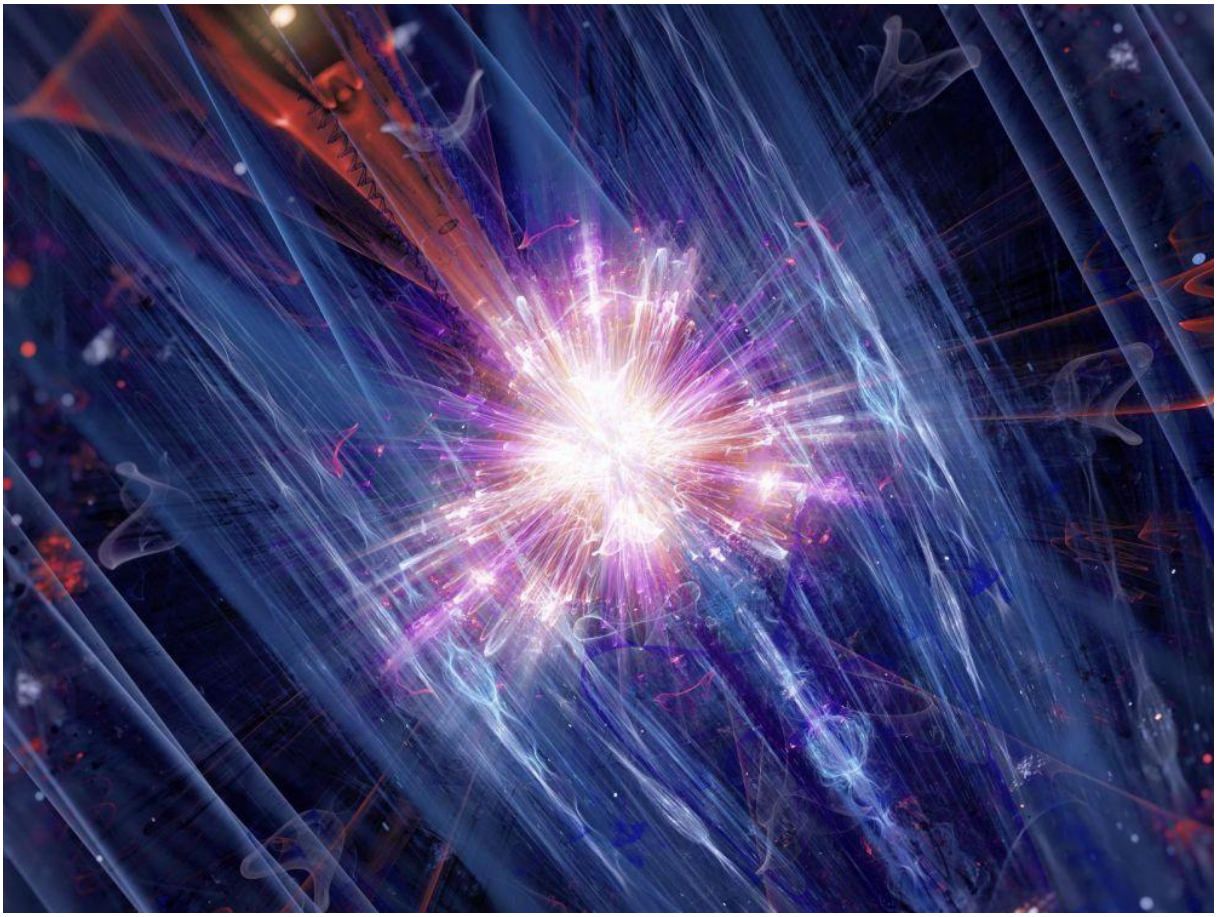
الكون الكمومي أو الكوانتي 8-10

أو

حكايات الكوانتوم الغرائبية 8

إعدادا وترجمة د. جواد بشارة

مع ميكانيكا الكموم،



اتفقت آراء العلماء على نطاق معين، بإن ميكانيكا الكموم ستكون هي النظرية الصحيحة. لكن دون هذا الحد، فإن كل ما نعرفه عن ميكانيكا الكموم سيظل صحيحًا. لذا فإن نفس الأسئلة والتفسيرات الفلسفية ستستمر في شغلنا.

لكل. ستظل هناك عوالم متعددة للإلكترونات والذرات - لكن ليس للقمر! لذلك لن يحل ذلك كل المشاكل، لكنه سيجعل الأمور أكثر غرابة ". نماذج مثل تلك الخاصة بالتوطين التلقائي المستمر ليست سوى جهود لتوحيد هذين العالمين.

في أوائل السبعينيات، اقترح هاينز ديتر زيه، الأستاذ الفخري بجامعة هايدلبرغ بألمانيا، عملية تعطي مظهر الاختزال مع الحفاظ على التعدد الكمومي لدالة الموجة.. يجادل هاينز أنه في العالم الحقيقي، تصبح

دالة الموجة لأي جسيم مرصود متشابكة مع دالة أي شيء في بيئته، مما يجعل من المستحيل تتبع التفاعلات الكمومية التي لا حصر لها والتي تحدث حولها. عندها تصبح دالة الموجة داخلية ومعقدة والتي تستمر في التوسع. ستيفن أدلر كان أكثر صراحة بقليل حول فك الترابط: "إنه لا يوفر أي آلية [للتقليل] ولا يحل المشكلة.

قبل ستين عامًا، اقترح طالب دكتوراه في جامعة برينستون: حلاً أكثر جذرية لمشكلة التخفيض أو الاختزال. في أطروحته عام 1957؛ أوضح هيوغ إيفريت أن الدالة الموجية لا تقلل أو تخضع لفك الترابط. على العكس من ذلك، فإن جميع مكوناتها حقيقية ماديًا، وتشكل أجزاء من مجموعة كاملة من الأكوان ذات التشعبات اللانهائية. أصبحت "نظرية الأكوان المتعددة" هذه شائعة بين علماء الكونيات، الذين لديهم أسباب أخرى للاعتقاد بأننا نسكن في كون متعدد. لكن لم ينجح أحد على الإطلاق في إجراء الاختبار التجريبي لهذه النظرية الثورية.

إجراءات خاصة:

يمكن للمراقب، الذي لا يلتقط سوى جزء من العالم الكمومي، أن يأمل فقط في رؤية جزء صغير من هذا النظام الهائل المتشابك. وبالتالي، فإن قياسًا معينًا لا يسلط الضوء إلا على جانب معين من الكون الكمومي.

تبنى الفيزيائيون فك الترابط بسرعة لشرح سبب عدم إدراكنا للظواهر الكمومية على المستوى العياني. والكل يحاول أن يصف انهيار دالة موجية سليمة لأخذ فكرة واضحة عن عوالم متعددة ومتميزة عن واقعنا الحياتي الملموس الذي تراه النسبية العامة وتعقده نظرية الكموم القياسية أو المعيارية.

الشيء نفسه ينطبق على التفسيرات الأخرى لميكانيكا الكموم. سعى الفيزيائي الفرنسي لويس دي برولي ، أحد مؤسسي نظرية الكموم ، إلى إزالة الحاجة إلى تقليل حزمة الموجة من خلال إدخال مفهوم "الموجات الدليلية" التي توجه مسارات الإلكترونات وجميع الجسيمات الأخرى.

في إحدى نسخ نظرية الكموم، والتي طورها الفيزيائي الأمريكي ديفيد بوم في الخمسينيات من القرن الماضي، لا يوجد اختزال غامض. تُظهر القياسات ببساطة تفاعلات الموجات الدليلية والجسيمات المرتبطة بها. (والذي يتضمن جميع الحالات الفيزيائية المحتملة التي يمكن أن يمتلكها الجسيم) عندما يتفاعل مع تلك الأنظمة الكمومية المجاورة الأخرى. إذا كان هذا النموذج صحيحًا، فإننا نعيش في منتصف هذه الشبكة الكمومية المتشابكة التي لا نرى سوى جزء منها. ولكن، مرة أخرى، لم يتمكن أحد من إثبات ذلك بشكل تجريبي. ونفس الشيء ينطبق على نظرية الموجة التجريبية للعالم الفرنسي لوي دي برولي - Louis de Broglie ودافيد بوم David Bohm - ونظرية العوالم المتعددة لإيفريت وعشرات المقاربات الأخرى لميكانيكا الكموم التي ظهرت في نفس المرحلة.

فك الترابط لا يحل المشكلة:

القياس الذي يقوم به جميع الفيزيائيين. على سبيل المثال، لا يفسر لماذا نرى خيطًا واحدًا من الويب الكمومي وليس الآخر. يوضح مايلز بلينكو ، من كلية دارتموث في الولايات المتحدة ذلك بالقول: "يجب علينا أيضًا أن نستدعي الاختزال ، والذي بموجبه يجب اختيار إحدى الحالات المتشابكة".

بالنسبة له ولغيره، لا تعكس هذه العملية تجربتنا للأشياء، لا سيما جانبها الزمني. ويضيف: "كيف ننتقل من حالة التشابك إلى تصور للعالم يتطور بمرور الوقت على طول مسار واحد؟" يعتقد العديد من

المتخصصين أنه من الضروري الخضوع لعملية اختزال لاستعادة هذه الوحدة من العالم أثناء تطوره بدلاً من هذه الشبكة.

أخيرًا، يختار الفيزيائيون وصفهم المفضل للواقع بناءً على معايير جمالية. "أعود إلى حقيقة أن لدينا عالمًا واحدًا يتطور، كما يصر مايلز بلينكو. لذلك، نحتاج حقًا إلى نوع من الاختزال، والذي سيكون أكثر من مجرد قاعدة للنتائج التجريبية، ربما سيكون عملية حقيقية للغاية ".

عوالم منفصلة:

ميكانيكا الكموم مرادف للتأثيرات الغريبة في العالم المجهري. التي لا نراها في الواقع العياني "الكلاسيكي". لماذا ا؟ لم يفهم العلماء أبدًا لماذا أو كيف يقفز الكون من عالم إلى آخر، لكن العديد من النظريات، تقدم تفسيرات محتملة.

الكموم مقابل الكلاسيكية:

وفقًا لميكانيكا الكموم، لا توجد الجسيمات في حالة محددة - في كذا وكذا مكان، لديها طاقة كذا وكذا - ولكنها موجودة في الواقع في وقت واحد في كل من هذه الحالات والمواقف. تصف هذه النظرية الجسيمات ذات الدالات الموجية، والمعادلات بأنها عبارة عن مجموعات، أو "تراكب"، من عدة موجات. مثلا، بالنسبة للموضع، تشير سعة كل قمة في دالة الموجة إلى احتمال ملاحظة الجسيم في مكان معين، هنا عند النقطة أ أو ب. عندما يأخذ العلماء قياسات على جسيم ما، يبدو أن كل الاحتمالات الكمومية تنهار.

ويحصل اختزل إلى احتمال واحد، يفترض أنه تم تحديده بشكل عشوائي. وسيكشف أن الجسيم تموضع عند النقطة (أ)، على سبيل المثال '، - التي تدخله في العالم الكلاسيكي، لأنها لم تعد موجودة في حالة من التراكب. الانهيار لدالة الموجة والقياس مترابطان. تدعي إحدى النظريات، التي تهدف إلى شرح كيفية انتقال الحال من العالم الكمومي إلى العالم الكلاسيكي، أن فعل القياس يلعب دورًا. الجسيم يمكن أن يبقى في موضع أ في حالة التراكب الكمومي (الخط المنقط الأصفر) طالما لم يلاحظه أحد. ولكن بمجرد أخذ القياس، يصبح الجسيم في حالة معينة أخرى (خطوط حمراء). كيف يحدث ذلك، ولماذا يمكن أن تكون القياسات مهمة للغاية في الفيزياء؟ يبقى الأمر لغزا، في حين ترى نظرية أخرى أن بيئة الجسيم مسؤولة عن هذا الانتقال من العالم الكمي إلى العالم الكلاسيكي.

إن الجسيم الذي لا يزعج بواسطة التأثير الخارجي، يمكن أن يظل في حالة تراكب. ولكن بمجرد أن تلتقي الدالات الموجية للجسيمات أو الأجسام المجاورة الأخرى بدالات الجسيمات الأخرى، فإنها تتداخل، مما يؤدي إلى تقليل الاحتمالات الكمومية العديدة للجسيم.

التوطين التلقائي المستمر شكل احتمالاً آخر وهو أن الحد من الدالة الموجية في خيار واحد يكون هو الاحتمال الوحيد، بيد أنه سيكون حدث عشوائي، ولن يكون ناتجًا عن القياس أو التداخل من البيئة، بل ضمن احتمالات تقلص أي جسيم في اي لحظة ضعيفة للغاية، ولكن في الأجسام العيانية التي تحتوي على العديد من الذرات، فإن اختزال واحد على الأقل من هذه الجسيمات أمر لا مفر منه، مما يؤدي إلى اختزال الهيكل بأكمله. المهارة تجعل من الممكن تخليص المرء من مشكلة القياس: فهو يتألف من افتراض أن ظاهرة الاختزال حقيقة واقعية وليس نظرية. شددت هذه التجارب القيود المفروضة على نماذج الاختزال

إلى حد كبير، ولكن ليس إلى درجة استبعاد المبدأ. في سبتمبر 2017، اكتشف أندريا فينانتي، من جامعة ساوثهامبتون بإنجلترا، مع أنجيلو باسي وثلاثة زملاء آخرين، جنينًا من الأدلة لصالح مبدأ الاختزال.

النظرية في حد ذاتها، يمكنها مساعدة الفيزيائيين على تطوير نموذج أوضح للواقع من النموذج الذي تقترحه ميكانيكا الكموم حاليًا مع حسابات ستيفن أدلر على الاختزال. يعترف ستيفن أدلر قائلاً: "أنا شخصياً أعتقد أن ميكانيكا الكموم تحتاج إلى القليل من عمليات تجميل الوجه". لا أرى مشكلة في التفكير في الأمر.

نشوئها من حزمة موجة.

يتذكرأندريا فينانت Andrea Vinante قائلاً: "كان من الممكن أن نرى ضوضاء غير مبررة هناك، بما يتفق مع ما نتوقعه من نموذج الاختزال. لكن يمكن أن يخون تأثيرًا لم نفهمه تمامًا ". يعمل مع زملائه على تحسين حساسية التجربة بعامل لا يقل عن 10 أو حتى 100. "يجب أن نكون قادرين على تأكيد وجود حالة شاذة أو، على العكس من ذلك، استبعاد الطابع المثير للاهتمام لما لوحظ". سوف يستغرق الأمر سنة أو سنتين للحصول على بيانات جديدة.

ماذا سيحدث إذا كانت إحدى هذه التجارب العلمية تؤكد ظاهرة الاختزال الكمومي؟ هل سيتم حل مفارقات النظرية؟ يقول إيغور بيكوفسكي من مركز هارفارد سميثسونيان لعلم الفلك: "إذا كان الاختزال موجودًا بالفعل، فسيتم تقسيم العالم إلى مقاييس مختلفة". بعد "أ" لم تعد كافية لتطبيقها على جسيم آخر «. ولكن يبدو في الوقت الحاضر أن ميكانيكا الكموم تفي بالغرض وتجتاز أو تنجح بجميع الاختبارات تقريباً.

صرح العالم ستيفن واينبرغ لا نرغب أن نواجه أي أزمة. المشكلة كلها موجودة في القياس والمراقبة. في الماضي، حققنا تقدمًا مستمرًا عندما واجهت النظريات القائمة صعوبات. لكن لا يوجد مثل هذا الأمر في ميكانيكا الكموم. لا يتعارض مع الملاحظات. المشكلة هي أنها فشلت في إرضاء الأفكار الفلسفية المسبقة والرجعية لأشخاص مثلي ". في كلتا الحالتين، لا يهتم معظم العلماء بـ غرابة ميكانيكا الكموم. واستمروا في استخدام النظرية في أجهزتهم التجريبية، أو مصادمات الذرة أو كاشفات المادة المظلمة، ونادرًا ما يتوقفون عن التفكير فيما تقوله ميكانيكا الكموم - أو لا تقوله - فيما يتعلق بالطبيعة والواقع.

يقول ستيفن واينبرغ: "أعتقد أن غالبية الفيزيائيين لديهم موقف صحي للغاية، من خلال الاستمرار في استخدام النظرية، ودفع حدود معرفتنا، وترك الأسئلة الفلسفية للأجيال القادمة". ومع ذلك، لا يخطط عدد منهم للانتظار كل هذا الوقت. يعلق أنجيلو باسي: "سيخبرك البعض أن ميكانيكا الكموم علمتنا أن العالم غريب وأنه يجب علينا قبوله". أنا أرفض القيام بذلك. إذا كان هناك شيء غريب، فنحن بحاجة إلى التأكد من فهمنا له بشكل أفضل " بالتأكيد، تصف فيزياء الكموم بشكل مثالي مجموعة كبيرة جدًا من الظواهر الطبيعية. لا تتردد، بطبيعتها الاحتمالية الأساسية، والمفاهيم الغريبة التي تنقلها، مثل اللاحتمية، التراكب والتشابك، والازدواجية، موجات الجسيمات، قطة شرودنغر، مبدأ اللادقة أو عدم اليقين، اللامكانية، واللامحلية، وما إلى ذلك، من مشكلات خطيرة بالنسبة لأي شخص يريد أن يفكر في معناها الأعمق. في الواقع، قوانين فيزياء الكموم تتحدى فكرتنا عن الواقع المادي اليومي، وهي ليست معنية به، وهي راضية عن كفاءتها غير العادية، لكن آخرين يتساءلون عنها. تفسير لمنحه. هناك العديد من الفرضيات معرضة للمراجعة أو الطعن والاعتراض والدحض، ولكن كيف نقرر. يمكننا اختبارها من خلال التجارب الفكرية، ولكن أيضًا من خلال مجموعات معملية حقيقية. ماذا لو لم تكن الجاذبية كمومية وظلت كلاسيكية

بطبيعتها. هذا من شأنه أن يفسر فشل محاولات بناء نظرية كمومية للجاذبية تكون صلدة وأنيقة. عندها سيكون من الضروري إعادة التفكير في أسس فيزياء الكموم. يعتقد معظم علماء الفيزياء أنه لا يمكن التوفيق بين فيزياء الكموم والنسبية العامة إلا في سياق نظرية الجاذبية أو الثقالة الكمومية. لم يتم الحصول على السبل الرئيسية للوصول إلى ذلك من خلال نظرية الأوتار أو الجاذبية الكمومية الحلقية التي لم تعط نتائج مرضية.

بالنسبة لكارلو روفيلي، من مركز الفيزياء النظرية في لومينى، بالقرب من مرسيليا، فإن "مشكلة الجاذبية الكمومية ليست أقل من مشكلة إيجاد وصف متماسك جديد للعالم، والذي سيؤدي أخيرًا إلى ثورة علمية للعالم قبل انتهاء القرن الحادي والعشرين. الثورة المعنية هي ثورة مجيء فيزياء الكموم والنسبية العامة في القرن العشرين. لقد غيرت هاتان النظريتان نظرتنا إلى العالم، من اللامتناهي في الصغر إلى اللامتناهي في الكبر. لكن الجمع بينهما في "وصف متماسك جديد" لا يزال بعيد المنال. حتى الآن، كانت جميع المحاولات لتطوير نظرية كمومية للجاذبية، أو "الثقالة الكمية"، مخيبة للآمال. لكن هل هذا التوليف ضروري حقًا؟ وإذا كان الأمر كذلك، فهل الجاذبية الكمومية هي الطريقة الوحيدة لتحقيق ذلك؟ يستكشف الفيزيائيون سبيلًا آخر يتكون من التوفيق بين النسبية العامة وفيزياء الكموم دون فرض صيغة كمومية للجاذبية.

لتحقيق ذلك، عليهم إعادة التفكير في أسس فيزياء الكموم. خلال النصف الثاني من القرن العشرين، أدى ذلك إلى تطوير نظرية المجال الكمومي، والتي تدمج "النموذج القياسي أو المعياري لفيزياء الجسيمات" مع جزء من النسبية في كل متماسك، أي ثلاثة من التفاعلات أو القوى الأربعة الجوهرية التي تسير الكون المرئي وهي: الكهرومغناطيسية، التي تعمل بين الفوتونات والجسيمات التي تتمتع بشحنة كهربائية ، والتفاعل النووي القوي الذي يضمن تماسك البروتونات والنيوترونات في النواة الذرية ، والتفاعل النووي الضعيف الذي يتجلى بشكل خاص في النشاط الإشعاعي بيتا. في حين تم وصف التفاعل الأساسي الرابع أو القوة الكونية الجوهرية الرابعة، أي الثقالة أو الجاذبية، بنظرية أخرى مختلفة تمامًا، وهي النسبية العامة، التي قدمها ألبرت أينشتاين في عام 1915. في هذه النظرية، تتفاعل المادة والزمكان لإعطاء ما نعتبره قوة الجاذبية: المادة (والطاقة) منحنيات الزمكان وحركته في المقابل محددة. من خلال "ارتياح" الزمكان.

النسبية العامة مفيدة في المواقف التي تهيمن فيها الجاذبية، أي بشكل أساسي في الفيزياء الفلكية وعلم الكونيات. أما فيزياء الكموم، وبشكل أكثر دقة النموذج القياسي أو المعياري للجسيمات، فهي أكثر قابلية للتطبيق في المواقف التي تكون فيها الجاذبية ضئيلة مقارنة بالقوى الأخرى، وهذا هو الحال في التجارب التي أجريت في مسرعات الجسيمات.

نظريات غير متوافقة:

وهكذا، في المستوى الأساسي، يبدو أن الكون المرئي محكوم بميكانيكيتين متميزتين، مجموعتين من قوانين غير متوافقة بداهة، لذلك تختلف مفاهيم هذه النظريات وأجسامها. هاتان النظريتان فعالتان بشكل لا يصدق في مجالات تطبيق كل منهما. لكن لا يبدو أن النسبية العامة وفيزياء الكموم يمكن استخدامهما في وقت واحد، على الأقل ليس بدون تعديل. ماذا يحدث، على سبيل المثال، في حالة تكون فيها التأثيرات الناتجة عن فيزياء الكموم كبيرة، لكن قوة الجاذبية هي المهيمنة؟ الجواب البسيط هو أننا لا نعرف. ليس لدينا حتى إطار نظري مناسب لفهم ذلك.

الحالات التي فيها كلا فيزياء الكموم والنسبية العامة نادرة في الطبيعة. لذلك ليس لدينا نتائج تجريبية لإخبارنا بما يحدث هناك. هذا الموقف يرجع إلى حقيقة أن الجاذبية قوة ضعيفة للغاية، والتي تهيمن على الثلاثة الأخرى فقط للأجسام الضخمة والكبيرة. ومع ذلك، تميل التأثيرات الكمومية إلى أن تصبح غير واضحة عندما يزداد حجم الأشياء التي يتم النظر فيها.

ومع ذلك، هناك حالتان على الأقل تحفزان البحث عن نظرية كمومية للجاذبية أو نظرية الثقالة الكمومية. بدون مثل هذه النظرية، التي على ما يبدو هي ضرورة أولوية، يبدو من المستحيل معرفة ما حدث في بداية الكون.

من المستحيل معرفة ما حدث في وقت الانفجار العظيم، أو حتى معرفة مايحدث في مركز الثقوب السوداء. في هاتين الحالتين، حيث تكون الجاذبية قوية جدًا، تتنبأ النسبية العامة بوجود متفردات أو فرادات، أي كميات فيزيائية غير محدودة. إنها إشارة واضحة إلى أن هذه النظرية غير كافية، من تلقاء نفسها، لوصف هذه المواقف. لذا فإن تأثيرات فيزياء الكموم مهمة ويجب أخذها في الاعتبار.

كيف إذن يمكننا بناء نظرية عالمية تجمع بين فيزياء الكموم والنسبية العامة؟ أول طريق طبيعي هو "التكميم الكنسي". تجعل هذه التقنية الرسمية من الممكن إنتاج نسخة كمومية من نظرية فيزيائية لا يُعرف عنها إلا الصيغة "الكلاسيكية". في عام 1927، قدم الفيزيائي الإنجليزي بول ديراك هذه الطريقة وطبقها بنجاح على الكهرومغناطيسية. مع تنقيحاته المتتالية، أدى هذا النهج إلى تكامل التفاعلات الثلاثة غير الجاذبية داخل للنموذج القياسي أو المعياري. في عام 1967، قام العالم الأمريكي جون ويلر وحاول بريس ديويت صياغة كمومية للجاذبية باستخدام القياس الكمومي الكنسي. لكن هذا النهج لم ينجح بشكل جيد وخلق صعوبات فنية ومفاهيمية بدت أنه لا يمكن التغلب عليها. على وجه الخصوص، يصبح من الصعب فهم المفاهيم التافهة مثل الزمن أو السببية وحتى تحديدها.

دفع هذا الفشل الأول إلى نهج أكثر غرابة وتفصيلاً، مثل "جاذبية الحلقة الكمومية" أو الثقالة الكمومية الحلقية، والتي تعد تنقيحًا للنهج القانوني والذي يعتبر كارلو روفيلي أحد خبراءها، أو نظرية الأوتار، والتي تنحرف عنها بشكل جذري. هذه الأخيرة، الذي ربما يكون أكثر الطرق استكشافًا وأنجحها، كان موضوع دراسات مكثفة لمدة أربعين عامًا تقريبًا. في هذا النهج، تكون الأشياء الأساسية ليست جسيمات نقطية، بل أوتار متذبذبة صغيرة مادون مجهرية. من بين العديد من الجوانب المثيرة للاهتمام لهذه النظرية، فإن النتيجة الواعدة من وجهة نظر الجاذبية الكمومية هي أنها تصف طريقة اهتزاز (الأوتار) والتي من شأنها أن ترتبط بالغرافيتون، الجسيم الوسيط لقوة الجاذبية. عندما نفترض أنه كمومي في الطبيعة.

نظرية باهظة الثمن:

ومع ذلك، فإن نجاحات نظرية الأوتار لم تأتي مجاناً بل بثمن باهظ من خلال تعقيد رياضياتي شديد، لدرجة أن المرء لا يمتلك تعريفًا رياضياتيًا عامًا للنظرية. من الناحية العملية، يمتلك الفيزيائيون مجموعة من المقاربات التي نخمن أنها حدود النظرية الأساسية (النظرية M) التي لا يزال يتعين توضيحها. تعاني نظرية الأوتار أيضًا من زيادة المرونة. من شأن الاختيار الحكيم للشروط الأولية أن يجعل من الممكن الحصول على أي تنبؤ تقريبًا، الأمر الذي يدعو إلى التساؤل عن قابلية دحض النظرية. هذه الصعوبات تبرر اهتمامنا بسبل أخرى.

بعد كل شيء، إذا كان الوصول إلى صيغة كمومية للجاذبية أمرًا صعبًا للغاية، فقد يكون ذلك لأن الجاذبية تختلف بطبيعتها عن القوى الأخرى. لا يوجد مبدأ يمنع بداهة من بناء نظرية عالمية تتعايش فيها النسبية العامة وفيزياء الكموم مع الحفاظ على الصيغة الكلاسيكية للجاذبية. الفكرة أقل جمالية - ستكون الجاذبية حينئذ مختلفة اختلافًا جوهريًا عن التفاعلات الأخرى - لكن الكون المرئي يتجاهل شرائع الجمال لدينا. ثم نتحدث عن الجاذبية شبه الكلاسيكية ("ونقول شبه" لأن الجاذبية ليست كمومية، على عكس القوى الأخرى).

ما هي القيود التي تخضع مثل هذه النظرية؟ يجب أن تستمر في وصف قوة الجاذبية بنفس طريقة النسبية العامة، ولكن مع دقة إضافية: يجب أن تخضع المادة لقوانين فيزياء الكموم.

تصف النسبية العامة، كما رأينا، الجاذبية كنتيجة للتفاعل الديناميكي بين المادة والزمان: يحدد انحناء الزمكان حركة المادة، بينما في نفس الوقت، المادة تشوه نسيج الزمكان. في هذه الديناميكية المزدوجة، من السهل جدًا تكييف معادلات فيزياء الكموم لمراعاة انحناء معين مسبقًا: إنها نظرية الكموم للحقول في الفضاء المنحني، والتي عمل عليها ستيفن هوكينغ ، وروجر بنروز ، وروبرت والد ... منذ السبعينيات. على الرغم من أن الحسابات ليست سهلة، فقد تم استخدام هذه الشكلية في حالات حدودية مختلفة، على سبيل المثال لحساب خصائص الذرات الباردة في مجال جاذبية الأرض أو للتنبؤ بوجود إشعاع ضعيف للغاية (لم تم الكشف عنها بعد آنذاك) المنبعثة من الثقوب السوداء، وهو ما يسمى بإشعاع "هوكينغ".

بالمقابل، ليس لدينا أي فكرة عن كيفية انحناء المادة التي وصفتها فيزياء الكموم في الزمكان. يتطلب فهم هذا التأثير التشكيك في بعض المفاهيم الأساسية للغاية: ما هي كتلة الجاذبية في فيزياء الكموم؟ كيف يتم إنشاء حقل الجاذبية؟ فيما يتعلق بهذه الأسئلة، فإن فيزياء الكموم ، في نهجها المعتاد ، صامتة.

من ناحية أخرى، هذه النظرية تجعل من الممكن القيام بتنبؤات دقيقة. المعلومات المتوفرة عن النظام الكمومي موجودة في كائن رياضياتي، الدالة الموجية للنظام. في العشرينيات من القرن الماضي، صاغ الفيزيائيون مجموعة من القواعد البسيطة التي تُستخدم من دالة الموجة لحساب نتائج القياس والتنبؤ بها (أو بالأحرى احتمالاتها) أثناء التجربة.

تراكبات الحالات:

لكن هذا النهج لا يكشف عن أي شيء من شأنه أن يكون أساس نتائج القياسات التجريبية. ففيزياء الكموم هي نوع من الصندوق الأسود. في هذه الرؤية تسمى "من مدرسة كوبنهاغن"، الموروثة عن نيلز بور، أحد آباء نظرية الكموم ، لا نحاول قول المزيد. حالة الدالة الموجية ذاتها - كائن حقيقي أم أداة حسابية بسيطة؟ - هي نفسها غير واضحة. ومع ذلك، إذا أردنا معرفة كيف تنحني المادة الكمومية الزمكان، فلا يمكننا أن نشعر بالرضا عن هذا الصمت. نحتاج إلى التكهن بالطبيعة الملموسة الكامنة وراء تنبؤات الكموم واستكشاف تفسيرات أخرى لفيزياء الكموم غير تلك الخاصة بمدرسة كوبنهاغن.

إن خصوصية فيزياء الكموم، التي لا يلاحظها المرء في العالم الكلاسيكي، هي مبدأ التراكب. طالما لم يتم قياس خاصية جسم كمومي (موضعه، وسرعته، ودورانه، وما إلى ذلك)، يمكن أن يوجد الجسم في حالة

تراكب تقابل قيم مختلفة لهذه الخاصية. من وجهة نظر الشكلية، يمكن للحالة الكمومية للجسيم، على سبيل المثال، أن تلعب العديد من المواقف المختلفة في وقت واحد. توضح قطة شرودنغر الشهيرة هذه الفكرة.

ومع ذلك، من المستحيل مراقبة التراكبات على نحو مباشرا إذ يتم تدميرها عند إجراء القياس. لذلك من غير الواضح ما إذا كان تراكب الحالات موجودًا بالفعل أم أنه مجرد أداة حساب وسيطة. في عام 1962، اقترح الدنماركي كريستيان مبلر والبلجيكي ليون روزنفيلد افتراض أن تراكب الحالات هو كيان حقيقي وبالتالي يساهم في ثني الزمكان (والذي، من جانبه، يظل فريدًا جدًا، بدون تراكب). وهكذا تكهنوا أن طاقة جميع الحالات المكونة للتراكب تعمل على انحناء الزمكان. لكن هذا الاقتراح المقدم من مولر وروزنفيلد يثير صعوبات مفاهيمية. هناك عدة طرق لإبرازها. ما سنقدمه ليس هو الذي تم استخدامه تاريخيًا، ولكنه الأبسط والأكثر عمومية.

التداخل غير المحلي:

لفهم الحجة، يجب أن نعود إلى مقال ألبرت أينشتاين وبوريس بودولسكي وناثان روزين الذي نُشر في عام 1935 حول التشابك المستحيل، وفقًا لهم، استنتج أينشتاين واثنان من المؤلفين المشاركين أن التراكب هو عمل فني للنمذجة، وأنه في الواقع لا يوجد سوى حقيقة واحدة، محددة سلفًا حتى قبل القياس. سيكون الموقف الفائق، الموجود في الشكلية الكمومية، نتيجة لجهلنا فقط. ومن ثم فإنه يفتقد إلى المتغيرات (التي تسمى أحيانًا المتغيرات"المخفية") التي من شأنها تحديد حالة الجسيمات بدقة أكبر. وبالتالي، فإن شكليات فيزياء الكموم ستكون غير مكتملة لأنه يمكن تحسينها، والفشل في تحديد نتيجة محددة مسبقًا.

من ناحية أخرى، إذا كانت النتائج ليست كذلك حيث تم تحديدها قبل القياس، يجب الاعتراف بأن فيزياء الكموم تعني وجود تفاعلات غير محلية، بغض النظر عن المسافة التي تفصل بين الجسيمات، وبالتالي فهي غير مقيدة بالنسبية الخاصة التي تنص على عدم إمكانية نشر أي معلومات بسرعة تفوق سرعة الضوء. وجد أينشتاين هذا الحل غير مقبول. أثبت التاريخ، في شخص جون ستيوارت بيل وآلان أسبكت، أن آينشتاين مخطئ: الطبيعة تتبع تنبؤات الكموم وشخصيتها غير المحلية.

هل عواقب اللامركزية تشكل تهديدًا للنسبية الخاصة؟ الغريب في المظهر فقط. تتآمر معادلات فيزياء الكموم لإبقاء اللامكانية في شكل حميد: إنه أداة لا يمكن استخدامها لنقل المعلومات وبالتالي تظل متوافقة مع النسبية الخاصة.

من ناحية أخرى، إذا استخدم المرء طريقة مولر وروزنفيلد لدمج قوة الجاذبية الكلاسيكية مع فيزياء الكموم ، فإن الموقف يصبح مشكلة. يكسر هذا النهج الخطي لمعادلة شرودنغر، وهي معادلة أساسية تحكم التطور الزمني لدالة الموجة لنظام الكموم. في عام 1989، أشار نيكولاس جيزين، وهو فيزيائي من جنيف، إلى أن اللاخطية لها، بشكل عام، نتيجة قاتلة: الانتشار إلى العناصر الرياضياتية الأخرى للنظرية، ويمكن استخدامها لنقل المعلومات. أي الانتقال بأسرع من الضوء. استبعدت هذه الحجة اقتراح ميللر وروزنفيلد وكذلك جميع الأساليب المماثلة.

يصبح السؤال بعد ذلك: هل هناك طريقة لربط الزمكان الكلاسيكي بالمادة الكمومية دون أن تقوض اللاموقعية مبادئ النسبية المقيدة؟ هل هناك أي تعديلات في فيزياء الكموم تتجاوز اعتراض نيكولا جيزين؟ في وقت مبكر من عام 1984، قام نيكولاس جيزين نفسه ببناء نموذج بدائي لتعديل فيزياء الكموم دون كسر النسبية الخاصة، عن طريق إضافة مصطلح عشوائي أساسًا إلى المعادلات. تصور هذا النموذج

مسبقًا التعديلات في فيزياء الكموم المعروفة باسم الانهيار الموضوعي في اللغة الإنجليزية أو "الاختزال الديناميكي".

قبل السعي لتطبيقها على الجاذبية، درس الفيزيائيون نماذج الاختزال الديناميكي لحل مشكلة مرتبطة بتراكب الحالات. في مثال قطة شرودينغر ، تراكب حالات الذرة له تداعيات على جسم مجهري وحتى على أدوات القياس. ومع ذلك ، أكد شرودينغر ، أن هذه الظاهرة إشكالية لأن المرء لا يلاحظ التراكبات على النطاق العياني ما فوق الذري. رفض أنصار مدرسة كوبنهاغن هذه الصعوبة بافتراض أن أدوات القياس كانت ذات طبيعة مختلفة، كلاسيكية في جوهرها، وأنهم قاموا تلقائيًا بتقليل التراكبات عند الاتصال بهم. لكن هذا التمييز بين العالم الكمومي وأدوات القياس الكلاسيكية عشوائي، فالأدوات نفسها مصنوعة من الذرات.

اكتشف الفيزيائيون إمكانية إزالة التراكبات ابتداءً من أواخر الثمانينيات، وأن تكون فيزياء الكموم مجرد تقريب لنظرية أكثر جوهرية، حيث يستحيل التراكب على النطاق العياني. سواء كانت مصنوعات حقيقية أو نقية من الشكليات، فإن التراكبات ستبقى محصورة في العالم المجهري. الفكرة هي إضافة مصطلحات إلى معادلة شرودنغر لضمان تقليل التراكبات إلى حالة واحدة عندما يصبح النظام كبيرًا. ومع ذلك، لاحترام ملاحظة جيزين، فإن الطريقة الوحيدة لتعديل المعادلة هي إضافة مصطلحات ذات طبيعة عشوائية: باختيارها بحكمة، فإن المشاكل غير الخطية مثل تلك التي ظهرت في نموذج ميللر وروزنفيلد تعوض وتلغي بعضها البعض. العشوائية تعيد تأسيس الخطية للمعادلة وتزيل إمكانية إرسال الإشارات بسرعة أسرع من الضوء.

أشهر نماذج التخفيض الديناميكي هذه هي نموذج GRW، الذي سمي على اسم الإيطاليين جيانكارلو غيراردي، وألبرتو ريميني وتوليو ويبر، ونموذج DP، من قبل الهنغاريين لاجوس ديوسي والإنجليز. روجر بنروز. في البداية، لم يتضمن أي من هذه النماذج قوة الجاذبية. كان الهدف إذن هو إزالة التراكبات. أثبتت هذه المحاولات أيضًا أنه من الممكن تعديل معادلة شرودنغر مع احترام حد جيزين Gisin: من الضروري ببساطة إضافة المقدار الصحيح من المخاطر.

خلال الخمسة وعشرين عامًا التي أعقبت إدخال هذه النماذج من الاختزال الديناميكي، ظلت فكرة تضمين الجاذبية محل نقاش قليل. اعتقد الفيزيائيون أن التنبؤات سيكون من المستحيل اختبارها تجريبيًا على أي حال. ولكن في حوالي عام 2010، نظر الباحثون في إمكانية استكشاف الطابع الكمومي للجاذبية من خلال تجارب منخفضة الطاقة تستغل بدقة التراكبات الكمومية.