الحلقة السادسة من دراسة نظرية الانفجار العظيم

(6)

نظرية الانفجار العظيم 6-10

هل هي حدث فريد أم متكرر إلى مالانهاية؟ ماذا قبل وماذا بعد البغ بانغ؟

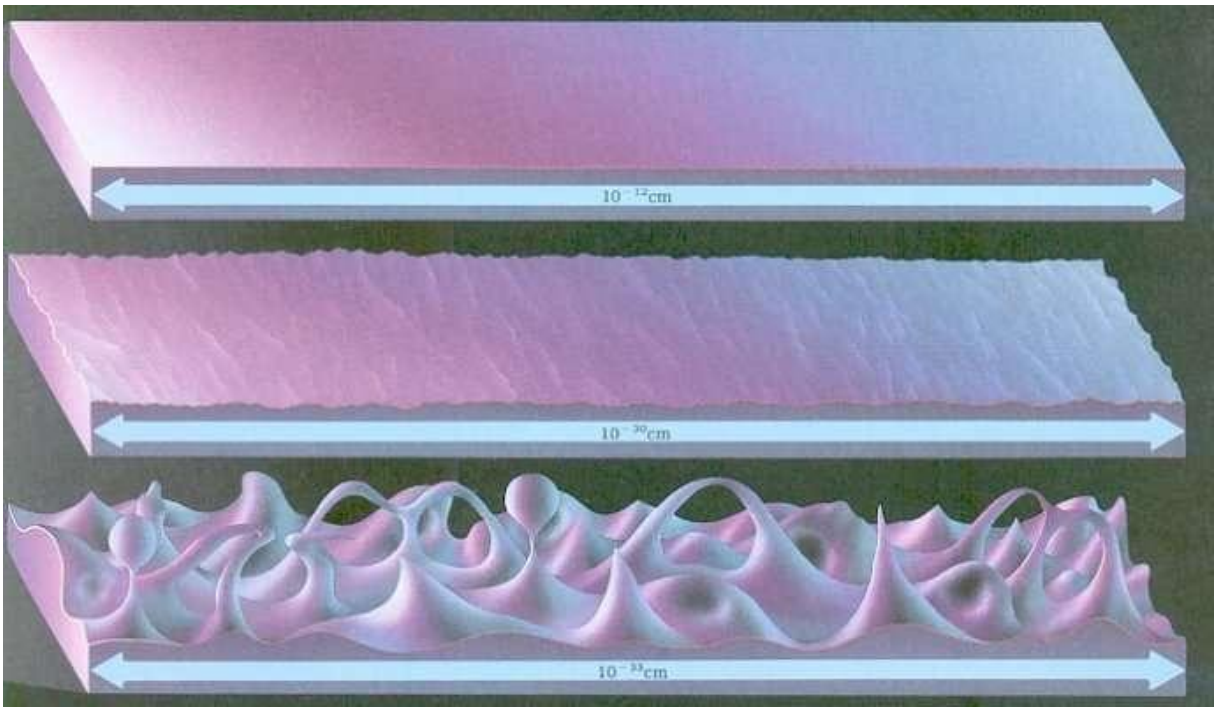
صراع النسبية العامة وميكانيكا الكموم الكوانتوم وما بعدهما، هل سنصل يوماً لنظرية كل شيء، وهل نعيش في كون متعدد؟ (النماذج المختلفة لأكوان متعددة) وهل نعيش في محاكاة حاسوبية، كون "ماتريكس"؟

د. جواد بشارة

الجاذبية الكمومية:La gravitation quantique

تعد مشكلة إيجاد نظرية كمومية للجاذبية من أصعب المشاكل التي واجهها علماء الفيزياء النظرية في العقود الأخيرة. نظرًا للتفسير الهندسي للجاذبية، فهي في الواقع ليست مجرد مسألة عدم التوافق بين نموذجين للتفاعل، ولكن أيضًا بين إطارين مفاهيميَّين للفيزياء والحاجة إلى البحث عن " هندسة الكموم ". وبالتالي، فإن أحد أهم المفاهيم في فيزياء الكموم هو مفهوم "الوحدة"، والذي يصف تقريبًا حقيقة أن مجموع احتمالات حدث ما يجب الاحتفاظ به بمرور الوقت، ليكون دائمًا مساويًا لـ 1. الآن، توضح النسبية العامة أيضًا أن مفهوم الزمن لا يمكن أن يكون مطلقًا وأن ما هو لزمن مراقب ما يمكن أن يكون بالنسبة لآخر مزيجًا دقيقًا بين المكان والزمان، مما يعقد بشكل رهيب بناء نظرية وحدوية وفقًا لـ "المبادئ الأساسية" للنسبية. علاوة على ذلك، عنصر أساسي آخر في فيزياء الكموم هو مفهوم "اللاحتمية" أو اللادقة (لهايزنبيرغ Heisenberg) لنتيجة القياس، والذي يتعارض مع حتمية النسبية العامة. ومع ذلك، تجدر الإشارة إلى أن هذه المشاكل تظهر فقط عندما يسعى المرء إلى تحديد مجال الجاذبية نفسه وليس إذا سعى المرء إلى وصف تطور مجال كمومي في زمكان منحني ثابت. وبالتالي، فإن هاتين النظريتين ليستا في خلاف كامل حول كل شيء، فالصعوبات مرتبطة حقًا بالطريقة التي يتم بها نمذجة بنية الزمكان.

ومع ذلك، إذا طبق المرء مبادئ الكموم بسذاجة على مفهوم الزمكان الديناميكي، فيبدو أنه على المقاييس الصغيرة التي لا يمكن إهمال التقلبات الكمومية فيها، تبرز معضلة "نسيج الزمكان"، والذي هو نوع من السلاسة والهدوء في المقاييس الكبيرة التي تتبع في النسبية العامة، يجب أن يكون نوعًا من الفقاعة المستمرة.



رسم توضيحي لكيفية، وفقًا لأفكار هندسة الكموم، يجب أن يكون الزمكان قادرًا على "تصور" على مستويات مختلفة. في المقاييس الأكبر، يكون سلسًا (ولكن من المحتمل أن يكون منحنيًا)، كما هو الحال في النسبية العامة. من مقياس بلانك (حوالي 10^{-33} سم)، نتوقع أن تكون التقلبات كبيرة جدًا ولا يمكن إهمالها بأي حال من الأحوال.

هناك مشكلة نظرية رئيسية، موضحة في الشكل السابق، هي حقيقة أن "الثقوب" يمكن أن تظهر أثناء التقلبات في الزمكان، والتي تُترجم في اللغة الرياضياتية على أنها "تغيرات في الطوبولوجيا". علاوة على ذلك، ترتبط هذه التغييرات في الطوبولوجيا في المقاييس الصغيرة، من وجهة نظر فنية، بإحدى الصعوبات في القياس الكمومي للجاذبية، والتي تأتي من سلوكها فيما يتعلق بإجراء رياضياتي. تُستخدم عادةً في البحث عن صيغة التفاعل الكمومي: "إعادة التطبيع". يمكننا بالفعل أن نظهر أن هذا الإجراء، الذي يتكون تقريبًا من النجاح في إجراء حسابات على مقياس معين حتى لو لم نتمكن من القيام بها باستخدام صيغة واحدة صالحة على جميع المقاييس، يعني ضمناً في حالة الجاذبية هي ظهور المزيد والمزيد من المصطلحات اللانهائية مع تقدمنا في الحساب. بالنسبة للكهرومغناطيسية أو التفاعل الكهروضعيف، تظهر بعض المصطلحات اللانهائية، ولكن يمكن "قتلها" باستخدام مصطلحات من مقاييس أخرى. في حالة الجاذبية، فإن استدعاء المقاييس الأخرى يزيد الطين بلة!

مع ذلك، تماشياً مع عمل أشقر، تم تطوير مقاربة جديدة لتقدير الجاذبية خلال السنوات القليلة الماضية، والتي تبدو واعدة للغاية. تفترض "الجاذبية الكمومية الحلقية"، والتي يعد كارلو روفيلي أحد أشهر أبطالها، وفقًا للمبادئ الأولى لفيزياء الكموم، أنه إذا كان الزمكان هو كائن ديناميكي "قياسي"، فيجب أيضًا إمكانية "تحديده كموميًا" وتقديم مقياس أساسي. تشير هذه الفرضية إلى وجود أنواع من "الطوب غير القابل للكسر" للزمكان الذي سيتشكل منه النسيج الكوني ويتسبب في استبعاد بعض المصطلحات اللانهائية بشكل طبيعي من الحسابات. علاوة على ذلك، يستنتج من هذا الافتراض أن مبدأ ثبات سرعة الضوء في الفراغ يجب انتهاكه على المقاييس الصغيرة. في الواقع، تشير هذه الأحجار إلى عدم تجانس محلي في الزمكان، وعدم التجانس الذي يجب أن يدركه الضوء عبر مسارات طويلة جدًا بين المجرات. وبالتالي، فإن إحدى الطرق المستخدمة بالفعل لمحاولة إبراز هذه التأثيرات و / أو تقييد النظريات التي تتنبأ بها تتمثل في

البحث عن الانتهاكات الظاهرة. أيونات ثبات سرعة الضوء المنبعثة أثناء "انفجارات أشعة غاما" (انفجارات شديدة جدًا وقصيرة من أشعة غاما والتي يعتقد المرء أنها مرتبطة بتراكم المادة على الثقوب السوداء فائقة الكتلة) ، وهو المبدأ الذي تم توضيحه في الشكل التالي. سوف يتفاعل ضوءان من ألوان مختلفة بشكل مختلف مع البنية الكمومية للزمكان، بما في ذلك تشتت الموجات. هذا التأثير، الذي لا مفر منه إذا تم تحديد الزمكان، لم يتم ملاحظته بعد، ومع ذلك، منذ اللحظة التي نعتبر فيها الزمكان كجسم كمومي ديناميكي، قد يكون هناك آخر منطقة للاستكشاف. وبنفس الطريقة التي أدت بها النسبية العامة بشكل طبيعي إلى علم الكون النسبي، فإن الوصف الكمومي للزمكان يمكن بالفعل أن يعني بداهة ظهور "علم الكونيات الكمومية".

• رسم توضيحي للآلية التي يمكن من خلالها أن ينتج عن التركيب الكمومي للزمكان بمقاييس صغيرة تغير في سرعة الضوء. بالنسبة لهذا، سيكون التأثير مشابهًا للتفاعل مع "بلورة بلانك"، وهما لونان مختلفان (أطوال موجية) لا يستغرقان الوقت نفسه لعبور هذه البلورة.

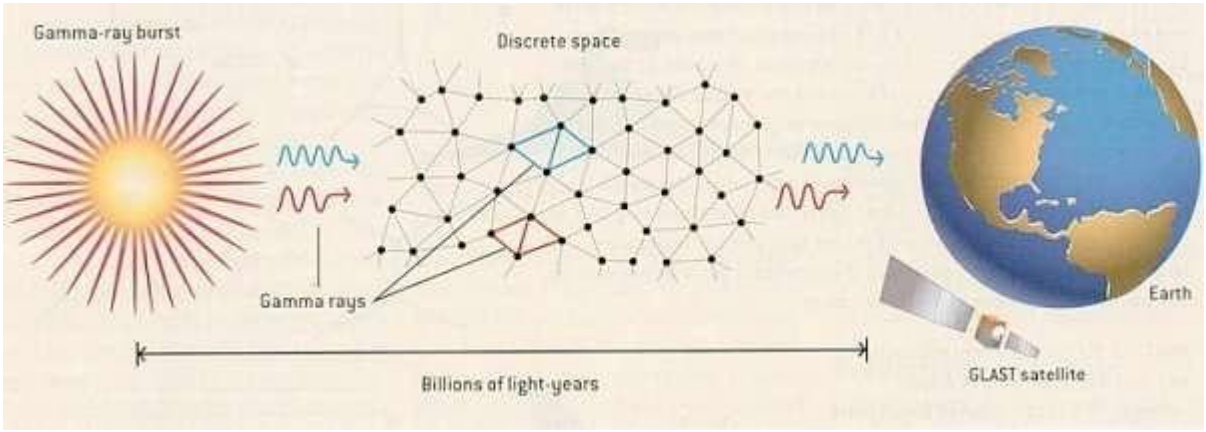


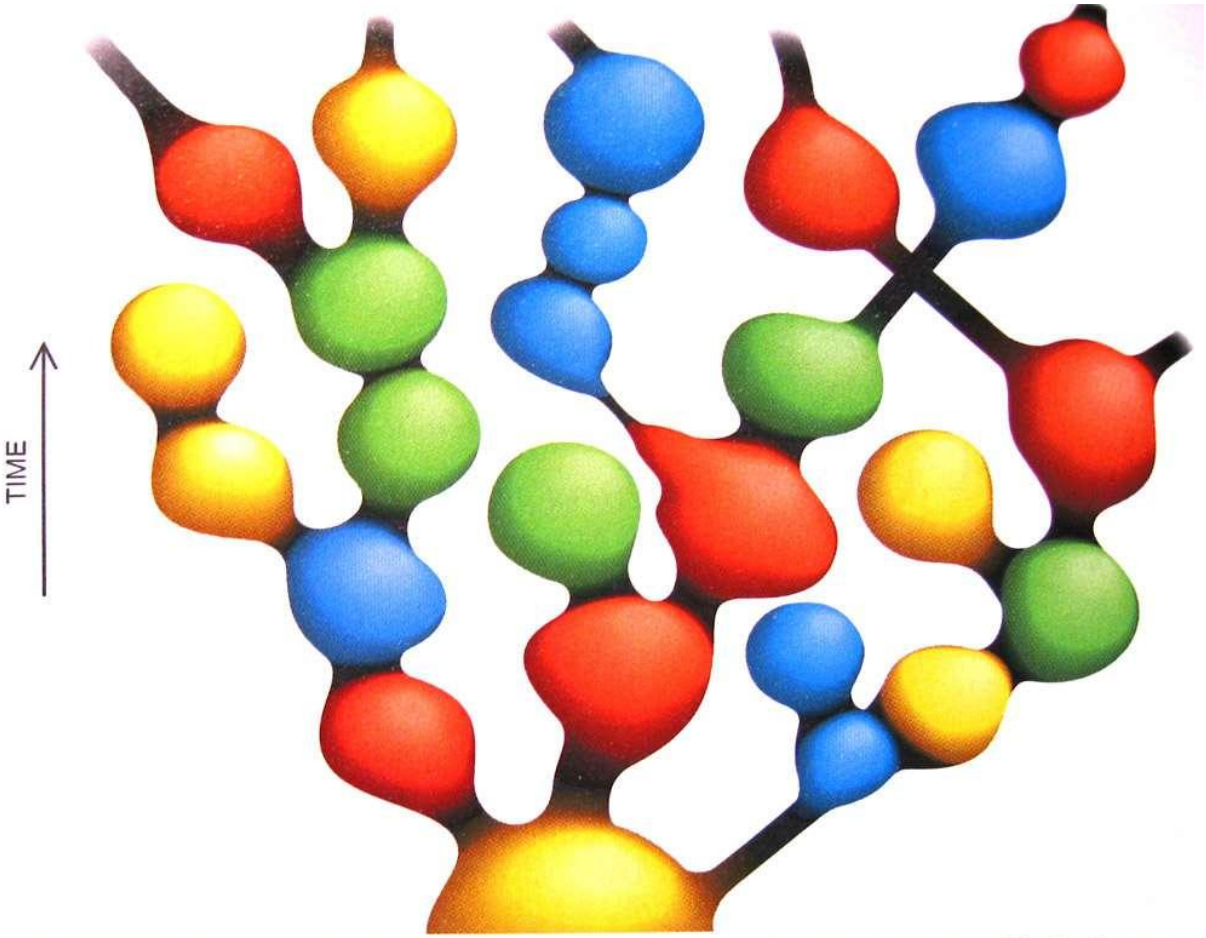
Illustration du mécanisme selon lequel la structure quantique de l'espace-temps aux petites échelles pourrait résulter en une variabilité de la vitesse de la lumière. Pour celle-ci, l'effet serait similaire à une interaction avec un "cristal planckien", deux couleurs (longueurs d'ondes) différentes ne mettant pas le même temps à traverser ce cristal.

La cosmologie quantique:علم الكونيات الكمومية

قبل ولادة نظرية الثقالة الكمومية الحلقية بوقت طويل، والتي تهتم في الوقت الحالي بشكل أساسي بالمشاكل المحلية وليس بظاهرة عالمية مثل علم الكونيات، كانت فكرة علم الكونيات الكمومية قد تم استكشافها بالفعل من قبل العديد من الأشخاص. كان النهج الذي تم النظر فيه بعد ذلك مختلفًا، على الرغم من ذلك، استنادًا إلى القياس الكمومي "القانوني" الهاملتوني". تم اكتشاف أول وصف من هذا النوع في عام 1967 من قبل الأمريكيين جون ويلر وبريس دي ويت، الذين صاغوا "معادلة شرودنغر" لدالة الموجة للكون، معادلة "ويلر دي ويت".."**Wheeler-de Witt**" l'équation de . هي المعادلة التي تسمح، من الناحية النظرية، بالتنبؤ باحتمالية أن يكون للكون شكل معين (وأنه يحتفظ به)، ولكن من الناحية العملية، الحالة العامة غير قابلة للذوبان، والمعادلة معقدة للغاية. لذلك تم اقتراح نماذج مبسطة مختلفة، ولا سيما من قبل الروس أندريه ليندي وأ. فيلينكين ، والإنجليز ج. هارتل وستيفن. هوكينغ.

• النموذجان المقترحان مختلفان تمامًا، كون ليندي وفلينكين هو نوع من الرغوة الفوضوية الأبدية التي لها عدد غير محدد من الأبعاد ("الكون الفائق")، حيث تشكل التقلبات الكمومية "المحلية" العديد من الأكوان

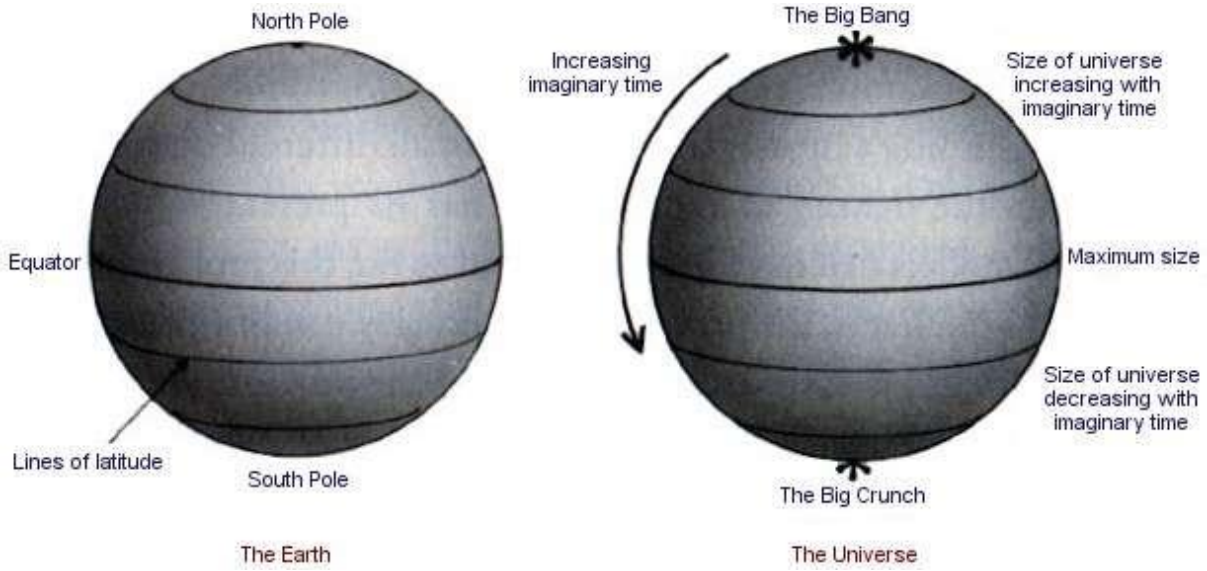
على غرار كوننا المرئي وثوابتنا، لكن الثوابت الفيزيائية في تلك الأكوان لن تكون بالضرورة هي نفسها. علاوة على ذلك، ووفقًا للملاحظات الحديثة، فإن الكون قد بدأ حياته بمرحلة توسع سريعة جدًا (والتي تشرحها بعض النظريات باستخدام وجود "متوسع") يسمح بعملية التضخم العائل، وهي ظاهرة قال ليندي ومعاونيه من الواضح أنهم أخذوا ذلك في الاعتبار في أحدث نماذجهم (انظر الشكل التالي). نموذج هارتل-هوكينغ الأولي في الطرف المعاكس تقريبًا، لأنه يفترض وجود كون واحد، محدود في الزمان والمكان وبدون حدود ("كرة زائدة")، مما سيقضي على المشكلة. من التفرد الأصلي أو الفرادة الكونية الأولية التي ولد منها (الانفجار الكبير). ومع ذلك، تجدر الإشارة إلى أن علم الكونيات الكمومي هذا يجب أن يأخذ في الاعتبار أيضًا إمكانية التقلبات في طوبولوجيا الكون، مما يعني إجراء حسابات مشابهة لتلك التي قدمها فاينمان للديناميكا الكهربية الكمومية (تكاملات المسارات)، ولكن يكون كل "مسار" فيه طوبولوجيا محتملة للكون. وبعبارة أخرى، فإن الصعوبات هائلة والمشكلة لا تزال محلولة بشكل غير كامل، حتى لو نشأ نفس النوع من المشاكل التقنية عندما يفترض، في نظرية الكم للتفاعل بين "الكائنات"، أن الأخيرة ليست "جسيمات نقطية" (بالمعنى الكمومي)، بل أجسام ممتدة، مثل الأوتار (الفائقة).



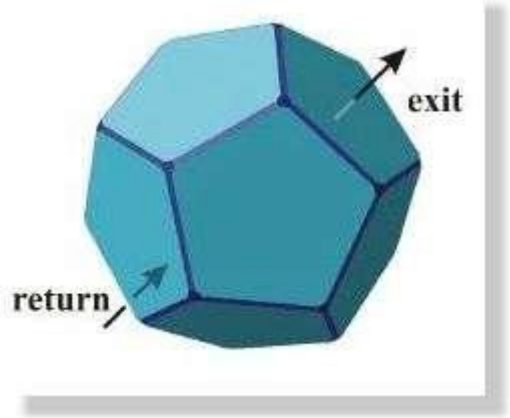
SELF-REPRODUCING COSMOS appears as an extended branching of inflationary bubbles. Changes in color represent "mutations" in the laws of physics from parent universes. The properties of space in each bubble do not depend on the time when the bubble formed. In this sense, the universe as a whole may be stationary, even though the interior of each bubble is described by the big bang theory.

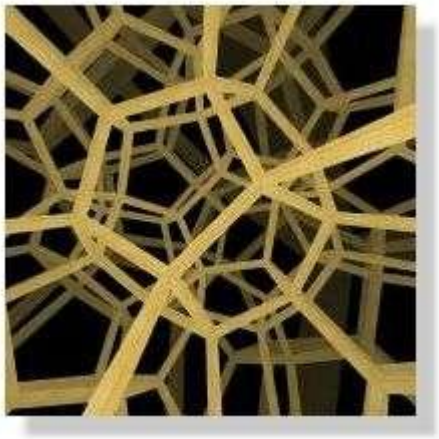
• أعلاه، توضيح "نموذج" محتمل لكون تضخمي حيث تنشأ فيه عدة أكوان "موازية" من التقلبات التي تحدث في "الكون الأب"، كل لون يتوافق مع كون بقيم مختلفة من الثوابت الأساسية. أدناه، مقارنة بين

الكون وفقًا لنموذج هارتل هوكينغ والأرض. كلاهما بلا حدود ولا يمثلان أي تفرد في القطبين. المصدر S. Hawking ،A. Lindé.



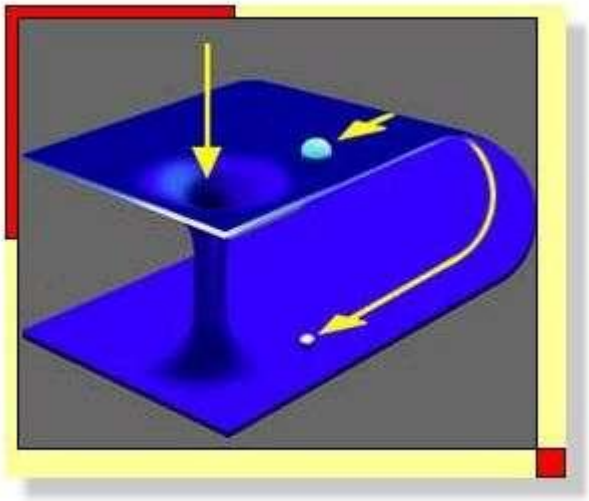
ومع ذلك، قبل أن نصل إلى وصف موجز لنظرية الأوتار، يبقى أن نذكر "توسع" في إطار النسبية الذي يتعلق بعلم الكونيات والطوبولوجيا، ولكن ليس مباشرة بفيزياء الكموم. هذا هو السؤال عن الهيكل العام للكون. وبالتالي، فإن النسبية العامة هي نظرية محلية وليست شمولية، فلا توجد وصفة طبية لوصف الشكل العالمي للزمكان. لذلك، نظر الكثير من الناس، بمن فيهم فريدمان منذ عام 1924، في مسألة طوبولوجيا الكون، والبعض يفكر في الشكل. لير نظرية جديدة للجاذبية النسبية التي تدمج "شروط الحدود". لم يكن هذا العمل النظري ناجحًا حقًا، لكن فريقًا دوليًا، جزئيًا فرنسي بقيادة جون بيير لومينيت (JP Luminet et al.) اقترح مؤخرًا أن أحد التفاصيل، التي أسيء فهمها حتى الآن، في رسم خرائط إشعاع الخلفية الكونية يمكن تفسيره من خلال حقيقة أن الكون سيكون له طوبولوجيا "بها ثقوب". إذا تم التحقق من هذه النتيجة من خلال قياسات لاحقة، فقد تكون طريقة أخرى مهمة لاستكشاف الجوانب الأكثر نشاطًا للجاذبية، نظرًا لأن طوبولوجيا الكون هي شيء يجب توقعه عادةً بواسطة نظريات الأوتار أو أي نظرية كمومية أخرى تدعي أنها قادرة على التعامل مع الكون البدائي. علاوة على ذلك، تتنبأ أحدث النظريات، الناتجة عن تلك الموجودة في الأوتار، بنوع آخر من النماذج الكونية التي سيتم ذكرها بإيجاز لاحقًا: "نموذج الأغشية أو البرانات".





•أعلاه، رسم توضيحي لكون بوانكاريه، مستخدم في نموذج Luminet et al.، والذي يمكن اعتباره نوعًا من "كرة القدم" المكونة من 12 خماسيًا منحنيًا. في المنتصف، رسم توضيحي للاختلاف الكبير باستخدام منطاد تقليدي: الكون ليس "متصلًا ببساطة"، وإذا غادر المرء " من جهة واحدة"، يدخل مرة أخرى من الجهة المقابلة. أدناه، توضيح لما يدركه مراقب موجود في مثل هذا الكون: بالنظر في اتجاه معين، فإنه يفكر في العديد من النسخ المتماثلة للكون المادي، إلى حد ما مثل متاهة من الجليد. المصدر جون بيير لومينيت.

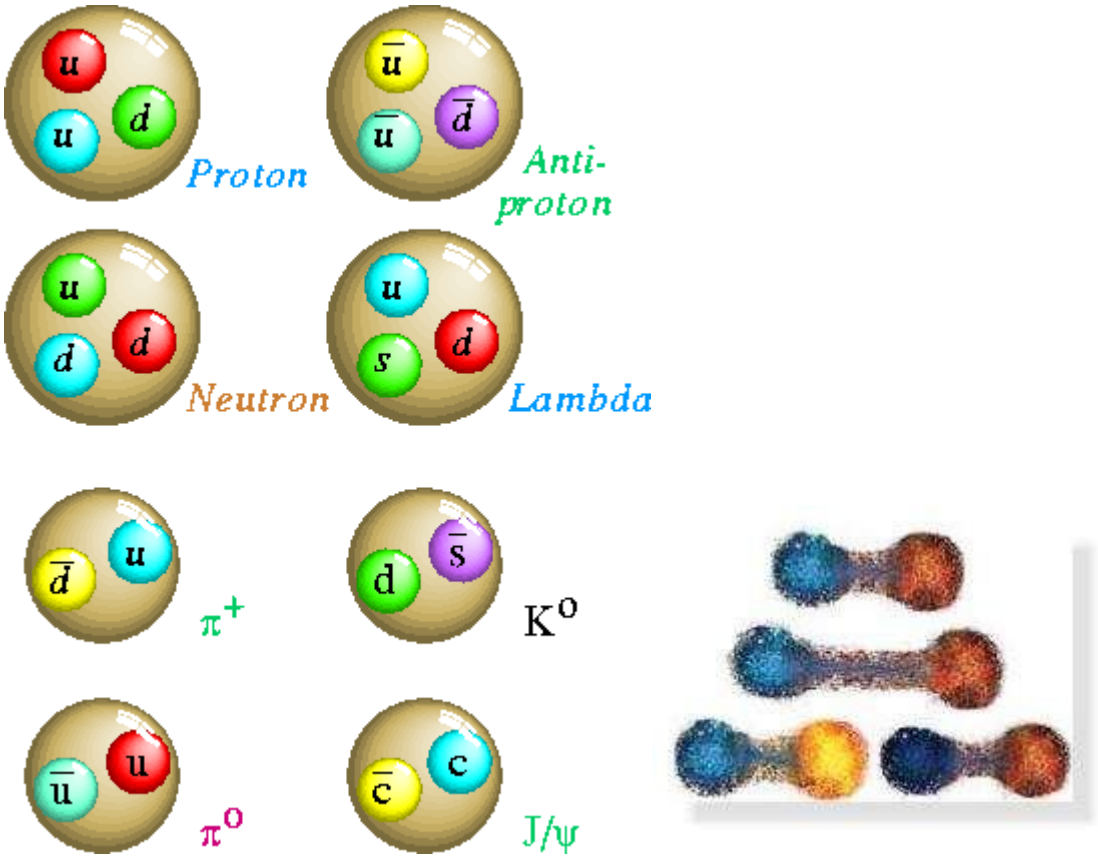
بالإضافة إلى ذلك، في بعض النظريات الأكثر تأملًا، نجد أحيانًا أيضًا فكرة أن طوبولوجيا الزمكان هي التي يمكن أن تكون معقدة، مما يسمح بوجود "اختصارات عبر الكون. "، في الفضاء كما في الزمان،" مثل الثقوب الدودية "الشهيرة. ومع ذلك، فإن هذه الأجسام تخمينية للغاية، حتى لو كان أحد التفسيرات الحالية المحتملة لظاهرة التوسع المتسارع للكون يدعو إلى وجود "طاقة سوداء أو مظلمة"، والتي يمكن أن تسمح ببقاء هذه "الأنفاق خارج الفضاء. مفتوحة في الزمن". لاختتام هذه الفقرة حول الامتدادات المحتملة للنسبية العامة، فإن بضع كلمات حول نظرية الأوتار الفائقة تبدو مناسبة جدًا، نظرًا لأن معظم التأثيرات التي تم وصفها حتى الآن يمكن تضمينها فيها أو تكون عواقب محتملة لها.



• رسم توضيحي لمفهوم الثقب الدودي، والذي يجعل من الممكن ضم نقطتين بعيدتين في الزمكان. مع مثل هذه الأجسام الفيزيائية الفلكية، سيكون السفر عبر الزمن ممكنًا في النهاية وهذا أحد الأسباب التي تجعل الغالبية العظمى من الفيزيائيين يعتقدون أنه لا بد من وجود آلية ما تمنع وجودهم في الأبعاد العيانية (تم توضيح ذلك) أن المواد "غير الطبيعية" فقط يمكن أن تمنع الثقب الدودي من التفكك السريع). في الشكل، يوجد طريقان محتملان للوصول إلى الأرض من النجم السفلي. يمكن لمركبة فضائية محتملة قادرة على دخول الثقب الدودي، والبقاء على قيد الحياة خلال مروره، أن تصل في ظروف معينة إلى الأرض قبل الضوء الذي كان من الممكن أن يسلك المسار القياسي. المصدر PBS.

الأوتار الفائقة والنظرية م :Les supercordes et la théorie M

فكرة أن "الجسيمات النقطية" تتصرف بشكل مشابه تمامًا لتلك الموجودة في الحبال أو الأوتار قد ولدت في عام 1968 من الفيزيائي الإيطالي فينيزيانو الذي كان يحاول إيجاد تفسير لـ "حبس الكوارك". والكواركات هي الجسيمات التي تتكون منها ما نسميه "الهادرونات"، والتي يشكل النيوترون والبروتون جزءًا منها. ومع ذلك، حتى لو نجحنا في إثبات وجود الكواركات بداخلها بفضل مصادمات الجسيمات، فإننا لم نلاحظ مطلقًا كواركًا معزولًا. ما تم شرحه الآن باستخدام الديناميكا اللونية الكمومية كان حينها لغزًا محيرًا، وحاول فينيزيانو إجراء مقارنة مع الأوتار لتبرير حقيقة أنه عندما يسعى المرء لفصل كواركين عن طريق "سحب" كل منهما باتجاه، فإننا فقط نخلق زوجين من الكواركات. الوضع هو نفسه تمامًا إذا حاولنا عزل أحد طرفي المطاط عن طريق سحبه: لن نفعل شيئًا أفضل من كسر المرونة والحصول على "زوجين من النهايات" من المطاط، وهذا هو، شريطين من المطاط.



• أعلاه، توضيح لتكوين الكوارك للجسيمات الأكثر شيوعًا (بما في ذلك البروتون والنيوترون). أدناه، توضيح لظاهرة ظهور الكواركات عندما يسعى المرء، على سبيل المثال، لفصل كواركين يشكلان زوجًا. المبدأ الفيزيائي هو أن الطاقة التي يتم توفيرها أثناء الجر ينتهي بها الأمر إلى الظهور في شكل كواركات قبل أن ننجح في عزل الكواركات. المصادر G.'t Hooft وJefferson Lab.

اقترح فينيزيانو أن الكواركات ليس لها وجود حقيقي، وأن الأشياء الأساسية التي تقف وراءها هي الأوتار. على الرغم من فشل هذه الفكرة بسرعة في إطار فيزياء الكوارك، بدأ المنظرون في البحث عن كثب في فيزياء الأوتار الكمومية، في إطار "نظرية الأوتار الفائقة". من بين الاختلافات الرئيسية مع جزيئات النقطة الكمومية حقيقة أنه نظرًا لتمديدها، وحتى عزلها وفراغها، يمكن أن تكون سلسلة الأوتار الكمومية في عدة مستويات طاقة مختلفة، كل منها يتوافق مع وضع اهتزاز مختلف. وهكذا، في دراسة كانت قبل كل شيء رياضياتية، لوحظ أنه في "طيف التذبذب" (= جميع مستويات الطاقة في الوتر)، يوجد "جسيم" بدون كتلة وأن دورانه يساوي 2 في الواقع، كل نمط اهتزاز لسلسلة أوتار كمومية، بالنسبة لشخص لا يستطيع الوصول إلى المقياس البدائي، يُنظر إليه على أنه جسيم نقطي ذو طاقة مختلفة (= الكتلة). ما كان يمكن أن يكون حقًا عيبًا، في الإطار الأولي لفيزياء الكوارك، أصبح بالتالي ميزة كبيرة عندما أدرك جون شوارتز وجويل شيرك في عام 1974 أن هذا النموذج غير المجدي للفيزياء النووية يمكن أن يكون واعدًا للغاية إذا كنا نغير إطارها. الجسيم ذو الكتلة الصفرية واللف المغزلي 2 يستدعي حتمًا الغرافيتون، أي جسيم الجاذبية أو الثقالة الأولي، وهو جسيم يجب أن يحتوي على نظرية كمومية للجاذبية، وبالتالي أصبح من الممكن تمامًا أن تؤدي الأوتار إلى نظرية الكموم الثقالية للجاذبية، والفكرة هي ببساطة أن يتكون الزمكان من هذه الأوتار ، والتي ، كما في حالة الجاذبية الكمومية الحلقية ، تزيل بشكل طبيعي بعض المصطلحات اللانهائية. ومع ذلك، ظهرت العديد من الصعوبات بسرعة، حيث أن جسيمًا آخر تنبأت به النظرية هو التاكيون، وأنه بالإضافة إلى ذلك، تم إثبات أنه من أجل تماسك الكل، يجب أن يكون للزمكان 26 بعدًا.

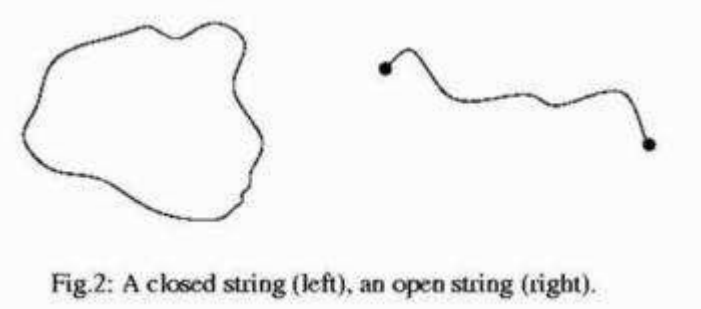
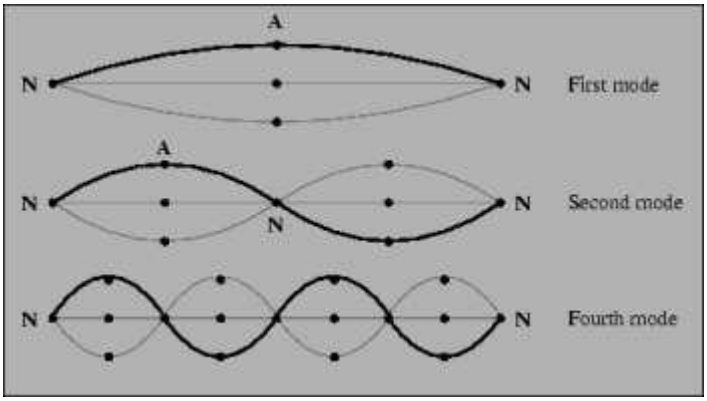


Fig.2: A closed string (left), an open string (right).



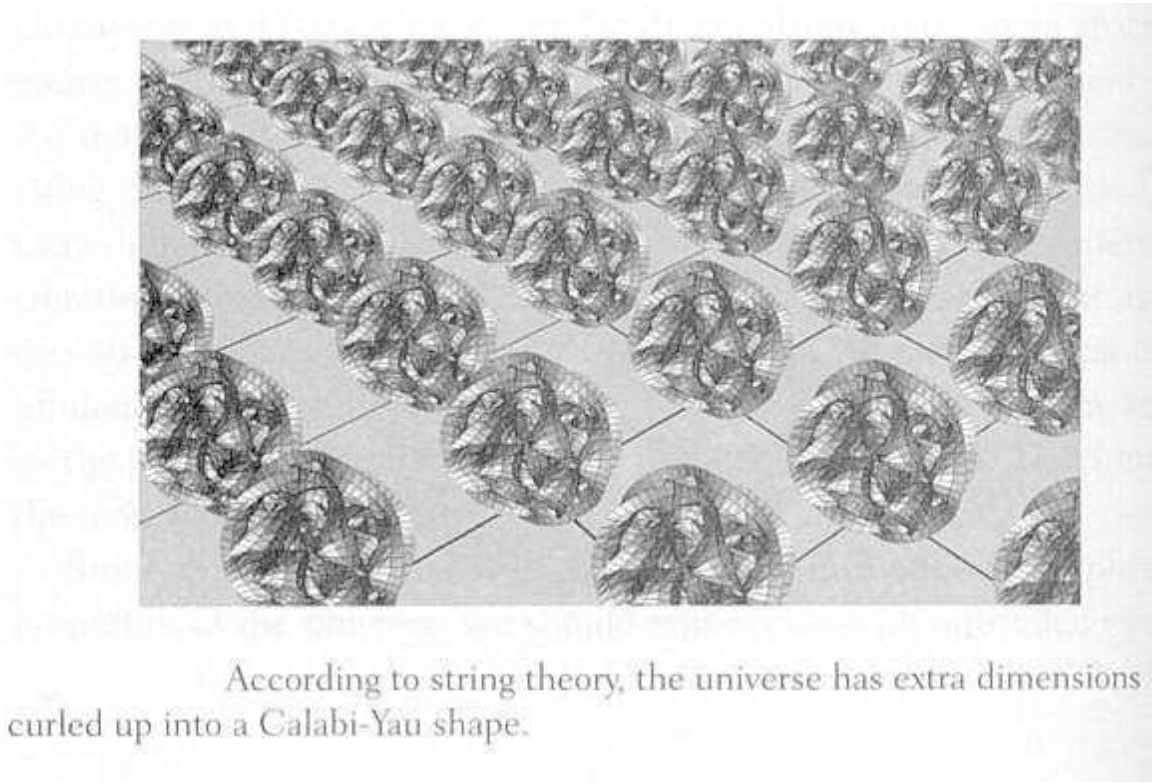
• أعلاه، توضيح لأبسط الحبال الممكنة: مفتوحة أو مغلقة، دون الإشارة إلى أي درجات داخلية للحرية. أدناه، تمثيل لأنماط الإثارة الممكنة لحبل أو وتر(كلاسيكي تمامًا) تم إصلاح نهاياته. كلما زاد عدد "العقد"، زادت طاقة الحبل أو الوتر. وبالمثل، تتميز الأنواع المختلفة من الأوتار (الفائقة) بأطياف مختلفة، تعتمد أنماط التذبذب (= الجسيمات) على التناظرات المفترضة. كلما كان الوضع أعلى، زادت كتلة الجسيم المقابل.

بالإضافة إلى ذلك، تعلمنا أيضًا في أوائل السبعينيات أن حلم توحيد التفاعلات، والذي كان يتعلق في بداية القرن بالجاذبية والكهرومغناطيسية، ربما لم يكن بهذا الجنون منذ عام 1967 اكتشف الفيزيائي الباكستاني عبد السلام والفيزيائي الأمريكي ستيفن واينبرغ (بناءً على نتائج شيلدون غلاشو) بشكل مستقل نفس الطريقة في وصف الكهرومغناطيسية والتفاعل الضعيف بطريقة موحدة (التي تحكم بعض التحلل)، من خلال تفاعل واحد، التفاعل الكهروضعيف. بالإضافة إلى ذلك، كان العنصر الأساسي في هذه النظرية هو إدخال حقول عددية جديدة (تسمى حقول هيغز، على اسم الفيزيائي بيتر هيغز) وآلية "كسر التناظر التلقائي"، والتي أوضحت أن الفوتون خالي من الكتلة بينما البوزونات المتجهة للتفاعل الضعيف ضخمة. تم التحقق من هذه النظرية وتنبؤاتها المباشرة في CERN، تم اكتشاف بوزون هيغز Brout-Englert-Higgs (الذي سمي أيضًا على اسم الفيزيائيين البلجيكيين روبرت بروت وفرانسوا إنجليرت وبيتر هيغز) في عام 2012 في مصادم الجسيمات العملاقLHC. ولكن حتى قبل التحقق من كل شيء تجريبيًا، تم إدخال شكليات مماثلة لمحاولة إيجاد وصف موحد للتفاعل الكهروضعيف مع التفاعل بين الكواركات. لسوء الحظ، لا يبدو أنها تعمل بشكل جيد لأسباب فنية مختلفة سيتم تجاهلها: يبدو أن فكرة "التوحيد العظيم" للتفاعلات الثلاثة السابقة يجب أن تحافظ على حالة فكرة رياضياتية لطيفة لا علاقة لها بالفيزياء الحقيقية.

ومع ذلك، فإن بعض الفيزيائيين، الذين يسعون إلى دراسة ما هي أكثر التناظرات العامة الممكنة التي يمكن دمجها في نظريات فيزياء الجسيمات، لاحظوا أنه لا يمكن "فعل أي شيء" بمزجهم معًا. كالتناظر المكاني والداخلي (المرتبط بالأرقام الكمومية)، وكان هناك نوع من "التناظر الأقصى" يخلط بين هذين المفهومين بطريقة خفية، "التناظر الفائق"supersymétrie. يتكون هذا التناظر من ربط كل جسيم

بوزوني بفيرميون من نفس الكتلة والعكس صحيح، والذي له مزايا عديدة ملحوظة للغاية، لا سيما للتخلص من المشكلات اللانهائية التي تظهر في الحسابات. كان التناظر الفائق في البداية تناظرًا عالميًا للزمكان (مما يعني ضمنيًا مجموعة بوانكاريه)، أصبحت صياغته المحلية "الجاذبية الفائقة"، وهو تعميم آخر اكتشفه نظرية أينشتاين والذي بناءً عليه لن يتم تقديم مزيد من التفاصيل هنا، على الرغم من أنه تم تحديثها مؤخرًا بفضل "نظرية M". ومع ذلك، فمن السهل أن نرى أن التناظر الفائق لا يتحقق في الطبيعة، حيث لا يوجد بوزون بنفس كتلة الإلكترون، مما يعني أنه إذا أدخلناه في نظرية، فيجب علينا أن نشرح أيضًا سبب كسرها. ومع ذلك، فقد تبين أنه إذا سعى المرء إلى تطبيق فكرة "التوحيد العظيم" وفكرة "التناظر الفائق" (العالمية) في آنٍ واحد، فإن كل المشاكل تبدو وكأنها تختفي، على الأقل من الناحية النظرية.

والآن، يمكننا إثبات أنه لأسباب فنية، فإن إضافة تناظر فائق في نظرية ما هو وسيلة فعالة للغاية "للتخلص" من تاكيون محتمل. وهكذا، في عام 1981، طور الفيزيائي الأمريكي مايكل غرين، وكذلك مواطنه شوارتز، نظرية جديدة عن الأوتار، أو بالأحرى "الأوتار الفائقة"، بناءً على فكرة شيرك وشوارتز، ولكن لم يبق فيها أي تاكيون، من يستفيد من التناظر الفائق. لكل الأسباب المذكورة سابقًا، توصلنا إلى رؤية نظرية الأوتار الفائقة كوسيلة ممكنة، في إطار كمومي، لتوحيد كل التفاعلات، الأوتار الفائقة هي في نفس الوقت لبنة البناء الأساسية للمادة، والتفاعلات، ولكن أيضا للزمكان. علاوة على ذلك، تنبأت نظرية الأوتار الفائقة هذه أيضًا بعدد أبعاد الزمكان الذي "عاشت فيه" الأوتار، وكانت "فقط" 10 أبعاد مكانية وبعد زمني، وليس بعداً26. هذا الفائض من ستة أبعاد هو ما حفز عودة فكرة دمج الأبعاد إلى الظهور، ولكن ظهور الأصناف الرياضياتية كان أكثر تعقيدًا بكثير من الحلقات البسيطة التي اقترحها كلاين: أصناف كالابي-ياوCalabi-Yau .

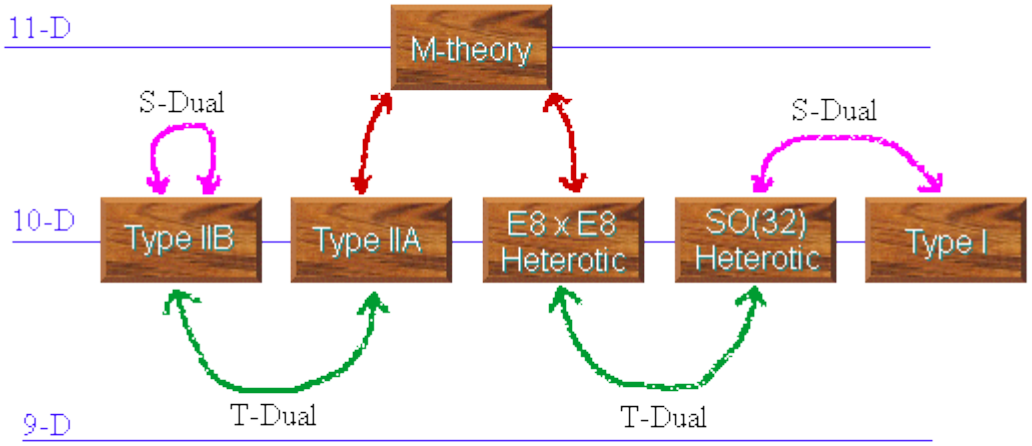


According to string theory, the universe has extra dimensions curled up into a Calabi-Yau shape.

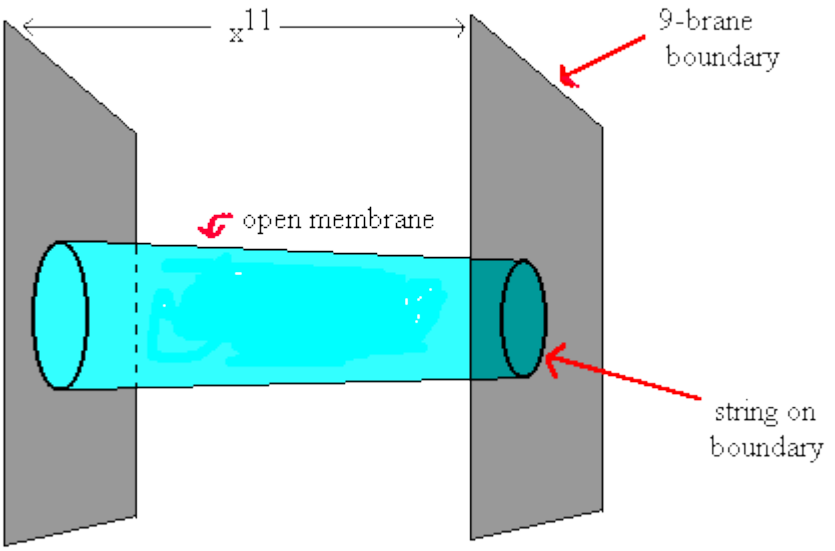
• رسم توضيحي لمبدأ ضغط 6 أبعاد للزمكان من خلال الحصول على 10 للحصول على زمكان رباعي الأبعاد مع، في كل نقطة من الأخير، مشعب Calabi-Yau.

أدى الاستخدام المتزامن لمفاهيم التناظر الفائق والتوحيد والدمج في نظرية الأوتار إلى ظهور ما يسمى "ثورة الأوتار الفائقة الأولى". نقول الأولى، لأنه في التسعينيات، أطلق إ. ويتن، ب. تاونسند وجي بولتشينسكي "الثورة الثانية"، الذين أظهروا أنه يمكن فهم نظريات الأوتار الخمس من الثورة الأولى. باعتبارها 5 "حدود" مختلفة لنظرية أكبر، "نظرية M" (التعبير الذي لا يكون فيه معنى M ثابتًا حقًا يتراوح من "السحر" إلى "الغموض" إلى "الغشاء")، والتي ستشمل أيضًا الجاذبية الفائقة ذات 11 بعدًا التي تمت دراستها في الماضي. تم إجراء هذه الثورة الثانية أيضًا مع إدخال أشياء رياضياتية ممتدة ذات أبعاد مختلفة والتي سيتم "تعليق" الأوتار الفائقة عليها: نحن نتحدث عن "الأغشية". وقد حفز هذا أيضًا مجموعة جديدة كاملة من النماذج الكونية ("علم الكونيات الغشائي branaire") ، عندما تم اكتشاف النماذج الرياضياتية للكون التي تعيش فيها كل المادة على غشاء ثلاثي الأبعاد (والذي سيكون يُعتقد أنه الكون) ، فقط الجاذبية هي التي لديها إمكانية التجول في الأبعاد الإضافية. أصالة هذا النموذج، مقارنة بالنماذج السابقة ذات الأبعاد الإضافية، هي أنه نظرًا لأن المادة محصورة في الغشاء ثلاثي الأبعاد، فإن الأبعاد الإضافية ليست بالضرورة صغيرة جدًا ويمكن أن يكون حجمها بضعة ميكرونات، أو حتى واحد ميكرون/ميلليمتر تقريبًا. قد يعني هذا وجود انحرافات عن قانون نيوتن على مستويات صغيرة، حيث لم يتم اختباره جيدًا دائمًا. لكن هذه الفكرة، مثل الأفكار السابقة، لا تزال غامضة بعض الشيء وغير مكتملة في الوقت الحالي لأنه على الرغم من النجاحات النظرية العديدة التي يفسرها الكثيرون على أنها إشارات مواتية للغاية، فإن النظرية M، التي من المفترض أن تكون وراء كل هذا، غير معروفة. ومع ذلك، فقد تم اتخاذ خطوة مهمة للغاية مع فهم أهمية مفهوم "الازدواجية" واكتشاف مثل هذه العلاقات الثنائية بين نماذج الأوتار الفائقة، مما يعني أن النماذج بداهة تبدو مختلفة تمامًا في النهاية. وصف نفس الوضع المادي.

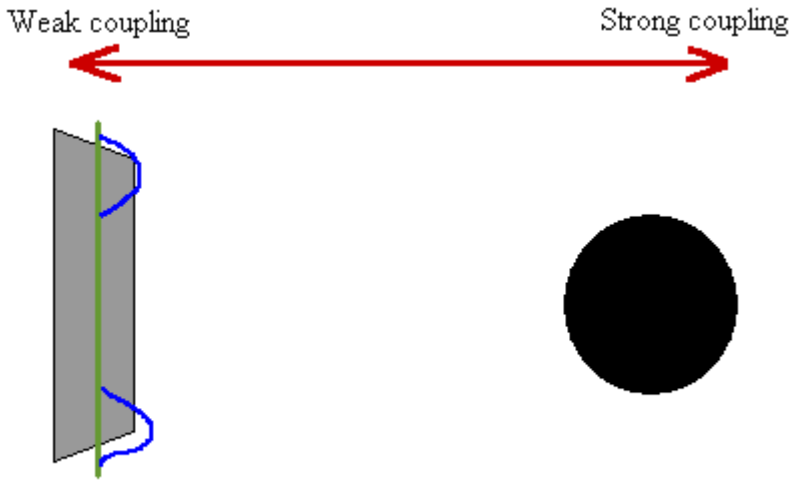
توضيح لعلاقات الازدواجية الموجودة بين النظريات المختلفة للأوتار الفائقة والنظرية M. تربط الثنائية S بين نظريتين بحيث إذا تفاعلت الأشياء المادية مع بعضها البعض بشكل ضعيف، فعندئذ في النظرية المزدوجة هناك نظرية قوية. التفاعل بين صورهم. هذه مقاييس طاقة معاكسة. تربط ثنائية T بين نظريات المقاييس المكانية المعاكسة: إذا نظر المرء إلى أشياء صغيرة، فإن الآخر سيصف الأشياء الكبيرة. المصدر جي إم بيير.



توضيح لمبدأ "الأغشية" على أي الأوتار الفائقة ستكون "ثابتة". المصدر جي إم بيير.



توضيح لاكتشاف حديث إلى حد ما يوضح مبدأ الثنائية عبر مقاييس الطاقة وأهمية الثقوب السوداء في البحث عن نظرية الكموم للجاذبية. وهكذا ثبت أن وصف إشعاع هوكينغ لنوع معين من الثقوب السوداء المنغمسة في نوع معين من الزمكان كان مكافئًا تمامًا لوصف الأوتار الفائقة التي تعيش على غشاء خماسي الأبعاد ولكن على نطاق منخفض الطاقة. المصدر جي إم بيير.



وبالتالي، يقود هذا المفهوم البعض إلى الاعتقاد بأن الأساليب الأخرى المختلفة جدًا لوصف الفيزياء بطريقة هندسية وموحدة، ربما تكون فقط جوانب أخرى للنظرية M. من بين هذه النظريات و / أو الأفكار حاليًا جدًا شكل مختلف، على سبيل المثال "الهندسة غير التبادلية" لكونيس، والتي تتكون من العمل مع "الإحداثيات المكانية" التي ليست أرقامًا معتادة، بل كائنات رياضياتية مثل المنتج AB لاثنين منها مختلفة من المقاربة الأخرى التي قد تكون مثيرة جدًا للاهتمام هي "نظرية التواءات" أو الكون التعاقبي، التي وضعها بنروز، وهي نظرية تبدو أيضًا استمرارًا طبيعيًا جدًا للنسبية العامة. ترتبط فكرة بنروز الأساسية أيضًا بنوع من الازدواجية، نظرًا لأنه بدءًا من الملاحظة التي تشير إلى أن حدثًا (نقطة) من الزمكان يتميز بشكل فريد ببيانات مخروط الضوء المرتبط، فقد قرر للعمل في مساحة هندسية مجردة "نقاطها" هي الجيوديسية الصفرية التي تحدد المخروط. بهذه الطريقة، يظهر فضاء معقد بشكل طبيعي يأمل بنروز

أن يكون قادرًا على قياس الجاذبية منه. على الرغم من أن رأي الفيزيائيين النظريين (الذين يعملون على النظريات الأكثر "تقليدية") حول فرص نجاح بنروز لا يزال منقسمًا إلى حد ما، فقد أعلن الأخير مؤخرًا أنه اكتشف أن إجراءه، الذي لا يتطلب إضافة ليس لها أي بُعد إضافي، يسمح بالعثور على أصناف Calabi-Yau التي تم تقديمها في نظرية الأوتار الفائقة، ويمكن أيضًا اعتبار هذه الأصناف ذات الأبعاد الستة على أنها 3 أبعاد معقدة. الاستنتاج الذي يجب أن ينبثق من قراءة هذه المحاولات في وصف موجز لأحدث النظريات هو أن الوضع لا يزال مشوشًا بعض الشيء، حيث أن النظريات عديدة ومعقدة وفوق كل ذلك لا تزال غير مكتملة. وبالتالي، من الممكن تمامًا أن نتخيل أنه من بين هؤلاء، هناك العديد من الوجوه التي تبدو مختلفة تمامًا عن الوجوه المختلفة في الواقع فقط لنفس النظرية، النظرية M، على سبيل المثال. ولكن يجب أن يكون مفهوماً أن تطورها لا مفر منه "ومحفوف بالمخاطر" قليلاً، بمعنى أن الأدوات الرياضياتية المناسبة لم يتم اختراعها (اكتشافها؟) في كثير من الأحيان. ومع ذلك، من المحتمل أن نكون أكثر دراية بقليل في المستقبل القريب إلى حد ما، مع بدء تشغيل مصادم الهادرونات الكبير في CERN وتطويره وزيادة قدراته في العقد القادم. يجب أن يصل هذا إلى طاقات غير مستكشفة حتى الآن والتي تتوقع فيها العديد من النظريات المذكورة هنا تأثيرات جديدة يمكن ملاحظتها. من بين أكثر التوقعات المذهلة للخيال إمكانية رؤية تصادمات البروتونات والأيونات وهي تولد ثقوبًا سوداء صغيرة ذات أعمار قصيرة جدًا، مماثلة لتلك التي تنبأ بها هوكينغ. يبدو بالفعل أن الثقوب السوداء أساسية للنظرية M، وقد تم تحسين فهمها بدوره من خلال اللجوء إلى النظريات التي يتم فيها قياس الجاذبية (جزئيًا). ومع ذلك، بغض النظر عن النظرية التي ستظهر في المستقبل أثناء اجتياز اختبار LHC بنجاح، فمن المؤكد أن مفهوم الزمكان الذي يتعين علينا اعتماده للمستقبل سيكون أكثر ثورية من ذلك الذي تم طرحه. من قبل أينشتاين، يبدو أن بعض الأفكار الحديثة تدعم أسطورة أفلاطون في الكهف بأننا نلاحظ فقط توقعات العالم "الحقيقي". علاوة على ذلك، إنه رهان آمن، وفقًا لروح العديد من النتائج النظرية الحديثة (سواء التي تحدثنا عنها هنا أم لا) ، لن يكون الأمر مجرد مسألة تعديل مفهوم الزمكان ، ولكن بالأحرى صياغة دقيقة للمفهوم الجديد الموجود بالفعل في الهواء لعدة عقود: المادة-الفضاء-الزمان.

• 1 يمكننا التفكير في الاستخدام الأكثر شيوعًا للمساحات المجردة مثل مساحة الطور.

• 2 وفقًا لبعض المصادر، حصل كلوزا على فكرته من قراءة مقالات لأينشتاين ولينس وثايرينغ حول موضوع القياس بين الكهرومغناطيسية والجاذبية (راجع تأثير لينس-ثايرينغ ، نوع من "الجاذبية المغناطيسية"). علاوة على ذلك، من غير المعروف عمومًا أن إدخال البعد الخامس قد تمت تجربته بالفعل (عبثًا) من قبل نوردستروم في بحثه عن النسب النسبية للجاذبية

من الواضح أن هذا الملف لا يدعي أنه يتطرق تمامًا "حول السؤال"، لذا إليك ببليوغرافيا قصيرة.

الأعمال التاريخية:

• Eisenstaedt، J.، Einstein and General Relativity: The Paths of space-time، CNRS Editions، 2002

• فريدمان، إيه ولمايتري جي، Essais de Cosmologie، ترجمة وملاحظات من قبل J.-P Luminet and A. Grib، Le Seuil، Collections "Sources du Savoir"، 1997

• Luminet J.-P.، اختراع Big Bang Poche، Point Sciences، 2014.

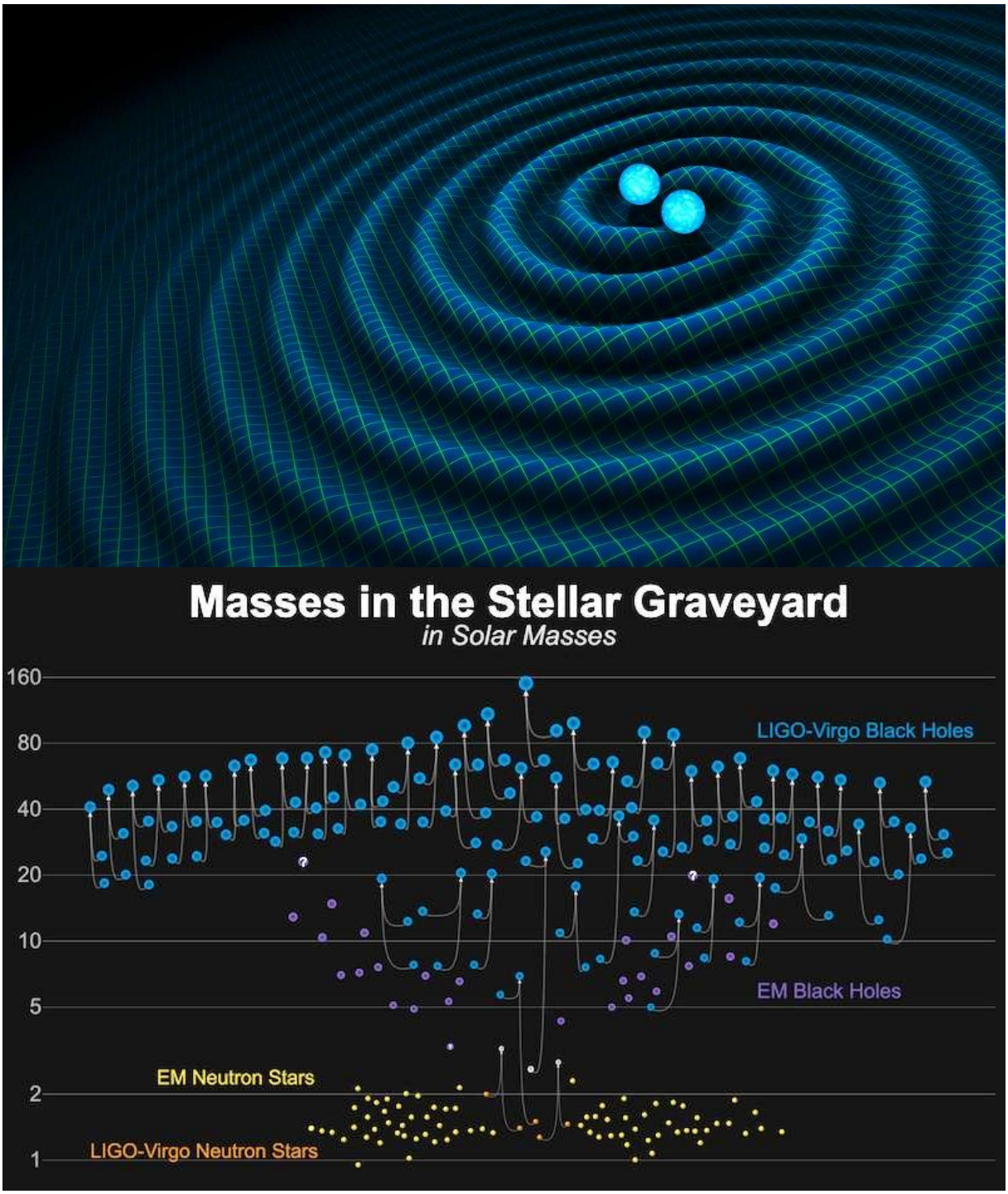
كتب تمهيدية عن النسبية:

• أينشتاين، أ.، النسبية، بيتيت ببليوتيك بايوت، 1956

• هوبسون مايكل، النسبية العامة، دي بوك، 2009
• مور توماس أ، النسبية العامة، دي بوك، 2014

الأعمال الشعبية في الفيزياء الفلكية النسبية:

• Luminet، J.P.، The Destiny of the Universe، Folio Poche، 2010
• ثورن، ك.، الثقوب السوداء والتشوهات الزمنية، Champs Flammarion Sciences، 2001



يمكن أن تحتوي الثقوب السوداء الثنائية على "إلكترونات ثقالية":

في البحث عن المادة المظلمة، يمكن أن تكون الثقوب السوداء حليفًا مهمًا للباحثين. في الواقع، أظهر فريق من الفيزيائيين أنه بالطريقة نفسها التي تتطور بها حقول الإلكترونات حول الأنظمة الذرية الثنائية، يمكن أن تتطور حقول جسيمات المادة المظلمة حول أنظمة ثنائية من الثقوب السوداء، مكونة أنواعًا من "الجزيئات". الثقالية ". وستؤثر حقول المادة المظلمة حول الثقوب السوداء على موجات الجاذبية، مما يجعلها قابلة للاكتشاف في نفس الوقت.

أظهر فريق من الباحثين أن نوعًا خاصًا من الجسيمات يمكن أن يوجد حول زوج من الثقوب السوداء، تمامًا كما يمكن أن يوجد الإلكترون حول زوج من ذرات الهيدروجين. قد يعطينا هذا التكوين الفضولي أدلة حول هوية المادة السوداء أو المظلمة والطبيعة النهائية للزمكان.

الحقول: أداة قوية لوصف الأنظمة الفيزيائية لفهم كيف يشرح البحث الجديد، المنشور على خادم arXiv preprint، وجود جزيئات الجاذبية، يجب علينا أولاً استكشاف أحد الجوانب الأساسية لـ الفيزياء الحديثة: المجال. الحقل هو البيانات، لكل نقطة في الزمكان، لقيمة الكمية المادية. على سبيل المثال، يُعرف الحقل الذي يصف قيمة درجة الحرارة في كل نقطة في الفضاء باسم حقل درجة الحرارة "القياسي".

هناك أيضًا أنواع أخرى من الحقول في الفيزياء، مثل الحقول "الموجهة" وحقول "الموتر". في أوج منتصف القرن العشرين، تبنى الفيزيائيون مفهوم المجال، والذي كان يستخدمه علماء الرياضيات بالفعل. لقد أدركوا أن الحقول ليست فقط أدوات رياضياتية عملية فحسب، بل ويمكن استخدامها لوصف معظم الأنظمة في الكون.

الثقوب والذرات السوداء: أوصاف متشابهة:

في الفيزياء الذرية، يمكن وصف الجسيم الأولي (مثل الإلكترون) تمامًا بثلاث خصائص: كتلته ودورانه وشحنته الكهربائية. وفي فيزياء الجاذبية، يمكن وصف الثقب الأسود بالكامل من حيث ثلاث خواص: كتلته، ودورانه، وشحنته الإلكترونية (يُفسَّر ذلك من خلال "نظرية الصلع").

من الممكن وصف الذرة بأنها نواة صغيرة محاطة بمجال من الإلكترونات. يستجيب هذا المجال الإلكتروني لوجود النواة ويسمح للإلكترون بالظهور فقط في مناطق معينة. ينطبق الأمر نفسه على الإلكترونات الموجودة حول نواتين، على سبيل المثال في جزيء ثنائي الذرة مثل الهيدروجين (H)، يمكن للمرء وصف بيئة الثقب الأسود بنفس الطريقة.

الثقوب السوداء ثنائية المجال العددي التطور

محاكاة توضح تطور الحقول العددية (المناطق المميزة) حول نظام ثنائي من الثقوب السوداء. تايشي إيكيدا وآخرون. 2020 تخيل التفرد الصغير في مركز الثقب الأسود كنواة ذرة، بينما البيئة المحيطة - حقل عددي عام - مشابهة لتلك التي تصف الجسيمات دون الذرية. يستجيب هذا المجال القياسي لوجود الثقب الأسود ويسمح للجسيم المقابل له بالظهور فقط في مناطق معينة. ومثلما هو الحال في الجزيئات ثنائية الذرة، من الممكن أيضًا وصف الحقول العددية حول ثقبين أسودين، كما هو الحال في النظام الثنائي للثقوب السوداء.

وجد مؤلفو الدراسة أن الحقول العددية يمكن أن توجد بالفعل حول الثقوب السوداء الثنائية. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تتشكل في أنماط معينة تشبه الطريقة التي تنظم بها حقول الإلكترون نفسها في جزيئات. وهكذا، فإن سلوك الحقول العددية في هذا السيناريو يحاكي الطريقة التي تتصرف بها الإلكترونات في الجزيئات ثنائية الذرة، ومن هنا جاءت التسمية "جزيئات الجاذبية".

ما هي الفائدة في المجالات العددية؟ من ناحية أخرى، نحن لا نفهم طبيعة المادة السوداء أو المظلمة أو الطاقة السوداء أو المظلمة، ومن الممكن أن تكون الطاقة السوداء أو المظلمة والمادة السوداء أو المظلمة مكونة من واحد أو أكثر من المجالات العددية، تمامًا مثل الإلكترونات. تتكون من المجال الإلكتروني.

إذا كانت المادة المظلمة تتكون بالفعل من نوع من المجال القياسي، فإن هذه النتيجة تعني أن المادة المظلمة على سبيل المثال في حالة غريبة جدًا حول الثقوب السوداء الثنائية - يجب أن توجد الجسيمات المظلمة

الغامضة في مدارات محددة جدًا، تمامًا مثل الإلكترونات الموجودة في الذرات. لكن الثقوب السوداء الثنائية لا تدوم إلى الأبد. تنبعث منها إشعاعات ثقالية وتصطدم في النهاية وتندمج في ثقب أسود واحد.

هذه الحقول العددية للمادة المظلمة ستؤثر على أي موجات ثقالية تنبعث في مثل هذه الاصطدامات لأنها ترشح وتحرف وتعيد تشكيل جميع الموجات التي تمر عبر مناطق كثافة المادة المظلمة المتزايدة. هذا يعني أننا قد نكون قادرين على اكتشاف هذا النوع من المادة المظلمة بحساسية كافية في كاشفات موجات الجاذبية الحالية.

المصادر: arXiv