصفون مسارات واضحة يتم من خلالها تحديد موقعهم وسرعتهم بشكل جيد في جميع الأوقات. أما الأمواج، فعلى العكس من ذلك، ليست مترجمة بدقة؛ إنها تشغل، إن لم يكن كل الفضاء، فعلى الأقل نطاقاً مكانياً معيناً، وليس لديها مسار أكثر من تضخم المحيط الأطلسي الذي يضرب سواحل برييتون.

هناك جوانب أخرى تميز الموجات من الجسيمات. الأمواج لا تحمل أي شيء، إنها تنقل الطاقة والمعلومات فقط. دعونا نعطي بعض الأمثلة: إذا قمنا بتمديد حبل ثم لوح أحد طرفيه، فإننا نرسل موجة تنتشر على طول الحبل دون أن يترك الأخير يدنا للركض بعد الموجة؛ عندما تضرب عاصفة من الرياح حقل قمح، تتأرجح كل السنابل مع الريح المذكورة، ولكن لا يتم تمزيق أي منها أو نقلها إلى الطرف الآخر من الحقل (إلا في حالة حدوث عاصفة شديدة جداً)؛ عندما تتقدم الموجة على البحر، لا يتحرك الماء للأمام، وحركته تكون فقط لأعلى ولأسفل؛ في الواقع، إن قمم وقيعان هذه الحركة هي التي، من خلال الحركة، تمنحنا الوهم بأن الماء يتقدم مع الموجة (نلاحظ ذلك بالنظر لجسم عائم، فوق موجة، الذي

يرتفع لأعلى ولأسفل على إيقاع الأمواج ، لكنه لا يتقدم). هناك اختلاف آخر: الموجات قادرة على "تراكب" ، على الأقل إذا كانت من نفس الطبيعة الفيزيائية (الكهرومغناطيسية ، الصوتية ...). هذا يعني أن مجموع موجتين من نفس النوع له معنى مادي محدد تمامًا. فكر في الأمواج التي يمكننا إنشاؤها على البركة. إذا قمنا بتلويح عصا في الماء في مكان معين، فإنها تصبح مركز النظام من موجات متحدة المركز. إذا قمنا بتلويح العصا في مكان ما، فإننا ننشئ نظام موجة آخر، مركزه في مكان آخر. إذا قمنا بعد ذلك بتلويح عصا في نفس الوقت في كل من هذين المكانين، فإننا نتسبب في نظام أكثر تعقيدًا من الموجات يتكون من مزيج من أول اثنين: هذه الموجة الناتجة، والتي هي أيضًا نمط من تذبذب السطح في البركة، ليس سوى تراكب الأولين. حيث يتم الحصول عليها عن طريق إضافة اتساع الموجات المكونة في كل نقطة في البركة. هذه الخاصية المتمثلة في القدرة على الإضافة، يمتلكها كارتل الموجة حصريًا: لن تكون مجموعتان (أو كرتان صغيرتان) قادرة تمامًا على التراكب. كل هذه الاختلافات تجعلها تبدو لا تكاد توجد أي صلة بين الموجة والقرن الصغير، أو بين الحركة غير المحددة لموجة على سطح المحيط ورمي الحجر في الهواء وفقًا لمسار واضح جدا. بالنسبة لكل ظاهرة فيزيائية، يطرح السؤال: هل تنتمي إلى صفة الموجات أم أنها تنتمي إلى الجسيمات؟ فيما يتعلق بالضوء، وصل هذا الاستجواب إلى أقصى حد له، خاصة في القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين. إخضاع الضوء للتجارب. هناك تجربة بسيطة بقدر ما هي مشهورة، تسمى تجربة الشقين"، والتي كما قال ريتشارد فاينمان بحق، أنها لخصت في حد ذاتها جوهر الغرابة الكمومية، تُظهر في النهاية أنه، بالنسبة للضوء وكذلك لأي جسم آخر في النطاق المجهرى و ما دون المجهرى ، هذان النهجان مبسطان وغير كافيين و يجب حتميا تجاوزهم.

لإقناع أنفسنا بهذا، تخيل آلة تقذف الكريات باتجاه جدار مثقوب بشقين متوازيين وقريبين من بعضهما البعض، افترض أنها تدفع جميع الكرات بنفس السرعة ولكن في أي اتجاه. بعيدًا قليلاً، لديك صناديق تستقبل الكرات التي عبرت الحائط. يتم صد معظم الفذفات بواسطة الحائط. تمر بعض الكريات من خلال الفتحة الأولى أو من خلال الفتحة الثانية، إما مباشرة أو مرتدة على أحد الحواف. إذا قمنا بعد رمي عدد كبير من الكرات بحساب تلك التي تم استردادها في كل صندوق، نحصل على على تجربة V للفتحتين بالكرات أخذ العينات الذي يشير إلى اختلاف احتمال وصول الكرات إلى موضع نقطة التأثير. إجمالي عدد الكرات في صندوق معين هو مجموع الكرات التي تم إدخالها من الفتحة 1 وتلك التي تم تمريرها من الفتحة 2. وبعبارة أخرى، احتمال P 12 أن الكرة ستصل في صندوق معين عندما تكون الفتحتان مفتوحتين. هو مجموع الاحتمال P؛ أنه يصل إلى هناك عندما تكون الفتحة 1 فقط مفتوحة (الكرات البيضاء في الشكل) والاحتمال P2. هذه الإضافة تعكس حقيقة بسيطة. للوصول إلى مربع معين، يُعرض على الكرة احتمالان، واثنان فقط: إما أن تمر عبر الفتحة اليمنى أو عبر الفتحة اليسرى. دعنا نكرر نفس التجربة مع الأمواج، هذه المرة، على سبيل المثال الموجات على سطح الماء. يتحول الجدار، المثقوب بشقين، إلى سد مفتوح في مكانين، ويتم استبدال الصناديق بعوامات ترتفع وتنخفض وفقًا لإيقاع الأمواج. دعنا نترك الفتحة 1 مفتوحة ونبقي الفتحة 2 مغلقة. سعة التذبذب للعوامات المختلفة.

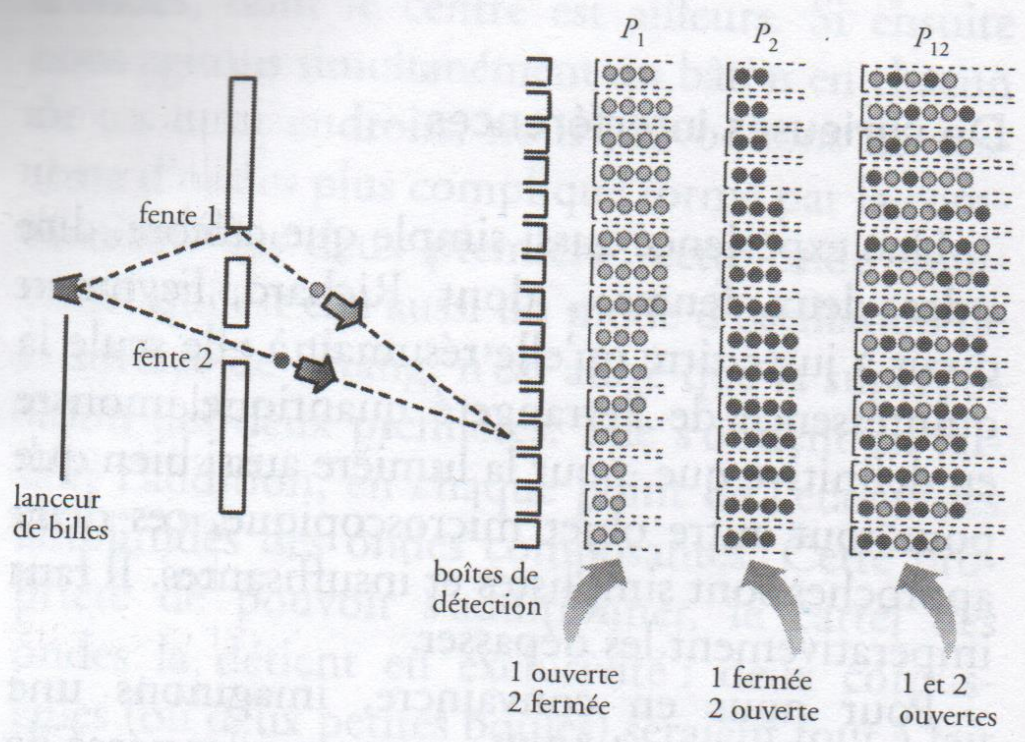
إذا تخيلنا أن الجسيمات عبارة عن جزيئات، فإننا نتوقع أن نجد نفس النتيجة كما في الخرزات. لكن، المفاجأة، أن المرء سوف يلاحظ على الشاشة التداخلات، توقيع لسلوك موجي! دعونا نخفض شدة المدفع بحيث تخرج الإلكترونات واحدة تلو الأخرى، يتم فصل كل منها (في الوقت المناسب) عن الانبعاث والتأثيرات السابقة والتالية. ثم نرى أن كل إلكترون يتم التقاطه في نقطة معينة من الكاشف. لم "ينتشر". وبالتالي فإن هذه الظاهرة ليست متموجة بحتة. يعطي كل تأثير جديد يحدث على الشاشة مصداقية لفكرة أن الإلكترونات هي عضلة القلب. لكن كن حذرًا! دعونا نحرص على عدم الاستنتاج بسرعة كبيرة، لأنه شيئًا فشيئًا، مع تراكم تأثيرات الإلكترون، يتم إعادة بناء نظام هامش التداخل على الشاشة الذي حصلنا عليه عندما كانت الإلكترونات قد أرسلت بأعداد كبيرة. لذلك فهي ليست جسيمات بسيطة، لأنها تشكل

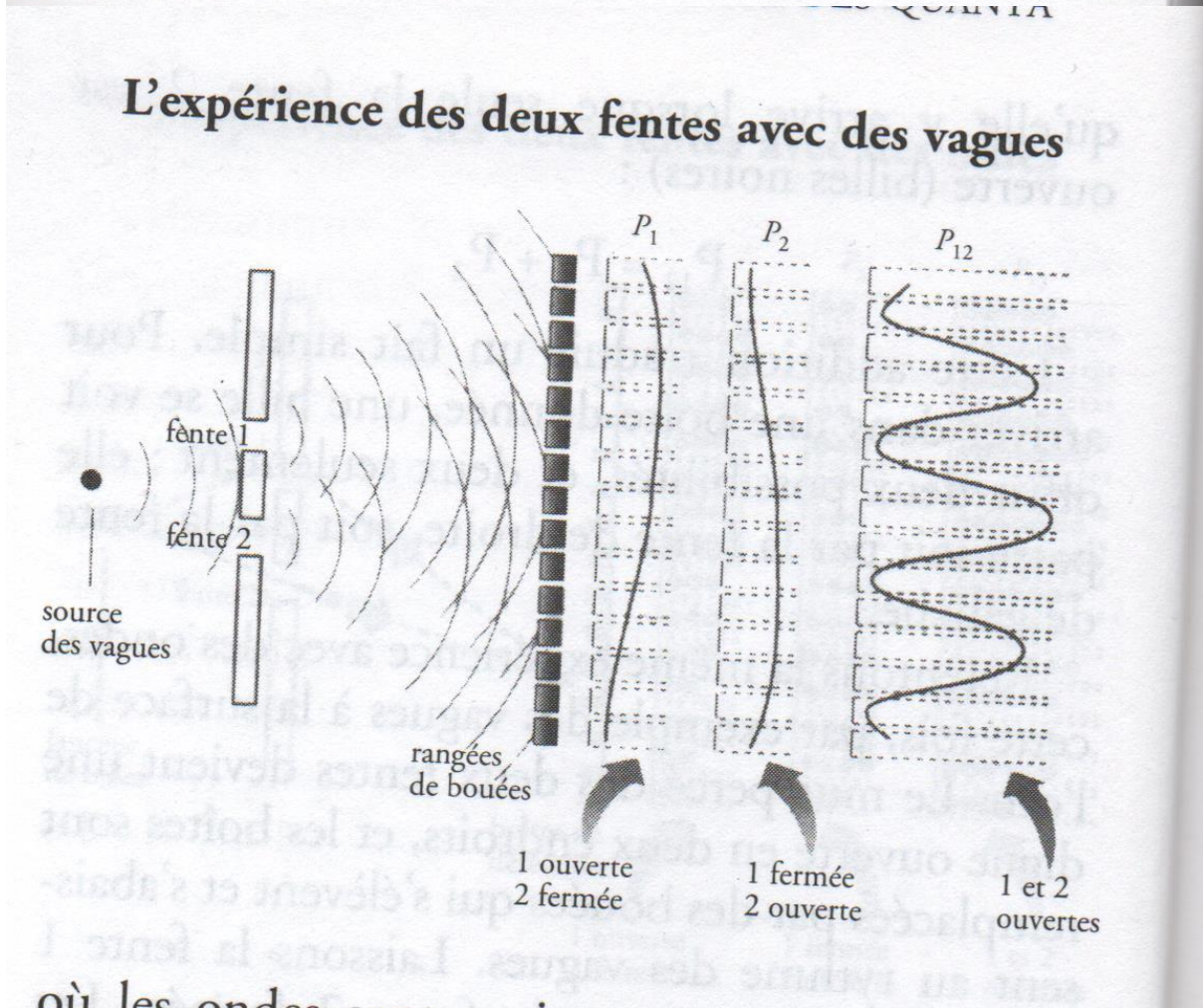
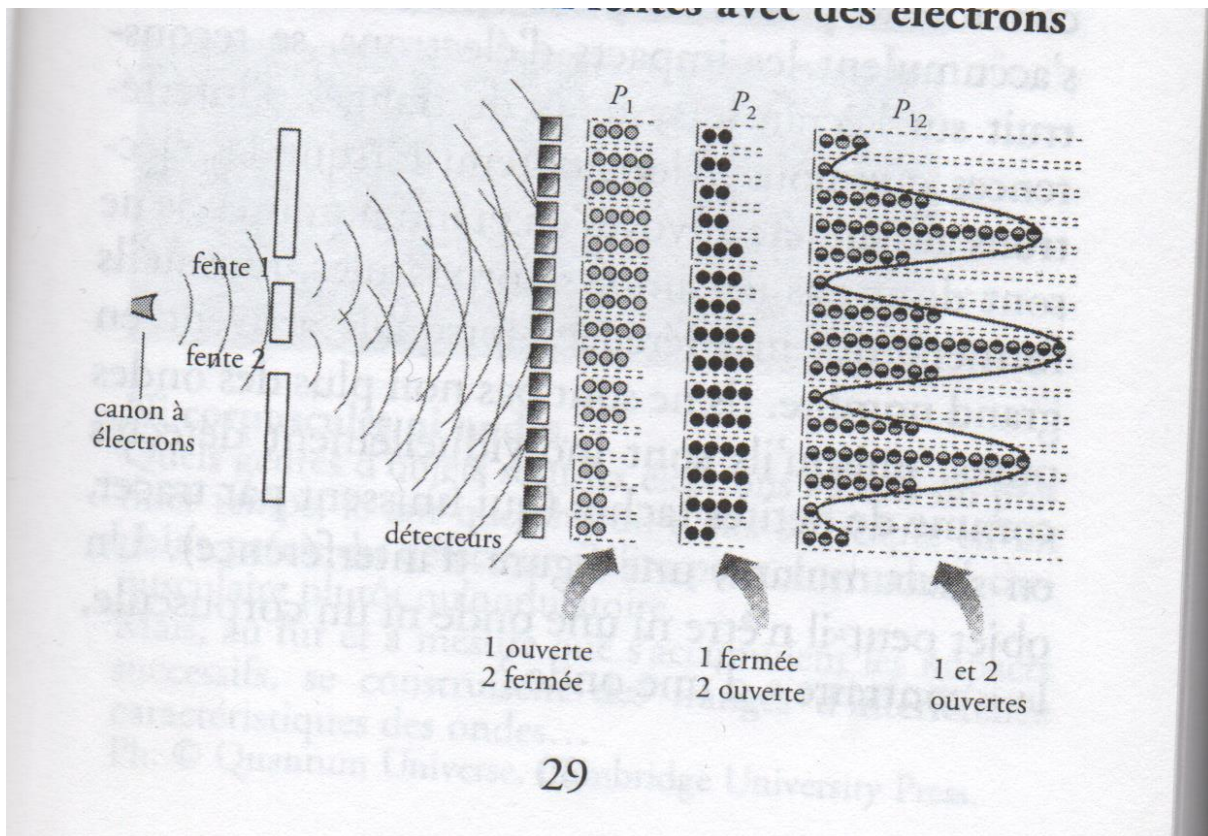
تداخلاً عندما تصل بأعداد كبيرة. إنها ليست موجات نقية أيضاً، لأنها مرمية بشكل فردي باعتبارها نقاط صغيرة (والتي تنتهي بالتتابع، عن طريق التراكم، رقم التداخل). هل يمكن ألا يكون الجسم موجة ولا جسيماً، "عكس" الموجة؟ أي لا كريبات ولا موجات. ما هي أنواع الأجسام الإلكترونية؟ في البداية، حقيقة أن كل واحد منهم يتم التقاطه في نقطة محددة من الكاشف يناضل من أجل طبيعة جسيمية بدلاً من موجة. ولكن مع تراكم التأثيرات المتتالية، يتم بناء هامش التداخل المميز للموجات ... نظراً لأننا نرسل الإلكترونات الإلكترونية واحدة تلو الأخرى، فهذه ظواهر مستقلة عن بعضها البعض. كان كل إلكترون جسيماً، ولا ينبغي بالضرورة أن يمر عبر أحد الشقين، وحقيقة أن الآخر مغلق أو مفتوح لا ينبغي أن يؤثر على سلوكه.

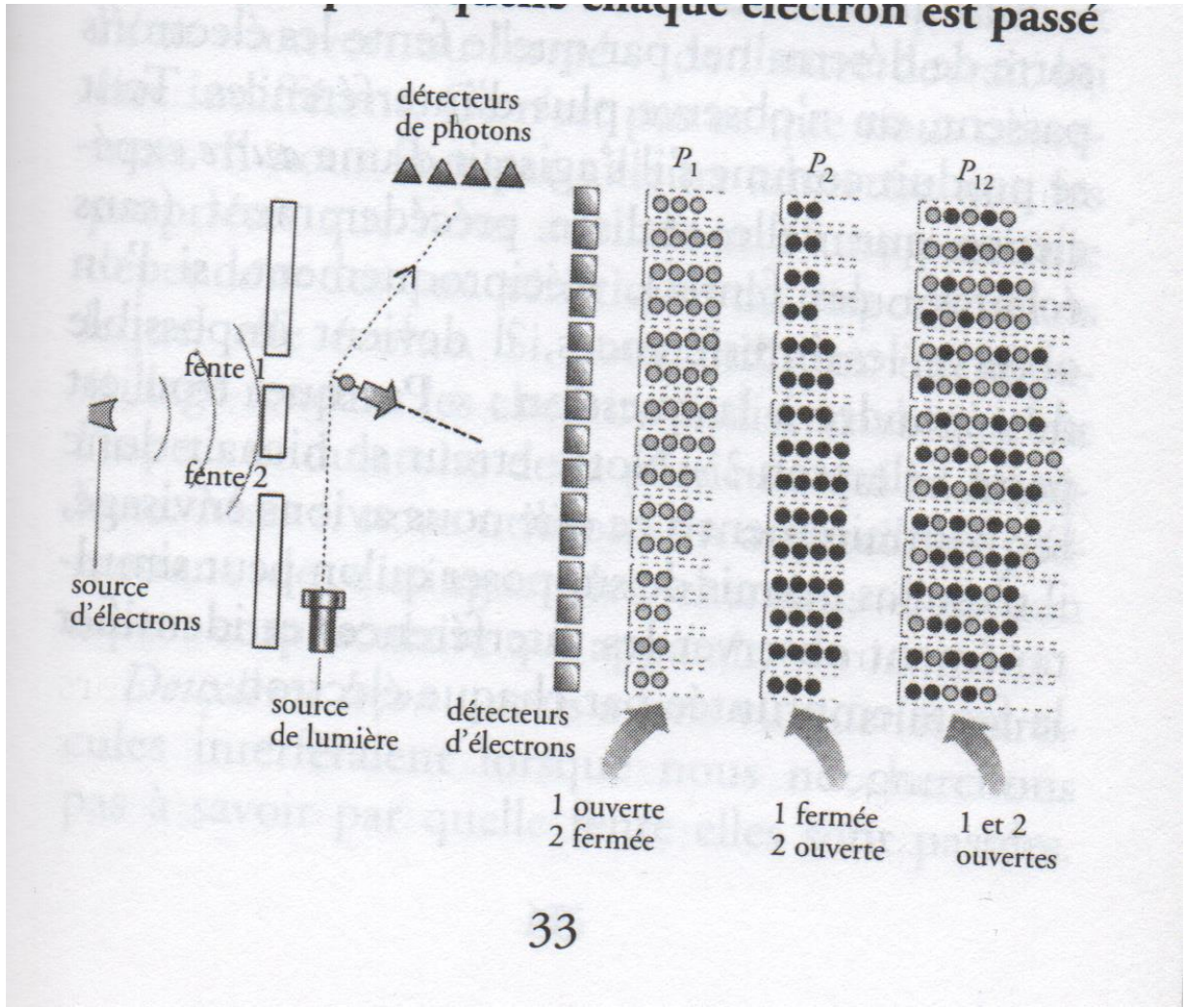
إذا كانت هذه الفرضية صحيحة، فيمكننا بعد ذلك، عن طريق التفكير، فصل الإلكترونات إلى مجموعتين مختلفتين تماماً: على جانب، تلك التي تمر عبر الشق 1، على الجانب الآخر، تلك التي تمر عبر الشق الثاني. أولاً، يجب أن يحدث كل شيء كما لو كانت الفتحة 2 مغلقة، والعكس صحيح. لذلك يجب أن يكون هناك في أي وقت عدد من الإلكترونات يساوي مجموع عدد تلك التي تم تمريرها عبر الفتحة 1 وعدد الذين مروا عبر الفتحة 2، ولكن هل كانت إحدى نقاط تفكيرنا خاطئة؟ في التجربة السابقة، لم نتمكن من تحديد الشق الذي يمر به كل إلكترون. دعونا نأخذها مرة أخرى، ولكن من خلال التركيز على تحديد الشق الذي يمر من خلاله كل إلكترون. لذلك دعونا نضع مصدرًا للضوء خلف اللوحة ونرتب، عندما يمر الإلكترون عبر شق، يتم الكشف عن الضوء القادم من الشق المعني. بفضل هذا الجهاز يمكننا تمييز الإلكترونات:

منذ ذلك الحين تظهر الحواف المظلمة في أماكن معينة وهي مناطق كثيرة جداً أولئك الذين مروا من خلال الشق الأول، باللون الأسود، يمر من خلال الشق الثاني. دعونا أولاً نغلق الفتحة 2. توزع الإلكترونات (البيضاء) نفسها كما تفعل الخرزات. ثم نغلق الشق 1 ونعيد فتحه 2. يتم توزيع الإلكترونات (السوداء) بشكل متماثل بالنسبة للإلكترونات البيضاء. الآن لنفتح الشقين. والنتيجة لم نعد نلاحظ التداخلات! كيف نفسر ذلك؟ إذا كنا نريد أن نعرف كيف يمر كل إلكترون من خلال الشق، نجد سلوكاً مطابقاً لسلوك الكرات. إذن ما هو الإلكترون، هل هو موجة أم جسيم؟ دعونا نلخص بهدوء. إذا تأكدنا من تحديد الشق الذي تمر به الإلكترونات، فلن نلاحظ التداخل بعد الآن. يحدث كل شيء كما لو كان تجربة أخرى غير تلك التي أجريت سابقاً (بدون إضاءة الشقوق). بالمقابل، إذا لاحظنا التداخلات، يصبح من المستحيل الإجابة على السؤال: "من أي ثقب مر الإلكترون؟" لذلك كان خطأنا متداخلاً هناك: على عكس ما كنا نتخيله، لا يُسمح بافتراض أنه يمكننا في نفس الوقت مراقبة التداخلات وتحديد الشق الذي يختاره كل إلكترون.

L'expérience des deux fentes avec des billes







دروس من التجربة:

نتائج هذه التجربة ذات الشقين عالمية. تنطبق على جميع الكيانات التي تسمى تقليدياً "الجسيمات" ، سواء كانت ضوءاً (فوتونات *) أو مادة (إلكترونات ، بروتونات ، نيوترونات * ، ذرات ، إلخ). لذلك من المهم تجميع الدروس الرئيسية.

الدرس الأول: لم يعد بإمكاننا تخيل أن جسيم التجربة هو شيء أو جسم صغير لأن هذا التمثيل يؤدي إلى تناقض غير قابل للاختزال. يجب أن يمر الجسم عبر أحد الشقين للجهاز، ويجب أن تكون حالة الآخر - المفتوحة أو المغلقة - غير مبالية به. ولكن ليس هذا ما نلاحظه. يجب أن نعتزف أيضاً بأن الخصائص التي ننسبها إلى الجسيم تعتمد على خصائص الجهاز الذي يعمل فيه. إذا استخدمنا جهازاً يجعل المسارات غير قابلة للتمييز، فإن الجانب الموجي للجسيم يكون واضحاً. ولكن إذا استخدمنا جهازاً يجعل من الممكن تمييز المسارات، فإن جانبه الجسدي أو الجسيمي هو الذي يظهر.

الدرس الثاني: لقد رأينا أن الجسيمات تتدخل عندما لا نسعى لمعرفة الشق الذي تمر من خلاله. خلاف ذلك، يتم محو شكل التداخل. نظراً لأنه غير ممكن، للوهلة الأولى، ترجمة هذا ببدون الكلمات التقريبية، ولنقل أن الجسيمات كانت كما لو إنها "مضطربة"، أو "منزعج" من هذا التدبير، أي من القياس. بتعبير أدق، يبدو أن المقياس قد "حدد" مسارها بمعنى أنه فرض مرورها من خلال شق واحد. وهكذا يظهر أي قياس كتفاعل بين الجسم المجهرى الذي يتم إجراء هذا القياس عليه وجهاز القياس نفسه (وهو نفسه

ماكروسكوبي). يمنعنا هذا التفاعل من التمييز بين ما هو مناسب للجسم المقاس وما هو مناسب لجهاز القياس، كما لو لم يعد من الممكن فصل خصائص الجسيمات عن ظروف ظهورها.

من نصوص نيلز بور، أحد الآباء المؤسسين لفيزياء الكموم، ظهر بديل أكثر جذرية لهذه الفكرة. ووفقاً له، فإن الأجسام الكمومية ليس لها سمات محددة. هي كيانات بحكم الواقع لا يمكن فصلها عن ظروف المراقبة الخاصة بها:

وكما يكتب نيلز بور ، إن النقطة الحاسمة ، موجودة هنا لنحظى بها وأن أدرك أن أي محاولة محكوم عليها بالفشل ، والتي من شأنها أن تهدف إلى التحليل باستخدام أساليب ومفاهيم الفيزياء الكلاسيكية يشير إلى "فردية" العمليات الذرية التي تنتج عن وجود كمومية الفعل ، وهذا لأنه من المستحيل الفصل بوضوح بين سلوك غير مضطرب للأجسام الذرية من تفاعلها مع أدوات القياس التي لا غنى عنها لهذا التحليل 1 • "

هذه المفاهيم لعملية القياس كانت غائبة عن الفيزياء التقليدية. لقد اعتاد الفيزيائيون بالفعل على فكرة أنه من الممكن دائماً تصميم أجهزة قياس يكون تأثيرها على النظام منخفضاً بالقدر الذي نريده: عند إدخال مقياس حرارة بارد في سائل ساخن، يبرد قليلاً (درجة حرارته أقل بعد القياس عن ذي قبل). ولكن نظراً لأنه يمكننا، من حيث المبدأ، حساب هذا التباين، فيمكننا أيضاً حذفه بطرح بسيط. ومن هنا جاءت الفكرة القائلة بأن المقياس، مهما كان، يسجل موضوعياً شيئاً ما "موجود بالفعل"، دون تعديل خصائصه: وبالتالي لن يكون له سوى علاقة سلبية بالواقع، المحتوى لتعمل عليه عملية نقل بسيطة. أجبرتنا الفيزياء الكمومية على إعادة النظر في هذه الحيادية المزعومة لعملية القياس، لأن نوع الحساب الذي ذكرناه فيما يتعلق بميزان الحرارة مستحيل بالنسبة لها. عندئذ ماذا سيعني أن يتحدث عن خصائص الشيء المجهرى أو دون المجهرى طالما لم يجرى عليه أية عملية قياس أو رصد ومراقبة وهذا ينطبق على كل الأشياء التي لا يمكن قياسها أو ملاحظتها ، لا شك أن القارئ سمعها مرتبطة بطريقة أخرى في اليوم الذي تساءل فيه عما إذا كانت لمبة ثلاثية قد انطفأت بالفعل في حال عدم إغلاق باب الثلاجة. ولكن هنا تكتسب أهمية جديدة.

الدرس الثالث: التجربة تبدو بالضرورة جزئية ومكتملة. إن طرائقها العملية تحدد الشروط التي تحدد مجموعة من الظواهر المحتملة. يمكن لجهاز القياس أن يظهر قيمة معينة، ولكن ليس قيمة أخرى. إذا طرحنا سؤالاً ذا طبيعة متموجة على جسيم، على سبيل المثال من خلال جعله ينحرف عبر الشقوق، فإن إجابته ستكون ذات طبيعة موجية: سنحصل على تداخل (حتى لو كانت نقاط التأثير التي تبني هذه التداخلات تدريجياً تمنعنا من نسيان الجانب الأساسي تماماً). إذا طرحنا عليه سؤالاً جوهرياً بمحاولة اكتشافه باستخدام شاشة فلورية، على سبيل المثال، ستكون إجابته في الوقت نفسه كموجة وكجسم، ولكن يبدو أنه من الضروري استدعاء هاتين الصورتين، حتى لو كان ذلك يعني الجمع بينهما، لترجمة جميع نتائج التجارب الممكنة.

الدرس الرابع: مفهوم المسار، والذي هو أمر أساسي في الفيزياء الكلاسيكية، ينهار عملياً. في الواقع، عند مراقبة التداخلات، لا يمكننا تحديد مسار الجسيمات بين المصدر والشاشة. ولا يمكننا القول من خلال أي شق مرت الجسيمات من خلاله. لذلك من المستحيل بالنسبة لنا الادعاء بتتبع الجسيمات بشكل فردي ومستمر في الفضاء. تظهر فقط هنا وهناك أثناء القياس، أي عندما يتم اكتشافها بواسطة جهاز مصمم لإجراء هذا الاكتشاف. ليس من الممكن حتى تخصيصها بالتفكير، في الفترة الفاصلة بين قياسين، مسار محدد جيداً، أي تخيلهم يحتلون في كل لحظة مكاناً محدداً. الدرس الخامس: ربما تكون جسيمات التجربة قد انبعثت جميعها في ظل ظروف متطابقة، ولا نعرف مقدماً على وجه اليقين أين سيصطدم كل منها بالشاشة. هنا يتم اختزال الفكرة الكلاسيكية التي بموجبها تكون الظروف الأولية والقوى المعنية كافية لتحديد الحركة اللاحقة للجسيم إلى لا شيء. لذلك، لا شيء يضمن أننا سنكون قادرين على حساب أي

شيء بخلاف الاحتمال، بالنسبة للجسيم، لإظهار نفسه في هذا المكان أو ذلك على الشاشة. هل ينبغي التخلي عن الحتمية الكلاسيكية على المستوى المجهري؟ لنكرر مرة أخرى إن جميع الجسيمات، سواء كانت من الضوء أو المادة، تظهر أحياناً جوانب موجية، وأحياناً جوانب جسمانية، لكنها ليست موجات ولا جزيئات. كيف نفسر هذا الغموض الهائل؟ المسار الأول، الذي طوره وجادل فيه نيلز بور في عام 1927، يتكون من القول بأن الموجة والجوانب الجسدية للأجسام الكمومية متكاملة. هذه الفكرة، التي يصعب فهمها بالفعل، استندت إلى فكرة أن أشكال التعبير عن الفيزياء الكلاسيكية لا مثل لها عندما يتعلق الأمر بحساب نتائج ... فيزياء الكموم. سرعان ما أصبحت النقطة المحورية للمناقشات في ذلك الوقت حول تفسير فيزياء الكموم، مما أدى إلى تقسيم جميع الآباء المؤسسين لها: ماكس بلانك، وإروين شرودينغر، وألبرت أينشتاين، ولويس دي برولي عارضوا ذلك؛ بينما قبلها فيرنر هايزنبرغ، وولفغانغ باولي، وماكس بورن، وبول ديراك - على الأقل لبعض الوقت - بحماس أكثر أو أقل.

بم يتعلق الأمر؟ يفسر التكامل سبب عدم إمكانية التعبير عن الظواهر الفيزيائية بشكل كامل من خلال صورة الموجة أو صورة الجسيم. عليك استخدام كليهما في نفس الوقت. هذان التمثيلان بالطبع غير متوافقين منطقيًا، لكن ليست هذه هي مشكلة، لأنهما دائماً يتوافقان مع مواقف تجريبية مختلفة. وفقاً لنيلز بور، فإن معنى المفهوم المادي ليس مطلقاً. لا يمكن تعريفه إلا من خلال الخبرة الملموسة التي تحدد وحدها ما إذا كان من الممكن استخدام مفهوم معين لوصف علوم الكمبيوتر أم لا، والتي تم الحصول عليها. وبالتالي، فإن تعريف المفهوم لا يكون عملياً فقط، بحيث لا يكون المرء حراً في استخدام مفهوم محدد من خلال تجربة ملموسة لمراعاة أي تجربة أخرى دون قيود. لنعد إلى تجربة الشقين: إذا لم نقيس الشق الذي يمر به كل إلكترون، فإن مفهوم الموجة محدد جيداً ويظهر شكل التداخل؛ ولكن إذا أضفنا جهازاً يجعل من الممكن معرفة الشق الذي تمر عبره الإلكترونات، فسيتم تعريف مفهوم المسار جيداً، لكن أطراف التداخل تصبح غير واضحة حتى تختفي، ولم يعد بإمكاننا، في هذه الحالة، استخدام مفهوم الموجة، حيث لم يعد معناها واستخدامها محددًا بهذه التجربة. وهكذا يبدو أن مفهومي الموجة والجسيم غير منفصلين ومتعارضين: لا توجد إمكانية لتحديد معناه من خلال تجربة واحدة ولا يمكن للمرء أن يجمعهم في فئة واحدة. لكن هذين المفهومين للفيزياء الكلاسيكية ضروريان لاستنفاد جميع أنواع المعلومات التي يمكننا الحصول عليها حول كائن كمي باستخدام أجهزة قياس مختلفة. وينطبق الشيء نفسه على الموجة والجسيم، وهما الفئتان الوحيدتان اللتان تعرفهما الفيزياء الكلاسيكية. الأجسام الكمومية لها سلوكيات تتجاوز هذا التصنيف. لا موجات ولا جسيمات، بل هي "شيء آخر": منتشر في الفضاء طالما لم يتم قياس موضعه، يبدو أنه في مكان جيد عند إجراء القياس. وبالتالي، فإن مزج جوانب الموجة والقطب القلبي دون اختزالهما إلى أي من هاتين الفئتين، فقد لعبا نفس الدور في الفيزياء الكلاسيكية مثل خلد الماء في تصنيف الأنواع.

لكن الفيزياء ليست مجرد مسألة كلمات وقياسات. علاوة على ذلك، إذا كانت نسختها الكمومية تتوافق جيداً مع ثورة مفاهيمية (أي باختصار، إذا كان العالم الصغير للكميات هو بالفعل عالم جديد حقيقي)، فإننا نشك في أننا لن ننجح للتعبير عن الملح من خلال تغيير طريقة استخدامنا للمفاهيم الكلاسيكية. في الواقع، في قلب المنطقة الكمومية، فإن الصور الكلاسيكية، حتى المرتبطة حديثاً ببعضها البعض، تفقد بالفعل كل أهميتها. فلا يكفي إعادة لمس بسيطة للعلاقات المتبادلة بينهما، مهما كانت دقيقة. بالإضافة إلى ذلك، يجب إظهار الإبداع من أجل ابتكار، إن لم يكن منطقاً جديداً، فعلى الأقل مفاهيم جديدة، تلك التي تمتلكها فيزياء الكموم في حد ذاتها، وبالتالي لا يوجد نظير لها في الفيزياء الكلاسيكية. لذلك دعونا نطرح السؤال: كيف نمثل الأشياء الكمومية رياضياً؟

1. نيلز بور ، الفيزياء الذرية والمعرفة البشرية ، Gonthier-Mediations ، 1964 ، p. 34 .