

الحتمية والإرادة الحرة بين العلم والدين (5-4)

د. جواد بشارة

الطاقة السوداء أو المظلمة والمعتمة وبدائلها:

اكتشفنا قبل عشر سنوات أن تمدد الكون يتسارع. لشرح ذلك، أدخل علماء الكون شكلاً جديداً من الطاقة، الطاقة المظلمة أو السوداء أو المعتمة أو الداكنة. لكنها تظل غامضة. هل يجب أن نراجع النماذج الكونية بدقة؟ على الرغم من التقدم الهائل الذي تم إحرازه على مدار العشرين عاماً الماضية، كان على علماء الكونيات أن يخلصوا إلى أن العديد من الفجوات في فهمنا للكون أبعد ما تكون عن سدها. بعض خصائص الكون، مثل توسعه وعمره ومتوسط كثافته، معروفة جيداً إلى حد ما، لكن محتواه لا يزال لغزاً.

يتكون جزء صغير فقط، أقل من خمسة في المائة، من المادة التي نعرفها - تسمى الباريونيك - وهي الهيدروجين والهيليوم والكربون والعناصر الكيميائية الأخرى، التي تشكل الشمس والأرض وأنفسنا. يقابل حوالي 21 في المائة شكلاً غير معروف من المادة، يسمى المادة السوداء أو المظلمة، والذي يتصرف كما لو كان مكوناً من جزيئات ضخمة والتي لا تتفاعل أو بالكاد تتفاعل مع الإشعاع الكهرومغناطيسي وبالتالي تظل غير مرئية. وأخيراً، يتكون معظم محتوى الكون - 74 بالمائة تقريباً - من شيء غير معروف يتم توزيعه بالتساوي في الفضاء: الطاقة المظلمة (أو السوداء أو المعتمة). وعلى عكس المادة المظلمة، لا يبدو أنها قابلة للوصف من حيث الجسيمات.

هذه الطاقة المظلمة لها ضغط سلبي. يعمل كنوع من مضاد الجاذبية الذي يغذي التوسع الكوني، في حين أن جاذبية المادة تبطنه. مع تجميع المادة الباريونية والظلام مع توسع الفضاء، تظل كثافة الطاقة المظلمة ثابتة تقريباً.

ما هي الطبيعة أو الماهية الحقيقية للطاقة المظلمة؟ هل يمكننا الاستغناء عنها؟ سنقدم بعض عناصر الاجابة.

من وجهة نظر براغماتية، الطاقة المظلمة هي كمية إضافية يتم إدخالها في النموذج الكوني القياسي أو المعياري لتكييفها مع الملاحظات والملاحظات الرصدية الفلكية. أدخل أينشتاين بالفعل في عام 1916 معلمة مخصصة، سماها "الثابت الكوني"، في معادلاته. أراد إنشاء نموذج ثابت للكون، بما يتفق مع قناعاته آنذاك. لهذا، كان لا بد من تعويض سحب الجاذبية للمادة بقوة طاردة. يتوافق الثابت الكوني بالضبط مع هذا التناقض. ومع ذلك، اكتشف إدوين هابل في عشرينيات القرن العشرين أن المجرات تتحرك بعيداً عن بعضها البعض، وهي علامة على أن الكون يتوسع. في الوقت نفسه، أظهر الفيزيائي ألكسندر فريدمان والراهب جورج لوميتير بشكل مستقل أن معادلات النسبية العامة لأينشتاين، في غياب ثابت كوني، تؤدي إلى توسيع هيكلية الكون. لذلك رفض أينشتاين فكرته الأولية واقترح أن يكون الثابت الكوني صفراً.

ثابت لفعل كل شيء:

لم يتم اتباع هذه التوصية دائماً، لأن الثابت الكوني كان عملياً للغاية، عندما كان النموذج الكوني في تضارب واضح مع البيانات وحلول المعادلات، لحل الوضع عن طريق تعديل مناسب لقيمه. في التسعينات، على سبيل المثال، بدا أن بعض النجوم في العناقيد الكروية أقدم من الكون. من خلال تقديم ثابت كوني إيجابي لزيادة عمر الكون، تم محو هذا الاختلاف. ومع ذلك، فقد أدت النماذج النجمية الأفضل والملاحظات الأكثر دقة إلى تخفيض عمر هذه النجوم وتم وضع الثابت الكوني مرة أخرى جانباً.

ومع ذلك، منذ عام 1998، عاد الثابت الكوني إلى المقدمة. اكتشف هابل أن طيف المجرات يتحول نحو الأحمر - تتحول الخطوط المميزة للعناصر الذرية إلى أطوال موجية أطول - مقارنةً بأنظمة قريبة من الأرض. هذا الإزاحة أكبر كلما كانت المجرة بعيدة. وهذا يعني أن المجرات تتحرك بعيداً عنا، وكلما كانت أبعد مسافةً - كما لو كانت الإزاحة ناتجة عن تأثير دوبلر، لكن الظاهرة على المحك أكثر تعقيداً وتقتض توسع الفضاء. وهكذا اقترح هابل القانون الذي يحمل اسمه الآن، أي أن مجرتين تبتعدان عن بعضهما بسرعة تتناسب مع المسافة بينهما. ثابت التناسب هو ثابت هابل، المشار إليه H_0 . لاحظ أنه ليس ثابتاً، لأنه اختلف عبر تاريخ الكون.

من الصعب قياس ثابت هابل لأنه لتحديد العلاقة بين الانزياح الأحمر والمسافة بدقة، تحتاج إلى قياس موثوق للمسافة. ومع ذلك، لفترة طويلة، لم يكن هذا هو الحال بالنسبة للمجرات البعيدة. سرعان ما توصل الفلكيون إلى فكرة استخدام انفجارات نجمية تدعى المستعرات العظمى من النوع Ia كمؤشرات للمسافة. إنها انفجارات نووية حرارية للأقزام البيضاء، ونجوم مضغوطة تجمع كتلة الشمس في قطر الأرض. مستقرة بشكل طبيعي، يمكن أن تنفجر عندما تجمع مواد ممزقة من نجم مصاحب يتجاوز ما يسمى كتلة حد شاندراسيكر Chandrasekhar، والتي تساوي حوالي 1.4 كتلة شمسية. المستعرات من النوع Ia ساطعة جداً وبالتالي فهي مرئية حتى في المجرات البعيدة. تلمع لبضعة أسابيع مع تألق شديد، ثم يضعف الللمعان لعدة أشهر.

مصلحة هذه المستعرات العظمى هي أنه من حيث المبدأ، لديها جميعاً نفس الكتلة والهيكل نفسه، وبالتالي لمعان جوهري متطابق. وبالتالي يطلق عليها غالباً "الشموع القياسية": بشكل أدق، ليس لديها نفس الللمعان بالضبط، ولكن العلاقة التجريبية تعطي أقصى لمعانها وفقاً لشكل منحني الللمعان؛ لذا فهي شموع "قابلة للمعايرة". الللمعان الجوهري المعروف، يتم استنتاج بعدهم من الللمعان الملاحظ.

space (انظر The Big Bang Paradoxes ، بقلم C. Lineweaver و T. Davis)

تسارع إشكالي:

لتمييز سرعة التوسع في الفضاء، نقارن المسافة من نوع مختلف من المستعرات العظمى التي تحدث في أوقات مختلفة. من الناحية العملية، المهمة صعبة، لأن هذه الأحداث نادرة (حوالي حدث واحد لكل مجرة ولكل قرن!)، ولأننا يجب أن نعاير العلاقة بين الذروة ومنحنى الللمعان مع المستعرات العظمى التي

تعرف بعدها في مكان آخر. بفضل التقدم المحرز في السنوات الأخيرة، يتم الآن قياس المسافة من المجرات البعيدة بدقة تبلغ حوالي عشرة بالمائة.

وبالتالي، تم تقييم ثابت هابل بنفس الدقة التي تبلغ عشرة في المائة بسرعة 70 كيلومترًا في الثانية لكل ميغا بكسال (تبلغ قيمة ميغا بكسال حوالي 3.3 مليون سنة ضوئية). وبالتالي، تبتعد عنا مجرة تقع في 100 ميغا بكسال، بعيدًا عن فيضان التوسع، بسرعة 7000 كيلومتر في الثانية (التي يجب أن نضيف إليها حركتها الخاصة).

ولكن، في عام 1998، أظهرت العديد من الفرق البحثية أن المستعرات الأعظم البعيدة أقل تألقًا، وهذا يعني بعدًا أكثر مما يقترحه تحولها نحو اللون الأحمر. وبعبارة أخرى، يجب أن يكون الكون قد توسع بشكل أسرع منذ أن انفجرت هذه المستعرات العظمى عما كانت عليه في السيناريو السائد آنذاك، حيث كان من المفترض أن يتباطأ التوسع ببطء. يمكن إعادة تسريع التوسع هذا في النماذج الكونية على أساس النسبية العامة لأينشتاين بواسطة ثابت كوني إيجابي، والذي يعمل على مقياس الكون كمحرك للتوسع (على عكس الثقالة والتي تميل إلى تجميع المادة وجذبها وبالتالي تبطئ التوسع). تتضمن النماذج التي تعيد إنتاج القياسات بشكل أفضل أقل من 30 في المائة من المادة "الجاذبة" (المادة الكلاسيكية والمادة المظلمة) مقابل أكثر من 70 في المائة من طاقة ذات كثافة ثابتة، ممثلة بالثابت الكوني.

تم تأكيد هذه النتيجة الثورية بوسيلة أخرى، وهي قياس إشعاع الخلفية الكونية. تم اكتشاف إشعاع الخلفية الكونية الميكروية هذا الذي يغمر الفضاء في جميع الاتجاهات بنفس الكثافة في عام 1964 من قبل أرنو بينزياس وروبرت ويلسون من مختبرات بيل. طيفها هو جسم أسود: يظهر جسمًا كان في حالة توازن حراري مع بيئته. في عام 1992، أظهر القمر الصناعي COBE (COsmic Background Explorer) من وكالة ناسا أن درجة الحرارة السفلية المنتشرة كانت 2728 كلفن.

ما هو أصل الخلفية المنتشرة؟ في بداية تاريخه، كان الكون حارًا وكثيفًا لدرجة أن النوى الذرية والإلكترونات كانت مفصولة. انتشرت الفوتونات باستمرار بواسطة الإلكترونات الحرة. ومع ذلك، أدى التوسع في الفضاء إلى التبريد التدريجي لهذه البلازما، وعندما وصلت درجة الحرارة إلى حوالي 3000 كلفن، تم إعادة تجميع الإلكترونات مع النوى لتشكيل الذرات، وتم إطلاق الإشعاع. الخلفية الكونية الميكروية ليست سوى هذا الإشعاع الأول المنبعث في تاريخ الكون، الذي انتشر بحرية منذ ذلك الحين وتم تبريده من خلال التوسع الكوني.

ماذا نقرأ في الخلفية الإشعاعية الكونية الميكروية المنتشرة؟

على خرائط الخلفية الكونية الميكروية التي رسمها القمر الصناعي COBE، ظهرت بقع تتوافق مع اختلافات درجات الحرارة في ترتيب بضع عشرات من الميكروكيلفين، أو 1 لكل 100000. ومع ذلك، كانت الدقة الزاوية للقمر الصناعي منخفضة جدًا بحيث لا تستطيع أن تشكل دليل على الهياكل الصغيرة.

خلفه، القمر الصناعي WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe)، الذي تم إطلاقه في عام 2001، والذي رسم خريطة الخلفية الميكروية الكونية بتعريف حوالي 12 دقيقة قوسية (40 في المائة من قطر القمر المكتمل). كشفت الخريطة التي رسمتها WMAP عن اختلافات في درجات الحرارة على نطاق زوايا صغير. هذه التقلبات ستكون بذور المجرات وغيرها من الهياكل الكبيرة للمادة في الكون.

يمكن أن تتحلل إشارة الاختلافات في درجة حرارة الخلفية الميكروية الكونية لإظهار اتساع التقلبات كدالة في مقياسها، ما يسمى طيف الطاقة.

هذه التقلبات هي انعكاس للاهتزازات التي اجتازت الكون قبل انبعاث القاع المنتشر. في ذلك الوقت، تسبب الصراع بين انهيار الجاذبية للمادة نفسها والضغط الإشعاعي للفوتونات في تذبذبات في البلازما الساخنة. أدت تقلبات الكثافة هذه إلى اختلاف في درجة الحرارة، والذي تم الحفاظ عليه في الخلفية المنتشرة أثناء إعادة تركيب الإلكترونات مع النوى: لمراقبة تقلبات درجة الحرارة في الخلفية المنتشرة وهي مراقبة تقلبات الكثافة في الكون البدائي. تظهر العديد من القمم في طيف الطاقة للخلفية المنتشرة، والجزء الرئيسي على مقياس درجة واحدة تقريباً. ما هو أصلهم؟ نقوم أولاً بحساب أكبر مسافة يمكن أن تنتقل فيها الموجة الصوتية من الانفجار الكبير إلى إعادة التركيب. هذه المسافة، التي تسمى أفق الصوت، تخبرنا عن هندسة الكون. في الواقع، تعتمد الزاوية التي نرى فيها طولاً معيناً على بعدها وانحناء الفضاء. بالنسبة للمسافة نفسها، تكون زاوية الانحناء الموجب أكبر مما ستكون عليه للانحناء الصفري، وأقل في حالة الانحناء السالب. هذا الأفق الصوتي مرئي اليوم في شكل تقلبات على مقياس درجة واحدة في الخلفية المنتشرة. من خلال معرفة حجمه ومدى بعده (مسافة الخلفية المنتشرة، أي نصف قطر الكون المرصود) والزاوية التي يتم رؤية الأفق الصوتي فيها، نستنتج أن انحناء الفضاء يساوي صفر تقريباً. وبعبارة أخرى، فإن هندسة الفضاء مسطحة (أو "إقليدية").

هذا الانحناء الصفري له تأثير على محتوى الكون: وفقاً للنسبية العامة، تعتمد هندسة الزمكان على محتواها من الطاقة. لكي يكون الانحناء صفراً، يجب أن تصل الكثافة الإجمالية للكتلة والطاقة إلى قيمة حاسمة، يحددها ثابت هابل. يشير التحليل الدقيق للخلفية المنتشرة إلى أن الطاقة الإجمالية لا تختلف بأكثر من اثنين في المائة من هذه القيمة الحرجة.

الحساب المطلوب ليس متوفراً:

يجعل الهيكل العام لطيف القدرة لتقلبات الخلفية المنتشرة، من الممكن تحديد المحتوى المادي للكون. على سبيل المثال، تكون التقلبات أكثر وضوحاً كلما زادت كثافة المادة الباريونية مقارنة بكثافة المادة المظلمة. توجد هذه العلاقة في اتساع الذروة الأولى والثانية في طيف القدرة. تظهر أن الكون يحتوي على مادة مظلمة أكثر بحوالي ستة أضعاف من المادة الباريونية. تتوافق هذه القيم مع القياسات الفلكية الأخرى، ولا سيما تلك المتعلقة بالتخليق النووي.

إذا كانت المادة الباريونية والمادة المظلمة هي المحتويات الوحيدة للكون، حيث يكون الانحناء صفراً، فيجب أن نعزو ذلك إلى الكثافة الحرجة، وبالتالي إلى ثابت هابل، وهي قيمة أقل بكثير من تلك التي تمت ملاحظتها اليوم. للتوفيق بين القيود التي توفرها الخلفية المنتشرة وقياس ثابت هابل، قدمنا مكوناً إضافياً للكون. الأكثر طبيعية هو ثابت كوني إيجابي، يوفق بين تسارع التوسع والكثافة الحرجة. لذلك يجب أن يكون شكلاً من أشكال الطاقة ذات الكثافة الثابتة، أو يساوي تقريباً 0.74 (مقارنة بالكثافة الحرجة). ويستنتج من ذلك أن الكثافة الإجمالية للمادة تساوي تقريباً 0.26، بما في ذلك 0.05 للمادة الباريونية و0.21 للمادة المظلمة. وباختصار، فإن الجمع بين الخلفية المنتشرة وقياس التمدد الكوني يعلمنا أن الكون مسطح، وأن المادة المعروفة تمثل فقط حوالي خمسة بالمائة من محتواه، وأن 21 بالمائة تتوافق مع مادة غامضة سوداء وأن 74 في المئة المتبقية تتكون من "طاقة مظلمة" أكثر غموضاً. هذه الأخيرة هي التي تحدد التوسع الحالي والمستقبلي للكون.

طبيعة الطاقة المظلمة:

في ذهن أينشتاين، كان الثابت الكوني ذو طبيعة هندسية بحتة. ولكن ما هي الطبيعة الحقيقية للطاقة المظلمة؟ بعد فترة وجيزة من تقديمه، لاحظ الفيزيائيون أنه يمكن تفسيره من حيث طاقة الفراغ. في نظرية الكم الكوانتوم، لا يكون الفراغ فارغاً أبداً حقاً، ولكنه يغمر في حقول متقلبة حول قيمة متوسطة صفرية، والتي تولد طاقة معينة غير صفرية. لا يمتلك الفيزيائيون حتى الآن الأدوات النظرية اللازمة لحساب طاقة الفراغ هذه. ومع ذلك، أعطت المحاولات الأولى قيماً أكبر بعامل 10^{120} من كثافة الطاقة المظلمة المستخرجة من القياسات الفلكية. في سياق ما يسمى نظرية التناظر الفائق *théorie de super symétrie*، ينخفض هذا الاختلاف إلى 60 مرتبة من حيث الحجم، وهو أفضل، ولكنه لا يزال كثيراً جداً! سينشأ هذا التناقض من باب أولى إذا كان الثابت الكوني صفراً: يجب أن نوضح لماذا لا توجد القيمة النظرية العالية لطاقة الفراغ نظيراً يمكن ملاحظته في الكون. لا أحد يعرف كيف يمكن تعويض مساهمته بهذه الدقة. ربما تحل نظرية صحيحة عن الجاذبية الكمومية، توحد النسبية العامة والفيزياء الكمومية، مشكلة الاختلاف في ترتيب الحجم.

ما هي الأدلة الأخرى التي لدينا؟ وقد أدخل البعض، لأسباب أخرى، مفهوم "المناظر الطبيعية"، حيث توجد لدى المناطق الكونية المختلفة قوانين فيزيائية مختلفة، بما في ذلك الثابت الكوني. وهكذا نجد أنفسنا في كون ثابت كوني ضعيف لأن هذه الحالة تسمح بوجود مراقبين. هذا السيناريو الذي يستدعي مبدأ الأنثروبيا يصعب اختباره.

اقترح علماء الفيزياء الفلكية أن الثابت الكوني هو انبثاق حقل غير معروف يسمى الجوهر، يفترض أنه متغير بمرور الوقت. إذا كان هذا هو الحال، يمكن للملاحظات أن تسلط الضوء على تطور مختلف للتوسع الكوني - على سبيل المثال أكثر وضوحاً أو على العكس من ذلك - مقارنة بفرضية الثابت الكوني، وهو ... ثابت. ولكن في الوقت الحالي، تجادل القياسات الدقيقة بشكل متزايد لصالح كثافة طاقة ثابتة.

من إنجازات فيزياء الكم الكوانتوم، فإن أكثر المرشحين الطبيعيين لتفسير المادة السوداء والطاقة المظلمة: بالنسبة للأولى جسيمات أولية جديدة، والثانية، طاقة الفراغ أو طاقة الحقول الافتراضية.. يمكننا أيضاً أن نتخيل كوننا راضين عن المكونات المعروفة وتعديل القوانين الأساسية للفيزياء، خاصة قوانين الجاذبية.

هناك العديد من نظريات الجاذبية البديلة. حتى لو تم رفض معظمها بسرعة، فإن البعض يستحق الاهتمام. لشرح ديناميكيات المجرات وعناوين المجرات دون اللجوء إلى المادة المظلمة - التي تم تقديمها تاريخياً لهذا الغرض - اقترح الفيزيائي الإسرائيلي مردهاي ميلجروم، في أوائل الثمانينيات، تعديل قانون نيوتن لتفاعل الجاذبية مسافة كبيرة. في الواقع، تم التحقق من ذلك فقط تجريبياً على نطاق النظام الشمسي. في نظريته، التي تسمى MOND (ديناميكيات نيوتونية معدلة)، للتسارع الضعيف، يتم إنتاج نفس التسارع بواسطة قوة أضعف من قانون نيوتن. ولكن والحال هذه هل يجب أن نراجع أو نعيد النظر بالجاذبية؟

تستنسج نظرية MOND بشكل صحيح منحنيات دوران معظم المجرات، ولكن لديها نقاط ضعف كبيرة: لا يتم احترام قانون الحفاظ على الزخم، وتفشل النظرية في تفسير ديناميكيات مجموعات المجرات. مشكلة أخرى هي أن النظرية غير نسبية، وبالتالي لا تنطبق على علم الكونيات.

في عام 2004، قام جاكوب بيكنشتاين ، من الجامعة العبرية في القدس ، بنشر نسخة نسبية لنظرية موند MOND (ديناميكيات نيوتونية معدلة)، نظرية الموتر-المتجهي ، اختصار TeVeS. مثل نظرية النسبية العامة لأينشتاين، فهي صيغة هندسية للجاذبية. في النسبية العامة، يصف ما يسمى موتر متري في كل نقطة الخصائص الهندسية للزمان. يتم حسابها عبر معادلات آينشتاين كدالة لتوزيع المادة والطاقة. الجديد في نظرية TeVeS هو إدخال "مجال عددي" إضافي، يحدد في كل نقطة شدة مجال الجاذبية، بالإضافة إلى حقل ناقل، والذي يظهر تأثير المقياس على المسارات حتى في غياب المادة.

في حالة الحد الأقصى للسرعات والتسارع، تستنسخ نظرية TeVeS النسبية العامة؛ في حالة السرعات المنخفضة والتسارع، يعادل الجاذبية النيوتونية ؛ وللتسارع الضعيف للغاية ، ينضم إلى نظرية MOND.

من المؤكد أن نظرية TeVeS هي إطار مناسب لمعالجة الأسئلة الكونية، ولكن مجالاتها الإضافية التي تم إدخالها بشكل خاص تمنحها طابعًا اصطناعيًا. تعتبر النسبية العامة لأينشتاين أكثر أناقة وتشرح بشكل مثالي الظواهر التي تحدث على مقاييس تتراوح من ملليمتر إلى تلك الخاصة بالنظام الشمسي.

ومع ذلك، فإن الشيء الأكثر إزعاجًا هو أن نظريات MOND و TeVeS وما يعادلها، التي تم إنشاؤها للتغلب على مشكلة المادة المظلمة، لا تقدم أي إجابة فيما يتعلق بالطاقة المظلمة.

من بين نظريات بديلة أخرى، يمكن أن تعوض نظرية الجاذبية المطابقة عن هذا النقص. الفكرة هي أنه في المقاييس الكونية، الجاذبية هي في الواقع بغضه، بينما محليا، بالطبع، لا تزال جذابة. إن تسارع التوسع الكوني سيكون عندئذٍ مظهر الجاذبية، وليس نتيجة طاقة افتراضية مظلمة. ومع ذلك، لا يزال من السابق لأوانه التنبؤ بمستقبل هذه النظرية.

لا يزال هناك احتمال آخر. إذا كانت المستعرات الأعظم البعيدة تطرح العديد من المشاكل للاندماج بشكل متماسك في الإطار الكوني القياسي، فربما يكون الإطار نفسه غير مناسب؟

يعتمد النموذج الكوني القياسي على نموذج لكون فريدمان، متجانس ومتوسع باستمرار. الافتراض الكامن وراء هذا النموذج هو أن توزيع المادة في الفضاء موحد. ومع ذلك، فإن التوزيع الحقيقي غير متجانس: يتم تجميع النجوم في المجرات، والمجرات في التجمعات، والتجمعات في خيوط المادة التي تحيط بفقااعات كبيرة فارغة نسبياً. هل التقريب في نموذج فريدمان صحيح؟ وفقاً لنظرية النسبية العامة، تعمل الكتلة على هندسة الزمكان. وهكذا، فإن المجرات وعناقيد المجرات وغيرها من الهياكل الكبيرة تحني الزمكان. ومع ذلك، يسعى علماء الكونيات إلى وصف الكون ككل، دون التركيز على خصائصه المحلية. للقيام بذلك، يحسبون باستخدام معادلات آينشتاين تطور الهندسة الكلية للفضاء تحت تأثير متوسط كثافة المادة .

من وجهة نظر رياضية، يمكن أن يعطي حل المعادلات المتعلقة بكميات متوسطة مسبقة نتائج مختلفة تمامًا عن حل هذه المعادلات نفسها بكميات حقيقية ، ويتم حساب المتوسط بعدًا على الحلول.

تدرس العديد من الفرق البحثية الآن تأثير عدم التجانس في توزيع المادة على هندسة الزمكان. ولكن بدلاً من حل معادلات آينشتاين مباشرة من أجل التوزيع الحقيقي للمادة - وهو أمر معقد للغاية اليوم - حاول بعض علماء الكون أن يصفوا خلفيًا تغذية مرتدة كثافة المادة الحقيقية على هندسة كون متجانس، بحسب بداهة من متوسط الكثافة.

يمكننا أن نتخيل الكون المتجانس كسطح مرن يمتد بانتظام. السطح الأملس يتوسع باستمرار وانحنائه، صفر، ثابت. تخيل الآن أن المجرات عبارة عن كرات صغيرة توضع على السطح؛ يبتعدون عن بعضهم البعض مع توسع الأخير. عند النظر إليه عن كثب، لم يعد السطح أملساً: فكتلة كل المجرات تشوهها قليلاً، وتشكل مجوفة صغيرة محلية. أي إن المجوفة الكونية وعرة. يمكننا حساب تأثير هذه التشوهات الصغيرة على الانحناء الكلي للكون، عن طريق حساب متوسطها في منطقة محدودة واستبدالها بتشويه واحد أكثر نعومة. في الواقع، فإن الجاذبية لها مدى لا نهائي، ولا يمكن للمرء أن يحد من تأثير التجانس على المنطقة الملساء. بل يجب تطبيقه على الزمكان كله.

وعلى نطاق واسع، يتم تعديل الزمكان العالمي بمتوسط مساهمة التجانس في توزيع المادة. بالنسبة لمنطقة من الكون مماثلة للكون المرئي، يؤدي تمهيد التجانس إلى إضافة مصطلح متوسط إلى متوسط الكثافة، كما ذكر Q. في ظل ظروف معينة، يمكن أن يتوافق هذا المصطلح التصحيحي مع تسارع محلي للتوسع، وإعادة إنتاج آثار الطاقة المظلمة.

(انظر علم الكونيات غير المتجانسة، بقلم T. Clifton and P. Ferreira، الصفحة 106)

يدرس العديد من الفيزيائيين الآن هذا المسار، الذي كان المنظر الجنوب أفريقي جورج إليس أول من لفت الانتباه إليه. يشدد توماس بوخرت، من جامعة ليون، على أهمية المعالجة المتماثلة للمصطلح التصحيحي S. يتطلب الوصف الكمي الصحيح لتأثير التغيرات مراعاة المصطلحات غير الخطية لنظرية النسبية العامة، وهو حساب يقاوم حتى الآن كل الجهود.

أظهر بوخرت أيضاً أن مصطلح Q يساوي صفر عند النظر في عدم التجانس في حجم محدد بشروط حدود دورية، أي أن الحساب يتم في حجم مساحة محدودة، متكرر خطوة بخطوة. بما أن جميع المحاكاة العددية الحالية لتشكيل الهياكل الكونية تستند إلى مثل هذا النهج، فلا يمكن للمرء أن يبرز فيه تأثيراً محتملاً للتغيرات اللامتجانسة *hétérogénéité*. لا يزال هناك الكثير الذي يتعين القيام به لإظهار ما إذا كان علاج التغيرات هو بديل صلب للطاقة المظلمة. سيكون التخلص من هذا المكون الغامض من النموذج الكوني خطوة كبيرة إلى الأمام، لكن مشكلة حساب طاقة الفراغ الكمي وتعويضه ستظل قائمة.

ثابت كوني لا غنى عنه:

لشرح الطاقة المظلمة وتسريع توسع الكون، يتنافس الفيزيائيون لتقديم النظريات الجديدة. ولكن هذا ليس ضرورياً: الثابت الكوني، الذي قدمه ألبرت أينشتاين ثم نفاه أو ألغاه، هو أكثر من كافٍ لحل اللغز.

منذ عام 1927 والمقال التأسيسي لعلم الكونيات النسبي الحديث من قبل عالم الفلك البلجيكي الراهب جورج لوميتر، اتفقت النظرية والملاحظات على إثبات أن الكون يتوسع، معظم الفلكيين يعتبرون أن هذا التوسع، تحت تأثير الجاذبية، يجب أن يتطور وتنتهي إلى التباطؤ. ومن ثم، فإنه على ثقة من أنه، بناءً على البيانات التي تم جمعها بواسطة التلسكوبات الكبيرة، شرع فريقان مستقلان بقيادة شاول بيرلميوتر وبريان شميت وآدم ريس في رسم خرائط الكون، معتقدين أنهما سيقيسان بدقة لم تتحقق من قبل. علامات هذا التباطؤ.

لدهشتهم، وجدوا أنه في حين أن توسع الكون قد تباطأ بالفعل في المليار سنة الأولى بسبب الجاذبية، لكنه تسارع بعد 7 مليار سنة. التفسير الأكثر طبيعية لمثل هذا التسارع هو التذرع بوجود قوة طاردة على

نطاق واسع، قادرة على مواجهة قوة جذب الأجرام السماوية: إنها "الطاقة المظلمة". هذا الاكتشاف، الذي تم تأكيده من قبل طرق أخرى، سيكسب علماء الفلك جائزة نوبل في الفيزياء لعام 2011. لكن نشر النتائج، في عام 1998، أدى بالفعل إلى ظهور التأثيرات المعتادة للإعلانات في الصحافة على نموذج: "نموذجنا للكون موضع تساؤل. حتى أن منتدى دافوس الاقتصادي خصص جلسة في يناير 2000 للموضوع أمام جمهور لم يفهمها. بدعوة العالم الفيزيائي الفرنسي جون بيير لومينيت كمتحدث مع اثنين من علماء الكون الأمريكيين، حاول التخفيف من ثورة وسائل الإعلام من خلال توضيح أن تسارع التوسع الكوني لم يشكك بالضرورة في النماذج العامة لـ Big Bang. لكنه لم يحقق أي نجاح: لم يكن من الواضح، أن جمهور ينتظر منه، أن يشرح أن الفيزيائي البلجيكي، جورج لومينر المذكور أعلاه، قدم بحثاً باللغة الفرنسية قبل ستين عاماً مضت، قد أعطى بالفعل جميع خصوصيات ونوبات التنافر الكوني باستدعاء ثابت كوني.

في الواقع، تم التخلي عن هذا المصطلح، الذي ظهر في معادلات أينشتاين الأصلية في وقت مبكر من عام 1917 في شكل الحرف اليوناني λ ، من قبل التيار الكوني لعلم الكون الأنجلو ساكسوني. ومع ذلك، فإنه يشرح بشكل طبيعي وبأسلوب أكثر أناقة هو ظاهرة التنافر الكوني دون تضمين أي غموض معين. تستحق القضية مزيداً من التفاصيل، والاعتراضات المتكررة على تحديد الطاقة المظلمة واقتراحها بالثابت الكوني، بعض التوضيحات. فالثابت الكوني كان أكبر خطأ أينشتاين باعتراف هذا الأخير لكنه كان خاطئاً فالثابت الكوني بات أكثر من ضروري اليوم لفهم ظاهر التوسع الكوني والتسارع في التوسع.

في عام 1917، رغب ألبرت أينشتاين منطقياً في استخدام نظريته الجديدة للنسبية العامة لوصف هيكل الكون ككل. كان الرأي السائد إذن هو أن الكون يجب أن يكون ثابتاً، أي لا يتغير بمرور الوقت. يتوقع أينشتاين أن تدعم نظريته هذا الرأي. ليست هذه هي القضية. نموذج الكون الذي طوره في المقام الأول ليس له نصف قطر ثابت للانحناء: إن قوة الثقالة الجاذبة التي لا ترحم، تعمل على كل جسم سماوي، تميل إلى زعزعة استقراره وجعله ينهار على نفسه -لكيلا ينهار كوننا على نفسه.

بالنسبة لأينشتاين، العلاج الوحيد لهذه المشكلة هو إضافة مصطلح مخصص ولكنه متماسك رياضياً في معادلاته الأصلية. تتوافق هذه الإضافة مع نوع من "الجاذبية المضادة"، الطاردة، والتي تعمل كقوة نفور يتم الشعور بها فقط على النطاق الكوني. بفضل هذه الحيلة الرياضية، يظل نموذج أينشتاين دائماً ولا يتغير. يمثل أينشتاين هذا المصطلح بالحرف اليوناني λ ويطلق عليه "الثابت الكوني". إنه في الواقع ثابت، لأنه يجب أن يحتفظ بنفس القيمة في المكان والزمان. من الناحية الرسمية، يمكن أن تأخذ أي قيمة مسبقاً، ولكن القيمة التي حددها أينشتاين ينتج عنها نموذج الكون الثابت.

في نفس العام، قام عالم الفيزياء الفلكية الهولندي ويليم دي سيتر ببناء نموذج آخر للكون النسبي الساكن، يختلف تماماً عن ذلك الخاص بأينشتاين (يفترض أن كثافة المادة تبقى صفراً بمرور الوقت)، ولكن أيضاً تتضمن ثابتاً كونياً، التي يتمثل تأثيرها هنا في إحداث انحناء الزمكان، في غياب المادة وبالتالي الجاذبية. يصبح دور الثابت أكثر وضوحاً في ضوء جديد. في نموذج دي سيتر De Sitter، تتفصل خطوط الكون (مسارات الزمكان) تليها المجرات بسرعة عن بعضها البعض بمرور الوقت، كما لو كان الفضاء في اتساع عام: وهذا يعني أنه في حالة عدم وجود المادة، فإن الثابت الكوني له تأثير واضح على بنية الكون. ومع ذلك، في نظر أينشتاين، يتم اختزال حل دي سيتر إلى فضول رياضي بسيط، لأن الكون الحقيقي يحتوي بالفعل على المادة.

حدث التطور الدرامي الأول في عام 1922، عندما درس عالم الرياضيات الروسي ألكسندر فريدمان النماذج الكونية النسبية دون الحكم المسبق على الطبيعة الساكنة للكون. يكتشف حلاً بسيطاً ودقيقة تجعل النماذج الثابتة لأينشتاين ودي سيتر حالات محددة جداً للحلول الأكثر عمومية، والتي هي ديناميكية.

بعد فترة وجيزة، تؤكد الملاحظات الفلكية التي أجراها فيستو سليف في الولايات المتحدة وشكلها إدوين هابل عام 1929 (الذي سيكسب وحده كل المجد) أن المجرات تميل بالفعل إلى الانفصال بمرور الوقت. في الوقت نفسه، يعيد المنظر البريطاني آرثر إدينجتون إعادة النظر في نموذج أينشتاين الثابت ويثبت أنه، مثل القلم المستقر على طرفه، غير مستقر: في أقل اضطراب، يجب أن يتوسع أو يتقلص.

تساعد هذه الحقائق الجديدة على الاعتراف بأن النموذج الكوني لأينشتاين لم يكن نموذجاً جيداً للكون، وبالتالي مع ذلك، يشكك في الثابت الكوني. بما أنه لم يعد يفي بوظيفته الأساسية، أي تثبيت نصف قطر الكون، ما الفائدة من الحفاظ عليه؟ أينشتاين هو أول من وجه نقده الخاص. بعد بعض التردد، اعترف أخيراً بأهمية حلول فريدمان الديناميكية وفي الحل الجديد الذي طوره في عام 1932 مع دي سيتر، اختفى الثابت الكوني!

الرجل الذي رفض:

للوهلة الأولى، يبدو أن النقاش مغلق. ومع ذلك، كان هناك شخص لم يوافق على هذا الحل الترقيعي. اسمه جورج لوميتر. بدأ بحثه الكوني في عام 1925 وفهم الدور الديناميكي الذي يلعبه الثابت الكوني في نموذج دي سيتر. في عام 1927، أعاد اكتشاف الحلول الأكثر عمومية التي اكتشفها فريدمان وجعل لأول مرة الرابط بين توسع الفضاء والرحلة الواضحة للمجرات. إنه الأب الحقيقي لعلم الكونيات الحديث ونماذج Big Bang الشهيرة! في نموذج الكون الساكن (أ) الذي صممه ألبرت أينشتاين، فإن إدخال ثابت كوني يوازن الميل إلى الانهيار بسبب الجاذبية. طور جورج لوميتر نماذج ديناميكية أخرى. في عام 1927، المعروف باسم "الكون ذي التمدد الأبدي" (ب)، يولد الثابت الكوني قوة طاردة تسرع التوسع. تم دفع البداية إلى ما لا نهاية إلى الماضي حيث تتصل بنموذج أينشتاين الثابت. في نموذج الكون المتردد (ج)، الذي يعود تاريخه إلى عام 1931، الكون في البداية، الانفجار الكبير، ثم يمر بمرحلة يتباطأ فيها توسعه بسبب الجاذبية. بعد مرحلة من شبه التوازن، يتولى الثابت الكوني مهمة التوسع: يتسارع التمدد. بالنسبة إلى جورج لوميتر Lemaître، فإن الثابت الكوني هو مكون أساسي للنظرية النسبية، وهي ضرورة منطقية وملاحظة. طور حجة مسبقة في ثلاث نقاط. أولاً، الثابت الكوني ضروري للحصول على مقياس زمني للتطور أكبر بكثير من مدة العصور الجيولوجية. تتنبأ نماذج الانفجار العظيم التي ليس لها ثابت كوني بأن العمر النظري للكون، المحسوب من معدل توسعه، أقصر من عمر النجوم، أو حتى من كوكبنا ... ثم، عدم الاستقرار إن موازنة الجاذبية الجاذبة والتنافر الكوني هي طريقة لفهم كيف استطاعت النجوم والمجرات أن تتشكل خلال فترة حوالي مليار سنة بعد الانفجار العظيم. وأخيراً، يتم تعريف الطاقة الموجودة في الكون فقط إلى أقرب ثابت مضافة، لأن النسبية العامة لا توفر طريقة تعديل أثناء التغيير التعسفي في مستوى الصفر للطاقة. وفقاً لوميتر Lemaître، يسمح الثابت الكوني بإجراء هذا التعديل. منذ عام 1934 رأى العلاقة بين الثابت الكوني وميكانيكا الكم الكوانتوم. في عيون Lemaître، تم تزيين الثابت الكوني بكل الفضائل. ومع ذلك، لم ينجح أبداً في إقناع أينشتاين، الذي ذهب إلى حد القول إنه مع إدخال الثابت الكوني كان قد ارتكب أكبر خطأ في حياته.

غالبًا ما يتم تفسير هذا البيان الغريب من خلال حقيقة أن والد النسبية العامة كان سيشعر بالسعادة لأنه أفسد جمال نظريته من خلال إدخال مصطلح غير ضروري. وهذا ليس صحيحًا، لأنه في عام 1916 تصور أينشتاين وجود هذا المصطلح خارج السياق الكوني. في حاشية، أشار إلى أن معادلات مجال الجاذبية ليست عامة قدر الإمكان وأن هناك مصطلحًا إضافيًا متوافقًا مع هيكل نظريته. علاوة على ذلك، أظهر عالم الرياضيات الفرنسي إيلي كارتان في عام 1922 أن الشكل العام لمعادلات النسبية العامة يجب أن يتضمن بالضرورة ثابت تكامل مطابق للثابت الكوني، وقد عرف أينشتاين هذه النتيجة. لا، كان الخطأ الحقيقي الذي ارتكبه أينشتاين هو إعطاء المصطلح الكوني قيمة خاصة جدًا لإجبار نموذج الكون الخاص به على البقاء ثابتًا. من خلال القيام بذلك، فقد غاب عن اكتشاف الرأس المؤسس لعلم الكونيات في القرن العشرين: توسع الكون. كان أينشتاين مدرّكًا تمامًا لهذا الأمر، ويمكن للمرء أن يفسر قراره المفاجئ بالتخلي عن جميع الأبحاث في علم الكونيات من عام 1933 على أنها نتيجة لجرح احترام الذات!

تبقى الحقيقة أن تنصل والد النسبية سيحمل ثقله، وسيتبعه بقية مجتمع علماء الكونيات: على الرغم من حجج لوميتر Lemaître القوية لصالحه، سيظل الثابت الكوني في الخزانة لمدة ستين عامًا، لا سيما منذ عام 1998 لم يأت أي رصد فلكي مباشر لدعم وجوده.

فضائل الفراغ:

عانت فكرة الثابت الكوني أيضًا من تفسيرها من حيث طاقة الفراغ. في عام 1934، في وقت كانت فيه نظرية الكموم أو الكوانتوم لا تزال في مهدها، كان لوميتر أول من أخذ طاقة الفراغ في الاعتبار وربطها بالضغط السلبي لتفسير الثابت الكوني. لكن مساهمته ستظل متجاهلة تمامًا.

لم يكن حتى أواخر الأربعينيات من القرن الماضي، عندما رفض غالبية الفلكيين فكرة الثابت الكوني، بدأ علماء الفيزياء النظرية في استكشاف خصائص الفراغ. لقد بدأوا يدركون أن فكرة الفضاء الخالي أكثر دقة مما ظنوا. الفضاء ليس وعاء سلبي مملوء بالمادة والإشعاع، إنه كيان مادي وديناميكي له "خامة". وهذا الجسد هو طاقة الفراغ. يفترض الفيزيائيون مثل بول ديراك، إنريكو فيرمي وريتشارد فاينمان أن ما نسميه "الفضاء الفارغ" هو، بحكم مبدأ هايزنبرغ، مليء بـ "الجسيمات الافتراضية"، التي تظهر كحقيقة مادية فقط، سريعة الزوال. يلعب الفراغ الكمومي دور البنك الذي يمكن استعارة الطاقة منه لإنشاء جسيم وجسيم مضاد لفترة قصيرة جدًا (بحيث لا يمكن رصدهما). تتناسب كمية الطاقة التي يمكن استعارتها بشكل عكسي مع مدة القرض. حتى أن التقلبات الكمومية للفراغ الكهرومغناطيسي لها مظاهر مجهرية، تنبأ بها عام 1948 الفيزيائي الهولندي هندريك كاسيمير، الذي أظهر أنها تسببت في قوة جذب بين لوحين توصيل متوازيين. سطحان موصلان تمامًا يفصل بينهما فراغ يجذبان بعضهما البعض. ينتج "تأثير Casimir" من تقلبات كمية عفوية للمجال الكهرومغناطيسي في الفراغ.

وبالتالي فإن الفراغ ليس شيئًا، فمن المحتمل أن يكون مليئًا بالطاقة. بتطبيق هذا المفهوم على علم الكونيات، بدأ الروسي إياكوف زيلدوفيتش Iakov Zeldovitch مرة أخرى في عام 1967، دون أن يقرأ لوميتر Lemaître، أن المصطلح يعادل حقل طاقة كامنة في مساحة فارغة. الثابت الكوني بطريقة ما هو "ديناميت" الفراغ.

بناءً على قوة هذه الإنجازات النظرية، اقترح عالما الكون آلان غوث وأندريه ليندي في عام 1979 أن طاقة الفراغ تسببت في مرحلة من "التضخم" في الكون البدائي للغاية: خلال فترة زمنية قصيرة جدًا بين

10^{36} وبعد 10^{34} ثانية من الانفجار العظيم، كان الكون سينمو بشكل كبير، حيث تسارع توسعه بشكل كبير خلال هذه الفترة. تم قبول أنماط التضخم بسرعة، لكن علماء الفلك يواصلون تجاهل الثابت الكوني، الذي يعتبر غير مناسب لوصف الكون اليوم. فقط عالم الكونيات الكندي المولد جيمس بيبلز، الذي منح في عام 2019 جائزة نوبل، اقترح في أوائل الثمانينيات إعادة إدخال الثابت الكوني في نماذج الانفجار العظيم. يشير تطوير نظرية التضخم إلى أن هندسة المساحة القابلة للملاحظة يجب أن تكون قريبة جدًا من هندسة انحناء صفري. ومع ذلك، لا توجد مادة كافية في الكون للوصول إلى مثل هذه الهندسة. لذلك استدعي بيبلز قيمة عالية من الثابت الكوني لملء العجز.

أخطاء حساب طاقة الفراغ:

لدى الفيزيائيين الذين يعملون على مفهوم الطاقة الفراغية مشروع أكبر في الاعتبار ألا وهو: توحيد التفاعلات الأساسية. لهذا الغرض، يضطرون إلى إضافة مصطلحات إلى معادلاتهم، والتي تمثل حقولاً طبيعية جديدة تمامًا. اخترع علماء الرياضيات مفهوم المجال في القرن التاسع عشر للتعبير عن مدى اختلاف كمية معينة من نقطة إلى أخرى في الفضاء. تبنى الفيزيائيون على الفور هذه الفكرة لوصف كمومي كيف تتغير القوى، مثل الجاذبية والكهرومغناطيسية مع المسافة من المصدر. على سبيل المثال، ينبع حقل هيغز، الذي تم تسليط الضوء على بوزنه المتوسطي بشكل تجريبي في سيرن في عام 2012، من نظرية الكهرباء الكهرومغناطيسية التي قدمها شيلدون غلاشو وعبد سلام وستيفين واينبرغ لتوحيد التفاعلات الكهرومغناطيسية والنووية الضعيفة. تم اكتشاف بوزون هيغز في عام 2012 في سيرن بواسطة كاشف الأطلس. هنا يتم خيانة من خلال تفككها إلى أربع جزيئات (الحزم الزرقاء والحمراء). إنه وسيط المجال الكمومي (حقل هيغز) الذي يقيد قيمة طاقة الفراغ، وهو السبب المحتمل للتوسع المتسارع للكون.

ولكن هناك ثمن يجب دفعه لإدخال حقول كمومية جديدة: فهي تمنح حالة الفراغ طاقة كامنة هائلة، والتي تتصرف تمامًا مثل ثابت من النماذج الكونية. كما تنبأ لوميتر Lemaître، هذا هو المصطلح المثير للجدل الذي تم إنعاشه ببراعة بواسطة نظرية الكم الكوانتوم! يبقى فقط الجهد اللازم لحساب قيمته في إطار النموذج القياسي أو المعياري لفيزياء الجسيمات. وهناك كارثة! هناك عدة طرق ممكنة للحساب، ولكن القيمة التي تم الحصول عليها في معظم الحالات أكبر 10^{122} مرة من تلك التي حددتها الملاحظة وعملية الرصد الفلكية، فجوة مذهلة للغاية، تسمى "أسوأ التنبؤ في جميع الفيزياء"، أن عقلنا لديه صعوبة في استيعابها. مع مثل هذه الطاقة الفراغية الكبيرة، فإن كل المادة في الكون ستكون مشتتة على الفور، ولن تتشكل المجرات أبدًا.

من المفهوم أنه من المزعج، في نظر الفيزيائيين النظريين، أن أفضل نماذج التوحيد، التي من المفترض أن تقوم بتنبؤات فائقة الدقة في مجال الجسيمات الأولية، تؤدي إلى مثل هذه النتيجة الكونية الشاذة. هذا مثال متطرف على المشكلة الأساسية التي تؤثر على النموذج القياسي أو المعياري لفيزياء الجسيمات: نحن لا نفهم لماذا المعلومات أو الثوابت الثلاثون المجانية أو التي تعتمد عليها في كتابة قوانين الفيزياء لها هذه القيمة أو تلك.

بالنسبة للثابت الكوني، فقد حاول الفيزيائيون كل شيء لتقليل الفجوة من خلال اختراع النظريات "خارج النموذج القياسي". الأكثر دراسة هو التناظر الفائق (سوسي)، لذلك يطلق عليه لأنه يفترض تناظرًا بين الفرميونات (الجسيمات التي تشكل المادة) والبوزونات (التي تنقل التفاعلات). ولكن لا فائدة ترجى من ذلك فلا شيء يمكن أن تفعله، وفشلت تمامًا في حل المشكلة.

لإنفاذ الموقف اليوم، تخيل علماء الفيزياء العالية الطاقة أن الثابت الكوني قد لا يكون ثابتًا حقًا. على سبيل المثال، اقترح روبرت كالدويل ومعاونوه في عام 1998 وجود كيان جديد يمتص الفضاء تمامًا، تمامًا كما فعل الأثير في أرسطو، وهو عنصر خامس يسمى "الجوهر". وقد استخدم الباحثون هذا المصطلح لتطبيقه على مجال الطاقة الافتراضي الجديد هذا. هذا، الذي يُنسب إليه اختلاف بطيء للغاية، لا يزال يمكن تمثيله في نماذج الكون باستخدام المصطلح الكوني، والذي يتوقف بعد ذلك عن تعريفه على أنه ثابت. يمكن دائمًا تفسيره على أنه ما يبقى في الكون عندما نزيل كل المادة وجميع الإشعاع. وبهذا المعنى، فإن الجوهر يتوافق مع شكل معين من الفراغ، ولكنه أكثر مرونة من الثابت الكوني بسبب تغيره بمرور الوقت. قيمة هذا المجال، عالية للغاية في الكون البدائي (وبالتالي بالاتفاق مع حسابات علماء الفيزياء عالية الطاقة)، ستخفض جدًا خلال التطور الكوني، وفقًا للقيمة التي يقيسها علماء الفلك اليوم. نهج آخر هو أن نظرية الأوتار، امتداد للتناظر الفائق يهدف إلى تضمين وصف للجاذبية. يتعلق أحد أكثر مقترحاته المدهشة بالكون المتعدد. يأمل أنصارها الأكثر حماسة (والمعلن عنها) مثل ليونارد سوسكيند، أو برايان غرين، أو ماكس تيغمارك، في تحويل الفشل التوضيحي إلى خفة اليد الباهظة: إذا لم نفهم القيم التي تأخذها الثوابت الأساسية في كوننا، يكفي أن نفترض أن كوننا ينتمي إلى مجموعة غير محدودة تقريبًا من الأكوان المتعددة من الأكوان المتوازية، ويتم تزويد كل منها بمعلومات وخصائص موزعة بشكل عشوائي. في "الطروحات" المتعددة الأكوان، يكون الثابت الكوني كبيرًا بشكل غير عادي في معظم الحالات، ولكن لا بد من وجود عالم بعيد الاحتمال تمامًا حيث يكون صفرًا تمامًا، وآخر غير محتمل حيث يكون له "قيمة جيدة" - ومنها كوننا بالطبع.

تعد النظرية M ، وهي امتداد لنظرية الأوتار التي اقترحها إدوارد ويتن، بالمزيد. وفقًا لمؤيديه، في عالم "الأغشية" متعدد الأبعاد من النظرية، يمكن استيراد الطاقة المظلمة المقاسة في غشاء الكون لدينا من الأبعاد الإضافية لـ "المصفوفة" التي نغمس فيها. يرى باحثون آخرون أصل التناظر الكوني في تفاعلات الغشاء المحتملة - وهو ما يعني القضاء على كل الطاقة المظلمة. هذا لا يلقي أي ضوء على المشكلة، إذا تذكرنا أن النظرية M أكثر غموضًا بكثير من الطاقة المظلمة، والتي لها على الأقل تأثيرات ملحوظة على سرعة التوسع الكوني!

كما نرى، لا تحل أي من هذه النظريات الجديدة، المذهلة كما هي، الصعوبات بشكل أفضل من الإصدارات السابقة من الطاقة الأقل. فهي مثلهم، تدفعهم إلى الخلف قليلاً في كل مرة، وبالتالي تنفر الخيال الذي يبتكرونه: خيال فيزياء موحدة تمامًا تكون قريبة من الانتهاء.

عند هذه النقطة، يتساءل المرء ما إذا كان لا بد أن يؤدي اكتشاف التسارع الكوني إلى العديد من الالتواءات النظرية. من ناحية، قد يعتقد المرء أن الأمر يتطلب المزيد من الخيال والإبداع لإخراج الفيزياء النظرية مما يعتقد أنه طريق مسدود. من ناحية أخرى، من المشكوك فيه ما إذا كانت الفيزياء الحالية لا تعاني من فائض الخيال مقارنة بعجز البيانات التجريبية.

وبين هذين الموقفين، تذكر أن ظاهرة التسارع الكوني يمكن وصفها ببساطة من خلال الثابت الكوني الكلاسيكي لمعادلات أينشتاين، دون استدعاء الفيزياء الجديدة. ومع ذلك، لمجرد أنه أبسط تفسير لا يعني أنه التفسير الصحيح. لذا، إذا لم يكن الثابت الكوني مرتبطًا بالفراغ الكمومي الذي يسبب التسارع الملاحظ للتوسع الكوني، فما هو السبب؟ والمشكلة المثارة هي التوافق بين الوصف الكلاسيكي للفضاء والزمان والجاذبية مع الكم من المادة: الطبيعة الغامضة للطاقة المظلمة توحى بأن شيئًا ما مفقود. أساسي في فهمنا

للكون المادي. على هذا النحو، يمكن أن يكون توضيحها بمثابة دليل حول كيفية تطوير نظرية جيدة
للجاذبية الكمية.. théorie de la gravitation quantique