

الكون المرئي والأكوان اللامرئية في التعدد الكوني للكون الكلي المطلق

د. جواد بشارة

أحدث إسحاق نيوتن خرقاً كبيراً في العملية العلمية. اكتشف أن بعض المعادلات الرياضية يمكن أن تصف حركة الأجسام، على الأرض وفي داخل الفراغ. مع قوة وبساطة نتائجه، سيكون لها تأثير هائل على الوسط العلمي. كان من السهل تخيل أن معادلات نيوتن تعكس الحقائق الأبدية الموجودة في النسيج الكوني. لكن نيوتن نفسه اختلف. كان يعتقد أن الكون كان أكثر ثراءً وغموضاً مما تشير إليه قوانينه. في وقت لاحق من حياته، فكر في نفسه بما يلي، بالقول الذي اشتهر: "لا أعرف ما قد أبدو للعالم، ولكن يبدو لي أنني كنت مجرد طفل يلعب على الشاطئ، يسعدني أن أجد بين الحين والآخر حصاة مصقولة أو صدفة أجمل من المعتاد، بينما يمتد محيط الحقيقة الواسع أمامي، مجهول وغير معروف. لقد أكدت القرون هذا إلى حد كبير". إذا كانت معادلات نيوتن لا حدود لها في النطاق الأرضي، ووصفت جميع الظواهر الطبيعية في أي سياقات، كبيرة كانت أم صغيرة، ثقيلة أم خفيفة، سريعة أم بطيئة، إلا أن الرحلة العلمية اللاحقة كانت مختلفة جذرياً. تخبرنا معادلات نيوتن كثيراً عن العالم، لكن صلاحيتها غير المحدودة تعني أن طعم الكون سيكون مثل الفانيليا من خلاله وعبره. بمجرد فهم الفيزياء جيداً على المقاييس اليومية، سيكون العمل في الحيز المحدود. ستصمد نفس القصة صعوداً وهبوطاً. من خلال مواصلة استكشافات نيوتن، غامر العلماء بدخول عوالم أبعد من نطاق معادلاته. ما تعلمناه يتطلب تغييرات عميقة في فهمنا لطبيعة الواقع لم يتم إجراء هذه التغييرات بسهولة. ولكن تتم دراستها عن كثب من قبل المجتمع العلمي، وغالباً ما تواجه الكثير من المقاومة؛ فقط عندما يكون هناك دليل كاف يدفع إلى تبني الرأي الجديد. وهذا ما ينبغي أن يكون عليه الأمر. ليست هناك حاجة للتسرع في حكمنا. يمكن للواقع أن ينتظر. الحقيقة الأكثر أهمية، والتي تم التأكيد عليها بشدة التقدم النظري والتجريبي في المائة عام الماضية هو أن التجربة اليومية ليست دليلاً موثقاً لأي شيء يأخذنا إلى ما وراء الظروف اليومية. وليس من المستغرب أن تكون هناك حاجة لأفكار جديدة تماماً لجميع الفيزياء الجديدة أفكار مختلفة جذرياً يتم مواجهتها في ظل الظروف القاسية - تلك التي وصفتها النسبية العامة، وميكانيكا الكموم، ونظرية الأوتار إذا كانت صحيحة. الافتراض الأساسي للعلم هو أن التنظيمات والبنى موجودة على جميع المستويات، ولكن كما توقع نيوتن، لا يوجد سبب لتوقع أن تنتهي الهياكل التي نواجهها مباشرة في كل المقاييس. ما كان سيكون مفاجئاً هو عدم العثور على أي مفاجآت. نفس الشيء ينطبق بلا شك على ما تكشفه الفيزياء. سيكون في المستقبل هناك جيل معين من العلماء لا يستطيع ذلك لا نعرف أبداً ما إذا كان التاريخ طويل المدى سيحكم على عملهم على أنه جانبياً قليلاً أي على الهامش، أو مجرد جنون عابر، أو نقطة انطلاق أو مدخلات ستصمد أمام اختبار الزمن. تتم موازنة عدم اليقين المحلي هذا من خلال أحد الجوانب الأكثر مكافأة في الفيزياء - استقرار المنظومة أي حقيقة أن النظريات الجديدة لا تمحو النظريات التي تحل محلها. كما رأينا، قد تتطلب النظريات الجديدة التكيف مع وجهات نظر جديدة حول طبيعة الواقع، لكنها بالكاد تبطل النتائج السابقة. يقوم العلماء بإدراجها وتعميمها. وبالتالي. يحتفظ تاريخ الفيزياء باتساق مثير للإعجاب. في هذا البحث، اكتشفنا مرشحاً للتطورات الرئيسية التالية في هذه القصة: احتمالية أن يكون كوننا جزءاً من كون متعدد وهو احتمال كبير جداً إن لم يكن أمر مؤكد بعد. ستجعلنا الرحلة نكتشف عدداً مختلفاً من الاجتهادات حول موضوع الكون المتعدد، على الرغم من اختلاف هذه المقترحات والاجتهادات والمقاربات المختلفة في تفاصيلها، إلا أن جميعها تشير إلى وجهة نظرنا الحدسية الحقيقة وهي ليست سوى جزء صغير من كل أكبر. الكل هو العلامة التي لا تمحى للبراعة والإبداع البشري. لتحديد ما إذا كانت أي من هذه الأفكار تتجاوز أحلام اليقظة في الرياضيات تتطلب رياضيات العقل البشري المزيد من البصيرة والمعرفة والحسابات والتجارب والملاحظات أكثر مما لدينا في الوقت الحاضر. لمعرفة ما إذا كانت الأكوان المتوازية ستظهر في الحقب التالية من تاريخ الفيزياء، علينا أن ننتظر التفاصيل التي لا يمكن أن يجلبها لنا

إلا المستقبل. كما هو الحال مع الكتاب المجازي عن الطبيعة، ينطبق الأمر نفسه على هذا البحث. في هذا الاستنتاج الأخير ، أود أن أكون قادرًا على وضع كل قطع اللغز معًا والإجابة على أهم سؤال حول الموضوع: الكون المرئي وحده أم الكون المتعدد التوائم والمتوازيات، أم الأكوان المتعددة؟ ولكن لا أستطيع البت على نحو قاطع حالياً. إن طبيعة عمليتنا هي التي تحدد حدود معرفتنا. للتعرف على الاتجاه الذي يمكن أن يسلكه مفهوم الكون المتعدد، ولإلقاء الضوء على حالته الحالية، إليك خمسة أسئلة أساسية سيواصل الفيزيائيون معالجتها في السنوات القادمة. هل الشكلية الكوبرنيكية أساسية؟ هل إن الانتظام والتراكيب الواضحة في الملاحظات والرياضيات ضرورية في صياغة قوانين الفيزياء؟ هل ستكون أنواع الهياكل المختلفة، في طبيعة القوانين الفيزيائية مقبولة من قبل الأجيال المتعاقبة؟ هل ستكشف أيضاً وتعكس هذه الهياكل كيف أثرت الاكتشافات العلمية على رؤية البشرية لمكانتها في النظام الكوني؟ على مدى القرون الخمسة الماضية أو نحو ذلك، كان التقدم الكوبرنيكي موضوعاً مهيمناً. من شروق الشمس إلى غروبها وحركة الأبراج في سماء الليل إلى الدور المهم الذي يلعبه كل واحد منا في العالم الداخلي لأذهاننا، فإن تجاربنا مليئة بالأدلة على أننا وحدنا نمثل العنصر المركزي الذي يدور حوله الكون. لكن الأساليب الموضوعية للبحث العلمي تصحح باستمرار وجهة النظر هذه للأشياء. في كل منعطف تقريباً وجدنا أنه إذا لم نعد هناك. لن ينزعج النظام الكوني ولن يبالى. كان علينا أن نتخلى عن يقيننا حول مركزية الأرض بين جيرانها، تلك المتعلقة بالشمس في المجرة أو مجرة درب التبانة بين المجرات، وحتى مركزية البروتونات والنيوترونات والإلكترونات - الأشياء التي تشكل الماكياج - في الوصفة الكونية. كان هناك وقت يُنظر فيه إلى أي شيء يتعارض مع هذا الوهم الجماعي بالعظمة على أنه هجوم مباشر على قيمة الإنسان. من خلال التدريب، تعلمنا تقييم هذه التعاليم بشكل أفضل. كانت الرحلة التي تمت في هذا البحث موجهة نحو ذروة التصحيح الكوبرنيكي. حتى كوننا قد لا يكون في مركز أي نظام كوني. تماماً مثل كوكبنا أو نجمنا أو مجرتنا، يمكن أن يكون كوننا مجرد واحد من العديد. إن فكرة أن الواقع المبني على كون متعدد يعمم التعليم الكوبرنيكي، بل ويكمّله، هو مصدر للفضول. ولكن ما يرفع مفهوم الكون المتعدد فوق مرتبة التكهنات هو عنصر أساسي واجهناه الآن في عدة مناسبات. لم يبحث العلماء عن طرق لتعميم الثورة الكوبرنيكية. لم يتم المناورة بها في أعماق المختبرات المظلمة لمتابعة النموذج الكوبرنيكي. بدلاً من ذلك، فعل العلماء ما فعلوه دائماً: باستخدام البيانات والملاحظات كدليل، قاموا بصياغة نظريات رياضية لوصف المكونات الأساسية للمادة والقوى التي تحكم السلوك والتفاعلات وتطور هذه المكونات. اللافت للنظر أنه باتباع الخيوط التي فتحتها هذه النظريات بجديّة، توجه العلماء مباشرة نحو أكوان متعددة محتملة، واحدة تلو الأخرى. ما عليك سوى متابعة أحد أكثر الطرق السريعة العلمية ازدحاماً، ومع الاهتمام الكافي، سنواجه مجموعات متنوعة من المرشحين متعددي الأكوان. من الصعب تجنبها أكثر من العثور عليها. ربما تلقي الاكتشافات المستقبلية ضوءاً مختلفاً على سلسلة التصحيحات الكوبرنيكية. ولكن من وجهة نظرنا، فكلما زاد فهمنا للأشياء، قلت قناعتنا بمركزيتنا. إذا استمرت الاعتبارات العلمية السابقة في توجيهنا نحو التفسيرات القائمة على الأكوان المتعددة، فستكون هذه خطوة طبيعية نحو استكمال ثورة كوبرنيكوس، بعد خمسمائة عام. النظريات العلمية مع كون متعدد هل يمكن اختبارها؟ على الرغم من أن مفهوم الكون المتعدد يتلاءم تماماً، إلا أنه يختلف نوعياً للغاية عن النموذج الكوبرنيكي حيث هاجرنا من الساحة المركزية. عن طريق التذرع من خلال استدعاء العوالم التي قد تظل إلى الأبد خارج قدراتنا التحليلية - إما لأسباب التي تتعلق بدرجة الدقة أو - في بعض الحالات، من حيث المبدأ - فيبدو أن الأكوان المتعددة تثير عقبات في طريق المعرفة. فهو عالم مجهول بغض النظر عن وجهة نظر كل شخص حول مكانة البشرية في النظام الكوني العظيم، فقد اعتُبر منذ فترة طويلة أنه من خلال التجريب الضميري والملاحظة وبعض الحسابات الرياضية، فإن إمكانياتنا في الوصول إلى تفاهم. ستكون العمق غير المحدود لرؤيتنا. لكن إذا كنا جزءاً من كون متعدد، فيمكننا بشكل معقول أن نتوقع أن نكون قادرين، في أحسن الأحوال، على تعلم شيء ما عن كوننا المرئي البسيط، عن ركننا

الصغير من الكون الكلي المطلق. الأمر الأكثر إزعاجًا هو حقيقة أنه باستخدام الكون المتعدد، فإننا ندخل عالم النظريات التي لا يمكننا اختبارها - النظريات التي تعتمد على القصص المخصصة، ونبد كل شيء نلاحظه بين مراتب الأشياء "كما يظهر هنا". ومع ذلك، كما شرحت، فإن مفهوم الكون المتعدد هو أكثر دقة. لقد رأينا طرقًا مختلفة يمكن من خلالها أن تأتي نظرية تتضمن كونًا متعددًا بتنبؤات على طاولات البحث. على سبيل المثال، على الرغم من أن الأكوان المعينة التي تشكل كونًا متعددًا قد تكون مختلفة تمامًا، نظرًا لأنها تأتي من نفس النظرية، فقد تشترك في خصائص معينة. إذا لم نعثر على هذه الخصائص المشتركة من خلال القياسات التي تم إجراؤها في كوننا، والتي نمتلك الوصول إليها، فإن هذا من شأنه إبطال اقتراح الكون المتعدد المذكور. إن تأكيد هذه الخصائص، خاصة إذا كانت جديدة، من شأنه أن يبني ثقتنا في صلاحيتها. في حالة عدم وجود خاصية مشتركة بين جميع الأكوان، يمكن أن توفر الارتباطات بين الخصائص الفيزيائية فئة أخرى من التنبؤات القابلة للاختبار. على سبيل المثال، لقد رأينا أنه إذا كانت جميع الأكوان التي تحتوي قائمة جسيماتها على الإلكترونات تشتمل أيضًا على نوع من الجسيمات التي لم يتم اكتشافها بعد، فإن الفشل في إثبات هذا الجسيم من خلال التجارب التي نجريها هنا في كوننا تبطل هذا الافتراض بالتعدد الكوني في حين إن تأكيدها من شأنه أن يبني ثقتنا. الارتباطات الأكثر تعقيدًا - مثل تلك الأكوان التي تحتوي قائمة جسيماتها، على سبيل المثال، على جميع الجسيمات المعروفة (الإلكترونات، الميونات، u كواركات، d كواركات إلخ) والتي تتضمن بالضرورة نوعًا جديدًا من الجسيمات - يمكن أن تعطي تنبؤات قابلة للاختبار. في حالة عدم وجود مثل هذه الارتباطات، فإن كيفية اختلاف الخصائص الفيزيائية من كون إلى آخر قد تخبرنا أيضًا. على سبيل المثال، على جانبي كون متعدد معين، يمكن للثابت الكوني أن يتخذ مجموعة واسعة من القيم. ولكن إذا كان للغالبية العظمى من الأكوان ثابت كوني تتطابق قيمته مع القياسات التي وجدناها هنا في كوننا، فإن ثقتنا بهذا الكون ستتمو بشكل صحيح. أخيرًا، على الرغم من أن معظم الأكوان في كون متعدد نظرًا لأن لها خصائص تختلف عن خصائصنا، فهناك تشخيص آخر يمكن أخذه في الاعتبار. يمكننا استدعاء التفكير الأنثروبي من خلال النظر فقط في أكوان الكون المتعدد التي تؤدي إلى وجود شكل حياة يشبه حياتنا. إذا كانت الغالبية العظمى من هذه الفئة الفرعية من الأكوان لها خصائص تتفق مع خصائصنا - إذا كان كوننا مثالًا نموذجيًا بين كل تلك التي تسود فيها الظروف المواتية لحياتنا - فإن ثقتنا في الكون المتعدد ستكون قد زادت إذا كنا، على العكس من ذلك، غير نمطيين إلى حد ما، فلن يتم إبطال النظرية ولكن هذا بطبيعة الحال يفرض قيودًا على التفكير الإحصائي. وأحيانًا يمكننا أن نجد نتائج غير محتملة. ومع ذلك، فكلما كنا أقل نموذجية، كلما كان اقتراح الكون المتعدد أكثر قابلية للدحض. إذا كان عالمنا من بين جميع الأكوان المواتية للحياة، يبدو وكأنه كلة في لعبة البولينغ، فستصبح الحجة قوية بما يكفي لإبطال هذا الموقف المؤيد للكون المتعدد. لتحليل اقتراح التعدد الكوني، لذلك يجب علينا تحديد ديموغرافيا الأكوان التي تسكنه. لا يكفي أن نعرف الأكوان المحتملة التي يسمح بها اقتراح الكون المتعدد؛ يجب أن نحدد الخصائص التفصيلية للأكوان التي يقودها الاقتراح الذي يعتبره الافتراض. إنها تتطلب فهم العمليات الكونية التي تؤدي إلى الأكوان المختلفة لهذا الكون المتعدد. سنكون قادرين بعد ذلك على استخلاص تنبؤات قابلة للاختبار حول كيفية اختلاف الخصائص الفيزيائية من كون إلى آخر عبر الكون المتعدد. فيما يتعلق بما إذا كان تسلسل التقييمات هذا يؤدي إلى نتائج لحالات دقيقة، سيكون إنشاء كون متعدد بواسطة كون متعدد. لكن الخلاصة هي أن هذه النظريات التي لها أكوان أخرى - عوالم لا يمكننا الوصول إليها الآن أو ربما لا يمكن الوصول إليها على الإطلاق - يمكنها مع ذلك تقديم تنبؤات جداولك وبالتالي تأكيد أو إبطال المقترحات التي تم النظر فيها. هل يمكننا اختبار النظريات متعددة الأكوان التي واجهناها؟ في البحث النظري، يعتبر الحدس الفيزيائي أمرًا بالغ الأهمية. يجب على المنظرين الإبحار في قدر هائل من الاحتمالات. هل أجرب هذه المعادلة أم بالأحرى هذه، هذا النموذج أم بالأحرى هذا؟ يمتلك أفضل الفيزيائيين حدسًا رائعًا ودقيقًا بشكل غير عادي، وميل طبيعي للاتجاهات الواعدة وتلك التي ستكون طريقًا مسدودًا. قد يكون هذا ما يحدث وراء الكواليس. عندما يتم طرح

المقترحات العلمية، لا يتم تقييمها بالذوق أو الحدس. لا يوجد سوى معيار واحد صالح: قدرتهم على شرح أو توقع البيانات التجريبية والملاحظات الفلكية. هذا هو المكان الذي يكمن فيه الجمال الفريد للعلم. بينما نكافح من أجل اكتساب فهم عميق، يجب أن نمُنح خيالاتنا الإبداعية مجالاً للاستكشاف. يجب أن نقبل تجاوز الأفكار التقليدية والأطر الراسخة. ولكن على عكس العديد من الأنشطة البشرية الأخرى التي يلعب فيها الإبداع دوراً كاشفاً، فإن العلم يجعل من الممكن التحقق وتقدير ما هو صحيح وما هو غير صحيح في النهاية. حدث تعقيد في الحياة العلمية في نهاية القرن العشرين وبداية القرن الحادي والعشرين وأن أفكارنا النظرية قد تجاوزت بكثير قدراتنا للتحقق أو المراقبة. كانت نظرية الأوتار الفائقة لبعض الوقت مثال على هذا الموقف؛ إن احتمال أننا ننتمي إلى كون متعدد هو مثال أكثر وضوحاً. لقد قدمت وصفاً عامة لكيفية اختبار نظرية الكون المتعدد، ولكن بالنسبة لمستوى فهمنا، لم تستوف أي من نظريات الكون المتعدد التي صادفناها المعايير المطلوبة والمنشودة. مع مزيد من البحث، يمكن أن يتحسن هذا الوضع بشكل كبير. بحثنا حول مشهد الكون المتعدد، على سبيل المثال، لا يزال في مهده. تم توضيح مجموعة أكوان نظرية الأوتار المحتملة - منظر الأوتار - ولكن لا يزال يتعين علينا عمل رسم خرائط تفصيلية لهذه المنطقة الوعرة. مثل البحارة القدامى، لدينا فكرة موجزة عما يمكن أن يكون موجوداً، لكن الأمر سيستغرق استكشافاً رياضياتياً مكثفاً لرسم خريطة لمظهر الأرض. مسلحين بهذه المعرفة، ستكون الخطوة التالية هي تحديد كيفية توزيع هذه الأكوان المحتملة عبر الكون الكلي المناظر الطبيعية المتعددة المقابلة. العملية الفيزيائية الرئيسية، إنشاء الأكوان الفقاعية عن طريق النفق الكمومي، مفهومة جيداً من حيث المبدأ، لكننا ما زلنا بحاجة إلى دراستها بعمق كمومي أكبر في نظرية الأوتار الفائقة. قامت مجموعات بحثية مختلفة (بما في ذلك في أمريكا) بأعمال استطلاعية ولكن لا تزال هناك منطقة كبيرة للاستكشاف. تؤثر أوجه عدم اليقين الأخرى من هذا النوع أيضاً على افتراضات الكون المتعدد الأخرى. لا أحد يعرف ما إذا كان الأمر سيستغرق خمس سنوات أو عشرات سنوات أو أكثر، قبل أن يجعل التقدم النظري والملاحظة من الممكن استخراج تنبؤات مفصلة لكون متعدد معين. إذا استمر الوضع الحالي، فسيتعين علينا الاختيار. هل نعرف العلم - "الذي يستحق الاسم" - على أنه يشمل فقط الأفكار والمجالات والإمكانات ضمن فهم قدرات الاستكشاف والمراقبة لدى المعاصرين على الأرض؟ أم هل ينبغي لنا أن نتبنى منظوراً أوسع وننظر إلى الأفكار "العلمية" التي قد تكون قابلة للاختبار مع التقدم التكنولوجي الذي يمكننا توقعه خلال المائة عام القادمة؟ أو المائتين سنة القادمة؟ أو لفترة أطول؟ هل علينا أن نتبنى وجهة نظر أكبر؟ دعونا نسمح للعلم باتباع جميع المسارات التي تفتح أمامه، والسير في جميع الاتجاهات التي تنبثق من المفاهيم التي أكدتها التجربة ولكنها مع ذلك يمكن أن تأخذنا إلى مجالات نظرية غير معروفة، وربما تتجاوز مجالاتنا في مداها؟ لا توجد إجابة قاطعة. هذا هو المكان الذي تأتي فيه الصلات العلمية الشخصية. إنني أدرك تماماً الدافع وراء ربط البحث العلمي بالمقترحات التي يمكن اختبارها الآن أو في المستقبل القريب؛ بعد كل شيء، هكذا نبني صرح العلم. لكنني أجد أنه من الصعب حصر تفكيرنا في الحدود التعسفية التي يفرضها أين ومتى وما نحن عليه. يتجاوز الواقع هذه الحدود، ولذا يجب أن نتوقع أن سعينا وراء الحقائق الأساسية سيفعل الشيء نفسه عاجلاً أم آجلاً. أميل لمزيد من وجهات النظر المفتوحة. لكنني أرسم خطأً على الأفكار التي ليس من الممكن مواجهتها بأي طريقة ذات معنى بالخبرة أو الملاحظة، ليس بسبب الضعف البشري أو القيود التقنية، ولكن بسبب طبيعتها ذاتها. من بين جميع الأكوان المتعددة التي غطيناها، فقط الإصدار الكامل من الكون المتعدد الفائق Supreme Multi-univers يقع في هذا السجل. إذا كانت جميع الأكوان الممكنة جزءاً منها، فبغض النظر عما نلاحظه أو نقيسه، فإن الكون المتعدد الأسمى يقبل ويحتضن أي نتيجة. الأكوان الثمانية الأخرى التي تم تلخيصها في الجدول 11.1 تتجنب هذا الفخ. كل واحد منهم يأتي من سلسلة منطقية ومبررة جيداً، وكل منها مفتوح للحكم. إذا أعطتنا ملاحظتنا دليلاً مقنعاً على أن اتساع الفضاء محدود، فإن الكون المتعدد المرقع سيفقد خطوطه. إذا تضاعفت ثقتنا في علم الكونيات التضخمية، إذا كان من الممكن على سبيل المثال تفسير بيانات أكثر دقة عن خلفية الأشعة

الكونية من خلال منحى طاقة كامنة ملتوي للغاية (وبالتالي غير مقنع)، فإن أهمية الكون المتعدد التضخمي ستتناقص أيضًا*. إذا تعرضت نظرية الأوتار لانتكاسة نظرية، ربما من خلال اكتشاف مشكلة رياضية دقيقة تظهر أن النظرية غير متسقة (كما يعتقد الباحثون الأوائل في هذا المجال)، فإن الدافع وراء الأكوان المتعددة المختلفة سوف ينهار. على العكس من ذلك، فإن الهياكل الخلفية للإشعاع الكوني المتوقعة من الاصطدامات بين الفقاعات ستوفر دليلاً مباشراً لصالح الكون المتعدد التضخمي. أجريت التجارب في المعجل* ولوحظ، أن دحض التضخم عن طريق الملاحظة يتطلب من النظرية أن تنحرف في إجراء لمقارنة فئات لانهائية من الأكوان - وهو ما لم تفعله بعد. ومع ذلك، يتفق معظم الباحثين على أنه إذا كانت بيانات الخلفية الميكروية مختلفة عما يوضحه الشكل 3.4، فإن ثقتهم في التضخم كانت ستتناقص، على الرغم من أن النظرية تشير إلى وجود الكون الفقاعي في الكون المتعدد التضخمي حيث تكون هذه البيانات صحيحة. يمكن أن تعمل تجارب المسرعات التي تبحث عن جسيمات فائقة التناسق، وتوقعات الطاقة المفقودة والثقوب السوداء الصغيرة لصالح نظرية الأوتار والأغشية متعددة الأكوان، في حين أن القرائن على اصطدامات الفقاعات يمكن أن تعمل لصالح متغير المناظر الطبيعية. إن اكتشاف بصمات الموجات الثقالية البدائية، أو عدم وجودها، يمكن أن يميز علم الكونيات القائم على النموذج التضخمي عن نموذج الكون المتعدد الدوري. أو التعاقبي في ميكانيكا الكموم، في شكل عوالم متعددة، تؤدي إلى الكون المتعدد الكمومي. إذا كان البحث المستقبلي يعاملني أن معادلات ميكانيكا الكموم موثوقة التي ربما كانت حتى الآن، تتطلب تعديلات صغيرة لمطابقة بيانات معينة دقيقة للغاية بشكل أفضل، حسناً، سيتم التخلص من هذا النوع من الأكوان المتعددة. إن تعديل نظرية الكموم الذي يضر بخاصية الخطية (التي اعتمدنا عليها بشدة في فقرة سابقة سيفعل ذلك بالضبط. لاحظنا أيضاً أن هناك اختبارات أساسية للكون المتعدد الكمومي: تجارب تعتمد نتائجها على صحة أو عدم صحة عوالم هيوغ إيفريت المتعددة. هذه التجارب تتجاوز ما يمكننا القيام به في هذا الوقت، وربما إلى الأبد، ولكن هذا لأنها صعبة للغاية، وليس لأن بعض الخصائص الجوهرية في الكون المتعدد الكمومي تجعلها غير قابلة للتنفيذ ذهنياً بشكل أساسي.

ينبع الكون المتعدد المجسم من اعتبارات نابعة من نظريات راسخة - النسبية العامة وميكانيكا الكموم - ويتلقى دعمه النظري الرئيسي من نظرية الأوتار الفائقة. لقد أجرت الحسابات القائمة على التصوير المجسم بالفعل بعض الاتصال بالنتائج التجريبية من مصادم RHIC، وهناك كل الأسباب للاعتقاد بأن هذه الروابط ذات الخبرة ستزداد في المستقبل. ما إذا كان المرء يرى الكون المتعدد المجسم فقط كأداة رياضية مفيدة أو كدليل على وجود واقع ثلاثي الأبعاد هو مسألة وجهة نظر. علينا أن ننتظر العمل المستقبلي، النظري والتجريبي، للحصول على المزيد من الأدلة لصالح تفسيره المادي. لا يعتمد الكون الافتراضي المتعدد على شكلية نظرية، بل على التقدم المستمر للقوة الرقمية. الفرضية الرئيسية هي أن الوعي لن يكون كذلك مرتبط بشكل أساسي بركيزة معينة - الدماغ - ولكنه يفضل أن يكون سمة ناشئة لنوع معين من معالجة المعلومات. إنه موقف مثير للجدل إلى حد كبير، مع حجج عاطفية على جانبي النقاش. ربما يمكن للبحث المستقبلي حول الدماغ وطبيعة الوعي أن يقضي على فكرة التفكير والآلات الواعية. لكن ربما لا. ومع ذلك، لدينا طريقة واضحة لتقييم هذا الاقتراح متعدد الأكوان. سواء جاء أحفادنا للمراقبة أو التفاعل معه أو زيارة افتراضية أو حتى العيش في عالم افتراضي مقنع، فسيتم حل السؤال مرة واحدة وإلى الأبد. الكون الافتراضي المتعدد، على الأقل من الناحية النظرية، يمكن أيضاً أن يكون مرتبطاً بالنسخة المقيدة من الكون المتعدد الكلي الأسمى الذي يشمل فقط الأكوان المبنية على بنى رياضية قابلة للحساب. على عكس النسخة الكاملة من الكون المتعدد الفائق Supreme Multi-Universe، فإن هذا التجسد المحدود له نشأة ترتفع إلى ما هو أبعد من مجرد التخمين. سيحاكي المستخدمون، الحقيقيون أو الافتراضيون، الذين يشكلون الكون الافتراضي المتعدد، الهياكل الرياضية القابلة للحساب، وبالتالي سيكون لديهم القدرة على إعادة إنتاج هذا الجزء من الكون المتعدد الأسمى. إن الحصول على تأكيدات تجريبية أو ملاحظات حول صحة اقتراح أو آخر عن متعدد الأكوان سيكون بالتأكيد عملاً طويلاً المدى.

لكنه ليس مستحيلًا. نظرًا لأهمية المكافأة المحتملة، إذا قادنا المسار الطبيعي لبحثنا النظري إلى استكشاف أكوان متعددة، فيجب علينا اتباع المسار لنرى إلى أين يأخذنا. ما هو تأثير الكون المتعدد، وهل له تأثير على طبيعة التفسير العلمي؟ يركز العلم أحيانًا على التفاصيل. تخبرنا لماذا تدور الكواكب في مدارات بيضاوية، ولماذا السماء زرقاء، ولماذا الماء شفاف، ولماذا مكتبي مستقر. على الرغم من أن هذه الحقائق القليلة عادية، فمن غير العادي أن نتمكن من شرحها. في بعض الأحيان يصبح العلم أكبر. يكشف لنا أننا نعيش في مجرة يسكنها مئات المليارات من النجوم، ويظهر أن مجرتنا درب التبانة ليست سوى مجرة واحدة من بين مئات المليارات من المجرات الأخرى، وتعطي دليلاً على وجود "طاقة سوداء أو مظلمة غير مرئية تتخلل كل زاوية وركن في هذه المرحلة الشاسعة. بالعودة إلى مائة عام إلى الوراء، إلى زمن كان من المفترض أن يكون الكون فيه ثابتًا ولا يسكنه سوى مجرتنا، فلدينا سبب وجيه لنكون مستيقظين من هذه الصورة غير العادية التي رسمها العلم. منذ ذلك الحين. أحيانًا يفعل العلم ذلك بشكل مختلف. في بعض الأحيان يضعنا التحدي المتمثل في إعادة فحص رؤيتنا للعلم نفسه. الشكلية العلمية المعتادة التي تعود إلى قرون هي أنه من أجل وصف نظام فيزيائي، يجب على العالم تحديد ثلاثة أشياء. لقد رأينا هذه الأشياء الثلاثة في سياقات مختلفة، لكن الأمر يستحق جمعها معًا هنا. هذه هي أولاً المعادلات الرياضية التي تصف القوانين الفيزيائية المعنية (مثل قوانين نيوتن للحركة، معادلات ماكسويل للكهرباء والمغناطيسية، أو معادلات شرودنغر لميكانيكا الكموم). الأمر الثاني هو القيم العددية لجميع ثوابت الطبيعة التي تظهر في المعادلات الرياضية (على سبيل المثال، الثوابت التي تحدد الشدة الذاتية للجاذبية والقوة الكهرومغناطيسية أو تلك التي تحدد كتل الجسيمات الأساسية). ثالثًا، يجب على الفيزيائيين تحديد "الشروط الأولية" على سبيل المثال، بالنسبة لكرة التنس، والسرعة والاتجاه المعينين للارتداد، أو بالنسبة للإلكترون، احتمالات البداية سواء تم العثور عليها في متحف الذكريات الكبير Grant Memorial أو في حقول الفراولة. (ثم تحدد المعادلات كيف ستسير الأمور لاحقًا. تخضع كل من الفيزياء الكلاسيكية وفيزياء الكموم لهذه العملية؛ إنها تختلف فقط في أن الفيزياء الكلاسيكية تخبرنا كيف ستكون الأشياء في وقت معين، بينما تعطينا فيزياء الكموم احتمال أن تكون الأشياء على هذا النحو أو ذاك. عندما يتعلق الأمر بالتنبؤ بمكان هبوط كرة التنس أو كيف سيتحرك الإلكترون في شريحة سيليكون (أو نموذج مانهاتن)، فإن هذه العملية المكونة من ثلاث خطوات ستكون فعالة للغاية. ومع ذلك، عندما يتعلق الأمر بوصف الواقع بأكمله، فإن هذه الخطوات الثلاث تدعونا لطرح أسئلة أعمق: هل يمكننا شرح الشروط الأولية - كيف كانت الأمور فيما يسمى باللحظات الأولى؟ هل يمكننا شرح قيم الثوابت - هل يمكن أن نفسر قيم الثوابت - كتل الجسيمات، شدة القوى وما إلى ذلك - التي تعتمد عليها هذه القوانين؟ هل يمكننا تفسير سبب وصف مجموعة معينة من المعادلات الرياضية بعض جوانب الكون المادي؟ إن المقترحات المتعددة الأكوان المتعددة التي ناقشناها لديها القدرة على تعديل وجهة نظرنا بشكل عميق حول هذه الأسئلة. في الكون المتعدد المرقع، القوانين الفيزيائية عبر الأكوان المكونة هي نفسها، لكن ترتيب الجسيمات يختلف. ومع ذلك، فإن الترتيبات المختلفة للجسيمات تعكس ظروفًا أولية مختلفة في الماضي. لذلك، في هذا الكون المتعدد، وجهة نظرنا حول السؤال عن السبب في أن الظروف الأولية لكوننا تبدو مثل هذا أو مثل ذاك لم يعد لها نفس المعنى. يمكن أن تختلف الشروط الأولية، وهي تختلف بشكل عام، من كون إلى كون. لذلك لا يوجد تفسير أساسي لترتيب معين. إن السعي وراء مثل هذا التفسير يرقى إلى طرح سؤال خاطئ، مع تفكير قائم على كون واحد وليس على كون متعدد. السؤال الذي يجب أن نطرحه بدلاً من ذلك هو ما إذا كان في مكان ما في الكون المتعدد يوجد كون يتطابق ترتيب الجسيمات فيه، وبالتالي الشروط الأولية، فيما نراه في كوننا، مع مثل هذه الأكوان فيلقه؟ في هذه الحالة، يتم شرح مسألة الشروط الأولية بلامبالاة؛ في عالم متعدد مثل هذا، لن تحتاج الظروف الأولية لكوننا إلى تفسير أكثر من حقيقة أنه يوجد في مكان ما في باريس متجر أحذية بحجم مخزوننا في الكون المتعدد التضخمي، "ثوابت" قد تختلف في طبيعتها، وبشكل عام، عن ثواب الكون الآخر وتختلف من كون إلى آخر. الاختلافات البيئية

- القيم المختلفة لحقل هيغز الذي يشرب كل فقاعة - تؤدي إلى كتل مختلفة لجسيم واحد وخصائص مختلفة للقوى. الشيء نفسه ينطبق على الكون المتعدد من الأغشية - البرانات، الكون الدوري المتعدد المشاهد المتعدد الكوني، حيث شكل أبعاد إضافية نظرية كم في نظرية الأوتار، بالإضافة إلى الاختلافات المختلفة في المجالات والتدفقات، تعطي أكوأناً بخصائص مختلفة - من كتلة الإلكترونات إلى وجود الإلكترون ذاته، بما في ذلك شدة القوة. العنصر المغناطيسي أو وجود هذه القوة، أو قيمة الثابت الكوني وما إلى ذلك. في سياق هذه الأكوأن المتعددة، ابحث عن تفسير للخصائص التي وجدناها في قياس الجسيمات والقوى تعود مرة أخرى لطرح نوع خاطئ من الأسئلة؛ إنه سؤال مناسب للتفكير في كون واحد. بدلاً من ذلك، يمكننا أن نسأل أنفسنا ما إذا كان يوجد في هذه الأكوأن المتعددة كون له الخصائص الفيزيائية التي يقيسها المرء. والأفضل من ذلك: يمكننا أن نظهر أن الأكوأن التي تمتلك خصائصنا الفيزيائية وفيرة، على الأقل بين جميع الأكوأن المواتية للحياة كما نعرفها. ولكن مثلما لا معنى للبحث عن الكلمة التي كتبها شكسبير مع ماكبث، فلا معنى لطلب المعادلات لاختيار قيم الخصائص الفيزيائية التي نراها هنا. الأكوأن المتعددة الافتراضية والسامية لا علاقة لها بهذه السابقة: لا تأتي من نظرية فيزيائية معينة. ومع ذلك، لديهم أيضاً القدرة على تغيير طبيعة أسئلتنا. في هذه الأكوأن المتعددة، تختلف القوانين الرياضية التي تحكم الأكوأن الفردية. وبالتالي، على غرار الظروف الأولية والثوابت المتغيرة للطبيعة، تشير القوانين المتغيرة إلى أنه لا يوجد معنى للبحث عن تفسير لقوانين معينة تعمل هنا. الأكوأن المختلفة لها قوانين مختلفة. نلاحظ تلك التي نلاحظها لأنها جزء من القوانين المتوافقة مع وجودنا. بشكل عام، نرى أن افتراضات الكون المتعدد الملخصة في الجدول 11.1 تجعل الجوانب الثلاثة الأولى للشكليات العلمية غامضة للغاية داخل كون واحد. في العديد من الأكوأن المتعددة، لم تعد الشروط الأولية وثوابت الطبيعة وحتى القوانين الرياضية بحاجة إلى تفسير. هل يجب أن نؤمن بالرياضيات؟ كتب الحائز على جائزة نوبل ستيفن واينبرغ ذات مرة: "خطأنا ليس أننا نأخذ نظرياتنا على محمل الجد، لكننا لا نأخذها بجدية كافية. من الصعب دائماً إدراك أن الأرقام والمعادلات التي نلعب بها على مكاتبنا لها أي علاقة بالعالم الحقيقي." [1] كان واينبرغ يشير إلى النتائج الرائدة لرالف ألفر وروبرت هيرمان وجورج غامو فيما يتعلق بخلفية الإشعاع الكوزمولوجي الأحفوري الميكروي المنتشر، على الرغم من أن الإشعاع المتوقع هو نتيجة مباشرة للنسبية العامة مقترنة بالفيزياء الكونية الأولية، إلا أنه اكتسب أهميته فقط بعد اكتشافه بعد أن رصد ولوحظ بالصدفة. بالطبع، يجب تطبيق ملاحظة واينبرغ باعتدال. على الرغم من أن مكتبه قد استضاف عدداً كبيراً من المعادلات الرياضية التي أثبتت أهميتها في العالم الحقيقي، إلا أنه لا يتلاعب بجميع منطري المعادلات بهذا. في حالة عدم وجود نتائج تجريبية أو رصدية مقنعة، فإن معرفة أجزاء الرياضيات التي يجب أخذها على محمل الجد هي مسألة فنية بقدر ما هي مسألة علمية. في الواقع، السؤال أساسي لكل ما ناقشناه في هذا البحث، هو الذي ألهم عنوانه. يمكن لمجموعة متنوعة من افتراضات الكون المتعدد في الجدول 11.1 أن تشير إلى بانوراما كاملة من الحقائق المخفية. لكنني اخترت أن أصف البحث بصيغة المفرد ليعكس تفرد الموضوع الكامن وراء كل هذه الافتراضات: كلية الرياضيات للكشف عن الحقائق المخفية حول طريقة عمل العالم. لقد أثبتت قرون من الاكتشاف ذلك؛ ظهرت الاكتشافات الضخمة في الفيزياء من وقت لآخر بفضل السعي الحثيث وراء خيوط رياضية، الباليه المعقد الذي رقصه أين تين بالرياضيات هو حالة كتابية لهذا. قرب نهاية القرن التاسع عشر، عندما فهم جيمس كليرك ماكسويل أن الضوء عبارة عن موجة كهرومغناطيسية، لها معادلاتها، حيث أظهرت الدراسات أن سرعة الضوء يجب أن تكون موجودة وثابتة 300000 كيلومتر في الثانية - قيمة قريبة من تلك التي قاسها المجرّبون. تركت معادلاته سؤالاً مملأً دون إجابة: 300 ألف كيلومتر في الثانية ... مقارنة بماذا؟ اعتمد العلماء حلاً مؤقتاً حيث تتغلغل مادة غير مرئية في كل الفضاء، تسمى "الأثير"، وتحدد أساسياً. لكن في بداية القرن العشرين، أظهر أينشتاين أن العلم الفيزيائي ليس بحاجة لوجود الأثير وكان على العلماء أن يأخذوا معادلات ماكسويل بشكل أكثر حرفياً. إذا لم تذكر معادلات ماكسويل الراحة الأساسية، فإننا لسنا بحاجة

إليها؛ أعلن أينشتاين بقوة أن سرعة الضوء هي تساوي 300000 كيلومتر في الثانية مقارنة بأي شيء وكل شيء. على الرغم من أن التفاصيل ذات أهمية تاريخية، إلا أنني أذكر هذه الحلقة للنقطة التالية: كان بإمكان الجميع الوصول إلى رياضيات ماكسويل، لكن الأمر تطلب من عبقرية أينشتاين فهمها تمامًا. بهذا، مهد أينشتاين الطريق للنسبية الخاصة، مما أزج قرونًا من التفكير في المكان/الفضاء والزمن والمادة والطاقة. خلال العقد الذي تلا ذلك، في تطوير نظريته عن النسبية العامة، أصبح أينشتاين مألوفًا بشكل وثيق مع مجالات واسعة من الرياضيات، والتي لم يعرف عنها معظم علماء الفيزياء في عصره إلا القليل أو لا شيء. بينما كان يتلمس طريقه نحو المعادلات النهائية للنسبية العامة، أظهر أينشتاين موهبة خبيرة لنمذجة هذه الإنشاءات الرياضية بيد الحدس. بعد بضع سنوات، عندما تلقى الأخبار السارة بأن ملاحظات كسوف الشمس عام 1919 أكدت التنبؤ بالنسبية العامة بأن ضوء النجوم يتبع مسارات منحنية، أكد أينشتاين أنه إذا كانت الملاحظات قد أثبتت خلاف توقعاته وتنبؤاته، لكان "أسف لهذا الرب العزيز، لأن النظرية صحيحة". أنا متأكد من أن البيانات المقنعة المخالفة للنسبية العامة كانت ستغير كلام أينشتاين، لكن ملاحظته توضح كيف أن مجموعة من المعادلات الرياضية، بمنطقها الداخلي جيد التجهيز، وجمالها الجوهري، وإمكاناتها الواسعة للتطبيق، قد تختلف عن الواقع. ومع ذلك، هناك حد للنطاق الذي كان أينشتاين على استعداد تقبله لذلك ضبطها في الرياضيات. لم يأخذ نظرية النسبية العامة "بجدية كافية" ليؤمن بتنبؤاتها حول الثقوب السوداء أو توسع الكون. كما رأينا، اعتمد باحثون آخرون مثل فريدمان أو لوميتير أو شوارزشيلد على معادلات أينشتاين أكثر مما اعتمد هو نفسه، وقد مهد عملهم الطريق لما يقرب من قرن من علم الكونيات. على العكس من ذلك، خلال السنوات العشرين الأخيرة من حياته، ألقى أينشتاين نفسه وانغمس روحاً وجسداً في البحث الرياضي، ساعياً بشغف لإيجاد نظرية موحدة للفيزياء. عند تقييم عمله على أساس ما نعرفه الآن، لا يسع المرء إلا أن يستنتج أنه خلال هذه السنوات كان أينشتاين موجهًا بشدة - قد يقول البعض من ذوي الخبرة بشكل مكثف وعلى نحو أعمى - من خلال غابة المعادلات التي لديه.. حتى أينشتاين، في أوقات مختلفة في حياته، اتخذ قرارات خاطئة بشأن المعادلات التي يجب أن يأخذها على محمل الجد أم لا. الثورة الثالثة في الفيزياء النظرية الحديثة، كانت ميكانيكا الكموم، هي حالة كتابية أخرى، مرتبطة مباشرة بالقصة التي سردناها آنفًا في مقالات سابقة. كتب شرودنجر معادلاته لتطور الموجات الكمومية في عام 1926. ولعقود طويلة، كان هذا يعتبر صالحًا فقط في مجال الأجسام الصغيرة في نطاق ما دون المجهر في اللامتناهي في الصغر: الجزيئات والذرات والجسيمات. لكن في عام 1957، كرر هيوغ إيفريت رأي أينشتاين في عمل ماكسويل: بعد خمسين عامًا، أخذ الحسابات في ظاهرها. اقترح إيفريت أن معادلة شرودنجر تنطبق على كل شيء لأن كل ما هو مادة، بغض النظر عن حجمها، مصنوع من جزيئات وذرات وجسيمات دون ذرية. كما رأينا، هذا ما قاد إيفريت إلى تفسير العوالم المتعددة لميكانيكا الكموم والكون المتعدد الكمومي. بعد مرور أكثر من خمسين عامًا، ما زلنا لا نعرف ما إذا كان نهج إيفريت صحيحًا. ولكن من خلال أخذ الرياضيات وراء نظرية الكموم حرفيًا - بجدية حقًا - توصلنا إلى أحد أكثر الاكتشافات عمقًا للاستكشاف العلمي. وبالمثل، تستند مقترحات الكون المتعدد الأخرى على الاعتقاد بأن الرياضيات مرتبطة ارتباطًا وثيقًا ببنية الواقع. يجسد الكون المتعدد الأسمى وجهة النظر هذه بأكبر قدر من العمق؛ بالنسبة للكون المتعدد الأسمى، الرياضيات هي الحقيقة. على الرغم من وجهة نظرهم الأقل شمولية للروابط بين الرياضيات والواقع، حتى الأكوام المتعددة الأخرى في الجدول 11.1 تدين بتكوينها للأرقام والمعادلات التي عالجها المنظرون من مكاتبهم - عن طريق الخربشة في دفاترهم، وملء السبورات الخاصة بهم، أو عن طريق برمجة أجهزة الكمبيوتر الخاصة بهم. سواء كانت النسبية العامة، أو ميكانيكا الكموم، أو نظرية الأوتار، أو شكليات رياضية عامة، فإن العناصر الواردة في الجدول 11.1 ظهرت فقط لأننا أدركنا أن النظريات الرياضية يمكن أن ترشدنا إلى الحقائق المخفية. الزمن وحده هو الذي سيحدد ما إذا كان هذا الافتراض يأخذ النظريات الرياضية الأساسية بشكل حرفي أم لا. إذا كان بعض أو كل الرياضيات التي علمتنا حث على النظر في

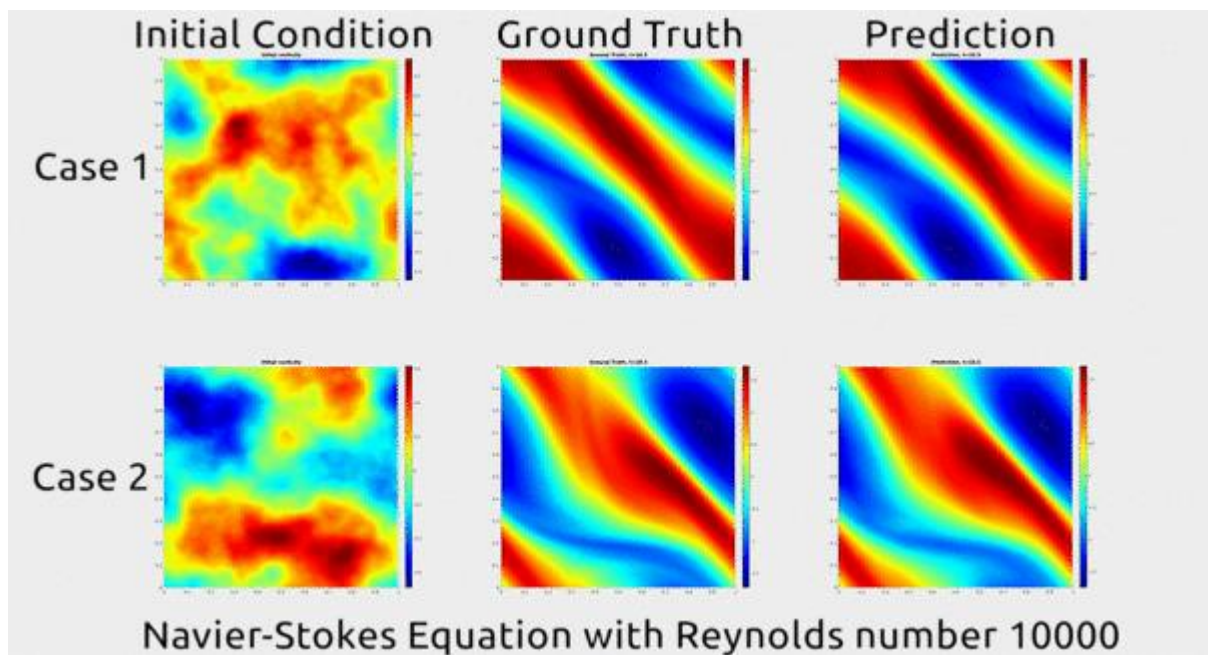
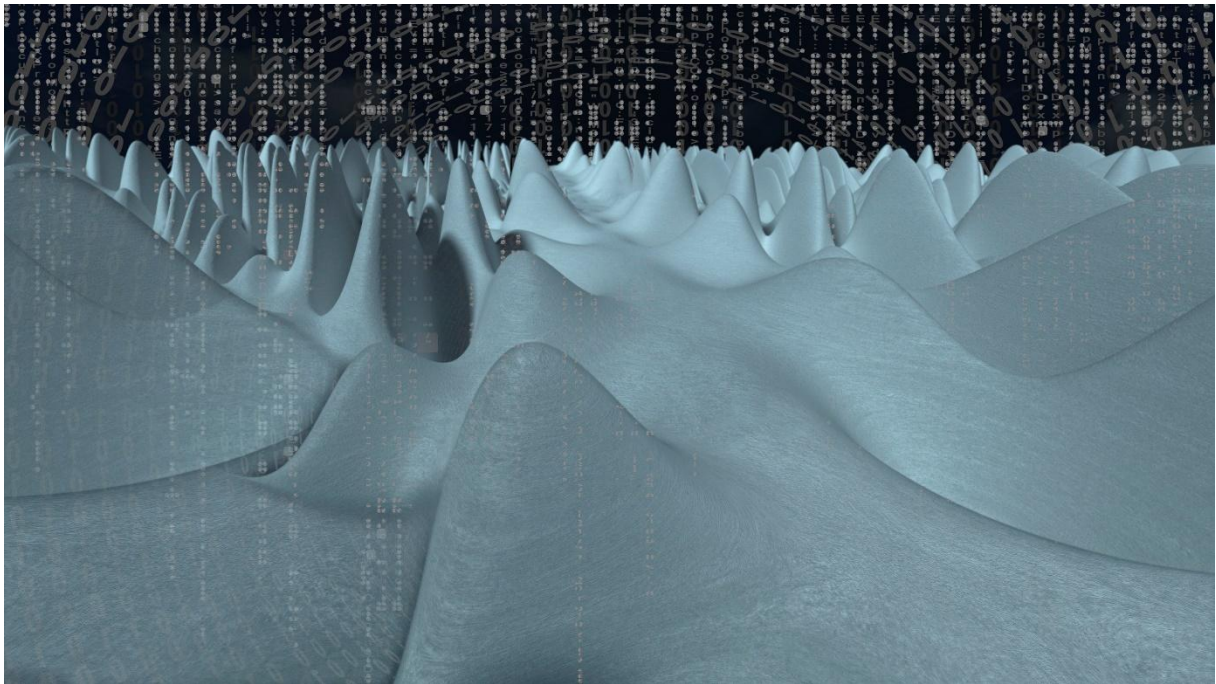
عوالم موازية ينطبق على هذا المنهج في الواقع، سنكون قادرين على الإجابة على السؤال الشهير لـ آينشتاين متسائلاً عما إذا كان للكون الخصائص التي يمتلكها ببساطة لأنه لا يوجد عالم آخر ممكن: الإجابة هي لا. كوننا ليس الوحيد الممكن. يمكن أن تكون خصائصه مختلفة. وفي العديد من مقترحات الأكوان المتعددة، ستكون خصائص الأكوان الأعضاء الأخرى مختلفة. أخيراً، إن البحث عن تفسير أساسي لسبب وجود أشياء معينة على ما هي عليه سيكون بلا فائدة. في المقابل، فإن الاحتمالات الإحصائية أو الصدفية البحتة ستكون راسخة بقوة في فهمنا لكون هائل بشكل أساسي. لا أعرف ما إذا كانت الأمور ستأخذ هذا المنعطف. لكن الالتزام الحازم فقط سيسمح لنا بمعرفة حدودنا. فقط السعي المتسق لنظرياتنا، حتى تلك التي تدفعنا إلى مجالات غريبة بقدر ما هي غير معروفة، ستوفر لنا فرصة للكشف عن المدى الكامل للواقع.

لقد حل الذكاء الاصطناعي لغزاً رياضياتياً رئيسياً لفهم عالمنا يمكن أن تصف المعادلات التفاضلية الجزئية كل شيء من حركة الكواكب إلى حركة الصفائح التكتونية، ولكن من المعروف أن حلها صعب. تم إنشاء محاكاة حاسوبية رياضياتياً

MS TECH | مكتبة الصور العلمية عبر AP

إخفاء ما لم يكن فيزيائياً أو مهندساً، فليس هناك الكثير من الأسباب لتعرف عن المعادلات التفاضلية الجزئية. يقول برايان غرين: أنا أعلم. بعد سنوات من التأمل فيها في المرحلة الجامعية أثناء دراسة الهندسة الميكانيكية، لم أستخدمها مطلقاً منذ ذلك الحين في العالم الحقيقي. لكن المعادلات التفاضلية الجزئية، أو PDEs، هي أيضاً نوع من السحرية. إنها فئة من المعادلات الرياضية التي تعتبر جيدة حقاً في وصف التغيير عبر المكان والزمان، وبالتالي فهي مفيدة جداً لوصف الظواهر الفيزيائية في كوننا. يمكن استخدامها لنمذجة كل شيء من مدارات الكواكب إلى الصفائح التكتونية إلى اضطراب الهواء الذي يزجج الرحلة، والذي بدوره يسمح لنا بالقيام بأشياء عملية مثل التنبؤ بالنشاط الزلزالي وتصميم طائرات آمنة. المشكلة هي أن معادلات PDE يصعب حلها". وهنا، ربما يكون أفضل توضيح لمعنى "حل" هو مثال. لنفترض أنك تحاول محاكاة الاضطرابات الجوية لاختبار تصميم جديد للطائرة. هناك PDE معروف يسمى Navier-Stokes يستخدم لوصف حركة أي سائل. يتيح لك "حل Navier-Stokes" النقاط لقطة لحركة الهواء (مثل ظروف الرياح) في أي وقت وتحديد كيفية استمراره في الحركة، أو كيف كان يتحرك من قبل. هذه الحسابات معقدة للغاية ومكثفة من الناحية الحسابية، وهذا هو السبب في أن التخصصات التي تستخدم الكثير من أجهزة PDE غالباً ما تعتمد على أجهزة الكمبيوتر العملاقة لإجراء العمليات الحسابية. وهذا هو سبب اهتمام مجال الذكاء الاصطناعي بهذه المعادلات بشكل خاص. إذا تمكنا من استخدام التعلم العميق لتسريع عملية حلها، فيمكن أن يكون مفيداً جداً للبحث العلمي والهندسة. قدم باحثون في معهد كاليفورنيا للتقنية الآن تقنية جديدة للتعلم العميق لحل PDEs التي تعد أكثر دقة بشكل كبير من طرق التعلم العميق التي تم تطويرها سابقاً. كما أنه أكثر قابلية للتعميم، فهو قادر على حل عائلات كاملة من أجهزة - PDE مثل معادلة Navier-Stokes لأي نوع من السوائل - دون الحاجة إلى إعادة التدريب. أخيراً، إنه أسرع 1000 مرة من الصيغ الرياضية التقليدية، مما سيخفف اعتمادنا على أجهزة الكمبيوتر العملاقة ويزيد من قدرتنا الحسابية لنمذجة مشاكل أكبر. قبل أن نتعمق في كيفية قيام الباحثين بذلك، دعونا نقدر النتائج أولاً. في الصورة المتحركة أدناه، يمكنك رؤية عرض مثير للإعجاب. يُظهر العمود الأول لقطتين لحركة السائل؛ يوضح الثاني كيف استمر السائل في التحرك في الحياة الواقعية؛ والثالث يوضح كيف توقعت الشبكة العصبية أن يتحرك السائل. تبدو متطابقة بشكل أساسي مع الثانية. نالت الصحيفة الكثير من الضجة على تويتر، وحتى صرخة من مغني الراب إم سي هامر. نعم حقاً. حسناً، عد إلى كيف فعلوا ذلك. عندما تناسب الوظيفة أول شيء يجب فهمه هنا هو أن الشبكات

العصبية هي في الأساس مقربات وظيفية. (قل ماذا؟) عندما يتدربون على مجموعة بيانات من المدخلات والمخرجات المزدوجة، فإنهم في الواقع يحسبون الوظيفة، أو سلسلة من العمليات الحسابية، والتي تنتقل إحداها إلى الأخرى. فكر في بناء جهاز كشف القطط. أنت تدرب الشبكة العصبية عن طريق إطعامها الكثير من صور القطط والأشياء التي ليست قطط (المدخلات) وتسمية كل مجموعة بـ 1 أو 0، على التوالي (المخرجات). تبحث الشبكة العصبية بعد ذلك عن أفضل وظيفة يمكنها تحويل كل صورة قطة إلى 1 وكل صورة لكل شيء آخر إلى 0. وبهذه الطريقة يمكن أن ننظر إلى صورة جديدة وتخبرك ما إذا كانت قطة أم لا. إنها تستخدم الوظيفة التي وجدتها لحساب إجابتها - وإذا كان تدريبها جيداً، فستحصل عليها بشكل صحيح في معظم الأوقات. بشكل ملائم، عملية تقريب الوظيفة هذه هي ما نحتاجه لحل PDE. نحن نحاول في النهاية العثور على وظيفة تصف، على سبيل المثال، حركة جسيمات الهواء عبر الفضاء والزمان الماديين. الآن هذا هو جوهر الورقة. عادة ما يتم تدريب الشبكات العصبية لتقريب الوظائف بين المدخلات والمخرجات المحددة في الفضاء الإقليدي، الرسم البياني الكلاسيكي الخاص بك مع محاور x و y و z . لكن هذه المرة، قرر الباحثون تحديد المدخلات والمخرجات في فضاء فورييه، وهو نوع خاص من الرسم البياني لرسم ترددات الموجة. تقول أنيما أناندكومار، أستاذة معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا والتي أشرفت على البحث جنباً إلى جنب مع زملائها، الأستاذين أندرو ستوارت وكاوشيك، إن الحدس الذي استفادوا منه من العمل في مجالات أخرى هو أنه يمكن وصف شيء مثل حركة الهواء على أنه مزيج من ترددات الموجات. بهاتاشاريا. الاتجاه العام للرياح على المستوى الكلي يشبه التردد المنخفض مع موجات طويلة وخاملة للغاية، في حين أن الدوامات الصغيرة التي تتشكل على المستوى الجزئي تشبه الترددات العالية ذات الذبذبات القصيرة جداً والسريعة. لماذا هذا شيء؟ لأنه من الأسهل بكثير تقريب دالة فورييه في مساحة فورييه بدلاً من الخوض مع أجهزة PDE في الفضاء الإقليدي، مما يبسط عمل الشبكة العصبية إلى حد كبير. حدد مكاسب الدقة والكفاءة الرئيسية: بالإضافة إلى ميزة السرعة الهائلة التي تتمتع بها على الطرق التقليدية، فإن أسلوبهم يحقق معدل خطأ أقل بنسبة 30٪ عند حل Navier-Stokes مقارنة بأساليب التعلم العميق السابقة. الأمر برمته ذكي للغاية، كما أنه يجعل الطريقة أكثر قابلية للتعميم. كان لابد من تدريب طرق التعلم العميق السابقة بشكل منفصل لكل نوع من السوائل، في حين أن هذه الطريقة تحتاج فقط إلى التدريب مرة واحدة للتعامل معها جميعاً، كما أكدت ذلك تجارب الباحثين. على الرغم من أنهم لم يحاولوا بعد توسيع هذا ليشمل أمثلة أخرى، إلا أنه ينبغي أيضاً أن يكون قادراً على التعامل مع كل تكوين للأرض عند حل أجهزة PDE المتعلقة بالنشاط الزلزالي، أو كل نوع من المواد عند حل أجهزة PDE المتعلقة بالتوصيل الحراري. محاكاة فائقة لم يقم الأساتذة وطلاب الدكتوراه بإجراء هذا البحث فقط من أجل المتعة النظرية منه. يريدون جلب الذكاء الاصطناعي إلى المزيد من التخصصات العلمية. من خلال التحدث إلى العديد من المتعاونين في علوم المناخ وعلم الزلازل وعلوم المواد، قررت أناندكومار أولاً مواجهة تحدي PDE مع زملائها وطلابها. إنهم يعملون الآن على وضع طريقتهم موضع التنفيذ مع باحثين آخرين في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا ومختبر لورانس بيركلي الوطني. أحد المواضيع البحثية التي تثير اهتمام أناندكومار بشكل خاص: تغير المناخ. نافير-ستوكس ليس جيداً فقط في نمذجة الاضطراب الجوي؛ كما أنها تستخدم لنمذجة أنماط الطقس. "وجود تنبؤات جيدة ودقيقة بالطقس على نطاق عالمي يمثل مشكلة صعبة للغاية"، كما تقول، "وحتى على أكبر أجهزة الكمبيوتر العملاقة، لا يمكننا القيام بذلك على نطاق عالمي اليوم. لذلك إذا تمكنا من استخدام هذه الأساليب لتسريع خط الأنابيب بأكمله، فسيكون ذلك ذا تأثير هائل." وتضيف أن هناك أيضاً العديد والعديد من التطبيقات. "بهذا المعنى، السماء هي الحد الأقصى، لأن لدينا طريقة عامة لتسريع كل هذه التطبيقات".



The paper has gotten [a lot of buzz on Twitter](#), and even [a shout-out from rapper MC Hammer](#). Yes, really.

PARALLELES	PROPOSITION .D'UNIVERS	DESCRIPTION
	Multi-univers en patchwork	Les conditions en vigueur dans un univers infini se reproduisent nécessairement à travers l'espace, produisant des mondes parallèles.
	Multi-univers inflationnaire	L'inflation cosmologique éternelle produit un énorme réseau d'univers bulles, dont

notre univers pourrait faire partie.

Multi-univers de branes Dans le scénario des branes mondes de la théorie des cordes/théorie M, notre univers existe sur une brane tridimensionnelle qui flotte dans une étendue de plus haute dimension, possiblement peuplée d'autres branes- d'autres univers, parallèles au nôtre.

Multi-univers cyclique Les collisions entre branes mondes peuvent se manifester comme des big bangs, produisant des univers qui sont parallèles dans le temps.

Multi-univers paysage En combinant la cosmologie inflationnaire et la théorie des cordes, les nombreuses formes différentes que prennent les dimensions supplémentaires de la théorie des cordes donnent lieu à plusieurs univers bulles différents.

Multi-univers quantique La mécanique quantique suggère que chaque possibilité incarnée dans ses ondes de probabilité se réalise dans l'un des nombreux univers parallèles.

Multi-univers holographique Le principe holographique stipule que notre univers se reflète exactement dans les phénomènes qui se déroulent sur une lointaine surface limite, qui est un univers parallèle physiquement équivalent.

Multi-univers virtuel Des avancées technologiques suggèrent que des univers virtuels pourraient un jour être possibles.

Multi-univers suprême Le principe de fécondité stipule que chaque univers possible est un univers réel, ce qui rend caduque la question de savoir pourquoi une possibilité – le nôtre – serait particulière. Ces univers incarnent toutes les équations mathématiques possibles.

Tableau 11.1 Résumé des diverses versions d'univers parallèles.

PROPOSITION D'UNIVERS PARALLÈLES	DESCRIPTION
Multi-univers en patchwork	Les conditions en vigueur dans un univers infini se reproduisent nécessairement à travers l'espace, produisant des mondes parallèles.
Multi-univers inflationnaire	L'inflation cosmologique éternelle produit un énorme réseau d'univers bulles, dont notre univers pourrait faire partie.
Multi-univers de branes	Dans le scénario des branes mondes de la théorie des cordes/théorie M, notre univers existe sur une brane tridimensionnelle qui flotte dans une étendue de plus haute dimension, possiblement peuplée d'autres branes – d'autres univers, parallèles au nôtre.
Multi-univers cyclique	Les collisions entre branes mondes peuvent se manifester comme des big bangs, produisant des univers qui sont parallèles dans le temps.
Multi-univers paysage	En combinant la cosmologie inflationnaire et la théorie des cordes, les nombreuses formes différentes que prennent les dimensions supplémentaires de la théorie des cordes donnent lieu à plusieurs univers bulles différents.
Multi-univers quantique	La mécanique quantique suggère que chaque possibilité incarnée dans ses ondes de probabilité se réalise dans l'un des nombreux univers parallèles.
Multi-univers holographique	Le principe holographique stipule que notre univers se reflète exactement dans les phénomènes qui se déroulent sur une lointaine surface limite, qui est un univers parallèle physiquement équivalent.
Multi-univers virtuel	Des bonds technologiques suggèrent que des univers virtuels pourraient un jour être possibles.
Multi-univers suprême	Le principe de fécondité stipule que chaque univers possible est un univers réel, ce qui rend caduque la question de savoir pourquoi une possibilité – le nôtre – serait particulière. Ces univers incarnent toutes les équations mathématiques possibles.

Tableau 11.1 Résumé des diverses versions d'univers parallèles.