الواقعُ الخفيّ

الأكوان الموازية وقوانين الكون العميقة

براين جرين

صاحب أكثر الكتب مبيعاً ومؤلف كتابيْ
«الكون الأنيق»، و «نسيج الكون»

ترجمة: محمّد فتحي خضر

"لو هبطت غدا كائنات فضائية على الأرض. وسألتنا عما يمكن للعقل البشري أن يحققه، سنقدم لهم نسخة من هذا الكتاب".

The New York Times Book Review

التنوير

قام بتحويل الكتاب الي نسخة نصية كلٌ من:
«زينه»، «د. طارق التميمي»
«محمد العليان »، «معالي»
«محمد مصطفي كمال»، «عبدالله الحبابي»
«عزيز ابن ابو عزيز»، «أريج محمد»
«هشام حسني»، «awakeel»
«سماهر»، «رشا الظاهري»
«رنا وليد»، «ماجد حنّا»
«علي الشمري»، «تامر السلاموني»
«بندر الحربي»، «شمس الحياة»
«مروة جمال»، «تركي العبود»
«الياس سعدي»، «ماجدة علي علي»
«هادي ابراهيم»، «سامي اكايا»
«ماجد حنّا»، «أحمد»
« محمد زهرة»، «منصور التميمي»

اخراج فني وصور فوتنوت وفهرسة:
« ماجدة علي علي »

إشادات بهذا الكتاب

«يمتلك برايان جرين موهبة إيضاح الأفكار الكبيرة... إنه يأسر الخيال ويلهمه، ومن الممتع للغاية قراءة ما يكتبه».

- نيويورك تايمز

«لقد آن أوان فكرة الكون المتعدد... ويعد هذا الكتاب مقدمة وافية لهذه الفكرة... ومن شأنه أن يفتح أعين أشخاص كثيرين».

- وول ستريت جورنال

«يصحبنا برايان جرين في رحلة جديدة مشوّقة، وهذه المرة نتّجه صوب مجاهل الأكوان الموازية، والعوالم الخفية والبديلة، والإسقاطات الهولوجرامية، وعمليات محاكاة الكون المتعدد. يحب جرين أن يلقي بالقارئ في قلب الأحداث، ثمّ يفسِّر كيف بدأ الأمر كله، بيد أنّه يمتلك موهبة توقُّع الأسئلة ومن ثمّ يتعامل فوراً مع أي ارتباك أو اعتراضات لدى القراء».

- ديلي بيست

«دليل إرشادي سهل الاستيعاب مكتوب بأسلوب رشيق يشرح مفهوم الأكوان الموازية... يمتلك جرين موهبة عظيمة تمكنه من العثور على تشبيهات قوية ملائمة وتمس واقع الحياة اليومية وهو يشرح بها أسرار الفيزياء النظرية».

- تورونتو ستار

«كتاب محفِّز على التفكير... وهو يجسِّد حجة جرين الحماسية المتمثلة في قدرة الرياضيات على كشف الحقائق الخفية المتعلقة بالكيفية التي يعمل بها العالم».

- نيويوركر

«مثل ستيفن هوكينج وروجر بنروز اللذان سبقاه، يكتب برايان جرين متحلياً بثقة وسُلطة الشخص الذي... رأى حقيقة الكون الموعودة رأي العين».

- بوك فورَم

«لو كنت تحب أن يُشرَح لك العلم بدلاً من أن يُلقى بصورة جافة على مسامعك، ولو كنت تحب أن يتسم كاتبك العلمي بالفصاحة والوضوح، ولو كنت تحب أن يتسم العلم المقدم إلى العامة بالمنطق، حتّى حين يسبر أغوار نظرية صعبة، فمن المؤكد أنك ستحب هذا الكتاب ومؤلفه، برايان جرين». **- نيويورك جورنال أوف بوكس**

«موطن القوة لدى جرين هو قدرته المذهلة على تقديم أمثلة واضحة من الحياة اليومية يشرح بها نظريات فيزيائية معقدة».

- جلوب آند ميل

«كتاب جريء... مسلٍّ ومُحكَم الصياغة».

- كريستيان ساينس مونيتور

«نظرة حديثة للكون تتسم بكونها جلية ومثيرة للاهتمام وسهلة الاستيعاب».

- بابليشرز ويكلي

«بفضل تشبيهاته البارعة، يوصِّل جرين أفكاره بوضوح غير معتاد، وعلى نحو أمين يتفق مع الحدس».

- أوكسونيان ريفيو

«إنّ نجاح جرين في شرح ما يستحيل شرحه يكمن في الطريقة التي يمزج فيها على نحو مبهج بين ما

هو غريب بمعنى الكلمة وما هو مألوف تماماً».

- بروفيدنس جورنال

«منطقة عجيبة من الكون، يصحبنا جرين خلالها مقدماً لنا إرشاده الخبير»

-أوريجونيان

«كتابٌ مثير للذهول».

- صَنداي تايمز (لندن)

«كتابٌ شديد الإمتاع».

- سكوتلاند أون صَنداي

«لدى جرين شيء جديد عميق ليقوله عن كل شيء تقريباً».

- موقع sciencefiction.com

«كتاب واسع النطاق، مفعم بالحيوية، ومعقد».

- ذا إيست هامبتون ستار

«أفضل كتاب إرشادي متاح، في هذا الكون على الأقل».

- ساينس نيوز

«إنّ أعظم إنجازات جرين يتمثَّل في أنك، حتّى وأنت تجاهد في سبيل فهم هذه المفاهيم المُشار إليها تلميحًا، ستبدأ في الوقوع في حب هذه الألغاز».

- إكسبريس تريبيون

إلي أليك وصوفيا.

تصدير

لو كانَ هناك أدنى شك - في مطلع القرن العشرين - في النتيجة القائلة: حين يتعلق الأمر بكشف الطبيعة الحقيقية للواقع، فالخبرات المشتركة خدَّاعة؛ فمع بداية القرن الحادي والعشرين صارت هذه النتيجة حقيقة بديهية. وبالتفكير في الأمر نجد أن هذا ليس مفاجئاً بالمرة؛ فبينما كانَ أسلافنا يتجمَّعون في الغابات ويصطادون بين حشائش السافانا، لم يكن للقدرة على حساب السلوك الكمي للإلكترونات أو تحديد التبعات الكونية للثقوب السوداء أن تفيد كثيراً في البقاء على قيد الحياة. لكنّ من المؤكد أن امتلاك أدمغة أكبر شكَّل مزية كبيرة، وبينما أخذت قدراتنا العقلية تنمو، فقد نمت معها كذلك قدرتنا على استكشاف البيئة المحيطة بنا على نحو أعمق. وقدْ بنى بعض أبناء نوعنا معدات بغية بسط نطاق حواسنا، في ما أتقن آخرون طرقاً منهجية لرصد الأنماط والتعبير عنها؛ ونعني بهذا الرياضيات. وبفضل هذه الأدوات شرعنا في النظر في ما وراء المظاهر اليومية المعتادة.

وقدْ استلزم ما عثرنا عليه بالفعل قيامنا بتغييرات جذرية في الصورة التي رسمناها عن الكون. فبفضل الرؤى الفيزيائية والصرامة الرياضية، والتي وجَّهتها، وأكدتها التجارب والمشاهدات، تحقَّقنا من أن سلوك المكان والزمن والمادة والطاقة يختلف تماماً عن أي شيء سبق لأي منا رؤيته مباشرة. والآن، تقودنا التحليلات الثاقبة لهذه الاكتشافات والاكتشافات الأخرى ذات الصلة إلى ما يمكن أن يكون الثورة التالية في فهمنا: احتمالية ألاّ يكون كوننا هو الكون الوحيد الموجود، وهي الاحتمالية التي يستكشفها كتابنا هذا.

خلال تأليف هذا الكتاب افترضتُ أن القارئ لا يتمتع بأي خبرة مسبقة في مجالي الفيزياء والرياضيات، وعوضاً عن ذَلكَ فقد استخدمتُ تشبيهات و استعارات و حكايات تاريخية بين الحين والآخر، كما في كتبي السابقة، كي أقدم سرداً يسير الاستيعاب لبعض من أغرب الرؤى وأكثرها كشفاً لطبيعة الفيزياء الحديثة، لو ثبتت صحتها. إنّ العديد من المفاهيم المقدمة هنا يتطلب من القارئ التخلي عن أنماط التفكير المريحة وأن يعتنق جوانب غير متوقعة للواقع. إنها رحلة شديدة الإثارة، سهلة الاستيعاب، وعامرة بالتحولات العلمية المفاجئة التي أضاءت الطريق. وقدْ اخترت بترؤ بعضاً من هذه التحولات كي أرسم للقارئ مشهداً من الأفكار التي تمتد من أحداث يومية معتادة إلى نطاقات غير مألوفة تماماً.

ومن الجوانب التي يختلف فيها هذا الكتاب عن كتبي السابقة أنني لم أدرج فيه فصولاً تمهيدية ترسم على نحو منهجي ملامح المادة التي يرتكز عليها الكتاب، على غرار النسبية الخاصة والعامة وميكانيكا الكم، بل عوضاً عن ذَلكَ فقد عمدتَ في أغلب الأجزاء إلى تقديم عناصر من هذه الموضوعات كلما دعت الحاجة إلى ذَلكَ وحسب، وكلما وجدتُ في موضع ما أن ثمة ضرورة لتقديم استعراض أوفى كي يظل الكتاب وافياً، كنت أعمد إلى تحذير القارئ الخبير وأحدد لهُ الأقسام التي بوسعه التغاضي عن قراءتها من دون مخاطرة.

وعلى النقيض من ذَلكَ فإن الصفحات الأخيرة لعددٍ من الفصول تنقلنا في سلاسة نحو معالجة أعمق للمادة المعروضة، وهو الأمر الذي قد يجده بعض القراء صعباً. وحين ندخل هذه الأقسام فإني أقدم للقارئ قليل الخبرة عرضاً موجزاً، تاركاً لهُ خيار تجاوز هذه الأقسام من دون أن يخاطر بفقدان التسلسل المنطقي للكتاب. ومع هذا فأنا أشجع كل شخص على أن يقرأ من هذه الأقسام بقدر ما يشبع اهتمامه وبقدر ما يتيحه صبره. ورغم أن التوصيفات المقدمة أكثر تعقيداً، فإن المادة مكتوبة لجمهور عريض وبذا يظل المطلب الأساسي الوحيد لفهمها هو التحلي بالرغبة في المثابرة.

في هذا الصدد تختلف الملحوظات الختامية. بإمكان القارئ المبتدئ تجاوزها بالكامل، أماً القارئ الأكثر خبرة فسيجد في هذه الملحوظات توضيحات أو استفاضات أراها مهمة، بيد أنها على درجة من التعقيد

تجعل تضمينها في متن الفصول نفسها أمراً شاقاً. والعديد من هذه الملحوظات موجه للقراء الذين حظوا بقدر من الدراسة الرسمية في الرياضيات أو الفيزياء.

خلال تأليف هذا الكتاب استفدتُ من التعليقات والتقييمات النقدية التي قدمها عددٌ من أصدقائي وزملائي وأفراد عائلتي، والذين قرؤوا الكتاب كله أو بعضاً من فصوله. وأود أن أشكر تحديداً كلاًّ من ديفيد ألبرت وتريسي داي وريتشارد إيستر وريتا جرين وسايمون جودز ودانيال كابات وديفيد كاجان وبول كايزر ورافائيل كاسبر وخوان مالداسينا وكاترينا ماتسون وماليك باريك وماركوس بويسيل ومايكل بوبويتز وكين فاينبرج. لطالما كانَ العمل مع المحرر مارتي آشر متعة حقيقية، وأشكر أندرو كارلسون لما أولاه من رعاية خبيرة للكتاب في مراحل إنتاجه الأخيرة. لقد حسنت الرسوم التوضيحية الرائعة لجيسون سيفير أسلوب العرض تحسيناً عظيماً، وأود أشكره لما يتمتع به من موهبة وما أبداه من صبر. أيضاً يسرني أن أعبّر عن شكري لوكيلَيَّ الأدبيين كاتينا ماتسون وجون بروكمان.

استفدتُ كثيراً في أثناء تطويري للمادة التي أغطيها في هذا الكتاب من كثير من المحادثات العظيمة التي أجريتها مع عديد الزملاء. وعلاوة على أولئك الذين ذكرتُ أسماءهم بالفعل، أود تحديداً أن أشكر رافائيل بوسو وروبرت براندنبرجر وفريدريك دينيف وجاك ديستلر ومايكل دوجلاس ولام هوي ولورانس كراوس وجانا لافين وأندري لينده وسِث لويد وباري لوير وسولبيرلموتر ويورجين شميدهوبر وستيف شينكر وبول ستينهارد وأندرو سترومينجر وليونارد سَسكيند وماكس تجمارك وهنري تاي وكومرون فافا وديفيد والاس وإريك واينبرج و شينج-تونج ياو.

بدأتْ تأليف أولى كتبي العلمية الموجَّهة لعامة الجمهور، كتاب «الكون الأنيق»، في صيف عام 1996، وخلال الأعوام الخمسة عشر التالية استمتعتُ بالتفاعل المثمر غير المتوقع بين محور تركيز أبحاثي المتخصصة والموضوعات التي يغطيها الكتاب. وأتوجه بالشكر إلى طلابي وزملائي بجامعة كولومبيا لخلقهم بيئة بحثية مليئة بالحماس، وإلى وزارة الطاقة لتمويلها أبحاثي العلمية، وأيضاً إلى الراحل بينتي كوري من أجل تشجيعه السخي لمركزي البحثي في جامعة كولومبيا: معهد الأوتار وعلم الكونيات وفيزياء الجسيمات الفلكية.

وأخيراً، أشكر تريسي وأليك وصوفيا لجعلهم هذا الكون أفضل الأكوان الممكنة على الإطلاق.

الفصل الأول
حدود الواقع عن العوالم الموازية

لو كانت حجرة صباي مزيَّنة بمرآة وحيدة وحسب، فلربما اختلفت أحلام اليقظة التي كانت تراودني في طفولتي. لكنّ كانَ في حجرتي مرآتان، وفي كل صباح حين كنت أفتح خزانة الملابس لإخراج ملابسي كانت المرأة المثبتة في باب الخزانة تقابل تلك المعلقة على الجدار، فتخلقان سلسلة لا نهائية من الانعكاسات لأي شيء يتصادف وجوده بينهما. كانَ الأمر ساحراً. وكم استمتعتُ كثيراً برؤية الصورة تلو الأخرى وهي تنعكس على الأسطح الزجاجية المتوازية، ممتدة إلى أبعد مسافة تستطيع العين تبينها. بدت الانعكاسات جميعها وكأنها تتحرك في وحدة وتناغم؛ لكنني كنت أعرف أن هذا محض قصور في الإدراك البشري، فقد كنت أعلم بشأن السرعة المتناهية للضوء منذ سنّ صغير. وبذا فقد كنت أشاهد بعين عقلي الرحلات التي يقطعها الضوء ذهاباً وإياباً. كانت حركة رأسي وتطويح ذراعي تنعكس في صمت بين المرآتين، وكل صورة منها تلاحق الصورة التي تليها. في بعض الأحيان كنت أتخيّل نسخة مارقة مني في هذه السلسة من الصور ترفض الحركة على النحو ذاته، فتخل بالتتابع المطرد وتخلق واقعاً جديداً يرشد الصور التالية. وخلال فترات الراحة وأنا بالمدرسة، كنت أفكر أحياناً في الضوء الذي صدر عني ذَلكَ الصباح، وكيف أنّه لا يزال يتقافز من دون توقف بين المرايا، وكنت أنضم إلى واحدة من ذواتي المنعكسة، فأدخل عالماً موازياً خيالياً صنعه الضوء ويحركه الخيال.

بطبيعة الحال ليس للصور المنعكسة عقول خاصة بها، بيد أن هذه شطحات الطفولة الخيالية، بما حملته من عوالم موازية متخيلة، تتوافق مع موضوع يحظى باهتمام متزايد في العلم الحديث؛ وأعني بهذا احتمالية وجود عوالم أخرى غير ذَلكَ الذي نعرفه. يستكشف الكتاب هذه الاحتمالات، وهو بمنزلة رحلة مدروسة داخل علم الأكوان الموازية.

الكون والأكوان

في وقت من الأوقات كانت كلمة «الكون» تعني «الوجود كله»؛ أي كل شيء. وفكرة وجود أكثر من كون واحد، أكثر من وجود شامل، يمكن أن توحي بتناقض في المصطلحات. ومع هذا فقد أدى طيف من التطورات النظرية تدريجياً إلى الحد من معنى كلمة «الكون»، وصار معنى الكلمة يعتمد الآن على السياق. في بعض الأحيان لا تزال كلمة «الكون» تشير ضمناً إلى الوجود كله على نحو مطلق، لكنّها في أحيان أخرى تشير فقط إلى تلك الأجزاء من الوجود التي بمقدور أي شخص، مثلي ومثلك، الولوج إليها. وفي بعض الأحيان تنطبق الكلمة على عوالم منفصلة، عوالم يتعذّر علينا - جزئياً أو كلياً، وعلى نحو دائم أو مؤقت - الولوج إليها، وفي هذه الحالة تشير الكلمة إلى أن كوننا مجرد عضو في مجموعة كبيرة، قد تكون لا نهائية، من الأكوان.

وفي ضوء تقلص سطوة كلمة «الكون»، فقد أفسحت المجال لمصطلحات أخرى تجسد النسيج الأوسع الذي من المحتمل أن يكون واقعنا كله جزءاً منه. فمصطلحات مثل «العوالم الموازية» أو «الأكوان الموازية» أو «الأكوان المتعددة» أو «الأكوان البديلة» أو «الكون البَعْدي» أو «الكون الضخم» أو «الكون المتعددة»، كلها مترادفة، وكلها تُستخدَم لا كي تشير إلى كوننا وحسب، بل إلى طيف من الأكوان الأخرى التي قد يكون لها وجود.

ستلاحظ أن هذه المصطلحات قد تكون مبهمة نوعاً ما. في تحديداً يتألف الكون أو العالم؟ ما المعايير التي تميز العوالم التي هي أجزاء متمايزة من كون واحد، عن العوالم التي تُصَنَّف بوصفها أكواناً قائمة بذاتها؟ ربما ينضج فهمنا للأكوان المتعددة يوماً ما بقدر يتيح لنا الحصول على إجابات دقيقة لهذه الأسئلة، لكنّ في الوقت الحالي سنتجنَّب الخوض في التعريفات المجرَّدة ونتبنَّى النهج الذي طبقه القاضي بوتر ستيوارت عندَ تعريفه للمواد الإباحية. فبينما كانت المحكمة العليا الأمريكية تجد صعوبة في وضع تعريف محدد للكلمة، أعلن القاضي ستيوارت عن نهجه قائلاً: «أعرف هذه المواد حين أراها».

وفي النهاية، مسألة وصف عالَم أو آخر بأنه كون بديل ما هي إلا مسألة لغوية بالأساس. فالمهم حقاً، أو جوهر الموضوع، هو ما إذا كانَ هناك وجود بالفعل لعوالم تتحدي نظرتنا التقليدية، وأن ما برحنا نظن أنّه الكون الوحيد ما هو إلا مجرد مكون واحد في واقع أكبر، وربما أغرب، خفي في معظمه.

ثمة حقيقة مذهلة (تمثل جزءاً من السبب الذي شجَّعني على تأليف هذا الكتاب) تتمثل في أن العديد من التطورات الكبيرة في الفيزياء النظرية الأساسية - فيزياء النسبية وفيزياء الكم، وفيزياء علم الكونيات، والفيزياء الموحدة، والفيزياء الحاسوبية - أدت بنا إلى تدبُّر شكل أو آخر من الأكوان الموازية. وفي الواقع، تتتبع الفصول التالية منحنى سردياً عبر تسعة أشكال مختلفة من الأكوان الموازية، كل منها يتصوَّر كوننا بوصفه جزءاً من كلٍّ أكبر غير متوقَّع، غير أن ملامح هذا الكل وطبيعة الأكوان التي تؤلفه تتباين بشدة من شكل إلى آخر. ففي بعضها، تبعد الأكوان الموازية عنا بنطاقات مكانية أو زمنية هائلة، وفي البعض لا تبعد عنا سوى ملليمترات قليلة، وفي البعض الآخر يتضح أن فكرة موقعها ذاتها محدودة الأفق، بل وغير ذات معنى. يتجسد طيف مشابه من الاحتمالات في القوانين التي تحكم الأكوان الموازية. ففي بعض هذه الأكوان لا تختلف القوانين عن قوانين كوننا، وفي غيرها تبدو القوانين مختلفة لكنّ لها الأصل ذاته، وفي أكوان أخرى تتخذ القوانين شكلاً وبنية يختلفان تماماً عن أي شيء تعرَّضنا لهُ من قبل. إنّ المدى الشاسع الذي قد يتَّسم به الواقع يدعونا إلى التواضع وإلى إعمال الخيال.

ظهر بعض من أولى المحاولات العلمية لخوض موضوع العوالم الموازية في خمسينيات القرن العشرين، وذلك على يد باحثين متحيرين بشأن بعض جوانب ميكانيكا الكم، وهي النظرية التي طُوِّرَت بغية تفسير الظواهر التي تقع داخل العالم فائق الصغر للذرات والجسيمات دون الذرية. لقد كسرت ميكانيكا الكم القالب الذي أرساه الإطار المفاهيمي السابق، الميكانيكا الكلاسيكية، وذلك عن طريق إثبات أن تنبؤات العلم تتصف بالاحتمالية بالضرورة. فبوسعنا التنبؤ باحتمالات حدوث نتيجة ما، ويوسعنا التنبؤ باحتمالات وقوع نتيجة أخرى، لكننا عموماً نعجز عن التنبؤ بأي النتيجتين سيتحقق فعلاً. إنّ هذا الانحراف المعروف عن مئات السنوات من الفكر العلمي مفاجئ بما يكفي، لكنّ ثمة جانباً أشد إرباكاً لنظرية الكم يتلقى قدراً أقل من الانتباه. فبعد عقود من الدراسة الدقيقة لميكانيكا الكم، وبعد تجميع كمية ضخمة من المعلومات التي تؤكد تنبؤاتها الاحتمالية، لم يتمكن أي شخص من تفسير لماذا تتحقق نتيجة واحدة بعينها من بين العدد الكبير من النتائج الممكنة. فنحن عندما نُجري التجارب ندرس العالم، ونتفق كلنا على أننا نواجه واقعاً واحداً محدداً. ومع ذَلكَ، بعد مرور أكثر من قرن على بدء ثورة الكم، لا يوجد إجماع بين فيزيائيي العالم حول الكيفية التي تتوافق بها هذه الحقيقة الأساسية مع التعبير الرياضي للنظرية.

وعلى مر الأعوام، أوحت هذه الفجوة الكبير في الفهم بعدد كبير من الاقتراحات الإبداعية، وكان أحد أوائل هذه الاقتراحات هو أكثرها إثارة للذهول. ذهب هذا الاقتراح إلى أن من المحتمل أن الفكرة المألوفة التي تقضي بأن أي تجربة لها نتيجة واحدة وحسب إنما هي فكرة مغلوطة. فالرياضيات التي تقوم عليها ميكانيكا الكم - أو على الأقل أحد المنظورات الرياضية - تقترح أن النتائج المحتملة تقع كلها بالفعل، وكل منها يتحقق في كون منفصل. فإذا كانت الحسابات الكمية تتنبأ باحتمالية وجود جسيم ما في الموضع (أ) أو (ب)، ففي أحد الأكوان سيوجد الجسيم بالفعل في الموضع (أ) بينما سيوجد في الموضع (ب) في كون آخر. وفي كل كون من هذين الكونين توجد نسخة منك ترصد إحدى النتيجتين أو الأخرى، وتظن - مخطئة - أن واقعها هو الواقع الوحيد. وحين تدرك أن ميكانيكا الكم تقوم عليها كل العمليات الفيزيائية، من اندماج الذرات داخل الشمس إلى عملية إطلاق النبضات بين الخلايا العصبية التي تشكل عملية التفكير، تصير التداعيات بعيدة المطال لذلك المقترح جلية تماماً. فهو يقول إنه لا وجود الطريق لم يجرِ اجتيازه، لكنّ كل طريق من هذه الطرق - كل واقع - مختفٍ عن سواه.

جذب نهج العوالم المتعددة في ميكانيكا الكم أهتماماً كبيراً في العقود الأخيرة، غير أن عمليات الاستقصاء

بيَّنت أنّه إطار مفاهيمي معقّد وشائك (كما سنناقش في الفصل الثامن)، ومن ثمّ حتّى في يومنا هذا، بعد أكثر من نصف قرن من التمحيص، يظل هذا المقترح مثيراً للجدل؛ حيث يرى بعض ممارسي ميكانيكا الكم أنّه قد ثبتت صحته بالفعل، بينما يزعم آخرون بالقدر عينه من الثقة أن الأسس الرياضية التي يقوم عليها ليست متسقة معاً.

لكنّ بصرف النظر عن عدم اليقين العلمي، فإن هذه النسخة المبكرة من الأكوان الموازية توافقت مع تيمات الأراضي المنعزلة أو التواريخ البديلة التي كانَ يجري استكشافها في كل من الأدب والتلفاز والأفلام السينمائية، ولا تزال هذه الأفكار مستمرة الى اليوم. (من الأعمال المفضلة لديَّ منذ فترة الطفولة فيلمَيْ «ساحر أوز» و«إنها حياة رائعة» وحلقة مسلسل ستار تريك بعنوان «مدينة على حافة الأبدية» وقصة بورخيس «حديقة المسارات المتشعبة»، ومؤخراً فيلمَيْ «الأبواب المنزلقة» و«اركضي يا لولا». وإجمالاً، ساعدت هذه الأعمال المنتمية إلى الثقافة الشعبية وغيرها في دمج مفهوم العوالم الموازية في روح العصر وتعد مسؤولة عن إذكاء قدر كبير من الافتتان الجماهيري بالموضوع. غير أن ميكانيكا الكم ليست إلا واحدة من الطرق العديدة التي يخرج بها مفهوم الأكوان الموازية من رحم الفيزياء الحديثة. وفي الحقيقة، لن تكون أول ما أتعرَّض لهُ بالنقاش.

في الفصل الثاني سأسير في طريق مختلف نحو الأكوان الموازية، طريق ربما يُعد الأبسط على الإطلاق، وسنرى أنّه لو كانَ الفضاء يمتد إلى مسافات بعيدة لا نهائية - وهو مقتَرح يتفق مع كل المشاهدات ويُعد جزءاً من النموذج الكوني الذي يفضله كثير من الفيزيائيين وعلماء الفلك - فمن المؤكد عندئذٍ أن توجد عوالم بعيدة (بعيدة للغاية على الأرجح) تعيش فيها نسخ منك ومني، و من كل شيء آخر، صوراً بديلة للواقع الذي نعيشه هنا. يصطحبنا الفصل الثالث في رحلة داخل أعماق علم الكونيات: حيث تولِّد النظرية التضخُّمية، وهو نهج يُفترض حدوث تمدد مكاني هائل شديد السرعة خلال اللحظات المبكرة من عمر الكون، نسختها الخاصة من العوالم الموازية. لو أن فكرة التضخم صحيحة، وهو ما توحي به غالبية المشاهدات الفلكية المنقحة، فإن التمدد الهائل الذي خلق المنطقة المكانية التي نقطنها ربما لا يكون متفرداً. بل عوضاً عن ذَلكَ من المحتمل في وقتنا الحالي أن يتسبب التمدد التضخمي الحادث في نطاقات نائية في خلق أكوان وأكوان، وربما يستمر في هذا إلى الأبد. والأهم من هذا أن كلًا من هذه الأكوان المتضخمة لهُ حيزه المكاني اللا متناهي الخاص، ومن ثمّ فهو يحوي عدداً لا نهائياً من العوالم الموازية التي تعرضنا لها بالنقاش في الفصل الثاني.

في الفصل الرابع نتحوّل في رحلتنا صوب نظرية الأوتار. وبعد مراجعة سريعة للأساسيات، سأقدم تقريراً عن حالة هذا النهج الهادف إلى توحيد قوانين الطبيعة كافة.. وبعد هذه النظرة الشاملة سنستكشف في الفصلين الخامس والسادس التطورات الحديثة في نظرية الأوتار، والتي تقترح ثلاثة أنواع جديدة من الأكوان الموازية؛ أحدها هو سيناريو «العالَم الغشائي» في نظرية الأوتار، والتي يقترح أن كوننا واحد من بين «ألواح» عديدة محتملة الوجود تطفو في فضاء ذي أبعاد أعلى، شأنه شأن شريحة الخبز الموجودة داخل رغيف كوني أكبر[1]. إذا حالفنا الحظ، ربما يترك هذا النهج بصمة مميزة قابلة للرصد في مصادم الهدرونات الكبير في جنيف، بسويسرا، في المستقبل غير البعيد. ثمة نسخة أخرى يتصادم فيها عالمان غشائيان، بحيث ينمحي ما يحويانه و تُخلَق بداية نارية جديدة أشبه بالانفجار العظيم في كل عالَم منها. ومثل يدين عملاقتين تصفقان، يمكن أن يحدث هذا مراراً وتكراراً؛ إذ تتصادم الأغشية ثمّ ترتد مبتعدة، ثمّ تنجذب إلى بعضها ثانية بفعل الجاذبية، ثمّ تتصادم مجدداً، وذلك في عملية دورية تولِّد أكواناً موازية، ليس مكانياً و إنما زمني. السيناريو الثالث هو سيناريو (المشهد الطبيعي) في نظرية الأوتار، والمبني على عدد الأشكال والأحجام الممكنة الضخمة للأبعاد المكانية الإضافية التي تتطلبها النظرية.

وسنرى أن سيناريو المشهد الطبيعي حين يتحد مع سيناريو الكون المتعدد التضخمي، فإنه يقترح وجود عدد ضخم من الأكوان تتحقَّق فيها كل صورة ممكنة من صور الأبعاد الإضافية.

في الفصل السادس سنركز على الكيفية التي توضح بها هذه الاعتبارات واحدة من أكثر النتائج الرصدية إدهاشاً في القرن الماضي: إذ يبدو الفضاء وكأنه مليء بطاقة متجانسة موزعة، ربما تكون صورة من ثابت آينشتاين الكوني شائن السمعة. وقدْ ألهمت هذه الملاحظة كثيراً من الأبحاث الحديثة عن الأكوان الموازية، وهي مسؤولة عن أحد أكثر النقاشات احتداماً حول طبيعة التفسيرات العلمية المقبولة. يستفيض الفصل السابع في هذا الموضوع عن طريق التساؤل، بصورة أكثر عمومية، حول ما إذاً كانَ التفكير في أكوان أخرى بخلاف كوننا من المقبول أن يُفهَم بوصفه فرعاً من فروع العلم. هل بإمكاننا إختبار هذه الأفكار؟ ولو أننا لجأنا إليها من أجل حل بعض المشكلات البارزة، فهل حققنا أي نجاح، أم أن كل ما فعلناه هو أننا كنسنا المشكلات تحت سجادة كونية تريحنا حقيقة استحالة الوصول إليها؟ أسعى في هذا الفصل إلى توضيح الأسس التي تقوم عليها وجهات النظر المتعارضة، وفي الوقت ذاته أؤكد على وجهة نظري التي تقضي بأنه في ظل ظروف خاصة معينة، تقع مسألة الأكوان الموازية دون شك ضمن نطاق العلم.

الفصل الثامن موضوعه ميكانيكا الكم، التي لها نسخة خاصة بها من فكرة الأكوان الموازية. سأذكر القارئ في إيجاز بالملامح الأساسية لميكانيكا الكم، ثمّ أركز على أصعب مشكلاتها: كيفية استخلاص نتائج محددة من نظرية يسمح النموذج الإرشادي الذي تقوم عليه بتعايش أكثر من واقع متعارض داخل غيمة غير منتظمة الشكل من الاحتمالات، لكنّها دقيقة من الناحية الرياضية. وسأقود القارئ في حرص عبر التفكير المنطقي الذي يقترح، خلال رحلة البحث عن إجابات، تأسيس الواقع الكمي على العوالم الموازية الوفيرة التي يقضي بوجودها.

يأخذنا الفصل التاسع إلى نطاق أبعد داخل الواقع الكمي، ويقودنا نحو ما أعتبره النسخة الأغرب قاطبة من مقترحات الأكوان الموازية كافة. بزغ هذا الاقتراح عبر ثلاثين عاماً من الدراسات النظرية للخصائص الكمية للثقوب السوداء، ووصل إلى ذروته في العقد الماضي، بفضل نتيجة مذهلة تأتينا من نظرية الأوتار، ويقترح على نحو يثير الدهشة أن كل ما نعايشه من خبرات ما هو إلا إسقاط هولوجرافي لعمليات تحدث على سطح بعيد يحيط بنا. يمكنك أن تقرص ذراعك، وسيكون الشعور الذي يراودك حقيقياً، لكنّ ما هو إلا انعكاس لعملية موازية تحدث في واقع بعيد مختلف.

وأخيراً، يركز الفصل العاشر على الاحتمالية الخيالية الجامحة المتعلقة بالأكوان الاصطناعية. وسيكون أول ما نتناوله بالنقاش في ذَلكَ الفصل هو السؤال المتعلق بما إذاً كانت قوانين الفيزياء تمنحنا القدرة على خلق أكوان جديدة أم لا. بعد ذَلكَ سنتحوَّل إلى أكوان لم تخلقها آلات، وإنما خلقتها برامج حاسوبية - أكوان يمكن أن تُحاكى داخل حاسبات فائقة متقدمة - ونستكشف ما إذاً كانَ بوسعنا أن نستوثق من أننا لا نعيش داخل محاكاة صنعها شخص أو شيء آخر أم لا. سيقودنا هذا إلى أكثر مقترحات الأكوان الموازية جموحاً، والذي يرجع أصله إلى مجتمع الفلسفة: أن كل كون محتمل الوجود إنما هو موجود بالفعل داخل كون متعدد هو أعظم الأكوان المتعددة بالتأكيد. وستتحول المناقشة على نحو طبيعي إلى التساؤل حول دور الرياضيات في إماطة اللثام عن ألغاز العلم، ثمّ في النهاية التساؤل عن قدرتنا على الحصول على فهم أعمق وأعمق للواقع، أو عجزنا عن ذَلكَ.

النظام الكوني

إنّ موضوع الأكوان الموازية قائم على التأمل والتخمين في جزء كبير منه؛ إذ لا توجد تجارب أو مشاهدات أكدت وجود أي صورة من الصور العديدة للفكرة في الطبيعة، ومن ثمّ فليس مقصدي من تأليف هذا الكتاب أن أقنعك بأننا جزء من كون متعدد. أنا لا أقتنع - وعلى وجه العموم ينبغي ألاّ يقتنع أي شخص - بأي شيء لا تدعمه بيانات ملموسة. ومع ذَلكَ، فالأمر العجيب الذي يفرض نفسه في رأيي هو أننا لو تتبعنا التطورات العديدة في الفيزياء بالقدر الكافي، فسنصطدم لا محالة بصورة ما من صور فكرة الأكوان الموازية. ليس الأمر أن الفيزيائيين يقفون حاملين شِباك الكون المتعدد في أيديهم، متأهبين لاصطياد أي نظرية عابرة يمكن أن تتوافق، ولو على نحو غير محكم، مع النموذج الإرشادي الخاص بالكون المتعدد. بل عوضاً عن ذَلكَ فإن كل مقترحات الأكوان الموازية التي ستتدبرها بجدية تبزغ من تلقاء نفسها من بين ثنايا المعادلات الرياضية الخاصة بنظريات طُوِّرَت بهدف تفسير بيانات و مشاهدات عادية تماماً.

مقصدي، إذن، هو أن أعرض في وضوح وإيجاز الخطوات الفكرية وسلاسل الأفكار النظرية التي أدَّت بفيزيائيين، من طيف عريض من المشارب، إلى تدبر احتمالية أن يكون كوننا واحد من بين أكوان متعددة. إنني أريدك أن تدرك كيف تقترح الأبحاث العلمية الحديثة - وليس شطحات الخيال الجامحة كتلك التي كانت تراودني في صباي بشأن المرآة - هذه الإمكانية المذهلة بصورة طبيعية. أود أن أبين لك كيف يمكن لمجموعة من المشاهدات المحيرة أن تصير مفهومة تمامًا داخل الإطار المفاهيمي لأحد الأكوان الموازية أو الآخر، وفي الوقت عينه سأستعرض القضايا الحيوية التي لم تُحسَم بعد، والتي منعت هذا النهج التفسيري من التحقق تحققًا تامًّا حتى وقتنا هذا. وهدفي هو أنك حين تنتهي من هذا الكتاب فإن إحساسك بما يمكن أن يوجد - منظورك بشأن الكيفية التي يمكن بها أن يُعاد رسم حدود الواقع بفضل التطورات العلمية الجارية - سيكون أكثر ثراءً وحيوية.

يجفل البعض إزاء فكرة العوالم الموازية، إذ يرون أننا لو كنَّا جزءًا من كون متعدد، فسيكون موقعنا وأهميتنا في الكون هامشيين. بيد أنني أتبني منظورًا مختلفًا. فأنا لا أؤمن بجدوى قياس أهميتنا من خلال وفرتنا النسبية، بل أرى أن منبع الرضا في كوننا بشرًا - الأمر المثير بشأن كوننا جزءًا من المشروع العلمي - هو قدرتنا على استخدام الفكر التحليلي في قطع مسافات شاسعة، والتحليق نحو الفضاء الداخلي والخارجي، بل والتحليق خارج حدود هذا الكون لو اتضح أن بعض الأفكار التي سنتعرض لها في هذا الكتاب صحيحة بالفعل. وأرى أن عُمق فهمنا، الذي اكتسبناه من موقعنا المتفرد في عتمة الكون البارد الموحش، هو ما يدوي ويتردد في أرجاء الواقع ويميِّز وجودنا.

الفصل الثاني:عددٌ لا نهائي من الأشباه

الكون المتعدد المنسوج

لو أنك انطلقت نحو أعماق الكون، قاطعًا مسافات متزايدة، فهل ستجد أن الفضاء يمتد بلا نهاية، أم أنه سينتهي على نحو مباغت؟ أم تراك ستعاود الرجوع إلى النقطة التي بدأت منها، مثل السير فرانسيس دريك حين أبحر حول العالم؟ يتفق كلا الاحتمالين - أن الكون يمتد إلى ما لا نهاية، وأنه هائل الحجم لكنه متناهي - مع كل ما لدينا من مشاهدات، وعلى مدار العقود القليلة الماضية أخضع باحثون بارزون هذا الأمر للدراسة بتمعن. لكن رغم هذا الاستقصاء التفصيلي، فلو أن الكون لا متناهٍ بحق، ستترتب على ذلك نتيجة مذهلة حظيت باهتمام ضئيلٍ نسبيًّا.

في الأعماق البعيدة للكون اللامتناهي، توجد مجرة تبدو مماثلة تمامًا لمجرَّة درب التبانة، وبها مجموعة شمسية هي صورة طبق الأصل من مجموعتنا الشمسية، وبها كوكب مماثل تمامًا لكوكب الأرض، وهذا الكوكب به منزل لا يختلف في شيء عن منزلك، ويسكنه شخص يشبهك تمامًا، وهو يقرأ حاليًّا هذا الكتاب ويتخيلك، وأنت في مجرتك البعيدة، وقد وصلت إلى نهاية هذه العبارة. ولا توجد نسخة وحيدة وحسب؛ ففي الكون اللامتناهي يوجد عدد لا متناهٍ من النسخ. في بعض هذه الأكوان سيكون شبيهك منهمكًا في قراءة هذه العبارة، مثلك تمامًا، وفي البعض الآخر سيكون قد تجاوزك في القراءة، أو ربما شعر بالحاجة إلى تناول وجبة خفيفة ومن ثم فقد نحَّى الكتاب جانبًا. وفي أكوان أخرى، سيكون شبيهك أكثر عدوانية، من النوع الذي لا تود مقابلته في زقاق مظلم.

ولن يحدث هذا. فهذه النسخ تسكن عوالم بعيدة للغاية، لدرجة أن الضوء الذي يقطع الكون منذ الانفجار العظيم لم يُتَح له الوقت الكافي كي يجتاز الحيِّز المكاني الذي يفصل بيننا. لكن حتى من دون القدرة على رصد هذه العوالم، سترى أن المبادئ الفيزيائية الأساسية تنص على أنه لو كان الكون كبيرًا بلا نهاية، فسيضم عددًا كبيرًا لا نهائيًّا من العوالم الموازية؛ بعضها مطابق لعالمنا والبعض الآخر مختلف عنه، بينما البعض لا يشبه عالمنا في أي وجه على الإطلاق.

وفي الطريق نحو هذه العوالم، علينا أولًا أن نبني الإطار المفاهيم الأساسي لعلم الكونيات، ونعني بهذا الدراسة العلمية لأصل الكون وتطوره ككل.

لنباشر العمل.

أبُ الانفجار العظيم

«إن معادلاتك الرياضية صحيحة، لكن أفكارك الفيزيائية بغيضة». كان هذا رد فعل آينشتاين، خلال مؤتمر سولفاي للفيزياء لعام 1927، والذي كان محتدمًا على أشده، حين أخبره البلجيكي جورج لومتر أن معادلات النسبية العامة، التي نشرها آينشتاين منذ أكثر من عقد على ذلك التاريخ، تتطلب عملية إعادة صياغة جذرية لقصة الخلق. فوفق حسابات لومتر فقد بدأ الكون على صورة نقطة صغيرة ذات كثافة هائلة، أو «ذرَّة بدائية» كما أطلق عليها لاحقًا، والتي تضخمت مع مرور الزمن كي تصير الكون المرصود حاليًّا.

ترك لومتر انطباعًا استثنائيًّا من بين عشرات الفيزيائيين البارزين، علاوة على آينشتاين، الذين حلُّوا في فندق متروبول في بروكسل لخوض أسبوع من المناقشات الحامية حول نظرية الكم. فبحلول عام 1923 لم يكن لومتر قد أكمل رسالة الدكتوراه وحسب، وإنما أنهى أيضًا دراساته في معهد سان بومبو الديني ورُسِّمَ قِسًّا يسوعيًّا. وخلال إحدى فترات الراحة بالمؤتمر، اقترب لومتر، مرتديًا ياقته الكهنوتية، من

الرجل الذي شكّلت معادلاته أساس نظرية جديدة عن أصل الكون. كان آينشتاين يعلم بشأن نظرية لومتر، إذ كان قد قرأ ورقته التي كتبها عن هذا الموضوع قبل بضعة أشهر، ولم يستطِع أن يجد أي خطأ في استخداماته لمعادلات النسبية العامة. في عام 1921 كان عالم الرياضيات والأرصاد الجوية ألكسندر فريدمان قد توصل إلى مجموعة من الحلول لمعادلات آينشتاين، وفيها كان من شأن المكان أن يتمدَّد، مُسببًا تمدُّد الكون. وجد آينشتاين صعوبة في تقبل هذه الحلول، واقترح في البداية أن حسابات فريدمان تشوبها الأخطاء. لكنّ آينشتاين كان مخطئًا في هذا الأمر، وتراجع لاحقًا عن زعمه هذا. إلا أن آينشتاين كان يرفض أن يكون بيدقًا في يد الرياضيات، ومن ثم فقد رفض المعادلات مُفضِّلًا عليها حدسه بشأن الكيفية التي «ينبغي» للكون أن يكون عليها، أي اعتقاده الراسخ بأن الكون أزلي، وأنه على أكبر النطاقات ثابت ولا يتغير. وقد عاب آينشتاين على لومتر قائلًا إن الكون لا يتمدَّد، ليس الآن ولا في أي وقت سابق.

بعدها بستة أعوام، وفي قاعة محاضرات في مرصد ماونت ويلسون في كاليفورنيا، أخذ آينشتاين يركز بشدة بينما استعرض لومتر نسخة أكثر تفصيلًا من نظريته القائلة بأن الكون بدأ في لمحة بدائية خاطفة وأن المجرات ما هي إلا جمرات متقدة تسبح في بحر متضخم من الفضاء. وحين انتهت المحاضرة وقف آينشتاين وأعلن أن نظرية لومتر هي «أجمل وأوفي تفسير لعملية الخلق استمعتُ إليه على الإطلاق»[2].

لقد غيَّر أشهر فيزيائيي العالم رأيه بخصوص أحد أصعب الألغاز في العالم. ورغم أن لومتر لا يزال غير معروف لقطاع كبير من الجمهور، فقد صار يُعرَف بين العلماء بأنه أبُ الانفجار العظيم.

النسبية العامة

اعتمدت النظريات الكونية التي طورها فريدمان ولومتر على مخطوطة أرسلها آينشتاين إلى المجلة الألمانية «حوليات الفيزياء»، Annalen der Physik، في الخامس والعشرين من نوفمبر 1915. كانت هذه الورقة البحثية ذروة رحلة رياضية امتدت قرابة عشر سنوات، ومثلت النتيجة التي تمخَّضت عنها - النظرية النسبية العامة – الإنجاز العلمي الأمثل والأعظم أثرًا لآينشتاين. فباستخدام النسبية العامة، استخدم آينشتاين لغة هندسية أنيقة كي يعيد بالكامل صياغة فهمنا للجاذبية. لو كنت تملك بالفعل فهمًا جيدًا لملامح النظرية الأساسية وتبعاتها الكونية، لك مطلق الحرية في أن تتخطى الأقسام الثلاثة التالية. لكن لو كنت تحب بعض التذكير الموجز بأهم ملامح النظرية، فلتواصل القراءة.

بدأ آينشتاين عمله على النسبية العامة نحو عام 1907، وهو وقت كان أغلب العلماء يظنون فيه أن الجاذبية فُسِّرَت منذ وقت طويل بواسطة قوانين إسحاق نيوتن. كما يتعلم طلاب المرحلة الثانوية في مختلف أنحاء العالم ففي نهاية القرن السابع عشر توصل نيوتن إلى القانون المسمى «قانون الجذب العام»، وقدم أول وصف رياضي لأكثر قوى الطبيعة ألفة من جانبنا. ويتسم هذا القانون بأنه شديد الدقة لدرجة أن مهندسي ناسا لا يزالون يستخدمونه في حساب مسارات المركبات الفضائية، كما يستخدمه علماء الفلك في التنبؤ بحركة المذنبات والنجوم، بل والمجرات بأكملها[3].

هذه الفعالية المؤكدة تجعل إدراك آينشتاين، في السنوات المبكرة للقرن العشرين، أن قانون نيوتن للجاذبية معيبٌ أمرًا مثيرًا للإعجاب، وقد كشف سؤال بسيط للغاية في ظاهره عن هذا العيب بوضوح؛ إذ تساءل آينشتاين: كيف تعمل الجاذبية؟ كيف، على سبيل المثال، تؤثر الشمس من مسافة 93 مليون ميل من الفضاء الخاوي على حركة الأرض؟ لا يوجد حبل يربط الجرمين معًا، ولا سلسلة تشد الأرض خلال حركتها، فكيف إذن تمارس الجاذبية تأثيرها؟

أدرك نيوتن في كتابه «الأسس الرياضية» المنشور عام 1687 أهمية هذا السؤال، لكنه أقر بأن قانونه لا يقدم أي جواب. كان نيوتن واثقًا من أن هناك شيئًا يوصل الجاذبية من موضع إلى آخر، لكنه عجز عن تحديد ماهية هذا الشيء. وفي كتابه «الأسس الرياضية» ترك هذه المسألة متهكمًا إلى «اعتبار القارئ»، ولأكثر من مائتي عام اكتفى كل من قرؤوا هذا التحدي بمواصلة القراءة، لكن آينشتاين لم يستطِع عمل ذلك.

وعلى مدار فترة تناهز العقد، انشغل آينشتاين بمسألة العثور على الآلية التي تقوم عليها الجاذبية، وفي عام 1915 قدَّم جوابًا. ورغم أن مقترح آينشتاين قائم على معادلات رياضية معقدة ويتطلب قفزة مفاهيمية غير مسبوقة في تاريخ الفيزياء، فقد كان يتسم في ظاهره بالبساطة نفسها المميِّزة للسؤال الذي يحاول الإجابة عنه. ما العملية التي تمارس بها الجاذبية تأثيرها عبر المكان الخاوي؟[4] يبدو أن الخواء الذي يتسم به المكان الخاوي جعل الجميع عاجزين عن العثور على حل. لكن في واقع الأمر يوجد شيء بالفعل في المكان الخاوي: المكان ذاته. وأدى هذا بآينشتاين إلى اقتراح أن المكان ذاته ربما يكون وسيط الجاذبية.

إليك بالفكرة. تخيَّل أنك تدحرج كرة معدنية صغيرة على سطح طاولة معدنية كبيرة. بما أن سطح الطاولة مستوي، ستتدحرج الكرة في خطٍّ مستقيم. لكن لو أحاط حريق بالطاولة، مسببًا تحدُّب سطح الطاولة وانثناءه، فستسير الكرة المتدحرجة في مسار مختلف، لأن ما يحكمها الآن هو سطح الطاولة المنحني المتغضِّن. وقد ذهب آينشتاين إلى أن فكرة مشابهة تنطبق على نسيج المكان. فالمكان الخاوي تمامًا يشبه سطح الطاولة المستوي، ويسمح للأجسام بالحركة دون معيق في خطوط مستقيمة. لكن وجود أجسام

ضخمة الكتلة يؤثر على شكل المكان، على نحو مشابه بدرجة ما لتأثير الحرارة على شكل سطح الطاولة. فالشمس، مثلًا، تُحدث انبعاجًا في المنطقة المحيطة بها، شأنها شأن بقعة مستعرة على سطح الطاولة المعدني الساخن. ومثلما يتسبَّب سطح الطاولة المنحني في حث الكرة على التحرك في مسارٍ منحنٍ، يتحكم شكل المكان المنحني حول الشمس في حركة الأرض والكواكب الأخرى حولها.

هذا الوصف الوجيز يتغاضى عن بعض التفاصيل المهمة؛ فليس المكان وحده هو ما ينحني، بل الزمن أيضًا (وهذا ما يُطلَق عليه اسم انحناء الزمكان)، كما أن جاذبية الأرض نفسها توصل تأثير الطاولة عن طريق إبقاء الكرة المعدنية منضغطة إلى سطح الطاولة (أكد آينشتاين أن الانحناءات في المكان والزمن لا تحتاج إلى عامل موصل، لأنها هي الجاذبية نفسها)، أيضًا فإن المكان ثلاثي الأبعاد، لذا حين ينحني فإنه ينحني حول الجسم كله، وليس فقط «أسفله» كما يقترح تشبيه الطاولة. ومع هذا فإن صورة الطاولة المنحنية توصِّل جوهر مُقترح آينشتاين. فقبل آينشتاين كانت الجاذبية قوة غامضة يمارسها أحد الأجسام عبر المكان على جسم آخر، لكن بعد آينشتاين صارت الجاذبية تُعرَف بأنها تشوُّه في البيئة المحيطة يسبِّبه أحد الأجسام، وهذا التشوُّه يحكم حركة الأجسام الأخرى. وفي ضوء هذه الأفكار، أنت مستقر على الأرضية لأن جسدك يحاول أن ينزلق عبر انبعاج في المكان (الزمكان في حقيقة الأمر) يسبِّبه كوكب الأرض[5].

أمضى آينشتاين سنوات وهو يعمل على تطوير هذه الفكرة إلى إطار رياضي متماسك، وتمثَّلت النتيجة في «معادلات آينشتاين للمجال»، التي تُعد قلب النظرية النسبية العامة، وهذه المعادلات تعرفنا تحديدًا بالكيفية التي سينحني بها المكان والزمن نتيجة لوجود كمية معينة من المادة (أو بصورة أدق، المادة والطاقة؛ إذ إن وفق معادلة آينشتاين «الطاقة تساوي الكتلة مضروبة في مربع سرعة الضوء»، أو $E=mc^2$، فالكتلة والطاقة متكافئتان)[6]. وبالدقة عينها، بيَّنت النظرية بعد ذلك كيف سيؤثِّر انحناء الزمكان هذا على أي شيء - نجم أو كوكب أو مُذنَّب أو الضوء ذاته - يتحرَّك خلاله، وهذا يمكِّن الفيزيائيين من إصدار تنبؤات تفصيلية بشأن الحركة داخل الكون.

وسريعًا ما توالت الأدلة الداعمة للنسبية العامة. كان علماء الفلك مدركين منذ وقت طويل أن الحركة المدارية لكوكب عطارد حول الشمس تحيد قليلًا عما تتنبأ به الحسابات الرياضية لنيوتن. وفي عام 1915 استخدم آينشتاين معادلاته الجديدة كي يعيد حساب مسار عطارد، وتمكن من تفسير ذلك الاختلاف الإنجاز الذي وصفه لاحقًا لزميله أدريان فوكر بأنه كان مثيرًا للغاية لدرجة أن قلبه ظل يخفق بسرعة فرحًا لبضع ساعات. وفي عام 1919 أوضحت المشاهدات الفلكية التي أجراها آرثر إدنجتون ومعاونوه أن ضوء النجوم البعيد الذي يمر بالشمس في طريقه إلى الأرض كان ينتقل في مسارٍ منحنٍ على النحو الذي تنبأت به النسبية العامة تمامًا[7]. وفي ضوء هذا التأكيد - علاوة على العنوان الرئيسي لصحيفة نيويورك تايمز وجاء فيه: «الضوء كله ينحرف في السماوات، رجال العلم متلهفون» - حظيَ آينشتاين بمكانة دولية بارزة بوصفه أهم عبقرية علمية، والوريث المحتمل لإسحاق نيوتن.

بيد أن الاختبار الأوقع للنسبية العامة لم يكن قد تحقق بعد. فقد أكدت تجارب أُجريت في سبعينيات القرن العشرين باستخدام ساعات مِيزَرِيَّة هيدروجينية (الميزر شبيه بالليزر، لكنه يعمل في نطاق الأشعة الميكرونية من الطيف) تنبؤ النسبية العامة الخاص بتسبب الأرض في انحناء الزمكان المحيط بها بهامش خطأ مقداره نحو جزء واحد في خمسة عشر ألفًا. وفي عام 2003 استُخدمَت المركبة كاسيني-هويجنز في الدراسة التفصيلية لمسارات الأشعة الراديوية المارة قرب الشمس، وقد دعمت البيانات فكرة الزمكان المنحني التي تنبأت بها النسبية العامة وذلك بهامش خطأ مقداره نحو جزء واحد في الخمسين ألفًا. وفي

وقتنا الحالي، وعلى نحو يتوافق مع نظرية وصلت إلى مرحلة النضج بحق، يسير كثيرون منا وهم يحملون النسبية العامة في راحة يدهم. فنظام تحديد المواقع العالمي (جي بي إس) الذي تستخدمه في يسر عبر هاتفك المحمول يتصل بأقمار صناعية تأخذ أدوات التوقيت الموجودة داخلها في حسبانها دوريًّا انحناء الزمكان الذي تمر به في مدارها فوق الأرض. ولو لم تفعل الأقمار الصناعية هذا، فمن شأن قراءات المواقع التي تولدها أن تصير خاطئة على نحو متزايد. فمجموعة المعادلات الرياضية المجردة التي استحدثها آينشتاين في عام 1916 كتوصيف جديد للمكان والزمن والجاذبية، صارت تُستخدَم اليوم بشكل روتيني من جانب معدات يمكن حملها في الجيب.

الكون وإبريق الشاي

لقد بث آينشتاين الحياة في الزمكان؛ إذ تحدى التفكير الحدسي الذي تراكم على مدار مئات الآلاف من السنوات من واقع خبرات الحياة اليومية، والذي كان ينظر إلى المكان والزمن بوصفهما خلفية ساكنة لا تتغير. فمن ذا الذي كان يظن أن بمقدور الزمكان أن يلتوي وينحني، وأن يكون المحرك الخفي لكل شيء داخل الكون؟ هذه هي الرقصة الثورية التي رآها آينشتاين بعين خياله، والتي أكدتها المشاهدات. ومع ذلك، فقد تعثر آينشتاين تحت وطأة انحيازات عتيقة لكن ذات أسس واهية.

خلال العام التالي على نشر النسبية العامة، طبق آينشتاين نظريته على أوسع النطاقات: الكون بأكمله. قد تظن أن هذه مهمة مستحيلة، غير أن فن الفيزياء النظرية يكمن في تبسيط المهام هائلة التعقيد بحيث يمكن الحفاظ على السمات الفيزيائية الأساسية وفي الوقت ذاته جعل التحليل النظري يسيرًا. إنه فن معرفة ما يمكن تجاهله. وقد أسس آينشتاين، عبر ما سمَّاه «المبدأ الكوني»، إطارًا مفاهيميًّا مُبسَّطًا دشَّنَ علم وفن علم الكونيات النظري.

يشدِّد المبدأ الكوني على أننا لو فحصنا الكون على أكبر المستويات، فسيبدو متجانسًا. فكر في شاي الصباح. على المستوى فائق الصغر يوجد قدر كبير من عدم التجانس؛ إذ توجد بعض جزيئات الماء هنا، ثم بعض الخواء، ثمّ بعض جزيئات البوليفينول والتانين هناك، ثم مزيد من الخواء، وهكذا دواليك. لكن على المستوى العياني، المرئي بالعين المجردة، للشاي قوام متجانس بندقي اللون. آمن آينشتاين أن الكون يشبه قدح الشاي ذاك. فالتفاوتات التي نرصدها - كوكب الأرض هنا، ثم بعض الفضاء الخاوي، ثم القمر، ثم مزيد من الفضاء الخاوي، ثم الزهرة وعطارد، ثم بعض الفضاء الخاوي، ثم الشمس - كلها جوانب لعدم التجانس على المستوى فائق الصغر. وقد اقترح آينشتاين أننا على مستويات الحجم الكونية نستطيع تجاهل هذه التفاوتات، لأنها ستتعادل مُشَكِّلةً كيانًا متجانسًا.

في زمن آينشتاين، كانت الأدلة المؤيدة للمبدأ الكوني واهية على أفضل تقدير (بل إن فكرة وجود مجرات أخرى كانت لا تزال في طور التشكل)، لكن كان يرشده إحساس قوي بأنه لا وجود لمكان متميز داخل الكون. فقد كان يشعر، إجمالًا، أن كل منطقة من الكون من المفترض أنها لا تختلف في شيء عن غيرها، ومن ثم ينبغي أن تمتلك مناطق الكون خصائص فيزيائية إجمالية متماثلة في جوهرها. وفي السنوات التي تلت ذلك قدمت المشاهدات الفلكية دعمًا قويًّا للمبدأ الكوني، لكن فقط حين نتدبَّر الفضاء على نطاق لا يقل عن 100 مليون سنةَ ضوئية عرضًا (وهو ما يعادل الطول الكلي لمجرة درب التبانة بألف مرة). فإذا اقتطعت مكعبًا من الفضاء يبلغ طول كل ضلع من أضلاعه مائة مليون سنةَ ضوئية ووضعته في الموضع (أ)، ثم اقتطعت مكعبًا آخر مماثلًا ووضعته في الموضع (ب) «على مسافة مليار سنة ضوئية مثلًا من الموضع (أ)»، ثم قِست الخصائص العامة داخل كلا المكعبين - متوسط عدد المجرات، ومقدار المادة، ومتوسط درجة الحرارة، وما إلى ذلك - ستجد أن من العسير للغاية التمييز بين المكعبين. خلاصة القول إنك لو شاهدت قطعة من الكون حجمها 100 مليون سنة ضوئية، فكأنك شاهدت الكون كله.

هذا التجانس له دور أساسي عند استخدام معادلات النسبية العامة في دراسة الكون كله. ولمعرفة السبب، فكر في شاطئ جميل منتظم متجانس الشكل، ثم تصوَّر أنني طلبت منك أن تصف خصائصه على المستوى فائق الصغر؛ أي خصائص كل حبة رمل موجودة به. ستجد نفسك في مأزق حرج؛ إذ ستكون المهمة هائلة. لكن لو أنني طلبت منك أن تكتفي بوصف السمات الإجمالية للشاطئ (مثل الوزن الإجمالي لكل متر مكعب من الرمل، أو متوسط انعكاسية سطح الشاطئ لكل متر مربع، أو ما شابه من السمات)،

ستصير المهمة يسيرة للغاية. وما يجعلها يسيرة هو التجانس الذي يتسم به الشاطئ؛ إذ كل ما عليك فعله هو أن تقيس وزن الرمل الإجمالي، ودرجة الحرارة، والانعكاسية في أحد المواضع وحسب. وإذا أجريت القياسات عينها في موضع آخر فستحصل على إجابات مماثلة في جوهرها. الأمر عينه ينطبق على الكون المتجانس؛ إذ ستكون مهمة وصف كل كوكب ونجم ومجرة منفردة مهمة مستحيلة، أما وصف الخصائص الإجمالية لكون متجانس فهو مهمة أيسر بكثير؛ وفي ضوء النسبية العامة صارت هذه المهمة قابلة للتنفيذ.

إليك الكيفية التي يسير بها الأمر. إن المحتوى الإجمالي الشامل لأي حيز ضخم من الفضاء يُوصَف من خلال مقدار «الأشياء» التي يحتوي عليها؛ على نحو أدق كثافة المادة، أو على نحو أدق وأدق كثافة المادة والطاقة التي يحويها هذا الحيز. تصف معادلات النسبية العامة الكيفية التي تتغير بها هذه الكثافة عبر الزمن. لكن من دون اللجوء إلى المبدأ الكوني، تصير هذه المعادلات صعبة التحليل إلى درجة مستحيلة. فهناك عشر معادلات منها، ولأن كل معادلة تعتمد - على نحو معقد - على المعادلات الأخرى، فإنها معًا تشكل عقدة مستحيلة الحل. لكن لحسن الحظ وجد آينشتاين أنه عند تطبيق المعادلات على كون متجانس، تصير الحسابات الرياضية أيسر، ولا تعود هناك حاجة لعشر معادلات، ومن ثم يمكن اختزالها في معادلة واحدة. لقد حل المبدأ الكوني هذه المعضلة المستعصية عن طريق اختزال التعقيد الرياضي الذي تتصف به دراسة المادة والطاقة، المنتشرة في أرجاء الكون، إلى معادلة وحيدة (يمكنك الاطلاع عليها في الملاحظات)[8]

لكن ما أثار ضيق آينشتاين أنه حين درس هذه المعادلة وجد أمرًا غير متوقَّع، أمرًا غير مستساغ في نظره. كان الموقف العلمي والفلسفي السائد حينها لا يقضي بأن الكون متجانس على أعظم نطاقاته وحسب، بل بأنه لا يتغيَّر كذلك. فمثلما تتعادل الحركات الجزيئية السريعة في قدح الشاي بحيث تصير سائلًا لهُ مظهر ساكن، فإن الحركة الفلكية على غرار دوران الكواكب حول الشمس وحركة الشمس دخل المجرة من شأنها أن تتعادل بحيث تعطينا كونًا متجانسًا غير متغير. وما أثار وجل آينشتاين، وهو المعتنق المخلص لهذا المنظور الكوني، أنه وجد أن هذا المنظور يتعارض مع النسبية العامة؛ إذ أظهرت الحسابات الرياضية أن كثافة المادة والطاقة من المستحيل أن تظل ثابتة عبر الزمن. فالكثافة إما ستزيد أو ستقل، لكنها لا تظل ثابتة مطلقًا.

رغم أن التحليل الرياضية الكامن خلف هذه النتيجة معقد، فإن المبادئ الفيزيائية بسيطة. تخيل الرحلة التي تقطعها كرة بيسبول وهي تندفع مسرعة بين منطقة الضارب وحاجز الملعب. في البداية تندفع الكرة إلى الأعلى، ثم تتباطأ وتصل إلى نقطة مرتفعة، وفي النهاية تنخفض مجددًا. إن الكرة لا تحلق في كسل وكأنها منطاد، وذلك لأن قوة الجاذبية تعمل في اتجاه واحد، وهي تجذب كرة البيسبول نحو سطح الأرض. إن الموقف الساكن، مثل وضع التعادل في لعبة شد الحبل، يتطلب وجود قوتين متساويتين ومتضادتين تلغي كل منهما تأثير الأخرى. في حالة المنطاد فإن الدفعة إلى الأعلى، والتي تعادل قوة الجاذبية، يوفرها ضغط الهواء (نظرًا لأن المنطاد مملوء بالهليوم، وهو أخف من الهواء)، أما في حالة الكرة المندفعة في الهواء فلا وجود لقوة مضادة لقوة الجاذبية (مقاومة الهواء تعيق بالفعل حركة الكرة، لكنها لا تلعب دورًا في أي موقف سكون)، ومن ثم لا يسع الكرة أن تظل على ارتفاع ثابت.

وجد آينشتاين أن الكون أشبه بكرة البيسبول منه بالمنطاد. ولأنه لا توجد قوة دافعة إلى أعلى تعادل تأثير قوة الجاذبية، فإن النسبية العامة تبين أن الكون يستحيل أن يكون ساكنًا. فنسيج المكان إما يتمدَّد أو ينكمش، لكن لا يمكن أن يظل حجمه ثابتًا. فأي مكعب من الفضاء يبلغ طول ضلعه 100 مليون سنة ضوئية اليوم لن يظل طول ضلعه 100 مليون سنة ضوئية غدًا. فحجمه إما سيزيد، ومن ثمّ تقل كثافة

المادة داخله (نظرًا لأنها باتت موزَّعة على حيز أكبر)، أو يقل، ومن ثم تزداد كثافة المادة داخله (لأنها ستصير منضغطة في حيز أصغر)[9]

أجفل آينشتاين. فوفق حسابات النسبية العامة، من المفترض أن يتسم الكون على أكبر نطاقاته بالتغير، نظرًا لأن قوامه الأساسي - الفضاء ذاته - آخذ في التغير. فالكون الأبدي الساكن الذي توقع آينشتاين أن تنتجه معادلاته لم يكن له وجود ببساطة. لقد دشَّنَ آينشتاين علم الكونيات، بيد أنه انزعج بشدة من الوجهة التي أخذته الحسابات الرياضية.

ضبط قيمة الجاذبية

يُقال كثيرًا إن آينشتاين أطرف بعينيه؛ ثم عاد إلى دفاتره ومن فرط قنوطه عمد إلى تشويه المعادلات الجميلة للنسبية العامة كي يجعلها متوافقة مع صورة الكون الذي لا يتسم فقط بالتجانس وإنما أيضًا بالثبات. هذا صحيح في جزء منه وحسب. فلقد عدَّلَ آينشتاين بالفعل معادلاته كي تدعم قناعته بأن الكون ساكن، غير أن هذا التغيير كانَ ضئيلًا، ومعقولًا بالكامل.

لمعرفة طبيعة هذا التعديل الرياضي، فكر في عملية إعداد إقراراتك الضريبية. فضمن البنود التي تسجل فيها أرقامك توجد بضعة بنود تتركها خالية من المنظور الرياضي يشير البند الخالي إلى أن المُدخَل صفر، لكنه يشير من الناحية النفسية إلى ما هو أكثر من ذلك؛ إذ يعني تجاهلك هذا البند أنك قررت أنه لا ينطبق على موقفك المالي.

لو كانت الحسابات الرياضية للنسبية العامة منظمة على نحو يشبه الإقرار الضريبي، فسيشتمل الإقرار على ثلاثة بنود. سيصف البند الأول هندسة الزمكان - تقوسه وانحناؤه - إذ إنه تجسيد الجاذبية. ومن شأن بند آخر أن يصف توزيع المادة عبر المكان، أي مصدر الجاذبية؛ وهي سبب التقوس والانحناءات. على مدار عقد من البحث الدؤوب توصل آينشتاين إلى توصيف رياضي لهاتين السمتين وبذا استطاع أن يملأ هذين البندين بدقة شديدة. بيد أن التوصيف الكامل للنسبية العامة يتطلب إضافة بند ثالث، بند يتساوى تمامًا من الناحية الرياضية مع البندين السابقين لكن معناه الفيزيائي أكثر تعقيدًا. فعندما رفعت النسبية العامة كلًّا من المكان والزمن إلى مكانة المشاركين الفاعلين في أحداث الكون، فقد تحوَّل كلاهما من مجرد وسيلتين لغويتين تحددان موضع وتوقيت وقوع الأحداث إلى كيانين فيزيائيين لهما صفاتهما الخاصة. ويحدد البند الثالث في إقرار النسبية العامة الضريبي السمات الجوهرية للزمكان نسبةً إلى الجاذبية: أي مقدار الطاقة الذي يحويه نسيج المكان ذاته. وتمامًا مثلما يحتوي كل سنتيمتر مكعب من الماء على مقدار معين من الطاقة، تلخصه درجة حرارة الماء، فكل سنتيمتر مكعب من المكان يحوي مقدارًا معينًا من الطاقة، يلخصه العدد المسجل في البند الثالث. لم يقُم آينشتاين بتضمين هذا البند في ورقته البحثية التي أعلن فيها عن النسبية العامة. رياضيًّا، هذا يعادل تحديد قيمته بمقدار صفر، لكن شأن البنود الخالية في إقرار الضريبي، بدا أن آينشتاين تجاهله وحسب.

وحين ثبت أن النسبية العامة غير متوافقة مع الكون الساكن، عاود آينشتاين تدبر حساباته الرياضية، وهذه المرة ألقى نظرة أكثر جدية على البند الثالث. وقد أدرك أنه لا توجد مشاهدات أو مبررات تجريبية تجعل قيمته تساوي صفرًا، وأدرك أيضًا أن هذا البند له بعض التبعات الفيزيائية المهمة.

وجد آينشتاين (لأسباب سأشرحها في الفصل الثالث) أنه لو أنه أدخل عددًا موجبًا بدلًا من الصفر في هذا البند الثالث، بحيث زوَّد نسيج المكان بطاقة موجبة متجانسة، فمن شأن كل منطقة من المكان أن تبتعد عمَّا سواها، بحيث تنتج شيئًا ظن الفيزيائيون أنه مستحيل: جاذبية طاردة. علاوة على ذلك، وجد آينشتاين أنه لو ضبط مقدار هذا العدد الذي أدخله في البند الثالث بدقة، فإن قوة الجاذبية الطاردة المُنتَجَة عبر الكون من شأنها أن تعادل قوة الجاذبية المعتادة التي تولدها المادة التي تملأ المكان، وبذا تؤدي إلى وجود كون ساكن. وشأن المنطاد المحلق الذي لا يرتفع أو ينخفض، سيظل الكون ساكنًا دون تغيير.

أطلق آينشتاين على إقحام هذا البند الثالث اسم «العضو الكوني» أو «الثابت الكوني»، وقد شعر بالراحة بعد أن استحدثه. أو بالأحرى شعر براحة أكبر. فلو كان الثابت الكوني له حجم مناسب - أي لو كان المكان مزود بالقدر الصحيح من الطاقة الداخلية - فستتفق نظريته عن الجاذبية مع المعتقد السائد الذي يقضي بأن الكون ثابت على أكبر نطاقاته. لم يستطِع آينشتاين أن يفسر لماذا يضم المكان هذا القدر من

الطاقة بحيث يضمن هذا التوازن، لكنه على الأقل أوضح أن النسبية العامة، التي يعززها ثابت كوني ذو قيمة مناسبة، تؤدي إلى وجود الكون الذي توقع هو وآخرون وجوده[10].

في مواجهة هذه الظروف عرض لومتر النتيجة التي توصل إليها على آينشتاين في مؤتمر سولفاي عام 1927 في بروكسل، هذه النتيجة التي تقضي بأن النسبية العامة تؤدي إلى بزوغ نموذج إرشادي جديد من المكان فيه أن يتمدد. لكن آينشتاين، بعد أن عانى بالفعل أشد المعاناة مع الحسابات الرياضية كي يضمن أن الكون ساكن، وبعد أن رفض كذلك مزاعم فريدمان المماثلة، لم يكن لديه صبر مجددًا لتدبر فكرة الكون الآخذ في التمدد. ولهذا فقد وبَّخ لومتر لاتباعه الحسابات الرياضية على نحو أعمى، وتدبره «أفكارًا فيزيائية بغيضة» تمثلت في قبوله نتيجة عبثية بلا شك.

ليس هذا التوبيخ الصادر من شخصية شهيرة بالعقبة الهينة، لكن في حالة لومتر لم يستمر الأمر فترة طويلة. ففي عام 1929، وباستخدام التليسكوب الأكبر في العالم وقتها، والموجود في مرصد ماونت ويلسون، جمع عالِم الفلك الأمريكي إدوين هابل أدلة مقنعة على أن المجرات البعيدة كانت جميعها آخذة في الابتعاد عن مجرة درب التبانة. إن الفوتونات البعيدة التي رصدها هابل سافرت نحو الأرض وهي تحمل رسالة واضحة، مفادها أن الكون ليس ساكنًا، بل هو آخذ في التمدد. ومن ثم صارت الأسباب التي دعت آينشتاين إلى استحداث الثابت الكوني واهية. وقد صار نموذج الانفجار العظيم الذي يصف كونًا بدأ في حالة شديدة الانضغاط ثم أخذ يتمدَّد منذئذٍ محل قبول عريض باعتباره قصة الخلق العلمية[11].

لقد ثبتت صحة ما جاء به لومتر وفريدمان. وقد نُسِبَ إلى فريدمان فضل أنه أول من استكشف حلول الكون الأخذ في التمدد، كما نُسِبَ إلى لومتر فضل تطوير هذه الحلول على نحو مستقل إلى سيناريوهات كونية متماسكة. وقد اعتُبِرت أبحاثهما بمنزلة انتصار للرؤى الرياضية المتعلقة بآليات عمل الكون. على النقيض من ذلك فقد تمنَّى آينشتاين لو أنه لم يتدخل مطلقًا في البند الثالث من إقرار ضرائب النسبية العامة. فلو لم يُقحِم قناعاته غير المبررة التي تقضي بأن الكون ساكن، ما كان ليضيف الثابت الكوني، وربما كانَ ليتنبأ بتمدد الكون قبل أكثر من عقد على رصده. ومع هذا، فإن قصة الثابت الكوني لم تنتهِ عند هذا الحد.

يتضمَّن نموذج الانفجار العظيم لعلم الكونيات تفصيلة ستكون لها أهمية عظيمة؛ إذ إن هذا النموذج لا يقدم سيناريو وحيدًا بل حفنة من السيناريوهات الكونية، وكلها تتضمن كونًا آخذًا في التمدد، غير أنها تتباين من حيث الشكل الإجمالي العام للفضاء، وتختلف تحديدًا حول السؤال المتعلق بما إذاً كانَ الامتداد الكامل للفضاء متناهيًا أم لا متناهٍ. وبما أن التمييز من منطلق الكون المتناهي واللامتناهي سيلعب دورًا محوريًّا في تفكيرنا بشأن العوالم الموازية، سأستعرض هنا مختلف الاحتمالات.

إن المبدأ الكوني - التجانس المُفترَض للكون - يقيد الأشكال الهندسية للفضاء لأن غالبية الأشكال لا تتسم بالتجانس الكافي: إذ تنتفخ هنا، أو تستوي هناك، أو تلتوي في موضع آخر. إلا أن المبدأ الكوني لا يقضي ضمناً بوجود شكل «متفرِّد» للفضاء ثلاثي الأبعاد، بل إنه يقلل الاحتمالات وصولاً إلى مجموعة شديدة الاقتضاب من الأشكال المرشحة. إن تصور هذه الأشكال يُعد تحدياً في نظر المتخصِّصين، لكن الحقيقة المفيدة هي أن بوسعنا الحصول على تشبيه رياضي دقيق يسهل تصوُّره من خلال تصوُّر الموقف في بُعدين فقط.

ولتحقيق هذا المأرب، تدبَّر أولاً شكل كرة بلياردو تامة الاستدارة. إن سطح الكرة ثنائي الأبعاد (ومثل سطح الأرض، بوسعك أن تحدِّد الموضع على سطح كرة البلياردو عن طريق مُعطيين من المعطيات - مثل خط الطول ودائرة العرض - وهذا ما نعنيه حين نصف سطحاً ما بأنه ثنائي الأبعاد) وهو متجانس تماماً، بمعنى أن كل موضع به يبدو مماثلاً لغيره من المواضع. يطلق علماء الرياضيات على سطح كرة البلياردو اسم «السطح الكروي ثنائي الأبعاد»، ويقولون إن له «انحناءً موجباً مطَّرداً». وبصفة عامة تعني الصفة «موجب» هنا أنك لو نظرت إلى انعكاس صورتك على سطح كروي عاكس فستبرز الصورة إلى الخارج، بينما الصفة «مطَّرد» هنا تعني أنه بصرف النظر عن موضع انعكاسك على سطح الكرة، فسيبدو التشوُّه الذي يصيبه متماثلاً.

بعد ذلك، تصوَّر سطح طاولة أملس ومستوٍ تماماً. كما في حالة كرة البلياردو، يتسم سطح الطاولة بالتجانس. أو هو تجانس شبه تام. فلو كنتَ نملةً وسرت على سطح الطاولة هذا، فسيبدو المشهد من كل نقطة مماثلاً للمشهد من غيرها من النقاط، لكن بشرط أن تظل بعيداً عن حافة الطاولة. بل حتى في هذه الحالة ليس من الصعب استعادة التجانس التام. علينا فقط أن نتخيَّل سطح طاولة عديم الحواف، وثمة سبيلين لعمل ذلك. أولاً فكِّر في طاولة تمتد يميناً ويساراً، وكذلك إلى الأمام والخلف، بلا نهاية. هذا أمر غير عادي - فهو سطح كبير ممتد إلى ما لا نهاية - بيد أنه يحقِّق الهدف المتمثل في عدم وجود حواف، نظرًا لأنه لا يوجد مكان يمكن السقوط منه. ثمة سبيل بديل، وهو أن تتخيَّل أن سطح الطاولة يحاكي شاشة إحدى ألعاب الفيديو القديمة. فعندما تعبر السيدة باك مان الحافة اليسرى، فإنها تعاود الظهور من الحافة اليمني، وحين تجتاز الحافة السفلى فإنها تعاود الظهور من أعلى. لا يتسم أي سطح طاولة عادي بهذه الخاصية، إلا أن هذا شكل هندسي معقول تماماً يسمَّى حلقة المرساة ثنائية الأبعاد. سأناقش هذا الشكل على نحو أوفي في الملاحظات[12]، لكن السمة الوحيدة التي نحتاج إلى التأكيد عليها هنا هي أن مثل سطح الطاولة اللامتناهي، تتسم شاشة لعبة الفيديو بالتجانس، وانعدام الحواف. إن الحدود الظاهرية التي تواجه السيدة باك مان هي حدود خيالية، إذ بإمكانها اجتيازها والبقاء داخل اللعبة.

يقول علماء الرياضيات إن سطح الطاولة وشاشة ألعاب الفيديو اللامتناهيين هي أشكال تمتلك «انحناءً صفريًّا مطَّرداً». وهنا تعني كلمة «صفري» أنك لو تدبرت انعكاسك على سطح طاولة عاكس أو شاشة ألعاب فيديو، فلن تعاني الصورة من أي تشوه، وكما سبق فإن الصفة «مطَّرد» تعني أنه بصرف النظر

عن الموضع الذي تفحص فيه انعكاس صورتك، ستبدو الصورة واحدة على الدوام. يصير الاختلاف بين الشكلين جليًّا فقط من منظور شامل. فإذا انطلقت على سطح الطاولة اللامتناهي وحافظت على تقدمك إلى الأمام، فلن تعود إلى النقطة التي بدأت منها مطلقاً، أما في لعبة الفيديو فبمقدورك أن تدور حول الشكل كله وأن تجد نفسك قد عدت إلى نقطة الانطلاق، رغم أنك لم تغير اتجاه المقود قط.

وأخيراً، وهو الأمر الأصعب في التصور، فإن شكل رقاقة بطاطس برينجلز، إذا امتد إلى ما لا نهاية، سيعطينا شكلاً آخر تام التجانس، شكلا يقول علماء الرياضيات إنه يمتلك «انحناءً سالباً مطرداً». يعني هذا أنك لو نظرت إلى انعكاس صورتك في أي موضع من رقاقة برينجلز عاكسة، فإن الصورة ستظهر منكمشة إلى الداخل.

لحسن الحظ فإن هذه التوصيفات للأشكال المتجانسة ثنائية الأبعاد تنطبق في يسر على الفضاء ثلاثي الأبعاد داخل الكون، وهو محور اهتمامنا الحقيقي. فالانحناءات الموجبة والسالبة والصفرية - الانتفاخ المتجانس إلى الخارج، والانكماش إلى الداخل، وعدم التشوه على الإطلاق - تصف جيداً الأشكال المتجانسة ثلاثية الأبعاد. وفي الواقع، نحن محظوظون بصورة مضاعفة لأنه رغم أن الأشكال ثلاثية الأبعاد يصعب تصورها (عند تصور الأشكال فإن عقولنا تضعها على الدوام داخل بيئة محيطة - كشكل الطائرة في الفضاء أو الكوكب في الفضاء - لكن حين يتعلق الأمر بالمكان نفسه، لا توجد بيئة خارجية تحويه)، فإن الأشكال المتجانسة ثلاثية الأبعاد مماثلة تماماً من الناحية الرياضية الشقيقاتها ثنائية الأبعاد، لدرجة أننا لا نفقد تقريباً أي قدر من الدقة حين نفعل ما يفعله غالبية الفيزيائيين: استخدام أمثلة ثنائية الأبعاد في تمثيلاتنا الذهنية.

في الجدول التالي لخصتُ الأشكال الممكنة، مُشدداً على أن بعضها له حيز محدد متناهي (السطح الكروي، وشاشة لعبة الفيديو) والبعض الآخر لا متناهٍ (سطح الطاولة اللامتناهي، ورقاقة برينجلز اللامتناهية). في حقيقة الأمر، الجدول 2-1 غير مكتمل؛ إذ إن هناك احتمالات أخرى إضافية، لها مسميات رائعة مثل «الفضاء المزدوج رباعي السطوح» و«فضاء بوانكاريه ذو الاثنا عشر وجهاً»، والتي لها انحناء متجانس، بيد أنني استبعدتها لأنها أصعب في التصور باستخدام الأغراض اليومية المعتادة. وعن طريق التقطيع والتشذيب الحريص من الممكن نحتها من تلك التي أدرجتُها في القائمة، لذا فإن الجدول 2-1 يقدم عينة تمثيلية جيدة. غير أن هذه التفاصيل تأتي في مرتبة ثانوية مقارنة بالنتيجة الأساسية: أن تجانس الكون الذي يعبر عنه المبدأ الكوني يقلل بشدة عدد الأشكال المحتملة للكون. وبعض هذه الأشكال المحتملة لها امتداد مكاني لا متناهٍ، بينما البعض الآخر ليس كذلك[13].

الشكل	نوع الانحناء	الإمتداد المكاني
سطح كروي	موجب	متناهٍ
سطح طاولة	صفري(أو«مستوٍ»)	لا متناهٍ
شاشة لعبة فيديو	صفري(أو«مستوٍ»)	متناهٍ
رقاقة برينجلز	سالب	لا متناهٍ

جدول 2-1: الأشكال المحتملة للفضاء بما يتفق مع الافتراض القائل بأن كل موضع في الكون لا يختلف في شيء عن غيره من المواضع (المبدأ الكوني).

إن تمدد الكون المكتشف رياضياً على يد كل من فريدمان ولومتر ينطبق حرفياً على أي كون له شكل من هذه الأشكال. في حالة الانحناء الموجب، استخدم التمثيل الذهني ثنائية الأبعاد كي تفكر في سطح بالون آخذ في التمدد بينما يُملأ بالهواء. وفي حالة الانحناء الصفري، فكر في ملاءة مستوية من المطاط يجري شدها على نحو متجانس في جميع الاتجاهات. وفي حالة الانحناء السالب، ضع هذه الملاءة المطاطية على رقاقة برينجلز ثم واصل الشد. لو شبهنا المجرات بنثار لامع موزَّع بانتظام على أي من هذه الأسطح، فإن تمدد الفضاء سيؤدي إلى ابتعاد الذرات اللامعة للنثار - المجرات - بعيداً عن بعضها، على النحو الذي أوضحته مشاهدات هابل للمجرات البعيدة في عام 1929.

إنه قالب كوني مُقنع، لكن لو أردنا له أن يكون حاسماً و كاملاً، فسنحتاج إلى معرفة أي من هذه الأشكال المتجانسة يصف كوننا تحديداً. بوسعنا أن نحدِّد شكل أي جسم مألوف، مثل الكعكة المجوفة أو كرة البيسبول أو مكعب الثلج، عن طريق التقاطه وإدارته في هذا الاتجاه وذاك. التحدي هنا يكمن في أننا لا نستطيع أن نفعل ذلك مع الكون، لذا علينا أن نحدد شكله من خلال وسائل غير مباشرة. تقدم معادلات النسبية العامة استراتيجية رياضية؛ إذ تبيِّن أن انحناء الفضاء يتلخَّص في كمية واحدة قابلة للرصد: كثافة المادة (على نحو أدق، كثافة المادة والطاقة) داخله. فإذا وجد مقدار كبير من المادة، ستتسبب الجاذبية في جعل الفضاء ينحني على نفسه، منتجاً شكلاً كروياً. ولو وجد مقدار قليل من المادة سيكون الفضاء مما في التمدد إلى الخارج على شكل رقاقة برينجلز. ولو وُجد المقدار المناسب من المادة بالضبط، سيكون الفضاء ذا انحناء صفري[14].

أيضاً تفصل معادلات النسبية العامة فصلاً عدداً دقيقاً بين الاحتمالات الثلاثة؛ إذ تبين الحسابات الرياضية أن «المقدار المناسب من المادة»، ما يطلق عليه الكثافة الحرجة، يزن اليوم نحو 2×10^{-29} جرام لكل سنتيمتر مكعب، أي ما يعادل نحو ست ذرات هيدروجين لكل متر مكعب، أو بتشبيه مألوف أكثر، ما يعادل حجم قطرة مطر لكل حيز مكاني يعادل كوكب الأرض[15]. بالنظر في ما حولنا يبدو من المؤكد أن الكون يتخطى هذه الكثافة الحرجة، غير أن هذه ستكون نتيجة متسرعة. فالحسابات الرياضية للكثافة الحرجة تفترض أن المادة موزعة على نحو متماثل عبر الفضاء. لذا عليك أن تتصور أنك أخذت الأرض والقمر والشمس، وكل شيء آخر، ووزعت الذرات التي تحويها بتساوٍ في أرجاء الكون. والسؤال حينها سيكون ما إذا كانَ كل متر مكعب سيزن أكثر من ست ذرات هيدروجين أم أقل.

بسبب التبعات الكونية المهمة للكثافة الحرجة للمادة داخل الكون، عكف علماء الفلك على محاولة قياسها لعقود، وكانت وسيلتهم بسيطة ومباشرة؛ فباستخدام تليسكوبات قوية رصد هؤلاء العلماء مساحات كبيرة من الفضاء وجمعوا كتل النجوم التي يمكنهم رؤيتها علاوة على كتل المواد الأخرى التي يمكن الاستدلال على وجودها عبر دراسة الحركة النجمية والمجرية. وحتى وقت قريب، أشارت المشاهدات إلى أن متوسط الكثافة قليل للغاية؛ إذ يبلغ نحو 27 بالمائة من الكثافة الحرجة - ما يعادل نحو ذرتي هيدروجين في كل متر مكعب - وهو ما يشير إلى كون ذي انحناء سالب.

لكن في وقت لاحق، في نهاية تسعينيات القرن العشرين، حدث أمر استثنائي؛ إذ أدرك الفلكيون، عبر بعض المشاهدات الرائعة وسلسلة من الأفكار المنطقية سنستعرضها في الفصل السادس، أنهم أسقطوا من حساباتهم مكوناً رئيسياً: طاقة منتشرة تبدو موزعة على نحو متجانس في أرجاء الفضاء. سببت هذه البيانات صدمة للجميع تقريباً. طاقة تعم الفضاء؟ يبدو هذا شبيها بالثابت الكوني الذي استحدثه آينشتاين،

كما رأينا سابقا، ثمّ تراجع عنه في واقعة شهيرة منذ ثمانية عقود. فهل أعادت هذه المشاهدات الحديثة إحياء الثابت الكوني؟

ما زلنا لا ندري ذلك يقينا. وحتى في وقتنا الحالي، بعد مرور عقد على المشاهدات المبدئية، لم يتحقق الفلكيون بعد مما إذا كانت هذه الطاقة المتجانسة ثابتة أم أن مقدار الطاقة الموجود في أي منطقة بعينها من الفضاء يمكن أن يتغير مع مرور الوقت. فالثابت الكوني، كما يشير اسمه (وكما يشير تمثيله الرياضي بعدد وحيد ثابت في النسبية العامة)، ينبغي ألا يتغير مطلقاً. ومن أجل تفسير الاحتمالية الأعم المتمثلة في تطور الطاقة، ومن أجل التأكيد أيضاً على أن هذه الطاقة لا يصدر عنها أي ضوء (ومن ثم تفسير لماذا ظلت مستعصية على الرصد طوال هذه الفترة) صك الفلكيون مصطلحاً جديداً هو: الطاقة المظلمة. وكلمة «مظلمة» هنا تصف أيضاً الفجوات العديدة الموجودة في فهمنا. فليس بمقدور أي شخص تفسير أصل الطاقة المظلمة، أو تركيبها الجوهري، أو خصائصها التفصيلية؛ وكل هذه القضايا لا تزال محل دراسة مستفيضة سنعاود الحديث عنها في فصول لاحقة.

لكن حتى في ظل هذه الأسئلة العديدة غير المجاب عنها، أجمعت المشاهدات المأخوذة بواسطة تليسكوب هابل الفضائي وغيره من المراصد الأرضية على « مقدار» الطاقة المظلمة الذي يتغلغل الفضاء. تختلف النتيجة عن القيمة التي اقترحها آينشتاين (نظراً لأنه اقترح قيمة من شأنها أن تؤدي إلى كون ساكن، بينما كوننا آخذ في التمدد). هذا ليس أمراً مفاجئاً. غير أن الأمر المذهل هو أن القياسات خلصت إلى أن الطاقة المظلمة التي تملأ الفضاء تسهم بنحو 73 بالمائة من الكثافة الحرجة. وعند إضافة هذه النسبة إلى نسبة ال 27 بالمائة التي قاسها الفلكيون بالفعل، يصل الإجمالي إلى 100 بالمائة من الكثافة الحرجة، وهو بالضبط مقدار المادة والطاقة التي يحويها كون ذو انحناء مكاني صفري.

ومن ثم تشير البيانات الحالية إلى أن كوننا الآخذ في التمدد يشبه في الشكل سطح الطاولة اللامتناهي أو شاشة لعبة الفيديو المتناهية.

الواقع في كون لا متناهٍ

ذكرتُ في بداية هذا الفصل أننا لا نعلم ما إذاً كانَ الكون متناهياً أم لا متناهٍ. كما أوضحت الأقسام السابقة أن كلتا الاحتماليتين تبزغان على نحو طبيعي من الدراسات النظرية، وأن كلتيهما متفقة مع أدق القياسات والمشاهدات الفلكية. كيف ستمكن ذات يوم من أن نحدد على أساس المشاهدات أي الاحتماليتين هي الصواب؟

هذا سؤال صعب. فإذا كانَ الكون متناهياً، حينها فإن الضوء المنبعث من النجوم والمجرات يمكن أن يدور حول الكون بأسره عدة مرات قبل أن تلتقطه تليسكوباتنا. ومثل الصور المتكررة المتولدة حين يتقافز الضوء بين المرايا المتوازية، من شأن الضوء الدوار أن يؤدي إلى ظهور صور متكررة للنجوم والمجرات. وقد بحث الفلكيون عن مثل هذه الصور المتكررة لكنهم لم يعثروا على أيها بعد. هذا، في حد ذاته، لا يثبت أن الكون لا متناهٍ، وإنما يقترح أنه لو كان الفضاء متناهياً، فربما يكون كبيراً للغاية لدرجة أن الضوء لم يُتَح له الوقت الكافي كي يكمل دورات كاملة حول المضمار الكوني. وهذا يكشف التحدي الذي تواجهه المشاهدات. فحتى لو كان الكون متناهياً، فكلما كان حجمه أكبر، صار من الأيسر أن يبدو وكأنه لا متناهٍ.

في حالة بعض الأسئلة الكونية، مثل تحديد عمر الكون، لا يلعب التمييز بين الاحتماليتين أي دور. فسواء أكان الكون متناهياً أم لا متناهٍ، فقد كانت المجرات في وقت مبكر للغاية من عمر الكون منضغطة على نحو متقارب معاً، وهذا يجعل الكون أعلى كثافة، وأشد حرارة، وظروفه أكثر تطرفاً. من الممكن أن نستخدم مشاهداتنا الحالية المتعلقة بمعدل التمدد، علاوة على التحليل النظري للكيفية التي تغير بها التمدد على مدار الوقت، كي نعرف مقدار الوقت الذي انقضى منذ أن كانَ كل ما نراه منضغطاً في كتلة واحدة شديدة الكثافة، يمكن أن نسميها البداية. وفي حالة الكون المتناهي أو اللامتناهي، تنبئنا التحليلات الحديثة بأن هذا المقدار الزمني يبلغ نحو 13.7 مليار عام. غير أن تحديد ما إذا كان الكون متناهياً أم لا يلعب دوراً في اعتبارات أخرى. ففي حالة الكون المتناهي، مثلاً، خين نتدبر الأزمنة المبكرة للغاية من عمر الكون، من الصحيح تصوير الفضاء بأسره وهو ينكمش على نحو متواصل. ورغم أن الحسابات الرياضية تصير غير ممكنة عند لحظة الصفر الزمنية ذاتها، فمن الصحيح أن نتصور أنه في اللحظات الأقرب للحظة الصفر الزمنية كان الكون عبارة عن ذرة صغيرة ضئيلة متناقصة الحجم. لكن في حالة الكون اللامتناهي يصير هذا التوصيف خاطئاً. فإذا كان الكون لا متناهياً بحق في الحجم، فمن المؤكد أنه كان وسيظل كذلك دائماً. وحين نكمش الكون، ستنضغط محتوياته معاً وتصير متقاربة، وهذا يجعل كثافة المادة أكبر وأكبر. غير أن الحيز الإجمالي سيظل لا متناهٍ. فعلى أي حال، ما الذي سنحصل عليه إذاً انكمش سطح طاولة لا متناهي بمعامل قدره 2؟ نصف الحجم اللامتناهي، وهو حجم لا متناهٍ بالمثل. وما الذي سنحصل عليه إذا انكمش بمعامل قدره مليون؟ حجم لا متناهٍ أيضاً. فكلما تدبرنا الكون اللامتناهي في لحظة تقترب من لحظة الصفر الزمنية، صار أشد كثافة في كل موضع، غير أن الامتداد المكاني سيظل غير محدود.

رغم أن المشاهدات لم تحسم بعد ما إذاً كانَ الكون متناهياً أم لا، فقد وجد أنه عند الإلحاح في سؤال الفيزيائيين وعلماء الكونيات فإنهم يميلون إلى تفضيل الاقتراح القائل بأن الكون لا متناهٍ. وأرى أن هذا الرأي مبني جزئياً على المصادفة التاريخية المتمثلة في أنه على مدار عقود عديدة لم يلتفت الباحثون إلى الشكل المتناهي الأشبه بلعبة الفيديو، وهو ما يرجع في الأغلب إلى أن تحليله رياضياً أكثر تعقيداً بمراحل. وربما أيضاً يعكس هذا الرأي تصوراً مغلوطاً شائعاً مفاده أن الاختلاف بين الكون اللامتناهي

والكون الكبير لكن المتناهي، ما هو إلا تمييز محصور داخل نطاق علم الكونيات، وليس له أهمية بخلاف الأهمية الأكاديمية. فعلى أي حال، لو كانَ الفضاء كبيراً للغاية لدرجة أنه لن يمكنك إلا الوصول إلى جزء صغير للغاية منه، فهل عليك أن تهتم بما إن كان يمتد المسافة متناهية أم لا متنهاية في ما وراء ما يمكنك رؤيته؟

عليك أن تهتم بذلك. فقضية ما إذا كانَ الفضاء متناهياً أم لا لها تأثير عميق على طبيعة الواقع ذاته. وهذا ينقلنا إلى النقطة المحورية التي يتناولها هذا الفصل. ولنتدبر الآن احتمالية وجود كون كبير لا متناهي، ونستكشف تبعاتها. وسنكتشف، بأقل قدر من الجهد، أننا نعيش داخل مجموعة لا حصر لها من العوالم الموازية.

الفضاء اللامتناهي والبساط المُرَقَّع

لنبدأ بمناقشة بسيطة، هنا على الأرض، بعيداً عن المدى الشاسع للحيز الكوني اللامتناهي. تخيل أن صديقتك إيميلدا، التي ترغب في إشباع رغبتها في ارتداء ملابس شخصية متنوعة، اشترت خمسمائة من الفساتين غنية التطريز، وألف زوج من الأحذية ذات الماركات المشهورة. لو أنها ارتدت كل يوم فستانا وحذاء، ففي نقطة ما ستكون قد استنفدت كل التوليفات الممكنة ومن ثم تكرر ما ارتدته سابقاً. ومن اليسير تحديد متى سيحدث ذلك؛ إذ ينتج عن الخمسمائة فستان والألف حذاء ما مجموعه 500 ألف توليفة مختلفة. الخمسمائة ألف يوم تعادل 1400 سنةَ، لذا لو أن إيميلدا عاشت طويلاً بما يكفي فسيكون من الممكن رؤيتها وقدْ ارتدت ملابس ارتدتها من قبل. ولو واصلت إيميلداء المعمرة بلا نهاية، ارتداء كل توليفة ممكنة، فمن الضروري أن ترتدي كل فستان عدداً لا متناهيا من المرات. فالظهور لعدد لا متناه من المرات بعدد محدد من الفساتين يضمن حدوث التكرار بلا نهاية.

وعلى النحو ذاته، تخيل أن راندي، موزع أوراق الكوتشينة المحنَّك، خلط عدداً هائلاً من أوراق اللعب، ثم وضع كل ورقة إلى جوار الأخرى في ترتيب. هل سيكون ترتيب الأوراق بعد كل عملية خلط مختلفاً، أم سيتكرر الترتيب؟ تعتمد الإجابة على عدد الأوراق. من الممكن ترتيب أوراق الكوتشينة الاثنتان والخمسين بطرق مختلفة يصل عددها إلى:

80658175943878571660636856403766975289505440884000000000000

احتمالية للورقة التالية، وهكذا دواليك). لو تجاوز عدد الأوراق التي يخلطها راندي عدد أنساق الأوراق المختلفة المحتملة، حينها فإن بعض التوزيعات سوق تتطابق. ولو خلط راندي عدداً لا نهاية له من الأوراق، فمن الحتمي أن تتكرر أنساق الأوراق لعدد لا متناه من المرات. وكما في حالة إيميلدا وفساتينها، فإن ظهور عدد محدد من الأنساق لعدد لا متناه من المرات يضمن تكرار النتائج بلا نهاية. هذه الفكرة تحتل موقعاً جوهرياً في علم الكونيات الذي يتناول الكون اللامتناهي. وتبين خطوتان محوريتان سبب ذلك.

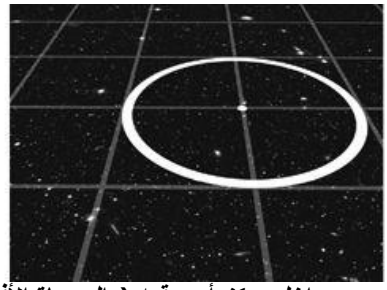
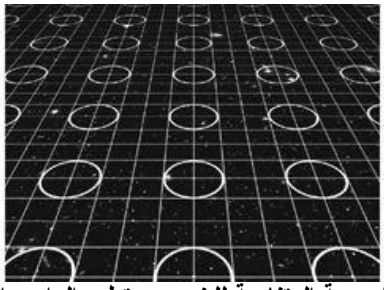
في كون لا متناه، تقع غالبية المناطق في ما وراء قدرتنا على الرصد، حتى باستخدام أقوى التليسكوبات المتاحة. ورغم أن الضوء ينتقل بسرعة كبيرة للغاية، فإذا كان الجرم بعيداً بما يكفي حينها فإن الضوء الذي انبعث منه لن يتاح له الوقت الكافي كي يصل إلينا؛ حتى لو كان هذا الضوء قد انبعث عقب الانفجار العظيم بفترة قصيرة. وبما أن الكون يبلغ من العمر 13.7 مليار عام، لعلك تظن أن أي شيء يقع على مسافة تزيد على 13.7 مليار سنةَ ضوئية سيندرج تحت هذه الفئة. إن هذا الحدس سليم له ما يبرره تماماً، غير أن تمدد الفضاء يزيد من المسافة التي بيننا وبين الأجرام التي انبعث ضوؤها منذ زمن بعيد وتلقيناه نحن للتو، لذا فإن المسافة القصوى التي يمكننا رصدها تكون أكبر في واقع الأمر؛ إذ تبلغ نحو 41 مليار سنةَ ضوئية[16]. لكن ليست الأرقام الدقيقة هي ما يهم حقاً. فالنقطة المهمة هنا هي أن مناطق الكون التي تقع وراء مسافة معينة هي حاليا خارج نطاق قدراتنا الرصدية. وكما تصير السفن التي أبحرت إلى ما وراء الأفق غير مرئية من جانب الشخص الواقف على الشاطئ، يقول الفلكيون إن الأجرام البعيدة للغاية بحيث تستحيل رؤيتها تقع في ما وراء «أفقنا الكوني».

وبالمثل، من المستحيل أن يكون الضوء الذي انطلق منا قد وصل بعد إلى تلك المناطق النائية، ومن ثم فنحن نقع في ما وراء الأفق الكوني الخاص بها. وليس الأفق الكوني وحده هو ما يحدد ما يستطيع المرء رؤيته وما لا يستطيع؛ إذ نعلم من واقع نسبية آينشتاين الخاصة أنه ليس بوسع أي إشارة، أو اضطراب، أو معلومة، أو أي شيء على الإطلاق، التحرك بسرعة تفوق سرعة الضوء؛ وهذا يعني أن مناطق الكون

البعيدة للغاية عن بعضها لدرجة أن الضوء لم يُتَح له الوقت الكافي للانتقال بينها لم يحدث قطّ أن تبادلت أي نوع من التأثير بينها قط، وبذا فقد تطورت على نحو مستقل بالكامل.

يمكننا، بالاستعانة بتشبيه ثنائي الأبعاد، أن نشبه الامتداد الفسيح للفضاء في أي لحظة زمنية بعينها ببساط منسوج عملاق (مكون من رُقَع دائرية الشكل) وكل رقعة فيه تمثل أفقاً كونياً واحداً. باستطاعة الشخص الموجود في مركز إحدى الرُقَع أن يتفاعل مع أي شيء يقع داخل الرقعة عينها، لكن يستحيل عليه التواصل مع أي شيء يقع داخل رقعة مختلفة (انظر الشكل 2-1أ)، لأنها بعيدة جداً عنه. إن النقاط الواقعة بالقرب من الحدود الفاصلة بين الرقع أقرب إلى بعضها من تلك الواقعة في المراكز، ولذلك ربما يكون قد حدث بينها اتصال، لكنّ لو تدبرنا مثلاً الرقع الموجودة في كل صف وكل عمود في ذلك البساط الكوني، سنجد أن كل النقاط الواقعة داخل الرقع المختلفة بعيدة جداً عن بعضها لدرجة أنه يستحيل أن تحدث أي تفاعلات من أي نوع بين الرقع الموجودة في صفوف وأعمدة مختلفة (انظر الشكل 2-1ب). والفكرة عينها تنطبق داخل السياقات ثلاثية الأبعاد، حيث تكون الآفاق الكونية - أي الرقع الموجودة داخل البساط الكوني - كروية الشكل، وتصح النتيجة ذاتها: أن الرقع البعيدة عن بعضها بما يكفي تقع تماماً خارج نطاق تأثير بعضها البعض، ومن ثم فهي عوالم مستقلة تماماً.

لو كانَ الفضاء ضخماً لكن متناهياً، فبوسعنا تقسيمه إلى عدد كبير، لكن متناهٍ، من هذه الرقع المستقلة. لكن لو كان الفضاء لا متناهياً، عندئذٍ سيوجد عدد لا متناهٍ من الرقع المستقلة. وهذه الاحتمالية الثانية مغرية على وجه الخصوص، والجزء الثاني من الحجة. يخبرنا بالسبب. فكما سنرى، في أي رقعة من الرقع يمكن ترتيب جسيمات المادة (أو على نحو أدق، المادة وكل صورة من صور الطاقة) في عدد محدود وحسب من الأنساق المختلفة. وباستخدام المنطق الذي اتبعناه في مثالي إيميلدا وراندي، يعني هذا أن الظروف داخل الرقع المتباعدة اللامتناهية - أي داخل مناطق الفضاء التي تشبه المنطقة التي نسكنها لكنها موزعة في أرجاء عدد غير محدود من الأكوان - يجب أن تتكرر لا محالة.

(a)   (b)

شكل1-2: (أ) بسبب السرعة المتناهية للضوء،يستطيع الراصد الموجود داخل مركز أي رقعه (والمسماة الأفق الكوني للراصد) أن يتفاعل فقط مع الاشياء الواقعه في تلك الرقعة عينها.
(ب) الأفاق الكونية البعيدة عن بعضها بما يكفي لن يحدث بينها أي تفاعل بسبب المسافات الشاسعه التي تفصلها، ومن ثم فقد تطورت علي نحو مستقل بالكامل بعضها عن بعض.

احتمالات متناهية

تخيل أنك في ليلة صيفية حارة وأن هناك ذبابة مزعجة تحوم حولك وأنت في غرفة نومك. لقد جربت استخدام المذبة ورش الذبابة بالمبيد، لكن من دون جدوى. وفي غمرة يأسك تجرب التفكير على نحو منطقي. تقول مخاطباً الذبابة: «إنها غرفة نوم كبيرة. وهناك أماكن كثيرة جداً يمكنك أن توجدين فيها. ولا سبب يدعوكِ لأن تحومي حول أذني طوال الوقت». ترد الذبابة قائلة:«حقاً؟ كم عدد الأماكن الموجودة؟»

في الكون الكلاسيكي، ستكون الإجابة: «عدد لا متناهٍ». وكما ستخبر الذبابة فإنها (أو بالأحرى مركز كتلتها) يمكن أن تنتقل 3 أمتار إلى اليسار، أو 2.5 متر إلى اليمين، أو 2.236متر إلى أعلى، أو 1.195829 متر إلى الأسفل،... أنت تفهم الفكرة. وبما أن موضع الذبابة يمكن أن يتغير على نحو متواصل عدد لا متناهٍ من الأماكن التي يمكن أن تكون موجودة فيها. وفي الواقع، بينما أنت تشرح ذلك للذبابة تدرك أنه ليس الموضع وحده هو ما يقدم للذبابة تلك التنويعة اللامتناهية، بل السرعة المتجهة كذلك. ففي لحظة ما تستطيع الذبابة أن تكون في هذا الموضع، متجهة إلى اليمين بسرعة مقدارها كيلومتر في الساعة. أو قد تكون متجهة نحو اليسار بسرعة مقدارها نصف كيلومتر في الساعة، أو إلى الأعلى بسرعة مقدارها رُبع كيلومتر في الساعة، أو إلى الأسفل بسرعة مقدارها 0.349283 كيلومتر في الساعة، وهكذا. ورغم أن سرعة الذبابة مقيدة بعدد من العوامل منها الطاقة المحدودة التي تمتلكها، نظراً لأنها كلما طارت بسرعة أكبر احتاجت إلى استهلاك طاقة أكبر)، فإن هذه السرعة يمكن أن تتغير باستمرار ومن ثم توفر مصدراً آخر للتنوع اللامتناهي.

لا تقتنع الذبابة بهذا، وترد قائلة: «أتفق معك حين تتحدث عن التحرك لمسافة سنتيمتر أو نصف سنتيمتر أو حتى رُبع سنتيمتر، لكن حين تتحدث عن مواضع تختلف في ما بينها بمسافة مقدارها جزء من عشرة آلاف، أو مائة ألف، جزء من السنتيمتر لا أفهم ما تعنيه. في نظر شخص واسع المعرفة ربما تبدو هذه المواضع مختلفة، غير أن القول بأن هذا الموضع والموضع الذي يبعد عنه بمقدار جزء من المليار من السنتيمتر هما مختلفان حقاً، هذا القول يتنافى تماماً مع خبرات الحياة المعتادة. فلا يمكنني أن أستشعر أدنى قدر من التغير في الموضع ولهذا لن أعد هذين الموضعين مختلفين. الأمر عينه ينطبق على السرعة. فبإمكاني أن أدرك الفارق بين التحليق بسرعة كيلومتر في الساعة ونصف كيلومتر في الساعة، لكن ماذا عن الفارق بين سرعة مقدارها 0.25 كيلومتر في الساعة وأخرى مقدارها 0.249999999 كيلومتر في الساعة؟ حنانيك. لن تدرك هذا الفارق إلا ذبابة حكيمة للغاية، وفي الحقيقة ليس بوسع أي ذبابة أن تفعل ذلك. لذا أرى أنه لا فرق بين هذه السرعات. فالتنوع المتاح أقل كثيراً مما تصفه أنت».

أثارت الذبابة نقطة مهمة. فمن الناحية النظرية، يمكنها أن تشغل مجموعة متنوعة لا حصر لها من المواضع والتحرك بسرعات متنوعة لا حصر لها. لكن من الناحية العملية يوجد حد أدنى لمقدار الاختلاف في الموضع والسرعة، ومن دون ذلك الحد يصير التمييز بينها غير مدرك تماماً. وهذا ينطبق حتى لو كانت الذبابة تستعين بأفضل المعدات. فهناك دوما حد أدنى لمقدار الاختلاف الذي يمكننا إدراكه في الموضع أو السرعة. وبصرف النظر عن مقدار هذه الاختلافات الدقيقة، فما دامت غير صفرية، فهي تقلل نطاق الخبرات الممكنة تقليلا جذرياً.

على سبيل المثال، لو كانت أصغر زيادة يمكن رصدها تبلغ جزءاً من المائة من السنتيمتر، عندئذٍ فإن كل سنتيمتر لن يتيح عدداً لا متناهٍ من المواضع المختلفة، وإنما مائة موضع وحسب. وبذا سيتيح كل سنتيمتر مكعب 100^3 (أي مليون) موضع مختلف، وتتيح غرفة النوم العادية نحو 100 تريليون موضع. من الص

الجزم بما إذا كانت الذبابة ستجد أن هذا الطيف العريض من الخيارات يكفيها كي تبتعد عن أذنيك. غير أن النتيجة المؤكدة هي أن أي شيء بخلاف القياسات المثالية في دقتها سيقلل عدد الاحتمالات الممكنة بحيث تصير متناهية العدد وليست لا متناهية.

ربما تعارض هذه النتيجة قائلاً إن عجزنا عن التمييز بين الفروق المكانية الضئيلة أو الاختلافات في السرعة إنما يعكس قصورنا التكنولوجي لا أكثر. فمع مزيد من التقدم، ستتحسن دقة المعدات على الدوام، ومن ثم فإن عدد المواضع والسرعات المنفصلة التي يمكن تمييزها والمتاحة أمام الذبابة ذات التمويل الجيد سيزداد على الدوام. هنا سيكون عليَّ أن أستعين ببعض من أساسيات نظرية الكم. فوفق ميكانيكا الكم، هناك معنى محدد للقيد الجوهري على مقدار الدقة التي يمكن أن تتسم بها قياسات معينة، وهذا القيد لا يمكن تجاوزه على الإطلاق، بصرف النظر عن مقدار التقدم التكنولوجي المتحقق، على الإطلاق.

وهذا القيد ينبع من إحدى السمات الجوهرية لميكانيكا الكم؛ ونعني بهذا مبدأ عدم اليقين.

يشدد مبدأ عدم اليقين على أنّه بصرف النظر عن الجهاز الذي تستخدمه أو الأسلوب الذي توظفه، فإذا زدت دقة قياساتك لإحدى الخصائص، ستكون هناك تكلفة لا مهرب منها: إذ من الحتمي أن تقل الدقة التي يمكنك أن تقيس بها خاصية أخرى مكملة. ومن الأمثلة البارزة لذلك، يوضح مبدأ عدم اليقين أنك كلما قست موضع الجسم بدقة أكبر، قلت الدقة التي تقيس بها سرعته، والعكس بالعكس.

من منظور الفيزياء الكلاسيكية، وهي الفيزياء التي توجه حدسنا بشأن الكيفية التي يسير بها العالم، هذا القيد مصطنع تماماً. لكن على سبيل تقريب الفكرة، فكر في عملية تصوير هذه الذبابة الخبيثة. لو كانت سرعة غالق الكاميرا مرتفعة، ستحصل على صورة عالية الوضوح تسجل موضع الذبابة في اللحظة التي التقطت فيها الصورة. لكن بسبب الدقة العالية للصورة، ستبدو الذبابة ساكنة تماماً؛ إذ لا تتيح الصورة أي معلومة عن سرعة الذبابة. وإذا كانت سرعة الغالق منخفضة، فإن الصورة الغائمة الناتجة ستوصل شيئاً من حركة الذبابة، لكنّ بسبب عدم الوضوح هذا فإنها تقدم أيضاً قياساً غير دقيق لموضع الذبابة. فلا يمكنك التقاط صورة توفر معلومات دقيقة عن الموضع والسرعة في الوقت ذاته.

باستخدام رياضيات ميكانيكا الكم، أرسى فيرنر هايزنبرج قيداً دقيقا على مقدار الدقة الذي تكون عليه القياسات المشتركة للموضع والسرعة بالضرورة. وانعدام الدقة الحتمي هذا هو ما يطلق عليه فيزيائيو ميكانيكا الكم اسم علم اليقين. في حالتنا، ثمة طريقة مفيدة للغاية لصياغة هذه النتيجة. فمثلما تتطلب الصورة الأوضح منك استخدام سرعة غالق مرتفعة، تبين حسابات هايزنبرج الرياضية أن القياس الأدق لموضع الجسم يتطلب منك استخدام مجس ذي طاقة أعلى. فإذا أضأتَ المصباح المجاور لفراشك، سيمكنك المجس الناتج عن هذا - ونعني الضوء المنتشر منخفض الطاقة - من تبين الشكل العام الأرجل الذبابة وأعينها، وإذا سلطت عليها فوتونات ذات طاقة أعلى، كالأشعة السينية (لكن مع إبقاء دفعات الفوتونات قصيرة من أجل تجنب حرق الذبابة)، ستكشف الدقة الأعلى عن العضلات الدقيقة التي تحرك أجنحة الذبابة. غير أن الدقة المثالية، وفق هايزنبرج، تتطلب مجاذي طاقة لا متناهية. وهذا أمر لا يمكن الحصول عليه.

وهكذا نحصل على النتيجة الأساسية؛ إذ تبين الفيزياء الكلاسيكية بجلاء أن الدقة المثالية يستحيل الحصول عليها عملياً. تمضي ميكانيكا الكم إلى ما هو أبعد من هذا وتشدد على أن الدقة المثالية لا يمكن الحصول عليها نظرياً كذلك. فإذا تخيلت أن سرعة جسم ما وموضعه - سواء أكان هذا الجسم ذبابة. أم إلكتروناً - يتغيران بمقادير صغيرة بما يكفي، عندئذٍ وفق ميكانيكا الكم أنت تتخيل شيئاً عديم المعنى. فالتغيرات الصغيرة لدرجة أنه يستحيل قياسها، حتى من حيث المبدأ، لا تعتبر تغيرات من الأساس[17]. وبالمنطق نفسه الذي استخدمناه في تحليلنا السابق على ميكانيكا الكم لحركة الذبابة، فإن القيد على الدقة

يقلل عدد الاحتمالات المنفصلة لموضع الجسم وسرعته من عدد لا متناهٍ إلى عدد متناهٍ. وبما أن القيد على الدقة الذي تستتبعه ميكانيكا الكم هو جزء أساسي من نسيج القانون الفيزيائي، يصير هذا التقليل إلى احتمالات متناهية شيئاً لا يمكن تجنبه أو مخالفته.

كفانا حديثاً عن الذباب الموجود في غرف النوم. والآن لنتدبر منطقة أكبر من الفضاء، منطقة بحجم الأفق الكوني الحالي، أي كرة يبلغ نصف قطرها 41 مليار سنة ضوئية. منطقة في حجم رقعة واحدة داخل البساط الكوني. والآن لنتخيل أننا ملأنا هذه المنطقة ليس بذبابة وحيدة وإنما بجسيمات من المادة والإشعاع. إليك السؤال: كم عدد الأنساق المختلفة الممكنة للجسيمات؟

حسناً، كما هو الحال في صندوق مكعبات الليجو، كلما زاد عدد القطع التي لديك - أي كلما استطعت حشد مزيد من المادة والإشعاع داخل المنطقة - زاد عدد الأنساق الممكنة. غير أنك لا تستطيع مواصلة وضع هذه القطع بلا نهاية. فالجسيمات تحمل طاقة، لذا يعني حشد مزيد من الجسيمات وجود المزيد من الطاقة. ولو احتوت منطقة من الفضاء على قدر أكبر مما ينبغي من الطاقة، فستنهار على نفسها تحت وطأة ثقلها مشكلة ثقبًا أسود[18]. ولو حاولت بعد تشكُّل الثقب الأسود أن تضع المزيد من المادة والطاقة في المنطقة، فستنمو حدود الثقب الأسود (أفق الحدث الخاص به) أكثر وأكثر، بحيث تحيط بحيز أكبر من الفضاء. وبهذا يوجد حد مقيِّد على مقدار المادة والطاقة الذي يمكن أن يوجد داخل منطقة من الفضاء مهما كان حجمها. وبالنسبة لمنطقة من الفضاء في حجم أفقنا الكوني الحالي، الحد المعني ضخم للغاية (نحو 10^{56} جرام). غير أن حجم هذا الحد ليس النقطة الأساسية، بل النقطة الأساسية هي وجود حد من الأساس. الطاقة المتناهية داخل أي أفق كوني تستتبع وجود عدد متناء من الجسيمات، سواء كانت إلكترونات أم بروتونات أم نيوترونات أم نيوترينوات أم ميونات أم فوتونات، أم أي نوع آخر معروف أو غير معروف بعد من الجسيمات. أيضاً الطاقة المتناهية داخل الأفق الكوني تستتبع أن كل جسيم من هذه الجسيمات، مثل الذبابة المزعجة في غرفة نومك، له عدد متناهٍ من السرعات والمواضيع المتمايزة الممكنة. وإجمالاً، فإن وجود عدد متناهٍ من الجسيمات، كل منها يمكن أن يكون له عدد كبير متناهٍ من السرعات والمواضع المتمايزة المختلفة، يعني أنه في داخل أي أفق كوني لا يوجد سوى عدد متناهٍ من أنساق الجسيمات المختلفة المتاحة. (بلغة نظرية الكم الأدق، والتي سنتعرض لها في الفصل الثامن، نحن لا نتحدث عن مواضع وسرعات الجسيمات في حد ذاتها، وإنما عن الحالة الكمية لهذه الجسيمات. ومن هذا المنظور نقول إنه لا يوجد إلا عددٍ متناهٍ وحسب من الحالات الكمية المتمايزة القابلة للرصد للجسيمات الموجودة داخل الرقعة الكونية.) وفي واقع الأمر، تُظهِر عملية حسابية بسيطة - لو كانَ الفضول ينتابك ستجدها مشروحة في الملحوظات - أن عدد أنساق الجسيمات المتمايزة الممكنة داخل أي أفق كوني يبلغ نحو $(10)^{(10)^{(122)}}$ (أي واحد متبوعا بـ 10^{122} صفرًا). هذا رقم هائل، لكنه متناهٍ بالتأكيد[19].

إن العدد المحدود لتوليفات الملابس المختلفة يضمن أنّه في حالة خروجها عددًا كافيًا من المرات فمن الحتمي أن تتكرر ملابس إيميلدا. كما أن العدد المحدود لترتيبات الأوراق المختلفة يضمن أنه في حالة وجود عدد كافٍ من عمليات الخلط، من الحتمي أن تتكرَّر بعض التوزيعات. وبالمنطق ذاته، يضمن العدد المحدود من أنساق الجسيمات أنه في ظل وجود عدد كافي من الرُّقع داخل البساط الكوني - عدد كافٍ من الآفاق الكونية المستقلة - فإن أنساق الجسيمات، عند مقارنتها من رقعة إلى أخرى، من المؤكد أن تتكرر. وحتى لو استطعت أن تلعب دور المصمم الكوني وحاولت ترتيب كل رقعة بحيث تكون مختلفة عن الرقع التي فحصتها من قبل، ففي حالة وجود حيز كبير بما يكفي، من الحتمي أن ينفد ما لديك من تصميمات متمايزة، وستكون مجبرًا على أن تكرر أحد الأنساق السابقة.

وفي كون كبير لا متناهٍ، يزداد حدوث التكرار أكثر وأكثر. فهناك عدد لا متناهٍ من الرقع الموجودة داخل حيز لا نهاية له من الفضاء، ومن ثم في حالة وجود عدد كبير لكن متناهٍ من أنساق الجسيمات، من المؤكد

أن تتكرر أنساق الجسيمات الموجودة داخل الرقع العدد لا نهاية لهُ من المرات.
وهذه هي النتيجة التي كنا نسعى إليها.

عند تفسير مضامين هذه العبارة، علىَّ أن أوضِّح تحيزاتي. فأنا أؤمن أن أي منظومة فيزيائية تتحدد بالكامل عن طريق ترتيب جسيماتها. فإذا أخبرتني بالكيفية التي تؤلف بها الجسيمات كوكب الأرض، والشمس والمجرات وكل شيء آخر، ستكون بهذا قد عبرت عن الواقع بشكل وافي. هذه النظرة الاختزالية شائعة بين الفيزيائيين، لكن يوجد بالتأكيد من يرون خلاف ذَلِكَ، خاصة حين يتعلق الأمر بالحياة، إذ يؤمن البعض أن ثمة جانبًا جوهريًا غير مادي (الروح أو النفس أو قوة الحياة أو قوة التشي أو ما شابه) مطلوب من أجل تحريك الجانب المادي الملموس. ورغم أني منفتح لهذه الاحتمالية، فلم يسبق لي قط أن وجدت أي دليل يدعمها. والموقف الأكثر منطقية في نظري هو أن السمات البدنية والعقلية الخاصة بالشخص ما هي إلا تجسيد للكيفية التي تنتظم بها الجسيمات في جسده. فإذا حدَّدتَ ترتيب الجسيمات ستكون بهذا قد حدَّدتَ كل شيء[20].

ومن هذا المنطلق نخلص إلى أن ترتيب الجسيمات الذي نألفه لو تكرر في رقعة أخرى - أفق كوني آخر- فإن تلك الرقعة ستبدو مماثلة لرقعتنا في كل وجه. وهذا يعني أنه لو كان الكون لا متناهٍ في امتداده، فأنت لست الوحيد الذي له رد الفعل الذي تشعر به حاليا نحو هذه النظرة إلى الواقع. فهناك نسخ عديدة مماثلة لك في أرجاء الكون، تشعر بما تشعر به أنت بالضبط. ما من سبيل إلى تحديد أي من هذه النسخ هو أنت بالفعل؛ إذ إن جميع النسخ متطابقة تمام التطابق من الناحية المادية ومن ثم العقلية.

بل إنّ بوسعنا تقدير المسافة بينك وبين أقرب نسخة لك. فإذا كانت أنساق الجسيمات موزعة عشوائيًا من رقعة إلى الأخرى (وهو الافتراض الذي يتوافق مع النظرية الكونية المنقحة التي سنتناولها في الفصل التالي)، حينها لنا أن نتوقع أن الظروف السائدة في رقعتنا ستتكرر شأنها شأن الظروف السائدة في أي رقعة أخرى. فداخل كل مجموعة تضم $(10)^{(10)^{(122)}}$ رقعة كونية نتوقع أن تكون هناك في المتوسط رقعة واحدة تبدو مماثلة لرقعتنا. يعني هذا أنه في كل منطقة من الفضاء يبلغ قطرها $(10)^{(10)^{(122)}}$ متر تقريبًا، من المفترض أنه توجد رقعة تطابق رقعتنا؛ رقعة تحتوي عليك أنت، وعلى الأرض والمجرة وكل شيء آخر داخل أفقنا الكوني.

ولو أنك خفضتَ معاييرك ولم تبحث عن نسخة طبق الأصل لأفقنا الكوني، وإنما رضيت وحسب بنسخة من منطقة يبلغ قطرها بضعة سنوات ضوئية ومركزها شمسنا، سيكون من الأسهل العثور على مطلبك: ففي المتوسط، من المفترض أن تجد في كل منطقة يبلغ حجمها نحو $(10)^{(10)^{(122)}}$ متر عرضًا نسخة مماثلة لهذه. كما أن من الأيسر العثور على نسخ تقريبية. فعلى أي حال لا توجد إلا طريقة واحدة لعمل نسخة مطابقة تمامًا من منطقة ما، لكن توجد طرق عديدة لعمل نسخ مطابقة بدرجة ما. ولو حدث أن تمكنت من زيارة هذه النسخ غير المطابقة، ستجد أن بعضها لا يمكن تمييزه عنك، بينما في نسخ أخرى ستكون الاختلافات واضحة وصارخة، بل وصادمة. فكل قرار اتخذته في حياتك إنما هو مرادف لنسق معين من أنساق الجسيمات. فإذا التفت جهة اليسار، فقد ذهبت جسيماتك في هذا الاتجاه، ولو التفت جهة اليمين، فقد ذهبت جسيمات في الاتجاه المعاكس. ولو أنك قلت نعم، فقد اتبعت الجسيمات الموجودة في دماغك وأحبالك الصوتية نمطًا معينًا، ولو أنك قلت لا، فقد اتبعت هذه الجسيمات نمطًا مختلفًا. وهكذا فإن كل فعل ممكن، كل قرار اتخذته وكل خيار تجاهلته، سيتحقق في رقعة ما أو أخرى. في بعض الرقع تحققت أسوأ مخاوفك عن نفسك وعائلتك وحياتك، وفي البعض تحققت أكثر أحلامك جموحًا، وفي البعض الآخر تجتمع الاختلافات النابعة من أنساق الجسيمات المقاربة لكن المتمايزة كي تخلق بيئة لا يمكنك

التعرف عليها. وفي غالبية الرقع لن توجد أنساق الجسيمات عالية التخصص التي تمثل الكائنات الحية، لذا ستكون هذه الرقع خالية من الحياة، أو على الأقل خالية من الحياة كما نعرفها.

مع مرور الوقت، سوف يزداد حجم الرقع الكونية الموضحة في الشكل 2-اب، إذ يستطيع الضوء مع الوقت الوصول إلى مسافات أبعد، ومن ثمّ سينمو كل أفق كوني في الحجم. وفي النهاية سوف تتداخل الآفاق الكونية، وحين يحدث هذا لن يصير من الممكن اعتبار هذه المناطق منفصلة ومنعزلة، ولن تكون الأكوان الموازية موازية؛ بل ستكون قد اندمجت معاً. ومع هذا ستظل النتيجة التي توصلنا إليها قائمة. فقط ارسم شبكة جديدة من الرقع الكونية يتحدد فيها حجم الرفع من واقع المسافة التي استطاع الضوء قطعها منذ الانفجار العظيم وحتى وقتنا هذا. ستكون الرقع أكبر، لذا من أجل ملء نمط مشابه لذلك المعروض في الشكل 2-1ب يجب أن تكون مراكزها أبعد عن بعضها، وفي ضوء وجود الفضاء اللامتناهي بين أيدينا توجد مساحة شاسعة لاستيعاب ذَلكَ التعديل[21].

وهكذا نصل إلى نتيجة عامة ومستفزة للفكر في الوقت ذاته. فالواقع داخل كون لا متناهٍ ليس على الصورة التي يتوقعها أغلبنا. ففي أي لحظة زمنية معينة يحتوي امتداد الفضاء على عدد لا نهاية لهُ من العوالم المنفصلة - وهي العوالم التي تؤلف معًا ما سأطلق عليه «الكون المتعدد المنسوج» - وما كوننا المرصود، كل ما نراه في سماء الليل الواسعة، إلا كونًا واحدًا فيها. وبدراسة هذه المجموعة اللانهائية من العوالم المنفصلة نجد أن أنساق الجسيمات ستتكرر بالضرورة لعدد لا نهائي من المرات. ومن ثمّ فإن الواقع المتحقق في أي كون بعينه، مثل كوننا، سيتكرر عددًا لا نهاية له من المرات في أكوان أخرى في أرجاء الكون المتعدد المنسوج[22].

ما الذي نخرج به من كل هذا؟

من الممكن أن تجد النتيجة التي توصلنا إليها مستهجنة، وهو ما قد يدفعك إلى معارضتها بقوة. وقد ترى أن الطبيعة العجيبة للنتيجة التي توصلنا إليها -وجود نسخ لا نهائية منك ومن كل شخص وكل شيء- هي دليل على الطبيعة المعيبة لواحد أو أكثر من الافتراضات التي أدت بنا إلى الوصول إليها.

هل من الممكن أن يكون الافتراض القائل بأن الكون كله مسكون بالجسيمات افتراضًا خاطئًا؟ فربما لا يوجد خارج أفقنا الكوني إلا عالم شاسع يحتوي فقط على الفضاء الخاوي. هذا أمر ممكن، غير أن الأطر النظرية المطلوبة من أجل رسم مثل هذه الصورة تجعلها غير مقنعة بالكامل. فأكثر نظريات علم الكونيات تنقيحًا، والتي سنتعرض لها بالنقاش بعد قليل، لا تقترب بنا من هذه الاحتمالية ولو من بعيد.

هل من الممكن أن تتغير قوانين الفيزياء في ما وراء أفقنا الكوني، بحيث تفسد قدرتنا على إجراء أي تحليلات موثوق بها لتلك العوالم البعيدة؟ مجددًا نقول إنّ هذا أمر محتمل. لكن كما سنرى في الفصل التالي فإن أحدث التطورات تقدم لنا حجة مقنعة على أنّه رغم أن القوانين قد تتباين، فإن هذا التباين لا يبطل النتائج التي توصلنا إليها بشأن الكون المتعدد المنسوج.

هل من الممكن أن يكون الامتداد المكاني للكون متناهيًا؟ بالتأكيد. هذا أمر ممكن بالقطع. فإذا كان الكون متناهيًا ولكنه كانَ كبيرًا بما يكفي، فستظل بعض الرقع المثيرة للاهتمام موجودة في أرجائه. غير أن الكون المتناهي الصغير نسبيًّا من الممكن أن يفتقر إلى المساحة الكافية كي يستوعب عدداً كبيراً من الرقع المتمايزة، فضلا عن أي نسخ مطابقة من رقعتنا. فالكون المتناهي هو السبيل الأكثر إقناعًا لزعزعة فكرة الكون المتعدد المنسوج.

لكن في العقود القليلة الماضية، طوَّر الباحثون العاملون على دفع نظرية الانفجار العظيم إلى نقطة الصفر الزمنية - وذلك بحثا عن فهم أعمق لمنشأ وطبيعة ذرة لومتر البدائية - نهجًا يطلق عليه «علم الكونيات

التضخمي»؛ ووفق هذا الإطار المفاهيمي لا تحظى الحجة الداعمة للكون الكبير اللامتناهي بدعم قوي من واقع التحليلات النظرية والمشاهدات العملية وحسب، وإنما صارت بمنزلة نتيجة شبه حاسمة، كما سنرى في الفصل التالي.

والأهم من ذلك أن هذا التضخم يبرز بوضوح التنوع الكبير، بل والأكثر غرابة، للعوالم الموازية.

الفصل الثالث
الأبدية واللانهائية
الكون المتعدد التضخمي

أدركت مجموعة بارزة من الفيزيائيين بحلول منتصف القرن العشرين أنك لو أطفأت ضوء الشمس، وأزحت بقية النجوم من مجرة درب التبانة، بل وحجبت ضوء المجرات الأخرى الأبعد، فلن يصير الفضاء مظلما. قد يبدو مظلما أمام العين البشرية نعم، لكن لو أمكنك رؤية الإشعاع الواقع في نطاق الأشعة الميكرونية من الطيف، ففي كل مكان تولي وجهك شطره سترى وهجًا متجانسًا. ما أصل هذا الوهج؟ إنه أصل الكون ذاته. فمن المثير للدهشة أن هؤلاء الفيزيائيين اكتشفوا بحرًا منتشرًا من الإشعاع الميكروني يملأ الفضاء، وهذا الإشعاع هو البقايا الحالية المتخلفة عن ظهور الكون. وتوضح قصة هذه القفزة المعرفية أحد الإنجازات الكبيرة لنظرية الانفجار العظيم، لكنها كشفت كذلك في وقتها عن أحد مواطن القصور الجوهرية في النظرية ومن ثم مهدت الساحة للقفزة المعرفية التالية في علم الكونيات بعد العمل الرائد لكل من فريدمان ولومتر، ونقصد بهذا «النظرية التضخمية».

أحدث علم الكونيات التضخمي تغييرًا في نظرية الانفجار العظيم عن طريق إدخال دفعة قوية من التمدد هائل السرعة حدثت في اللحظات الأولى من عمر الكون. وهذا التعديل، كما سنرى، يلعب دورًا محوريًا في تفسير بعض السمات المحيرة للإشعاع المتبقي. لكن الأهم من ذلك أن علم الكونيات التضخمي يُعد فصلًا أساسيًا في قصتنا لأن العلماء أدركوا تدريجيًا على مدار العقود القليلة الماضية أن النسخ الأكثر إقناعًا للنظرية تؤدي إلى وجود مجموعة هائلة من الأكوان الموازية، والتي تغير وجه الواقع جذريًّا.

بقايا البداية الحارة

كان جورج جاموف فيزيائيًّا روسيًّا ضخم الجثة، يصل طوله إلى ستة أقدام وثلاث بوصات، واشتهر بإسهاماته في الفيزياء النووية وفيزياء الكم في بدايات القرن العشرين، كما كان أيضًا سريع البديهة ومحبًا للمرح وقادرًا على اجتياز الظروف الشاقة (في عام 1932 حاول هو وزوجته الهرب من الاتحاد السوفييتي عن طريق عبور البحر الأسود بقارب تجديف محمل بكمية كبيرة من الشوكولاتة والبراندي، وحين تسبب الطقس السيئ في عودتهم إلى الشاطئ نجح جاموف في إقناع السلطات بأنه كان يجري تجربة علمية، فشلت للأسف، في عرض البحر). وفي أربعينيات القرن العشرين، وبعد أن نجح في عبور الستار الحديدي (على البر هذه المرة، وبقدر أقل من الشوكولاتة) واستقر في جامعة واشنطن في سانت لويس، حول اهتمامه إلى علم الكونيات. وبفضل المساعدة المهمة التي تلقاها من طالب الدراسات العليا ذي الموهبة الاستثنائية رالف ألفر، تمخضت أبحاث جاموف عن صورة للحظات الأولى من عمر الكون أكثر تفصيلًا ووضوحًا من الصورة التي كشفت عنها الأبحاث السابقة لفريدمان (الذي كانَ أستاذًا الجاموف في لينينجراد) ولومتر. ومع قليل من التحديث، تبدو الصورة التي رسمها جاموف وألفر على النحو التالي.

بعد مولد الكون مباشرة، مر بفترة محمومة من النشاط، وكان يتسم وقتها بحرارة وكثافة هائلتين. فقد تمدد الفضاء بسرعة وأخذ يبرُد، وهذا أتاح تشكيل خليط من الجسيمات من البلازما البدائية. وعلى مدار الدقائق الثلاث الأولى ظلت حرارة الكون الآخذة في الانخفاض مرتفعة بما يكفي بحيث صار الكون أشبه بأتون نووي عملاق، عمل على تخليق أبسط الأنوية الذرية: الهيدروجين والهيليوم ومقادير ضئيلة من الليثيوم. لكن بعد مرور بضع دقائق قليلة أخرى، انخفضت درجة الحرارة إلى نحو 10^8 درجة كلفينية، أ أعلى من حرارة سطح الشمس بعشر مرات. ورغم أن هذه الحرارة عالية للغاية بمقاييسنا المعتادة، فقد كانت منخفضة بما يكفي بحيث دعمت المزيد من العمليات النووية، وبهذا فمن ذَلكَ الوقت وصاعدًا أخذ اضطراب الجسيمات يخبو بدرجة كبيرة. وعلى مدار الدهور التي تلت ذَلكَ لم يحدث الكثير، باستثناء استمرار الفضاء في التمدد. وانخفاض درجة حرارة الجسيمات.

بعد نحو 370 ألف عام، حين انخفضت حرارة الكون إلى حوالي 3000 درجة كلفينية، أي نصف درجة حرارة سطح الشمس، حدث تحوُّل جديد في الأحداث كسر هذه الرتابة الكونية. فقبل تلك النقطة كان الفضاء مملوءًا ببلازما من الجسيمات الحاملة الشحنة كهربية، بروتونات وإلكترونات في معظمها. ولأن الجسيمات ذات الشحنة الكهربية قادرة على دفع الفوتونات - جسيمات الضوء - فقد كانت هذه البلازما البدائية معتمة، وكانت الفوتونات، التي تتقاذفها الإلكترونات والبروتونات هنا وهناك، تسبب وهجًا خافتًا يشبه ضوء سيارة يغشاه ضباب كثيف. لكن حين انخفضت درجة الحرارة إلى ما دون 3000 درجة كلفينية، تباطأت سرعة الإلكترونات والأنوية سريعة الحركة بما يكفي بحيث تجمعت في ذرات؛ إذ اقتنصت أنوية الذرات الإلكترونات وجذبتها إلى مداراتها. كانَ هذا تحولًا جوهريًا. فلأن البروتونات والإلكترونات لها شحنات متساوية لكن معكوسة، صارت الذرات متعادلة كهربيًا. وبما أن البلازما المكونة من مكونات متعادلة كهربيًا تسمح للفوتونات بالمرور في سلاسة عبرها كما يمر السكين الساخن في الزبد، فقد أدى تشل الذرات إلى تبدد الضباب الكوني، وإلى تحرر الصدى الساطع للانفجار العظيم. وما برحت الفوتونات البدائية تجوب الفضاء منذئذ.

حسنًا، باستثناء مهم. فرغم أن الجسيمات المشحونة كهربيا لم تعد تتقاذف الفوتونات هنا وهناك، فقد ظلت الفوتونات خاضعة لتأثير آخر مهم. فمع تمدد الفضاء، صار كل شيء أخف كثافة وأشد برودة، بما في

ذَلكَ الفوتونات. لكن خلافًا لجسيمات المادة فإن الفوتونات لا تتباطأ حين تبرد؛ إذ نظرًا لكونها الجسيمات التي يتألف منها الضوء فهي تتحرك بسرعة الضوء. بدلًا من ذَلكَ فعندما تبرد الفوتونات فإن ترددات الاهتزازية تقل، وهو ما يعني أن لونها يتغير. فالفوتونات البنفسجية ستتحول إلى اللون الأزرق، ثمّ الأخضر، ثمّ الأصفر، ثم الأحمر، ثم إلى ما دون الأحمر (مثل تلك التي نراها في نظارات الرؤية الليلية)، ثمّ الموجات الميكرونية (مثل تلك التي تسخِّن الطعام عن طريق التقافز داخل فرن الميكروويف)، ثمّ في النهاية إلى نطاق الترددات الراديوية.

كان جاموف أول من أدرك أن هذا كله يعني أنّه لو كانت نظرية الانفجار العظيم صحيحة، فمن المفترض عندئذٍ أن يكون الفضاء كله مليئًا بالفوتونات المتخلِّفة عن مولد الكون، وتندفع في كل مكان، وتتحدد ترددات الاهتزازية من منطلق المدى الذي تمدد به الكون وبرد خلال مليارات الأعوام التي انقضت منذ تحررها، وتوصل ألفر ومعاونه روبرت هيرمان إلى الإدراك عينه بدرجة أعلى من الدقة. وقد بينت الحسابات الرياضية التفصيلية أن الفوتونات من المفترض أن تكون قد بردت إلى درجة تناهز الصفر المطلق، وهو ما يضعها في نطاق تردد الأشعة الميكرونية من الطيف. ولهذا السبب يطلق عليها اسم «إشعاع الخلفية الميكروني الكوني».

قرأتُ مؤخرًا أوراق جاموف وألفر وهيرمان البحثية التي أعلنت في أواخر أربعينيات القرن العشرين عن هذه النتائج وفسَّرتها، وهي تعد حقًّا من عجائب الفيزياء النظرية. ورغم أن التحليلات الفنية المتضمنة لا تتطلب أكثر من خلفية أساسية عن فيزياء المستوى الجامعي، فإنها تقدم نتائج عميقة. وقدْ خلص الباحثون إلى أننا جميعًا يغمرنا فيض من الفوتونات، ذَلكَ الإرث الكوني الذي ورثناه من المولد المتقد للكون.

في ضوء كل هذا، ربما يكون من قبيل المفاجأة أن هذه الأوراق البحثية جرى تجاهلها، وكان سبب ذلك في الأساس هو أنها كُتبَت خلال حقبة هيمنت عليها ميكانيكا الكم والفيزياء النووية. لم يكن علم الكونيات قد حظي وقتها بمكانته بوصفه علمًا كميًّا، لذا لم يكن مجتمع الفيزيائيين مُرَحِّبًا كما ينبغي بهذه الدراسات النظرية التي بدت هامشية. وبدرجة ما، لم تحقق هذه الأوراق البحثية النجاح المنشود بسبب أسلوب جاموف المازح غير المألوف (فمثلا عدَّل جاموف أسماء مؤلفي ورقة بحثية كتبها مع ألفر كي يدرج اسم صديقه هانز بيته، الذي فاز بجائزة نوبل لاحقًا، كي يجعل السطر الثاني في العنوان - ألفر، بيته، جاموف - يبدو شبيها بالأحرف الثلاثة الأولى في الأبجدية اليونانية[23])، وهذا جعل بعض الفيزيائيين لا يأخذونه على محمل الجد بالقدر الذي يستحقه. ورغم المحاولات التي بذلها جاموف والفر وهيرمان، فلم يتمكنوا من إثارة اهتمام أي شخص بالأمر، ناهيك عن إقناع الفلكيين بتسخير مقدار الجهد المطلوب من أجل محاولة رصد بقايا الإشعاع التي تنبأوا بوجودها. وسريعا ما طوى النسيان هذه الأوراق.

في أوائل ستينيات القرن العشرين سار الفيزيائيان روبرت ديك وجيم بيبلز من جامعة برينستون في طريق مشابه، من دون أن يعلما بشأن الدراسات السابقة، وأدركا أيضاً أن إرث الانفجار العظيم من المفترض أن يكون حاضرًا على صورة إشعاع خلفية يملأ الفضاء بأسره[24]. لكنّ خلافا لأعضاء فريق جاموف البحثي، كانَ ديك فيزيائيا تجريبيا لهُ باع، ومن ثمّ فلم يكن بحاجة إلى إقناع أي شخص برصد الإشعاع تجريبيا؛ إذ كانَ بمقدوره فعل هذا بنفسه. وبالمشاركة مع تلميذيه ديفيد ويلكنسون وبيتر رول، وضع ديك برنامجا تجريبيا لرصد بعض من الفوتونات المتخلفة عن الانفجار العظيم. لكنّ قبل أن فريق برينستون من اختبار خطتهم هذه، تلقوا إحدى أشهر المكالمات الهاتفية في تاريخ العلم.

فبينما كانَ ديك وبيبلز يجريا حساباتهما، كان الفيزيائيان أرنو بنزياس وروبرت ويلسون في مختبرات بل، على بُعد أقل من ثلاثين ميلاً من برينستون، يعانيان في سبيل ضبط أحد هوائيات الاتصال اللاسلكي

(من قبيل المصادفة أن الهوائي كانَ مبنيًا على تصميم توصل إليه ديك في أربعينيات القرن العشرين). وبصرف النظر عن التعديلات التي كانا يجريانها، فقد كانَ الهوائي يصدر هسيسا من الضوضاء الثابتة التي لا سبيل إلى تجنبها. لكن بعد ذَلكَ وقعت سلسلة عارضة من المحادثات أدت إلى اكتشاف مهم. بدأ الأمر بكلمة ألقاها بيبلز في فبراير من عام 1965 في جامعة جونز هوبكنز وكان يحضرها كينيث تيرنر، اختصاصي الفلك الراديوي بمعهد كارنيجي، والذي ذكر النتائج التي سمع بيبلز يلقيها لزميله برنارد بيرك من معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، والذي تصادف أنّه كان على اتصال مع بنزياس في مختبرات بِل. وحين سمع فريق بل بالأبحاث التي يجريها فريق برينستون، أدركوا أن هناك سببًا وجيهًا وراء الهسيس الصادر عن الهوائي: إذ إنه كانَ يلتقط إشعاع الخلفية الميكروني الكوني. اتصل بنزياس وويلسون بديك، الذي سريعًا ما أكد لهما أنهما رصدا من دون قصد أصداء الانفجار العظيم.

اتفقت المجموعتان على نشر ورقتيهما البحثيتين على نحو متزامن في المجلة الفيزيائية الفلكية المرموقة. وقدْ ناقشت مجموعة برينستون نظريتها بشأن الأصل الكوني الإشعاع الخلفية الكوني، بينما أعلنت مجموعة مختبرات بِل، بأكثر العبارات تحفظًا ومن دون ذكر علم الكونيات مطلقًا، عن رصد إشعاع ميكروني متجانس يتغلغل الفضاء، ولم تذكر أي الورقتين شيئاً عن الأبحاث السابقة لجاموف وألفر وهيرمان. وقدْ حصل بنزياس وويلسون على جائزة نوبل في عام 1978 عن هذا الاكتشاف.

شعر جاموف وألفر وهيرمان بضيق شديد، وكافحوا بقوة خلال السنوات التالية كي يجري الاعتراف بأعمالهم. وبالفعل بدأ مجتمع الفيزياء تدريجيًّا وعلى نحو متأخر في تقدير الدور الأساسي الذي لعبوه في هذا الاكتشاف الهائل.

التجانس العجيب للفوتونات العتيقة

خلال العقود التي تلت رصد إشعاع الخلفية الميكروني الكوني للمرة الأولى، صار هذا الإشعاع أداة جوهرية في الدراسات الكونية. والسبب واضح. ففي عدد كبير من المجالات، يكون الباحثون على استعداد للتنازل عن كل غال ونفيس كي يحصلوا على لمحة مباشرة من الماضي. وبدلا من ذَلكَ يتعين عليهم أن ينسجوا نظرةً لأحداث بعيدة عنهم مستندين في ذَلكَ على أدلة شحيحة متبقية؛ كالحفريات المتآكلة أو رقع الكتابة المتحللة أو بقايا المومياوات. غير أن علم الكونيات من المجالات التي يمكننا فيها أن نشاهد التاريخ بالفعل. فنقاط ضوء النجوم التي يمكننا رؤيتها بالعين المجردة هي في الحقيقة تيارات من الفوتونات التي تحركت نحونا لبضع سنوات أو بضعة آلاف من السنوات. أما الضوء الآتي من الأجرام الأبعد، والملتقط بواسطة تليسكوبات قوية، فقد تحرك نحونا منذ زمن أبعد، قد يصل إلى مليارات السنوات في بعض الأحيان. وحين تنظر إلى هذا الضوء العتيق فإنك - حرفيا - ترى الأزمنة العتيقة. إنّ تلك الأحداث البدائية انقضت منذ زمن بعيد، غير أن التماثل الظاهري واسع النطاق للكون يدعم بقوة الرأي القائل بأن ما كانَ يحدث في مكان بعيد إنما كانَ يحدث، عموما، هنا بالمثل. فعند النظر إلى الأعلى نحن ننظر كذلك إلى الماضي.

تمكننا فوتونات الإشعاع الميكروني الكوني من تحقيق الاستفادة القصوى من هذه الفرصة. لكنّ بصرف النظر عن مقدار التقدم التكنولوجي الذي قد يتحقق، فإن الفوتونات الميكرونية هي أقدم الفوتونات التي يمكننا أن نأمل العثور عليها؛ لأن شقيقاتها الأقدم ظلت حبيسة الظروف الضبابية التي سادت خلال الحقب المبكرة من عمر الكون. وحين ندرس فوتونات إشعاع الخلفية الميكرونية الكوني فإننا في الواقع نرصد لمحة عن الكيفية التي كانت عليها الأمور منذ نحو 14 مليار عام.

تبين الحسابات أن في وقتنا الحالي يمرق نحو 400 مليون من هذه الفوتونات الميكرونية من كل سنتيمتر مكعب من الفضاء. ورغم أن أعيننا تعجز عن رؤية هذه الفوتونات، فإن أجهزة التلفاز القديمة تستطيع ذَلكَ. فنحو 1 بالمائة من الشوشرة التي تراها على شاشة التلفاز حين تفصل سلك الإشارة عنه وتضبطه على محطة توقفت عن البث يرجع أصله إلى استقبال الفوتونات المتخلفة عن الانفجار العظيم. إنها فكرة لافتة للنظر: أن موجات الهواء عينها التي تحمل حلقات مسلسلي All in the Family وThe Honeymooners محملة كذلك ببعض من أقدم حفريات الكون؛ تلك الفوتونات التي تنقل لنا أحداثًا درامية وقعت حين كانَ الكون يبلغ من العمر بضع مئات الآلاف من السنوات وحسب.

كان تنبؤ نموذج الانفجار العظيم الذي يقضي بأن الفضاء مليء بإشعاع الخلفية الميكروني انتصارًا حقيقيًا. فخلال ثلاثمائة عام فقط من التفكير العلمي والتقدم التكنولوجي، انتقل نوعنا من النظر عبر تليسكوبات بدائية وإسقاط الكرات من الأبراج المائلة إلى فهم العمليات الفيزيائية التي سادت بعد مولد الكون بقليل. ومع هذا فقد أثارت الدراسة الإضافية للبيانات تحديا واضحاً؛ إذ إنّ القياسات متزايدة الدقة لدرجة حرارة الإشعاع، والتي أجريت بواسطة بعض من أدق المعدات الفلكية وليس أجهزة التلفاز، أظهرت أن الإشعاع متماثل بالكامل - على نحو غامض - في كل أنحاء الفضاء. فبغض النظر عن الموضع الذي توجه نحوه الراصد الخاص بك، ستبلغ درجة حرارة الإشعاع 2.725 درجة فوق الصفر المطلق بالضبط. واللغز هنا يتمثل في تفسير الكيفية التي تحقق بها هذا التماثل المذهل.

في ضوء الأفكار المطروحة في الفصل الثاني (وتعليقي الوارد منذ أربع فقرات)، يمكنني تخيلك وأنت تقول: «حسنًا، هذا تجسيد للمبدأ الكوني الذي يقضي بأنه لا وجود الموضع متميز في الكون عندَ مقارنته بغيره، لذا من المفترض أن تكون درجة حرارة كل المواضع متماثلة». لا بأس في هذا المنطق. لكنّ

تذكر أن المبدأ الكوني كانَ افتراضًا مُبَسَّطًا استعان به فيزيائيون، منهم آينشتاين، بغية جعل التحليل الرياضي لتطور الكون أيسر في التناول. وبما أن إشعاع الخلفية متماثل بالفعل في كل أرجاء الفضاء، فإنه بهذا يقدم دليلًا رصدًّا مقنعًا على صحة المبدأ الكوني، ويعزز ثقتنا في النتائج التي ساعد هذا المبدأ في الكشف عنها. بيد أن ذَلكَ التجانس المذهل للإشعاع يسلط ضوءا ساطعا على المبدأ الكوني نفسه. فرغم ما يبدو عليه المبدأ الكوني من منطقية، ما الآلية التي أرست ذَلكَ التجانس الذي تؤكده المشاهدات على مستوى الكون؟

أسرع من الضوء

مررنا جميعًا بذلك الإحساس غير المريح الناتج عن مصافحة شخص ذو يد دافئة بشدة (وهو ليس بالأمر شديد السوء) أو يد باردة بشدة (وهو أمر أسوأ بالتأكيد). لكن لو طالت فترة المصافحة، ستجد أن الفارق في درجة الحرارة سيتعادل سريعًا. فعندما يحدث اتصال بين الأجسام، تنتقل الحرارة من الجسم الساخن إلى البارد، حتى تصير درجة الحرارة متساوية. أنت تمر بهذا طوال الوقت. ولهذا السبب تصير قهوتك التي تركتها على مكتبك في درجة حرارة الغرفة نفسها.

المنطق عينه يفسر تماثل إشعاع الخلفية الميكروني الكوني. فكما هو الحال عندَ المصافحة أو قدح القهوة، يعكس التماثل في درجة الحرارة على الأرجح عودة البيئة إلى درجة حرارة إجمالية مشتركة. الجانب الجديد الوحيد في هذه العملية هو أن هذه العودة من المفترض أنها حدثت عبر مسافات كونية.

لكنّ في نظرية الانفجار العظيم، يفشل هذا التفسير.

فالاتصال المشترك يعد شرطًا أساسيًا كي تصل الأماكن أو الأشياء إلى درجة حرارة مشتركة. قد يكون الاتصال مباشرًا، مثل المصافحة، أو بسيطًا، عن طريق تبادل المعلومات التي تتيح للأماكن المتباعدة أن تصبح مترابطة. فقط عن طريق هذا التأثير المتبادل يمكن الوصول إلى بيئة عامة مشتركة. فالترموس مثلاً مصمم بحيث يمنع مثل هذا التفاعل، بحيث يعوق ذَلكَ الاتجاه نحو التماثل ويحافظ على الاختلاف في درجة الحرارة.

هذه الملاحظة البسيطة توضح المشكلة التي تكتنف التفسير الساذج للتماثل في درجة حرارة الكون. وإذا تدبرنا أي موضعين في الفضاء تفصلهما مسافة شاسعة - على سبيل المثال نقطة تقع إلى أقصى يمينك، في أعماق سماء الليل لدرجة أن أول ضوء صدر منها وصلك الآن وحسب، ونقطة ثانية مشابهة تقع إلى أقصى يسارك - سنجد أنّه لم يحدث اتصال بينهما قطّ. فرغم أن بإمكانك رؤية كلتا النقطتين، فإن الضوء الصادر عن إحداهما لا يزال يتعين عليه قطع مسافة شاسعة قبل أن يصل إلى الأخرى. ومن ثمّ فإن الراصدين الافتراضيين الموجودين في النقطتين الواقعتين في أقصى اليسار وأقصى اليمين لم يحدث بعد أن شاهد أحدهما الآخر، وبما أن سرعة الضوء تمثل الحد الأقصى للسرعة التي يستطيع أي شيء التحرك بها، لم يحدث بينهما أي اتصال بعد. ولو استعنا بلغة الفصل السابق سنقول إنّ كلًا منهما يقع وراء الأفق الكوني الخاص بالآخر.

هذا الوصف يجسد اللغز بوضوح. ولو كانَ قاطنو هذين الموقعين البعيدين يتحدثون اللغة عينها ويمتلكون مكتبات تحوي الكتب عينها لكان هذا أمرًا صادمًا. فكيف يتسنى تأسيس تراث مشترك من دون أي اتصال؟ أيضًا ستصيبك الصدمة بالمثل لحين تعلم أن هذين الموقعين اللذين تفصل بينهما مسافات شاسعة ولا يوجد بينهما أي اتصال يتشاركان درجة الحرارة عينها، بقدر من الدقة يزيد على أربعة مواقع عشرية.

حين أدركتُ هذا اللغز، منذ سنوات، أصابني الذهول. لكن حين أمعنت التفكير فيه أصابتني حيرة شديدة. فكيف يمكن لجسمين كانا قريبين أحدهما من الآخر فيما مضى - وهو ما نؤمن أنه حال الأشياء كلها في الكون القابل للرصد وقت الانفجار العظيم - أن ينفصلا بسرعة كبيرة لدرجة أن الضوء الصادر عن أحدهما لا يتاح له الوقت الكافي كي يصل إلى الآخر؟ إن الضوء هو الحد الكوني الأقصى للسرعة، فكيف إذًا يمكن أن تفصل بين جسمين مسافة أكبر من تلك التي أتيح للضوء وقت كي يقطعها؟

إجابة هذا السؤال توضح نقطة لا تتلقى دائمًا القدر الذي تستحقه من التأكيد. فالحد الأقصى للسرعة الذي يفرضه الضوء يشير فقط إلى حركة الأجسام داخل المكان. غير أن المجرات لا تبتعد بعضها عن بعض

لأنها تتحرك داخل المكان - فالمجرات ليست مزودة بمحركات نفاثة - وإنما لأن الفضاء ذاته يتضخم، ومن ثمّ تنجرف المجرات بعيداً بفعل هذا التمدد الإجمالي للفضاء[25]. وفي حقيقة الأمر لا تفرض النسبية أي قيود على السرعة التي يمكن أن يتضخم بها الفضاء، لذا لا يوجد حد أقصى للسرعة التي تتباعد بها المجرات عن بعضها. فمعدل التباعد بين مجرتين يمكن أن يتجاوز أي سرعة، بما في ذَلك سرعة الضوء.

وفي الواقع، تبين الحسابات الرياضية للنسبية العامة أن في اللحظات الأولى من عمر الكون تضخم الفضاء بسرعة شديدة لدرجة أن مناطق الكون تباعدت بسرعة تفوق سرعة الضوء. ونتيجة لذلك ما كانَ لها أن تبذل أي تأثير على بعضها بعضاً. الصعوبة إذاً تكمن من تفسير التطابق شبه التام في درجة الحرارة بين مناطق كونية منفصلة، وهو لغز سماه علماء الكونيات (مشكلة الأفق).

آفاقُ متزايدة الاتساع

في عام 1979 توصل آلان جوث (وكان يعمل وقتها في مركز معجَّل ستانفورد الخطّي) إلى فكرة يُعتقَد أنها حلت مشكلة الأفق، وذلك بعد التنقيحات المحورية التي أدخلها كل من أندري ليندە (وكان وقتها يُجري أبحاثه في معهد ليبيديف للفيزياء في موسكو)، وبول ستينهارد وأندرياس ألبريشت (وهو فريق مكون من أستاذ وطالب كانا يجريان أبحاثهما في جامعة بنسلفانيا). ويرتكز الحل، علم الكونيات التضخمي»، على سمات دقيقة لنسبية آينشتاين العامة سأصفها بعد قليل، لكنّ من الممكن توضيح خطوطها العامة على الفور.

تُعد مشكلة الأفق من نقاط الضعف في نظرية الانفجار العظيم، وسبب ذَلكَ هو أن المناطق المختلفة يتباعد بعضها عن بعض بسرعة كبيرة لا تسمح بإرساء التجانس في درجة الحرارة. وتحل النظرية التضخمية هذه المشكلة عن طريق إبطاء السرعة التي تنفصل بها المناطق المختلفة في زمن مبكر، بما يمنحها الوقت الكافي كي تمتلك درجة الحرارة عينها. بعد ذَلكَ تفترض النظرية أن بعد اكتمال هذه «المصافحة الكونية» حلت فترة قصيرة من التمدد السريع المباغت - تسمى «التمدد التضخمي» - والتي عوضت هذه البداية المتثاقلة، ودفعت المناطق المختلفة نحو مواضع بعيدة للغاية عن بعضها في السماء. لم تعد الظروف المتماثلة التي رصدناها تمثل لغزاً، نظرًا لأن درجة الحرارة المتماثلة قد تحدَّدت قبل انفصال المناطق السريع عن بعضها[26]. هذه هي الخطوط العريضة للمقترح التضخمي[27].

ومع ذَلكَ ضع في حسبانك أن الفيزيائيين لا يُملون على الكون الكيفية التي يتمدد بها. فبقدر ما نعرف من واقع أدق المشاهدات، فإن معادلات نسبية آينشتاين العامة هي التي تفعل ذَلكَ. ومن ثمّ فإن صلاحية السيناريو التضخمي تعتمد على ما إذاً كانَ تعديله المقترح للتمدد التقليدي الذي تذهب إليه نظرية الانفجار العظيم يمكن أن ينتج عن حسابات آينشتاين الرياضية أم لا. وللوهلة الأولى يبدو الأمر بعيداً عن التصور.

على سبيل المثال، أنا واثق تماماً من أنك لو جئت بنيوتن ومنحته مقدمة تعريفية عن النسبية العامة، موضحا الخطوط العامة لمفهوم انحناء المكان وتمدد الكون، فسيجد أن وصفك التالي للمقترح التضخمي مجافي للمنطق. سيشدد نيوتن على أنّه بصرف النظر عن الرياضيات المعقدة واللغة العصرية التي استخدمها آينشتاين، فلا تزال الجاذبية قوة جاذبة. ومن ثمّ، سيؤكد بقوة على أن الجاذبية تقرب الأجسام بعضها من بعض، وتبطئ أي تباعد كوني. فالتمدد الذي بدأ متهادياً، ثمّ تسارع بقوة لفترة وجيزة، قد يحلّ مشكلة الأفق، لكنه محض خيال. فسيعلن نيوتن أنّه مثلما يقضي الجذب الناتج عن قوة الجاذبية بأن سرعة كرة البيسبول المضروبة تنخفض بينما تتحَّرك الكرة إلى الأعلى، فهو يعني بالمثل أن التمدد الكوني يجب أن يتباطأ مع مرور الوقت. بطبيعة الحال لو انخفض التمدد وصولًا على الصفر ثمّ تحول إلى انكماش كوني، فبإمكان ذَلكَ الانهيار أن يتسارع مع مرور الوقت، تماماً مثلما تزيد سرعة الكرة حين تبدأ رحلة الهبوط. أماً سرعة التمدد المكاني المتجه إلى الخارج فمن المستحيل أن تزيد.

غير أن نيوتن مخطئ، ولا يسعنا أن نلومه على ذَلكَ. فالمشكلة كانت في الملخص الخاطف الذي منحته إياه عن النسبية العامة. لا تسيئ فهمي، فمن المنطقي تماماً أنّه في ضوء الدقائق الخمس المتاحة (والتي أمضيت واحدة منها تتحدث عن كرة البيسبول) سيكون تركيزك منصبا على الزمكان المنحني بوصفه مصدر الجاذبية. لقد لفت نيوتن نفسه الانتباه إلى حقيقة أنّه لا توجد آلية معروفة لنقل الجاذبية، ودائما ما اعتبر ذَلكَ الأمر ثغرة في نظريته. من الطبيعي أن ترغب في توضيح حل آينشتاين لهُ، غير أن نظرية آينشتاين عن الجاذبية لم تكتفِ بسد الثغرة الموجودة في فيزياء نيوتن. فالجاذبية في النسبية العامة تختلف

في جوهرها عن الجاذبية في فيزياء نيوتن، وفي السياق الحالي ثمة سمة محددة تستدعي التشديد عليها. في نظرية نيوتن، تنشأ الجاذبية فقط من كتلة الجسم. فكلما كانت الكتلة أكبر، كانت قوة الجاذبية الخاصة بالجسم أعظم. أماً في نظرية آينشتاين فالجاذبية تنشأ من كتلة الجسم (وطاقته) علاوة على الضغط الخاص به. قم بوزن كيس محكم الغلق من رقائق البطاطس، ثمّ أعد الوزن لكنّ هذه المرة اضغط الكيس بحيث يكون الهواء الموجود داخله في حالة ضغط أعلى. وفق نيوتن، سيظل الوزن ثابتاً، لأنه لم يحدث أي تغير في الكتلة. لكنّ وفق آينشتاين سيكون الكيس المنضغط أثقل وزناً بقليل؛ لأنه رغم أن الكتلة ظلت ثابتة، فقد حدثت زيادة في الضغط[28]. في ظروف الحياة اليومية لا نعي هذا الأمر، لأن التأثير الواقع على الأجسام العادية ضئيل للغاية. ومع ذَلكَ توضح النسبية العامة، والتجارب التي أكدت على صحتها، بوضوح تام أن هذا الضغط يسهم في الجاذبية.

هذا الانحراف عن نظرية نيوتن لهُ دور محوري. فضغط الهواء، سواء الهواء الموجود داخل كيس رقائق البطاطس أو المنطاد أو الغرفة التي تُقرأ فيها حاليا هذا الكتاب، ضغط موجب، ومثل الكتلة الموجبة فهو يسهم في الجاذبية إسهاماً إيجابياً، بحيث يؤدي إلى زيادة الوزن. لكنّ بينما تكون الكتلة موجبة على الدوام، ثمة مواقف يكون فيها الضغط سالبًا. تدبر الرباط المطاطي المشدود. إنّ جزيئات الرباط تجاهد كي تجذب الرباط إلى الداخل، لا إلى الخارج، وتبذل بذلك ما يسميه الفيزيائيون «الضغط السالب» (أو «الشَّد»). ومثلما تبين النسبية العامة أن الضغط الموجب يؤدي إلى قوة جاذبية جاذبة، فهي تبين كذلك أن الضغط السالب يؤدي إلى العكس: قوة جاذبية طاردة.

جاذبية طاردة؟

من شأن فكرة كهذه أن تسبب صدمة شديدة لنيوتن؛ فالجاذبية في نظره كانت قوة جاذبة وحسب. لكنّ من غير المفترض أن يدهشك هذا الأمر؛ فقد قابلت بالفعل هذا الجانب العجيب الخاص بالجاذبية في النسبية العامة. هل تذكر ثابت آينشتاين الكوني، الذي ناقشناه في الفصل السابق؟ لقد أوضحت حينها أن عن طريق تزويد المكان بطاقة متجانسة، من شأن الثابت الكوني أن يولد جاذبية طاردة. لكني في ذَلكَ التناول الموجز لم أفسر سبب حدوث ذَلكَ، وبوسعي الآن عمل ذَلكَ. فالثابت الكوني لا يمد نسيج المكان بطاقة متجانسة تتحدد وفق قيمة الثابت (العدد الموجود في البند الثالث من إقرار النسبية الضريبي)، لكنه أيضاً يملأ المكان بضغط متجانس سالب (سنرى سبب ذَلكَ بعد قليل). وكما ذكرنا من قبل فعندما يتعلق الأمر بطاقة الجاذبية التي ينتجها كل نوع من الضغط، يتسبب الضغط السالب في عكس ما تفعله الكتلة السالبة والضغط السالب؛ إذ يؤدي إلى جاذبية طاردة[29].

بين يدي آينشتاين، استُخدمت الجاذبية الطاردة من أجل غرض واحد خاطئ؛ إذ اقترح آينشتاين ضبط مقدار الضغط السالب الذي يتغلغل الفضاء ضبطا دقيقا كي يضمن أن الجاذبية الطاردة الناتجة تعادل تماماً قوة الجاذبية الجاذبة التي تبذلها محتويات الكون المادية المألوفة، بحيث ينتج عن ذَلكَ كون ساكن. وكما رأينا فقد أعلن بعد ذَلكَ تراجعه عن هذه الفكرة. لكنّ بعد ستة عقود، اقترح أصحاب النظرية التضخمية نوعًا من الجاذبية الطاردة يختلف عن نسخة آينشتاين بالقدر الذي تختلف به سيمفونية مالر الثامنة عن أزيز شوكة رنانة. فبدلاً من الدفع اللطيف الثابت إلى الخارج الذي من شأنه أن يجعل الكون يتسم بالاستقرار، تتصور النظرية التضخمية حدوث دفعة هائلة من الجاذبية الطاردة تتسم بكونها قصيرة للغاية وشديدة الحدة. كانَ لدى مناطق الكون متسع من الوقت قبل هذه الدفعة كى تصل إلى درجة الحرارة عينها لكنّها بعد ذَلكَ قطعت، بفعل هذه الدفعة مسافات عظيمة كي تصل إلى مواضعها المرصودة في السماء.

من المؤكد أن يرمق نيوتن، عندَ هذه النقطة، بنظرة استهجان أخرى؛ إذ من شأنه، وهو المتشكك دائماً، أن يجد مشكلة أخرى في التفسير الذي تطرحه. وبعد الاطلاع على التفاصيل الأكثر تعقيدا للنسبية العامة عن طريق استعراض أحد الكتب الدراسية التقليدية، سيتقبل الحقيقة العجيبة التي تقضي بأن الجاذبية يمكنها - من حيث المبدأ - أن تكون طاردة. لكنه سيتساءل: ما كل هذا الحديث عن الضغط السالب الذي يتغلغل الفضاء؟ إنّ استخدام مثال الشريط المطاطي الذي يُشَد إلى الداخل من أجل توضيح الضغط السالب شيء، لكنّ القول بأنه منذ مليارات الأعوام، وقت حدوث الانفجار العظيم تقريباً، كانَ الفضاء مليئا بشكل عابر بضغط سالب هائل ومتجانس أمر مختلف تماماً. فما الشيء، أو العملية أو الكيان، الذي لهُ القدرة على توفير هذا القدر من الضغط السالب العابر والمنتشر في الوقت ذاته؟

تجلت عبقرية أصحاب نظرية التضخم في تقديمهم إجابة لهذا السؤال. فقد بينوا أن الضغط السالب المطلوب كي تَنتُج دفعة الجاذبية المضادة على نحو طبيعي إنما ينشأ عن آلية جديدة تتضمن مكونات تُعَرف باسم «المجالات الكمية». وهذه المجالات لها أهمية عظيمة في ما يخص قصتنا؛ لأن الطريقة التي حدث بها التمدد التضخمي تلعب دورًا محوريًّا في نسخة الأكوان الموازية التي يُنتجها.

المجالات الكمية

في أيام نيوتن، كانت الفيزياء معنية بحركة الأجسام التي نراها - كالأحجار وقذائف المدافع والكواكب - وعكست المعادلات التي توصَّل إليها هذا التركيز بقوة. فقوانين نيوتن للحركة هي تجسيد رياضي للكيفية التي يمكن بها لهذه الأجسام الملموسة أن تتحرك حين تُدفَع أو تُجذَب أو تُقذَف في الهواء. وعلى مدار أكثر من قرن أثبت هذا النهج نجاحه الباهر؛ لكنّ في بدايات القرن التاسع عشر أحدث العالم الإنجليزي مايكل فاراداي تحولاً فكريًّا كبيراً حين استحدث مفهوم «المجال»، ذَلكَ المفهوم المحيَّر والفعال للغاية.

أنت تعرف ما سيحدث حين تمسك مغناطيسًا عاديًّا وتضعه على مسافة بوصة واحدة أعلى دبوس ورق معدني؛ إذ سيقفز الدبوس في الهواء ويلتصق بالمغناطيس. هذا المثال مألوف بدرجة كبيرة؛ لدرجة أن من السهل التغافل عن مقدار ما به من غرابة. فقد استطاع المغناطيس أن يحرك الدبوس من دون أن يلمسه على الإطلاق. كيف أمكن حدوث هذا؟ كيف يمكن بذل تأثير ما في غياب أي اتصال مادي مع الدبوس نفسه؟ هذه الاعتبارات وكثير غيرها قادت فاراداي إلى افتراض أنّه رغم عدم لمس المغناطيس للدبوس، فإنه يُنتِج شيئاً آخر يفعل هذا. وقدْ أطلق فاراداي على هذا الشيء اسم «المجال المغناطيسي».

نحن نعجز عن رؤية المجالات التي تنتجها المغناطيسات، ولا يمكننا سماعها وليست حواسنا مهيأة لرصدها؛ غير أن هذا يعكس مواطن قصورنا الفسيولوجية لا أكثر، فمثلما تولد شعلة اللهب حرارة، يولد المغناطيس بالمثل مجالًا مغناطيسيًّا. فالمجال المغناطيسي الواقع في ما وراء الحدود المادية للمغناطيس الصلب هو في حقيقته «ضباب رقيق» أو «جوهر» يملأ المكان المحيط وينقل تأثير المغناطيس. وما المجالات المغناطيسية إلا نوع واحد من المجالات وحسب. فالجسيمات المشحونة تؤدي إلى نشوء نوع آخر من المجالات المجالات الكهربية كتلك التي تسبب الصدمة التي تشعر بها أحياناً عندما تمسك مقبض الباب المعدني في غرفة مكسوة بالسجاد من الحائط للحائط. وقدْ بينت تجارب فاراداي، على نحو غير متوقَّع، أن المجالين الكهربي والمغناطيسي مرتبطان ارتباطاً وثيقاً: إذ وجد أن أي تغيير في المجال الكهربي يولد مجالًا مغناطيسياً، والعكس بالعكس. وفي أواخر القرن التاسع عشر سخَّرَ جيمس كلارك ماكسويل القوة الرياضية لمعالجة هذه الأفكار، ووصف المجالين الكهربي والمغناطيسي من منطلق أعداد مُعينَّة لكل نقطة في المكان؛ بحيث تعكس قيم الأعداد قدرة المجال على بذل التأثير في ذَلكَ الموضع تحديداً. فالمواضع المكانية التي تكون فيها القيم العددية للمجال المغناطيسي كبيرة؛ مثل حجيرة التصوير بالرنين المغناطيسي، هي المواضع التي ستستشعر فيها الأجسامُ المعدنية قوةَ دفع أو جذب كبيرة. والمواضع المكانية التي تكون فيها القيم العددية للمجال الكهربي كبيرة، كما هو الحال داخل سحابة رعدية، هي المواضع التي من الممكن أن يحدث فيها تفريغ كهربي قوي؛ على غرار البرق.

اكتشف ماكسويل معادلات - باتت تحمل اسمه الآن - تحكم الكيفية التي تتفاوت بها شدة المجالين الكهربي والمغناطيسي من نقطة إلى أخرى داخل المكان، ومن لحظة إلى أخرى في الزمن. وهذه المعادلات عينها تحكم بحر المجالات الكهربية والمغناطيسية المتموج؛ تلك المجالات التي تُسمى «الموجات الكهرومغناطيسية»، والتي تغمرنا جميعاً. فإذا قمت بتشغيل هاتفك المحمول أو المذياع أو كمبيوتر متصل لا سلكيا ستمثل الإشارات الملتقطة نسبة ضئيلة للغاية من الاتصالات الكهرومغناطيسية التي تندفع في صمت من حولك ومن خلالك في كل ثانية. وأغرب ما في الأمر أن معادلات ماكسويل كشفت أن الضوء المرئي ذاته عبارة عن موجة كهرومغناطيسية؛ موجة تطورت أعيننا بحيث تستطيع التقاط نمط اهتزازها.

في النصف الثاني من القرن العشرين وحَّد الفيزيائيون مفهوم المجال مع فهمهم البازغ للعالم فائق الصغر

الذي تجسده ميكانيكا الكم. وتقدم نتيجة هذا التوحيد، نظرية المجال الكمي، إطار عمل رياضيًّا لأكثر نظرياتنا دقة عن المادة وقوى الطبيعة. وباستخدام هذه النظرية أثبت الفيزيائيون أن بالإضافة إلى المجالين الكهربي والمغناطيسي توجد مجموعة كبيرة من المجالات الأخرى التي تحمل أسماء مثل «مجال القوة النووية القوية» و«مجال القوة النووية الضعيفة» و«مجال الإلكترون» و «مجال الكوارك» و«مجال النيوترينو». وثمة مجال آخر يظل إلى اليوم افتراضي بالكامل، هو «مجال التضخم»، يُعد أساسًا نظريًّا لعلم الكونيات التضخمي[30].

المجالات الكمية والتضخم

المجالات تحمل طاقة. من المنظور الكيفي نحن نعلم هذا لأن المجالات تنجز مهام تتطلب طاقة؛ على غرار جعل الأشياء (مثل دبابيس الورق) تتحرك. ومن المنظور الكمي فإن معادلات نظرية المجال الكمي تبين لنا كيفية حساب مقدار الطاقة التي يحويها مجال ما، وذلك في ضوء القيمة العددية للمجال في موضع معين. في المعتاد، كلما كانت القيمة أكبر كانت الطاقة أكبر. من الممكن أن تتباين قيمة المجال من موضع إلى آخر، لكنّ من المفترض أن تكون ثابتة، وأن تأخذ القيمة عينها في كل مكان، بحيث يملأ كل نقطة من المكان بالطاقة عينها. كانت الفكرة الثاقبة التي تصل إليها جوث هي أن هذه الأنساق المتجانسة للمجال لا تملأ المكان فقط بطاقة متجانسة، وإنما تملأه كذلك بضغط سالب متجانس. وبهذا توصل جوث إلى آلية فيزيائية لتوليد الجاذبية الطاردة.

من أجل معرفة سبب توليد المجال المتجانس ضغطاً سالباً، فكر أولاً في موقف أكثر اعتيادًا يتضمن ضغطًا موجباً: فَتح زجاجة شامبانيا دون بريميون. فبينما تخرج الفلينة ببطء، يمكنك أن تشعر بالضغط الموجب لثاني أكسيد الكربون المُندفع إلى الخارج، بحيث يدفع الفلينة من الزجاجة إلى يدك. ومن الحقائق التي يمكنك التحقق منها مباشرة أن هذا الضغط إلى الخارج لا يستهلك سوى طاقة قليلة من الشامبانيا. هل تعرف تلك الأبخرة اللولبية المتصاعدة من فوهة الزجاجة بعد إزالة الفلينة؟ تتشكل هذه الأبخرة لأن الطاقة المبذولة بواسطة الشامبانيا في دفع الفلينة تؤدي إلى انخفاض في درجة الحرارة يتسبب في جعل بخار الماء المحيط يتكثف، على نحو يشبه ما يحدث حين تخرج الزفير في يوم شتوي بارد.

والآن تخيل أنك استعضت عن الشامبانيا بشيء أقل بهرجة لكنّ أكثر توضيحاً للمقصود: مجال ذو قيمة ثابتة في كل أنحاء الزجاجة. حين تخرج الفلينة هذه المرة، ستكون الخبرة التي تمُر بها مختلفة كثيراً. فبينما تزيح الفلينة إلى الخارج، ستتسبب في جعل حيز إضافي صغير داخل الزجاجة متاحا للمجال كي ينتشر فيه. وبما أن المجال المتجانس يسهم بالطاقة عينها في كل موقع، فكلما كانَ الحيز الذي يملأه المجال أكبر، صارت الطاقة الإجمالية التي تحويها الزجاجة أكبر. وهذا يعني أن على العكس مما حدث في حالة الشامبانيا فإن فعل إخراج الفلينة يضيف طاقة إلى الزجاجة.

كيف يتسني حدوث هذا؟ من أين تأتي هذه الطاقة؟ حسناً، فكر في ما يحدث لو كانت محتويات الزجاجة تجذب الفلينة إلى الداخل، بدلاً من أن تدفعها إلى الخارج. سيتطلب هذا منك أن تجذب الفلينة كي تخرجها، وهو بذل الجهد من شأنه أن ينقل بالتبعية الطاقة من عضلاتك إلى محتويات الزجاجة. ومن أجل تفسير الزيادة في طاقة الزجاجة، نخلص من هذا إلى أنّه خلافاً للشامبانيا، التي تدفع الفلينة إلى الخارج، من شأن المجال المتجانس أن يجذبها إلى الداخل. هذا هو ما نعنيه بقولنا إنّ ثمة مجالا متجانا يتسبب في ضغط سالب، وليس في ضغط موجب.

رغم عدم وجود نادل يجذب الفلينة من الكون، فإن النتيجة عينها تطبق على الوضع: فإذا كانَ هناك مجال - مجال التضخم الافتراضي - لهُ قيمة متجانسة ومتماثلة في منطقة مكانية ما، فإنه لن يملأ هذه المنطقة بالطاقة، وإنما بضغط سالب. وهذا الضغط السالب، كما ندرك الآن، ينتج جاذبية طاردة تؤدي إلى تمدد دائم التسارع للمكان. حين أدخل جوث في معادلات آينشتاين القيم العددية المرجيحة لطاقة وضغط التضخم بما يتفق مع البيئة المتطرفة التي سادت حقبة الكون المبكر، كشفت الحسابات الرياضية أن الجاذبية الطاردة الناتجة ستكون هائلة. فمن شأنها أن تكون أقوى أضعافا مضاعفة من تلك القوة الطاردة التي تصورها آينشتاين منذ سنوات خلت حين كانَ يتلاعب بالثابت الكوني، ومن شأنها أن تؤدي إلى تمدد مكاني مذهل. كانَ هذا الأمر مثيرا في حد ذاته، لكنّ جوث أدرك أن ثمة مكافأة أخرى إضافية مصاحبة

لهُ.

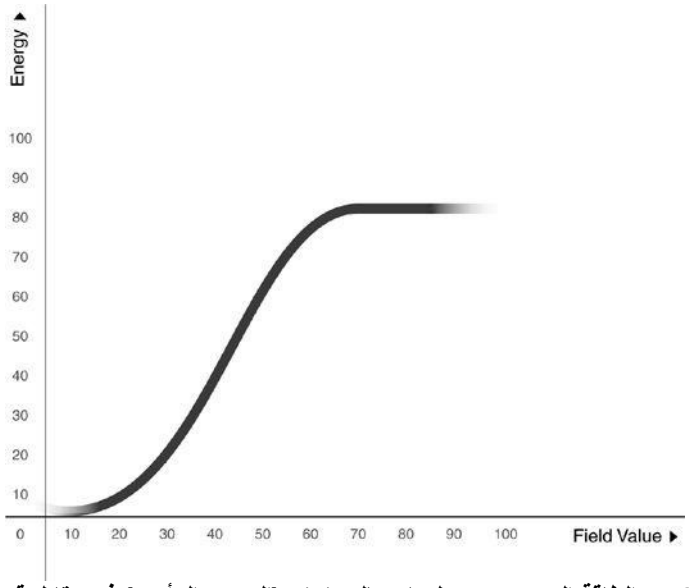
فالمنطق عينه الذي يفسر لماذا يمتلك مجال متجانس ضغطا سالبا ينطبق بالمثل على الثابت الكوني. (لو كانت الزجاجة تحتوي على فضاءٍ خاوٍ مزود بثابت كوني، عندئذٍ حين تخرج الفلينة ببطء فإن الفضاء الذي تتسبب في وجوده داخل الزجاجة سيسهم بطاقة إضافية. والمصدر الوحيد لهذه الطاقة الإضافية هو عضلاتك، التي لا بد أنها قاومت ضد الضغط السالب الجاذب إلى الداخل الذي يتسبب فيه الثابت الكونى.) وكما هو الحال في المجال الموحد فإن الضغط السالب المتجانس للثابت الكوني سيُنتِج بالمثل جاذبية مضادة. غير أن النقطة المحورية هنا لا تكمن في أوجه الشبه في حد ذاتها، وإنما في الطريقة التي يختلف بها الثابت الكوني عن المجال المتجانس فالثابت الكوني هو كذلك بالضبط؛ ثابت، عدد محدد يُقحَم في البند الثالث من بنود الإقرار الضريبي الخاص بالنسبية العامة، ومن شأنه أن يولد الجاذبية الطاردة ذاتها اليوم مثلما فعل منذ مليارات الأعوام. على العكس من ذَلكَ فإن قيمة المجال من الممكن أن تتغير، بل وتتغير بالفعل, فعندما تشتمل فرن الميكروويف فأنت تغير المجال الكهرومغناطيسي الذي يملأ حيزه الداخلي، وحين يشتمل الفني جهاز أشعة الرنين المغناطيسي فإنه يغير المجال الكهرومغناطيسي الذي يتخلل تجويف الجهاز. وقدْ أدرك جوث أن بإمكان مجال التضخم الذي يملأ الفضاء أن يتصرف على نحو مشابه - بحيث يعمل لفترة وجيزة ثمّ يتوقف عن العمل - وهذا من شأنه أن يتيح للجاذبية الطاردة أن تعمل خلال نافذة زمنية ضيقة. هذا أمر ضروري. فقد أكدت المشاهدات أنّه لو كانَ ذَلكَ النمو القوي المباغت للفضاء قد حدث على الإطلاق، فلا بد أنّه حدث منذ مليارات الأعوام، ثمّ هدأ بحدة ليصل إلى التمدد ذي الوتيرة الثابتة الذي تدلل عليه القياسات الفلكية التفصيلية. ومن ثمّ فمن السمات المهمة للغاية لمقترح التضخم أن تكون فترة الجاذبية الطاردة العاتية فترة عابرة وحسب.

تعتمد آلية تشغيل ثمّ إيقاف دفعة التضخم على عمليات فيزيائية كانَ جوث أول من توصل إليها، لكنّ قام كل من لينده وألبريشت وستينهارد بتنقيحها إلى درجة كبيرة. ومن أجل تفهم مقترحه، تخيل أن لدينا كرة – أو الأفضل من هذا تخيل أن لدينا شكلا كرويا يشبه شخصية إريك كارتمان[31] - جالساً على نحو متقلقل على قمة أحد جبال ساوث بارك الجليدية المغطاة بالجليد. سيقول أي فيزيائي إنّ كارتمان يجسد طاقة بسبب موقعه هذا. وعلى نحو أدق فإن كارتمان يجسد طاقة وضع، بمعنى أن لديه طاقة كامنة على استعداد للتحرر، وأيسر سبيل لهذا هو عن طريق التدحرج نزولا من فوق قمة الجبل، وهذا من شأنه أن يحول طاقة الوضع إلى طاقة حركية (طاقة الحركة). وتؤكد خبراتنا، وكذلك قوانين الفيزياء، أن هذا أمر معتاد. فأي منظومة تحوي بين طياتها طاقة وضع سوف تستغل أي فرصة كي تحرر تلك الطاقة. باختصار، الأشياء تسقط من علٍ.

الطاقة التي يحملها أي مجال غير صفري هي أيضاً طاقة وضع: ومن الممكن أن تتحرر هي الأخرى، وتكون النتيجة شبيهة للغاية بما حدث مع كارتمان. فكما أن الزيادة في طاقة الوضع التي يحصل عليها كارتمان بينما يتسلق الجبل تتحدد بواسطة شكل المنحدر - في المناطق المستوية تتفاوت طاقة الوضع بقدر طفيف وهو يسير؛ لأنه لا يرتفع إلا قليلاً، بينما في المناطق المنحدرة ترتفع طاقة الوضع بحدة - فإن طاقة الوضع الخاصة بالمجال توصف بواسطة شكل مشابه؛ يُطلق عليه اسم (منحنى طاقة الوضع). وهذا المنحنى، كالمبين في الشكل 3-1، يحدد الكيفية التي تتباين بها طاقة الوضع الخاصة بالمجال مع تغير قيمته.

وحسب ما يخبرنا به رواد مفهوم التضخم، لنتخيل إذاً أن في اللحظات الأولى من عمر الكون كانَ المكان كله مليئًا بمجال تضخم، تضعه قيمته في موقع مرتفع على منحنى طاقة الوضع. يحثنا هؤلاء الفيزيائيون كذلك على أن نتخيل أن منحنى طاقة الوضع يستوي إلى أن يشبه سهلًا مستويًا (كما في الشكل 3-1)،

بما يسمح للتضخم بأن يجثم بالقرب من القمة. ما الذي سيحدث إذاً في ظل هذه الظروف المُفترضة؟



شكل 3-1: الطاقة التي يحتوي عليها مجال تضخم (المحور الرأسي) في مقابل قيم معينة للمجال (المحور الأفقي).

سيحدث أمران، كلاهما حاسم. فعندما يكون التضخم في حالة استواء، فإنه يملأ الفضاء بطاقة وضع ضخمة وبضغط سالب، بحيث يؤدي إلى دفعة من التمدد التضخمي.

لكنّ مثلما يحرر كارتمان طاقة الوضع الخاصة به عن طريق التدحرج نزولاً على المنحدر، يطلق التضخم طاقة الوضع الخاصة به عن طريق انخفاض قيمته، في أرجاء المكان، نزولا إلى أعداد منخفضة. وبينما تقل قيمته فإن الطاقة والضغط السالب اللذين يضمهما يتشتتان، وهو ما يسبب نهاية فترة التمدد الجامح. وعلى القدر ذاته من الأهمية فإن الطاقة المتحررة بفعل مجال التضخم لا تفقد؛ بل عوضا عن ذَلكَ فإن طاقة التضخم تتكثف على صورة تيار متجانس من الجسيمات التي تملأ الفضاء، على نحو يشبه تكثف البخار الموجود داخل إناء آخذ في البرودة على صورة قطيرات. وهذه العملية الثنائية - التمدد الوجيز والسريع، متبوعاً بحفظ الطاقة داخل الجسيمات - يؤدي إلى وجود حيز مكانى كبير متجانس مملوء بالمادة الخام الخاصة بالبنى المألوفة كالنجوم والمجرات.

تعتمد التفاصيل الدقيقة على عوامل لم تتحدد بعد لا من الناحية النظرية ولا من خلال: المشاهدات (القيمة المبدئية لمجال التضخم، والشكل المحدد لمنحنى طاقة الوضع، وما إلى ذَلكَ من عوامل)[32] لكنّ في النسخ التقليدية تبين الحسابات الرياضية أن طاقة التضخم سوف تنخفض كثيراً خلال جزء بسيط من الثانية، يقدر بنحو 10^{-35} ثانية، ومع ذَلكَ فخلال هذه الفترة الوجيزة سيتمدد الفضاء بمعامل هائل، يبلغ نحو 10 أكثر. هذه الأرقام هائلة للغاية لدرجة أن يصعب تشبيهها بشيء مألوف. وهي تعني ضمنا أن من شأن منطقة من الفضاء بحجم حبة البازلاء أن تتضخم إلى حجم يزيد على حجم الكون القابل للرصد في فترة زمنية قصيرة للغاية، أقصر من طرفة عين بنحو مليون مليار مليار مليار مرة.

لكنّ بصرف النظر عن صعوبة تصوّر هذا النطاق، فالمهم في الأمر أن منطقة الفضاء التي تمددت إلى حجم الكون القابل للرصد كانت صغيرة للغاية بحيث وصلت إلى درجة حرارة متجانسة قبل أن تتمدد بسرعة إلى هذا الحجم الكوني الهائل. وقدْ أدى التمدد التضخمي، متبوعاً بمليارات الأعوام من التطور الكوني اللاحق، إلى انخفاض درجة الحرارة هذه انخفاضا كبيراً، غير أن التجانس المحدد منذ البداية أدى إلى النتيجة المتجانسة التي نشهدها اليوم. وهذا يحلّ لغز الكيفية التي وُجدت بها الظروف الكونية

المتطابقة. فمع التضخم، تصير درجة الحرارة المتماثلة عبر الفضاء أمراً حتمياً[33].

صار التضخم، خلال العقود الثلاثة التي تلت اكتشافه، موضوعاً أساسياً للدراسات الكونية. لكنّ من أجل الحصول على صورة دقيقة للبانوراما البحثية، عليك أن تدرك أن التضخم إطار مفاهيمى كوني، وليس نظرية محددة. فقد بَّين الباحثون أن هناك طرق عدة لتناول موضوع التضخم، وهي تتباين في تفاصيل على غرار عدد مجالات التضخم التي توفر الضغط السالب، ومنحنيات طاقة الوضع الخاصة التي يكون كل مجال معرَّضاً لها، وما شابه. ولحسن الحظ فإن التناول المتعدد للتضخم أدى إلى بعض التبعات المشتركة، ومن ثمّ بوسعنا أن نستقي بعض النتائج حتّى في غياب نسخة واحدة محددة.

ثمة نتيجة بعينها لها أهمية خاصة، وقدْ كانَ أول من أدرك هذه النتيجة بشكل وافي ألكسندر فايلكين من جامعة تافت، وواصل آخرون العمل على تنقيحها، من أبرزهم ليندە. وفي الواقع هذه النتيجة هي السبب الذي دعاني إلى تكريس نصف هذا الفصل لشرح الإطار التضخمي.

في نسخ عدة من النظرية التضخمية لا تكون دفعة التمدد المكاني حدثاً متفرداً يقع مرة واحدة وحسب. بل على العكس من ذَلكَ فإن العملية التي تتشكل من خلالها منطقتنا الكونية - التمدد السريع للفضاء، متبوعاً بانتقال إلى تمدد عادي أبطأ، بالتزامن مع إنتاج للجسيمات - من الممكن أن تحدث مراراً وتكراراً في مواضع متباعدة في أرجاء الكون. من منظور شامل سيبدو الكون عامراً بمناطق متباعدة لا حصر لها، وكل منطقة منها نتاج لخروج جزء من الفضاء من دفعة تضخمية. فعالمنا، ذَلكَ الكون الذي ظننا دائماً أنّه الكون الوحيد، لن يكون سوى منطقة واحدة فقط من هذه المناطق المتعددة، موجود داخل حيز مكاني شديد الاتساع. وإذا كانَ هناك وجود لحياة عاقلة في المناطق الأخرى، فمن المؤكد أن تظن تلك الكائنات بالمثل أن كونها هو الكون الوحيد. وهكذا يقودنا علم الكونيات التضخمي نحو النسخة الثانية من فكرة الأكوان الموازية.

ومن أجل تفهم الكيفية التي يتحقق بها هذا الكون المتعدد التصخمي، علينا أن نتناول تعقيدين من التعقيدات التي تغاضى عنها تشبيه كارتمان الذي استخدمتهُ.

أولاً، قدمت صورة كارتمان الجاثم أعلى قمة الجبل تشبيها لتضخم يضم داخله مقداراً كبيراً من طاقة الوضع والضغط السالب، وهو متأهب للتدحرج إلى قيم أقل. لكنّ بينما يجثم كارتمان على قمة جبل واحدة، فإن مجال التضخم لهُ قيمة في كل نقطة داخل الفضاء. وتقترح النظرية أن مجال التضخم بدأ بالقيمة عينها في كل موضع داخل منطقة ابتدائية. وهكذا ستحصل على صورة أدق لو تخيلنا شيئاً غريباً بقدر ما: نسخ عديدة من كارتمان تجثم فوق عدد كبير، قريب للغاية من بعضه، من قمم الجبال المتطابقة الممتدة في أرجاء امتداد مكاني.

ثانياً، لم نتعرض حتّى الآن إلا بالكاد للجانب «الكمي» من نظرية المجال الكمي. فمجال التضخم، شأن كل شيء آخر في كوننا الكمي، خاضع لمبدأ عدم اليقين. وهذا يعني أن قيمته سوف تكون عرضاً لتذبذبات كمية عشوائية، بحيث ترتفع لحظيًّا بقدر يسير في هذا الموضع وتنخفض قليلاً في ذاك. في المواقف اليومية المعتادة تكون التذبذبات الكمية أصغر من أن نلاحظها، غير أن الحسابات تبين أنّه كلما كانت طاقة التضخم أكبر، زادت التقلبات التي يمر بها بفعل عدم اليقين الكمي. وبما أن محتوى طاقة التضخم خلال الدفعة التضخمية كانَ شديد الارتفاع، فقد كانت التذبذبات في حقبة الكون المبكر كبيرة ومهيمنة[34].

علينا إذاً ألاّ نتصور فقط وجود نسخ عديدة من كارتمان جاثمة فوق قمم جبال متطابقة، بل علينا كذلك أن نتصور أنها جميعاً خاضعة لسلسلة عشوائية من الاهتزازات؛ والتي تكون قوية في موضع ما وضعيفة

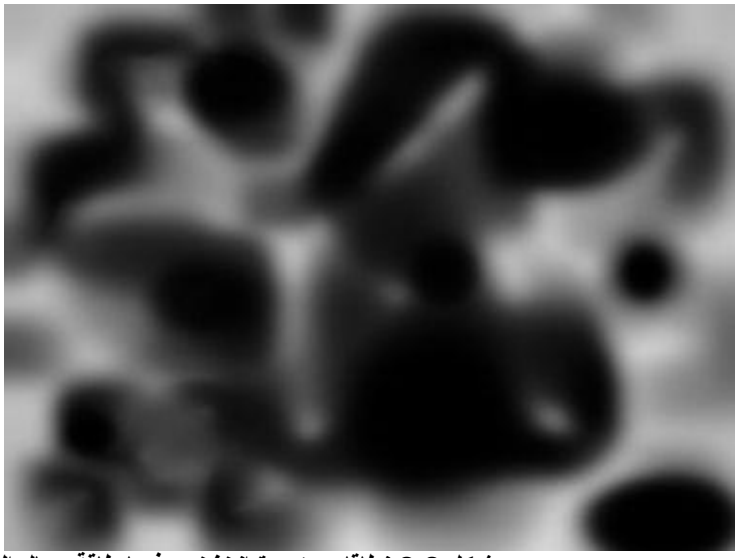
في آخر وقوية للغاية في موضع ثالث. ستظل النسخ العديدة من كارتمان جاثمة فوق قمم الجبال لفترات متباينة؛ ففي بعض المواضع سقط هزة قوية أغلب نسخ كارتمان الموجودة بحيث تسقط، وفي مواضع أخرى ستتسبب الهزات المعتدلة في إسقاط عدد قليل منها، وفي مواضع أخرى ربما تبدأ بعض نسخ كارتمان في السقوط، لكنّ تتسبب هزة عنيفة في إرجاعها إلى مكانها في الأعلى مجددا. وبعد قليل، ستكون المنطقة مقسمة إلى تشكيلة متنوعة عشوائية من النطاقات - مثلما تنقسم الولايات المتحدة إلى ولايات - وفي بعضها لن توجد أي نسخ من كارتمان على قمم الجبال، بينما في البعض الآخر ستظل نسخ عديدة من كارتمان جاثمة في أماكنها.

إنّ الطبيعة العشوائية للتذبذبات الكمية تؤدي إلى نتيجة مشابهة في حالة مجال التضخم. فيبدأ المجال وهو محمل بطاقة وضع كبيرة في كل نقطة داخل منطقة مكانية ما. بعد ذَلكَ تعمل الاهتزازات الكمية عمل الهزات الأرضية. ولهذا السبب، كما هو مبين في الشكل 3-2، ينقسم الامتداد المكاني سريعاً إلى نطاقات منفصلة: في بعضها تتسبب التذبذبات الكمية في جعل المجال يفقد ما يحمله من طاقة وضع، وفي البعض الآخر يظل محتفظاً بطاقته.

حتّى الآن كل شيء على ما يرام. لكنّ عليك الانتباه أن هذا هو الموضع الذي يختلف فيه علم الكونيات عن تشبيه كارتمان. فالمجال المحمل بطاقة الوضع يؤثر على بيئته على نحو أقوى كثيراً من كارتمان الجاثم أعلى الجبل. ومن واقع العبارة المألوفة لدينا - أن الطاقة المتجانسة والضغط السالب للمجال يولدان جاذبية طاردة - ندرك أن المنطقة التي يتخللها المجال تتمدد بمعدل هائل. يعني هذا أن تطور مجال التضخم عبر الفضاء تحركه عمليتان متعارضتان. فالتذبذبات الكمية، التي تنحو إلى التسبب في انهيار المجال، «تقلل» مقدار الفضاء المتشرب بطاقة المجال العالية. والتمدد التضخمي، الذي يزيد بسرعة من حجم النطاقات التي يظل فيها المجال مستقراً، «يزيد» حجم الفضاء المتشرب بطاقة المجال المرتفعة.

أي العمليتين ستكون لها اليد العليا؟

في السواد الأعظم من النسخ المقترحة لعلم الكونيات التضخمي، تحدث الزيادة بمعدل يزيد على النقصان أو يساويه. وسبب ذلك أن أي مجال تضخمي يمكن أن ينهار على ذاته، سريعا ما يولد تمددا تضخميًا كي يحل مشكلة الأفق، وفي نسخ التضخم الناجحة من منظور علم الكونيات فإن الزيادة بهذه الصورة تنتصر على النقصان، وهو ما يضمن أن الحيز الإجمالي للفضاء الذي تكون فيه طاقة المجال عالية يزيد مع مرور الوقت. وإذ ندرك أن مثل هذه الأنساق الخاصة بالمجالات تؤدي إلى مزيد من التمدد التضخمي، نرى أنّه بمجرد بدء التضخم فإنه لا ينتهي مطلقا.

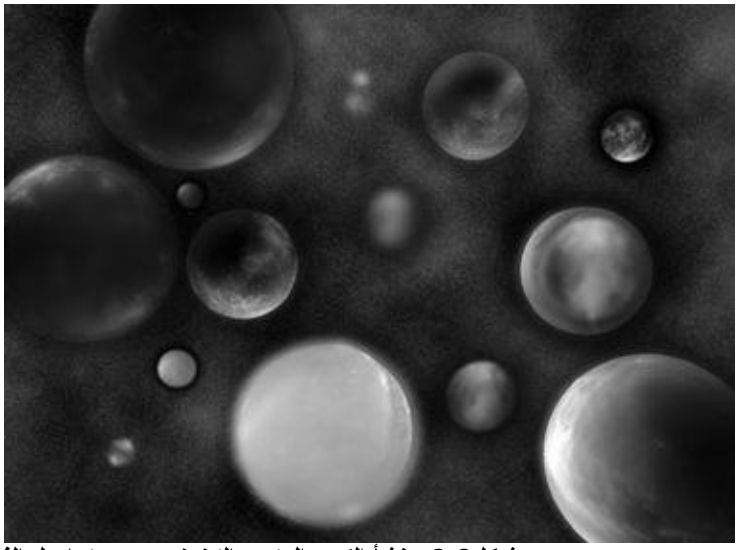


شكل 3-2:نطاقات متعددة انخفضت فيها طاقة مجال التضخم (اللون الرمادي الداكن) أو ظلت مرتفعة (اللون الرمادي الفاتح).

الأمر أشبه بانتشار جائحة فيروسية. فمن أجل القضاء على التهديد، عليك أن تمحو الفيروس بمعدل أسرع من معدل تكاثره. إنّ الفيروس التضخمي «يتكاثر» - فقيمة المجال المرتفعة تولد تمددا مكانيا سريعاً، ومن ثمّ تملأ نطاقا أكبر بالقيمة المرتفعة ذاتها - وهو يفعل هذا بمعدل أسرع من العملية المنافسة التي تقضي عليه. فالفيروس التضخمي يقاوم الاجتثاث بكل فاعلية[35].

الجبن السويسري والكون

توضح هذه الأفكار، إجمالا، أن علم الكونيات التضخمي يؤدي إلى صورة جديدة تماماً عن الواقع، صورة من الممكن استيعابها بسهولة بالغة عن طريق تشبيه بصري بسيط. فكر في الكون باعتباره قطعة عملاقة من الجبن السويسري، بحيث تكون المناطق المكتنزة بالجبن هي المناطق التي فيها قيمة التضخم مرتفعة، والثقوب هي المناطق التي تكون فيها القيمة منخفضة. يعني هذا أن الثقوب هي المناطق الشبيهة بمنطقتنا، والتي خرجت من حالة التمدد فائق السرعة، وخلال تلك العملية حولت طاقة مجال التضخم إلى شلال من الجسيمات، والتي مع الوقت قد تتجمع في صورة مجرات ونجوم وكواكب. وفق هذا التشبيه نجد أن الجبن الكوني يكتسب المزيد والمزيد من الثقوب لأن العمليات الكمية تعمل على خفض قيمة التضخم في مواقع عشوائية متعددة. لكنّ في الوقت عينه فإن الأجزاء المكتنزة بالجبن تتمدد أكثر وأكثر لأنها معرضة للتمدد التضخمي الناتج عن قيمة مجال التضخم المرتفعة التي تحويها. وتؤدي هاتان العمليتان معاً إلى تمدد دائم في حجم قطعة الجبن الكوني، التي يتخللها عدد دائم الزيادة من الثقوب. وبلغة علم الكونيات العادية يسمى كل ثقب من هذه الثقوب باسم «الفقاعة الكونية» (أو الجيب الكوني)[36]. وكل منها موجود داخل الحيز الكوني الأخذ في التمدد بسرعة فائقة (الشكل 3-3).



شكل3-3: ينشأ الكون المتعدد التضخمي حين تواصل الفقاعات الكونية التشكل داخل بيئة مكانية آخذة في التمدد يتخللها مجال تضخم عالي الطاقة.

لا تدع التسمية «الفقاعة الكونية»، المعبرة لكنّ الموحية بتفاهة الشأن، تخدعك. فكوننا هائل الحجم. وإن احتمالية كونه منطقة واحدة منطمرة داخل بنية كونية أكبر - أي كونه فقاعة واحدة موجودة داخل كتلة عملاقة من الجبن الكوني - لهي مؤشر على الحيز الشاسع للكون إجمالا وفق النموذج التضخمي. وهذا ينطبق على الفقاعات الأخرى كذلك؛ فكل فقاعة منها تمثل كونًا كاملا - حيزا ديناميكًا ضخمًا وحقيقيًّا - مماثلًا لكوننا.

ثمة نسخ من النظرية التضخمية لا يكون فيها التضخم أبديًّا. فعن طريق تغيير بعض التفاصيل على غرار عدد مجالات التضخم ومنحنيات طاقة الوضع الخاصة بها، يستطيع المنظرون البارعون ترتيب الأمور بحيث ينهار التضخم سريعاً في كل مكان. غير أن هذه المقترحات هي الاستثناء لا القاعدة. إنّ نماذج التضخم المتعددة تولد عدداً هائلاً من الفقاعات الكونية المحفورة داخل حيز مكاني آخذ في التمدد على نحو أبدي. وهكذا فإذا كانت النظرية التضخمية صحيحة، وإذا كانَ تجسدها المادي ذو الصلة أبديًّا كما تستنتج العديد من الدراسات النظرية، فسيمثل وجود الكون المتعدد التضخمي نتيجة حتمية.

في ثمانينيات القرن العشرين، حين أدرك فايلكين الطبيعة الأبدية للتمدد التضخمي والأكوان الموازية التي سيتسبب في وجودها، ذهب متحمساً لزيارة آلان جوث في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا كي يخبره بالأمر. وفي منتصف حديثه مال رأس جوث إلى الأمام؛ إذ غلبه النوم. لم تكن تلك إشارة سيئة بالضرورة؛ إذ إنّ جوث معروف عنه أنّه يغفو كثيراً خلال محاضرات الفيزياء - حدث هذا بضع مرات خلال خطابات كنت ألقيها - ثمّ يفتح عينيه كي يوجه بعضاً من أعمق الأسئلة. غير أن مجتمع الفيزياء الأوسع لم يكن أكثر حماسة من جوث، لذا نحَّى فايلكين الفكرة جانبًا. وانتقل إلى العمل على مشروعات أخرى.

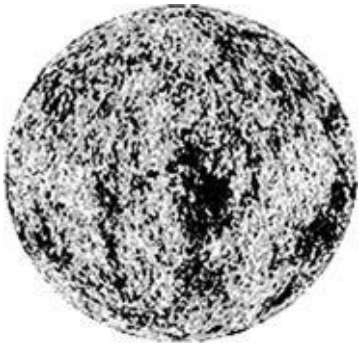
صار الرأي العام مختلفًا في وقتنا الحالي. فعندما كانَ فايلكين يفكر للمرة الأولى في الكون المتعدد التضخمي، كانت الأدلّة الداعمة على نحو مباشر للنظرية التضخمية نفسها شحيحة. لذا، في نظر القلة التي اكترثت من الأساس بالأمر فإن فكرة تسبُّب التمدد التضخمي في إنتاج تشكيلة واسعة من الأكوان الموازية بدت أقرب إلى التخمين المبني على تخمين. لكن في السنوات التي تلت ذلك، صارت الأدلّة الرصدية المؤيدة للتضخم أقوى بكثير، وذلك بفضل القياسات الدقيقة لإشعاع الخلفية الميكروني الكوني. ورغم أن التماثل المرصود لإشعاع الخلفية الميكروني كانَ أحد المحفزات الرئيسية التطوير النظرية التضخمية، فإن أنصارها الأوائل أدركوا أن التمدد المكاني السريع من شأنه ألاّ يجعل الإشعاع متجانسًا على نحو تام. بل عوضًا عن ذلك فقد ذهبوا إلى أن التذبذبات الكمية التي تسبب التمدد التضخمي في استطالتها من شأنها أن تكسو التماثل بتفاوتات طفيفة في درجات الحرارة، أشبه بالموجات الرقيقة المنتشرة على سطح بركة ساكنة. وقدْ تبين أن لهذه الفكرة تأثير عظيم للغاية.[37]

وإليك السبب.

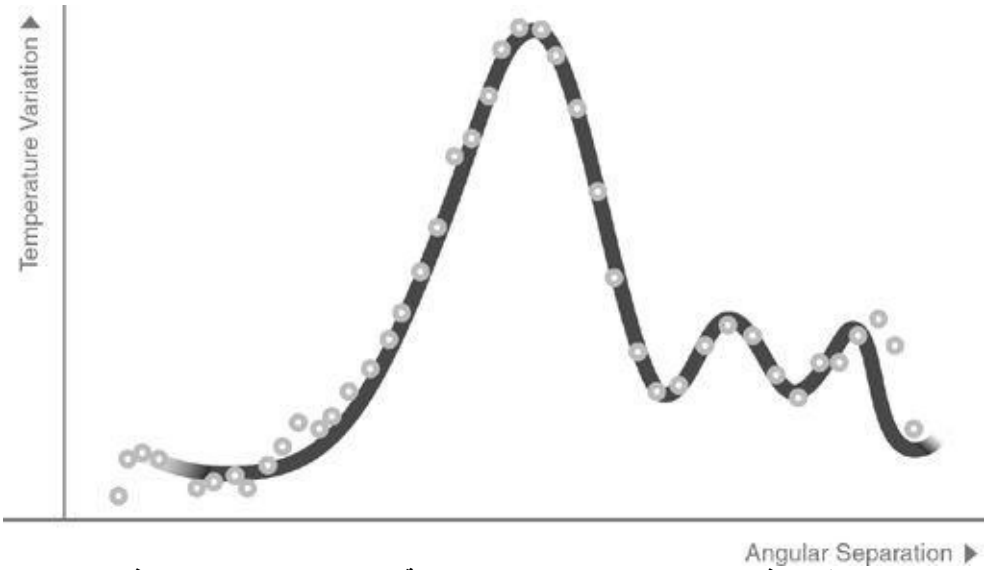
من شأن مبدأ عدم اليقين الكمي أن يؤدي إلى تذبذب قيمة مجال التضخم. وفي الواقع، لو كانت النظرية التضخمية صحيحة، فإن دفعة التمدد التضخمي توقفت هنا لأن تذبذبا كميًا كبيرًا ومواتيًا، حدث منذ نحو 14 مليار عام، تسبب في انهيار التضخم في منطقتنا. بيد أن القصة أكبر من ذلك. فبينما أخذت قيمة التضخم تنخفض وصولا إلى النقطة التي يتوقف فيها التضخم في فقاعتنا الكونية، فقد ظلت هذه القيمة خاضعة لتأثير التذبذبات الكمية. وهذه التذبذبات بدورها تسببت في جعل قيمة التضخم أعلى في هذا الموضع وأقل في ذاك، على نحو يشبه السطح المتموج لملاءة مفرودة وهي تهبط على حشية الفراش. وقدْ تسبب هذا في تفاوتات طفيفة في الطاقة التي احتوى التضخم عليها عبر الفضاء. هذه التفاوتات الكمية تكون في المعتاد دقيقة للغاية وتحدث على نطاقات مكانية فائقة الصغر لدرجة أنها تكون غير ذات أهمية على مستوى المسافات الكونية، بيد أن التمدد التضخمي أبعد ما يكون عن الطبيعي.

إن تمدد الفضاء سريع للغاية، حتّى خلال الفترة التالية على حقبة التضخم، لدرجة أن العالم فائق الصغر من شأنه أن يستطيل بحيث يصل إلى المستوى العياني. ومثلما تكون الكلمات الدقيقة المكتوبة على بالون فارغ أيسر في القراءة حين يتسبب الهواء في تمدد سطح البالون، فإن تأثير التذبذبات الكمية يصير واضحًا حين يتسبب التمدد التضخمي في استطالة نسيج الكون. وعلى نحو أدق فإن الاختلافات الطفيفة في الطاقة التي تسببها التذبذبات الكمية تستطيل وتصير تفاوتات في درجة الحرارة تغدو محفورة داخل إشعاع الخلفية الميكروني الكوني. وتبين الحسابات أن اختلافات درجة الحرارة لن تكون ضخمة تماماً، وإنما تبلغ نحو جزء من الألف من الدرجة. فإذا كانت درجة الحرارة تبلغ 2.725 درجة كلفينية في منطقة ما، فستجعلها التذبذبات الكمية المنبسطة أبرد قليلاً، بحيث تبلغ 2.7245 درجة كلفينية، أو أسخن

قليلاً، بحيث تبلغ 2.7255 درجة كلفينية، في المناطق المجاورة.
وقدْ سعت المشاهدات الفلكية الدقيقة الدؤوبة إلى رصد هذه التفاوتات في درجات الحرارة، ووجدتها بالفعل. وكما تنبأت النظرية فهي تبلغ بالفعل نحو جزء من الألف من الدرجة (انظر الشكل 3-4). والأكثر إثارة للدهشة أن هذه الاختلافات الدقيقة في درجة الحرارة تتفق بدقة مع النمط الذي تصفه الحسابات النظرية لتفاوت درجات الحرارة. ويقارن الشكل 3-5 بين التنبؤات النظرية المتعلقة بتفاوت درجات الحرارة على صورة دالة للمسافة بين منطقتين (كما هي مقيسة عن طريق الزاوية بين خطوط البصر المتتابعة عند النظر إليها من الأرض) وبين القياسات الفعلية. والاتفاق مذهل بحق.
فاز جورج سموت وجون ماثر بجائزة نوبل في الفيزياء لعام 2006، وقد قاد الاثنان أكثر من ألف باحث في فريق «مستكشف الخلفية الكونية»[38] في أوائل تسعينيات القرن العشرين وكانوا أول من يرصد هذه الاختلافات في درجات الحرارة. وخلال العقد الماضي أدت كل عملية قياس دقيقة وجديدة، تقدم بيانات كتلك المبينة في الشكل 3-5، إلى تأكيد جديد لصحة التفاوتات المُتنبأ بها في درجة الحرارة.
توجت هذه الأبحاث قصة استكشاف مثيرة بدأت بأفكار آينشتاين وفريدمان ولومتر، وحظيت بدفعة قوية بفضل حسابات جاموف وألفر وهيرمان، ثم بُثت فيها الحياة بفضل أفكار ديك وبيبلز، وثبتت أهميتها بفضل مشاهدات بنزياس وويلسون، ووصلت إلى ذروتها الآن بفضل أعمال جيش من الفلكيين والفيزيائيين والمهندسين الذين تمخضت جهودهم عن قياس البصمة الكونية فائقة الصغر التي طبعت منذ مليارات الأعوام.
على مستوى نوعي أكثر، ينبغي علينا جميعاً أن نكون شاكرين لتلك البقع الظاهرة في الشكل 3-4. فمع نهاية التضخم داخل فقاعتنا الكونية، بذلت المناطق ذات مستويات الطاقة الأعلى قليلاً (وعلى نحو مكافئ، وعبر المعادلة الطاقة تساوي الكتلة مضروبة في مربع سرعة الضوء، هي أيضاً المناطق نفسها ذات الكتلة الأعلى قليلاً قوة جاذبية أقوى قليلاً من المعتاد، بحيث جذبت مزيداً من الجسيمات من المنطقة المحيطة بها، ومن ثم فقد كَبُرَ حجمها. وهذا الناتج الإجمالي الأكبر بذل بالتبعية قوة جاذبية أكبر، ومن ثمّ اجتذب المزيد من المادة وزاد حجمه أكثر وأكثر. ومع الوقت، أدى هذا التأثير المتعاظم إلى تكون كتل المادة والطاقة التي تطورت، عبر مليارات الأعوام، بحيث شكلت المجرات والنجوم داخلها. وبهذه الطريق تقيم النظرية التضخمية رابطا واضحاً بين أكبر البني وأصغرها داخل الكون. فوجود المجرات والنجوم والكواكب، بل والحياة نفسها، نابع من عدم اليقين الكمي الذي تسبب التمدد التضخمي في تعزيزه.



شكل 3-4: التمدد المكاني الهائل في علم الكونيات التضخمي أدى إلى استطالة التفاوتات الكمية من المستوى فائق الصغر إلى المستوى العياني، وهو ما أدى إلى تفاوتات قابلة للرصد في درجة الحرارة داخل إشعاع الخلفية الميكروني الكوني (البقع الداكنة أبرد قليلاً من نظيرتها الفاتحة).



شكل 3-5: نمط اختلافات درجات الحرارة داخل إشعاع الخلفية الميكروني الكوني. التفاوت في درجات الحرارة محمل بالمحور الرأسي، بينما الفصل بين أي موقعين (كما يقاسا بواسطة الزاوية بين خطي البصر المتعاقبين عندَ النظر من الأرض؛ بحيث تكون الزوايا الأكبر إلى اليسار والأصغر إلى اليمين) ممثل بالمحور الأفقي[39] . المنحنى النظري ممثل بالخط المتصل، أماً البيانات الرصدية ممثلة بالدوائر.

قد تكون الأسس النظرية للتضخم غير راسخة؛ فالتطور على كل حال ما هو إلا مجال افتراضي لم يتم إلى الآن التحقق من وجوده، ومُنحنى طاقة الوضع الخاص به مُفترض من جانب العلماء، وليس قائما على المشاهدات، ويجب أن يبدأ التضخم بصورة ما عند قمة منحنى الطاقة عبر منطقة من الفضاء، وما شابه ذلك من تفاصيل. ورغم كل هذا، وحتى لو لم تكن بعض تفاصيل النظرية صحيحة تماماً، فإن الاتفاق بين النظرية والمشاهدات أقنع الكثيرين بأن الإطار التضخمي يكشف بعض الحقائق العميقة بشأن تطور الكون. ويما أن عددًا كبيرًا من نسخ نظرية التضخم يتصف بالأبدية، بحيث ينتج عددًا دائم الزيادة من الفقاعات الكونية، فمن ثم تتحد النظرية والمشاهدات بغية إقامة دليل مقنع، وإن كانَ غير مباشر، يؤيد هذه النسخة الثانية من فكرة العوالم الموازية.

رحلة داخل الكون المتعدد التضخمي

في الكون المتعدد المنسوج لا يوجد فصل واضح بين أحد العوالم الموازية وآخر؛ فكل هذه العوالم جزء من امتداد مكاني واحد تتشابه سماته الإجمالية من موضع إلى آخر. غير أن المفاجأة تكمن في التفاصيل. فمعظمنا لا يتوقع أن تتكرر العوالم، كما لا نتوقع أن نقابل نُسخًا شبيهه بأنفسنا، وأصدقائنا، وعائلاتنا. لكن لو أمكننا السفر بعيدًا بما يكفي، فهذا ما سنجده بالفعل.

في الكون المتعدد التضخمي ثمة فصل واضح بين الأكوان المختلفة. فكل منها عبارة عن ثقب داخل قالب الجبن الكوني العملاق، وتفصله عن الأكوان الأخرى مناطق لا تزال فيها قيمة التضخم مرتفعة. وبما أن مثل هذه المناطق الفاصلة لا تزال تمر بمرحلة تمدد تضخمي، فإن الفقاعات الكونية تبتعد عن بعضها بسرعة كبيرة تتناسب طرديا مع مقدار الفضاء المتضخم الفاصل بينها. فكلما كانت بعيدة عن بعضها، زادت سرعة التمدد، وتكون النتيجة النهائية هي أن الفقاعات البعيدة عن بعضها تتحرك بسرعة تفوق سرعة الضوء. وحتى لو تمتعنا بأعمار وتكنولوجيا غير محدودين، فما من سبيل إلى عبور هذه المنطقة الفاصلة. بل لا يوجد سبيل لإرسال أي إشارة على الإطلاق.

ومع هذا، يمكننا أن نتخيل القيام برحلة إلى واحدة أو أكثر من الفقاعات الكونية. فماذا سنجد في هذه الرحلة؟ حسنًا، نظرًا لأن كل فقاعة كونية تنتج عن العملية ذاتها -انهيار التضخم، ونشوء منطقة مكانية نتيجة التمدد التضخمي- كلها محكومة بالنظرية الفيزيائية عينها، ومن ثم فكلها خاضعة لمجموعة القوانين الفيزيائية عينها. لكن مثلما يتباين سلوك أي توأم متطابق تباينا عميقا نتيجة الاختلافات البيئية، من الممكن أن تتجسّد القوانين المتطابقة بطرق شديدة التباين في مختلف البيئات.

تخيل، مثلاً، أن إحدى الفقاعات الكونية الأخرى تشبه فقاعتنا، وأنها عامرة بمجرات تحوي نجوما وكواكب، لكن ثمة اختلافًا وحيدًا؛ إذ يتغلغل مجال مغناطيسي داخل الكون، أقوى بمئات المرات من ذلك الموجود داخل أحدث أجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي، وما من سبيل إلى إيقافه مطلقا. من شأن هذا المجال القوي أن يؤثر على سلوك كل شيء. فليست الأجسام المحتوية على الحديد هي الوحيدة التي من شأنها أن تتطاير في اتجاه المجال، لكن حتى أبسط خصائص الجسيمات والذرات والجزيئات من شأنها أن تتغير. فالمجال المغناطيسي القوي بما يكفي من شأنه أن يقوض الوظائف الخلوية بحيث يستحيل نشوء الحياة على الصورة التي نعرفها.

ومع ذلك، فمثلما تكون القوانين الفيزيائية داخل جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي مطابقة للقوانين الموجودة خارجه، فإن القوانين الفيزيائية الأساسية العاملة داخل هذا الكون المغناطيسي ستكون مطابقة لقوانيننا. أماً الاختلافات في النتائج التجريبية والسمات المرصودة فترجع وحسب إلى جانب معين من جوانب البيئة: المجال المغناطيسي القوي. وسيتمكن العلماء الموهوبون في هذا الكون المغناطيسي بمرور الوقت من تحييد هذا العامل البيئي والتوصل إلى القوانين الرياضية عينها التي اكتشفناها.

على مدار الأربعين عامًا الماضية صاغ الباحثون سيناريو مشابه لذلك داخل كوننا. إن أكثر نظريات الفيزياء الأساسية، ونعني بهذا «النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات»، يُفترض أننا مغمورون داخل شبورة عجيبة تُسمَّى «مجال هيجز» (وسُميت بهذا الاسم نسبة إلى الفيزيائي الإنجليزي بيتر هيجز، الذي كان من أوائل من طرحوا هذه الفكرة في ستينيات القرن العشرين، إلى جانب كل من روبرت براوت وفرانسوا إنجلرت وجيرالد جورالينك وكارل هاجن وتوم كيبل). إن مجال هيجز والمجال المغناطيسي غير مرئيين، ومن ثم فمن الممكن أن يملآ المكان حولنا من دون أن يكشفا عن وجودهما. ومع ذلك فوفق نظرية الجسيمات الحديثة، يُخفي مجال هيجز نفسه بشكل شبه تام. فبينما تتحرَّك الجسيمات عبر مجال

هيجز المتجانس الذي يملأ المكان، فإن سرعتها لا تزيد ولا تنقص، ولا تتبع أي مسارات خاصة، كما هو الحال في وجود أي مجال مغناطيسي قوي. بل عوضا عن ذلك تزعم النظرية أنها تتأثر بطرق أكثر عمقًا وتعقيدًا.

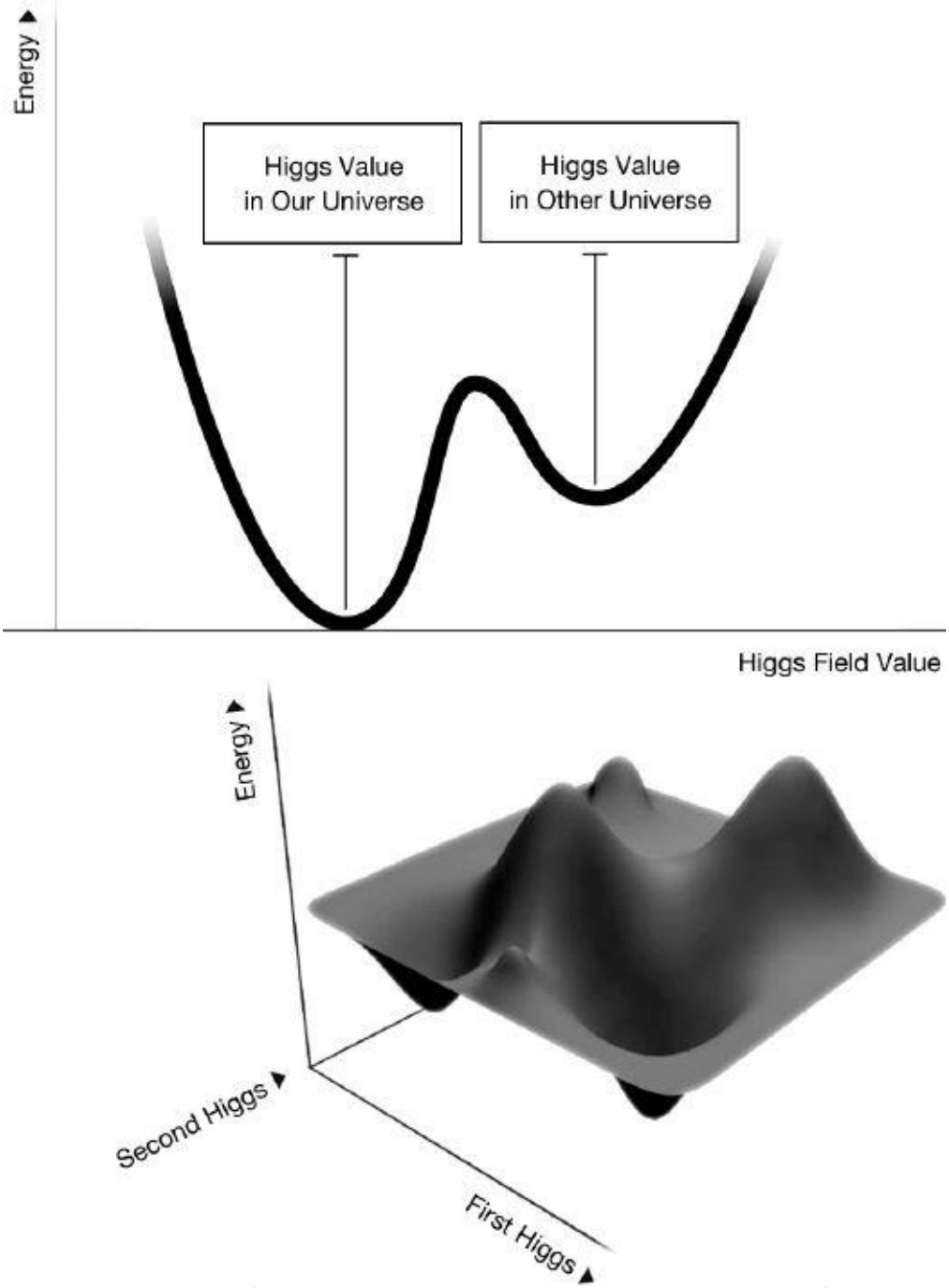
فبينما تشق الجسيمات طريقها داخل مجال هيجز، فإنها تكتسب وتحتفظ بالكتلة التي كشف الفيزيائيون التجريبيون عن امتلاكها لها. فوفق هذه النظرية، حين تدفع إلكترونًا أو كوراكًا بغية تغيير سرعته، فإن المقاومة التي تشعر بها تأتي نتيجة «احتكاك» الجسيم بمجال هيجز الشبيه في قوامه بالعسل الأسود (المولاس). وهذه المقاومة هي ما نطلق عليه كتلة الجسيم. ولو أنك أخليت المنطقة من مجال هيجز، فمن شأن الجسيمات العابرة أن تصير عديمة الكتلة. ولو أنك ضاعفت قيمة مجال هيجز في منطقة أخرى، فإن الجسيمات العابرة داخلها ستتضاعف كتلتها.[40]

هذه التغييرات التي يتسبب بها البشر افتراضية، لأن الطاقة المطلوبة من أجل تعديل قيمة مجال هيجز داخل منطقة صغيرة من الفضاء طاقة هائلة تقع خارج حدود قدارتنا الحالية. (أيضاً هذه التغييرات افتراضية لأن وجود مجال هيجز ذاته لا يزال أمرًا غير محسوم.[41] يترقب الفيزيائيون النظريون في حماسة أن تتسبب التصادمات عالية الطاقة بين البروتونات داخل مصادم الهدرونات الكبير في فصل شذرات صغيرة من مجال هيجز - جسيمات هيجز - والتي يمكن رصدها في السنوات المقبلة.) لكن في نسخ عديدة من علم الكونيات التضخمي من شأن مجال هيجز أن يمتلك قيمًا متباينة في مختلف الفقاعات الكونية.

يمتلك مجال هيجز، شأنه شأن مجال التضخم، منحنى يسجل مقدار الطاقة التي يحويها عند مختلف القيم التي يمكن أن يكون عليها. غير أن أحد الاختلافات الأساسية التي تميز مجال هيجز عن مجال التضخم أن مجال هيجز في المعتاد لا يستقر مطلقا عند القيمة صفر (كما هو مبين في الشكل 3-1)، وإنما تنخفض قيمته وصولا إلى القيعان المبينة في الشكل 3-6أ. تصور، بناءً على هذا، مرحلة مبكرة في عمر فقاعتين كونيتين، تلك الخاصة بنا وواحدة أخرى. في كلتا الفقاعتين يتسبب الاضطراب البالغ في جعل قيمة مجال هيجز تتقلب تقلبًا عنيفًا. وبينما يتمدد كلا الكونين ويبردان، يهدأ مجال هيجز وتنخفض نحو أحد القيعان المبينة في الشكل 3-6أ. في كوننا، تستقر قيمة مجال هيجز عند القاع الأيسر، مثلاً، بحيث تؤدي إلى نشأة خصائص الجسيمات المألوفة من واقع المشاهدات التجريبية. لكن في الكون الآخر ربما تؤدي حركة مجال هيجز إلى استقرار قيمته عند القاع الأيمن. ولو حدث هذا فإن ذلك الكون سيمتلك خصائص مختلفة اختلافا بالغا عن خصائص كوننا. ورغم أن القوانين الأساسية في كلا الكونين واحدة، فإن كتلة الجسيمات وخصائصها الأخرى لن تكون كذلك.

إن من شأن أبسط الاختلافات في خصائص الجسيمات أن تؤدي إلى تبعات عظيمة. فلو كانت كتلة الإلكترون في إحدى الفقاعات الكونية الأخرى أكبر بضع مرات مما هو الحال في كوننا، لاتحدت الإلكترونات مع البروتونات، مشكّلة نيوترونات، وبهذا تحول دون الإنتاج واسع النطاق للهيدروجين. أيضًا تتواصل القوى الأربع الأساسية -القوة الكهرومغناطيسية، والقوتين النوويتين، وقوة الجاذبية (حسب ظننا)- عن طريق الجسيمات. وإذا تغيرت خصائص الجسيمات فستتغير خصائص القوى تغيرًا هائلًا. فكلما كان الجسيم أثقل، مثلًا، صارت حركته أبطأ وصارت المسافة التي تنقل عبرها القوة التي يحملها أقصر. إن تشكُّل ذرات كوننا واستقرارها يعتمدان على خصائص القوة الكهرومغناطيسية والقوتين النوويتين، ولو تغيرت خصائص أي من هذه القوى تغيرًا كبيراً، فمن شأن الذرات أن تنهار، أو بالأحرى لن تتشكل من الأساس. ومن ثم سيؤدي أي تغيير ملحوظ في خصائص الجسيمات إلى الإخلال بالعمليات

التي أدت إلى منح كوننا سماته المألوفة.

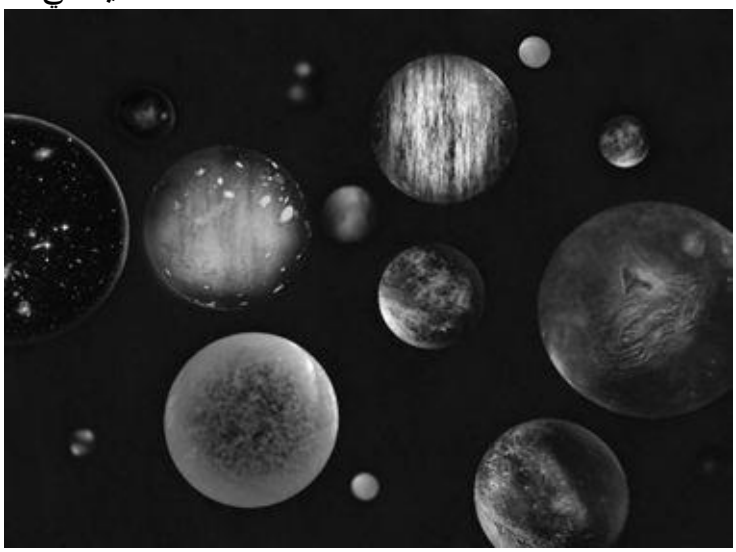


شكل 3-6 (أ): منحنى طاقة الوضع الخاص بمجال هيجز له قاعان. السمات المألوفة لكوننا مرتبطة باستقرار المجال في القاع الأيسر، لكن في الكون الآخر من الممكن أن يستقر المجال في القاع الأيمن، وهو ما يؤدي إلى نشوء سمات فيزيائية مختلفة. شكل 3-6(ب): عينة لمنحنى طاقة الوضع لنظرية ذات مجالي هيجز.

يوضح الشكل 3-6أ أبسط الحالات، وفيها يوجد نوع واحد لمجال هيجز. غير أن الفيزيائيين النظريين استكشفوا سيناريوهات أكثر تعقيدا تتضمن مجالات هيجز متعددة (سنرى بعد قليل أن هذه الاحتمالات تظهر بشكل طبيعي من نظرية الأوتار)، وهو ما يؤدي إلى مجموعة أكثر ثراءً من الفقاعات الكونية.

يعرض الشكل 3-6ب مثالًا لمجالي هيجز. وكما سبق فإن القيعان المختلفة تمثل قيم مجال هيجز التي من الممكن أن تستقر عليها إحدى الفقاعات الكونية أو أخرى.

من شأن هذه الأكوان، التي تتخللها هذه القيم غير المألوفة المجالات هيجز، أن تختلف عن كوننا اختلافًا شاسعًا، على النحو المبين في الشكل 3-7. وهذا سيجعل الرحلة عبر الكون المتعدد التضخمي رحلة تحفها الأخطار. فغالبية الأكوان الأخرى لن تكون ملائمة للحياة؛ لأن الظروف السائدة بها لا تتوافق مع العمليات البيولوجية الضرورية للبقاء، وهذا يعطي بعدا جديدا للتعبير القائل «لا مكان كالمنزل». ففي الكون المتعدد التضخمي من الممكن أن يكون كوننا محض جزيرة مأهولة ضمن أرخبيل كوني غير قابل لاستضافة الحياة في معظمه.



شكل 3-7: نظرًا لأن بإمكان المجالات أن تستقر على قيم مختلفة في الفقاعات المختلفة، من الممكن أن تمتلك الأكوان الموجودة داخل الكون المتعدد التضخمي سمات فيزيائية مختلفة، رغم أن الأكوان كلها محكومة بالقوانين الفيزيائية عينها.

ربما يبدو أنه لا توجد أي صلة بين الكون المتعدد المنسوج والكون المتعدد التضخمي، وذلك بسبب الاختلافات الجوهرية بينهما. فالكون المنسوج يظهر حين يكون امتداد الفضاء لا نهائيًا، بينما ينتج الكون المتعدد التضخمي عن التمدد التضخمي الأبدي. ومع ذلك فهناك علاقة عميقة ومدهشة بينهما، علاقة من شأنها أن تُكمِل المناقشة الواردة في الفصلين السابقين. فالأكوان الموازية النابعة من التضخم تولِّد أكوانا أخرى منسوجة، وهذه العملية مرتبطة أساسا بانقضاء الزمن.

من ضمن الأمور العديدة الغريبة التي كشفت عنها أبحاث آينشتاين، يُعد تدفق الزمن الأصعب في الاستيعاب. فبينما تُقنعنا خبرات الحياة اليومية بأن هناك مفهوم موضوعي لانقضاء الزمن، تبين النسبية بجلاء أن هذا محض مظهر زائف ناتج عن الحياة في ظل سرعات بطيئة وجاذبية ضعيفة. فإذا اقتربنا من سرعة الضوء، أو انغمسنا داخل مجال جاذبية قوي، سيتبخر التصور المتعارف عليه للزمن تمامًا. فعندما تتحرك مسرعًا متجاوزًا إياي، فإن الأحداث التي أؤكد على أنها تقع على نحو متزامن ستبدو لك أنها وقعت في لحظات مختلفة. ولو كنتَ قريبًا من حافة ثقب أسود، فإن الساعة التي تنقضي وفق ساعة يدك ستكون أطول بمراحل من الساعة المنقضية وفق ساعة يدي. ليس في الأمر خدعة سحرية أو خداع ناتج عن التنويم المغناطيسي؛ فانقضاء الزمن يعتمد على التفاصيل الخاصة بالراصد؛ مثل المسار المتبع والجاذبية التي يشعر بها[42].

عندَ تطبيق هذا على الكون بأسره، أو على فقاعتنا الكونية داخل الإطار التضخمي ثمة سؤال يبرز على الفور: كيف يتأتى لهذا الزمن القابل للتطويع أن يتفق مع مفهوم الزمن الكوني المطلق؟ إننا نتحدث بحرية عن «عمر» كوننا، لكن في ضوء معرفة أن المجرات تتحرك بسرعة نسبة إلى بعضها بعضًا، بسرعات تمليها المسافات الفاصلة بينها، ألا تتسبب نسبية انقضاء الزمن في مشكلة حسابية كابوسية لأي شخص يريد تسجيل الزمن الكوني؟ وعلى نحو أدق، حين نتحدث عن أن كوننا «يبلغ من العمر 14 مليار عام»، هل نستخدم ساعة خاصة لقياس تلك الفترة؟

نحن نفعل هذا بالفعل، ومن شأن التدبر الحريص لهذا الزمن الكوني أن يكشف عن صلة مباشرة بين الأكوان الموازية داخل كل من الكون المتعدد التضخمي والمنسوج.

إنّ كل طريقة نستخدمها لقياس انقضاء الزمن تتضمن استيضاحًا للتغير الذي يصيب بعض المنظومات الفيزيائية المعينة. فباستخدام ساعات الحائط نحن نتبين التغيير في موضع عقاربها، وباستخدام الشمس نتبين التغيير الذي يعتري موضعها في السماء، وباستخدام الكربون 14 نتبين نسبة عينة أصلية مرت بتحلل إشعاعي تسبب في تحللها إلى عنصر النيتروجين. كما أدت بنا السوابق التاريخية والملاءمة العامة إلى استخدام دوران الأرض حول نفسها وحول الشمس بوصفه مرجعًا نقيس به الزمن، وهو ما أدى إلى ظهور مفاهيم معيارية على غرار «اليوم» و«العام». لكن حين نمعن التفكير على مستويات كونية نجد طريقة أخرى أكثر نفعًا لقياس الزمن.

رأينا أن التمدد التضخمي يؤدي إلى نشوء مناطق شاسعة تتسم خصائصها في المُجمل بالتماثل. فإذا قستَ درجة الحرارة والضغط ومتوسط كثافة المادة في منطقتين كبيرتين لكن منفصلتان داخل إحدى الفقاعات الكونية، ستجد أن النتائج واحدة. من الممكن أن تتغير النتائج مع مرور الوقت، غير أن التماثل واسع النطاق يضمن، في المتوسط، أن التغيير الحادث في هذه المنطقة مماثل لذلك الذي يحدث في تلك. ومن الأمثلة التي تؤكد هذه الفكرة أن كثافة المادة في فقاعتنا الكونية زادت على نحو مطرد عبر مليارات الأعوام من تاريخنا، وذلك بفضل التمدد المتواصل للفضاء، لكن نظرًا لأن التغير حدث على نحو متماثل،

فلم يحدث أي خلل في مستوى التجانس واسع النطاق داخل فقاعتنا.

هذا أمر مهم لأنه تمامًا مثلما يوفّر النقصان الثابت النسبة الكربون 14 في المادة العضوية وسيلة لقياس انقضاء الزمن على كوكب الأرض، فإن النقصان الثابت لكثافة الكتلة يوفر وسيلة لقياس انقضاء الزمن عبر الفضاء. وبما أن التغير قد حدث على نحو متماثل، فإن استخدام كثافة الكتلة كمؤشر لانقضاء الزمن يمنح فقاعتنا الكونية معيارًا عامًا. فإذا ضبط الجميع ساعاتهم على متوسط كثافة الكتلة (ثم أعادوا ضبطها بعد أي رحلات للثقوب السوداء أو فترات الانتقال بسرعة تناهز سرعة الضوء)، فإن التزامن بين ساعاتنا في أرجاء فقاعتنا الكونية سيظل قائما. وعندما نتحدث عن عمر الكون - أي عمر فقاعتنا - فإننا نتخيل انقضاء الزمن المقيس وفق هذه الساعات الكونية المضبوطة؛ فالزمن الكوني لا يصير مفهوما منطقيًّا إلا من منظور هذه الساعات.

في البدايات المبكرة لفقاعتنا الكونية كان المنطق عينه يسري، باستثناء تغيير واحد في التفاصيل. فالمادة العادية لم تكن قد تشكلت بعد، لذا ليس بوسعنا الحديث عن كثافة المادة في الفضاء. بدلاً من ذلك فقد كان مجال التضخم يحمل مخزون كوننا من الطاقة -طاقة من شأنها أن تتحول بعد زمن قصير إلى الجسيمات المألوفة- لذا نحن بحاجة إلى تخيل أننا ضبطنا ساعاتنا وفق كثافة الطاقة التي يحملها مجال التضخم. تتحدد طاقة التضخم بواسطة قيمته، على النحو الذي يلخصه منحنى الطاقة الخاص به. ومن أجل تحديد الزمن في أي موضع بعينه داخل فقاعتنا، نحتاج إذًا أن نحدد قيمة التضخم في ذلك الموضع. حينئذ، ومثلما تمتلك الشجرتان لهما العمر ذاته العدد نفسه من الحلقات في جذوعها، ومثلما تمتلك أي عينتين لهما العمر ذاته النسبة نفسها من الكربون المشع، فإن أي موضعين من الفضاء يمران باللحظة الزمنية عينها حين تكون قيمة مجال التضخم فيهما واحدة. وهذه هي الكيفية التي نضبط بها الساعات في فقاعتنا الكونية وتزامنها.

سبب إثارة هذه النقطة هي أنه عند تطبيقها على الجبن السويسري الكوني الخاص بالكون المتعدد التضخمي، فإن المشاهدات تؤدي إلى نتيجة غير منطقية إلى حدٍّ مذهل.

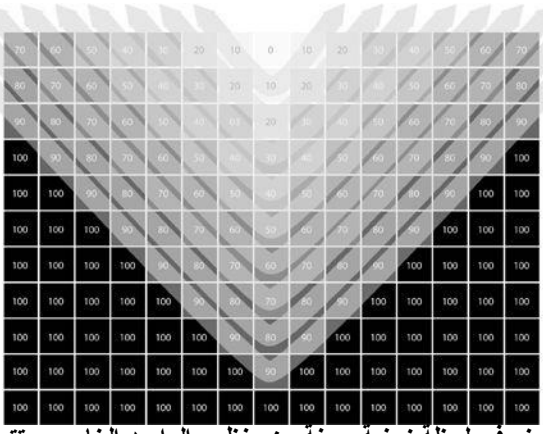
فمثلما قال هاملت: «يمكنني أن أكون حبيس قشرة جوز، وفي الوقت ذاته أحسب نفسي ملك الفضاء اللامتناهي»، فإن كل فقاعة كونية تبدو ذات امتداد مكاني متناهٍ عند النظر إليها من الخارج، بينما تبدو ذات امتداد مكاني لا متناهٍ عند النظر إليها من الداخل. وهذا إدراك مذهل. فالامتداد المكاني اللامتناهي هو ما نحتاجه من أجل الأكوان الموازية المنسوجة. وبهذه الطريقة يمكننا دمج الكون المتعدد المنسوج داخل قصة التضخم.

إن الاختلاف الشاسع بين المنظورين الداخلي والخارجي ينشأ نتيجة امتلاك كل منظور منهما تصوراتٍ مختلفة للزمن. ورغم أن هذه النقطة يتعذر إدراكها بصورة بديهية، فسنرى أن ما يبدو زمنًا لا متناهيًا من منظور الراصد الخارجي يبدو فضاء لا متناهيًا، في كل لحظة زمنية، للراصد الداخلي[43].

الفضاء داخل فقاعة كونية

من أجل تفهم كيفية حدوث هذا تخيل أن تريكسي، الموجودة داخل منطقة مكانية آخذة في التمدد ويملؤها التضخم، ترصد عملية تشكُّل فقاعة كونية قريبة. وعن طريق تسليط عداد التضخم الخاص بها على الفقاعة النامية فإنها تستطيع أن تتبع على نحو مباشر قيمة مجال التضخم المتغيرة الخاصة بها. ورغم أن المنطقة -ذلك الثقب داخل الجبن الكوني- ثلاثية الأبعاد، فمن الأبسط أن تتدبر المجال على امتداد مقطع عرضي أحادي البعد يمتد بطول قطرها، وبينما تفعل تريكسي هذا فإنها تسجل البيانات في الشكل 3-8أ. وكل صف علوي يوضِّح قيمة التضخم في لحظة زمنية متتابعة، من منظور تريكسي. وكما هو واضح من الشكل فإن تريكسي ترى أن الفقاعة الكونية - الممثلة في الشكل المواضع ذات اللون الفاتح التي انخفضت فيها قيمة التضخم - تنمو في الحجم أكثر وأكثر.

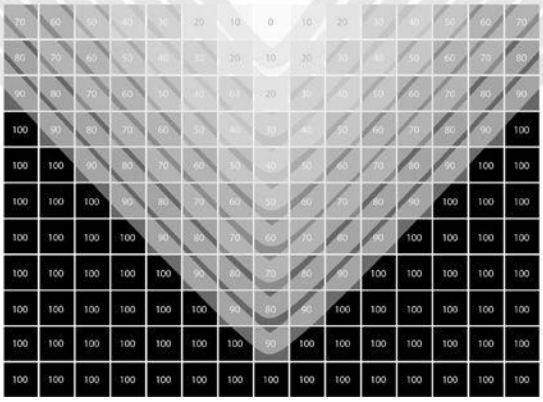
الآن تخيل أن نورتون يرصد هو الآخر الفقاعة الكونية ذاتها، ولكن من الداخل، وهو يجتهد أشد الاجتهاد في إجراء المشاهدات الفلكية التفصيلية باستخدام عداد التضخم الخاص به. خلافًا لتريكسي فإن نورتون ملتزم بمفهوم للزمن يجري ضبطه وفق قيمة التضخم. هذا عنصر محوري في النتيجة التي نسعى إلى التوصل إليها، لذا أحتاج منك أن تتقبله تمامًا. تخيل أن كل شخص داخل الفقاعة الكونية يرتدي ساعة يد تقيس قيمة التضخم وتظهرها. وحين يقيم نورتون حفل عشاء فإنه يخبر ضيوفه بالمجيء إلى منزله حين تبلغ قيمة التضخم 60. وبما أن ساعات الجميع مضبوطة على المعيار المتماثل ذاته - قيمة مجال التضخم - يبدأ الحفل من دون تأخير. فيظهر الجميع في اللحظة عينها لأنهم جميعاً مرتبطون بمفهوم التزامن ذاته.



شكل 3-8أ: كل صف يسجل قيمة التضخم في لحظة زمنية معينة من منظور الراصد الخارجي. تتوافق الصفوف العليا مع لحظات لاحقة، أما الأعمدة فتشير إلى المواضع المختلفة عبر الفضاء. الفقاعة هي منطقة من الفضاء توقفت عن التضخم بسبب انخفاض قيمة مجال التضخم بها. وتشير المدخلات الأعلى إلى قيمة مجال التضخم داخل الفقاعة. ومن منظور الراصد الخارجي فإن الفقاعة تنمو في الحجم أكثر وأكثر.

في ضوء هذا الفهم يصير من السهل على نورتون أن يحسب حجم الفقاعة الكونية في أي لحظة زمنية بعينها. وفي الواقع، الأمر شديد السهولة: فكل ما على نورتون فعله هو أن يرسم باستخدام الأرقام. فعن طريق توصيل جميع النقاط التي لها القيمة العددية نفسها لمجال التضخم، يستطيع نورتون أن يميز جميع المناطق داخل الفقاعة في أي لحظة زمنية معينة. وفق زمنه هو؛ زمن الراصد الداخلي.

يعبر رسم نورتون المبين في الشكل 3-8ب عن الأمر بوضوح. فكل منحنى يربط النقاط ذات قيمة مجال التضخم المتماثلة، يمثل كل الفضاء في أي لحظة زمنية بعينها. وكما يوضح الشكل فإن كل منحنى يمتد بعيدًا إلى ما لا نهاية، وهذا يعني أن حجم الفقاعة الكونية، من منظور قاطنيها، حجم لا متناهٍ. وهذا يعكس فكرة أن الزمن الخارجي اللامتناهي، الذي تدركه تريكسي على صورة صفوف لا متناهية في الشكل 3-8، يبدو على هيئة فضاء لا متناهٍ، في كل لحظة زمنية، من منظور أي راصد داخلي مثل نورتون. هذه فكرة قوية. في الفصل الثاني وجدنا أن الكون المتعدد المنسوج كان مُعتمدًا على كون الفضاء كبيرًا بلا نهاية، وهو الأمر الذي من الممكن أن يكون صحيحًا أو لا، كما ناقشنا هنا. والآن نرى أن كل فقاعة داخل الكون المتعدد التضخمي لها امتداد مكاني متناهٍ من الخارج، لكنها ذات امتداد مكاني لا متناهٍ من الداخل. وإذا كان مفهوم الكون المتعدد التضخمي صحيحًا، حينها فإن قاطني هذه الفقاعة - نحن - لن يكونوا جزءًا من الكون المتعدد التضخمي وحسب، وإنما جزء من الكون المتعدد المنسوج كذلك[44].



شكل 3-8ب: المعلومات نفسها الموجودة في الشكل 3-8أ مُنظمة على نحو مختلف من منظور رصد موجود داخل الفقاعة. قيم التضخم المتطابقة تتوافق مع لحظات زمنية متماثلة، وبهذا فإن المنحنيات المرسومة تغطي كل النقاط في الفضاء التي توجد في اللحظة الزمنية عينها. قيم التضخم الصغيرة تتوافق مع لحظات زمنية لاحقة. لاحظ أن المنحنيات يمكن أن تمتد بعيدًا بلا نهاية، لذا فمن منظور الراصد الداخلي، يكون الفضاء لا متناهيًا.

حين تعرضت للمرة الأولى لمفهومي الكون المتعدد المنسوج والكون المتعدد التضخمي، كان التنوع التضخمي هو الأكثر قبولًا في نظري. فعلم الكونيات التضخمي يحل عددًا من الألغاز التي استعصت لوقت طويل على الحل، وفي الوقت ذاته يمنحنا تنبؤات تتوافق جيدًا مع المشاهدات. وفق المنطق الذي استعرضناه فإن التضخم عملية طبيعية لا نهاية لها، وهي تنتج فقاعات كونية تلو فقاعات كونية، ونحن نقطن واحدة منها. على النقيض من ذلك فإن الكون المتعدد المنسوج، الذي لا يتحقق حين يكون الفضاء كبيرًا وحسب وإنما حين يكون لا متناهيًا بمعنى الكلمة (ربما تجد بعض التكرار داخل كون ضخم، لكن من المؤكد أن تجد هذا التكرار داخل الكون اللامتناهي)، سيبدو من الممكن تجنبه: فمن المحتمل على أي حال أن للكون حجمًا متناهيًا. غير أننا نرى الآن أن الفقاعات الكونية الناتجة عن التضخم الأبدي، عند تحليلها كما ينبغي من منظور قاطنيها، لا متناهية مكانًا بالفعل. فالأكوان الموازية التضخمية تؤدي إلى مولد أكوان منسوجة.

إن افضل نظرية كونية متاحة لتفسير أفضل البيانات الكونية المتاحة تؤدي بنا إلى التفكير في أنفسنا بوصفنا نقطن منظومة تضخمية من الأكوان الموازية، وكل منها يأوي مجموعته الخاصة من الأكوان الموازية المنسوجة. وترسم أحدث الأبحاث صورة لكون إجمالي لا يضم أكوانًا موازية وحسب، وإنما يضم كذلك أكوانًا موازية داخل الأكوان الموازية. وتقترح هذه الأبحاث أن الواقع ليس ثريًّا وحسب، وإنما هو وافر الثراء.

الفصل الرابع
توحيد قوانين الطبيعة
على الطريق نحو نظرية الأوتار

من الانفجار العظيم إلى التضخم، تمتد جذور علم الكونيات الحديث إلى نقطة علمية واحدة هي النظرية النسبية العامة لآينشتاين. فبفضل نظريته الجديدة عن الجاذبية، قلب آينشتاين التصور المتفق عليه الذي يقضي بجمود المكان والزمن وثباتهما رأسًا على عقب، وبات على العلم الآن أن يؤمن بوجود كون ديناميكي متغير. غير أن آينشتاين كان يحلم بالوصول إلى آفاق أرحب وشرع، مستعينا بالترسانة الرياضية والحدس الهندسي اللذين اكتسبهما بحلول عشرينيات القرن العشرين، في تطوير نظرية مجال موحدة.

كان آينشتاين يعني بهذا إطارًا مفاهيميًّا من شأنه أن يضم قوى الطبيعة كلها داخل نسيج رياضي واحد متسق. وبدلًا من أن نمتلك مجموعة قوانين لهذه الظواهر الفيزيائية ومجموعة قوانين مختلفة لتلك، أراد آينشتاين دمج كل القوانين في كيان كلي متناغم. لقد حكم التاريخ على العقود التي أمضاها آينشتاين وهو يعمل بجد على تحقيق التوحيد بأنها ليست ذات أثر دائم يُذكَر - إذ كان المقصد نبيلًا، لكن التوقيت كانَ مبكرًا - لكن آخرين حملوا المشعل وقطعوا خطوات عظيمة على هذا السبيل، وتمثل نظرية الأوتار أحد أدق المقترحات في هذا الصدد.

تناولتُ في كتابَيْ السابقَيْن، «الكون الأنيق» (The Elegant Universe) والنسيج الكوني (The Fabric of the Cosmos) تاريخ نظرية الأوتار وسماتها الأساسية.

وفي السنوات التي تلت صدور هذين الكتابين تعرضت مكانة النظرية وتماسكها العام لنوبة من التشكيك من جانب الجمهور، وهذا أمر منطقي تمامًا. فرغم ما حققته نظرية الأوتار من تقدم فإنها لم تقدم إلى الآن تنبؤات حاسمة يمكن للاستقصاء التجريبي من خلالها أن يثبت صحة النظرية أو خطأها. وبما أن النسخ الثلاث التي ستقابلها من الكون المتعدد (في الفصلين الخامس والسادس) ستبزغ من بين ثنايًا نظرية الأوتار، من المهم أن نستعرض الحالة الحالية للنظرية علاوة على احتمالات اتفاقها مع البيانات التجريبية والرصدية. وهذه هي مهمة هذا الفصل.

تاريخ موجز لتوحيد القوى

في الوقت الذي كان آينشتاين يسعى فيه خلف هدف التوحيد، كانت القوتان المعروفتان وقتها هما قوة الجاذبية، التي تصفها النظرية النسبية العامة الخاصة به، والقوة الكهرومغناطيسية التي تصفها معادلات ماكسويل. وقدْ تصور آينشتاين إمكانية دمج القوتين داخل تعبير رياضي واحد من شأنه أن يعبر عن عمل قوى الطبيعة كلها. كانت آمال آينشتاين في التوصل لهذه النظرية الموحدة عظيمة. كان يرى أبحاث ماكسويل التي أجراها في القرن التاسع عشر على التوحيد بوصفها إسهامًا غير مسبوق في الفكر البشري، وكان محقًا في رأيه هذا. فقبل ماكسويل كانت الكهرباء المتدفقة عبر أحد الأسلاك، والقوة المُولَّدة من مغناطيس أحد الأطفال، والضوء المتدفق إلى الأرض من الشمس يُنظَر إليها بوصفها ثلاث ظواهر منفصلة لا رابط بينها. غير أن ماكسويل كشف عن هذه الظواهر، في حقيقتها، تشكل ثلاثيًّا علميًّا متشابكًا. فالتيار الكهربي ينتج مجالات مغناطيسية، والمغناطيسات التي تتحرك على مقربة من أحد الأسلاك تُنتِج تيارات كهربية والاضطرابات الشبيهة بالموجات التي تتدفق عبر المجالين الكهربي والمغناطيسي تُنتِج الضوء. لقد توقع آينشتاين أن عمله سوف يُكمل برنامج التوحيد الذي بدأه ماكسويل عن طريق قطع الخطوة التالية، والتي ربما تكون الأخيرة، نحو وصف أكثر توحيدًا لقوانين الطبيعة؛ وصف من شأنه أن يوحد بين الكهرومغناطيسية والجاذبية.

لم يكن هذا هدفا متواضعا، ولم يأخذه آينشتاين باستخفاف. كان يتمتع بقدرة لا يضاهيه فيها أحد على تركيز تفكيره على المشكلات التي حددها لنفسه، وخلال السنوات الثلاثين الأخيرة من حياته صارت مشكلة التوحيد هاجسه الأساسي. كانت سكرتيرة آينشتاين وكاتمة أسراره هيلين دوكاس معه في مستشفى برينستون في آخر أيام حياته، السابع عشر من أبريل 1955. وتذكر هيلين كيف أن آينشتاين طريح الفراش وقتها شعر ببعض القوة، فطلب منها صفحات المعادلات التي كان يسجل عليها بلا نهاية رموزًا رياضية على أمل بعيد أن تتجسد أمامه نظرية المجال الموحدة. لم ير آينشتاين شروق اليوم التالي، ولم تلقي كتاباته الأخيرة العجلى ضوءًا جديدا على توحيد القوى[45].

لم يتقاسم كثير من معاصرى آينشتاين هذا الشغف للتوحيد. ففي الفترة من منتصف العشرينيات وحتى منتصف الستينيات كان الفيزيائيون منشغلين، تحت مظلة ميكانيكا الكم، بكشف أسرار الذرة ويحاولون تعلم كيفية تسخير قواها الدفينة. كانَ إغراء عزل المكونات الأساسية للمادة حاضرًا وقويًّا. ورغم اتفاق الكثيرين على أن توحيد القوى هدف محمود، فإنه لم يشكل سوى اهتمام عابر في عصر تعاون فيه الفيزيائيون النظريون والتجريبيون من أجل الكشف عن قوانين العالم فائق الصغر. وبوفاة آينشتاين توقفت الجهود الهادفة إلى توحيد القوى.

صار فشل آينشتاين أفدح حين كشفت الأبحاث التالية عن أن مسعاه لتوحيد القوى كان تركيزه أضيق مما ينبغي. فلم يسفه آينشتاين وحسب من دور فيزياء الكم إذ كان يؤمن أن النظرية الموحدة من شأنها أن تحل محل ميكانيكا الكم ومن ثم فما من حاجة إلى تضمينها من الأساس، وإنما فشل عمله البحثي في أن يأخذ في الاعتبار قوتين إضافيتين كشفت عنهما التجارب وهما: القوة النووية القوية والقوة النووية الضعيفة. تعمل القوى النووية القوية على تماسك أنوية الذرات، بينما القوة النووية الضعيفة مسؤولة، من ضمن أمور أخرى، عن التحلل الإشعاعي. ومن ثم لا يحتاج توحيد القوي إلى دمج قوتين معًا بل أربع، وبدا حلم آينشتاين أبعد وأبعد.

خلال نهايات ستينيات القرن العشرين وسبعينياته تغير التيار؛ إذ أدرك الفيزيائيون أن طرق ميكانيكا الكم، التي طبقت بنجاح على القوة الكهرومغناطيسية، تقدم كذلك توصيفات للقوتين النوويتين القوية

والضعيفة. وبهذه الصورة صار من الممكن وصف هذه القوى الثلاث غير الجذبوية باستخدام اللغة الرياضية عينها. علاوة على ذلك، فإن الدراسة التفصيلية لنظريات المجال الكمي هذه - وأبرزها تلك التي نجدها في أبحاث شيلدون جلاشو وستيفن واينبرج ومحمد عبد السلام التي فازوا عنها بجائزة نوبل، علاوة على الرؤى التالية لجلاشو وزميله في جامعة هارفرد هوارد جورجي - كشفت عن علاقات تقترح وجود وحدة ممكنة بين القوة الكهرومغناطيسية والقوة النووية القوية والقوة النووية الضعيفة. وسيرًا على نهج آينشتاين الذي بدأه منذ نصف قرن تقريبًا، ذهب الفيزيائيون إلى أن هذه القوى الثلاث التي تبدو منفصلة في ظاهرها ربما تكون في حقيقتها محض تجسيدات مختلفة لقوة واحدة طبيعية مهيمنة[46].

كان ذلك تقدمًا عظيمًا على الطريق نحو توحيد القوي، لكن في مقابل هذه الخلفية المشجعة كانت توجد مشكلة مؤرقة. فعندما حاول العلماء تطبيق طرق نظرية المجال الكمي على القوة الرابعة من قوى الطبيعة، قوة الجاذبية، لم تنجح الحسابات الرياضية. فالحسابات التي تتضمن ميكانيكا الكم ونسبية آينشتاين العامة التي تصف مجال الجاذبية تمخضت عن نتائج عبثية هي أقرب إلى اللغو الرياضي. فبصرف النظر عن النجاحات التي حققتها النسبية العامة وميكانيكا الكم كل في مجاله، البني الكبيرة والبني الصغيرة، فقد أشارت النتائج العبثية لمحاولة توحيدهما إلى وجود صدع عميق في فهم قوانين الطبيعة. وإذا كانت القوانين التي لديك غير متوافقة معًا، فمن الواضح حينها أنك لا تمتلك القوانين الصحيحة. لقد كان توحيد القوى هدفًا جماليًا فيما سبق، لكنه تحول الآن إلى ضرورة منطقية.

شهد منتصف الثمانينيات التطور التالي الحاسم؛ ففي تلك الفترة جذب نهج جديد، نظرية الأوتار الفائقة، اهتمام فيزيائيي العالم. خفف هذا النهج حدة التعارض بين النسبية العامة وميكانيكا الكم، وبذا قدم الأمل في تضمين النسبية العامة داخل ميكانيكا الكم. لقد وُلدت حقبة توحيد الأوتار الفائقة. استمرت الأبحاث بسرعة محمومة، وسريعًا ما امتلأت آلاف المجلات بحسابات توضح جوانب النهج الجديد وترسي أساس صياغته المنهجية. لقد ظهر هيكل رياضي معقد ومبهر إلى النور، لكن إلى الآن يكتنف الغموض كثيرًا من جوانب نظرية الأوتار الفائقة (أو «نظرية الأوتار» اختصارًا)[47].

بعد ذلك، وبداية من منتصف تسعينيات القرن العشرين، أدت أبحاث المنظرين الهادفة إلى استجلاء هذا الغموض على نحو غير متوقع إلى دفع نظرية الأوتار نحو قلب موضوع الكون المتعدد. كان الباحثون يعلمون منذ وقت طويل أن الطرق الرياضية المستخدمة التحليل نظرية الأوتار تتطلب مجموعة متنوعة من التقريبات، ومن ثم فقد كانت متاحة للتنقيح. وبعد تطوير بعض من هذه التنقيحات، أدرك الباحثون أن الحسابات الرياضية تشير بوضوح إلى أن كوننا ربما ينتمي إلى كون متعدد. وفي الواقع، لا تقترح الحسابات الرياضية لنظرية الأوتار كونًا متعددًا واحدًا وحسب، بل تقترح وجود أنواع مختلفة من الأكوان المتعددة التي ربما تكون جزءًا منها.

ومن أجل استيعاب هذه التطورات المقنعة والمتعارضة، ومن أجل تقييم دورها في بحثنا القائم عن القوانين العميقة للكون، نحتاج إلى أن نتريث قليلًا ونقيِّم أولًا الموقف الحالي لنظرية الأوتار.

عودة إلى المجالات الكمية

لنبدأ بإلقاء نظرة عن قرب على الإطار المفاهيمي لنظرية المجال الكمي، ذلك الإطار التقليدي الناجح. وسوف تعدنا هذه النظرة لموضوع توحيد القوى من منظور الأوتار، كما ستوضح صلات محورية بين هذين النهجين لصياغة قوانين الطبيعة.

كما رأينا في الفصل الثالث فإن الفيزياء الكلاسيكية تصف المجال بوصفه نوعا من الضباب الرقيق الذي يتخلل منطقة مكانية ما ويستطيع أن يحمل اضطرابات على شكل تذبذبات وموجات. ولو كان ماكسويل سيصف الضوء الذي تقرأ تحته هذا النص، مثلًا، فسيشير بحماسة إلى الموجات الكهرومغناطيسية التي تنتجها الشمس، أو مصباح قريب، والتي تتموج عبر الفضاء أو المكان في طريقها إلى صفحة الكتاب المطبوعة. كان سيصف حركة الموجات رياضيًا، مستخدمًا الأعداد بغية تحديد شدة المجال واتجاهه في كل نقطة مكانية بعينها. إن المجال المتموج يتوافق مع أعداد متغيرة؛ فالقيمة العددية في أي موضع بعينه تتقلب صعودًا وهبوطًا.

عند استخدام ميكانيكا الكم في ما يخص مفهوم المجال تكون النتيجة نظرية المجال الكمي، التي تتصف بسمتين أساسيتين. تعرضنا بالفعل لهاتين السمتين من قبل، لكن الأمر يستحق التذكرة. أولًا، يتسبب عدم اليقين الكمي في جعل قيمة المجال في كل نقطة مكانية تذبذب عشوائيًا؛ وهنا يمكنك التفكير في مجال التضخم المتذبذب في علم الكونيات التضخمي. ثانيًا، تشدد ميكانيكا الكم على أن أي مجال يتألف من جسيمات فائقة الصغر تُعرَف بالكمَّات، وذلك على نحو مماثل للماء الذي يتألف من جزيئات H_2O. في حالة المجال الكهرومغناطيسي فإن الكمَّات هي الفوتونات، ولذا من شأن أي باحث نظري في ميكانيكا الكم أن يعدل توصيف ماكسويل الكلاسيكي لمصباحك بأن يقول إن المصباح يطلق تيارًا ثابتًا يتألف من 100 مليار مليار فوتون في الثانية.

وقد أكدت عقود من الأبحاث أن هاتين السمتين لميكانيكا الكم اللتين تنطبقان على المجالات تتسمان بالعمومية تمامًا. فكل مجال معرض للتذبذبات الكمية، وكل مجال مرتبط بنوع معين من الجسيمات. فالإلكترونات هي كمَّات مجال الإلكترونات، والكواركات هي كمات مجال الكواركات. وللحصول على صورة ذهنية تقريبية، يفكر الفيزيائيون أحيانًا في الجسيمات بوصفها عقد أو كتل كثيفة من المجالات المصاحبة لها. وبصرف النظر عن هذا التصور، يصف رياضيو نظرية المجال الكمي هذه الجسيمات بأنها نقاط ليس لها حيز مكاني أو بنية داخلية[48].

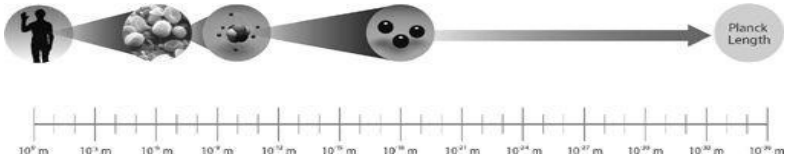
إن ثقتنا في صحة نظرية المجال الكمي نابعة من حقيقة جوهرية: أنه لا توجد نتيجة تجريبية واحدة تخالف تنبؤاتها. بل على العكس، تؤكد البيانات أن معادلات نظرية المجال الكمي تصف سلوك الجسيمات بدقة مذهلة. والمثال الأبرز على ذلك يأتينا من نظرية المجال الكمي الخاصة بالقوة الكهرومغناطيسية، ونعني بهذا «الكهروديناميكا الكمية». وباستخدامها تمكن الفيزيائيون من إجراء حسابات تفصيلية لخصائص الإلكترون المغناطيسية. ليست الحسابات سهلة، واستغرقت أدق النسخ عقودًا حتى تكتمل، بيد أنها تستحق الجهد المبذول فيها. تتفق النتائج مع القياسات الفعلية حتى حدود دقة مقدارها عشرة مواضع عشرية، وهو اتفاق يصعب للغاية تخيله بين النظرية والتجارب.

في ضوء هذا النجاح ربما تتوقع أن تقدم نظرية المجال الكمي الإطار الرياضي اللازم لفهم قوى الطبيعة كلها. تقاسمت زمرة من الفيزيائيين اللامعين هذا التوقع بعينه، وبحلول نهايات السبعينيات أكدت الأبحاث الجادة لكثير من هؤلاء الفيزيائيين ذوي الرؤى أن القوتين النوويتين القوية والضعيفة تتفقان تمامًا مع نظرية المجال الكمي. فكلتا القوتين توصف بدقة من منظور مجالات - مجال القوة النووية القوية ومجال

القوة النووية الضعيفة - تتطور وتتفاعل وفق القواعد الرياضية لنظرية المجال الكمي.
لكن كما أوضحت في الاستعراض التاريخي فإن العديد من هؤلاء الفيزيائيين أنفسهم أدركوا سريعًا أن قصة القوة الطبيعية الأخيرة، الجاذبية، أكثر تعقيدا من هذا. فكلما امتزجت معادلات النسبية العامة مع معادلات نظرية الكم، وصلت الحسابات إلى طريق مسدود. فإذا استخدمت المعادلات الموحدة في حساب الاحتمالية الكمية لبعض العمليات الفيزيائية - على غرار احتمالية ارتداد إلكترونين أحدهما عن الآخر، مع الوضع في الحسبان قوة التنافر الكهرومغناطيسي والتجاذب بينهما - ستحصل في المعتاد على الجواب نفسه: قيمة لا نهائية. ورغم أن بعض الأشياء في الكون من الممكن أن تكون لا نهائية، مثل امتداد الفضاء وكمية المادة التي قد تملؤه، فإن الاحتمالات ليست من ضمن الأشياء التي يمكن أن توصف باللانهائية. فقيمة الاحتمالية، بطبيعتها، يجب أن تتراوح بين العددين صفر و1 (أو لو عبرنا عن هذا بالنسب المئوية، بين صفر و100). فالاحتمالية اللانهائية لا تعني أن شيئًا ما من المرجح بشدة حدوثه، أو من المؤكد حدوثه، بل هي عديمة المعنى في الواقع، كالحديث عن البيضة الثالثة عشر في عبوة بيض تتسع لاثنتي عشرة بيضة وحسب. فالاحتمالية اللانهائية تبعث رسالة واضحة مفادها أن المعادلات الموحدة محض هراء.
أرجع الفيزيائيون الفشل إلى التذبذبات الناجمة عن مبدأ عدم اليقين الكمي. لقد طورت أساليب رياضية من أجل تحليل تذبذبات المجالات الكهرومغناطيسية ومجالات القوتين النوويتين القوية والضعيفة، لكن حين طُبِّقَت الأساليب عينها على مجال الجاذبية - المجال الذي يحكم انحناء الزمكان ذاته - ثبت عدم فاعليتها. وتسبب هذا في تشبع الحسابات الرياضية بالعديد من نماذج عدم الاتساق، على غرار الاحتمالات اللانهائية.
للتعرف على السبب، تخيل أنك تمتلك منزلًا قديما في سان فرانسيسكو. إذا كان مستأجرو المنزل يقيمون احتفالات صاخبة، فربما يستلزم الأمر منك بعض الجهد من أجل التعامل مع الموقف، غير أنك لست قلقًا بشأن احتمالية تأثير هذه الاحتفالات على سلامة هيكل المنزل. وفي المقابل لو حدث زلزال، فستكون بصدد مواجهة أمر أخطر بكثير. إن تذبذبات القوى الثلاث غير الجذبوية - المجالات التي تقطن منزل الزمكان - تشبه المستأجرين الصاخبين كثيري الاحتفال. لقد استغرق الأمر جيلا من الفيزيائيين النظريين من أجل استيعاب فكرة هذه التذبذبات العنيفة، لكن بحلول سبعينيات القرن العشرين كانوا قد طوروا طرقًا رياضية قادرة على وصف الخصائص الكمية للقوى غير الجذبوية. أما تذبذبات مجال الجاذبية فتختلف من الناحية النوعية؛ إذ إنها أقرب شبها بالزلزال. ونظرًا لأن مجال الجاذبية جزء لا يتجزأ من نسيج الزمكان، فإن تذبذباته الكمية تسبب اهتزاز الهيكل بأكمله بكل معنى الكلمة. وعند استخدام الطرق الرياضية في تحليل هذه التذبذبات الكمية المنتشرة فإن هذه الطرق تنهار[49].
على مدار سنوات تجاهل الفيزيائيون هذه المشكلة لأنها لم تكن تظهر إلا في أكثر الظروف تطرفًا. فالجاذبية لا تمارس تأثيرها إلا على الأجسام الكبيرة، بينما تؤثر ميكانيكا الكم على الأجسام فائقة الصغر. ومن النادر أن نجد عالمًا يتسم بكونه كبيرًا وصغيرًا في الوقت نفسه، ومن ثم يحتاج من أجل توصيفه إلى الاستعانة بكل من ميكانيكا الكم والنسبية العامة. ومع ذلك فهناك عوالم كهذا. فعندما نستعين بالجاذبية وبميكانيكا الكم معًا من أجل دراسة الانفجار العظيم أو الثقوب السوداء، هذين العالمين اللذان يتضمنان ظروفًا متطرفة تتمثل في وجود مقدار هائل من المادة المضغوطة في حجم صغير، فإن الحسابات الرياضية تتداعى عند نقطة حرجة من هذا التحليل، تاركة إيانا في مواجهة أسئلة لا جواب لها تتعلق بالكيفية التي بدأ بها الكون، والكيفية التي قد ينتهي بها داخل القلوب الساحقة لأحد الثقوب السوداء. علاوة على ذلك – وهذه هو الجزء ثقيل الوطأة بحق - ففي ما وراء المثالين المحددين للثقوب السوداء

والانفجار العظيم، يمكنك أن تحسب مقدار الضخامة أو الصِّغَر الذي على المنظومة الفيزيائية أن تكون عليها كي تلعب الجاذبية وميكانيكا الكم كلاهمًا دورًا ملموسًا. والنتيجة هي 10^{19} مرة قدر كتلة البروتون وهي الكتلة المُسماة «كتلة بلانك»، مضغوطة داخل حيز مكاني يبلغ نحو 10^{-99} سنتيمتر مكعب (أي ما يعادل بالتقريب كرة يساوي نصف قطرها 10^{-33} سنتيمتر، وهو الطول المسمى «طول بلانك»، والموضح بالرسم في الشكل 4-1)[50]. وبهذا فإن نطاق هيمنة الجاذبية الكمية أصغر بأكثر من مليون مليار مرة من المقاييس التي باستطاعتنا سبرها بأقوى معجلات الجسيمات في العالم. وهذا النطاق الشاسع المجهول من الممكن أن يكون عامًا بمجالات جديدة وبجسيمات مصاحبة لها؛ فضلا عن أشياء أخرى لا علم لنا بها. إن توحيد الجاذبية وميكانيكا الكم يتطلب الانتقال من هذه النقطة إلى تلك، بحيث نستوعب ما هو معلوم وما هو مجهول على امتداد حيز مكاني هائل لا يزال إلى الآن، في معظمه، غير قابل للرصد تجريبيًّا. إنها مهمة شديدة الطموح، ويرى علماءٌ عديدون أنها خارج متناولنا.

وهكذا يمكنك تخيل مشاعر الدهشة والتشكك التي انتابت المجتمع العلمي حين بدأت، في منتصف ثمانينيات القرن العشرين، تسري في أرجائه شائعات تفيد بتحقق طفرة نظرية كبيرة على الطريق نحو تحيد القوى باستخدام نهج جديد يسمى نظرية الأوتار.

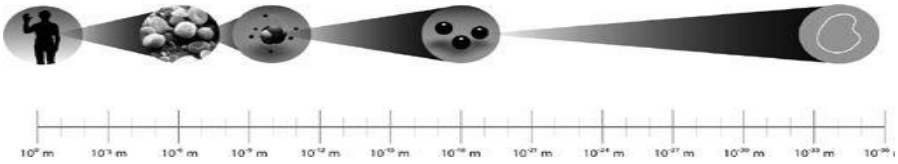


شكل 4-1: إن طول بلانك، الذي تتواجه فيه الجاذبية مع ميكانيكا الكم وجهًا لوجه، أصغر بنحو 100 مليار مليار مرة من أي نطاق جرى استكشافه تجريبيًّا. وبالقراءة على امتداد المخطط المعروض نجد أن كل علامة تفصلها مسافة متساوية عن العلامة السابقة لها تمثل انخفاضا في الحجم بمعامل قدره 1000، وهذا يتيح وضع المخطط داخل صفحة كتاب غير أنه ييسط بصريا النطاق الهائل لمستويات الحجم. ومن أجل تفهم الأمر على نحو أفضل، لاحظ أنه لو جرى تكبير إحدى الذرات بحيث صارت في حجم الكون القابل للرصد، فإن عملية التكبير نفسها ستجعل طول بلانك يعادل طول شجرة عادية.

نظرية الأوتار

رغم أن نظرية الأوتار تتمتع بسمعة مخيفة، فإن فكرتها الأساسية سهلة الاستيعاب. لقد رأينا أن النظرة السائدة، قبل نظرية الأوتار، كانت تتصور المكونات الجوهرية للطبيعة بوصفها جسيمات نُقَطِيَة - أي نقاط ليس لها أي بنية داخلية - تحكمها معادلات نظرية المجال الكمي. وكل نوع متمايز من الجسيمات مرتبط بنوعٍ متمايز من المجالات. تتحدى نظرية الأوتار هذه الصورة عن طريق اقتراح أن الجسيمات ليست نقاطًا. بل عوضًا عن ذلك تقترح النظرية أن الجسيمات عبارة عن خيوط مهتزة دقيقة شبيهة بالأوتار، على النحو المبين في الشكل 4-2. وتذهب هذه النظرية إلى أننا إذا نظرنا عن كثب بما يكفي لأي جسيم كنا نعده في السابق جسيمًا أساسًا، سنجد وترًا مهتزًا دقيق الحجم. فإذا أمعنت النظر في قلب الإلكترون، ستجد وترًا، وإذا أمعنت النظر في قلب أحد الكواركات، ستجد وترًا.

كما تذهب النظرية إلى أنه في ضوء مزيدٍ من الملاحظة الدقيقة ستلاحظ أن الأوتار الموجودة داخل أنواع الجسيمات المختلفة متطابقة كلها، غير أن لها أنماط اهتزاز مختلفة، وهذه هي الفكرة الأساسية التي تدور حولها نظرية الأوتار. فالإلكترون أقل في الكتلة من الكوارك، وهذا وفق نظرية الأوتار يعني أن وتر الإلكترون يهتز بطاقة أقل مقارنة بوتر الكوارك (وهذا يعكس مجددًا تكافؤ الطاقة والكتلة الذي تعبر عنه المعادلة $E = mc^2$). أيضًا للإلكترون شحنة كهربية تفوق في شدتها شحنة الكوارك، وهذا الفارق يترجم إلى اختلافات أخرى أدق بين أنماط اهتزاز الأوتار المصاحبة لكل منهما. ومثلما نتج أنماط الاهتزاز المختلفة لأوتار الجيتار نغمات موسيقية مختلفة، فإن أنماط الاهتزاز المختلفة للأوتار تُنتِج خصائص مختلفة للجسيمات وفق نظرية الأوتار.



شكل 4-2: وفق مقترح نظرية الأوتار المتعلق بالطبيعة الفيزيائية على نطاق بلانك فإن المكونات الأساسية للمادة هي أوتار تشبه الخيوط. وبسبب القدرة الرصدية المحدودة لمعداتنا، تبدو الأوتار أشبه بالنقاط.

وفي الحقيقة، تشجعنا النظرية على التفكير في الوتر المهتز ليس فقط بوصفه المُحدِّد الأساسي لخصائص الجسيم الذي يحويه، بل باعتباره هو الجسيم ذاته. فبسبب الحجم شديد الضآلة للوتر، الذي يصل إلى طول بلانك - 10^{-33} سنتيمتر - تعجز أدق تجاربنا اليوم عن سبر أغوار البنية الممتدة للوتر. إن مصادم الهدرونات الكبير، الذي يصادم الجسيمات بطاقات تزيد بأكثر من تريليون مرة عن طاقة البروتون في حالة السكون، يستطيع الوصول إلى مستويات حجم تبلغ نحو 10^{-19} سنتيمتر، وهذا يساوي جزءا من المليار من عرض الشعرة الواحدة، غير أنّه لا يزال بعيداً للغاية عن سبر الظواهر على مستوى طول بلانك. وهكذا، مثلما يبدو كوكب الأرض كنقطة بسيطة عندَ النظر إليه من كوكب بلوتو، تبدو الأوتار أشبه بالنقاط عندَ دراستها باستخدام أكثر معجلات الجسيمات تقدما في العالم. ومع ذَلكَ، فوفق نظرية الأوتار، الجسيمات هي أوتار.

هذا هو جوهر نظرية الأوتار في إيجاز شديد.

لنظرية الأوتار سمات أساسية عديدة أخرى، وقدْ أدت التطورات التي مرت بها النظرية منذ طرحها للمرة الأولى إلى إثراء الوصف شديد البساطة الذي قدمته لها إلى الآن. وفي الجزء المتبقي من هذا الفصل (وكذلك في الفصول الخامس والسادس والتاسع)، سنتعرض لبعض أهم التطورات في هذه النظرية، بيد أنني أريد التشديد أولاً على ثلاث نقاط عامة.

أولاً، حين يقترح أحد الفيزيائيين نموذجا للطبيعة باستخدام نظرية المجال الكمي، فإنه يحتاج إلى تحديد المجالات المحددة التي ستضمها النظرية. تحكم القيود التجريبية هذا الاختيار (فكل جسيم معروف يحتم تضمين المجال الكمي المصاحب لهُ) علاوة على الاعتبارات النظرية (يُستعان بالجسيمات الافتراضية والمجالات المصاحبة لها، مثل مجال التضخم ومجال هيجز، بغية حل المشكلات المفتوحة أو القضايا المحيرة). يُعد النموذج القياسي مثالا جيدا لهذا الأمر. فهذا النموذج، الذي يُعد ذروة انجاز فيزياء الجسيمات في القرن العشرين بسبب قدرته على أن يصف بدقة مجموعة البيانات الثرية التي جُمعت من معجلات الجسيمات من كل أنحاء العالم، هو في حقيقته نظرية مجال كمي تحتوي على سبعة وخمسين مجالًا كميًا منفصًلا (المجالات المتوافقة مع الإلكترون، والنيوترينو والفوتون وأنواع الكواركات المختلفة؛ الكوارك العلوي والسفلي والساحر، وغيرها). لا ريب أن النموذج القياسي ناجح للغاية، بيد أن كثيراً من الفيزيائيين يشعرون أن الفهم الأساسي بحق ليس من المفترض أن يتطلب هذا العدد الكبير الفج من المكونات.

من السمات المثيرة للاهتمام في نظرية الأوتار أن الجسيمات تظهر من قلب النظرية نفسها: إذ يظهر نوع منفصل من الأوتار من كل نمط اهتزازًا مختلفًا للأوتار. وبما أن أنماط الاهتزاز تحدد خصائص الجسيمات المتوافقة معها، فإذا استطعنا فهم النظرية جيدًا بحيث نصف أنماط الاهتزاز كلها، ستمكن وقتئذ من تفسير خصائص الجسيمات كافة. ما تتيحه، وتعد به، نظرية الأوتار إذاً هو السمو فوق نظرية المجال الكمي عن طريق اشتقاق جميع خصائص الجسيمات اشتقاقاً رياضياً. وهذا ليس من شأنه فقط أن يوحد كل شيء تحت مظلة الأوتار المهتزة، بل سيبرهن أيضاً على أن «المفاجآت» المستقبلية - على غرار اكتشاف أنواع من الجسيمات غير معروفة بعد – إنما هي جزء أصيل من نظرية الأوتار من البداية، ومن ثمّ سيكون من الممكن، نظريا، اكتشافها بواسطة الحسابات الرياضية الدؤوبة. فنظرية الأوتار لا تسير تدريجيًا نحو تقديم وصف أوفي للطبيعة، بل هي تسعى من البداية إلى تقديم وصف وافٍ لها.

النقطة الثانية هي أن من بين أنماط الاهتزاز الممكنة، يوجد نمط واحد يمتلك الخصائص الصحيحة لكي يكون الجسيم الكمي لمجال الجاذبية. فرغم أن المحاولات النظرية السابقة على نظرية الأوتار التي حاولت دمج الجاذبية مع ميكانيكا الكم فشلت في مقصدها هذا، فقد كشفت الأبحاث عن الخصائص التي من الضروري أن يمتلكها أي جسيم مفترض مصاحب لمجال الجاذبية الكمي؛ ذَلكَ الجسيم المسمى «الجرافيتون». وقدْ خلصت الدراسات إلى أن الجرافيتون يجب أن يكون عديم الكتلة والشحنة الكهربية، ويجب أن تكون الخاصية الكمية المعروفة باسم اللف المغزلي مقدارها اثنان.

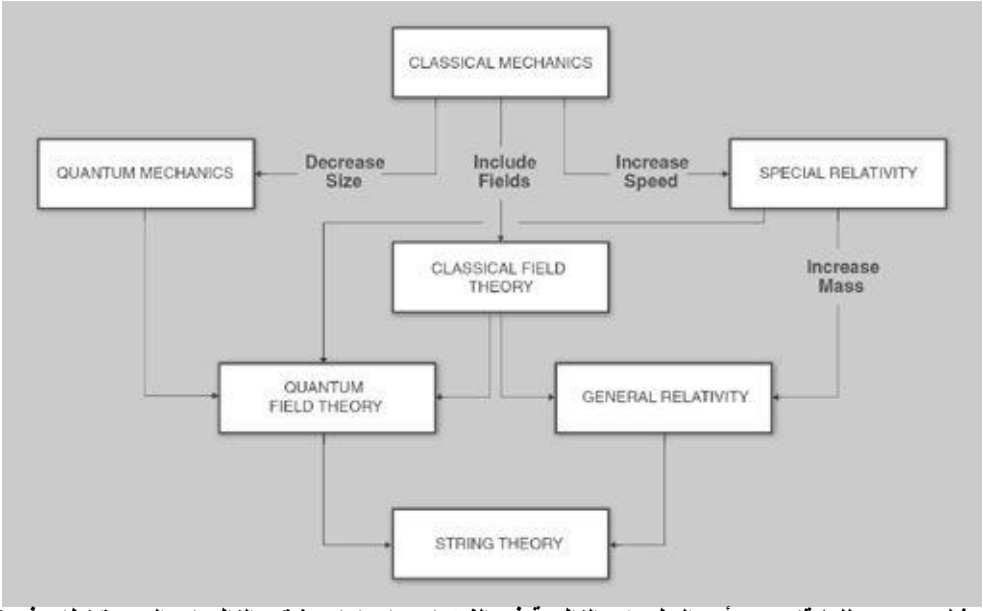
(بشكل تقريبي، من المفترض أن يدور الجرافيتون حول ذاته مثل لعبة النحلة الدوارة، لكنّ بسرعة تزيد مرتين عن سرعة دوران الفوتون حول ذاته)[51]. ومن المثير للعجب أن باحثي نظرية الأوتار الأوائل - جون شوارتز وجويل شيرك وأيضًا، على نحو مستقل عنهما، تاماكي يونيا - وجدوا ضمن قائمة أنماط اهتزاز الأوتار نمطًا تتفق خصائصه مع خصائص الجرافيتون. بكل دقة. وفي منتصف الثمانينات، حين

قُدمت حجج مقنعة تؤكد أن نظرية الأوتار كانت نظرية كمية متسقة رياضيًا (وذلك بالأساس بفضل أبحاث شوارتز ومعاونه مايكل جرين)، أشار وجود الجرافيتون ضمنًا إلى أن نظرية الأوتار قدمت نظرية الجاذبية الكمية التي طال البحث عنها. وهذا هو الإنجاز الأهم لنظرية الأوتار، وسبب حصولها السريع على هذه المكانة العلمية الكبيرة على مستوى العالم.[52]

ثالثًا، بصرف النظر عن مقدار الثورية التي يتسم بها مُقترح نظرية الأوتار، فإنه يلخص نمطًا متكررًا في تاريخ الفيزياء. فالنظريات الناجحة الجديدة لا تلغي النظريات السابقة عليها تماماً، بل في المعتاد تستوعب النظريات الناجحة تلك السابقة عليها، بينما تتوسع كثيراً في نطاق الظواهر الفيزيائية التي يمكن وصفها بدقة. فالنسبية الخاصة توسع فهمنا لعالم السرعات العالية، والنسبية العامة توسع فهمنا لعالم الأجرام ضخمة الكتلة (نطاق تأثير مجالات الجاذبية)، أما ميكانيكا الكم ونظرية المجال الكمي فتوسع فهمنا لعالم المسافات القصيرة. إنّ المفاهيم التي تستحضرها هذه النظريات والسمات التي تكشف عنها تختلف قلبًا وقالبًا مع أي شيء جرى تصوره من قبل. ومع هذا فإذا طبقنا هذه النظريات على مستوى السرعات والأحجام والكتل العادية المألوفة، فسنجد أنها تُختزل إلى توصيفات جرى تطويرها قبل القرن العشرين؛ أي ميكانيكا نيوتن الكلاسيكية ومجالات فاراداي وماكسويل الكلاسيكية وما شابهها.

من المرجح أن تكون نظرية الأوتار الحلقة التالية والأخيرة في هذه السلسلة؛ إذ إنها تستوعب في إطار مفاهيمي واحد جميع المستويات التي تغطيها النسبية وميكانيكا الكم. علاوة على ذَلكَ، وهذا أمر يجب الاستماع إليه بانتباه شديد، فإن نظرية الأوتار تفعل هذا بصورة تستوعب بشكل كامل كل الاكتشافات السابقة عليها. ربما لا يبدو أن هناك قاسما مشتركًا كبيراً بين نظرية مبنية على خيوط مهتزة وبين صورة الجاذبية المبنية على الزمكان المنحني التي تقدمها النسبية العامة. ومع هذا فإذا طبقنا المعادلات الرياضية لنظرية الأوتار على المواقف التي تكون فيها الجاذبية مهمة لكنّ ميكانيكا الكم غير كذلك (على الأجسام ضخمة الحجم، كشمسنا) فستظهر أمامنا معادلات آينشتاين. الخيوط المهتزة مختلفة بالمثل عن الجسيمات النقطية، لكنّ إذاً طبقنا المعادلات الرياضية لنظرية الأوتار على المواقف التي تكون فيها. ميكانيكا الكم مهمة لكنّ الجاذبية غير كذلك (أي على مجموعات الأوتار الصغيرة التي لا تهتز أو تتحرك بسرعة أو تستطيل لمسافة طويلة، ولها طاقة منخفضة - وبالمثل كتلة منخفضة - ومن ثمّ لا تلعب الجاذبية فعلاً أي دور فيها) فسنجد أن حسابات نظرية الأوتار تتخذ شكل حسابات نظرية المجال الكمي.

يلخص الشكل 4-3 هذه الفكرة، ويبين الصلات المنطقية التي أقامها الفيزيائيون بين كبرى النظريات منذ عصر نيوتن. كانَ من الممكن أن تتطلب نظرية الأوتار انفصالًا حادًا عن الماضي، وأن تتخذ مكانا بعيداً داخل الرسم المقدم في الشكل، لكنّ من المثير للدهشة أن هذا لم يحدث. فنظرية الأوتار ثورية بما يكفي بحيث تسمو فوق الحدود التي أحاطت بفيزياء القرن العشرين، غير أن النظرية تتسم بقدر من المحافظة يسمح لها باستيعاب ثلاثمائة عام من الاكتشافات داخل إطارها الرياضي بكل سلاسة.



شكل 4-3: : تمثيل رسومي للعلاقات بين أهم التطورات النظرية في الفيزياء. تاريخيا، وشقت النظريات الجديدة نطاق فهمنا (بحيث شمل السرعات الأكبر والكتل الأضخم والمسافات الأقصر) بينما اختلت إلى النظريات السابقة عندَ تطبيقها على ظروف فيزيائية أقل تطرفا. تتفق نظرية الأوتار مع نمط التقدم هذا؛ إذ توسع نطاق فهمنا وتخترل، في الظروف الملائمة، إلى كل من النسبية العامة ونظرية المجال الكمي.

أبعاد المكان

الآن سنتحدث عن أمر أشد غرابة. إنّ الانتقال من النقاط إلى الخيوط ما هو إلا جزء من الإطار الجديد الذي استحدثته نظرية الأوتار. وفي الأيام الأولى لأبحاث نظرية الأوتار واجه الفيزيائيون أخطاءً رياضية قاتلة يُطلق عليها (مواضع الشذوذ الكمي)، استتبعت عمليات غير مقبولة على غرار التخليق أو الإفناء التلقائي للطاقة. في المعتاد، حين تواجه مشكلات كهذه أي نظرية مقترحة، يستجيب الفيزيائيون لهذا بسرعة وحسم؛ ويتخلون عن النظرية تماماً. وفي الواقع، رأى الكثيرون في منتصف سبعينيات القرن العشرين أن هذا هو التصرف الصائب حيال نظرية الأوتار. غير أن قلة من الباحثين الذين ظلوا ملتزمين بهذا المسار عثروا على طريق بديل لمواصلة التقدم.

وفي تطور مذهل، اكتشف هؤلاء الباحثين أن السمات المعضلة مرتبطة تماماً بعدد الأبعاد المكانية. فقد كشفت حساباتهم أنّه لو أن الكون يمتلك أكثر من الأبعاد المكانية الثلاثة المألوفة - أي أكثر من أبعاد اليمين / اليسار والأمام / الخلف والأعلى/ الأسفل - عندئذٍ من الممكن تنقية معادلات نظرية الأوتار من سماتها المعضلة. وعلى وجه التحديد، في كون يحتوي على تسعة أبعاد مكانية وبُعد زمني واحد، أي ما مجموعه عشرة أبعاد زمكانية، تصير معادلات نظرية الأوتار خالية من المشكلات.

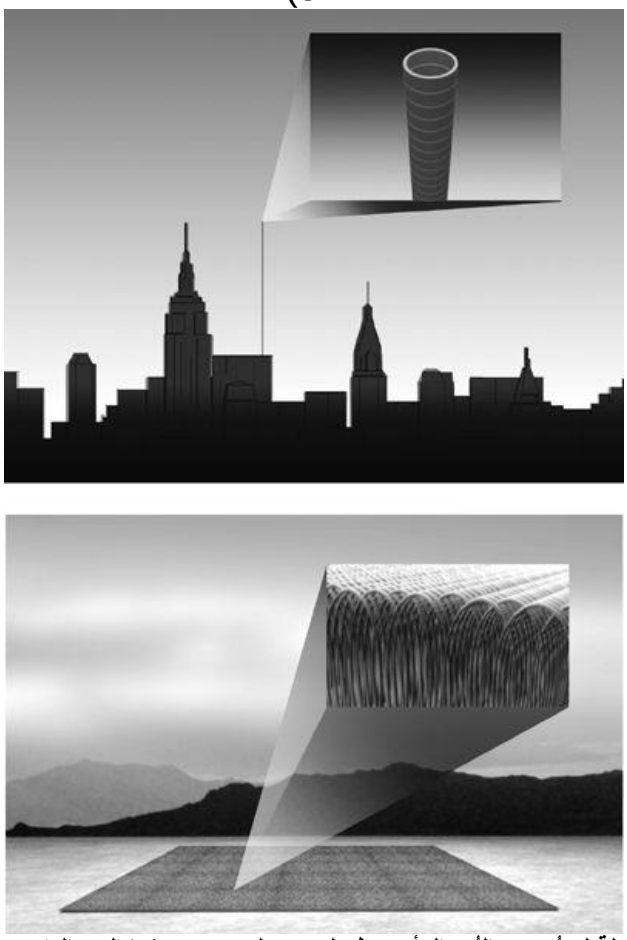
كم أود أن أشرح بمصطلحات فنية محضة كيف يحدث هذا، لكنّ لا يمكنني هذا، ولم يسبق لي أن قابلت شخصاً يستطيع هذا. لقد حاولت في كتابي «الكون الأنيق» أن أفعل هذا، غير أن تلك المعالجة تصف، بمصطلحات عامة، الكيفية التي يؤثر بها عدد الأبعاد على جوانب اهتزازات الأوتار، لكنّها لا تصف من أين يأتي العدد عشرة تحديدا. لذا، سأقدم لك الخلاصة الرياضية في عبارة بسيطة. ثمة معادلة في نظرية الأوتار تتخذ الشكل التالي: «(ب - 10) × (مشكلة)»، حيث يمثل الرمز (ب) عدد الأبعاد الزمكانية وتمثل كلمة (مشكلة) التعبير الرياضي الذي يؤدي إلى ظواهر فيزيائية مزعجة، على غرار انتهاك قانون حفظ الطاقة المذكور سابقا. لا يمكنني تقديم تفسير بديهي غير فني يوضح سبب اتخاذ المعادلة هذه الصورة المحددة. لكنّ لو أنك أجريت الحسابات بنفسك، ستدرك أن هذا هو ما تؤدي إليه الحسابات الرياضية. الملاحظة البسيطة والمحورية هنا هي أنّه لو كانَ عدد الأبعاد الزمكانية عشرة، وليس أربعة كما نتوقع، فستصير النتيجة «صفر من المرات X مشكلة»، وبما أن أي شيء مضروب في العدد صفر يساوي صفراً ففي كون يحتوي على عشرة أبعاد زمكانية ستتلاشى المشكلات تماماً. هذا هو ما تُنبئنا به الحسابات الرياضية. حقاً. وهذا هو السبب الذي دعا باحثي نظرية الأوتار إلى القول باحتواء الكون على أكثر من أربعة أبعاد زمكانية.

لكنّ مهما كنت مستعدًا للسير في الطريق الذي ترسمه الحسابات الرياضية، فإذا لم يسبق لك التعرض لفكرة الأبعاد الإضافية، من المحتمل أن تبدو هذه الاحتمالية جنونا تاما في نظرك. فالأبعاد المكانية لا تفقد مثل مفاتيح السيارة أو إحدى فردتي جوربك المفضل. فإذا كانَ الكون يحتوي على أبعاد أخرى بخلاف أبعاد الطول والعرض والارتفاع، فمن المؤكد أن يلاحظ أحدهم هذا الأمر. حسناً، ليس بالضرورة. ومنذ وقت طويل، في العقود الأولى من القرن العشرين، طرحت سلسلة من الأوراق البحثية كتبها كل من الرياضي الألماني تيودور كالوزا والفيزيائي السويدي أوسكار كلاين، فكرة وجود أبعاد تستعصي على الرصد. وقدْ ذهبت أبحاثهما إلى أنّه بخلاف الأبعاد المكانية المألوفة التي تمتد عبر مسافات كبيرة، ربما لا متناهية، هناك أبعاد إضافية صغيرة الحجم ومتكورة على ذاتها، وهذا يجعل من الصعب رؤيتها.

لتصور الأمر، فكر في ماصة العصير العادية. لكنّ بما يتوافق مع الهدف من حديثنا اجعلها غير تقليدية عن عمد، وذلك بأن تتصور أنها رفيعة بنفس مقدارها المعتاد لكنّها تناهز في الطول مبنى الإمبايرستيت.

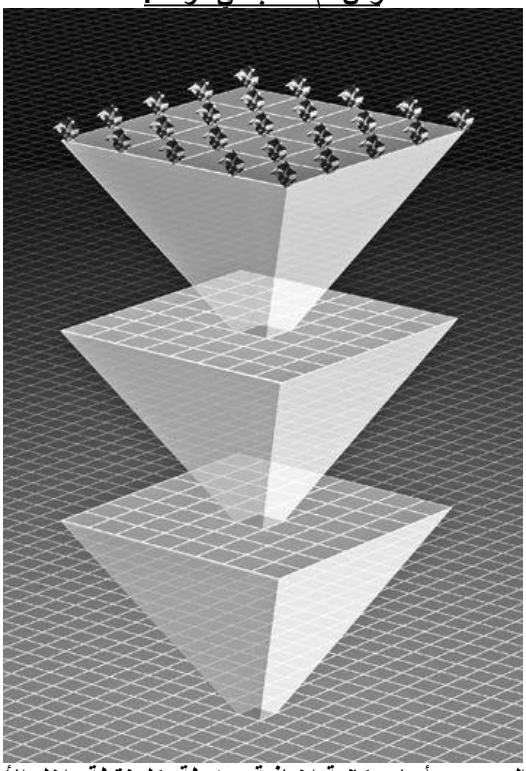
إنّ سطح الماصة الطويلة (شأن سطح أي ماصة عادية) له بُعدان؛ أحدهما هو البعد الرأسي الطويل والآخر هو البعد الدائري القصير الذي يلتف حول الماصة. الآن تخيل أنك تنظر إلى الماصة من الضفة الأخرى لنهر هدسون، كما في الشكل 4-4 أ. نظرًا لأن الماصة رفيعة للغاية، فهي تبدو أشبه بخط رأسي يمتد من الأرض إلى السماء. فعلى هذه المسافة أنت لا تمتلك حدّة البصر الكافية لترى البعد الدائري الدقيق للماصة، رغم أنّه موجود عندَ كل نقطة على امتداد الحيز الرأسي الطويل. وهذا من شأنه أن يدعوك، مخطئا، إلى الظن بأن سطح الماصة له بُعد واحد، وليس بعدان.[53]

أشار مُقترح كالوزا-كلاين إلى أن تمييزًا مماثلًا، بين الأبعاد الكبيرة التي يسهل رؤيتها والأبعاد الأخرى الصغيرة التي يصعب بالتبعية الكشف عنها، ربما ينطبق على نسيج المكان ذاته. فسبب وعينا جميعاً بالأبعاد المكانية الثلاثة هو أن امتدادها، شأن البعد الرأسي للماصة وبُعدي الشمال الجنوب والشرق/ الغرب للبساط، هائل (وقدْ يكون لا متناهيا). ومع ذَلكَ إذاً كانَ هناك بُعد مكاني إضافي متكور على ذاته مثل الجزء الدائري من الماصة أو البساط، لكنه في حجم شديد الضالة - أصغر بملايين أو حتّى مليارات المرات من الذرة المنفردة - فمن الممكن أن يكون موجوداً في كل مكان شأنه شأن الأبعاد العادية المنبسطة، غير أنّه يظل بعيداً عن قدرتنا على الرصد حتّى باستخدام أقوى معدات التكبير التي نمتلكها اليوم. من شأن هذا البُعد في الواقع أن يصير مفقودًا. كانت هذه بداية نظرية كالوزا-كلاين، تلك النظرية القائلة بأن كوننا يحوي أبعادًا مكانية تزيد على الأبعاد الثلاثة التي نألفها من واقع الخبرة اليومية (الشكل 4-5).



شكل 4-4: (أ) سطح ماصة طويلة له بُعدين، البُعد الرأسي طويل وتسهل رؤيته، بينما البعد الدائري صغير وأصعب في الرصد. (ب)

بساط عملاق لهَ ثلاثة أبعاد، بُعدا الشمال/ الجنوب والشرق/ الغرب كبيران وتسهل رؤيتهما، بينما الجزء الدائري، وبر البساط، صغير ومن ثمّ أصعب في الرصد.



شكل 4-5: تذهب نظرية كالوزا-كلاين إلى وجود أبعاد مكانية إضافية مرتبطة بكل نقطة داخل الأبعاد المكانية الثلاثة الكبيرة المألوفة لنا. ولو أمكننا تكبير النسيج المكاني بما يكفي، فمن شأن الأبعاد الإضافية المفترضة أن تصير مرئية. (لأغراض التوضيح البصري، الأبعاد الدائرية مُلحقة فقط بنقاط التقاطع على الشبكة في الرسم التوضيحي.)

هذا التفكير يوضح أن اقتراح وجود أبعاد مكانية« إضافية»، مهما كانَ غير مألوف، ليس اقتراحًا عبثاً. هذه بداية طيبة، غير أنها تثير في الذهن سؤالًا أساسيا: لماذا، في عشرينيات القرن العشرين، يثير أحدهم مثل هذه الفكرة العجيبة؟ كانَ دافع كالوزا آتيا من فكرة راودته بعد نشر آينشتاين النظرية النسبية العامة بوقت قصير. وقدْ وجد أن باستطاعته بجرة قلم - حرفيًا - أن يعدل معادلات آينشتاين بحيث يجعلها تنطبق على كون به بُعد مكاني إضافي. وحين حلل كالوزا تلك المعادلات المعدلة كانت النتائج مثيرة للغاية لدرجة أن كالوزا، حسب وصف ابنه، تخلى عن وقاره المعتاد و ضرب المكتب بكلتا قبضتيه وهب واقفاً على قدميه وأخذ يدندن بلحن أوبرا «زواج فيجارو»[54]. وفي هذه المعادلات المُعدلة، وجد كالوزا المعادلات التي استخدمها آينشتاين بنجاح لوصف الجاذبية في الأبعاد المكانية الثلاثة المألوفة والبعد الزمني. لكنّ نظرًا لاحتواء صياغته الجديدة على بُعد مكانى إضافي، وجد كالوزا أن هناك معادلة إضافية. ويا للعجب! حين اشتق كالوزا معادلته أدرك أنها المعادلة نفسها التي اكتشفها ماكسويل قبل نصف قرن كي يصف المجال الكهرومغناطيسي.

لقد كشف كالوزا أنّه في كون يحوي بُعدًا مكانيًا إضافيًا، من الممكن وصف الجاذبية والكهرومغناطيسية من منطلق التموجات المكانية. فالجاذبية تتموج عبر الأبعاد المكانية الثلاثة المألوفة، بينما تتموج الكهرومغناطيسية عبر البُعد المكاني الرابع. تمثلت إحدى المشكلات البارزة التي واجهت مُقترح كالوزا في تفسير سبب عدم رؤيتنا هذا البُعد المكاني الرابع، وفي هذا الموضع تحديدًا ترك كلاين بصمته إذ اقترح الحل المشروح أعلاه: فالأبعاد الأخرى بخلاف تلك التي نرصدها مباشرة من الممكن أن تغيب عن

حواسنا وأن تستعصي على الرصد بمعداتنا لو كانت هذه الأبعاد صغيرة بما يكفي.
في عام 1919، راودت آينشتاين مشاعر متضاربة حين علم بشأن مُقترح البعد الإضافي الخاص بتوحيد القوتين. فقد كانَ معجبًا بوجود إطار رياضي يعضد حلم التوحيد الذي راوده، غير أنّه كانَ مترددًا بشأن هذا النهج الجامح. ويعد التفكر في الأمر لبضعة أعوام، وهو ما أعاق نشر ورقة كالوزا البحثية، رحب آينشتاين أخيراً بالفكرة وصار مع الوقت أحد أقوى أنصار وجود الأبعاد المكانية الخفية. وخلال أبحاثه الخاصة الهادفة للعثور على نظرية موحدة كانَ يعود إلى هذا الموضوع على نحو متكرر.
لكنّ بصرف النظر عن مباركة آينشتاين، فقد بينت الأبحاث اللاحقة أن نهج كالوزا ـ كلاين كانَ يواجه عدداً من العقبات، أصعبها عدم قدرته على تضمين الخصائص التفصيلية لجسيمات المادة، كالإلكترون، داخل بنيته الرياضية. جُربت طرق بارعة لتفادي هذه المشكلة، علاوة على تعميمات وتعديلات عدة لمقترح كالوزا-كلاين الأصلي، من وقت لآخر على مدار نحو عقدين، لكنّ لم يظهر إلى النور أي إطار رياضي خال من المشكلات، وبحلول منتصف أربعينيات القرن العشرين جرى التغاضي عمومًا عن فكرة توحيد القوى عن طريق الأبعاد الإضافية.
بعد ذَلكَ بثلاثين عاماً حلت نظرية الأوتار. وبدلًا من أن تسمح الحسابات الرياضية لنظرية الأوتار بوجود أكثر من ثلاثة أبعاد مكانية، فقد استلزمت ذَلكَ. وهكذا وفرت نظرية الأوتار إطارًا جديدًا جاهزًا لتطبيق نهج كالوزا-كلاين. وردًا على السؤال «لو كانت نظرية الأوتار هي نظرية التوحيد التي طال السعي وراءها، فلماذا إذاً لم نر الأبعاد الإضافية التي تتطلبها النظرية؟» يتردد صدى جواب كالوزا-كلاين عبر العقود مجيبًا بأن الأبعاد موجودة حولنا غير أنها أصغر من أن تُرى. لقد أعادت نظرية الأوتار إحياء نهج كالوزا كلاين، وبحلول منتصف ثمانينيات القرن العشرين تحمس الباحثون في كل أنحاء العالم للاعتقاد بأن الأمر مسألة وقت - وقت قصير وفق أكثر المناصرين حماسة - قبل أن تقدم نظرية الأوتار نظرية كاملة لكل صور المادة والطاقة.

آمالٌ عريضة

خلال الأيام الأولى لنظرية الأوتار تحقق التقدم بسرعة شديدة، لدرجة أنّه كانَ من شبه المستحيل ملاحقة التطورات. وقدْ شبه كثيرون هذا المناخ بالمناخ الذي ساد في عشرينيات القرن العشرين، حين اندفع العلماء نحو سبر عالم ميكانيكا الكم المُكتشف حديثاً. وفي ظل هذه الإثارة، من المفهوم أن يتحدث بعض المنظرين عن وجود حلول سريعة لبعض المشكلات التي تعتري الفيزياء الأساسية: كدمج الجاذبية وميكانيكا الكم، وتوحيد كل قوى الطبيعة، وتفسير خصائص المادة، وتحديد عدد الأبعاد المكانية، وتوضيح طبيعة نقاط التفرد القابعة في قلوب الثقوب السوداء، والكشف عن أصل الكون. لكنّ كما توقّع الباحثون الأكثر خبرة، فقد كانت هذه التوقعات سابقة لأوانها. فنظرية الأوتار ثرية للغاية، ومترامية الأطراف، وصعبة من الناحية الرياضية لدرجة أن الباحثين حتّى يومنا هذا، بعد نحو ثلاثة عقود من بهجة اكتشافها الأولي، لم يقطعوا سوى جزء بسيط على طريق استكشافها. وفي ضوء أن عالم الجاذبية الكمية أصغر بنحو مائة مليار مليار مرة من أي شيء يمكن الوصول إليه تجريبيًا، فوفق التقديرات الحصيفة لا يزال الطريق طويلاً.

أين نحن إذاً في هذا الطريق؟ في بقية هذا الفصل سأستعرض أحدث ما توصلنا إليه في عددٍ من المناحي (باستثناء تلك المتعلقة بموضوع الأكوان الموازية التي سنتعرض لها بنقاش أكثر تفصيلًا في الفصول اللاحقة)، وأقيم الإنجازات المتحققة إلى الآن والتحديات التي لا تزال ماثلة أمامنا.

نظرية الأوتار وخصائص الجسيمات

أحد أعمق الأسئلة في عالم الفيزياء بأسره هو لماذا تمتلك جسيمات الطبيعة الخصائص التي تمتلكها. فلماذا، مثلاً، يمتلك الإلكترون كتلته هذه والكوارك العلوي شحنته الكهربية هذه تحديدًا؟ لا يجذب السؤال الانتباه فقط لأنه مثير للاهتمام في حد ذاته، وإنما أيضاً بسبب الحقيقة المؤرقة التي ألمحنا إليها من قبل. فإذا كانت خصائص الجسيمات مختلفة عما هي عليه - مثلاً لو كانَ الإلكترون أثقل أو أخف قليلاً، أو كانَ التنافر الكهربي بين الإلكترونات أقوى أو أضعف قليلاً - فإذن العمليات النووية التي تمد النجوم، كشمسنا، بالطاقة كانت ستتعرض لخلل شديد. ومن دون النجوم سيكون الكون مكانا مختلفا للغاية[55]. وأهم ما في الأمر أنّه من دون حرارة الشمس وضوئها، ما كانَ لسلسلة الأحداث التي أدت إلى نشأة الحياة على الأرض أن تقع من الأساس.

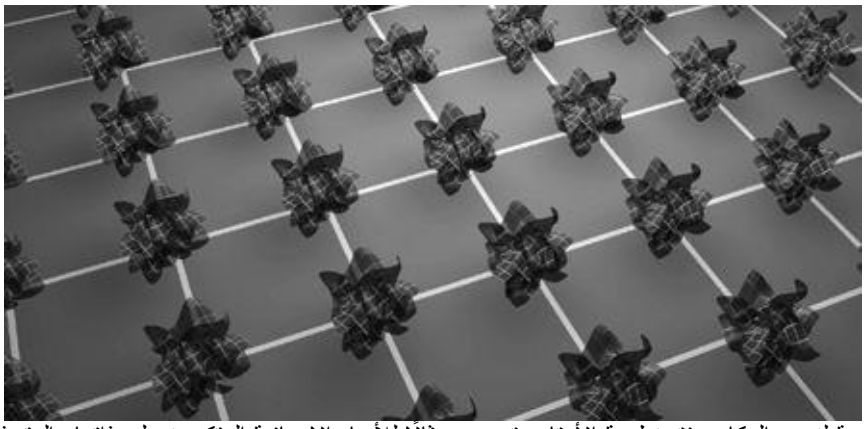
يقودنا هذا إلى تحد عظيم: أن نحسب، مُستخدمين ورقة وقلمًا، وربما جهاز كمبيوتر، علاوة على أفضل فهمنا لقوانين الفيزياء، خصائص الجسيمات ونتوصل إلى نتائج تتفق مع القيم المقيسة بالفعل. ولو أمكننا مجابهة هذا التحدي فسنقطع بهذا إحدى أعظم الخطوات نحو فهم سبب امتلاك الكون خصائصه هذه. في نظرية المجال الكمي لا سبيل إلى التغلب على هذا التحدي. إلى الأبد. فنظرية المجال الكمي تتطلب وضع خصائص الجسيمات المقيسة كمُدخلات - فهذه السمات تعد جزءًا من تعريف النظرية - ومن ثمّ يمكنها استيعاب نطاق عريض من القيم الخاصة بكتلها وشحناتها[56]. في عالم تخيلي تكون فيه كتلة الإلكترون أو شحنته أكبر مما هي عليه في كوننا، باستطاعة نظرية المجال الكمي أن تتكيف مع الوضع في غمضة عين؛ إذ يتعلق الأمر وحسب بتعديل قيمة أحد المؤشرات داخل معادلات النظرية.

هل بمقدور نظرية الأوتار أن تفعل ما هو أفضل من ذَلكَ؟

إحدى أجمل سمات نظرية الأوتار (والجانب الأكثر إثارة للإبهار في نظري حين دَرَستُ هذا الموضوع) هو أن خصائص الجسيمات تتحدد بواسطة حجم وشكل الأبعاد الإضافية. فنظرًا لأن الأوتار دقيقة الحجم للغاية، فهي لا تهتز داخل الأبعاد الثلاثة الكبيرة التي نألفها وحسب؛ بل تهتز كذلك داخل الأبعاد الصغيرة المتكورة على ذاتها. وتمامًا مثلما تتحدد أنماط اهتزاز تيارات الهواء المارَّة عبر آلة نفخ موسيقية بفعل الشكل الهندسي للآلة، فإن أنماط اهتزاز الأوتار في نظرية الأوتار يمليها الشكل الهندسي للأبعاد المتكورة على ذاتها. وحين نضع في الاعتبار أن أنماط اهتزاز الأوتار هي التي تحدد خصائص الجسيمات، كالكتلة والشحنة الكهربية، نرى إذاً أن هذه الخصائص تتحدد استنادًا إلى هندسة الأبعاد الإضافية.

ومن ثَمَّ، إذاً عرفنا تحديدًا ما يبدو عليه شكل الأبعاد الإضافية لنظرية الأوتار، سنكون على الطريق الصحيح نحو التنبؤ بالخصائص التفصيلية بالأوتار المهتزة، وبالتبعية الخصائص التفصيلية للجسيمات الأولية التي يتسبب اهتزاز الأوتار في وجودها. العائق الأساسي، الذي ظل موجوداً لبعض الوقت، هو أنّه لم يستطع أحد التوصل إلى الشكل الهندسي الدقيق للأبعاد الإضافية. فمعادلات نظرية الأوتار تضع قيودًا رياضية على هندسة الأبعاد الإضافية، بحيث تحتم عليها أن تنتمي إلى فئة معينة من الأشكال معروفة باسم «أشكال كالابي-ياو» (أو بالتعبير الرياضي «فضاءات كالابي - ياو المتعددة»)، والتي سُميت على اسم الرياضيين يوجينيو كالابي وشينج - تونج ياو، اللذان درسا خصائصها قبل اكتشاف دورها المهم في نظرية الأوتار بوقت طويل (الشكل 4-6). المشكلة تتلخص في أنّه لا يوجد شكل واحد متفرد من أشكال كالابي-ياو، بل عوضًا عن ذَلكَ فإن أشكال كالابي-ياو شديدة التنوع من حيث الهيئة والحجم، شأنها شأن الآلات الموسيقية. وكما تولد الآلات المختلفة أصواتا مختلفة، فإن الأبعاد الإضافية التي تتباين في الحجم والشكل (علاوة على السمات الأكثر تفصيلًا التي سنتعرض لها بالنقاش في الفصل

القادم) تولد أنماط اهتزاز أوتار مختلفة وبالتبعية مجموعات مختلفة من خصائص الجسيمات. فالافتقار لمواصفات متفردة للأبعاد الإضافية هو العائق الأساسي الذي يمنع باحثي نظرية الأوتار من إصدار تنبؤات قاطعة.



شكل 4-6: نظرة مقربة لنسيج المكان وفق نظرية الأوتار، تعرض مثالًا للأبعاد الإضافية المتكورة على ذاتها والمتخذة أحد أشكال كالابي-ياو. ومثل الوبر الذي يعلو البساط فمن شأن شكل كالابي-ياو أن يرتبط بكل نقطة داخل الأبعاد المكانية الثلاثة الكبيرة المألوفة (التي تمثلها الشبكة ثنائية الأبعاد)، لكنّ لأغراض التوضيح البصري تُعرض الأشكال هنا عندَ نقاط تقاطع الشبكة فقط.

حين بدأتُ العمل على نظرية الأوتار، في منتصف ثمانينيات القرن العشرين، كانت توجد حفنة قليلة من أشكال كالابي-ياو المعروفة، لذا كانَ من الممكن تصوّر دراسة كل شكل منها، والبحث عن شكل يتوافق مع الخصائص الفيزيائية المعروفة. وقدْ كانت رسالة الدكتوراه الخاصة بي واحدة من أولى الخطوات في هذا الاتجاه. بعد ذَلكَ ببضع سنوات، حين كنت باحثاً لما بعد الدكتوراه (أعمل وقتها مع ياو ذاته، أحد مبتكرئ أشكال كالابي-ياو)، كانَ عدد أشكال كالابي-ياو قد زاد إلى بضعة آلاف، وشَكّل هذا تحدياً أمام التحليل الدقيق، لكنّ على أي حال يستطيع طلبة الدراسات العليا تولي هذه المهام المرهقة. لكنّ مع مرور الوقت استمرت صفحات دليل أشكال كالابي-باو في الزيادة وكما سنرى في الفصل الخامس فقد فاق عددها عدد حبات الرمل الموجودة في أي شاطئ، بل في كل شواطي الأرض، بمعدل كبير. ومن المستحيل تماماً أن نحلل رياضيًا كل صورة محتملة للأبعاد الإضافية. ولهذا فقد واصل باحثو نظرية الأوتار بحثهم عن توجيهات رياضية من داخل النظرية يكون بوسعها تمييز شكل معين من أشكال كالابي ياو بوصفة «الشكل المنشود». وإلى الآن لم ينجح أحد في ذَلكَ.

وهكذا، حين يتعلق الأمر بتفسير خصائص الجسيمات الأساسية، لم تحقق نظرية الأوتار وعدها بعد. وفي هذا الصدد. ليست النظرية أفضل حالاً من نظرية المجال الكمي[57].

ومع ذَلكَ لنضع في الاعتبار أن سبب شهرة نظرية الأوتار هو قدرتها على حل المشكلة الأساسية التي واجهتها الفيزياء النظرية في القرن العشرين: ذَلكَ التعارض الحاد بين النسبية العامة وميكانيكا الكم. ففي داخل نظرية الأوتار، تستطيع النسبية العامة وميكانيكا الكم الاتحاد أخيراً في تناغم. وهذا هو الموضع الذي تحقق فيه نظرية الأوتار تقدمًا محوريًا، إذ تتجاوز بنا عقبة حرجة ابتُلت بها الطرق التقليدية لنظرية المجال الكمي. هل من شأن فهم أفضل لرياضيات نظرية الأوتار أن يمكننا من اختيار شكل متفرد للأبعاد الإضافية، شكل يمكننا بدوره من تفسير كل خصائص الجسيمات المرصودة، شكل من شأنه أن يمثل انتصارًا مذهلًا. ليست هناك بالمثل لعمل هذا. فنظرية المجال الكمي يُنظر إليها بالفعل على أنها شديدة النجاح، ومع ذَلكَ فهي لا تستطيع تفسير خصائص الجسيمات، أما قطع خطوة عظيمة في ما وراء نظرية المجال الكمي، عن طريق تضمين الجاذبية، فسيكون في حد ذاته إنجازًا ضخمًا.

وفي الواقع، سنرى في الفصل السادس أنّه في كون عامر بالعوالم الموازية - كما اقترحت إحدى القراءات الحديثة لنظرية الأوتار - قد يكون من قبيل التشبث بالرأي الخاطئ أن نأمل أن تمكننا الحسابات

الرياضية من اختيار صورة واحدة متفردة للأبعاد الإضافية. وبدلًا من هذا، ومثلما توفر الأشكال العديدة المختلفة من الدي إن إيه صورًا متنوعة للحياة على كوكب الأرض، فربما توفر الصور العديدة المختلفة للأبعاد الإضافية صورًا عديدة متنوعة من الأكوان التي تشكل كونًا متعددًا قوامه الأوتار.

إذا كان الوتر التقليدي صغيرًا على النحو المبين في الشكل 4-2، فستحتاج من أجل سبر بنيته الممتدة - وهي السمة التي تميزه عن النقطة - إلى معجل جسيمات يزيد في قوته على مصادم الهدرونات الكبير بنحو مليون مليار مرة. وباستخدام التكنولوجيا المعروفة حاليًّا، من شأن معجل كهذا أن يعادل في حجمه حجم المجرة، وسيستهلك كل ثانية طاقة تكفي لإنارة العالم لألفية كاملة. وما لم نتمكن من تحقيق طفرة تكنولوجية خارقة، يعني هذا أنّه على مستوى الطاقات المنخفضة التي تستطيع معجلاتنا بلوغها، ستبدو الأوتار كما لو كانت جسيمات نقطية. هذه هي النسخة التجريبية للحقيقة النظرية التي شدَّدَتُ عليها من قبل، وهي: على مستويات الطاقة المنخفضة، ستتخذ الحسابات الرياضية لنظرية الأوتار شكل الحسابات الرياضية بنظرية المجال الكمي. وهكذا، حتى لو كانت نظرية الأوتار هي النظرية الأساسية الحقيقية، فستتخذ شكل نظرية المجال الكمي في نطاق عريض من التجارب الممكن إجراؤها.

وهذا أمر طيب. فرغم أن نظرية المجال الكمي ليست مؤهلة للجمع بين النسبية العامة وميكانيكا الكم، ولا للتنبؤ بالخصائص الأساسية لجسيمات الطبيعة، فبإمكانها تفسير الكثير من النتائج التجريبية الأخرى. وهي تفعل هذا عن طريق أخذ الخصائص المقيسة للجسيمات بوصفها مُدخلات (مدخلات تحدد اختيار المجالات ومنحنيات الطاقة في نظرية المجال الكمي) ثم تستخدم الحسابات الرياضية لنظرية المجال الكمي من أجل التنبؤ بسلوك هذه الجسيمات في التجارب الأخرى، القائمة عادة على معجلات الجسيمات. تكون النتائج شديدة الدقة، ولهذا السبب تبنت أجيال من فيزيائيي الجسيمات نظرية المجال الكمي بوصفها نهجهم الأساسي.

إن اختيار المجالات ومنحنيات الطاقة في نظرية المجال الكمي يكافئ اختيار أشكال الأبعاد الإضافية في نظرية الأوتار. غير أن التحدي الخاص الذي يواجه نظرية الأوتار هو أن الحسابات الرياضية التي تربط خصائص الجسيمات (كالكتلة والشحنة) بشكل الأبعاد الإضافية شديدة التعقيد على نحو استثنائي. وهذا يجعل من الصعب إجراء الحسابات بشكل عكسي؛ بمعنى استخدام البيانات التجريبية بهدف توجيه عملية اختيار الأبعاد الإضافية، تماماً مثلما تحدد هذه البيانات اختيارات المجالات ومنحنيات الطاقة في نظرية المجال الكمي. ويومًا ما ربما نمتلك البراعة النظرية التي تتيح لنا استخدام البيانات التجريبية في تحديد شكل الأبعاد الإضافية في نظرية الأوتار، لكن ليس بعد.

في المستقبل المنظور، إذاً، أفضل سبيل واعد لربط نظرية الأوتار بالبيانات هي التنبؤات التي يمكن تفسيرها على نحو طبيعي ومُقنع من خلال نظرية الأوتار، رغم أنها تظل متاحة للتفسير باستخدام طرق أخرى أكثر تقليدية. فمثلما بينما يمكنك أن تخمن أنني أكتب هذه الكلمات مستخدما أصابع قدمي، فإن الفرضية الطبيعية والأكثر إقناعا - والتي أشهد أنها صحيحة - هي أنني أستخدم أصابع يدي. وبتطبيق المنطق عينه على التجارب الملخصة في الجدول 4-1 يكون بين يدينا حجة ظرفية معقولة تدعم نظرية الأوتار.

تتراوح المساعي بين تجارب فيزياء الجسيمات في مصادم الهدرونات الكبير (البحث عن جسيمات التناظر الفائق وعن أدلة على وجود أبعاد إضافية)، والتجارب العادية قياس شدة الجاذبية على مستويات حجم تبلغ جزءًا من المليون من المتر أو أصغر من ذَلِكَ)، والمشاهدات الفلكية (البحث عن أنواع معينة من موجات الجاذبية والتفاوتات الدقيقة في درجات الحرارة في إشعاع الخلفية الميكروني الكوني). يستعرض الجدول المناهج الفردية المختلفة، غير أن التقييم الإجمالي يمكن تبينه على الفور. فأي بصمة موجبة من أي من هذه التجارب يمكن تفسيرها من دون الاستعانة بنظرية الأوتار. على سبيل المثال،

رغم أن الإطار الرياضي للتناظر الفائق (انظر المُدخل الأول في الجدول4-1) اكتُشف في الأساس عبر الدراسات النظرية لنظرية الأوتار، فقد جرى تضمينه منذئذٍ داخل مناهج أخرى بخلاف نظرية الأوتار. ومن ثم فمن شأن اكتشاف جسيمات التناظر الفائق أن يؤكد على صحة جزء من نظرية الأوتار، بيد أنه لن يمثل دليلًا دامغًا. وبالمثل، رغم أن الأبعاد المكانية الإضافية لها مكان طبيعي داخل نظرية الأوتار، فقد رأينا أن بمقدورها أيضًا أن تكون جزءًا من مقترحات غير ذات صلة بنظرية الأوتار؛ ودليل على ذَلكَ أن كالوزا لم يكن يفكر في نظرية الأوتار حين اقترح الفكرة. وعلى هذا فإن المحصلة الأفضل للمناهج المعروضة في الجدول 4-1 ستكون سلسلة من النتائج الإيجابية التي من شأنها أن تبين أجزاء من أحجية نظرية الأوتار وهي تتخذ مواضعها الصحيحة. ومثل الكتابة بأصابع القدمين، من شأن التفسيرات غير القائمة على نظرية الأوتار أن تصير مجهدة في مواجهة مثل هذه المجموعة من النتائج الإيجابية.

جدول 4-1: التجارب والمشاهدات القادرة على ربط نظرية الأوتار بالبيانات المتاحة.

التجارب / المشاهدات	التفسير
التناظر الفائق	تشير كلمة «فائقة» في نظرية الأوتار الفائقة إلى «التناظر الفائق»، وهي سمة رياضية لها تطبيق سهل مباشر: ففي مقابل كل نوع معروف من الجسيمات من المفترض أن يوجد نوع شريك له الخصائص الكهربية والقوة النووية ذاتها. يخمن الباحثون النظريون أن هذه الجسيمات استعصت إلى الآن على الرصد لأنها أثقل من نظيرتها المعروفة، وهكذا فهي تقع خارج نطاق معجلاتنا البالية. ربما يمتلك مصادم الهدرونات الكبير ما يكفي من الطاقة لإنتاجها، لذا ثمة أمل عريض في أننا قد نكون على شفا الكشف عن صفة التناظر الفائق في الطبيعة.
الأبعاد الإضافية والجاذبية	بما أن المكان هو وسيط الجاذبية، فإن وجود أبعاد أكثر سيوفر نطاقًا أكبر يمكن للجاذبية أن تنتشر داخله. وتمامًا مثلما تنتشر بقعة الحبر وتصير أخف كثافة عند وضعها في إناء من الماء، فإن شدة الجاذبية تصير أخف حين تنتشر عبر الأبعاد الإضافية؛ وهذا يفسر لماذا تبدو الجاذبية ضعيفة (حين ترفع بيدك قدحًا من القهوة فإن عضلاتك تتغلب على قوة الجاذبية التي يبذلها كوكب الأرض كله). ولو أمكننا قياس شدة الجاذبية عبر مسافات أصغر من حجم الأبعاد الإضافية، فسنلحق بها قبل أن تنتشر ومن ثمّ نجد أنها أقوى. وإلى الآن لم تجد القياسات المُجراة على نطاقات حجم قصيرة تصل إلى واحد ميكرون (10^{-6} متر) أي انحرافات عن التوقعات المبنية على العالم ذي الأبعاد المكانية الثلاثة. وإذا عثر على انحراف كهذا بينما يدفع الفيزيائيون تجاربهم إلى مسافات أقصر وأقصر، فمن شأنه أن يمثل دليلًا مقنعا على وجود الأبعاد الإضافية.

التجارب / المشاهدات	التفسير
الأبعاد الإضافية والطاقة المفقودة	لو كانت الأبعاد الإضافية موجودة لكنّها أصغر كثيراً من الميكرون، فسيستحيل على التجارب التي تقيس شدة الجاذبية على نحو مباشر الوصول إليها. غير أن مصادم الهدرونات الكبير يقدم سبيلًا آخر للكشف عن وجودها. فالحطام الناتج عن التصادمات العنيفة بين البروتونات سريعة الحركة يمكن أن يقذف من أبعادنا الكبيرة المألوفة وينضغط داخل أبعاد أخرى (وهناك، لأسباب سأوضحها لاحقًا، من شأن الحطام على الأرجح أن يصير جسيم الجاذبية الجرافيتون). ولو حدث هذا، فسيحمل الحطام بعض الطاقة بعيداً، ومن ثمّ ستسجل كواشفنا فُقدانًا يسيرًا للطاقة بعد التصادم مقارنة بما قبله. وتعد إشارات الطاقة المفقودة هذه دليلًا على وجود الأبعاد الإضافية.
	توصف الثقوب السوداء في المعتاد بأنها بقايا نجوم ضخمة استنفدت وقودها

الأبعاد الإضافية والثقوب السوداء الدقيقة	النووي وانهارت تحت وطأة وزنها، غير أن هذا الوصف قاصر للغاية. فأي شيء يمكن أن يصير ثقبًا أسود لو انضغط بما يكفي. علاوة على ذَلكَ، لو كانت هنا أبعاد إضافية تؤدي إلى أن تصير قوة الجاذبية أكبر عند العمل على مسافات قصيرة، فسيكون من الأيسر تكوين ثقوب سوداء، نظرًا لأن قوة الجاذبية الأشد تعنى أن الأمر يتطلب مقدارًا أقل من الضغط من أجل توليد قوة الجاذبية ذاتها. وبإمكان بروتونين وحسب، لو تصادما معاً على السرعات التي يولدها مصادم الهدرونات الكبير، أن يحشدا طاقةً كافية في حيز صغير نسبيًّا بحيث يُطلقان عملية تشكيل ثقب أسود. سيكون هذا الثقب الأسود ضئيلًا للغاية بالطبع، لكنه سيخلف بصمة واضحة. وتبين التحليلات الرياضية، التي تعود إلى أبحاث هوكينج، أن الثقوب السوداء الدقيقة ستتحلل سريعاً إلى تيار من الجسيمات الأخف التي تستطيع كواشف المصادم أن تلتقط مساراتها.

التجارب / المشاهدات	**التفسير**
موجات الجاذبية	رغم أن الأوتار دقيقة الحجم، فمن الممكن فردها لطول كبير. سيكون عليك وقتها بذل قوة تزيد على 10^{20} طن، غير أن فرد أحد الأوتار ما هو إلا مسألة بذل للقدر الكافي من الطاقة. وقد وجد الباحثون النظريون مواقف عجيبة يمكن فيها توفير الطاقة اللازمة لهذا الفرد من جانب عمليات فيزيائية فلكية، وهو ما ينتج أوتارًا طويلة تتهادى في أرجاء الفضاء. وحتى لو كانت هذه الأوتار بعيدة للغاية، فمن الممكن رصدها. وتبين الحسابات أنه بينما يهتز الوتر الطويل فإنه يخلق تموجات في الزمكان - تُعرف باسم «موجات الجاذبية» - لها شكل مميز للغاية، ومن ثم يمكن أن تترك بصمة رصدية واضحة. وفي غضون العقود القليلة القادمة، إنّ لم يكن في وقت أقرب، ربما تستطيع الكواشف شديدة الحساسية الموجودة على الأرض وتلك الموضوعة في الفضاء، بشرط توفر التمويل، أن تقيس هذه التموجات.
إشعاع الخلفية الميكروني الكوني	لقد أثبت إشعاع الخلفية الميكروني الكوني بالفعل قدرته على سبر الفيزياء الكمية: فالاختلافات المقيسة في درجات الحرارة تتبع من الذبذبات الكمية المنتشرة على نطاق واسع بفعل تمدد المكان. (تذكر مثال الرسالة المكتوبة بخط دقيق على بالون ضامر والتي تصير واضحة عندَ نفخ البالون.) خلال التضخم يكون تمدد الفضاء عظيمًا للغاية لدرجة أن أدق الآثار، التي ربما تكون قد خلفتها الأوتار، ربما تتمدد بالقدر الكافي الذي يتيح رصدها، وربما يجري هذا بواسطة القمر الصناعي بلانك التابع لوكالة الفضاء الأوروبية. ويعتمد النجاح أو الفشل على التفاصيل الخاصة بسلوك الأوتار في اللحظات المبكرة من عمر الكون؛ أي على طبيعة الرسالة التي طبعتها على البالون الكوني الفارغ من الهواء. طورت أفكار عديدة، وأجريت حسابات

	كثيرة، وينتظر الباحثون النظريون البيانات كي تتحدث عن نفسها.

من شأن النتائج التجريبية السلبية أن تقدم معلومات أقل نفعًا. فالفشل في العثور على جسيمات التناظر الفائق ربما يعني أنها غير موجودة، لكنه قد يعني أيضًا أنها أثقل من أن يستطيع مصادم الهدرونات الكبير ذاته أن ينتجها، والفشل في العثور على الأبعاد الإضافية ربما يعني أنها غير موجودة، لكنه قد يعني أيضًا أنها أصغر مما تستطيع قدراتنا التكنولوجية الحالية الوصول إليه، والفشل في العثور على ثقوب سوداء دقيقة الحجم ربما يعني أن الجاذبية لا تصير أقوى على النطاقات القصيرة، لكنه قد يعني أيضًا أن معجلاتنا أضعف من أن تتعمق بما يكفي داخل العالم فائق الصغر الذي تزيد فيه شدة الجاذبية بشكل كبير، والفشل في العثور على بصمات الطاقة في مشاهدات موجات الجاذبية أو إشعاع الخلفية الميكروني الكوني ربما يعني أن نظرية الأوتار خاطئة، لكنه قد يعني أيضًا أن هذه البصمات أدق من أن تقيسها معداتنا الحالية.

في وقتنا الحالي، إذاً، لن تستطيع النتائج التجريبية الإيجابية المبشرة على الأرجح أن تثبت على نحو حاسم أن نظرية الأوتار صحيحة، بينما لن تستطيع النتائج السلبية على الأرجح أن تثبت أن نظرية الأوتار خاطئة[58].

لكن فلتعلم يقينًا أننا إذا عثرنا على دليل على وجود الأبعاد الإضافية أو التناظر الفائق أو الثقوب السوداء الدقيقة أو أي من البصمات المحتملة الأخرى، فستكون تلك لحظة عظيمة في بحثنا عن نظرية موحدة. وستعزز ثقتنا، عن حق، في أن الطريق الرياضي الذي عكفنا على تعبيده سوف يأخذنا إلى الاتجاه الصحيح.

في الغالبية العظمى من المواقف، تتجاهل ميكانيكا الكم والجاذبية إحداهما الأخرى، إذ تنطبق الأولى على البِنى الصغيرة كالجزيئات والذرات، بينما تنطبق الثانية على البِنى الكبيرة كالنجوم والمجرات. غير أن على النظريتين التخلي عن عزلتهما في العوالم المعروفة باسم «نقاط التفرد». إنّ نقطة التفرد هي أي موقف فيزيائي، حقيقي أو افتراضي، يتسم بالتطرف الشديد (كوجود كتلة فائقة الضخامة، أو حجم فائق الصغر أو انحناء شديد للزمكان أو تمزقات أو ثقوب في نسيج الزمكان) لدرجة أن ميكانيكا الكم والنسبية العامة تفشلان في العمل، وتولدان نتائج أشبه برسالة الخطأ التي تظهر على شاشة الآلة الحاسبة عند قسمة أي عدد على الصفر.

إنّ الإنجاز المنشود لأي نظرية كمية مزعومة للجاذبية هو دمج ميكانيكا الكم والجاذبية على نحو يعالج نقاط التفرد. من المفترض ألاّ تتداعى الحسابات الرياضية مطلقًا؛ حتّى في لحظة الانفجار العظيم أو في قلوب الثقوب السوداء[59]، وبهذا تقدم النظرية وصفًا معقولًا لمواقف حيرت الباحثين منذ وقت طويل. وفي هذا الموضع تقدم نظرية الأوتار أهم إسهاماتها؛ إذ تنجح في ترويض عدد متزايد من نقاط التفرد.

في منتصف ثمانينيات القرن العشرين، أدرك فريق مؤلف من لانس ديكسون وجيف هارفي وكومرون فافا وإدوارد ويتن أن ثقوبًا معينة في نسيج المكان (والمعروفة باسم نقاط تفرد التفرع المداري)، والتي أشاعت الفوضى في حسابات آينشتاين الرياضية، لا تمثل أي مشكلة أمام نظرية الأوتار. ومفتاح هذا النجاح هو أنه بينما من الممكن أن تسقط الجسيمات النقطية في الثقوب، فإن الأوتار لن تسقط. فنظرًا لكوّن الأوتار أجسامًا ممتدة، بإمكانها الاصطدام بالثقب، أو الالتفاف حوله، أو الالتصاق به، ولا تسبب هذه التفاعلات اللطيفة أي ضرر لمعادلات نظرية الأوتار. هذا أمر مهم لا لأن مثل هذه التمزقات في نسيج المكان يمكن أن تحدث فعلاً - إذ ربما تحدث وربما لا - ولكن لأن نظرية الأوتار تقدم تحديدًا ما نريده من أي نظرية كمية للجاذبية: وسيلة لتفهم موقف يقع خارج نطاق قدرة النسبية العامة و ميكانيكا الكم على التفسير.

في تسعينيات القرن العشرين أثبتت الأبحاث التي قمتُ بها مع كلٍّ من بول أسبينوول وديفيد موريسون، علاوة على النتائج المستقلة التي توصل إليها إدوارد ويتن، أن نقاط التفرد الأشد حدة (المعروفة باسم نقاط التفرد الانقلابية) التي ينضغط فيها جزء كروي من المكان إلى حجم شديد الضالة، من الممكن أيضاً لنظرية الأوتار أن تستوعبها. والتفسير المنطقي لهذا هو أنه بينما يتحرك الوتر فإن بإمكانه أن يلتف حول قطعة منضغطة من المكان، كما يحيط طوق الهولا بفقاعة صابون، ومن ثم يعمل عمل الحاجز الواقي المطوِّق. وقد أظهرت الحسابات أن هذا «الدرع الوتري» يمحو أي تبعات كارثية محتملة، ويضمن عدم معاناة معادلات نظرية الأوتار من أي تأثيرات خبيثة - ليس هناك الأخطاء من نوعية «القسمة على صفر» - رغم أن المعادلات التقليدية للنسبية العامة من شأنها أن تتداعى.

وفي السنوات التي تلت ذَلكَ، أظهر الباحثون أن ثمة مجموعة أخرى من نقاط التفرد المعقدة (تحمل أسماء على غرار الطيات المخروطية والطيات الاتجاهية والسطوح الكروية الفائقة المعروفة باسم enhancons. وغير ذَلكَ) تقع أيضًا تحت السيطرة الكاملة لنظرية الأوتار. هناك إذًا قائمة متزايدة من المواقف التي من شأنها أن تدفع آينشتاين وبور وهايزنبرج وويلر وفاينمان إلى أن يقولوا: «ليست لدينا فكرة عما يحدث». ومع ذَلكَ تمنحنا نظرية الأوتار و صفًا كاملًا متسقًا لها.

هذا تقدم عظيم. لكن التحدي المتبقي أمام نظرية الأوتار هو علاج نقاط التفرد الخاصة بالثقوب السوداء والانفجار العظيم، التي تعد أشد حدة من تلك التي جرى التعامل معها من قبل. وقد بذل الباحثون جهودا

عظيمة في محاولة تحقيق هذا الهدف، وقطعوا شوطًا كبيرًا بالفعل. لكن خلاصة القول هي أنه لا يزال يتعين علينا قطع طريق طويل قبل أن نستوعب نقاط التفرد شديدة الأهمية والمحيرة هذه تمام الاستيعاب.

ومع هذا، فقد تسبب تقدم علمي كبير بعينه في إلقاء الضوء على جانب ذي صلة من جوانب الثقوب السوداء. وكما سأناقش في الفصل التاسع، فقد أثبتت أبحاث جاكوب بيكنشتاين وستيفن هوكينج في سبعينيات القرن العشرين أن الثقوب السوداء تحتوي على كمية محددة بدقة من انعدام النظام، أو الإنتروبيا، حسب التسمية الفنية. وفق مبادئ الفيزياء الأساسية، مثلما يعكس انعدام النظام داخل دُرج الجوارب الترتيبات العشوائية العديدة الممكنة لمحتوياته، فإن انعدام النظام داخل الثقب الأسود يعكس الترتيبات العشوائية العديدة الممكنة للأجزاء الداخلية للثقب الأسود. غير أن الباحثين فشلوا، رغم محاولاتهم الحثيثة، في فهم الثقوب السوداء بما يكفي كي يحددوا مكوناتها الداخلية، ناهيك عن تحليل الطرق الممكنة التي يمكن أن تنتظم بها. كسر باحثا نظرية الأوتار أندرو سترومينجر وكومرون فافا حالة الجمود هذه، وباستخدام توليفة من مكونات نظرية الأوتار الأساسية (سنتعرض لبعضها في الفصل الخامس)، وضعا نموذجًا رياضيًّا لانعدام النظام الخاص بالثقب الأسود، نموذجًا شفافًا بما يكفي بحيث يتيح لهما استخلاص قيمة عددية لمقدار الإنتروبيا. وقد اتفقت النتيجة التي توصلا إليها تماماً مع إجابة بيكنشتاين وهوكينج. ورغم أن هذه الأبحاث تركت كثيرًا من القضايا العميقة مفتوحة (مثل التحديد الصريح للمكونات فائقة الدقة للثقب الأسود)، فإنها تمدنا بالوصف الكمي المستقر الأول لانعدام النظام داخل الثقب الأسود[60].

إن التقدم المدهش الحادث في التعامل مع نقاط التفرد وإنتروبيا الثقوب السوداء يمنح مجتمع الفيزيائيين ثقة راسخة في أنه مع الوقت سيجري التغلب على التحديات الأخرى المتعلقة بالثقوب السوداء والانفجار العظيم.

نظرية الأوتار والرياضيات

إن الاتفاق مع البيانات، التجريبية منها أو الرصدية، هو السبيل الوحيد لتحديد ما إذا كانت نظرية الأوتار تصف الطبيعة على نحو صحيح أم لا. وقد تبين أن هذا الهدف عسير المنال. لا تزال نظرية الأوتار، رغم ما حققته من تقدم، مشروعًا رياضيًّا خالصًا. غير أنها ليست مستهلكة للرياضيات وحسب، إذ قدمت إسهامات رياضية مهمة كذلك.

حين كان آينشتاين يعمل على تطوير النظرية النسبية العامة في بدايات القرن العشرين، عُرف عنه أنه نَقَّبَ داخل الأرشيفات الرياضية بحثًا عن لغة مُحكمة يصف بها الزمكان المنحني. وقد أمدته الأفكار الهندسية المبكرة لرياضيين أمثال كارل فريدريك جاوس وبرنارد ريمان ونيكولاي لوباتشيفسكي بأساس مهم لنجاحه. وبصورة ما، تحاول نظرية الأوتار رد الدَّيْن الفكري الخاص بآينشتاين عن طريق الاضطلاع بتطوير معادلات رياضية جديدة. ثمة أمثلة عديدة، لكن دعني أمنحك مثالًا يوضح طبيعة الإنجازات الرياضية لنظرية الأوتار.

ترسي النسبية العامة رابطًا وثيقًا بين هندسة الزمكان والخصائص الفيزيائية التي نرصدها. ومعادلات آينشتاين، علاوة على توزيع المادة والطاقة في المنطقة، تخبرك بشكل الزمكان الناتج. إن البيئات الفيزيائية المختلفة (الأنساق المختلفة للكتلة والطاقة) تُنتِج أشكالًا مختلفة للزمكان، وهذه الأشكال المختلفة للزمكان تتوافق مع بيئات فيزيائية متمايزة. ماذا سيكون شعورك إذا سقطتَ داخل ثقب أسود؟ عليك بإجراء حساباتك باستخدام هندسة الزمكان التي اكتشفها كارل شنفارتسشيلد في أثناء دراسته للحلول الكروية لمعادلات آينشتاين. وماذا لو كان الثقب الأسود يدور حول ذاته بسرعة؟ عليك بإجراء حساباتك باستخدام هندسة الزمكان التي اكتشفها عام 1963 الرياضي النيوزيلندي روي كير. ففي النسبية العامة، الهندسة جزء أساسي مكمل للفيزياء.

تضفي نظرية الأوتار لمستها الخاصة على هذه النتيجة عن طريق التشديد على أن من الممكن أن توجد أشكال متعددة للزمكان تؤدي مع ذَلكَ إلى توصيفات فيزيائية متماثلة للواقع.

إليك طريقة للتفكير في الأمر. منذ العصور القديمة إلى الحقبة الرياضية الحديثة، قمنا بنمذجة الفضاءات الهندسية بوصفها مجموعات من النقاط. فطاولة تنس الطاولة مثلاً، ما هي إلا مجموعة النقاط التي تشكل سطحها. قبل نظرية الأوتار كانت المكونات الأساسية التي تؤلف المادة تجري نمذجتها على أنها نقاط، جسيمات نقطية، وهذا التشارك في المكونات الأساسية كان دليلًا على الاتفاق بين الهندسة والفيزياء. لكن في نظرية الأوتار، المكونات الأساسية ليست نقاطًا، وهذا يقترح ضرورة ربط نوع جديد من الهندسة، ليس مبنيًّا على النقاط وإنما على الحلقات، بفيزياء الأوتار. وهذه الهندسة الجديدة تسمى «الهندسة الوترية».

من أجل استيعاب هذه الهندسة الوترية، تصور أن ثمة وتر يتحرك داخل مكان هندسي. لاحظ أن الوتر يمكن أن يسلك سلوك الجسيم النقطي، بحيث ينتقل في سلاسة من موضع لآخر، ويرتطم بالجدران، ويجوب المنحدرات والوديان، وما إلى ذلك. لكن في مواقف معينة، يمكن للوتر أيضًا أن يفعل شيئًا جديدًا. تخيل أن المكان (أو جزءًا من المكان يتخذ شكل أسطوانة. بإمكان الوتر أن يلف نفسه حول هذا الجزء من المكان، مثلما يلتف الشريط المطاطي حول عبوة الصودا، وبهذا يتخذ نسقًا ليس من الممكن إطلاقًا أن يتخذه جسيم نقطي. هذه الأوتار «الملتفة»، ونظيرتها «غير الملتفة»، تجوب المكان الهندسي بطرق متباينة. وإذا زاد سُمْك الأسطوانة، فإن الوتر المحيط بها سوف يتمدد، بينما الوتر غير الملتف الذي يتحرك على سطحها لن يتمدد. وبهذه الطريقة تكون الأوتار الملتفة وغير الملتفة حساسة للسمات

المختلفة للشكل الهندسي الذي تتحرك هذه الأوتار خلاله.

هذه الملاحظة شديدة الأهمية لأنها تُفضي بنا إلى نتيجة مدهشة وغير متوقعة بالمرة. فقد وجد باحثو نظرية الأوتار أزواجًا خاصة من الأشكال الهندسية للمكان تكون لها سمات مختلفة تمامًا عند سبر كل منها بواسطة الأوتار غير الملتفة. وبالمثل يكون لها سمات مختلفة تمامًا عند سبرها بواسطة أوتار ملتفة. ومع ذلك – وهذا هو مربط الفرس - عند سبر هذه الأشكال الهندسية بكلتا الطريقتين، بالأوتار الملتفة وغير الملتفة، فإنها تصير متماثلة ولا سبيل إلى التمييز بينها. فما تراه الأوتار غير الملتفة في أحد الأماكن تراه الأوتار الملتفة في الآخر، والعكس بالعكس، وهذا ينتج صورة جمعية متطابقة يجري تجميع أجزائها من الفيزياء الكاملة لنظرية الأوتار.

الأشكال التي تؤلف هذه الأزواج تمدنا بأداة رياضية قوية. ففي النسبية العامة، إذا كنت مهتمًّا بدراسة إحدى السمات الفيزيائية، يتعين عليك أن تكمل الحسابات الرياضية مُستخدمًا فضاءً هندسيًّا متفردًا على صلة بالموقف محل الدراسة. لكن في نظرية الأوتار يعني وجود زوج من الأشكال الهندسية المتماثلة فيزيائيًّا أن لديك خيارًا جديدًا: إذ يمكنك أن تؤدي الحسابات المطلوبة باستخدام أي الشكلين. والأمر المثير للدهشة هنا هو أنه رغم أنك من المؤكد أن تحصل على الإجابة عينها من أي من الشكلين، فإن الحسابات الرياضية التي تؤدي إليهما يمكن أن تكون مختلفة تمام الاختلاف. وفي مجموعة كبيرة متنوعة من المواقف، يمكن ترجمة حسابات رياضية فائقة التعقيد في أحد الأشكال الهندسية إلى حسابات شديدة السهولة في الشكل الآخر. ومن نافلة القول إن أي إطار رياضي يجعل الحسابات الرياضية الصعبة سهلة يعد ذا قيمة عظيمة.

على مدار سنوات، استغل الرياضيون والفيزيائيون هذا القاموس الذي يسمح بترجمة الحسابات الصعبة إلى أخرى سهلة من أجل تحقيق التقدم في عدد من المشكلات الرياضية البارزة. ومن الحسابات التي تثير اهتمامي بشكل خاص إحصاء عدد الكرات التي يمكن وضعها (بطريقة رياضية معينة) داخل شكل معين من أشكال كالابي- ياو.

شغل هذا السؤال بال الرياضيين لوقت طويل، غير أنهم وجدوا أن الإجابة عليه مستحيلة في كل الحالات تقريبًا. تدبر مثلًا شكل كالابي-ياو المعروض في الشكل 4-6. عند وضع سطح كروي داخل هذا الشكل، يمكنه أن يلتف حول جزء من شكل كالابي ياو عدة مرات، تمامًا مثلما تلتف الرَّبْقَة حول برميل الجعة عدة مرات. ما هو إذا عدد الطرق التي يمكنك أن تضع بها السطح الكروي داخل هذا الشكل لو أنه التف حوله خمس مرات مثلًا؟ حين يُوَجَّه سؤال كهذا يتنحنح الرياضيون، ويشيحون ببصرهم نحو أحذيتهم، ثم يغادرون مسرعين بحجة وجود موعد طارئ. جعلت نظرية الأوتار الأمر يسير؛ فعن طريق ترجمة هذه الحسابات إلى حسابات أخرى أيسر كثيرًا في أحد أشكال كالابي-ياو المرافقة، استطاع باحثو نظرية الأوتار خفض الاحتمالات على نحو أثار ذهول الرياضيين. ما هو إذا عدد السطوح الكروية الملتفة خمس مرات والموجودة داخل شكل كالابي-باو المعروض في الشكل 4-6؟

.229305888887625

وماذا لو التف السطح الكروي حول نفسه عشر مرات؟

.704288164978454686113488249750

عشرون مرة؟

.66471451936000000 5312688264992357711391781448347271406682226792 38

مثلت هذه الأرقام مفتاح عدد من النتائج التي فتحت فصلًا جديدًا في الاستكشاف الرياضي[61].

إذًا، بصرف النظر عما إذا كانت نظرية الأوتار توفر نهجًا صحيحًا لوصف الكون الفيزيائي أم لا، فقد أرست مكانتها بالفعل بوصفها أداة فعالة لاستكشاف الكون الرياضي.

حالة نظرية الأوتار: تقييم

استنادًا إلى الأقسام الأربعة السابقة، يقدم الجدول 4-2 تقريرًا عن حالة نظرية الأوتار، ويتضمن بعض الملاحظات الإضافية التي لم أصرح بها في متن الكتاب أعلاه. يرسم الجدول صورة للنظرية وهي في طور التقدم، صورة أنتجت انجازات مذهلة لكنها لم تُختبر بعد على أهم المستويات: التحقق التجريبي. فستظل النظرية قائمة على التكهنات إلى أن يصاغ رابط قوي بينها وبين التجارب أو المشاهدات. وتعد إقامة هذا الرابط من أصعب التحديات قاطبة، غير أنه لا يواجه نظرية الأوتار وحدها؛ إذ إن أي محاولة لتوحيد الجاذبية وميكانيكا الكم تقع في نطاق بعيد كل البعد عن أحدث الأبحاث التجريبية. فهذا جزء لا يتجزأ من الاضطلاع بمثل هذا الهدف الطموح. فدفع حدود المعرفة الأساسية، والبحث عن إجابات لبعض من أعمق الأسئلة التي أثيرت خلال آلاف السنوات القليلة الماضية من الفكر الإنساني يعد مهمة عسيرة بحق، مهمة من الأرجح ألاّ تكتمل بين عشية وضحاها. ولا حتى خلال بضعة عقود.

يرى باحثو نظرية الأوتار، في تقييمهم لحالة النظرية، أن الخطوة المهمة القادمة هي التعبير عن معادلات النظرية في أدق وأنفع وأشمل صورها الممكنة. إن قدرًا عظيمًا من الحسابات التي أجريت خلال العقود الأولى للنظرية، وحتى منتصف التسعينيات، أجري باستخدام معادلات تقريبية كان الكثيرون مقتنعين بأنها يمكن أن تكشف عن السمات العامة للنظرية لكنها تفتقر إلى الدقة التي تمكننا من إصدار تنبؤات مُحسَّنة. وقد مكنتنا التطورات الحديثة، التي سنستعرضها بعد ذلك، من أن نتجاوز بفهمنا ما يمكن تحقيقه عن طريق الطرق التقريبية. ورغم أنه لا يزال من العسير التوصل إلى تنبؤات قاطعة، فقد ظهر منظور جديد، منظور أتى من سلسلة من القفزات التي فُتحت آفاقًا جديدة عظيمة أمام النتائج الممكنة للنظرية، ومن بينها وجود مجموعة متنوعة من العوالم الموازية.

جدول 4-2: تقرير ملخص عن الموقف الحالي لنظرية الأوتار

الهدف	هل الهدف مطلوب؟	الموقف الحالي
توحيد الجاذبية وميكانيكا الكم	نعم. الهدف الرئيسي هو دمج النسبية العامة وميكانيكا الكم معًا.	ممتاز. تشهد مجموعة غزيرة من العامة وميكانيكا الكم معًا. الحسابات والأفكار البارعة على الدمج الناجح الذي حققته نظرية الأوتار للنسبية العامة وميكانيكا الكم[62].
توحيد القوى	لا. انّ توحيد الجاذبية وميكانيكا الكم لا يتطلب توحيدًا إضافيًّا مع قوى الطبيعة الأخرى.	ممتاز. رغم أنها غير مطلوبة، فإن الكم لا يتطلب توحيدًا إضافيًا مع النظرية الموحدة بالكامل لطالما قوى الطبيعة الأخرى. ظلت هدفًا للأبحاث الفيزيائية. تحقق نظرية الأوتار هذا الهدف عن طريق وصف القوى كلها بالطريقة عينها؛ فالكمَّات الخاصة بها هي أوتار تؤدي أنماطًا اهتزازية معينة.

الهدف	هل الهدف مطلوب؟	الموقف الحالي
تضمين القفزات المحورية المتحققة من الابحاث السابقة	لا. من حيث المبدأ، لا تحتاج النظرية الناجحة أن تكون شبيهة بنظريات الماضي الناجحة.	ممتاز. رغم أن التقدم ليس تراكميًا بالضرورة، يبين التاريخ أنه عادة ما يكون كذلك؛ فالنظريات الجديدة الناجحة تحتضن في المعتاد النجاحات السابقة باعتبارها حالات مقيّدة. تتضمن نظرية الأوتار القفزات العلمية المحورية الآتية من أطر فيزيائية ناجحة سابقة.
تفسير خصائص الجسيميات	لا. هذا هدف نبيل، ولو تحقق فسوف يمدنا بمستوي عميق من التفسير، غير أنه ليس مطلوبًا من جانب أي نظرية ناجحة للجاذبية الكمية.	غير محدد، لا توجد تنبؤات. بالمضي إلى ما وراء نظرية المجال الكمي، تقدم نظرية الأوتار إطارًا لتفسير خصائص الجسيمات. لكن حتى وقتنا الحالي تظل هذه الإمكانية غيرمتحققة، الأشكال الممكنة المختلفة التي يمكن للأبعاد الإضافية أن تتخذها قد تعني وجود مجموعات مختلفة من خصائص الجسيمات. لا توجد وسيلة حالية معروفة لاختيار شكل محدد من هذه الأشكال المتعددة.
الهدف	هل الهدف مطلوب؟	الموقف الحالي
التحقيق التجريبي	نعم. هذا هو السبيل الوحيد لتحديد ما إذا كانت النظرية هي الوصف الصحيح للطبيعة أم لا.	ممتاز. غير محدد، لا توجد تنبؤات. هذا هو المعيار الأهم قاطبة، وإلى الآن لم يجر اختبار نظرية الأوتار باستخدامه. يأمل المتفائلون أن تمتلك التجارب المُجراة في مصادم الهدرونات الكبير وتلك المُجراة بواسطة التليسكوبات المحمولة على أقمار صناعية القدرة على تقريب نظرية الأوتار أكثر وأكثر من البيانات المتاحة. لكن لا يوجد ما يضمن أن التكنولوجيا الحالية تتسم بالتقدم الكافى لتحقيق هذا الهدف.
علاج نقاط التفرد	نعم. من المفترض بأي نظرية كمية للجاذبية أن تستطيع تفسير نقاط التفرد التي تظهر في مواقف	ممتاز. تحقق تقدم عظيم، وقد جرى تفسير أنواع كثيرة من نقاط التفرد عن طريق نظرية الأوتار. لا تزال النظرية بحاجة إلى تناول نقاط تفرد الثقوب السوداء والانفجار العظيم.

	قابلة للتحقق فيزيائيًا، حتى ولو من حيث المبدأ.	
إنتروبيا الثقوب السوداء	نعم. توفر إنتروبيا الثقوب السوداء سياقًا مميزًا تتواجه فيه النسبية العامة وميكانيكا الكم.	ممتاز. نجحت نظرية الاوتار بوضوح في حساب وتأكيد وجود معادلة الإنتروبيا المقترحة في سبيعينات القرن العشرين.
إسهامات رياضية	لا. ليس من الحتمي ان تقدم النظريات الصحيحة عن الطبيعة رؤى رياضية ثاقبة.	ممتاز. رغم أن الرؤى الرياضية ليست ضرورية من أجل تأكيد صحة نظرية الأوتار، فقد ظهرت رؤى مهمة من قلب النظرية، وهي تكشف عن المدي العميق لأسس النظرية الرياضية.

الفصل الخامس
أكوانٌ رابضة في أبعادٍ قريبة
الكون المتعدد الغشائي والكون المتعدد الدوري

في وقت متأخر من إحدى الأمسيات منذ أعوام عديدة خلت، جلست في مكتبي بجامعة كورنيل كي أضع اختبار نهاية العام في الفيزياء لطلاب السنة الأولى، وكان من المقرر عقده صبيحة اليوم التالي. وبما أن هذا كان صف الطلاب المتفوقين، فقد أردتُ إذكاء الحماسة قليلاً بأن أمنحهم مسألة أصعب قليلاً من المعتاد. لكن كان الوقت قد تأخر وكنتُ جائعًا، لذا بدلًا من أن أدرس الاحتمالات الممكنة بحرص، عمدتُ سريعًا إلى تعديل مسألة معتادة تعرض لها معظمهم من قبل، ووضعتها في الاختبار، ثم عدت إلى المنزل. (لا تهم تفاصيل المسألة ذاتها، لكنها كانت تتعلق بالتنبؤ بحركة سلم مستند إلى جدار بينما يختل توازنه ويسقط أرضًا. قمت بتعديل المسألة التقليدية عن طريق جعل كثافة السلم تتفاوت على امتداد طوله.) وفي الصباح التالي خلال الاختبار، جلستُ الأدوَّن حل المسألة، غير أنني فوجئت بأن ذلك التعديل البسيط الذي أدخلته على المسألة جعلها شديدة الصعوبة. وبينما استغرق حل المسألة الأصلية نصف صفحة، استغرق حل هذه المسألة ست صفحات. كم أنا بارع، أليس كذلك؟ من المؤكد أنك تفهم مقصدي.

هذا الموقف البسيط يمثل القاعدة، لا الاستثناء. فالمسائل الدراسية مسائل شديدة الخصوصية، مصممة بحرص بحيث يصير من الممكن حلّها بالكامل بقدر من الجهد المعقول. لكن إذا عدَّلت المسائل الدراسية قليلًا، بتغيير هذا الافتراض أو إغفال ذلك التبسيط، فسريعًا ما تصير معقدة أو حتى مستحيلة. بمعنى أنها تصير في مثل صعوبة تحليل المواقف الواقعية المعتادة.

وفي الحقيقة فإن السواد الأعظم من الظواهر، من حركة الكواكب إلى تفاعلات الجسيمات، أكثر تعقيداً بكثير من أن تُوصف رياضياً بدقة كاملة. بل عوضاً عن ذَلكَ فإن مهمة الباحث الفيزيائي النظري هي تحديد أي الجوانب المعقدة يمكن تنحيتها جانباً بحيث يضع صياغة رياضية يسيرة التناول محتفظة بكل التفاصيل الجوهرية. فمثلاً عندَ التنبؤ بمسار الشمس، حريٌّ بك أن تضع في حسبانك تأثيرات جاذبية الشمس، ومن الأفضل كذلك تضمين تأثيرات جاذبية القمر كذلك، غير أن التعقيد الرياضي سيزداد بشكل حاد. (في القرن التاسع عشر نشر الرياضي الفرنسي شارل يوجين ديلوناي كتابين من 900 صفحة يتناول فيهما التفاصيل المعقدة لتأثيرات الجاذبية المتبادلة بين الشمس والأرض والقمر.) وإذا حاولت المضي لما هو أبعد من ذَلكَ ووضعت في الاعتبار تأثير الكواكب الأخرى كلها، سيصير تحليلك مهولاً. ولحسن الحظ، في كثير من التطبيقات يمكنك التغافل عن التأثيرات كافة ما عدا تاثير الشمس، نظراً لأن تأثير الأجرام الأخرى داخل المجموعة الشمسية على حركة الأرض تأثير هامشي. وهذه التقريبات توضح تأكيدي السابق على أن فن الفيزياء يكمن في تحديد ما يمكن تجاهله.

لكن كما يعرف الفيزيائيون الممارسون جيداً فإن التقريب لا يعد فقط وسيلة فعالة التحقيق التقدم، بل يمكن أن يكون أحياناً مصدر خطر. فالتعقيدات ذات الأهمية الضئيلة الناجمة عن إجابة أحد الأسئلة يمكن أحياناً أن يكون لها تأثير بالغ على سؤال آخر. فقطرة مطر وحيدة لن يكون تأثير يذكر على وزن جلمود الصخر، لكنّ لو كانَ الجلمود يتأرجح على قمة منحدر، فمن الممكن أن تدفعه تلك القطرة إلى السقوط، بادئة بذلك انهياراً صخرياً. ومن شأن أي تقريب يتجاهل قطرة المطر أن يغفل تلك التفصيلة الحاسمة. في منتصف التسعينيات اكتشف باحثو نظرية الأوتار شيئاً شبيهاً بقطرة المطر. فقد وجدوا أن التقريبات الرياضية العديدة، المستخدمة على نطاق واسع في تحليل نظرية الأوتار، كانت تغفل عن بعض التفاصيل الفيزيائية الحيوية. وبفضل تطوير وتطبيق أساليب رياضية أدق، استطاع باحثو نظرية الأوتار أخيراً

تجاوز نطاق التقريبات، وحين فعلوا ذَلكَ بدأتْ سمات عديدة غير متوقعاً للنظرية تتضح جلياً. ومن هذه السمات أنواع جديدة من الأكوان الموازية، وأحد هذه الأنواع تحديدا ربما يكون الأيسر في التحقق منه تجريبياً.

يتحدد كل فرع راسخ من فروع الفيزياء النظرية - مثل الميكانيكا الكلاسيكية والكهرومغناطيسية وميكانيكا الكم والنسبية العامة - من خلال معادلة محورية، أو مجموعة من المعادلات. (ليست بك حاجة لمعرفة هذه المعادلات، غير أنني أورد بعضها في الملاحظات[63]) ومكمن الصعوبة هو أنّه في جميع المواقف عدا أبسطها، تتسم المعادلات بصعوبة شديدة. ولهذا السبب عادة ما يستخدم الفيزيائيون التبسيطات - على غرار تجاهل جاذبية بلوتو أو التعامل مع الشمس بوصفها تامة الاستدارة - وهذا يجعل الحسابات أيسر ويجعل الحلول التقريبية في متناولنا.

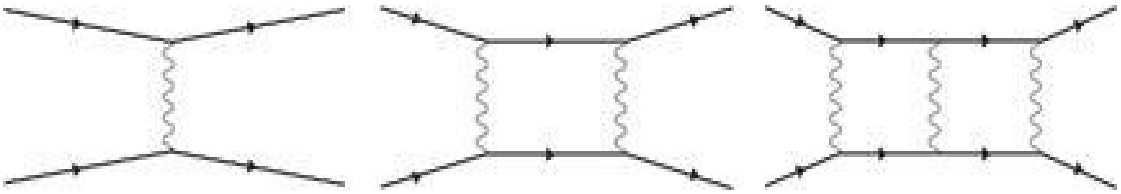
لوقت طويل، واجه باحثو نظرية الأوتار تحديات أكبر من ذَلكَ. فمجرد العثور على المعادلات المحورية اتضح أنّه أمر شديد الصعوبة، لدرجة أن الفيزيائيين لم يستطيعوا سوى تطوير نُسخ تقريبية منها. بل إنّ حتّى هذه المعادلات التقريبية كانت شديدة التعقيد لدرجة أن الفيزيائيين اضطروا إلى اقتراح افتراضات تبسيطية من أجل إيجاد الحلول، وبهذا بنوا أبحاثهم على تقريبات للتقريبات. لكنّ في منتصف التسعينيات تحسن الموقف كثيراً، وعبر سلسلة من التحسينات بين عدد من باحثي نظرية الأوتار كيفية المضي قدما إلى ما وراء التقريبات، وقدموا بهذا قدرا غير مسبوق من الوضوح والتبصر.

من أجل التعرف على هذه القفزات، تخيل أن رالف يخطط للمشاركة في الجولتين التاليتين من اليانصيب الأسبوعي، وأنه قد حسب بفخر احتمالات فوزه. يخبر رالف أليس بأنه نظرا لأن لديه فرصة 1 من المليار للفوز في كل أسبوع، فإذا شارك في الجولتين فستتضاعف فرص فوزه لتصير 2 في المليار، أو 0.000000002. ترسم أليس على وجهها ابتسامة متكلفة وتقول: «حسناً، أنت قريب من الصواب يا رالف». يرد رالف قائلاً: «حقاً، أيتها الحكيمة، ماذا تعنين بأنني قريب؟» تقول أليس: «حسناً، لقد بالغت في تقديراتك. فإذا حدث أن ربحت في الجولة الأولى، لن تؤدي مشاركتك في الجولة الثانية إلى زيادة فرص فوزك، إذ إنك قد فزت بالفعل. ولو أنك فزت في المرتين، سيكون لدينا مزيد من المال بالتأكيد، لكنّ بما أنك تحسب احتمالات الفوز من الأساس، فاعلم أن الفوز بالجولة الثانية بعد الأولى لن يهم. لذا، كي تحصل على الإجابة الدقيقة، ستحتاج إلى طرح احتمالات الفوز في كلتا الجولتين؛ أي واحد في المليار مضروبا في واحد في المليار، أو 0.00000000000000001

وهذا يجعل احتمالات الفوز النهائية تساوي 0.000000001999999999 أي أسئلة يا رالف؟» بصرف النظر عما أبدته أليس من عجرفة، فإن طريقتها تعد نموذجاً لما يطلق عليه الفيزيائيون اسم «النهج الاضطرابي». فعند إجراء أي عملية حسابية، من الأيسر عادة إجراء عملية تقدير أولى تضم فقط أبرز العناصر المساهمة - هذه هي نقطة البدء الخاصة برالف - وبعد ذَلكَ نجري عملية تقدير ثانية تتضمن التفاصيل الأدق، بحيث نعدل الإجابة الأولى، أو حدث بها قدرا من (الاضطراب)، كما حدث في مساهمة أليس. ومن الممكن تعميم هذا النهج بسهولة. فإذا كانَ رالف يخطط للمشاركة في جولات اليانصيب الأسبوعية العشرة القادمة، فإن نهج الحساب الأولي يشير إلى أن نسبة فوزه تبلغ نحو 10 في المليار، أو 0.00000001 لكنّ كما أوضحنا في المثال السابق فإن هذا التقريب لا يحسب على نحو صحيح مرات الفوز المتعددة. وعند اضطلاع أليس بالحسابات فإن التقدير الثاني سيتضمن الحالات التي يفوز فيها رالف مرتين، مثلاً، في الجولتين الأولى والثانية من اليانصيب، أو المرة الأولى والثالثة، أو الثانية والرابعة. وهذه التصويبات، كما أوضحت أليس فيما سبق، مقدارها 1 في المليار مضروبة في 1 في المليار. إنّ فرصة رالف في الفوز ثلاث مرات أقل وأقل، لكنّ أليس تأخذ هذا في الحسبان، وتقترح تعديلا مقداره 1 في المليار مضروبة في نفسه ثلاث مرات، أو

0.00000000000000000000000001 ستتضمن العملية الحسابية الرابعة الاحتمالية الأقل الم
إنّ كل مساهمة أقل كثيراً من تلك السابقة عليها، لذا في نقطة ما ستعتبر أليس أن حساباتها دقيقة بالقدر الكافي وتتوقف عن التنقيح.

تُجرى الحسابات في الفيزياء، وفي كثير من فروع العلم غيرها، بالطريقة عينها عادة. فإذا كنت مهتماً بمعرفة احتمالية تصادم جسيمين يتحركان في اتجاهين متضادين داخل مصادم الهدرونات الكبير فإن التقدير الأولي سيقضي بأنهما يتصادمان ويرتد أحدهما عن الآخر (كلمة «اصطدام» هنا لا تعني التلامس المباشر، وإنما انتقال «رصاصة» حاملة للقوى، كالفوتون، من أحد الجسيمين وامتصاصها من جانب الجسيم الآخر). سيأخذ التقدير الثاني في الحسبان احتمالية اصطدام الجسيمين أحدهما بالآخر مرتين (أي تبادل فوتونين بينهما)، أما التقدير الثالث فسيعدل التقديرين السابقين عن طريق الوضع في الاعتبار تصادم الجسيمين ثلاث مرات، وهكذا دواليك (الشكل 5-1). وكما هو الحال في اليانصيب، فإن هذا النهج الاضطرابي يعمل بنجاح إذا كانت احتمالات تفاعل عدد أكبر من الجسيمات - مثل احتمالات الفوز في عدد أكبر من جولات اليانصيب - شديدة الانخفاض. في حالة اليانصيب، يتحدد الانخفاض عن طريق امتلاك كل فرصة فوز متتابعة احتمالية مقدارها 1 في المليار، بينما في مثال الفيزياء يتحدد الانخفاض عن طريق امتلاك كل تصادم متتابع قيمة عددية، تسمى «ثابت الاقتران»، وتمثل قيمة هذا الثابت احتمالية إطلاق أحد الجسيمات رصاصة حاملة للقوة، واحتمالية استقبال الجسيم الثاني لها. في حالة جسيمات الإلكترونات، والمحكومة بالقوة الكهرومغناطيسية أوضحت القياسات التجريبية أن ثابت الاقتران، المصاحب للرصاصات الفوتونية، يبلغ نحو 0.0073. [64] وفي حالة النيوترينوات، التي تحكمها القوة النووية الضعيفة، يبلغ ثابت الاقتران نحو 10^{-6}. أما في حالة الكواركات، وهي الجسيمات التي تتألف منها البروتونات، والتي تندفع داخل مصادم الهدرونات الكبير، فإن ثابت الاقتران يقل قليلاً عن 1. هذه الأعداد ليست ضئيلة مثل العدد 0.000000001 الذي شاهدناه في حالة اليانصيب، لكنّ لو أننا مثلاً ضربنا العدد 0.0073 في نفسه، فستكون النتيجة شديدة الصغر، وبعد عملية ضرب واحدة سيكون الناتج حوالي 0.0000533، وبعد عمليتين سيكون حوالي 0.000000389. يفسر لنا هذا لماذا من النادر أن يتجشم الباحثون النظريون عناء توضيح احتمالية اصطدام إلكترونين عدة مرات. فالحسابات التي تتضمن مرات اصطدام عديدة شديدة التعقيد في تنفيذها، والمساهمات الناتجة شديدة الضالة لدرجة أنه يمكنك التوقف بعد إجراء الحسابات الخاصة ببضعة فوتونات، ومع ذَلكَ ستظل الإجابة التي حصلت عليها دقيقة للغاية.



شكل 5-1: جسيمان (يمثلهما الخطان المتصلان في يسار كل مخطط) يتفاعلان معاً عن طريق إطلاق عدة (رصاصات) إحداهما نحو الآخر (تعني «الرصاصات» الجسيمات الحاملة للقوة، والتي تمثلها الخطوط المتعرجة)، وبعد ذلك تندفع إلى الأمام (الخطان المتصلان في اليمين). كل مخطط يسهم في الاحتمالية الإجمالية الخاصة بارتداد الجسيمين أحدهما عن الآخر. مساهمات العمليات ذات الرصاصات الأكثر تصير أقل وأقل.

سيحب الفيزيائيون بالتأكيد أن يمتلكوا نتائج دقيقة. لكنّ في حالات عديدة تصير الحسابات الرياضية شديدة الصعوبة، لذا يكون النهج الاضطرابي أفضل سبيل لدينا. ولحسن الحظ، في حالة ثوابت الاقتران الصغيرة بما يكفي، بمقدور الحسابات التقريبية أن تقدم تنبؤات متفقة بشكل كبير مع التجارب.

لطالما ظل نهجٌ تقريبي مشابه من الدعامات الأساسية لأبحاث نظرية الأوتار. إذ تحتوي النظرية على عدد، يسمى «ثابت اقتران الأوتار» (أو «ثابت الاقتران» اختصاراً)، يحكم احتمالية اصطدام أي وتر بوتر آخر. وإذا ثبتت صحة النظرية، فربما يقاس ثابت اقتران الأوتار ذات يوم، شأن الثوابت الأخرى المحسوبة أعلاه. لكنّ بما أن هذا القياس افتراضي تماماً في الوقت الحالي، فإن قيمة ثابت اقتران الأوتار لا تزال مجهولة تماماً. على مدار العقود القليلة الماضية، ومن دون أي إرشاد من التجارب، وضع باحثو نظرية الأوتار افتراضا أساسيا مفاده أن ثابت اقتران الأوتار عدد صغير. بصورة ما، هذا يشبه السير الذي يبحث عن مفاتيحه أسفل عامود الإنارة، لأن ثابت الاقتران الصغير يمكّن الفيزيائيين من الاهتداء بالأضواء الساطعة للتحليل الاضطرابي في حساباتهم. وبما أن العديد من المناهج الناجحة السابقة على نظرية الأوتار تمتلك بالفعل ثوابت اقتران صغيرة، فثمة نسخة أكثر قبولاً من التشبيه السابق تقضي بأن ما يشجع السير على البحث أسفل عامود الإنارة هو أنّه كثيراً ما وجد مفاتيحه في هذا الموضع المُضاء.

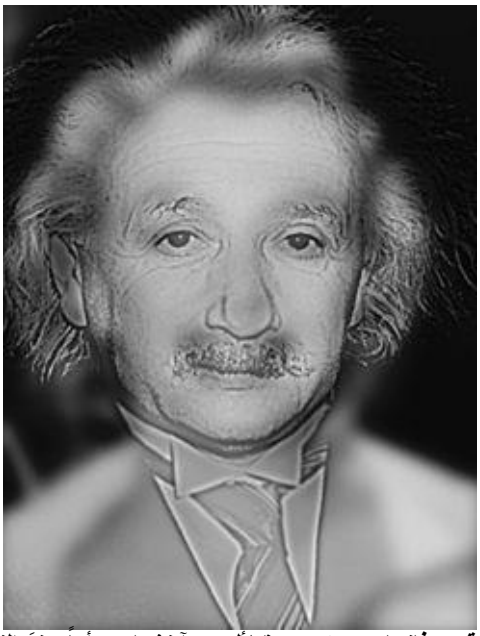
على أي حال، لقد مكننا الافتراض من إجراء عدد كبير من الحسابات الرياضية التي لم تستجلي وحسب العمليات الأساسية التي يتفاعل بها أحد الأوتار مع وتر آخر، وإنما كشفت أيضاً الكثير عن المعادلات الأساسية التي ينبني عليها الموضوع.

إذا كانَ ثابت الاقتران صغيرا، فمن المتوقع أن تعكس هذه الحسابات التقريبية السمات الفيزيائية لنظرية الأوتار بدقة. لكنّ ماذا لو لم يكن كذلك؟ خلافاً لما وجدناه في حالة اليانصيب والإلكترونات المتصادمة، فمن شأن ثابت اقتران الأوتار الكبير أن يعني أن التنقيحات المتتابعة للتقديرات الأولية سوف تؤدي إلى مساهمات متزايدة المقدار، لذا لن يكون هناك مبرر يسوغ لك التوقف عن إجراء الحسابات. إنّ آلاف الحسابات التي استخدمت النهج الاضطرابي ستكون عديمة الأساس، وستضيع سنوات من الأبحاث شدى. وما يزيد الأمر سوءاً أنّه حتّى في وجود ثابت اقتران صغير ولكن معتدل القيمة، ربما ستقلق أيضاً من أن تقديراتك، على الأقل في بعض الظروف، قد أغفلت بعض الظواهر الفيزيائية الدقيقة لكنّ المؤثرة، على غرار نقطة المطر التي ارتطمت بجلمود الصخر.

في بدايات التسعينيات لم يكن ثمة ما يمكن الرد به على هذه الأسئلة. لكنّ في النصف الثاني من ذَلكَ العقد تبدد ذَلكَ الصمت وحلت محله مجموعة صاخبة من الأفكار؛ إذ وجد الباحثون طرقاً رياضية جديدة يمكنها تفادي التقريبات الاضطرابية عن طريق الاستفادة من مفهوم يطلق عليه اسم «مفهوم الثنائية».

في ثمانينيات القرن العشرين أدرك الباحثون النظريون أنّه لا توجد نظرية أوتار واحدة وحسب، وإنما خمس نسخ مختلفة منها، وقدْ منحوها أسماء مميزة هي:
نظرية النوع الأول (Type I)، ونظرية النوع الثاني (أ) (Type IIA)، ونظرية النوع الثاني (ب) (Type IIB)، ونظرية النوع الهجين أوه (The Heterotic type 0)، ونظرية النوع الهجين إي (Heterotic type E).
لم أتحدث بعد عن هذا التعقيد لأنه رغم أن الحسابات أكدت أن هذه النظريات الخمسة تتباين من حيث التفاصيل، فإنها جميعاً تمتلك السمات العامة نفسها - أوتار مهتزة وأبعاد مكانية إضافية - التي ركزنا عليها إلى الآن. غير أننا الآن وصلنا إلى نقطة تتجلى فيها النسخ الخمس لنظرية الأوتار بوضوح.
لسنوات عدة، اعتمد الفيزيائيون على الأساليب الاضطرابية في تحليل كل نظرية من نظريات الأوتار هذه. فعند العمل على نظرية النوع الأول، افترضوا أن ثابت الاقتران الخاص بها صغير، وأجروا عدداً من الحسابات المنقحة المتكررة المشابهة لتلك التي أجراها رالف وأليس في تحليل اليانصيب. كما فعلوا الأمر عينه عندَ العمل على نظرية النوع الهجين أوه، أو أي من النظريات الأخرى. لكن خارج هذا النطاق المقيد الخاص بثابت اقتران الأوتار الصغير، لم يكن بيد الباحثين ما يفعلونه سوى الإقرار بأن الحسابات التي يستخدمونها كانت أضعف كثيراً من أن تقدم أي أفكار يعتمد عليها.
كانَ هذا هو الموقف قبل ربيع عام 1995، حين زلزل إدوارد ويتن مجتمع نظرية الأوتار بسلسلة من النتائج المذهلة. واعتمادا على ما توصل إليه علماء سابقون أمثال جو بولشينسكي ومايكل داف وبول تاونسند وكريس هول وجون شوارز وأشوك سين وكثيرين غيرهم، قدم ويتن أدلة قوية على أن بمقدور باحثو نظرية الأوتار التبحر في أمان بعيداً عن شواطئ ثوابت الاقتران الصغيرة. كانت الفكرة المحورية بسيطة وفعالة؛ إذ ذهب ويتن إلى أنّه حين يصير ثابت الاقتران داخل أي صياغة لنظرية الأوتار كبيراً فإن النظرية تتحول - على نحو مثير للذهول - وتتخذ شكلا آخر مألوفا تماماً: صياغة أخرى النظرية الأوتار يكون فيها ثابت الاقتران أصغر. على سبيل المثال، حين يكون ثابت الاقتران في نظرية النوع الأول كبيراً، فإن النظرية تتحول إلى نظرية النوع الهجين أوه ذات ثابت اقتران صغير. هذا يعني أن النظريات الخمس ليست مختلفة على أي حال؛ إذ تبدو كل نظرية منها مختلفة عندَ النظر إليها في سياق محدود - القيم الصغيرة لثابت الاقتران الخاص بها - لكنّ عندَ إزالة هذا القيد تتحول كل نظرية إلى نظرية أخرى.
صادف مؤخرا صورة عجيبة تبدو عندَ النظر إليها عن قرب وكأنها صورة لألبرت آينشتاين، بينما عندَ النظر إليها من على مسافة تصير أكثر إبهاما وتبدو أقرب إلى صورة مارلين مونرو (الشكل 5-2). إذا رأيت فقط الصورتين الظاهرتين عندَ الطرفين القصويين سيكون لك كل الحق في أن تعتقد أنك تنظر إلى صورتين منفصلتين تماماً.
لكنّ لو أنك درست الصورة عبر نطاق المسافات الوسيطة، ستجد لدهشتك أن صورتا ألبرت آينشتاين ومارلين مونرو ما هما إلا وجهين لصورة واحدة. وبالمثل، من شأن دراسة أي نظريتي أوتار في صورتيهما القصويين أن تكشف أنهما مختلفتان تماماً مثل صورتي ألبرت ومارلين. ولو أنك توقفت عندَ هذا الحد، كما فعل باحثو نظرية الأوتار لسنوات، ستخلص إلى أنك تدرس نظريتين منفصلتين. لكنّ لو أنك درست النظريتين خلال تغير ثابت اقترانهما عبر نطاق من القيم الوسيطة، ستجد أن كل نظرية منهما تتحول إلى الأخرى، تماماً كما تتحول صورة ألبرت آينشتاين إلى صورة مارلين مونرو والعكس.
إنّ التحول من صورة آينشتاين إلى صورة مارلين مونرو أمر شيق، غير أن تحول إحدى نظريات الأوتار إلى نظرية أخرى أمر ثوري بالكامل؛ إذ يعني أنّه لو كانت الحسابات الاضطرابية في إحدى

نظريات الأوتار يستحيل إتمامها لأن ثابت الاقتران بالنظرية أكبر مما ينبغي، فمن الممكن ترجمة هذه الحسابات بدقة إلى اللغة الخاصة بنسخة أخرى من نظرية الأوتار، نسخة ينجح فيها النهج الاضطرابي لأن ثابت الاقتران صغير. يطلق الفيزيائيون على هذا التحول بين النظريات المتمايزة ظاهرا اسم «الثنائية». وقدْ صارت الثنائية واحدة من أهم جوانب أبحاث نظرية الأوتار الحديثة. فعن طريق تقديم وصفين رياضيين للعملية الفيزيائية ذاتها، تضعاف الثنائية ترسانة الحسابات الرياضية التي نمتلكها، بحيث إنّ الحسابات الصعبة إلى درجة الاستحالة من منظور ما تصير ممكنة من منظور آخر[65].



شكل 5-2: عندَ النظر إلى الصورة عن قرب فإنها تبدو كصورة لألبرت آينشتاين، أماً عندَ النظر إليها عن بعد فتبدو كصورة لمارلين مونرو. (الصورة من ابتكار أودي أوليفا من معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا.)

وقدْ ذهب ويتن إلى أن نظريات الأوتار الخمسة مرتبطة جميعها عبر شبكة من هذه العلاقات الثنائية، وقدم آخرون من بعده بعض التفاصيل المهمة لتكملة الصورة[66]. وتضم الصورة الموحدة الجامعة، المسماة النظرية إم أو M- theory(وسنرى السبب في ما يلي)، الأفكار الآتية من جميع الصياغات الخمسة، وتحيكها معاً عبر مجموعة من العلاقات الثنائية المتنوعة، من أجل الحصول على فهم أدق لكل واحدة منها. وتبين إحدى هذه الأفكار، والتي تعد ذات أهمية محورية للموضوع محل النقاش هنا، أن نظرية الأوتار تحوي ما هو أكثر من الأوتار.

الأغشية

حين بدأت دراسة نظرية الأوتار، وجهت السؤال نفسه الذي سألني إياه كثيرون في السنوات التي تلت ذلك، وهو: لماذا تعد الأوتار مميزة بهذه الصورة؟ لماذا نركّز فقط على المكونات الأساسية التي تمتلك طولاً وحسب؟ فعلى أي حال، تتطلب النظرية نفسها أن يكون العالم الذي توجد فيه هذه المكونات - الكون المكاني - له تسعة أبعاد مكانية، فلماذا إذاً لا نفكر في كيانات تتخذ صورة ألواح ثنائية الأبعاد أو كتل ثلاثية الأبعاد أو أي أشكال شبيهة ذات أبعاد أعلى؟ كانت الإجابة التي تعلمتها خلال سنوات دراستي العليا في الثمانينات، والتي شرحتها مراراً حين كنت أحاضر عن هذا الموضوع في منتصف التسعينيات، هي أن الرياضيات التي تصف المكونات الأساسية التي لها أكثر من بعد مكاني واحد تعاني من تضاربات قاتلة (على غرار العمليات الكمية التي تنتج عنها احتمالية سالبة، وهي نتيجة رياضية عديمة المعنى). لكن عندَ تطبيق الرياضيات عينها على الأوتار، فإن هذه التضاربات تتلاشى، تاركةً لنا وصفاً مُقنعاً[67]. فالأوتار متميزة في حد ذاتها حقاً. أو هكذا بدا الأمر.

شرع الفيزيائيون، مسلحين بالأساليب الحسابية المكتشفة حديثاً، في تحليل معادلاتهم بصورة أدق كثيراً، وأنتجوا طيفاً من النتائج غير المتوقعة. ومن أكثر هذه النتائج إثارة للدهشة تلك النتيجة التي أثبتت أن السبب وراء استبعاد كل الأشكال في ما عدا الأوتار معقد بعض الشيء. فقد أدرك العلماء أن المشكلات الرياضية التي يواجهونها عندَ دراسة المكونات ذات الأبعاد الأعلى، كالأقراص والكتل، كانت صنيعة التقريبات المستخدمة. وباستخدام أساليب أدق، نجح جيش صغير من الباحثين النظريين في إثبات أن ثمة مكونات ذات عدد متنوع من الأبعاد المكانية تقبع بالفعل في ما وراء الظلال الرياضية لنظرية الأوتار[68]. لقد كانت الأساليب التقريبية تفتقر إلى الدقة التي تتيح الكشف عن هذه المكونات، غير أن الأساليب الجديدة تمكنت من هذا أخيراً. وبحلول أواخر التسعينيات بدا واضحاً أن نظرية الأوتار لم تكن تحتوي على الأوتار وحسب.

لقد كشفت التحليلات عن وجود أجسام، على شكل أقراص فريسبي أو بُسُط طائرة، لها بُعدين مكانيين: أي أغشية، membranes (وهذا تفسير محتمل لتسمية النظرية إم، M- theory)، ويطلق عليها أيضاً اسم «الأغشية الثنائية». لكن هناك المزيد؛ إذ كشفت التحليلات عن وجود أجسام ذات ثلاثة أبعاد مكانية، تُسمى «الأغشية الثلاثية»، وأجسام ذات أربعة أبعاد، وهكذا دواليك، وصولاً إلى الأغشية التُساعية. وقد أوضحت الحسابات الرياضية أن جميع هذه الكيانات بوسعها الاهتزاز والتذبذب كالأوتار، بل في حقيقة الأمر من الأفضل في هذا السياق النظر إلى الأوتار بوصفها أغشية أحادية؛ مجرد بند وحيد على قائمة طويلة بشكل غير متوقع من الوحدات البنائية الأساسية للنظرية.

تمثل أحد الاكتشافات الجماعية التي أذهلت كل من قضوا جزءاً كبيراً من حياتهم المهنية يدرسون هذا الموضوع، في عدد الأبعاد المكانية التي تتطلبها النظرية؛ إذ تبين أنها لا تتطلب وجود تسعة أبعاد مكانية، بل عشرة. وإذا ضممنا بُعد الزمن، سيكون العدد الإجمالي للأبعاد الزمكانية أحد عشر بُعداً. كيف يمكن هذا؟ كما تذكر فإن المعادلة «(ب - 10) × (مشكلة)»، التي أوردناها في الفصل الرابع، تشكل أساس النتيجة القائلة بأن نظرية الأوتار تتطلب عشرة أبعاد زمكانية. ومجدداً نقول إنّ التحليل الرياضي الذي أنتج هذه المعادلة كانَ مبنياً على منظومة تقريب اضطرابية افترضت أن ثابت اقتران الأوتار كانَ صغيراً. لكنّ يا للمفاجأة؛ فقد أغفل هذا التقريب أحد الأبعاد المكانية للنظرية. وسبب هذا، حسبما أوضح ويتن، هو أن حجم ثابت اقتران الأوتار يتحكم مباشرة في حجم البعد المكاني العاشر المجهول إلى الآن. وعن طريق تحديد قيمة صغيرة لثابت الاقتران، جعل الباحثون هذا البعد المكاني صغيرا هو الآخر؛

صغيرا لدرجة أن الحسابات الرياضية أغفلته تماماً. غير أن الأساليب الأدق أصلحت هذا الخطأ، وكشفت أن الكون وفق نظرية الأوتار النظرية إم يمتلك عشرة أبعاد مكانية وبعداً زمنياً، أي ما مجموعه أحد عشر بُعداً زمكانيًّا.

أذكر جيداً نظرات الدهشة والانبهار التي تبدت على وجوه جميع الحاضرين في مؤتمر نظرية الأوتار الدولي المنعقد في جامعة كاليفورنيا الجنوبية عام 1995، والذي أعلن فيه للمرة الأولى عن بعض من هذه النتائج، مُطلقاً بهذا الطلقة الأولى في ما نطلق عليه الآن «ثورة نظرية الأوتار الثانية»[69]. وفي ما يخص قصة الأكوان المتعددة، تلعب الأغشية دوراً محورياً. وباستخدام هذه الأغشية توصل الباحثون بصورة مباشرة إلى مجموعة جديدة من الأكوان الموازية.

نتصور في المعتاد أن الأوتار فائقة الصغر، وهذه السمة تحديداً تجعل اختبار النظرية أمراً صعباً. ومع ذَلكَ، فقد ذكر في الفصل الرابع أن الأوتار لا يجب بالضرورة أن تكون دقيقة الحجم. بل عوضاً عن ذَلكَ فإن حجم الوتر يتحدد من خلال طاقته. فالطاقات المرتبطة بكتل الإلكترونات والكواركات وغيرها من الجسيمات المعروفة دقيقة للغاية، لدرجة أن الأوتار المناظرة لها ينبغي أن تكون دقيقة الحجم بشدة. لكن إذا أمددت الوتر بطاقة كافية، سيكون بمقدورك أن تجعله يتمدد إلى حجم كبير. لا نمتلك ولو من بعيد القدرة على عمل هذا هنا على الأرض، لكن هذا القصور نابع من تطورنا التكنولوجي المحدود وحسب. فإذا كانت نظرية الأوتار صحيحة، فمن المفترض أن تكون أي حضارة متقدمة قادرة على تضخيم الأوتار إلى أي حجم تريده. أيضاً بمقدور الظواهر الكونية الطبيعية أن تنتج أوتاراً طويلة؛ فعلى سبيل المثال باستطاعة الأوتار الالتفاف حول جزء من الفضاء وأن تعلق في عملية التمدد الكوني، بحيث تستطيل خلال هذه العملية. وتبحث إحدى البصمات التجريبية الممكنة الموضحة في الجدول 4-1 عن موجات الجاذبية التي يمكن أن تطلقها هذه الأوتار الطويلة بينما تهتز بعيداً في أعماق الفضاء.

ومثل الأوتار، من الممكن أن تكون الأغشية ذات الأبعاد الأعلى كبيرة، وهذا يتيح طريقة جديدة تماماً لوصف الكيفية التي يمكن بها لنظرية الأوتار أن تصف الكون. ولفهم ما أعنيِ، تصوّر أولاً وترا طويلاً، في طول أحد كابلات الضغط العالي لكنه يمتد أمامك إلا ما لا نهاية. بعد ذَلكَ تصوّر غشاء ثنائيا أكبر، يبدو مثل مفرش مائدة هائل أو علم عملاق، يمتد سطحه بلا نهاية. من السهل تصوّر هذين الأمرين لأننا نستطيع تصورهما وهما يقعان داخل الأبعاد الثلاثة التي نألفها من واقع خبرتنا المشتركة.

غير أن الموقف يختلف عندَ محاولة تصوّر غشاء ثلاثي ضخم، يمتد على الأرجح بلا نهاية. فمن شأن غشاء ثلاثي كهذا أن يملأ المكان الذي نشغله، كالماء الذي يملأ حوض أسماك عملاق. وهذا الوجود الكُلّي يقترح أنّه بدلاً من التفكير في الغشاء الثلاثي باعتباره جسماً يتصادف أنّه يقع داخل أبعادنا المكانية الثلاثة، حري بنا أن نتصوره باعتباره القوام الأساسي الذي يتألف منه المكان ذاته. فنحن نسكن داخل الغشاء الثلاثي الذي يملأ المكان، تماماً مثل السمكة التي تعيش في الماء. والمكان، على الأقل الحيز المكاني الذي نسكنه مباشرة، سيكون مجسداً على نحو مادي ملموس بدرجة أكبر من المتصور عادة. سيكون المكان شيئاً، جسماً، كياناً؛ سيكون غشاء ثلاثياً. فبينما نجري ونمشي، ونعيش ونتنفس، فإننا نتحرك داخل وعبر غشاء ثلاثي. ويطلق باحثو نظرية الأوتار على هذا السيناريو اسم «سيناريو عالم الأغشية».

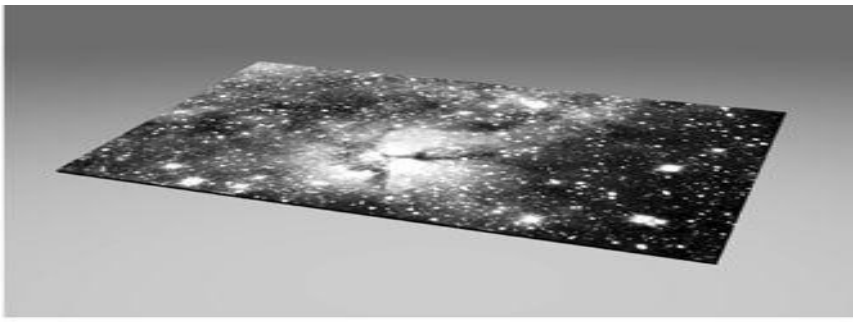
وفي هذا الموضع تحديداً تدخل الأكوان الموازية المشهد.

كانَ تركيزي إلى الآن منصبًّا على العلاقة بين الأغشية الثلاثية والأبعاد المكانية الثلاثة؛ لأنني كنت أريد عقد صلة مع نطاق الخبرات الحياتية المألوفة. لكن في نظرية الأوتار يوجد ما هو أكثر من مجرد ثلاثة أبعاد مكانية. ويوفر لنا حيز الأبعاد الأعلى مساحة عريضة لاستيعاب ما يزيد على غشاء ثلاثي واحد. يمكنك البدء على نحو متحفظ وأن تتصور أن هناك غشائين ثلاثيين هائلي الحجم. ربما تجد أن من الصعب تصوّر هذا. هذا هو حالي بالتأكيد. نحن مهيؤون بفعل التطور للتعرف على الأجسام، تلك التي قد تكون مصدراً للفرص أو للمخاطر، والمستقرة داخل المكان ثلاثي الأبعاد. ومن ثمّ، رغم أننا نستطيع بسهولة تصوّر جسمين ثلاثي الأبعاد يقعان داخل منطقة مكانية واحدة، فإن قلة قليلة من البشر هم من يمكنهم تصوّر كيانين منفصلين ثلاثي الأبعاد يشغلان الحيز ذاته؛ بحيث يستطيع كل منهما أن يملأ المكان ثلاثي الأبعاد بالكامل. وتحريا للسهولة، عندَ مناقشة سيناريو عالم الأغشية، لنتغاضى إذاً عن أحد الأبعاد

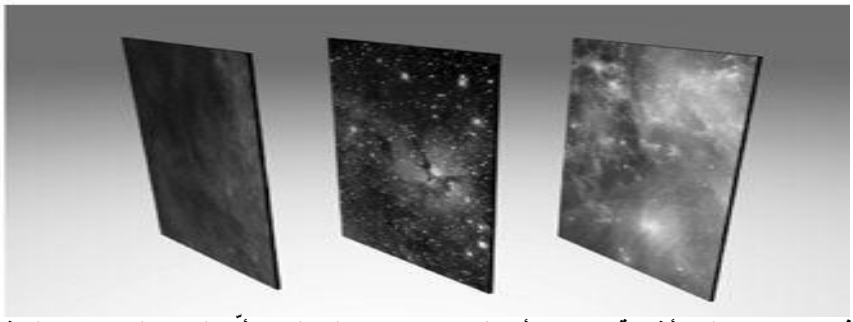
المكانية في تصوراتنا ونفكر في الحياة على غشاء ثنائي عملاق. ولتخيل صورة عقلية واضحة التحديد، فكر في الغشاء الثنائي بوصفه شريحة خبز عملاقة رفيعة الشمك للغاية[70].

و من أجل استخدام هذه الاستعارة بفاعلية، تخيل أن شريحة الخبز تضم كل ما يطلق عليه تقليدياً اسم الكون - سديم الجبار ورأس الحصان والسرطان وغيرها - أي كل شيء داخل حيزنا المكاني ثلاثي الأبعاد، مهما كانَ بعيداً، وذلك على النحو المصور في الشكل 5-3أ. ومن أجل تصوّر غشاء ثلاثي الأبعاد آخر سنحتاج فقط إلى أن نتخيل شريحة خبز ثانية عملاقة. أين؟ ضعها إلى جوار شريحتنا الأولى، على مسافة قليلة داخل الأبعاد الإضافية (الشكل 5-3ب). وهكذا تكون عملية تصوّر ثلاثة أو أربعة أغشية، أو أي عدد آخر، بالسهولة عينها. فقط أضف مزيداً من الشرائح إلى الرغيف الكوني. ورغم أن استعارة الرغيف تشدد على وجود مجموعة من الأغشية كلها متراصفة إلى جوار بعضها بعضاء، فمن اليسير أن نتخيل المزيد من الاحتمالات العامة. فمن الممكن توجيه الأغشية بأي طريقة، ومن الممكن ايضاً تضمين أغشية ذات أي عدد من الأبعاد الأخرى، الأقل أو الأكثر.

(a)



(b)



شكل 3-5 (أ) في سيناريو عالم الأغشية، نتصور أن كل ما كنا نعتقد على الدوام أنّه الكون كله يقبع داخل غشاء ثلاثي الأبعاد. على سبيل التوضيح البصري ضغطنا أحد الأبعاد وأظهرنا عالم الأغشية على أنّه يمتلك بُعدين مكانيين، كما عرضنا أيضاً قطعة متناهية من الأغشية التي يمكن أن تمتد بلا نهاية.
(ب) الامتداد ذي الأبعاد الأعلى لنظرية الأوتار يمكن أن يضم العديد من عوالم الأغشية الموازية.

من شأن قوانين الفيزياء الأساسية عينها أن تنطبق على مجموعات الأغشية هذه كافة، نظراً لأنها انبثقت جميعاً من نظرية واحدة، نظرية الأوتار/ النظرية إم. ومع ذَلكَ فكما هو الحال في الفقاعات الكونية الموجودة داخل الكون المتعدد التضخمي، فإن التفاصيل المحيطة على غرار قيمة هذا المجال أو ذاك الذي يتغلغل أحد الأغشية، أو حتّى عدد الأبعاد المكانية التي ترسم ملامح الغشاء، من الممكن أن تؤثر بقوة على سماته الفيزيائية. فبعض الأغشية مثل الغشاء الذي نوجد داخله مليئة بالمجرات والنجوم والكواكب، بينما من الممكن أن تكون الأغشية الأخرى مختلفة. في واحد أو أكثر من تلك الأغشية ربما توجد كائنات واعية بذاتها، أمثالنا، كانت تظن فيما سبق أن شريحتها - الحيز المكاني الذي تقطنه - كانت تمثل الكون كله. في سيناريو عالم الأغشية الذي تطرحه نظرية الأوتار ندرك الآن أن هذا المنظور محدود. فوفق سيناريو عالم الأغشية ليس كوننا إلا كوناً وحيداً ضمن أكوان كثيرة يضمها الكون المتعدد الغشائي.

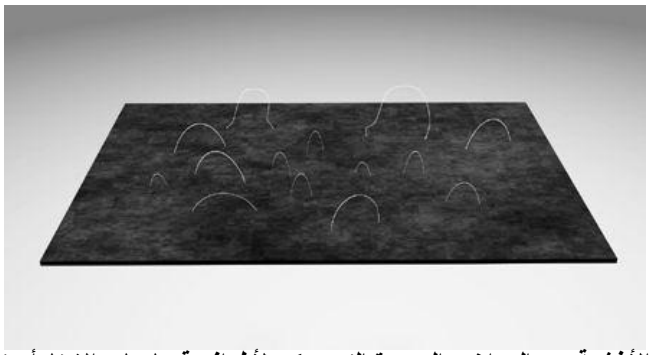
حين ظهر مفهوم الكون المتعدد الغشائي للمرة الأولى داخل مجتمع نظرية الأوتار، ركزت الاستجابة الأولى على سؤال بديهي. فإذا كانت هنالك أغشية عملاقة متاخمة لنا، وأكوان موازية كاملة تحوم على مقربة مثل شرائح الخبز المتجاورة، فلماذا لا نراها؟

الأغشية اللاصقة ومجسات الجاذبية

للأوتار شكلان، فهي إما حلقات أو قصاصات. لم أتناول هذا الفارق من قبل لأنه ليس أساسياً في فهمنا للكثير من السمات العامة للنظرية. لكن في حالة عوالم الأغشية يعد الفارق بين الحلقات والقصاصات محورياً، ويكشف لنا سؤال بسيط عن سبب ذَلكَ. فهل تستطيع الأوتار أن تتطاير من أحد الأغشية؟ والإجابة هي: تستطيع الحلقة فعل ذَلكَ، أما القصاصة فلا.

كانَ باحث نظرية الأوتار البارز جو بولشينسكي هو أول من أدرك أن الأمر كله يتعلق بأطراف الأوتار التي على شكل قصاصات. فالمعادلات التي أقنعت الفيزيائيين بأن الأغشية كانت جزءاً من نظرية الأوتار كشفت أيضاً أن الأوتار والأغشية تجمعها علاقة حميمة للغاية. فالأغشية هي المواضع الوحيدة التي يمكن أن تستقر فيها أطراف قصاصات الأوتار، على النحو المبين في الشكل 5-4. وقدْ بينت الحسابات الرياضية أنك لو حاولت أن تزيل طرف أحد الأوتار من أي غشاء، فأنت بذلك تطلب المستحيل على غرار محاولة جعل قيمة ثابت الدائرة (ط) أصغر أو الجذر التربيعي للعدد 2 أكبر مما هو عليه. وفيزيائياً، سيكون الأمر أشبه بمحاولة إزالة القطب الشمالي أو الجنوبي من أطراف المغناطيس. فمن المستحيل ببساطة عمل ذَلكَ. فقصاصات الأوتار يمكنها التحرك بحرية داخل الأغشية، بحيث تنزلق في يسر من مكان لآخر، لكن لا يمكنها المغادرة.

لو كانت هذه الأفكار تتجاوز كونها محض حسابات رياضية مثيرة للاهتمام، وكنا نعيش حقاً داخل أحد الأغشية، فأنت تشعر الآن بالقبضة المحكمة التي يمسك بها الغشاء أطراف الأوتار. حاول القفز بعيداً عن الغشاء الثلاثي الذي نعيش فيه. حاول ثانية، بقوة أكبر. أعتقد أنك لا تزال هنا. ففي عالم الأغشية، الأوتار التي يتألف منها جسدك، وبقية صور المادة، كلها من القصاصات. فرغم أن بإمكانك أن تقفز إلى أعلى، أن تلقي كرة بيسبول من القاعدة الأولى للثانية، وترسل موجة صوت من المذياع إلى الأذن، وكل هذا يجري من دون أي مقاومة من طرف الغشاء، فمن المستحيل أن تغادر الغشاء. وحين تحاول القفز بعيدًا عنه، فإن أطراف قصاصات الأوتار تثبتك إلى الغشاء، على نحو حتمي. فمن الممكن أن يكون واقعنا لوحًا طافيًا داخل حيز من الأبعاد الأعلى، لكننا حبيسين على الدوام داخله، عاجزين عن الخروج منه واستكشاف الكون الأكبر.



شكل5-4: الأغشية هي المواضع الوحيدة التي يمكن لأطراف قصاصات الاوتارأن تستقر فيها.

الأمر عينه ينطبق على الجسيمات التي تنقل القوة الثلاثة غير الجذبوية. فقد أظهرت التحليلات أنها، هي الأخرى، تنبع من قصاصات الأوتار. من أبرز هذه الجسيمات الفوتونات، الناقلة للقوة الكهرومغناطيسية. فالضوء المرئي، الذي هو عبارة عن تيار من الفوتونات، يستطيع الانتقال بحرية عبر الغشاء، منتقلًا من النص الذي بين يديك إلى عينيك، أو من مجرة أندروميدا إلى مرصد ويلسون، غير أنّه عاجز هو الآخر عن الإفلات. فمن الممكن أن يوجد عالم غشائي آخر على بُعد مليمترات قليلة عنا، لكن لأن الضوء لا يستطيع اجتياز الفجوة بين الغشاءين، لن نستطيع أن نراه مُطلقًا.

القوة الوحيدة المختلفة في هذا الصدد هي الجاذبية. فالسمة المميزة للجرافيتونات، كما أوضحنا في الفصل الرابع، هي أن لديها لفًا مغزليًّا مقداره 2، أي ضعف اللف المغزلي للجسيمات الناتجة عن قصاصات الأوتار (كالفوتونات) التي توصل القوى غير الجذبوية. ويعني امتلاك الجرافيتونات لفًّا مغزليًّا مضاعفًا مقارنة بأي قصاصة أوتار منفردة أن بوسعنا التفكير في الجرافيتونات بوصفها مكونة من قصاصتين، يلتحم طرفا كل قصاصة منهما في طرفي القصاصة الأخرى، بحيث تشكل حلقة مغلقة. وبما أن الحلقات ليس لها أطراف، تعجز الأغشية عن حبسها. ومن ثمَّ، تستطيع الجرافيتونات مغادرة أي عالم غشائي ثمّ معاودة الدخول إليه مجددًا. ففي سيناريو عالم الأغشية، إذًا تعد الجاذبية السبيل الوحيد لاستكشاف ما يوجد وراء حيزنا المكان ثلاثي الأبعاد.

يلعب هذا الإدراك دورا محوريًا في بعض الاختبارات الفعالة لنظرية الأوتار المذكورة في الفصل الرابع (الجدول 4-1). ففي ثمانينيات القرن العشرين وتسعينياته، وقبل أن تدخل الأغشية في الصورة، تخيل الفيزيائيون أن الأبعاد الإضافية لنظرية الأوتار كانت في حجم بلانك تقريبًا (يبلغ قطره نحو 10^{-33} سنتيمتر)، وهو النطاق الطبيعي الخاص بأي نظرية تتضمن الجاذبية وميكانيكا الكم. غير أن سيناريو عالم الأغشية يشجع على التفكير بصورة أوسع. ففي ضوء كون الجاذبية - أوهن القوى كافة – هي سبيلنا الوحيد لسبر ما وراء الأبعاد الثلاثة المألوفة، فإن الأبعاد الإضافية يمكن أن تكون أكبر من المتوقع بكثير ومع ذَلكَ تستعصي على الرصد، حتّى الآن.

لو كانَ للأبعاد الإضافية وجود، ولو كانت أكبر كثيرًا مما ظننا في السابق - ربما أكبر بنحو مليار مليار مليار مرة (بحيث يبلغ قطرها نحو 10^{-4} سنتيمتر) - عندئذٍ فإن التجارب التي تقيس شدة الجاذبية، والموصوفة في المُدخَل الثاني من الجدول 4-1، تمتلك فرصة طيبة لرصدها. فعندما تجذب الأشياء بعضها بعضًا بقوة الجاذبية فهي تتبادل الجرافيتونات؛ والجرافيتونات هي الرُّسُل الخفية التي تنقل تأثير الجاذبية. وكلما تبادل الجسمان جرافيتونات أكثر، صارت قوة التجاذب بينهما أقوى. وحين تتسرب بعض الجرافيتونات المتدفقة من غشائنا وتطير نحو الأبعاد الإضافية، فإن قوة التجاذب بين الأجسام ستضعف

أكثر. وكلما كانت الأبعاد الإضافية أكبر، ازداد هذا الضعف وبدت الجاذبية أوهن. وعن طريق القياس الدقيق لقوة التجاذب بين أي جسمين يقتربان حتّى مسافة تقل عن حجم الأبعاد الإضافية، يتصور الفيزيائيون التجريبيون إمكانية اعتراض الجرافيتونات قبل أن تتسرب من غشائنا، ولو حدث هذا فمن المفترض أن يتمكن الفيزيائيون التجريبيون من قياس شدة الجاذبية الأكبر نسبيًّا. وهكذا فإن هذا النهج الخاص بالكشف عن الأبعاد الإضافية يعتمد على سيناريو عالم الأغشية، لكنني لم أذكر هذا في الفصل الرابع.

ومن شأن زيادة متواضعة في حجم الأبعاد الإضافية، بحيث يبلغ قطرها 10^{-18} سنتيمترًا فقط، أن تؤدي بالمثل إلى أن يصير من الممكن لمصادم الهدرونات الكبير أن يسبرها. وكما أوضحت في المُدخَل الثالث من الجدول 4-1 فإن التصادمات عالية الطاقة بين البروتونات بمقدورها أن تقذف حُطامًا نحو الأبعاد الإضافية، وهو ما يؤدي إلى فقدان ظاهري في الطاقة في أبعادنا يمكن رصده. تعتمد هذه التجربة أيضًا على سيناريو عالم الأغشية. وسيكون من الممكن تفسير البيانات التي تؤكد فقدان الطاقة من منطلق أن كوننا يوجد على غشاء، وكذلك القول بأن الحطام القادر على التطاير من غشائنا - الجرافيتونات - قد حملت الطاقة بعيدًا.

إنّ احتمالية وجود ثقوب سوداء دقيقة، في المُدخَل الرابع من الجدول 4-1، هي أيضًا نتاج لعالم الأغشية. ربما يستطيع مصادم الهدرونات الكبير إنتاج ثقوب سوداء دقيقة في تصادمات البروتونات-البروتونات فقط لو كانت الشدة الجوهرية للجاذبية تصير أكبر عندَ سبرها على مسافات قصيرة. وكما ذكرنا أعلاه فإن سيناريو عالم الأغشية يجعل هذا ممكنًا.

تلقي هذه التفاصيل ضوءًا جديدًا على هذه التجارب الثلاث. فهذه التجارب لا تسعى فقط إلى العثور على أدلة على وجود بِنى عجيبة مثل الأبعاد الإضافية للمكان والثقوب السوداء الدقيقة، بل إنها أيضًا تحاول العثور على أدلة تثبت أننا نعيش على أحد الأغشية. وبالتبعية، من شأن أي نتيجة إيجابية ألا تثبت فقط صحة سيناريو الأغشية المبني على نظرية الأوتار، ولكنها أيضًا ستقدم أدلة غير مباشرة على وجود أكوان أخرى بخلاف كوننا. وإذا أمكننا إثبات أننا نعيش على أحد الأغشية، فإن الحسابات الرياضية لا تمنعنا من أن نتوقع ألاّ يكون غشاؤنا هو الغشاء الوحيد الموجود.

تتقاسم الأكوان المتعددة التي تعرضنا لها بالنقاش حتّى الآن سمة أساسية واحدة، وذلك بصرف النظر عن اختلافها من حيث التفاصيل. ففي الكون المتعدد المنسوج والكون المتعدد التضخمي، وكذلك الكون المتعدد الغشائي، توجد الأكوان الأخرى في موضع مختلف داخل الفضاء. في حالة الكون المتعدد المنسوج، يكون هذا «موضع المختلف» بعيدًا للغاية بمقاييسنا المعتادة، وفي حالة الكون المتعدد التضخمي فإنه يقع خارج فقاعتنا الكونية ويفصلنا عنه مساحات شاسعة آخذة في التمدد بسرعة، أمَّا في حالة الكون المتعدد الغشائي فقد يقع هذا الموضع المختلف على مسافة قصيرة لكن يفصلنا عنه بُعد آخر. ومن شأن الأدلّة التي تدعم سيناريو عالم الأغشية أن تقودنا إلى التفكير بجدية في مجموعة أخرى من الأكوان المتعددة، مجموعة لا تستفيد من الفرص التي يقدمها المكان وحسب، بل وتلك التي يقدمها الزمن كذلك[71].

نعرف منذ وقت آينشتاين أن المكان والزمن قابلان للانحناء، والتقوس، والتمدد. غير أننا في المعتاد لا نتصور الكون كله وهو يتمايل في هذا الاتجاه أو ذاك. فما الذي يعنيه تحرُّك المكان بأسره عشرة أقدام إلى «اليمين» أو «اليسار»؟ إنها فكرة محيرة وممتعة لكنها تصير عادية عندَ التفكير فيها من منظور سيناريو عالم الأغشية. فمثل الجسيمات والأوتار، تستطيع الأغشية بالتأكيد أن تتحرك في بيئتها المحيطة. وهكذا، لو كانَ الكون الذي نرصده ونعيش داخله عبارة عن غشاء ثلاثي الأبعاد، فمن الممكن تمامًا أننا نتحرك داخل حيز مكاني ذي أبعاد أعلى[72].

لو كنا نعيش على غشاء متحرك كهذا، ولو كانت توجد أغشية أخرى قريبة، فما الذي سيحدث لو ارتطم أحد الأغشية بغشاء آخر؟ رغم أنّه توجد تفاصيل لم يتم تدبرها بعد، يمكنك أن تكون واثقًا من أن أي تصادم يقع بين غشائين - أي تصادم بين كونين - سيكون عنيفًا. تتمثل الاحتمالية الأبسط في اقتراب غشائين موازيين ثلاثي الأبعاد أحدهما من الآخر إلى أن يتصادما في النهاية تصادمًا مباشرًا، وكأنهما قرصا صَنج يتصادمان. ستؤدي الطاقة الهائلة الكامنة داخل حركتهما النسبية في اندفاع عنيف للجسيمات والإشعاع من شأنه أن يمحو أي بِنيّ منظمة يحتوي عليها أي الكونين.

في نظر مجموعة من الباحثين أمثال بول ستينهارد ونيل تورك و بيرت أوفروت وجَستين خوري، ليست هذه الجائحة إيذانًا بالنهاية وحسب، بل وببداية جديدة كذلك.. فالبيئة شديدة الحرارة والكثافة التي تندفع فيها الجسيمات في هذا الاتجاه وذاك تبدو شبيهة للغاية بالظروف التي سادت في أعقاب الانفجار العظيم مباشرة. وهكذا من المحتمل حين يتصادم غشاءان أن يتسبب ذلكَ في محو أي بِنيّ قد تكونت على مدار تاريخيهما، من مجرات وكواكب وبشر، بينما يمهد الساحة كذلك لمولد كوني جديد. ففي الواقع، سيسلك الغشاء ثلاثي الأبعاد المليء ببلازما حارة من الجسيمات والإشعاع السلوك نفسه للحيز المكاني ثلاثي الأبعاد الطبيعي؛ إذ سيأخذ في التمدد. وبينما يفعل هذا فإن البيئة سوف تبرد، بحيث تتيح للجسيمات التجمُّع، وفي النهاية تشكل الجيل التالي من النجوم والمجرات. وقدْ اقترح البعض أن التسمية المناسبة لهذه المعالجة المتكررة للكون هو «الاستواء الكبير»..

غير أن هذه التسمية، رغم قوتها، تغفل سمة محورية لتصادمات الأغشية. فقد ذهب ستينهارد وزملاؤه إلى أنّه عندما يتصادم غشاءان فإنهما لا يظلان ملتصقين معًا، بل يرتد أحدهما عن الآخر. فقوة الجذب التي يبذلها كل منهما على الآخر ستتسبب في إبطاء حركتيهما تدريجيًا، وفي النهاية ستصل المسافة الفاصلة بينهما إلى ذروتها، ثمّ يبدأ الغشاءان في الاقتراب أحدهما من الآخر مجددًا. وبينما يقترب الغشاءان مجددًا تزداد سرعتاهما، ثمّ يتصادمان، ومن خلال العاصفة النارية الناتجة تعود الظروف في

كل غشاء منهما إلى بدايتها مجددًا، بحيث تبدأ حقبة جديدة من التطور الكوني. يتضمن جوهر هذه النظرة الكونية دخول العوالم في دورات زمنية، تولد مجموعة جديدة من الأكوان الموازية يطلق عليها اسم «الكون المتعدد الدوري».

إذا كنا نعيش على غشاء يوجد داخل الكون المتعدد الدوري، فإن الأكوان الأخرى (علاوة على الغشاء الشريك الذي نصطدم به دوريًا) توجد في كل من ماضينا ومستقبلنا. وقدْ قَدَّرَ ستينهارد وزملاؤه أن النطاق الزمني للدورة الكاملة لرقصة التانجو التصادمية الكونية هذه - التي تشمل الميلاد والتطور والموت - يبلغ نحو تريليون عام. وفق هذا السيناريو فإن الكون كما نعرفه ما هو إلا الكون الأخير داخل سلسلة زمنية، وربما احتوت بعض الأكوان السابقة على حياة ذكية وأنتجت ثقافة، غير أنها انقرضت منذ زمن بعيد. وعما قريب، سيكون مصير كل إسهاماتنا وإسهامات أشكال الحياة الأخرى التي يدعمها كوننا هو الفَنَاء بالمثل.

رغم أن نهج عالم الأغشية هو التجسيد الأدق لمفهوم الكون الدوري، فإن لهذا المفهوم تاريخًا طويلًا. فدوران الأرض حول ذاتها، الذي يتسبب في نمط قابل للتنبؤ من تتابع الليل والنهار، علاوة على دورانها حول الشمس، الذي يتسبب في تعاقب المواسم، كانَ يُنبئ بالمناهج القائمة على مفهوم الدورية التي ظهرت في تقاليد عديدة بهدف تفسير حركة الكون. يتصور أحد أقدم التقاليد السابقة على الدراسة العلمية للكون، التقليد الهندوسي، وجود مجموعة معقدة من الأكوان الدورية داخل الأكوان الدورية، والتي تمتد وفق بعض التفسيرات ما بين ملايين وتريليونات السنوات. أيضًا في الفكر الغربي، في وقت سابق على سقراط، خرج الفيلسوف هرقليطس ورجل الدولة الروماني شيشرون بنظريات كونية متعددة قائمة على مفهوم الدورية. وقدْ كانَ سيناريو الكون الذي تلتهمه النيران ثمّ يُبعَث من جديد من بين الجمرات المتقدة شائعًا لدى أولئك الذين كانوا يتدبرون القضايا النبيلة أمثال أصل الكون. لكن مع انتشار المسيحية صار لمفهوم المنشأ الفريد الذي حدث مرة واحدة فقط اليد العليا تدريجيًا، غير أن النظريات الدورية واصلت جذب الانتباه من حين لآخر.

في الحقبة العلمية الحديثة، جرى تدبر النماذج الدورية منذ الدراسات الكونية المبكرة التي اعتمدت على النسبية العامة. وقدْ ذكر ألكسندر فريدمان في كتاب شهير نُشر في روسيا في عام 1923، أن بعض حلوله الكونية لمعادلات آينشتاين عن الجاذبية كانت تشير إلى أن الكون في حالة من التذبذب، بحيث يتمدد إلى أن يصل إلى حدٍّ أقصى في الحجم، ثمّ ينكمش وصولًا إلى «نقطة» وحيدة، ثمّ يعاود التمدد من جديد[73]. وفي عام 1931 بدأ آينشتاين نفسه، وقدْ تخلى عن مُقتَرح الكون الساكن، في دراسة إمكانية تذبذب الكون. وقدْ تمثلت أكثر هذه المحاولات تفصيلًا في سلسلة من الأوراق البحثية نشرت بين عامي 1931 و1934 من جانب ريتشارد تولمان من معهد كليفورنيا للتكنولوجيا. وقدْ درس تولمان النماذج الك الدورية دراسة رياضية خالصة، وبهذا دَشَّنَ تيارًا من هذه النوعية من الدراسات - التي كثيرًا ما تقبع في ثنايا الدراسات الفيزيائية لكنها تظهر على السطح في بعض الأحيان - استمر إلى يومنا الحالي.

يعود جزء من السبب وراء النهج الدوري لدراسة الكون إلى قدرته الظاهرية على تجنب القضية الشائكة المتعلقة بالكيفية التي بدأ بها الكون. فإذا كانَ الكون يمر بدورة تلو الأخرى، ولو كانت الدورات تحدث على الدوام (وربما تواصل الحدوث إلى الأبد)، حينئذ سيجري تجنُّب مشكلة البداية المُطلقة. فكل دورة لها بدايتها الخاصة، غير أن النظرية تقدم سببًا فيزيائيًا ملموسًا: انتهاء الدورة السابقة. وإذا تساءلت عن بداية دورة الأكوان كلها، فإن الإجابة ببساطة ستكون أنّه لا وجود لبداية كهذه، لأن الدورة آخذة في التكرار منذ الأزل.

بصورة ما، إذًا، ما النماذج الدورية إلا محاولة لوضع تفسير يجمع المجد من طرفيه. ففي الأيام المبكرة من الدراسة العلمية للكون، قدمت نظرية الحالة الثابتة حلّها النهائي المشكلة أصل الكون وذلك بأن اقترحت أنّه رغم أن الكون آخذ في التمدد، فلم تكن لهُ بداية: فبينما يتمدد الكون يجري تخليق المزيد من المادة على نحو متواصل من أجل ملء الفضاء الإضافي، وهو ما يضمن ثبات الظروف في أرجاء الكون على نحو أزلي. غير أن نظرية الحالة الثابتة تعارضت مع المشاهدات الفلكية التي أشارت بقوة إلى وجود حقب سابقة كانت الظروف فيها تختلف على نحو ملحوظ عن الظروف الموجودة في وقتنا الحالي. وكانت أقوى هذه المشاهدات هي تلك التي تركز على الحقبة الكونية المبكرة التي كانت بعيدة كل البُعد عن الثبات والسكون، وكانت تتسم عوضًا عن ذَلكَ بالفوضى والاضطراب. إنّ وجود انفجار عظيم يقوض الحالة الثابتة، ويعيد مسألة أصل الكون إلى بؤرة الضوء. في هذا الموضع يقدم مفهوم الكون

الدوري بديلًا مقنعًا؛ فبمقدور كل دورة أن تضم ماضيًا شبيهًا بالانفجار العظيم، وهو ما يتفق مع البيانات الفلكية. لكن عن طريق ربط عدد لا نهائي من الدورات معًا لا تزال النظرية تتجنب ضرورة تقديم بداية مطلقة. ومن ثمّ يبدو أن مفهوم الكون الدوري يجمع أكثر السمات جاذبية لنظرية الحالة الثابتة ونموذج الانفجار العظيم معًا.

بعد ذَلكَ، وفي خمسينيات القرن العشرين، لفت عالم الفيزياء الفلكية الهولندي هيرمان زانسترا الانتباه إلى سمة مُعضِلة للنماذج الدورية، سمة كانت مُتَضَمَّنة داخل التحليل الذي قدمه تولمان منذ عقدين. فقد بيَّن زانسترا أنّه كانَ من الممكن أن يوجد عدد لا نهائي من الدورات التي تسبق دورتنا الحالية. إنّ محور الدراسات الكونية هو القانون الثاني للديناميكا الحرارية. وهذا القانون، الذي سنناقشه على نحو أكثر تفصيلًا في الفصل التاسع، يقضي بأن انعدام النظام - أو الإنتروبيا - يزداد مع مرور الوقت. إنه أمر نقابله على نحو معتاد في حياتنا اليومية. فالمطابخ، بصرف النظر عما تتسم به من تنظيم في الصباح، تصير في حالة من الفوضى بحلول المساء، والأمر عينه ينطبق على سلال الغسيل وأسطح المكاتب وغرف اللعب. في هذه الأماكن المألوفة لا تشكل زيادة الإنتروبيا أكثر من مصدر تنغيص بسيط، لكن في حالة الكون الدوري تصير أي زيادة في الإنتروبيا أمرًا محوريًا. فكما أدرك تولمان نفسه فإن معادلات النسبية العامة تربط محتوى الكون من الإنتروبيا بمدة أي دورة بعينها. فالمزيد من الإنتروبيا يعني احتشاد المزيد من الجسيمات الفوضوية معًا حين ينكمش الكون، وهذا يولِّد ارتدادًا أشد عنفًا ومن ثمّ يتمدد المكان أكثر، وتصير مدة الدورة أكبر. وبالنظر إلى الوضع من منظورنا الحالي فإن القانون الثاني للديناميكا الحرارية يقضي بأن الدورات السابقة كانت تتمتع بقدر أقل من الإنتروبيا (لأن القانون الثاني للديناميكا الحرارية يقضي بأن الإنتروبيا تزداد كلما اتجهنا نحو المستقبل، ومن المؤكد أنها تقل عندَ النظر إلى الماضي)[74]، ومن ثمّ كانت تتمتع بفترات أقصر. أجرى زانسترا الحسابات الرياضية الخاصة بهذا الأمر وبين أن الدورات كانت أقصر وأقصر في الماضي لدرجة أنّه من الحتمي أن تختفي. فمن المؤكد أن لها بداية.

زعم ستينهارد وزملاؤه أن نسختهم الجديدة من علم الكونيات الدوري تتحاشى هذا المأزق. ففي نهجهم، لا تنجم الدورات عن تمدد الكون وانكماشه ثمّ تمدده مجددًا، وإنما من الانفصال بين عوالِم الأغشية التي تتمدد وتنكمش ثمّ تتمدد مجددًا. فالأغشية ذاتها تتمدد باستمرار، وهي تفعل هذا خلال كل دورة من الدورات. تتعاظم الإنتروبيا من دورة إلى التي تليها، تمامًا كما يتطلب القانون الثاني للديناميكا الحرارية، لكن لأن الأغشية تتمدد فإن الإنتروبيا تنتشر عبر مسافات مكانية أكبر وأكبر. فالإنتروبيا الإجمالية ترتفع، غير أن «كثافة» الإنتروبيا تنخفض. ومع نهاية كل دورة، تكون الإنتروبيا قليلة لدرجة أن كثافتها تناهز الصفر؛ فتحدث عملية إعادة تشغيل كاملة. وهكذا، خلافًا لما يحدث في تحليل تولمان وزانسترا بإمكان الدورات أن تستمر إلى ما لا نهاية نحو المستقبل، أو الماضي. فالكون المتعدد الدوري القائم الخاص بعالم الأغشية لا يحتاج إلى نقطة بدء زمنية[75].

إنّ التخلص من هذه المعضلة القديمة لهو إنجاز كبير للكون المتعدد الدوري. لكن أيضًا يرى أنصار الكون المتعدد الدوري أنّه لا يقدم حلًّا لمعضلة كونية وحسب؛ بل يقدم تنبؤات محددة تميزه عن النموذج الإرشادي التضخمي المقبول من جمهور عريض. في علم الكونيات التضخمي كانَ من شأن الدفعة القوية للتمدد في مرحلة الكون المبكر أن تخلخل نسيج المكان، بحيث تَنتُج موجات جاذبية قوية، وكان من شأن هذه الذبذبات أن تخلف أثرها على إشعاع الخلفية الميكروني الكوني، وتسعى عمليات الرصد عالية الحساسية الآن لاكتشافها. على النقيض من ذَلكَ فإن تصادم الأغشية يخلق اضطرابًا هائلًا، لكن من دون

أن يحدث التمدد التضخمي المذهل للمكان، وأي موجات جاذبية ستنتُج عن ذَلكَ من المؤكد أنها ستكون أضعف كثيرًا من أن تترك أثرًا دائماً. ومن ثمّ فمن شأن البرهنة على إنتاج موجات جاذبية في مرحلة الكون المبكر أن تكون دليلا قويا على نموذج نظرية الكون المتعدد الدوري. من ناحية أخرى فإن الفشل في رصد أي دليل على موجات الجاذبية هذه سيمثل تحديًا أمام العديد من نماذج علم الكونيات التضخمي ويجعل الإطار الدوري أكثر جاذبية.

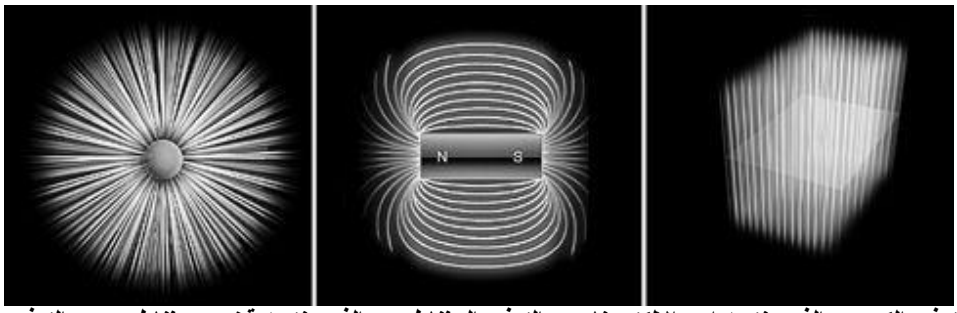
إنّ الكون المتعدد الدوري معروف جيدًا في أوساط الفيزيائيين، لكن ينظر الجميع تقريبًا إليه بعين الشك. بإمكان المشاهدات أن تغير هذا. ولو ظهرت أدلة تدعم وجود عالم الأغشية بفضل مصادم الهدرونات الكبير، وإذا ظلت الإشارات الدالة على وجود موجات جاذبية من مرحلة الكون المبكر مستعصية على الرصد، فمن المرجح أن يحظى نموذج الكون المتعدد الدوري بمزيد من الدعم.

التدفق

إنّ الإدراك الرياضي المتمثل في أن نظرية الأوتار لا تضم أوتارًا وحسب وإنما أغشية أيضًا كانَ لهُ تأثير عظيم على الأبحاث الخاصة بالمجال. وما سيناريو عالم الأغشية، والأكوان المتعددة التي تنتج عنه، إلا منطقة بحث واحدة لها القدرة على أن تغير منظورنا للواقع تغييرًا جذريًا. ومن دون المزيد من الأساليب الرياضية الأدق التي طُوِّرَت على مدار العقد ونصف العقد الماضيين، كانت غالبية هذه الأفكار ستظل بعيدًا عن متناولنا. ومع ذَلكَ فإن المشكلة الأساسية التي كانَ يأمل الفيزيائيون أن تحلها الأساليب الرياضية الأدق - والمتمثلة في الحاجة إلى انتقاء شكل واحد للأبعاد الإضافية من بين الأشكال العديدة المرشحة التي كشفت عنها التحليلات النظرية - لم تُحَل بعد. بل نحن بعيدون كل البعد عن ذَلكَ. فقد تسببت الأساليب الجديدة في حقيقة الأمر في جعل المشكلة أكثر صعوبة؛ ذَلكَ أنها أدت إلى اكتشاف مجموعات جديدة هائلة من الأشكال المحتملة للأبعاد الإضافية، وبهذا زاد عدد الأشكال المرشحة زيادة هائلة من دون أن تقدم لنا أي فكرة عن كيفية اختيار شكل معين منها بوصفه الشكل الخاص بنا.

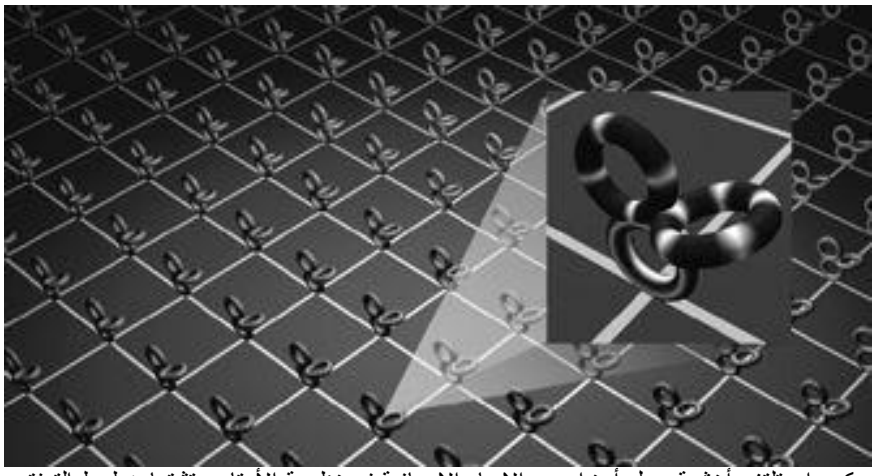
لعبت إحدى خصائص الأغشية، وتُسمى «التدفق»، دورًا محوريًا في هذه التطورات. فمثلما يؤدي الإلكترون إلى وجود مجال خاص به، أو «شبورة» كهربية تتغلغل المنطقة المحيطة به، ومثلما يؤدي المغناطيس إلى وجود مجال مغناطيسي، أو «شبورة» مغناطيسية تتغلغل المنطقة المحيطة به، يؤدي الغشاء أيضًا إلى وجود «مجال غشائي»، أو «شبورة» غشائية تتغلغل المنطقة المحيطة بالغشاء، على النحو المبين في الشكل 5-5. حين كانَ فاراداي يجري أولى تجاربه على المجالين الكهربي والمغناطيسي في بدايات القرن التاسع عشر، كانَ يرى إمكانية التحديد الكمي لشدتهما عن طريق تحديد كثافة خطوط المجال على بعد مسافة معينة من المصدر، وهو ما أطلق عليه اسم تدفق المجال. وقدْ صارت الكلمة منذئذ أحد المصطلحات الفيزيائية المتفق عليها. وتتحدد شدة مجال الغشاء بالمثل عن طريق التدفق الذي يولِّده.

أدرك باحثو نظرية الأوتار، ومنهم رافائيل بوسو وبولشينسكي وستيفن جيدينجز وشاميت كاتشرو وكثيرون غيرهم، أن التوصيف الكامل للأبعاد الإضافية لنظرية الأوتار لا يتطلب فقط تحديد شكل هذه الأبعاد وحجمها - وهو الأمر الذي صب عليه باحثو هذا المجال، وأنا منهم، تركيزهم بالكامل تقريبًا في ثمانينات القرن العشرين وبدايات تسعينياته - وإنما يتطلب أيضًا تحديد تدفقات الغشاء التي تتخللها. دعني أستطرد قليلاً في بيان هذا الأمر.



شكل 5-5: التدفق الكهربي الذي ينتجه احد الالكترونات، والتدفق المغناطيسي الذي ينتجه قضيب مغناطيسي، والتدفق الغشائي الذي ينتجه أحد الأغشية.

منذ أولي الأبحاث الرياضية التي استكشفت الأبعاد الإضافية لنظرية الأوتار أدرك الباحثون أن أشكال كالابي-ياو تحتوي في المعتاد على مناطق عديدة مفتوحة، أشبه بالفراغ الموجود داخل كرة الشاطئ أو الكعكة المجوفة أو داخل أي منحوتة زجاجية تشكلت عن طريق النفخ. لكن مع بدايات الألفية الجديدة أدرك الباحثون النظريون أن هذه المناطق المفتوحة ليس من الضروري أن تكون خاوية تمامًا؛ إذ من الممكن أن يحيط بها غشاء أو آخر، بحيث يربطها التدفق المار بينها، على النحو المبين في الشكل 5-6. كانت الأبحاث السابقة (التي يلخصها، مثلًا، كتاب «الكون الأنيق») تركز بالأساس على أشكال كالابي-ياو «العارية»، والتي لا تحتوي على أي زخارف كهذه. وحين أدرك الباحثون أن أي شكل من أشكال كالابي-ياو يمكن «تزيينه» بهذه السمات الإضافية، فإنهم بهذا أماطوا اللثام عن مجموعة هائلة من الصور المعدلة للأبعاد الإضافية.



شكل 5-6: من الممكن ان تلتف أغشية حول أجزاء من الابعاد الإضافية في نظرية الأوتار وتثبتها خطوط التدفق، بحيث تنتج أشكال كالابي-ياو «مزيّنة». (يستخدم الشكل نسخة مبسطة لأحد اشكال كالابي-ياو «كعكة مجوفة ثلاثية الثقوب» - ويمثل الاغشية الملتفة وخطوط التدفق علي صورة أحزمة ساطعة تحيط بأجزاء من المكان.)

يمكن لعملية إحصاء تقريبية أن تمنحنا صورة عن الوضع. ولنركز على التدفق. فمثلما تثبت ميكانيكا الكم أن الفوتونات والإلكترونات تأتي في وحدات كاملة منفصلة - يمكن أن يكون لديك 3 فوتونات وسبعة إلكترونات، لكن لا يمكن أن يكون لديك 1.2 فوتون أو 6.4 إلكترون - بالمثل تبين ميكانيكا الكم أن خطوط التدفق تأتي في حزمات منفصلة، وبإمكانها أن تخترق السطح المحيط مرة واحدة أو مرتين أو ثلاث مرات، وهكذا. لكن خلافًا لهذا القيد على الأعداد الصحيحة، لا يوجد فعليًا أي قيد آخر. في الواقع العملي، حين يكون مقدار التدفق كبيرًا، فإنه ينحو إلى تشويه شكل كالابي-ياو المحيط، وهو ما يجعل الأساليب الرياضية الموثوق بها غير دقيقة. ومن أجل تجنب الخوض في حسابات رياضية بالغة الاضطراب، يقتصر الباحثون في المعتاد على دراسة أعداد التدفق التي عددها 10 أو أقل من ذَلك[76].

يعني هذا أنّه لو احتوى أي شكل من أشكال كالابي-ياو على منطقة واحدة مفتوحة سيكون لدينا عشر طرق مختلفة للتدفق، بحيث ينتج لدينا عشر أشكال مختلفة للأبعاد الإضافية. وإذا امتلك شكل كالابى-ياو منطقتين، حينها يكون لدينا 10 x 10 = 100 شكل مختلف للتدفق (10 تدفقات محتملة للمنطقة الأولى مضروبة في 10 تدفقات محتملة للثانية)، وفي حالة وجود ثلاث مناطق سيكون لدينا 10^3 صورة مختلفة للتدفق، وهكذا دواليك. ما أكبر عدد ممكن لهذه التوليفات؟ من الممكن لبعض أشكال كالابى ياو أن تمتلك نحو 500 منطقة. ولو اتبعنا المنطق ذاته سيكون لدينا 10^{500} شكل مختلف للأبعاد الإضافية.

وبهذه الطريقة، بدلًا من اختزال الأشكال المحتملة للأبعاد الإضافية إلى بضعة أشكال وحسب، فإن الأساليب الرياضية الأدق أفضت بنا إلى وفرة هائلة من الاحتمالات الجديدة. فعلى حين غرة، صار بمقدور أشكال كالابي-ياو أن تتخذ صورًا عديدة مختلفة يزيد عددها على عدد الجسيمات التي يحويها الكون القابل للرصد. سبَّب هذا ضيقًا شديدًا لبعض باحثي نظرية الأوتار. فكما ذكرت في الفصل السابق، من دون وسيلة الاختيار الشكل الدقيق للأبعاد الإضافية - التي ندرك الآن أنّه يعني أيضًا اختيار صورة التدفق التي يتخذها الشكل - تفقد الحسابات الرياضية لنظرية الأوتار قدرتها التنبؤية. لقد وضع قدر كبير من الأمل على الأساليب الرياضية القادرة على تجاوز مواطن قصور النظرية الاضطرابية، ومع ذَلكَ فعندما تجسَّدت بعض هذه الأساليب صارت مشكلة تحديد شكل الأبعاد الإضافية أسوأ مما كانت عليه.

وهذا أصاب بعض باحثي نظرية الأوتار بالقنوط.
غير أن ثمة باحثون آخرون، أكثر تفاؤلًا، يؤمنون أن من المبكر فقدان الأمل. فذات يوم - ربما يكون هذا اليوم قريبًا، وربما يكون بعيدًا - سنكتشف المبدأ الناقص الذي يحدد ما تبدو عليه الأبعاد الإضافية، بما في ذَلكَ التدفقات الخاصة بهذا الشكل.
تبنى آخرون نهجا أكثر ثورية؛ مُقتَرحين أن المحاولات العقيمة المبذولة على مدار عقود بهدف تحديد شكل الأبعاد الإضافية ربما تنبئنا بأمر معين. فربما، حسب رأي أولئك الثوريين، يكون علينا أن نضع في اعتبارنا بجدية كل الأشكال والتدفقات المحتملة البازة من الحسابات الرياضية لنظرية الأوتار. كما يرى هؤلاء أن من المحتمل: أن يكون سبب احتواء الحسابات الرياضية على هذا العدد الهائل من الاحتمالات هو أنها جميعًا حقيقية، وأن كل شكل هو جزء الأبعاد الإضافية الخاص بكونه المنفصل. ومن المحتمل، في محاولة للعثور على أرضية صلبة في البيانات الرصدية لشطحة الخيال هذه، أن يكون هذا هو المطلوب تمامًا لمجابهة أعقد المشكلات قاطبة: مشكلة الثابت الكوني.

الفصل السادس

تفكير جديد في ثابتٍ قديم

كون المشهد المتعدد

ربما لا يبدو الفارق بين العددين صفر و 0.00000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000 كبيراً. وهو ليس كذلك حقًّا بمعاييرنا المعتادة. ومع ذَلكَ ثمة شك متزايد في أن هذا العدد يكون مسؤولًا عن تغيير جذري في الكيفية التي نتصوَّر بها الواقع.

ذُكِرَ هذا العدد الضئيل الوارد في الفقرة السابقة للمرة الأولى في عام 1998 من جانب فريقين من علماء الفلك يجريان مشاهدات دقيقة للنجوم المنفجرة في مجرات بعيدة. ومنذ ذَلكَ الوقت أكدت أبحاث علماء آخرين كثيرين النتائج التي توصل إليها الفريقان. ما هذا العدد، ولماذا هذه الجلبة بشأنه؟ ثمة أدلة متزايدة على أن هذا العدد هو ما أشرتُ إليه سابقًا بوصفه المُدخَل الوارد في البند الثالث في الإقرار الضريبي للنسبية العامة: ثابت آينشتاين الكوني، والذي يحدد مقدار الطاقة المظلمة الخفية التي تتخلل نسيج المكان. ومع استمرار صمود النتائج في مواجهة التمحيص الشديد، صار الفيزيائيون الآن يتحلون بثقة متزايدة في أن المشاهدات والاستنتاجات النظرية السابقة المُجراة على مدار عقود، والتي أقنعت الغالبية العظمى من الباحثين بأن الثابت الكوني يساوي صفرًا، ثبت خطؤها. وقدْ سارع الباحثون النظريون إلى محاولة تحديد مكمن الخطأ الذي ارتكبوه. لكن لم يكن جميعهم قد وقع في هذا الخطأ من الأساس. فقبل سنوات، ظهرت فكرة محل خلاف تقضي بأن الثابت الكوني غير الصفري ربما يُعثَر عليه ذات يوم. ما الفرضية التي تقوم عليها هذه الفكرة؟ أننا نعيش في كون واحد ضمن عدد من الأكوان، أكوان «متعددة».

عودة الثابت الكوني

كما تذكر فإن الثابت الكوني، لو كانَ لهُ وجود، يملأ الفضاء بطاقة خفية متجانسة - الطاقة المظلمة - والتي تتمثل سمتها المميزة في قوة الجاذبية الطاردة الخاصة بها. تبنى آينشتاين هذه الفكرة في عام 1917، إذ استعان بالجاذبية المضادة الخاصة بالثابت الكوني من أجل موازنة قوة الجذب التي تمارسها الـ العادية بالكون، وبهذا يتيح إمكانية ألاّ يتمدد الكون أو ينكمش[77].

أفاد الكثيرون بأن آينشتاين وصف هذا الثابت الكوني بأنه «خطأه الأكبر»، وذلك حين علم بشأن مشاهدات هابل المُجراة عام 1929، والتي أثبتت تمدد الفضاء. أعاد جورج جاموف سرد محادثة من المزعوم أن آينشتاين تحدث فيها بهذه الكلمات، لكن بسبب ميل جاموف إلى المبالغة المرحة تشكك البعض في دقة هذه الرواية[78]. الأمر المؤكد هو أن آينشتاين أسقط الثابت الكوني من معادلاته حين بينت المشاهدات أن معتقده القائل بوجود كون ساكن كانَ خاطئاً، وذكر بعدها بسنوات أنّه «لو كانَ تمدد هابل اكتُشف في وقت ظهور النظرية النسبية العامة، ما كانَ الثابت الكوني ليظهر على الإطلاق»[79]. غير أن النظر في أحداث الماضي لا يؤدي إلى نتائج دقيقة طوال الوقت، بل من الممكن أن يبدد بعض الوضوح السابق. ففي عام 1917، وفي خطاب موجَّه إلى الفيزيائي فيليم دي سيتر، عبَّر آينشتاين عن رأي مختلف إذ قال:

«على أي حال، ثمة شيء لا خلاف عليه. فالنظرية النسبية العامة تسمح بتضمين الثابت الكوني في معادلات المجال. وذات يوم، فإن معرفتنا الفعلية بتركيب سماء النجوم الثابتة، والحركة الظاهرية للنجوم الثابتة، وموضع خطوط الطيف بوصفها دالة للمسافة، ستكون قد وصلت إلى قدر كافٍ يُمَكِّنُنا من أن نحسم تجريبيًّا مسألة ما إذا كانَ الثابت الكوني قد اختفى أم لا. إنّ القناعة الراسخة محفِّز جيد، لكنّها حكمٌ سيئ»[80].

بعد ذَلكَ بنحو ثمانية عقود، سلك «مشروع المستعرات العظمى الكوني» بقيادة سول بيرلموتر، و«فريق البحث عن المستعرات ذات الإزاحة العالية» بقيادة برايان شميدت، ذَلكَ النهج تحديدًا. إذ درس الفريقان عددًا وفيرًا من خطوط الطيف - الضوء المنبعث من النجوم البعيدة - وكما تنبأ آينشتاين فقد تمكنا من التعامل تجريبيًّا مع مسألة ما إذا كانَ الثابت الكوني قد اختفى أم لا.

ولدهشة الكثيرين فقد وجد الفريقان أدلة قوية على أنّه لم يختفي.

الكثافة الكونية

حين بدأ هؤلاء الفلكيون عملهم لم تركز أي من المجموعتين على قياس الثابت الكوني، بل بدلاً من ذَلكَ فقد استهدف الفريقان قياس سمة كونية أخرى، وهي المعدَّل الذي يتباطأ به تمدد الكون. إنّ المادة العادية الجاذبة تعمل على تقريب الأجسام كلها نحو بعضها، لذا فهي تتسبب في انخفاض سرعة التمدد. ويُعد المعدل الدقيق للتباطؤ أمرًا محوريًّا في التنبؤ بما سيكون الكون عليه في المستقبل البعيد؛ إذ يعني التباطؤ الكبير أن تمدد الفضاء سيقل وصولًا إلى الصفر، ثمّ تنعكس حركته، وهو ما يؤدي إلى حقبة من الانكماش المكانى. ولو استمر هذا الانكماش من دون انقطاع فسيؤدي إلى حدوث «انسحاق عظيم» - وهو حدث مناقض للانفجار العظيم - أو ربما ارتداد، كما في نماذج الكون الدوري المقدمة في الفصل السابق. أما معدل التباطؤ الصغير فمن شأنه أن يؤدي إلى نتيجة مختلفة تماماً؛ فمثلما تستطيع الكرة المنطلقة بسرعة عالية الإفلات من جاذبية الأرض والابتعاد نحو الفضاء، فإذا كانت سرعة التمدد المكاني عالية بما يكفي، وكان معدل التباطؤ قليلاً بما يكفي، فمن الممكن أن يواصل الفضاء تمدده إلى الأبد. وعن طريق قياس التباطؤ الكوني، سعت المجموعتان إلى معرفة المصير النهائي للكون.

كانَ النهج الذي اتَّبعه الفريقان بسيطًا ومباشرًا؛ ويتمثَّل في قياس السرعة التي يتمدد بها الفضاء في أزمنة مختلفة من الماضي، وعن طريق مقارنة تلك السرعات يحددوا المعدل الذي كانَ التمدد يتباطأ به على مدار التاريخ الكوني. حسناً، لكن كيف يمكن عمل هذا؟ كما هو حال أسئلة كثيرة في علم الفلك، تتلخص الإجابة في نهاية المطاف في القياسات الدقيقة للضوء. إنّ المجرات عبارة عن منارات ساطعة تعد حركتها مؤشرًا واضحاً على تمدد الفضاء، وإذا أمكننا أن نحدد مقدار السرعة التي كانت تبتعد بها مجموعة من المجرات تقع على مسافات متباينة منا حين أطلقت الضوء الذي نراه الآن، منذ زمن بعيد، فسيكون بمقدورنا أن نحدد مقدار السرعة التي يتمدد بها الفضاء في لحظات متعددة من الماضي. وعن طريق مقارنة تلك السرعات سنتوصَّل إلى معدل التباطؤ الكوني. هذه هي الفكرة الأساسية.

ومن أجل استكمال التفاصيل علينا أن نجيب عن سؤالين أساسيين، هما: من واقع مشاهداتنا اليوم للمجرات البعيدة، كيف لنا أن نحدد المسافات التي تفصلها عنا؟ وكيف لنا أن نحدد سرعاتها؟ ولنبدأ بسؤال المسافة.

المسافات والسطوع

إحدى أقدم وأهم المشكلات في علم الفلك هي تحديد المسافات بين الأجرام السماوية. ومن أولى الأساليب المستخدمة في ذَلكَ التزيُّح[81]، وهو أمر يجربه كل طفل في الخامسة من عمره كثيراً. فالأطفال يستهويهم (لحظيًّا) النظر إلى أحد الأجسام بالعين اليمنى ثمّ اليسرى لأن الجسم يبدو حينها وكأنه تحرك من جانب إلى آخر. إذا لم تكن قد جربت هذا بنفسك منذ وقت طويل، جرب هذا الأمر عن طريق حمل الكتاب أمامك ثمّ النظر إلى أحد أطرافه بهذه الطريقة. تحدث القفزة لأن عينك اليمنى واليسرى، اللتان تفصل بينهما مسافة، يتعيَّن عليهما النظر بزاويتين مختلفتين من أجل التركيز على النقطة ذاتها. في حالة الأجسام البعيدة تكون القفزة ملحوظة بدرجة أقل، لأن الاختلاف في الزاوية يصير أصغر وأصغر. هذه الملاحظة البسيطة يمكن تحديدها كميًّا، بحيث تمنحنا علاقة ارتباط دقيقة بين الاختلاف في زاوية خطي البصر لعينيك - التزيح - والمسافة التي تفصلك عن الجسم الذي تنظر إليه. لكن لا تقلق بشأن معالجة التفاصيل؛ فجهازك البصري يفعل هذا على نحو تلقائي. ولهذا السبب نرى العالم دائماً رؤية ثلاثية الأبعاد[82].

حين تنظر إلى النجوم في سماء الليل، يكون مقدار التزيح صغيرًا جداً بحيث يتعذر قياسه، إذ إنّ عينيك قريبتان للغاية إحداهما من الأخرى بما يحول دون وجود فارق كبير في زاوية الرؤية. لكن ثمة طريقة بارعة لعمل ذَلكَ، وهي قياس موضع النجم في مناسبتين مختلفتين، تفصل بينهما ستة أشهر، ومن ثمّ استخدام موقعي الأرض محل موقعي العينين. إنّ الانفصال الأكبر بين موقعي الرصد يزيد من التزيح، ورغم أن مقدار التزيح لا يزال صغيرًا، فمن الممكن في بعض الأحيان قياسه. شهدت بدايات القرن التاسع عشر منافسة حامية بين مجموعة من العلماء على قياس هذا التزيُّح النجمي للمرة الأولى، وفي عام 1838 ربح عالم الفلك والرياضيات الألماني فريدريتش بيسل السباق، إذ نجح في قياس تزيح نجم يسمَّى 61 Cygni في كوكبة الدجاجة. تبين أن الاختلاف الزاوي يساوي 0.000084 درجة، وهذا يعني وقوع النجم على مسافة نحو 10 سنوات ضوئية.

منذ ذَلكَ الوقت خضع هذا الأسلوب للتنقيح المتواصل، ويجري حاليًّا استخدامه من جانب الأقمار الصناعية التي تستطيع قياس زوايا تزيح أصغر كثيراً من تلك التي قاسها بيسل. وقدْ أتاحت هذه التطورات إجراء قياسات دقيقة للمسافات التي تفصل بيننا وبين نجوم تبعد بنحو بضعة آلاف السنوات الضوئية عنا، لكن في ما وراء هذا النطاق تصير الاختلافات الزاويَّة طفيفة للغاية ويفشل هذا الأسلوب. ثمة أسلوب آخر قادر على قياس مسافات كونية أعظم، وهو مبني على فكرة أبسط مفادها أنّه كلما ابتعد الجسم الذي ينبعث منه الضوء، سواء أكان مصباح سيارة أم نجمًا متوهجًا، سينتشر الضوء الصادر عنه بدرجة أكبر خلال الرحلة التي يقطعها نحوك، ومن ثمّ سيبدو خافتًا بدرجة أكبر. وعن طريق مقارنة السطوع «الظاهري» للجسم (مقدار السطوع الذي يبدو عليه عندَ رصده من الأرض) بسطوعه «الحقيقي» (مقدار السطوع الذي سيبدو عليه لو جرى رصده من موضع قريب)، يمكنك بهذه الصورة أن تحسب المسافة التي تفصلك عنه.

تكمن المشكلة، وهي ليست هينة، في تحديد مقدار السطوع الحقيقي للأجرام الفلكية. فهل النجم خافت لأنه بعيد عنا أم لأنه لا يصدر قدرًا كبيراً من الضوء من الأساس؟ يوضح هذا لماذا بُذلَت جهود كبيرة على مدار زمن طويل من أجل العثور على نوع من الأجرام الفلكية الشائعة نسبيًّا يمكن تحديد سطوعها الحقيقي على نحو موثوق به من دون الحاجة إلى الوجود بالقرب منه. وإذا أمكنك العثور على هذه «الشموع المعيارية» كما تُسمَّى، فسيكون لديك معيارًا موحدًا للحكم على المسافات. ومن شأن الدرجة

التي تبدو بها إحدى الشموع المعيارية أشد خفوتًا من شمعة أخرى أن تخبرك مباشرة بالمسافة التي تفصلك عنها.

على مدار أكثر من قرن اقتُرحت مجموعة متنوعة من الشموع المعيارية واستُخدمَت، وحققت درجات متفاوتة من النجاح. ومؤخرًا، تمثلت أكثر الطرق نجاحًا في استخدام نوع من الانفجارات النجمية تسمَّى المستعرات العظمى (السوبرنوفا) من النوع 1أ. يحدث انفجار المستعر الأعظم من النوع ١أ حين يسحب نجم في مرحلة القزم الأبيض المادة النجمية من سطح نجم آخر قريب منه ويدور حوله، ويكون عادة في مرحلة العملاق الأحمر. وتقضي الحسابات الفيزيائية المتقدمة بأنه لو سحب القزم الأبيض مقدارًا كافيًا من المادة (بحيث تزيد كتلته الإجمالية على 1.4 مرة قدر كتلة الشمس)، فسيعجز عن دعم وزنه، وسينهار النجم القزم المنتفخ على ذاته مُسببًا انفجارًا عنيفًا للغاية لدرجة أن الضوء المتولِّد عنه سيضاهي ذَلكَ الناتج عن سطوع 100 مليار نجم أو نحو ذَلكَ في المجرة التي يوجد بها.

تُعد هذه المستعرات العظمى شموعًا معيارية مثالية. فنظرًا لكون الانفجارات قوية للغاية، يمكننا أن نراها من على مسافات هائلة. والمهم في الأمر أنّه نظرًا لأن هذه الانفجارات تنتج عن العملية الفيزيائية عينها - زيادة كتلة القزم الأبيض عن 1.4 مرة قدر كتلة الشمس، وهو ما يؤدي إلى انهيار النجم وانفجاره - فإن المستعرات العظمى كلها تمتلك درجات السطوع الحقيقية ذاتها. غير أن مكمن الصعوبة في استخدام المستعرات العظمى من النوع 1أ هو أن هذا النوع من الانفجارات النجمية لا يحدث داخل المجرة التقليدية إلا مرة واحدة كل بضع مئات من الأعوام: كيف نستطيع رصدها إذاً؟ تعامل فريق مشروع المستعرات العظمى الكوني وفريق البحث عن المستعرات ذات الإزاحة العالية مع هذه العقبة بطريقة تذكرنا بدراسات الأوبئة: فمن الممكن الحصول على معلومات دقيقة عن أندر الحالات لو استطعنا دراسة أعداد كبيرة بما يكفي. وعلى نحو مشابه، عن طريق استخدام تليسكوبات مزوَّدة بكواشف ذات عدسات رصد واسعة قادرة على دراسة آلاف المجرات في الوقت ذاته، تمكن الباحثون من تعيين عشرات المستعرات العظمى من النوع 1أ، والتي أمكن رصدها بعد ذَلكَ عن كثب بالتليسكوبات العادية. وبناءً على مستويات السطوع التي يبدو عليها كل من هذه المستعرات العظمى، تمكن الفريقان من حساب المسافة التي تفصلنا عن عشرات المجرات الواقعة على بُعد مليارات السنوات الضوئية؛ وبهذا قطعوا الخطوة الأولى في المهمة التي حددوها لأنفسهم.

المسافات بين ماذا تحديدًا؟

قبل الانتقال إلى الخطوة التالية - تحديد السرعة التي كانَ يتمدد بها الكون حين وقعت انفجارات المستعرات العظمى البعيدة هذه كلها - دعني أشرح باختصار أحد مواضع الارتباك المحتملة. فعندما نتحدث عن المسافات على هذه النطاقات الهائلة، ومع الوضع في الاعتبار التمدد المتواصل للكون، من الحتمي أن يُثار السؤال حول ما يقيسه الفلكيون تحديدًا. فهل يقيسون المسافة بين الموقع الذي كنا نشغله نحن والمجرة المنبعث منها الضوء منذ دهور بعيدة، حين أطلقت المجرة الضوء الذي نراه الآن؟ أم هل يقيسون المسافة بين موقعنا الحالي والموقع الذي كانت المجرة تشغله منذ دهور بعيدة حين انطلق منها الضوء الذي نراه الآن؟ أم هل يقيسون المسافة بين موقعنا الحالي والموقع الحالي لتلك المجرة؟ إليك الطريقة الأوضح من وجهة نظري للتفكير في هذه الأسئلة الكونية المحيِّرة وما شابهها.

تخيّل أنك تريد أن تعرف أقصر مسافة بين ثلاث مدن مختلفة: نيويورك ولوس أنجلوس وأوستن، ومن ثمّ فأنت تقيس المسافات الفاصلة بينها على خريطة للولايات المتحدة. بعد القياس تجد أن نيويورك تبعد 39 سنتيمترًا عن لوس أنجلوس، ولوس أنجلوس تبعد 19 سنتيمترًا عن أوستن، وأوستن تبعد 24 سنتيمترًا

عن نيويورك. بعد ذَلكَ تحول هذه القياسات إلى مسافات فعلية عن طريق النظر إلى مفتاح الخريطة، الذي يعطيك معامل التحويل - 1 سنتيمتر يساوي 100 كيلومتر - وهذا يمكنك من أن تخلص إلى أن المدن الثلاث تبعد عن بعضها بمسافات 3900 كيلومتر، 1900 كيلومتر، 2400 كيلومتر على الترتيب.

الآن تخيَّل أن سطح الأرض يتضخم على نحو متجانس، بحيث تتضاعف جميع المسافات. سيكون هذا تحولًا جذريًّا بالتأكيد، لكن رغم ذَلكَ ستظل خريطة الولايات المتحدة صالحة للاستخدام ما دمت تُجري تغييرًا واحدًا؛ إذ ستحتاج إلى تعديل مفتاح الخريطة بحيث يصير «1 سنتيمتر يساوي 200 كيلومتر». ومن ثمّ فإن المسافات 39 سنتيمترًا 19 سنتيمترًا 24 سنتيمترًا على الخريطة ستساوي 7800 كيلومتر 3800 كيلومتر 4800 كيلومترًا في الواقع الفعلي. ولو استمر تمدد الأرض، فستظل الخريطة الثابتة الجـ دقيقة، ما دمت تواصل تحديث مفتاحها بمعامل التحويل المناسب لكل لحظة - 1 سنتيمتر يساوي 200 كيلومتر وقت الظهيرة، 1 سنتيمتر يساوي 300 كيلومتر في الثانية ظهرًا، 1 سنتيمتر يساوي 400 كيلومتر في الرابعة عصرًا - بحيث يعكس مقدار تباعد المواقع عن بعضها بفعل السطح الآخذ في التمدد.

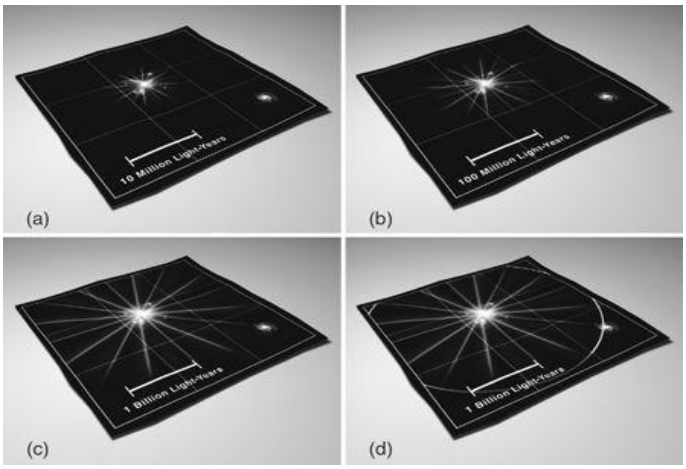
إنّ تشبيه الأرض الآخذة في التمدد مناسب؛ لأن اعتبارات مماثلة تنطبق على الكون الأخذ في التمدد. فالمجرات لا تتحرك بقوتها الخاصة، بل شأنها شأن المدن الموجودة على سطح كوكبنا الآخذ في التمدد، فهي تبتعد عن بعضها لأن المادة التي هي جزء منها - الفضاء نفسه - آخذ في التمدد. يعني هذا أنّه لو رُسمَت خريطة كونية تحدد مواضع المجرات منذ مليارات الأعوام، فستظل الخريطة صالحة إلى اليوم كما كانت صالحة وقتذاك[83]. لكن شأن مفتاح خريطة الأرض الآخذة في التمدد، فإن مفتاح الخريطة الكونية يجب تحديثه لضمان أن معامل التحويل من المسافات على الخريطة إلى المسافات الفعلية، يظل دقيقًا. يُسمى معامل التحويل الكوني «معامل القياس»، وفي كون آخذ في التمدد يزداد معامل القياس مع مرور الوقت.

كلما فكرت في تمدد الكون، أدعوك إلى أن تتصور خريطة كونية ثابتة. فكر فيها وكأنها خريطة عادية موضوعة على طاولة مستوية، ثمّ ضع في الحسبان التمدد الكوني عن طريق تحديث مفتاح هذه الخريطة مع مرور الوقت. ومع قليل من التدريب سترى أن هذا النهج يبسِّط العقبات المفاهيمية بشدة.

مثال على ما أقول، تدبر الضوء المنبعث من انفجار مستعر أعظم في مجرة نوا البعيدة. عندَ مقارنة السطوع الظاهري للمستعر الأعظم بسطوعه الحقيقي، فنحن بهذا نقيس المقدار الذي خفَّت به شدة الضوء بين وقت الانبعاث (الشكل 6-1أ) والاستقبال (الشكل 6-1ج)، والنابع من انتشار الضوء على صورة كرة ضخمة (تمثلها الدائرة في الشكل 6-1د) خلال الرحلة. وعن طريق هذا التخفيف نستطيع تحديد حجم الكرة - مساحة سطحها - ثمّ باستخدام القليل من هندسة المرحلة الثانوية يصير بوسعنا تحديد نصف قطر الكرة. ونصف القطر هذا يتتبع مسار الضوء بالكامل، ومن ثمّ فإن طوله يساوي المسافة التي قطعها الضوء. الآن يتبادر إلى الذهن السؤال الذي بدأنا به هذا القسم: أي المسافات الثلاث المحتملة يتفق مع القياسات، هذا إن اتفق أحدها من الأساس؟

خلال الرحلة التي قطعها الضوء، تمدَّد الفضاء بلا توقف. بيد أن التغيير الوحيد الذي يستتبعه هذا في خريطة الكون الثابتة هو التحديث الدوري لمعامل القياس المسجل في مفتاح الخريطة. وبما أننا استقبلنا ضوء المستعر الأعظم «الآن»، وبما أنّه أكمل رحلته «الآن»، علينا أن نستخدم معامل القياس المكتوب «الآن» على مفتاح الخريطة من أجل ترجمة المسافات الظاهرة على الخريطة - المسار الواصل بين المستعر الأعظم وبيننا، والمبين في الشكل 6-1د - إلى المسافات الملموسة التي قطعها الضوء. يوضح هذا الإجراء أن النتيجة هي المسافة الموجودة «الآن» بيننا وبين الموضع الحالي للمجرة نوا: أي الجواب

الثالث عن السؤال المطروح من قبل.



شكل 6-1: (أ) الضوء المنبعث من مستعر أعظم بعيد ينتشر خلال رحلتة ألينا (موقعنا داخل المجرة في الجانب الايمن من الخريطة). (ب)خلال الرحلة التي يقطعها الضوء يتمدد الكون، وهذا ينعكس من مفتاح الخريطة. (ج) عندما نتلقي الضور فإن شدته تكون قد خفت نتيجه الانتشار. (د) حين نقارن السطوع الظاهري للمستعر الأعظم بسطوعه الحقيقي، فنحن بهذا نقيس مساحة الكرة التي انتشر الضور عبها (المرسومه علي هيئة دائرة)، ومن ثم نحدد نصف قطرها كذلك. يتتبع نصف قطر الكره مسار الضوء، ويعادل طولة المسافه التي تفصلنا الان عن المجرة التي تحتوي علي المستعر الأعظم، وهذا هو ما تحدده المشاهدات.

لاحظ أيضاً أن بسبب التمدد المتواصل للكون، فإن الأجزاء المبكرة من رحلة الفوتون تواصل تمددها بعد أن يكون الفوتون قد اجتازها. فإذا رسم الفوتون خطًّا في الفضاء يتتبع مساره، فإن طول ذَلكَ الخط سيزداد مع تمدد الفضاء. وعن طريق تطبيق معامل قياس الخريطة على وقت استقبال الرحلة الكاملة للفوتون، فإن الجواب الثالث يتضمن مباشرة كل هذا التمدد. هذا هو النهج الصحيح، لأن المقدار الذي تخف به شدة الضوء يعتمد على حجم الكرة التي انتشر الضوء عليها «الآن»؛ ويعادل نصف القطر هذا طول مسار الضوء «الآن»، بما في ذَلكَ كل ما سبق من تمدد[84].

حين نقارن السطوع الحقيقي لأحد المستعرات العظمى بسطوعه الظاهري، فإننا بهذا نحدد المسافة التي تفصلنا الآن عن المجرة التي يوجد بها هذا المستعر الأعظم. وهذه هي المسافات التي قاستها مجموعتا الفلكيين[85].

كفانا حديثاً عن قياس المسافات بيننا وبين المجرات البعيدة المحتوية على مستعرات عظمى من النوع 1أ. كيف لنا أن نعرف معدل تمدد الكون في الحقب الماضية، التي اشتعلت فيها هذه المنارات الكونية على نحو عابر؟ ليست التفاصيل الفيزيائية المعنية أكثر تعقيدًا بكثير من تلك التي نجدها في لافتات النيون. إنّ لافتة النيون تسطع باللون الأحمر حين يمر تيار كهربائي عبر حيز اللافتة الداخلي المليء بالغاز، وهذا التيار يسبب استثارة الإلكترونات التي تدور في مداراتها داخل ذرات النيون بحيث تقفز على نحو وقتي إلى حالات عالية الطاقة. بعد ذَلكَ، حين تهدأ ذرات النيون، تعود الإلكترونات المستثارة إلى حالة الحركة الطبيعية الخاصة بها، وتتخلص من الطاقة الإضافية عن طريق إطلاق الفوتونات. يتحدد لون الفوتونات - طولها الموجي - عن طريق الطاقة التي تحملها. وقدْ تمثل أحد الاكتشافات المحورية، والذي أُثبِتَ بالكامل عن طريق ميكانيكا الكم في العقود الأولى من القرن العشرين، في أن ذرات كل عنصر بعينه لها مجموعة متفردة من قفزات الإلكترونات الممكنة، وهذا يُتَرجَم إلى مجموعة متفرِّدة من الألوان للفوتونات المنبعثة. في حالة ذرات النيون، اللون المهيمن هو الأحمر (أو في الواقع البرتقالي الضارب إلى الحُمرة)، وهذا يفسِّر مظهر لافتات النيون. تسلك عناصر أخرى - الهليوم والأكسجين والكلور وغيرها - السلوك ذاته، ويكون الاختلاف الأساسي هو الطول الموجي للفوتونات المنبعثة. فاللافتة «النيون» التي تضيء بلون آخر غير الأحمر من المرجح أنها مليئة بالزئبق (لو كانَ الضوء أزرق) أو الهليوم (لو كانَ ذهبيًّا)، أو مصنوعة من أنابيب زجاجية مطلية بمادة، فوسفورية غالبًا، تطلق ذرَّاتها ضوءًا لهُ طول موجي مختلف.

تعتمد غالبية المشاهدات الفلكية على الاعتبارات ذاتها؛ إذ يستخدم الفلكيون التليسكوبات من أجل التقاط الضوء المنبعث من الأجرام البعيدة، ومن خلال اللون الذي يجدونه - الأطوال الموجية المحددة الخاصة بالضوء الذي يقيسونه – يستطيعون تحديد التركيب الكيميائي للمصدر. من الأمثلة المبكرة لذلك ما حدث خلال الكسوف الشمسي عام 1868، حين فحص الفلكي الفرنسي بيير جانسين، والفلكي الإنجليزي جوزيف نورمان لوكير، على نحو مستقل، الضوء المنبعث من الطبقة الخارجية للشمس، وذلك عن طريق النظر في ما وراء حافة القمر، ووجدا انبعاثًا ساطعًا غامضًا لهُ طول موجي لا يمكن إنتاجه في المختبر باستخدام المواد المعروفة. وقدْ أدى هذا إلى اقتراح جريء - وصحيح - يقضي بأن الضوء انبعث من عنصر جديد غير معروف وقتها. كانَ هذا العنصر هو الهليوم، وهو بهذا يتميز بكونه العنصر الوحيد الذي جرى اكتشافه في الشمس قبل اكتشافه على كوكب الأرض. وقدْ أثبت هذا على نحو مُقنع أنّه مثلما يمكن تعيين هوية الفرد عن طريق نمط الخطوط الذي تتألف منه بصمة الأصبع، نستطيع كذلك تحديد هوية العناصر الذرية عن طريق نمط الأطوال الموجية الخاص بالضوء الذي تطلقه (وتمتصه أيضًا).

في العقود التي تلت ذَلكَ صار الفلكيون الذين فحصوا الأطوال الموجية للضوء المُلتقط من المزيد والمزيد من المصادر الفلكية مُدركين لسمة مميزة. فرغم أن مجموعة الأطوال الموجية كانت تشبه تلك الصادرة عن التجارب المعملية المُجراة على الذرات المعروفة كالهيدروجين والهليوم، فإنها جميعاً كانت أطول بقدر ما. فمن أحد المصادر البعيدة يمكن أن تكون الأطوال الموجية أطول بنسبة 3 بالمائة، ومن مصدر ثانٍ أطول بنسبة 12 بالمائة، ومن مصدر ثالث أطول بنسبة 2 بالمائة. وقدْ أطلق الفلكيون على هذا التأثير اسم «الإزاحة الحمراء»، وذلك إدراكًا منهم أنّه كلما صار الطول الموجي للضوء أطول، على الأقل في نطاق الضوء المرئي من الطيف، صار أشد حُمرة على نحو متزايد.

كانت التسمية بداية موفقة، لكن ما الذي سبب استطالة الأطوال الموجية؟ كانت الإجابة المعروفة، التي ظهرت على أوضح نحوٍ من مشاهدات فيستو سليفر وإدوين هابل، هي أن الكون آخذ في التمدد. فالإطار المفاهيمي المقدم سابقًا والقائم على صورة الخريطة الثابتة ما هو إلا تصوّر توفيقي الهدف منه تقديم تفسير يتفق مع البديهة.

تخيل موجة من الضوء تشق طريقها من مجرة نوا إلى كوكب الأرض. بينما نرسم تقدم الضوء عبر خريطتنا الثابتة، نرى تتابعًا متجانسًا من القمم الموجية، الواحدة تلو الأخرى، بينما تتجه الموجة دون انقطاع نحو تليسكوبنا. ربما يؤدي تجانس الموجة إلى أن تظن بأن الطول الموجي للضوء لحظة إطلاقه (أي المسافة بين القمم الموجية المتتابعة) سيظل كما هو عندَ استقباله. غير أن الجزء المثير للاهتمام من القصة يظهر واضحاً حين نستخدم مفتاح الخريطة بغية تحويل المسافات على الخريطة إلى مسافات فعلية. فبسبب تمدد الكون، يكون معامل تحويل الخريطة أكبر حين يختتم الضوء رحلته مقارنة بما كانَ عليه في بدايتها. والنتيجة المترتبة على هذا هي أنّه رغم أن الطول الموجي للضوء كما يُقاس على الخريطة يظل ثابتًا، فعند التحويل إلى المسافات الفعلية، فإن الطول الموجي يزيد. وعندما نستقبل الضوء أخيراً، يكون طوله الموجي أكبر مما كانَ عليه لحظة إطلاقه. الأمر يبدو وكأن موجات الضوء خيوط مثبتة إلى رباط مطاطي. ومثلما تؤدي استطالة الشريط إلى استطالة الخيوط، تتسبب استطالة نسيج المكان في استطالة موجات الضوء.

من الممكن حساب هذا الأمر كميًّا. فإذا بدا الطول الموجي أطول بنسبة 3 بالمائة، فهذا يعني أن الكون أكبر بنسبة 3 بالمائة مما كانَ عليه حين انبعث الضوء، وإذا بدا أطول بنسبة 21 بالمائة، فهذا يعني أن الكون قد تمدد بنسبة 21 بالمائة منذ بدأ الضوء رحلته. ومن ثمّ فإن قياسات الإزاحة الحمراء تعرفنا بحجم الكون حين انبعث الضوء الذي ندرسه الآن، مقارنة بحجم الكون الآن[86]، ونتيجة لهذا استُخدمَت سلسلة من قياسات الإزاحة الحمراء المماثلة من أجل رسم صورة تمدد الكون على مر الزمن.

من الممكن تسجيل الطول الذي كانت عليه طفلتك في تاريخ محدد بوضع علامة بالقلم الرصاص على جدار، وتعرض سلسلة من علامات القلم الرصاص تتابع طولها في تواريخ محددة. ولو وضعت علامات كافية ستتمكن من تحديد السرعة التي كانت الطفلة تنمو بها في أوقات مختلفة من الماضي؛ فتجد مثلاً فترة نمو سريعة وهي في التاسعة، متبوعة بفترة نمو بطيئة حتّى الحادية عشرة، تليها فترة نمو سريعة في الثالثة عشرة، وهكذا دواليك. حين يقيس علماء الفلك الإزاحة الحمراء الخاصة بمستعر أعظم من النوع 1أ، فإنهم بهذا يضعون علامات مشابهة بالقلم الرصاص في الفضاء. ومثل سلسلة الأطوال الخاصة بطفلتك، من شأن سلسلة من قياسات الإزاحة الحمراء الخاصة بعدد كبير من المستعرات العظمى من النوع 1أ أن تمكن علماء الفلك من أن يحسبوا السرعة التي كانَ الكون ينمو بها عبر حقب زمنية متعددة في الماضي. ومن ثمّ عن طريق هذه البيانات يستطيع علماء الفلك تحديد المعدل الذي تباطأ فيه معدل تمدد الفضاء. كانت هذه هي الخطة التي اعتمدها فريقا البحث.

لكن من أجل تنفيذ هذه الخطة، كانَ أمامهم خطوة واحدة متبقية: تحديد عمر علامات القلم الرصاص الكونية. كانَ الفريقان بحاجة إلى تحديد الزمن الذي انطلق فيه الضوء من مستعر أعظم بعينه، وهذه مهمة يسيرة. فبما أن الفارق بين السطوع الظاهري للمستعر الأعظم وسطوعه الحقيقي يكشف عن مسافته، وبما أننا نعرف سرعة الضوء، من المفترض أن نتكمن على الفور من حساب الزمن الذي انقضى منذ انطلاق الضوء من المستعر الأعظم. هذا المنطق لا غبار عليه، لكنّ ثمة تفصيلة أساسية تتعلق بالاستطالة «اللاحقة» لمسار الضوء المذكورة أعلاه، وهي تستحق التشديد عليها.

فعندما يتحرك الضوء داخل كون آخذ في التمدد، فإن سبب قطعه مسافة معينة يرجع في جزء منه إلى

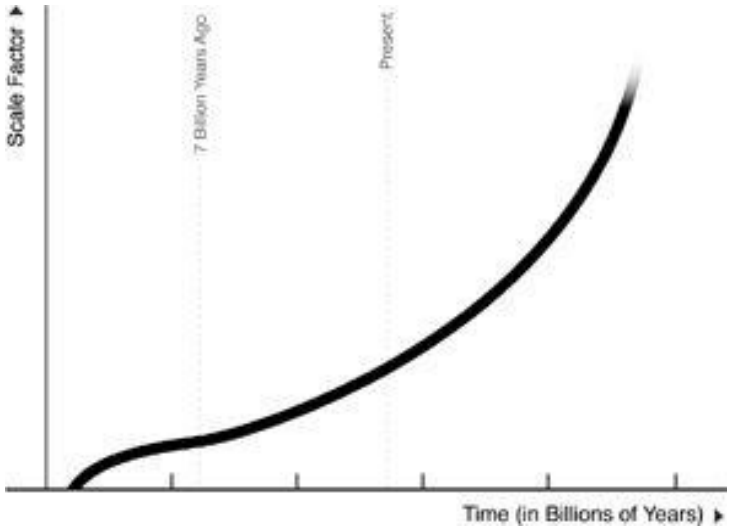
سرعته الذاتية عبر الفضاء، وفي جزء آخر إلى استطالة الفضاء نفسه. وبوسعك مقارنة هذا بما يحدث على الممشى المتحرك في المطار. فمن دون زيادة سرعتك الذاتية ستتحرك إلى الأمام بسرعة أكبر لأن الممشى المتحرك يعزز حركتك. وبالمثل فإن الضوء، من دون زيادة سرعته الذاتية، سينتقل من المستعرات العظمى البعيدة بسرعة أكبر لأنه خلال رحلته تسببت استطالة الفضاء في تعزيز حركته.

وكي نحدد على نحو صائب متى انبعث الضوء الذي نراه الآن، علينا أن نضع في الاعتبار كلتا المساهمتين في المسافة المقطوعة. سنستعين هنا ببعض المعادلات الرياضية (انظر الملحوظات لو كنت مهتمًّا بالأمر)، لكنّها الآن عملية مفهومة تماماً[87].

تمكن الفريقان من حساب حجم معامل قياس الكون في أزمنة محددة من الماضي، وقدْ وضعوا في حسبانهم هذه النقطة علاوة على غيرها من الاعتبارات النظرية والرصدية. نعني بهذا أن الفريقين تمكنا من العثور على سلسلة من علامات القلم الرصاص المحددة زمنيًّا والتي تعين حجم الكون ومن ثمّ تحدد الكيفية التي تغير لها معدل التمدد عبر تاريخ الكون.

بعد الفحص والتمحيص، وإعادة التمحيص مجددًا، أعلن الفريقان عن نتائجهما، والتي تقضي بأنه على مدار المليارات السبعة الأخيرة من الأعوام، وخلافًا للتوقعات، لم يكن تمدد الكون يتباطأ، بل كانَ يتسارع.

يمنحنا الشكل 2-6 ملخصاً لهذا العمل الرائد، علاوة على بعض المشاهدات التي أكدت صحة النتائج بدرجة أعلى من الإحكام. وقدْ كشفت المشاهدات عن أنّه حتّى سبعة مليارات عام مضت، كانَ معامل القياس يسير وفقًا للتوقعات؛ إذ كانَ معدل نموه يتباطأ. ولو استمر هذا، لكان من شأن الخط البياني أن يستوي أو حتّى يتجه إلى الأسفل. غير أن البيانات توضح لنا أنّه منذ سبعة مليارات عام حدث تحول جذري؛ إذ اتجه الخط البياني إلى الأعلى، وهو ما يعني أن معدل نمو معامل القياس بدأ في الزيادة. فمع زيادة معدل تمدد الفضاء دخل الكون في مرحلة من التسارع.



شكل6-2: تبين دراسة معامل قياس الكون مع مع مرور الوقت أن التمدد الكوني قد تباطأ حتى سبعة مليارات عام مضت، ثم شرع بعدها في التسارع.

يعتمد مصير كوننا على شكل هذا الخط البياني. ففي حالة التمدد المتسارع، سيواصل الفضاء الانتشار بلا نهاية، حاملاً معه المجرات إلى مسافات أبعد، وبسرعات أكبر. وبعد مائة مليار عام من الآن، فإن أي مجرة لا تقع على مقربة منا حاليًّا (أي لا تنتمي إلى تلك المجموعة التي تتألف من نحو دستة من المجرات المترابطة بفعل قوة الجاذبية ويُطلَق عليه اسم «المجموعة المحلية») سيخرج من أفقنا الكوني ويقع إلى الأبد خارج نطاق قدرتنا على الرصد. وما لم يمتلك فلكيو المستقبل سجلات وصلتهم من حقبة سابقة، فستسعى نظرياتهم الكونية إلى تفسير الجزيرة الكونية التي يقطنوها، والتي لا يزيد عدد المجرات فيها عن عدد الطلاب في مدرسة نائية، وتتهادى في بحر ساكن من العتمة. إننا نعيش في عصر مميز.
أما عن الرؤى التي منحنا إياها الكون، فمن شأن التمدد المتسارع أن يسلبنا إياها.
وكما سنرى في الصفحات التالية، فإن النظرة المحدودة التي سيقع فلكيو المستقبل ضحية لها ستتضح بشكل أكبر عندَ مقارنتها بضخامة الحيز الكوني الذي اكتشفه جيلنا في أثناء محاولته تفسير التمدد المتسارع.

الثابت الكوني

إذا نظرت إلى كرة ألقاها شخص ما إلى الأعلى ووجدت أن سرعتها تزداد، فستخلص إلى أن شيء ما يدفعها بعيداً عن سطح الأرض. وبالمثل، خلص باحثو المستعرات العظمى إلى أن التسارع غير المتوقع للتمدد الكوني يتطلب وجود شيء يدفع المادة إلى الخارج، شيء يتغلب على قوة الجذب إلى الداخل التي تسببها الجاذبية. وكما نألف الآن من واقع الأمثلة المتعددة فإن هذا تحديدًا هو الوصف الذي يجعل الثابت الكوني، والجاذبية الطاردة التي يتسبب فيها، المرشح المثالي. ومن ثمّ فقد أعادت مشاهدات المستعرات العظمى الثابت الكوني مجددا إلى بؤرة الضوء، ليس عن طريق «حكم سيئ ناجم عن قناعة ما» كذلك الذي ألمح إليه آينشتاين في خطابه منذ عقود مضت، وإنما عن طريق القوة الخالصة للبيانات.

أيضًا تتيح البيانات للباحثين تثبيت قيمة عددية معينة للثابت الكوني؛ أي مقدار الطاقة المظلمة التي تملأ الفضاء.

وبالتعبير عن النتيجة من حيث المقدار المكافئ من الكتلة، كما هو معتاد في أوساط الفيزيائيين (باستخدام المعادلة $E=mc^2$ ولكن في صورتها الأقل شيوعًا $M=E/C^2$)، بيَّن الباحثون أن البيانات المأخوذة من المستعرات العظمى حتمت وجود ثابت كوني يقل قليلاً عن 10^{-29} جرام في كل سنتيمتر مكعب[88]. لم تكن للدفعة التي يسببها هذا الثابت الكوني الضئيل اليد العليا في أول سبعة مليارات عام من عمر الكون وذلك بسبب قوة الجاذبية التي تتسبب فيها المادة والطاقة العاديتان، وذلك على نحو يتفق مع البيانات التجريبية. غير أن تمدد الفضاء تسبب في تخفيف كثافة المادة والطاقة العاديتين، وفي النهاية مكَّن الثابت الكوني من أن تكون له الهيمنة. كما تذكر فإن الثابت الكوني لا يقل مع مرور الوقت؛ إذ إن الجاذبية المضادة التي يسببها الثابت الكوني ما هي إلا سمة جوهرية من سمات الفضاء؛ فكل سنتيمتر مكعب من الفضاء يسهم بالدفعة نفسها إلى الخارج، والتي تمليها قيمة الثابت الكوني. ومن ثم فكلما زاد حجم الفضاء بين جسمين، تلك الزيادة الناجمة عن تمدد الكون، صارت القوة التي تباعد بينهما أقوى وأقوى. وحين بلغ الكون من العمر سبعة مليارات عام صارت الجاذبية المضادة للثابت الكوني صاحبة اليد العليا، ومن ثم فقد تسارع تمدد الكون منذئذٍ على النحو المبين في الشكل 6-2.

سوف أعبر عن قيمة الثابت الكوني بالوحدات التي يستخدمها الفيزيائيون عادة، وذلك كي تكون أيسر استيعابا. فمثلما يكون من العجيب أن تطلب من البقال 10^{15} بيكوجراماً من البطاطس (وبدلاً من ذَلكَ تطلب كيلوجراماً واحداً، وهو المقدار عينه لكن مُعبَّر عنه بوحدات أقرب إلى الأذهان)، أو تخبر صديقتك التي تنتظرك أنك ستصل بعد 10^{9} نانوثانية (وبدلاً من ذلك تقول ثانية واحدة، وهو المقدار عينه لكن مُعبَّر عنه بوحدات أقرب إلى الأذهان)، من الغريب بالمثل أن يعبر الفيزيائي عن طاقة الثابت الكوني بالجرام لكل سنتيمتر مكعب. وبدلاً من ذلك، ولأسباب ستتضح عما قليل، يتمثل الخيار الطبيعي في التعبير عن قيمة الثابت الكوني على شكل مضاعفات لكتلة بلانك (البالغة نحو 10^{-5} جرام) لكل طول بلانك مكعب (وهو مكعب يبلغ طول كل ضلع من أضلاعه 10^{-33}سنتيمتراً، ويبلغ حجمه الكلي 10^{-99} سنتيمتراً مكعباً). وباستخدام هذه الوحدات تبلغ القيمة المقيسة للثابت الكوني نحو 10^{-123}، وهو الرقم الضئيل عينه الذي افتتحنا به هذا الفصل[89].

إلى أي مدى نحن واثقون في هذه النتيجة؟ إن البيانات التي تؤكد وجود التمدد المتسارع صارت حاسمة في السنوات التي تلت إجراء القياسات الأولى وحسب. علاوة على هذا فإن القياسات المُكَملة (التي تركز،

مثلاً، على سمات تفصيلية لإشعاع الخلفية الميكروني الكوني، انظر الفصل الرابع عشر من كتاب «نسيج الكون») تتفق على نحو تام مع النتائج المأخوذة من المستعرات العظمى. وإذا كانت ثمة مساحة للمناورة، فهى تكمن في التفسير الذي نتقبله للتمدد المتسارع. وبأخذ النسبية العامة بوصفها التوصيف الرياضي للجاذبية، فإن الخيار الوحيد حقًّا هو الجاذبية المضادة للثابت الكوني. تظهر تفسيرات أخرى لو عدلنا الصورة عن طريق تضمين مجالات كمية عجيبة أخرى (والتي، كما رأينا في علم الكونيات التضخمي، بوسعها أن تتخذ لبعض الوقت مظهر الثابت الكوني)[90]، أو تغيير معادلات النسبية العامة (بحيث تقل شدة قوة الجاذبية على نحو انخفاضًا حادًّا يفوق ذَلكَ الذي تنص عليه الحسابات الرياضية لنيوتن أو آينشتاين، وبهذا تتيح ابتعاد المناطق النائية بسرعة أكبر، من دون الحاجة إلى جود ثابت كوني). لكن إلى الآن، فإن أبسط التفسيرات وأكثرها إقناعًا للمشاهدات الخاصة بالتمدد المتسارع هي أن الثابت الكوني موجود على الدوام، وأن الفضاء مليء بطاقة مظلمة.

في نظر كثير من الباحثين يُعد اكتشاف الثابت الكوني غير الصفري أهم النتائج الرصدية التي ظهرت في حياتهم.

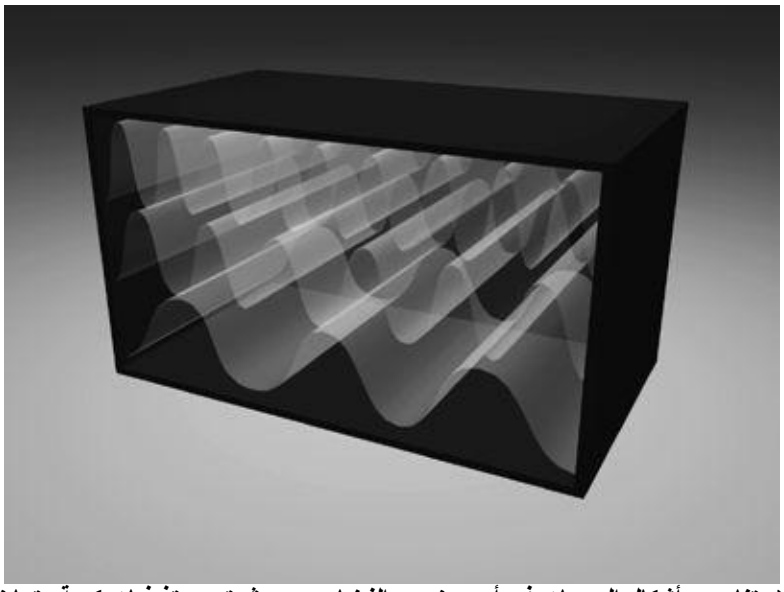
حين علمتُ للمرة الأولى بشأن نتائج دراسات المستعرات العظمى، تلك النتائج التي تقترح وجود ثابت كوني غير صفري، كان رد فعلي لا يختلف عن رد فعل كثيرٍ من الفيزيائيين؛ إذ قلت: «هذا مستحيل». فقد خلص معظم الباحثين النظريين (لكن ليس كلهم) منذ عقودٍ خلت إلى أن قيمة الثابت الكوني تساوي صفرًا. وقد نبع هذا الرأي بالأساس من الإلمام بـ «خطأ آينشتاين الأكبر»، لكن مع الوقت ظهرت أدلة عديدة داعمة. وقدْ جاء أقوى هذه الأدلة من اعتبارات عدم اليقين الكمي.

بسبب عدم اليقين الكمي والتذبذبات المصاحبة التي تستشعرها المجالات الكمية كافة، حتى الفضاء الخاوي يكون عامرًا بنشاط محموم على المستوى فائق الصغر. فمثل الذرات التي تتقافز داخل صندوق أو الأطفال الذين يتقافزون في ساحة اللعب، فإن التذبذبات الكمية تحمل طاقة. لكن خلافاً للذرات والأطفال فإن التذبذبات موجودة في كل مكان وحتمية الحدوث. فليس بوسعك أن تقول إن منطقة ما من الفضاء مغلقة وتمنع حدوث التذبذات الكمية بها، فالطاقة التي تتسبب فيها التذبذبات الكمية تملأ الفضاء ومن المستحيل التخلص منها. وبما أن الثابت الكوني ما هو إلا طاقة تتخلل الفضاء، توفر التذبذبات الكمية آلية فائقة الصغر لتوليد الثابت الكوني. هذه فكرة محورية. فكما تذكر حين طرح آينشتاين فكرة الثابت الكوني، فإنه فعل هذا على نحو مجرد؛ إذ لم يحدد ما يمكن أن يكون عليه هذا الثابت، أو الموضع الذي يأتي منه، أو الكيفية التي ينشأ بها. إن ارتباط الثابت الكوني بالتذبذبات الكمية يجعله حتميًّا، بحيث إنه حتى لو لم يكن آينشتاين قد توصل إليه، فمن المؤكد أن شخصًا آخر كان سيفعل ذلك. فبمجرد أخذ ميكانيكا الكم في الاعتبار، من الحتمي أن تجد نفسك بصدد طاقة موزعة تتسبب بها مجالات منتشرة على نحو متجانس في أنحاء الفضاء، ومن ثم سيقودك هذا مباشرة إلى فكرة الثابت الكوني.

هذا من شأنه أن يثير سؤالاً عدديًّا. فما مقدار الطاقة التي تحتوي عليها هذه التذبذبات الكمية الموجودة في كل مكان؟ حين حسب الباحثون النظريون الإجابة، حصلوا على نتيجة عبثية: فمن المفترض أن يوجد مقدار لا نهائي من الطاقة في كل حيز من الفضاء. ولمعرفة السبب، فكر في مجال يتذبذب داخل صندوق مغلق من أي حجم. يوضح الشكل6-3 بعض الصور التي يمكن أن تتخذها التذبذبات. يسهم كلٌّ من هذه التذبذبات في محتوى طاقة المجال (في الواقع، كلما كان الطول الموجي أقصر، كان التذبذب أسرع، ومن ثم كانت الطاقة أكبر). وبما أنه يوجد عدد لا نهائي من الصور الممكنة للموجات، كل منها أقصر في الطول الموجي من سابقتها، تكون الطاقة الإجمالية التي تحتوي عليها التذبذبات لا نهائية[91].

من الواضح أن هذه النتيجة غير مقبولة، لكنها لم تسبب صدمة كبيرة للباحثين لأنهم نظروا إليها باعتبارها عَرَضًا لمشكلة أخرى أكبر ومعروفة جيداً ناقشناها من قبل، وهي التعارض بين الجاذبية و ميكانيكا الكم. فالكل يعلم أنه لا يمكن الوثوق بنظرية المجال الكمي على نطاقات المسافة فائقة الصغر. والتذبذبات ذات الأطوال الموجية القصيرة التي تعادل طول بلانك، 10^{-33} سنتيمترًا، أو أقل من ذَلكَ تتمتع بطاقة كبيرة للغاية (ومن واقع المعادلة $E=mc^2$ كتلة كبيرة بالمثل) لدرجة أن قوة الجاذبية يصير لها دور. ويتطلب وصف هذه النطاقات الصغيرة بدقة وجود إطار يجمع بين ميكانيكا الكم والنسبية العامة. على المستوى المفاهيمي، هذا من شأنه أن ينقل النقاش إلى نظرية الأوتار، أو أي نظرية كمية أخرى مقترحة تتضمن الجاذبية. لكن رد الفعل الفوري والعملي لكثير من الباحثين تمثل في التصريح بأن الحسابات الرياضية ينبغي أن تتغاضى عن التذبذبات على المستويات التي تقل عن طول بلانك. ومن شأن إغفال هذا التغاضي أن يتسبب في امتداد حسابات نظرية المجال الكمي إلى نطاق يتسبب في عدم

صلاحيتها. وكان من المتوقع أننا سنتمكن ذات يوم من فهم نظرية الأوتار أن الجاذبية الكمية بما يكفي بحيث نستطيع التعامل مع التذبذبات فائقة الصغر كميًّا، لكن كان البديل المؤقت هو أن نعزل رياضيًّا مواضع التقلب الأشد ضررًا. إن فحوى هذه التعليمات واضح: لو أنك تجاهلت التذبذبات التي تقع على نطاق يقل عن طول بلانك، سيتبقى لديك عدد متناهٍ منها، وبذا فإن الطاقة الإجمالية التي تسهم بها في أي منطقة من الفضاء ستكون متناهية بالمثل.



شكل3-6 : يوجد عدد لا متناهٍ من أشكال الموجات في أي حيز من الفضاء، ومن ثم توجد تذبذبات كمية متمايزة لا متناهية. يؤدي هذا إلى معضلة عويصة تتعلق بوجود إسهام لا متناهٍ من الطاقة.

هذا نوع من التقدم. أو على الأقل ينقل هذا العبء ليقع على عاتق الرؤى المستقبلية التي من شأنها، كما نأمل، أن تروض التقلبات الكمية ذات الأطوال الموجية فائقة الصغر. لكن رغم هذا فقد وجد الباحثون أن النتيجة التي حصلوا عليها في ما يخص تذبذبات الطاقة فائقة الصخامة، رغم كونها متناهية، إذ تبلغ نحو 10^{94} جراما لكل سنتيمتر مكعب. هذا أكبر بكثير مما تحصل عليه من جراء ضغط جميع النجوم المعروفة في كل المجرات المعروفة داخل كشتبان. وبالتركيز على مكعب شديد الصغر، يساوي طول كل ضلع من أضلاعه طول بلانك، فإن هذه الكثافة الهائلة تساوي 10^{-5} جرام لكل طول بلانك مكعب، أو كتلة بلانك واحدة لكل حيز بحجم بلانك (ولهذا السبب فإن هذه الوحدات هي الاختيار الطبيعي والمعقول، شأنها شأن الكيلو في حالة البطاطس والثانية لزمن الانتظار). ومن شأن ثابت كوني بهذه الضخامة أن يتسبب في دفعة سريعة للغاية نحو الخارج لدرجة أن كل شيء، من المجرات إلى الذرات، سيتمزق إربًا. وعلى المستوى الكمي، أكدت المشاهدات الفلكية وجود قيد شديد على الحجم الذي يمكن للثابت الكوني أن يكون عليه، فإذا كان هناك وجود لهذا القيد، لتجاوزت كل النتائج النظرية القيد الموضوع بمعامل هائل يبلغ مئات القيم الأسية. ورغم أن وجود رقم ضخم متناهي للطاقة التي تملأ الفضاء أفضل من وجود رقم لا متناهي بالتأكيد، فقد أدرك الفيزيائيون وجود حاجة ماسة لاختزال نتائج حساباتهم بشدة.

إليك الكيفية التي تجلى فيها التحامل النظري في أوضح صوره. افترض للحظة أن الثابت الكوني ليس صغيرًا، بل إنه يساوي صفرا. إن الصفر عدد مفضَّل لدى الباحثين النظريين لأنه توجد طريقة مجربة وصحيحة يظهر بها من بين ثنايا الحسابات: التناظر. على سبيل المثال، تخيل أن آرشي التحق بأحد فصول التعليم المستمر وأن لديه فرض دراسي يحتم عليه أن يجمع حاصل كل عدد من الأعداد العشرة الأولى وهو مرفوع إلى القوة الثالثة والستين، 63_1، 63_2، 63_3، 63_4، 63_5، 63_6، 63_7، 63_8، 63_9، 63_{10}، وبعد ذلك يضيف إلى الناتج حاصل جمع كل عدد من الأعداد العشرة السالبة الأولى وهو

مرفوع إلى القوة الثالثة والستين، $63^{(-1)}$ ، $63^{(-2)}$، $63^{(-3)}$، $63^{(-4)}$، $63^{(-5)}$، $63^{(-6)}$، $63^{(-7)}$، $63^{(-8)}$ $63^{(-9)}$، $63^{(-10)}$. ما المجموع الإجمالي؟ بينما يغرق آرشي في الحسابات، ويشعر بإحباط متزايد جراء ضرب وجمع أعداد تزيد عن ستين رقمًا، تقول إديث: «فلتستخدم التناظر يا آرشي.» «ماذا؟» ما تعنيه إديث هو أن لكل عدد في المجموعة الأولى عددًا مناظرًا في الثانية: فحاصل جمع 63^1 و$63^{(-1)}$ هو صفر (فالعدد السالب المرفوع لأي قوة يظل عددًا سالبًا)، وحاصل جمع 63^2 و$63^{(-2)}$ هو صفر أيضًا، وهكذا دواليك.

فالتناظر بين كل تعبيرين يؤدي إلى إلغاء تام لكليهما، كما لو كانا طفلين لهما الوزن نفسه ويجلسان على طرفي أرجوحة. ومن دون الحاجة إلى إجراء أي حسابات توضح إديث أن المحصلة النهائية صفر.

كانَ فيزيائيون عديدون يؤمنون - أو بالأحرى يأملون - أن من شأن عملية إلغاء مماثلة ناتجة عن تناظر غير معلوم بعد في قوانين الفيزياء ان تؤدي إلى إنقاذ عملية حساب الطاقة التي تحتوي عليها التذبذبات الكمية. وقد خمن الفيزيائيون أننا بمجرد فهم التفاصيل الفيزيائية جيدًا سنجد أن الطاقات الهائلة الناتجة عن التذبذبات الكمية من شأنها أن تُلغي في مواجهة إسهامات ضخمة موازِنة غير محددة بعد. كانت هذه هي الاستراتيجية الوحيدة تقريبًا التي خرج بها الفيزيائيون في محاولة لتخفيف النتائج الجامحة للحسابات التقريبية. ولهذا السبب فقد خلص فيزيائيون عدة إلى أن الثابت الكوني لا بد أن يساوي صفرًا.

يقدم التناظر الفائق مثالا ملموسا على الكيفية التي يمكن بها تحقيق ذَلكَ. كما تذكر من الفصل الرابع (الجدول 4-1) فإن التناظر الفائق يستتبع عملية مزاوجة بين أنواع الجسيمات، ومن ثم بين أنواع المجالات: فالإلكترونات (electrons) تقترن بنوع من الجسيمات يسمى إلكترونات التناظر الفائق، أو السيليكترونات (selectrons) اختصارًا والكواركات (quarks) تقترن بالسكواركات (squarks)، والنيوترينوات (neutrinos) تقترن بالسنيوترينوات (sneutrinos)، وهكذا. هذه الأنواع من «الجسيمات» جميعها افتراضية حاليًّا، لكن ربما تغير النتائج التي ستُجرى في السنوات القليلة القادمة في مصادم الهدرونات الكبير ذلك. على أي حال، ظهرت للنور حقيقة مثيرة للاهتمام حين درس الباحثون النظريون رياضيًّا التذبذبات المصاحبة لكل زوج من المجالات المقترنة هذه؛ إذ وجدوا أن في مقابل كل تذبذب للمجال الأول، يوجد تذبذب مكافي لشريكه الذي له الحجم نفسه لكن عكس الشحنة، تمامًا كما في حالة فرض آرشي المدرسي. وتمامًا كما في ذلك المثال، عندَ جمع هذه الإسهامات معًا، زوجًا بزوج، فإنها تُلغي بعضها تمامًا، بحيث تكون المحصلة النهائية صفرًا[92].

لكن تكمن المعضلة، وهي معضلة عويصة بحق، في أن الإلغاء الكامل لا يحدث إلا إذا كان لزوجي الجسيمات الشحنة الكهربية والنووية عينها (وهو ما يحدث بالفعل)، وكذلك الكتلة عينها. وقد أثبتت البيانات التجريبية أن هذا لا يحدث. فحتى إذا كانت الطبيعة تستفيد من التناظر الفائق، فإن البيانات التي لدينا توضح أن من المستحيل تحقيقه في أشد صوره فاعلية. فالجسيمات التي لم تُكتَشَف بعد (السيليكترونات والسكواركات والسنيوترينوات وما شابهها) لا بد أن تكون أثقل كثيرًا من نظيرتها المعروفة؛ وهذا وحده يمكن أن يفسر سبب عدم عثورنا عليها في تجارب المعجلات. فعند وضع كتل مختلفة للجسيمات في الاعتبار، يضطرب التناظر، ويختل التوازن، ولا تصير الإلغاءات كاملة، ومجددًا تكون النتيجة ضخمة.

على مر السنين قُدمَت مُقترحات شبيهة، قائمة على طيف من مبادئ التناظر وآليات الإلغاء المشابهة، لكنّ لم يحقق أي منها الهدف المنشود وهو أن نثبت نظريًّا أن الثابت الكوني ينبغي أن يتلاشى. ورغم هذا فإن أغلب الباحثين يعتبرون أن هذا علامة على فهمنا القاصر للفيزياء لا أكثر، وليس أنه دليل على أن

اعتقادنا بالثابت الكوني الصفري اعتقاد مضلل.

من الفيزيائيين الذين تحدوا هذا الرأي التقليدي ستيفن وايتبرج الفائز بجائزة نوبل[93]. ففي ورقة بحثية نُشرَت عام 1987، قبل أكثر من عقد على القياسات الثورية للمستعرات العظمى، اقترح واينبرج نموذجًا نظريًّا بديلًا تمخَّض عن نتيجة مختلفة: ثابت كوني صغير لكنه غير صفري. وقد بُنيت حسابات واينبرج على أحد أكثر المفاهيم إثارة للجدل في مجتمع الفيزياء على مدار عقود؛ على مبدأ يبجله البعض ويحط من قدره البعض الآخر، مبدأ يراه البعض عميقًا في ما يراه آخرون سخيفًا. والاسم الرسمي، لكن المضلل، لهذا المبدأ هو «المبدأ الإنساني».

المبدأ الإنساني الكوني

يُعرَف النموذج شمسي المركز الذي وضعه نيكولاس كوبرنيكوس للمجموعة الشمسية بأنه البرهان العلمي الأول المُقنع على أننا نحن البشر لسنا محور تركيز الكون. وقد عززت الاكتشافات الحديث هذا الدرس بقوة؛ إذ بتنا ندرك الآن أن النتيجة التي توصل إليها كوبرنيكوس ليست إلا واحدة ضمن سلسلة من الانتكاسات التي حلَّت بمرتبة البشر وأطاحت بالمعتقد القديم القائل بأن للبشر مكانة خاصة: فنحن لسنا في مركز المجموعة الشمسية، ولسنا في مركز المجرة، ولسنا في مركز الكون، بل إننا لسنا مصنوعين من المادة المظلمة التي يتألف منها السواد الأعظم من كتلة الكون. وهذا الحط البالغ لمكانة البشر يجسد ما يطلق عليه العلماء الآن اسم المبدأ الكوبرنيكي: فعلى أوسع النطاقات، يشير كل ما نعرفه إلى أن البشر لا يشغلون موقعًا مميزًا داخل الكون.

بعد نحو خمسمائة عام من أعمال كوبرنيكوس، وفي مؤتمر تذكاري عُقد في كراكوف، قدمت إحدى الكلمات التي أُلقيت - من جانب الفيزيائي الأسترالي براندون كارتر - نسخة مثيرة للاهتمام من المبدأ الكوبرنيكي. فقد عبر كارتر عن إيمانه بأن المبالغة في الالتزام بالمنظور الكوبرنيكي ربما تؤدي، في بعض الأحيان، إلى إلهاء الباحثين عن فرص مهمة لتحقيق التقدم. كان كارتر يوافق على أن البشر ليسوا محور النظام الكوني، ومع ذلك فقد كان يري - بما يتفق مع أفكار مشابهة عبر عنها علماء على غرار ألفريد راسل والاس وأبراهام زيلمانوف وروبرت ديك - أن ثمة مجالًا بعينه يلعب فيه البشر على نحو مطلق دورًا لا غنى عنه: ويعني بهذا مشاهداتنا الخاصة. فبصرف النظر عما تعرض له البشرمن حط للمكانة بسبب كوبرنيكوس وتراثه، فنحن نحظى بالمكانة الأهم بفضل جمع وتحليل البيانات التي تشكل معتقداتنا. وبسبب هذا الموضع الذي لا يُضاهي، علينا أن نضع في الحسبان ما يسميه علماء الإحصاء «تحيز الاختياره».

إنها فكرة بسيطة وقابلة للتطبيق على نطاق واسع. فإذا كنت تدرس تجمعات أسماك السلمون المرقط لكنك اقتصرت على منطقة الصحراء الكبرى، فستميل بياناتك إلى التركيز على بيئة غير ملائمة للغاية لاستضافة النوع محل الدراسة. وإذا كنت تدرس اهتمام العامة بالأوبرا، لكنك لم ترسل استطلاعات الرأي إلا إلى قاعدة بيانات جمعتها صحيفة «لا نستطيع العيش من دون الأوبرا»، فلن تكون النتائج التي تتوصل إليها دقيقة لأن العينة المختارة لا تمثل عامة السكان ككل. وإذا كنت تُجري مقابلات مع مجموعة من اللاجئين الذين خاضوا ظروفًا شديدة القسوة خلال رحلتهم إلى الأمان، فربما تخلص إلى أنهم من أقوى الأعراق على سطح الكوكب. ومع ذَلكَ فعندما تدرك الحقيقة المريعة المتمثلة في أنك تتحدث مع أقل من 1 بالمائة ممن بدءوا الرحلة، ستدرك أن ذَلكَ الاستنتاج منحاز لأن الأقوياء للغاية وحدهم هم مَن ظلوا أحياء بعد الرحلة.

إن التغلب على هذه التحيزات أمر مهم من أجل الحصول على نتائج ذات معنى وتجنب البحث العقيم عن تفسير للنتائج استنادًا إلى بيانات غير تمثيلية. لماذا تنقرض أسماك السلمون المرقط؟ ما الذي سبب الاهتمام المفاجئ لدى العامة بالأوبرا؟ لماذا تتمتع مجموعة عرقية بعينها بقوة احتمال شديدة؟ من الممكن أن تدفعك المشاهدات المتحيزة إلى خوض رحلات بحث عديمة المعنى بغية تفسير أشياء إذا ألقيت نظرة أوسع وأكثر تمثيلًا ستجد أنها لا تستحق الاهتمام.

في أغلب الحالات من السهل تمييز حالات التحيز هذه وتصويبها. لكن ثمة مجموعة من التحيزات أضعف في رصدها، مجموعة أساسية للغاية لدرجة أن من الصعب التغاضي عنها. وفي هذه المجموعة فإن القيود المفروضة على متى وأين نستطيع العيش يمكن أن يكون لها تأثير عميق على ما نستطيع

رؤيته. وإذا فشلنا في ملاحظة تأثير هذه القيود الأساسية على مشاهداتنا فوقتئذٍ من الممكن، كما في المثال الوارد أعلاه، أن نخلص إلى نتائج مغلوطة بشدة، قد يدفعنا بعضها إلى خوض رحلات عقيمة في محاولة تفسير أمور غير ذات أهمية.

على سبيل المثال، تخيل أنك عازم على فهم سبب وقوع الأرض على مسافة 93 مليون ميل من الشمس (وهو الأمر الذي شغل بال العالم العظيم يوهانز كبلر). أنت تريد أن تعثر، في أعماق قوانين الفيزياء، على شيء يفسر هذه الحقيقة الرصدية. ومن ثم فإنك تكافح على مدار سنوات لكن تعجز عن صياغة تفسير مقنع. هل ينبغي عليك مواصلة المحاولة؟ حسنًا، لو فكرت في ما تبذله من جهود، واضعًا في الاعتبار تحيز الاختيار، فستدرك سريعًا أنه لا طائل من هذه المحاولة.

إن قوانين الفيزياء، قوانين نيوتن و آينشتاين كذلك، تتيح لأي كوكب الدوران حول أحد النجوم على أي مسافة. فإذا أمكنك أن تمسك بكوكب الأرض، وتبعده عن الشمس بحيث يظل قادرًا على الدوران حولها، ثمّ شرعت في تحريكه بالسرعة المناسبة (وهي سرعة من اليسير حسابها بقوانين الفيزياء الأساسية)، فسيدور حول الشمس بلا مشكلة. إن الأمر الوحيد المميز في مسافة إلى 93 ميلًا هي أنها تتسبَّب في وجود نطاق درجات حرارة أدى إلى وجودنا على سطحها. فإذا كانت الأرض أقرب كثيرًا من الشمس أو أبعد كثيرًا عنها، كانت درجة الحرارة ستصير أعلى أو أقل كثيرًا، وهو ما يزيل أحد المقومات الأساسية لشكل الحياة الخاص بنا: الماء السائل. يكشف هذا عن التحيز الكامن. إن حقيقة أننا نقيس المسافة بين كوكبنا والشمس تحتم في حد ذاتها أن تكون النتيجة التي نتوصل إليها واقعة داخل النطاق المحدود المتفق مع وجودنا. ولو لم يكن الأمر كذلك فلن يكون لنا وجود كي نتدبر المسافة التي تفصل الأرض عن الشمس.

لو كانت الأرض هي الكوكب الوحيد في المجموعة الشمسية، أو لو كانت الكوكب الوحيد في الكون، فربما تشعر بالدافع إلى إجراء مزيد من الحسابات. قد تقول: نعم، أدرك أن وجودي ذاته مرتبط بالمسافة التي تبعدها الأرض عن الشمس، ومع ذلك فإن هذا يزيد حماسي نحو تفسير سبب تصادف وقوع الأرض في هذا الموقع الدافي الملائم لاستضافة الحياة. فهل الأمر محض مصادفة سعيدة؟ أم أن هناك تفسيرًا أعمق؟

غير أن الأرض ليست الكوكب الوحيد في الكون، ولا في المجموعة الشمسية. فهناك كواكب عديدة، وهذه الحقيقة تلقي ضوءًا مختلفا على السؤال. وكي تدرك ما أعني، تخيل أنك تظن مُخطئًا أن متجر أحذية ما لا يحوي إلا مقاسًا واحدًا للأحذية، وتُفاجأ حين يحضر لك البائع زوجًا من الأحذية يناسب قدميك تمامًا. تفكر: «من بين كل مقاسات الأحذية الممكنة، من المذهل أن المقاس الوحيد الذي يبيعونه هو مقاسي. فهل الأمر محض مصادفة سعيدة؟ أم أن هناك تفسيرًا أعمق؟» لكن حين تعلم أن المتجر في الواقع يحوي نطاقًا عريضًا من المقاسات، لا يصير للسؤال معنى. يطرح الكون الذي يحوي كواكب عديدة، تقع على مسافات متفاوتة من شموسها، موقفًا مماثلًا. وتمامًا مثلما لا توجد مفاجأة كبيرة في عثورك على زوج مناسب واحد على الأقل من الأحذية في المتجر، لا توجد بالمثل مفاجأة كبيرة في أن نجد بين جميع كواكب المجموعات الشمسية في كل المجرات كوكبًا واحدًا على الأقل يبعد مسافة مناسبة عن شمسه بحيث تكون الظروف المناخية عليه ملائمة لشكل الحياة الخاص بنا. بالطبع نحن نعيش على أحد هذه الكواكب؛ فما كان لنا أن نتطور أو نبقى أحياء على أسطح الكواكب الأخرى.

لا يوجد إذًا سبب جوهري وراء وقوع الأرض على مسافة 93 مليون ميل من الشمس. إن المسافة التي يبعدها مدار أي كوكب عن شمسة ناتجة عن مجموعة متقلبة من المصادفات التاريخية، والسمات التفصيلية العديدة الخاصة بسحابة الغاز الدوارة التي تألفت منها المجموعة الشمسية، فهذا واقع عرضي

ليس له أي تفسير جوهري. وفي الواقع، تسببت هذه العمليات الفيزيائية الفلكية في إنتاج كواكب في كل أنحاء الكون، تدور حول شموسها على مسافات متنوعة. ولقد وجدنا نفسنا على سطح كوكب يبعد 93 مليون ميل عن شمسنا لأن هذا هو الكوكب الذي يمكن لنوع الحياة الخاص بنا أن يتطور عليه. ولو لم نأخذ تحيز الاختيار ذلك في الحسبان سنجد أنفسنا مدفوعين إلى البحث عن إجابة أعمق. لكن من المستحيل العثور على إجابة كهذه.

شددت ورقة كارتر البحثية على أهمية الانتباه لمثل هذا التحيز، وقد أطلق كارتر على هذا المفهوم اسم المبدأ الإنساني (وهي تسمية غير موفقة؛ لأن الفكرة تنطبق على نحو متساوي على أي شكل من أشكال الحياة الذكية يُجري مشاهدات ويحللها، وليس على البشر وحسب). لم يعترض أحد على هذا الجانب من حجة كارتر. أما الجزء المثير للجدل فقد تمثل في اقتراحه القائل بأن المبدأ الإنساني ربما لا ينطبق على الأشياء داخل الكون وحسب، كالمسافات بين الكواكب، وإنما على الكون نفسه.

ما الذي يعنيه هذا؟

تخيل أنك تتفكر في إحدى السمات الجوهرية للكون، مثل كتلة الإلكترون البالغة 0.00054 ويُعَبَّر عنها بأجزاء من كتلة البروتون)، أو شدة القوة الكهرومغناطيسية البالغة 0.0073(ويُعَبَّر عنها بواسطة ثابت الاقتران الخاص بها)، أو قيمة الثابت الكوني البالغة 1.83×10^{-123} (ويُعَبَّر عنها بوحدات بلانك)، وه هو ما يهمنا في هذا المقام. أنت تسعى إلى معرفة سبب امتلاك هذه الثوابت تلك القيم المحددة التي تمتلكها. وأنت تحاول وتحاول لكن من دون جدوى. يقول كارتر إن عليك أن تتريث قليلًا. فربما يرجع سبب فشلك إلى السبب نفسه لفشلك في تفسير المسافة بين الأرض والشمس: أنه لا يوجد تفسير جوهري من الأساس. فمثلما توجد كواكب عديدة على مسافات متباينة من الشمس، وأننا نسكن بالضرورة كوكبًا يوفر مداره ظروفًا ملائمة للحياة، ربما توجد أكوان عديدة بها قيم عديدة متباينة لهذه «الثوابت» وأننا بالضرورة نسكن كونًا تتوافق فيه القيم مع ظروف بقائنا.

وفق طريقة التفكير هذه، يُعد التساؤل حول سبب امتلاك الثوابت هذه القيم المحددة هو السؤال الخاطئ. فلا يوجد قانون يُملي هذه القيم، ومن الممكن أن تتباين هذه القيم داخل الكون المتعدد، وهو ما يحدث بالفعل. إن تحيز الاختيار لدينا يضمن لنا أن نجد أنفسنا في ذلك الكون من الكون المتعدد الذي تمتلك فيه الثوابت القيم التي نألفها وذلك ببساطة لأننا ما كنا لنوجد من الأساس في أجزاء الكون المتعدد الذي تكون فيها قيم الثوابت مختلفة.

لاحظ أن هذا المنطق سيتداعى لو كان كوننا متفردًا؛ لأنك حينذاك سيحق لك التساؤل عن سبب هذه «المصادفات السعيدة» أو تسعى إلى معرفة «التفسير الأعمق». فكما أن التفسير المُرضي لاحتواء المتجر على حذاء له مقاسك نفسه يتطلب أن تكون الأرفف عامرة بمقاسات مختلفة، والتفسير المُرضي لوجود كوكب على مسافة داعمة للحياة من شمسه يتطلب أن تدور الكواكب على مسافات متباينة عديدة من شموسها، فإن التفسير المُرضي لثوابت الطبيعة يتطلب وجود وفرة من الأكوان التي تمتلك قيمًا عديدة مختلفة لتلك الثوابت. فقط في هذا الوضع - وجود كون متعدد، بل كون متعدد نشط كذلك - يمتلك المنطق الإنساني القدرة على جعل الأمر الغامض يسير الاستيعاب[94].

من الواضح، إذًا، أن درجة اقتناعك بالمبدأ الإنساني تعتمد على درجة اقتناعك بالافتراضات الثلاثة الأساسية التي يقوم عليها وهي: (1) أن كوننا جزء من كون متعدد أكبر، (2) ما بين كل كون وآخر ثمة طيف عريض من القيم المحتملة للثوابت، (3) في حالة الغالبية العظمى من قيم الثوابت التي تختلف عن تلك التي نقيسها لدينا، يستحيل وجود الحياة على الصورة التي نعرفها.

في سبعينيات القرن العشرين، حين طرح كارتر هذه الأفكار، كانت فكرة الأكوان الموازية مكروهة لدى غالبية الفيزيائيين. بالتأكيد لا تزال توجد أسباب وفيرة للتشكك. غير أننا رأينا في الفصول السابقة أنه رغم استحالة تحديد أي نسخة بعينها من الكون المتعدد فثمة سبب لمنح هذه النظرة الجديدة للواقع قدرًا من التدبر الجدي، وذلك السبب هو الاقتراض الأول، الذي يقبله كثير من العلماء الآن. أما بشأن الافتراض الثاني فقد رأينا في حالة الكون المتعدد التضخمي والكون المتعدد الغشائي، مثلًا، أننا نتوقع بالفعل أن تتباين السمات الفيزيائية، على غرار ثوابت الطبيعة، من كون إلى آخر. وفي موضع لاحق من هذا الفصل سنتناول هذه النقطة بمزيد من التركيز.

لكن ماذا عن الافتراض الثالث، المتعلق بالحياة والثوابت؟

في غالبية ثوابت الطبيعة، من شأن أبسط التغييرات أن تجعل الحياة كما نعرفها مستحيلة. فإذا كانَ ثابت الجاذبية أكبر مما هو عليه، ستحترق النجوم بسرعة شديدة لا تتيح للحياة على الكواكب القريبة الفرصة لكي تتطور. وإذا كانَ أضعف مما هو عليه فلن تتماسك المجرات معًا. وإذا كانت القوى الكهرومغناطيسية أكبر مما هي عليه فستتنافر ذرات الهيدروجين بقوة أكبر بحيث يستحيل اندماجها معًا كي تمد النجوم بالوقود[95]. لكن ماذا عن الثابت الكوني؟ هل يعتمد وجود الحياة على قيمته؟ هذه هي القضية التي تناولها ستيفن و اينبرج في ورقته عام 1987.

ونظرا لأن تشكُّل الحياة عملية معقدة لا يزال فهمنا له في مراحله المبكرة، أدرك واينبرج أن من العبث محاولة تحديد الكيفية التي يمكن بها لقيمة أو أخرى للثابت الكوني أن تؤثر على الخطوات العديدة التي تدب من خلالها الحياة في المادة. لكن بدلًا من أن ييأس واينبرج، فقد استحدث بديلًا بارعًا لتشكُّل الحياة، وهو تشكُّل المجرات. فقد رأي واينبرج أن من دون المجرات، ستتعرض عملية تشكُّل النجوم والكواكب للخطر، وسيكون لهذا تأثير مدمر على فرص ظهور الحياة. لم يكن هذا النهج منطقيًّا بالكامل وحسب وإنما كان مفيدًا كذلك : إذ حول التركيز نحو تحديد التأثير الذي ستخلفه الثوابت الكونية متباينة الحجم على عملية تشكُّل المجرات، وهذه مشكلة يستطيع واينبرج حلها.

التفاصيل الفيزيائية الأساسية بسيطة. ورغم أن التفاصيل الدقيقة لعملية تشكُّل المجرات محل نشاط بحثي مكثف، فإن الخطوط العامة تتضمن وجود تأثير فيزيائي فلكي أشبه بتأثير كرة الثلج. فتتكون كتلة من المادة هنا أو هناك، وبفضل كونها أكثر كثافة من بيئتها المحيطة فإنها تمارس قدرًا أكبر من قوة الجذب على المادة القريبة منها، ومن ثم ينمو حجمها. تواصل العملية التغذي على ذاتها إلى أن تنتج في النهاية كتلة دوامة من الغاز والغبار، تتكون منها النجوم والمجرات. تمثل إدراك واينبرج في أن الثابت الكوني إذا ارتفع فوق حد معين فمن شأنه أن يتسبب في الإخلال بعملية تراكم المادة. ومن شأن الجاذبية الطاردة التي يولدها الثابت الكوني، لو كان كبيرًا بما يكفي، أن تخل بعملية تشكُّل المجرات عن طريق جعل كتل المادة الأولية - التي كانت صغيرة وهشة - تنفع مبتعدة عن بعضها قبل أن يتاح لها الوقت الكافي لأن تصير قوية بقدرٍ يتيح لها أن تجتذب المادة المحيطة.

تناول واينبرج الفكرة من المنظور الرياضي ووجد أنه لو زاد الثابت الكوني بأكثر من بضع مئات المرات عن الكثافة الحالية للمادة، أي بضعة بروتونات لكل سنتيمتر مكعب، فسيتسبب في الإخلال بعملية تشكُّل المجرات. (أيضًا تناول واينبرج تأثير الثابت الكوني السالب. القيود في هذه الحالة أشد، لأن القيمة السالبة تزيد من قوة الجاذبية وتجعل الكون كله ينهار قبل أن يتاح الوقت للنجوم كي تشتعل من الأساس.)

فإذا كنت تظن أننا جزء من كون متعدد وأن قيمة الثابت الكوني تتباين على نطاق واسع من كون إلى آخر، مثلما تتباين المسافات بين الكواكب والنجوم على نطاق واسع من مجموعة شمسية إلى أخرى؛ فإن الأكوان الوحيدة التي يمكن أن تحتوي على مجرات، ومن ثم الأكوان الوحيدة التي يمكننا أن نسكنها، هي تلك التي لا تزيد فيها قيمة الثابت الكوني على الحد الذي وضعه واينبرج، والذي يعادل 10^{-121} بوحدات بلانك.

وهكذا بعد سنوات من الجهود غير المثمرة التي بذلها مجتمع الفيزياء، كانت هذه أول عملية حساب نظرية تؤدي إلى قيمة للثابت الكوني تتسم بأنها ليست أكبر على نحو عبثي من الحدود التي استنتجناها من علم الفلك الرصدي، وكذلك فإنها لا تتعارض مع الاعتقاد الذي تشاركه جمهور واسع من العلماء في وقت أبحاث واينبرج والذي يقضي بأن الثابت الكوني قد اختفى. أخذ واينبرج هذا التقدم الظاهري خطوة

أخرى إلى الأمام وذلك بأن شجع تأويلًا أكثر جموحًا للنتيجة التي توصل إليها؛ إذ اقترح أنه من المفترض بنا أن نتوقع أن نجد أنفسنا في كون تتسم قيمة ثابته الكوني بأنها صغيرة بحيث تتيح لنا أن توجد، لكنها ليست أصغر كثيرًا. فقد ذهب واينبرج إلى أن الثابت الأصغر كثيرًا من شأنه أن يحتاج إلى تفسير يتجاوز مجرد توافق هذا الثابت مع وجودنا. يعني هذا أننا سنحتاج نوعية التفسيرات ذاتها التي ظل الفيزيائيون يبحثون عنها لكن دون نجاح. وقد أدى هذا بواينبرج إلى الإشارة إلى أن من شأن القياسات الأدق أن تكشف يوماً ما عن أن الثابت الكوني لم يختفِ، وإنما تقترب قيمته من الحد الأعلى الذي قام هو بحسابه. وكما رأينا ففي غضون عقد من الزمن على نشر ورقة واينبرج، أثبتت مشاهدات مشروع المستعرات العظمى الكوني وفريق البحث عن المستعرات ذات الإزاحة العالية صحة ذَلكَ المُقترَح.

لكن من أجل تقييم هذا الإطار التفسيري غير التقليدي تقييماً وافياً، نحتاج إلى دراسة منطق واينبرج عن كثب. إن واينبرج يتصور وجود كون متعدد ممتد يحوي أكواناً متنوعة للغاية بحيث يكون من الحتمي أن يحتوي إحداها على الأقل على الثابت الكوني الذي رصدناه. لكن أي نوع من الأكوان المتعددة سيضمن حدوث ذَلكَ، أو على الأقل يجعله مرجحاً بقوة؟

للتفكير في الأمر من كل جوانبه، فكر أولاً في مشكلة مشابهة ذات أعداد أبسط. تخيل أنك تعمل لصالح المنتج السينمائي سيئ السمعة هارفي دبليو آينشتاين، الذي طلب منك اختيار الممثل الرئيسي لفيلم المستقل الجديد Pulp Friction[96]. تسأله: «كم تريد أن يكون طوله؟» يرد: «لا أدري. أطول من متر، وأقل من مترين. لكن عليك أن تحرص على أن نجد شخصاً ملائماً بالطول الذي أحدده أيًّا كان». ترغب في تصحيح حديث رئيسك، وأن تقول إن بسبب عدم اليقين الكمي ليس عليه حقًّا أن يمثل كل طول ممكن، لكن حين تتذكر ما حل بالشخص الذي حاول تصويبه من قبل تحجم عن ذَلكَ.

والآن عليك اتخاذ قرار. كم عدد الممثلين الذين ستجري لهم مقابلة الأداء؟ تفكر:

لو أن السيد دبليو قاس الطول بالسنتيمتر لدينا إذاً مائة احتمالية مختلفة بين طول المتر والمترين. لذا ستحتاج مائة ممثل على الأقل. لكن بما أن بعض الممثلين الذين سيحضرون سيكون لهم الطول نفسه، بينما بعض الأطوال لن يكون لها تمثيل، فمن الأفضل أن تجمع أكثر من مائة ممثل. وكي تكون في مأمن، ربما تتعين عليك دعوة بضع مئات من الممثلين. هذا عدد كبير، لكنه أقل من العدد المنشود لو أن المنتج قاس الأطوال بالملليمتر. ففي تلك الحالة سيوجد ألف طول مختلف بين طول المتر والمترين، لذا كي تكون في مأمن سيتعين عليك دعوة بضعة آلاف من الممثلين.

المنطق عينه ينطبق على حالة الأكوان ذات الثوابت الكونية المختلفة. فإذا افترضت أن كل الأكوان داخل الكون المتعدد لها قيم للثابت الكوني تتراوح بين صفر وواحد (بوحدات بلانك المعتادة)، ستؤدي القيم الأصغر بالأكوان إلى الانهيار، بينما ستؤدي القيم الأكبر إلى الإخلال بالمعادلات الرياضية بحيث تقوض فهمنا كله. لذا مثلما تقع أطوال الممثلين في نطاق مقداره واحد (بالمتر)، فإن الثوابت الكونية للأكوان تقع في نطاق مقداره واحد (بوحدات بلانك). أما عن الدقة، فإن المعادل لاستخدام السيد دبليو لعلامات السنتيمتر، أو الملليمتر، هو الدقة التي يمكننا بها قياس الثابت الكوني. إنّ حدود الدقة التي نمتلكها اليوم تساوي 10^{-124} (بوحدات بلانك). لا شك في أن هذه الدقة ستزيد في المستقبل، لكن كما سنرى فإن هذا يكون له تأثير يُذكر على النتائج التي توصلنا إليها. لذا فمثلما يوجد 10^{2} طول مختلف محتمل موزعة على مسافات لا تقل عن 10^{-2} متر (1 سنتيمتر) في النطاق البالغ طوله متراً واحداً، و10^{3} طول مختلف محتمل موزعة على مسافات لا تقل عن 10^{-3} متر (1 ملليمتر)، يوجد بالمثل 10^{124} قيمة مختلفة للثابت الكوني

موزعة على مسافات لا تقل عن 10^{-124} بين القيمتين صفر وواحد.

ومن أجل ضمان الوصول إلى كل ثابت كوني محتمل، ستحتاج إذاً إلى أن يحتوي الكون المتعدد على ما لا يقل عن 10^{124} كون مختلف. لكن كما في حالة الممثلين فإننا نحتاج إلى أن نضع في اعتبارنا التكرار أي الأكوان التي ربما تمتلك قيم الثابت الكوني ذاتها. ومن ثم كي نكون في أمان ونزيد احتمالية تحقق كل قيمة محتملة للثابت الكوني، ينبغي أن نمتلك كوناً متعدداً يحوي أكثر بكثير من 10^{124} كون، أكثر بمليو مرة مثلاً، وهذا يصل بنا إلى الرقم 10^{130} كون. أتحلى في تقديراتي بالجسارة لأننا حتّى لو كنا نتحدث أرقام بهذه الضخامة، فإن القيم المحددة لا تهم كثيراً. فلا يوجد مثال مألوف - لا عدد الخلايا في جسدك (10^{13})، ولا عدد الثواني المنقضية منذ الانفجار العظيم (10^{18})، ولا عدد الفوتونات الموجودة في الج القابل للرصد من الكون (10^{88}) - يقترب ولو من بعيد من عدد الأكوان الذي نتفكر فيه. خلاصة القول أ نهج واينبرج لتفسير الثابت الكوني يفلح فقط لو أننا كنا جزءاً من كون متعدد يحوي عدداً هائلاً من الأكوان المختلفة، يتحتم على ثوابتها الكونية أن تملأ نحو 10^{124} قيمة متمايزة. وفي ظل هذا العدد الكبير من الأكوان المختلفة فقط تصير هناك احتمالية قوية في أن يمتلك أحدها ثابتاً كونيًّا يتفق مع الثابت الخاص بنا.

هل توجد أطر نظرية تؤدي على نحو طبيعي إلى مثل هذه الوفرة الهائلة من الأكوان ذات الثوابت الكونية المتباينة؟[97]

تحويل نقطة الضعف إلى نقطة قوة

أجل توجد أطر كهذه، وقد تعرضنا لأحدها في الفصل السابق. فنتيجة إحصاء الصور المحتملة المختلفة للأبعاد الإضافية في نظرية الأوتار، عند تضمين التدفقات التي يمكنها المرور بينها، تبلغ نحو 10^{500}. رقم عظيم يتضاءل إلى جواره الرقم 10^{24}. وحتى إذا ضاعفت الرقم 10^{124} ببضع مئات القيم الأسية تافه القيمة إلى جوار الرقم 10^{500}. وإذا طرحت الرقم 10^{124} من الرقم 10^{500} مرة واحدة، ثم ثانية وهكذا لمليار مرة، فلن تنتقص منه شيئاً يُذكر. وستظل النتيجة قريبة للغاية من الرقم 10^{500}.

المهم في الأمر أن الثابت الكوني يتباين بالفعل من كون إلى آخر. ومثلما يحمل التدفق طاقة (إذ يمكنه تحريك الأشياء)، فإن التدفقات التي تصل بين الثقوب في أشكال كالابي-ياو تمتلك طاقة هي الأخرى، وتعتمد كمية هذه الطاقة على التفاصيل الهندسية للشكل. فإذا كان لديك شكلين مختلفين من أشكال كالابى-ياو لهما تدفقات مختلفة تخترق ثقوباً مختلفة، فإن طاقتهما ستكون في العموم مختلفة كذلك. وبما أن أي شكل من أشكال كالابي -ياو متصل بكل نقطة في الفضاء الكبير المألوف ثلاثي الأبعاد، تماماً كما تتصل حلقات الوبر الدائرية بكل نقطة من القاعدة الممتدة للبساط، فإن الطاقة التي يحويها الشكل من شأنها أن تملأ الأبعاد الثلاثة الكبيرة على نحو متجانس، تماماً مثلما يؤدي نقع الألياف المنفردة لوبر البساط إلى جعل البساط كله ثقيل بالقدر نفسه. ومن ثم، إذاً تألفت الأبعاد الإضافة المطلوبة من أحد أشكال كالابي-ياو المختلفة البالغ عددها 10^{500}، فإن الطاقة التي يحويها الشكل ستسهم في الثابت الكوني. إن النتائج التي حصل عليها رافائيل بوسو وجو بولشينسكي جعلت هذه الملحوظة تتخذ قيمًا كمية. وقدْ ذهبا إلى أن الثوابت الكونية المتعددة التي توفرها الصور المختلفة للأبعاد الإضافية البالغ عددها 10^{500} موزعة على نحو متماثل عبر نطاق عريض من القيم.

وهذا هو المطلوب بالضبط. فامتلاك 10^{500} علامة قياس موزعة عبر نطاق يتراوح بين الصفر والواحد يضمن أن كثيراً منها يقع على مقربة شديدة من قيم الثابت الكوني التي قاسها علماء الفلك خلال العقد الماضي. ربما يكون من الصعب أن نجد أمثلة واضحة من بين 10^{500} احتمال، لأنه حتى في وقتنا الحالي لو استغرقت أسرع حاسباتنا ثانية واحدة في تحليل كل صورة من صور الأبعاد الإضافية، فبعد مرور مليار عام لن تكون قد انتهت إلا من تحليل 10^{32} مثال وحسب. غير أن هذا المنطق يقترح بقوة أنها موجودة.

بطبيعة الحال فإن وجود مجموعة من 10^{500} صورة مختلفة محتملة للأبعاد الإضافية لهو بعيد كل البعد عن صورة الكون المتفرد التي تخيل أي شخص أن تأخذنا إليها أبحاث نظرية الأوتار. وبالنسبة إلى أولئك الذين تمسكوا بقوة بحلم آينشتاين المتمثل في العثور على نظرية موحدة تصف كونًا واحدًا - كوننا - فقد سببت هذه التطورات عدم ارتياح شديد. غير أن تحليل الثابت الكوني يلقي ضوءاً جديداً على الموقف. فبدلاً من أن نشعر بالقنوط بسبب عدم بزوغ كون متفرد، حريٌّ بنا أن نحتفي بالأمر: فنظرية الأوتار تجعل الجانب الأقل قبولاً في تفسير واينبرج للثابت الكوني - اشتراط وجود أكثر من 10^{124} كون مختلف - أمرًا معقولاً تمامًا.

الخطوة الأخيرة، في إيجاز

يبدو أن عناصر نظرية واعدة آخذة في التجمع معًا. لكن تظل هناك فجوة منطقية. فسماح. نظرية الأوتار بوجود عدد هائل من الأكوان المحتملة شيء، بينما الزعم بأن نظرية الأوتار تضمن أن كل الأكوان الممكنة موجودة بالفعل، على صورة عوالم موازية تملأ الكون المتعدد الشاسع، شيء مختلف. وكما شدد ليونارد سَسكيند - الذي ألهمته الأبحاث الرائدة لكل من شاميت كاشرو وريناتا كالوش وأندري لينده وساندیب تريفيدي - فإذا أدخلنا التمدد الأبدي إلى المعادلة، فمن الممكن سد هذه الفجوة[98].

سأشرح الآن هذه الخطوة الأخيرة، لكن لو كنت وصلت إلى نقطة التشبع وتريد خلاصة الموضوع، فإليك بهذه الخلاصة في عبارات ثلاث. يحتوي الكون المتعدد التضخمي - كون الجبن السويسري دائم التمدد – على عدد هائل متزايد على الدوام من الفقاعات الكونية. وتقضي الفكرة بأنه عند الجمع بين علم الكونيات التضخمي ونظرية الأوتار فإن عملية التضخم الأبدي ستؤدي إلى تناثر الصور المحتملة للأبعاد الإضافية وفق نظرية الأوتار والبالغ عددها 10^{500} في شتى أرجاء الكون - صورة واحدة للأبعاد الإضافية لكل فقاعة كونية - وهذا يوفر إطارًا كونيًّا يحقق كل الصور المحتملة. وفق هذا المنطق نحن نعيش داخل تلك الفقاعة التي تؤدي أبعادها الإضافية إلى كون، بما فيه من ثابت كوني وكل شيء، صالح لنوع الحياة الخاص بنا وتتفق خصائصه مع مشاهداتنا.

في الجزء المتبقي من هذا الفصل سأخوض في تفاصيل هذا الأمر، لكن لو كنت قد اكتفيت فبوسعك الانتقال مباشرة إلى القسم الختامي من الفصل.

المشهد الوتري

حين شرحتُ علم الكونيات التضخمي في الفصل الثالث، استخدمتُ تشبيهًا شائعًا. فقمة الجبل تمثل أعلى قيمة للطاقة التي يحتوي عليها مجال التضخم الذي يملأ الفضاء.

أما فعل التدحرج من أعلى الجبل وصولًا إلى حالة الاستقرار في نقطة منخفضة من السفح فيمثل التضخم وهو يفقد طاقته، وهي العملية التي تتحول إلى جسيمات المادة والإشعاع.

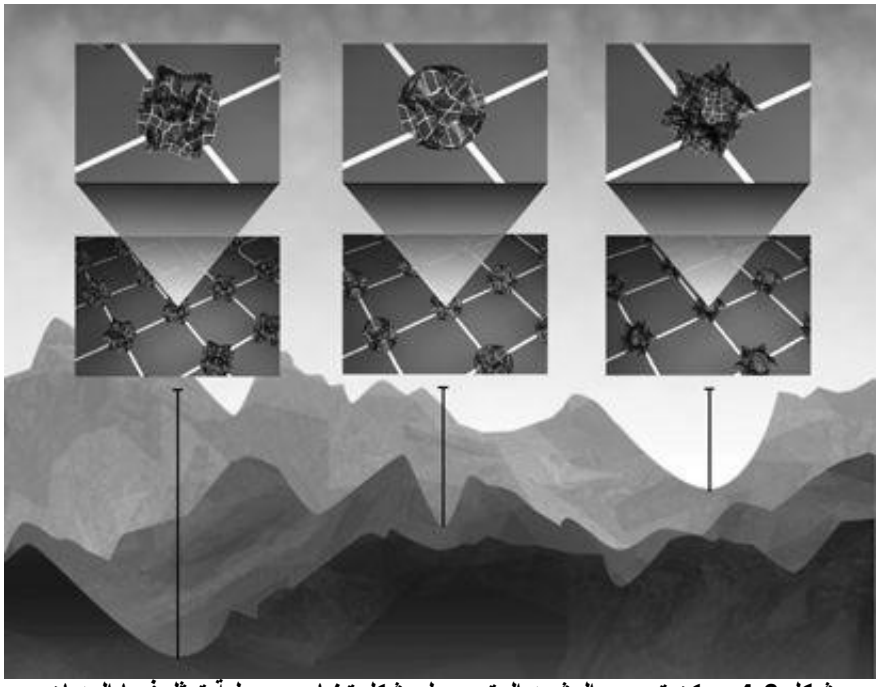
لنعاود الحديث عن ثلاثة جوانب لهذا التشبيه، ونضيف إليها الرؤى التي اكتسبناها منذ حديثنا السابق.

أولاً، أدركنا أن التضخم ما هو إلا مصدر واحد للطاقة التي تملأ الفضاء، وتأتي إسهامات أخرى من التذبذبات الكمية الخاصة بكل المجالات الكهرومغناطيسية والنووية وما إلى ذَلكَ. ومن أجل تعديل التشبيه كي يتوافق مع هذا المنظور الجديد سوف يعكس ارتفاع الجبل الآن الطاقة الإجمالية التي تملأ الفضاء على نحو متجانس والآتية من كل المصادر.

ثانيًا، تصوّر التشبيه الأصلي وجود قاعدة للجبل، يصل فيها التضخم أخيراً إلى حالة من الاستقرار، بوصفها «مستوى سطح البحر»، أو الارتفاع صفر، بمعنى أن التضخم فيها يكون قد تخلص من كل طاقته (وضغطه). لكن وفق تشبيهنا المعدل فإن ارتفاع قاعدة الجبل ينبغي أن تمثل الطاقة الإجمالية التي تملأ الفضاء من كل المصادر بعد أن يكون التضخم قد توقف. هذه تسمية أخرى للثابت الكوني الخاص بالفقاعة الكونية. وبهذا فإن لغز تفسيرنا للثابت الكوني يترجم إلى لغز تفسير ارتفاع قاعدة الجبل؛ فلماذا هي قريبة لهذه الدرجة من سطح البحر لكنها ليست مساوية لهُ تماماً؟

وأخيرًا، تدبرنا في البداية أبسط تضاريس الجبال، قمة تؤدي في سلاسة إلى قاعدة يستقر فيها التضخم في النهاية (انظر الشكل 3-1). بعد ذَلكَ أخذنا خطوة إلى الأمام، بحيث وضعنا في الاعتبار مكونات أخرى (مجالات هيجز) من شأن تطورها والمواضع التي تستقر فيها أخيراً أن تؤثر على السمات الفيزيائية المتجسدة في الفقاعات الكونية (انظر الشكل 3-6). في نظرية الأوتار يكون نطاق الأكوان المحتملة أكثر ثراءً؛ إذ يحدد شكل الأبعاد الإضافية السمات الفيزيائية في أي فقاعة كونية، ومن ثمّ «مواضع الاستقرار المحتملة»، بحيث تمثل الوديان العديدة في الشكل 3-6ب الآن الأشكال المحتملة التي يمكن أن تتخذها الأبعاد الإضافية. ومن أجل استيعاب الصور المحتملة البالغ عددها 10^{500} لهذه الأبعاد، يجب أن تحتوي تضاريس الجبل على مجموعة كبيرة متنوعة من الوديان والأخاديد والنتوءات، على النحو المبين في الشكل 6-4. وأي موضع في هذه التضارِيس يمكن أن تستقر فيه الكرة يمثل شكلًا محتملًا يمكن أن تتخذه الأبعاد الإضافية، ويمثل الارتفاع في ذَلكَ الموقع الثابت الكوني الذي يتوافق مع هذه الفقاعة الكونية. ويوضح الشكل 6-4 ما يطلق عليه «المشهد الوتري».

وفي ضوء هذا الفهم الأوضح لتشبيه الجبل - أو المشهد الطبيعي - سنتدبر الآن كيف تؤثر العمليات الكمية على صورة الأبعاد الإضافية في هذه الحالة. وكما سنرى، فإن ميكانيكا الكم تضيء المشهد بوضوح.



شكل 6-4: يمكن تصوير المشهد الوتري على شكل تضاريس جبلية تمثل فيها الوديان المختلفة صورا مختلفة للأبعاد الإضافية، وتمثل الارتفاعات قيمة الثابت الكوني.

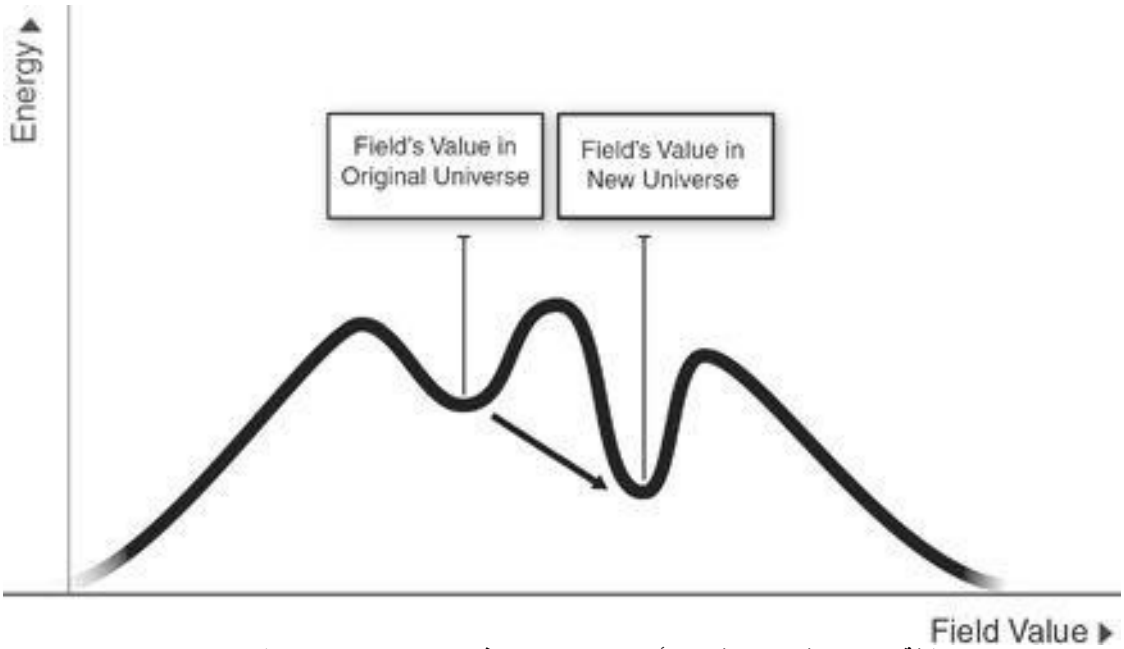
رغم أن الشكل 6-4 شكل تخطيطي مبسط بالأساس (كل مجال مختلف من مجالات هيجز في الشكل 6-3 له محوره الخاص، وبالمثل فكل تدفق من التدفقات البالغ عددها نحو 500 والتي يمكنها اختراق شكل كالابي ياو له محوره الخاص أيضاً، غير أن رسم جبال داخل فضاء ذي 500 بعد لهو تحدٍّ صعب)، فإنه يقترح على نحو صائب أن الأكوان التي لها صور مختلفة للأبعاد الإضافية هي جزء من مشهد واحد متصل[99].

وعند وضع فيزياء الكم في الاعتبار، باستخدام النتائج التي اكتشفها بمنأى من نظرية الأوتار الفيزيائي الأسطوري سيدني كولمان بالتعاون مع فرانك دي لوتشيا، فإن الصلات بين الأكوان تسمح بحدوث تحول جذري.

تعتمد العمليات الفيزيائية الأساسية على عملية تعرف باسم «النفق الكمي»، أو الانتقال الكمي. تخيل أن لدينا جسيمًا، إلكترونًا على سبيل المثال، يواجه حاجزًا صلبًا، لوح من الصلب سمكه عشرة أقدام، حينها فإن الفيزياء الكلاسيكية تتنبأ بأنه سيعجز عن اختراقه. لكن من الجوانب المميزة لميكانيكا الكم هي أن الفكرة الكلاسيكية الصارمة التي تقضي بـ «استحالة الاختراق» تُتَرجم عادة في ميكانيكا الكم إلى عبارة أكثر ليناً تقول إن الجسيم «يمتلك احتمالية صغيرة، لكنها غير صفرية، للاختراق». وسبب ذَلكَ هو أن التذبذبات الكمية للجسيم تمكنه، من حين إلى آخر، من أن يتجسد فجأة على الجانب الآخر للحاجز غير المنفذ. إن اللحظة التي يحدث فيها تأثير النفق الكمي هذا عشوائية، وأفضل ما نستطيع عمله هو التنبؤ باحتمالية حدوثه في فترة ما أو أخرى. غير أن الحسابات الرياضية تقضي بأننا لو انتظرنا فترة طويلة بما يكفي، فسيحدث اختراق لأي حاجز موجود. هذا الأمر يحدث بالفعل. وإذا لم يكن يحدث ما كان للشمس أن تسطع: إذ لكي تقترب أنوية الهيدروجين من بعضها حتّى تندمج، عليها أن تجتاز حاجزًا أوجده التنافر الكهرومغناطيسي للبروتونات.

حسب كولمان ودي لوتشيا، وكثيرون غيرهما ممن حذوا حذوهما، تأثير النفق الكمي بداية من الجسيمات المنفردة وحتى الكون كله حين يواجه حاجزًا شبيهًا «يستحيل اختراقه» يفصل نسقه الحالي عن نسق آخر محتمل الوجود. ومن أجل استيعاب النتيجة، تخيل أن لدينا كونين متماثلين في كل جانب ما عدا وجود مجال، يتخلل كل منهما على نحو تام، تكون طاقته أعلى في أحدهما وأقل في الآخر. في غياب أي حاجز، من شأن قيمة مجال الطاقة الأعلى أن تنخفض نزولا إلى القيمة الأقل، مثل الكرة التي تتدحرج على تل، وهي الصورة التي قابلناها في مناقشتنا لعلم الكونيات التضخمي. لكن ماذا يحدث لو كان منحنى طاقة المجال به «نتوء جبلي» يفصل بين القيمة الحالية عن الأخرى المنشودة، كما في الشكل 6-5؟ وجد كولمان ودي لوتشيا أنّه كما في حالة الجسيم المنفرد، من الممكن لكون بأكمله أن يفعل ما تحظره الفيزياء الكلاسيكية: إذ يمكنه التذبذب - وفق تأثير النفق الكمي - بحيث يخترق الحاجز القائم ويصل إلى النسق ذي الطاقة المنخفضة.

لكنّ نظرًا لأننا نتحدث عن كون كامل وليس فقط عن جسيم منفرد، فإن العملية التي يحدث وفقها تأثير النفق الكمي تكون أكثر تعقيدًا. فقيمة المجال في كل أنحاء الفضاء لا تنتقل في الوقت ذاته عبر الحاجز، حسب قول كولمان ودي لوتشيا، بل من شأن حدث انتقال «بسيط» أن يخلق فقاعة صغيرة ذات موقع عشوائي متشبعة بطاقة المجال الأصغر. بعد ذَلكَ تنمو الفقاعة، مثل مادة ice-nine الخيالية التي ابتكرها الروائي فونيجت، بحيث تتضخم المنطقة التي انتقل فيها المجال إلى الطاقة الأقل.

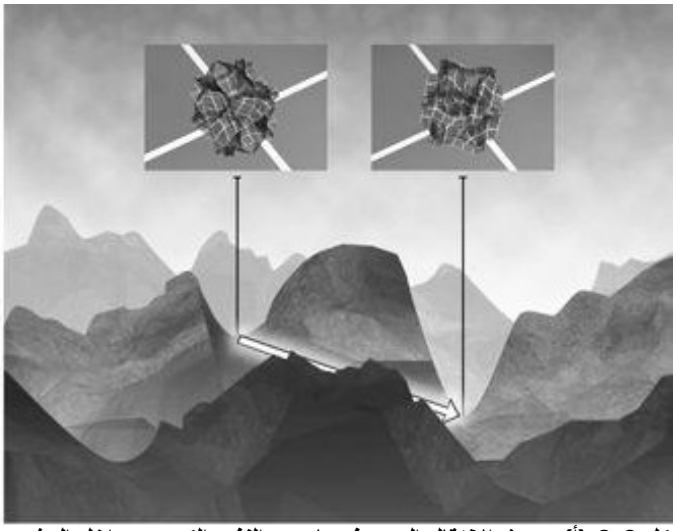


شكل 6-5: مثال لمنحنى طاقة مجال له قيمتين - قاعان أو واديان - يستقر فيهما المجال على نحو طبيعي. الكون المتشبع بمجال الطاقة الأعلى يمكنه الانتقال عبر تأثير النفق الكمي إلى القيمة الأقل. تتضمن العملية أن تكتسب منطقة صغيرة من الفضاء ذات موقع عشوائي في الكون الأصلي قيمة المجال الأقل، وبعد ذلك تتمدد المنطقة، بحيث تحول نطاقا دائم الاتساع من الطاقة الأعلى إلى الطاقة الأقل.

من الممكن أن تنطبق هذه الأفكار مباشرة على المشهد الوتري. تخيل أن الكون له صورة معينة للأبعاد الإضافية، والتي تتوافق مع الوادي الأيسر في الشكل 6-6أ وبسبب وجود هذا الوادي على ارتفاع كبير، فإن الأبعاد المكانية الثلاثة المألوفة متشبعة بثابت كوني ضخم - يتسبب في جاذبية مضادة قوية - ومن ثم فهي تتضخم بسرعة كبيرة. هذا الكون الأخذ في التمدد، علاوة على أبعاده الإضافية، موضح في الجانب الأيسر من الشكل 6-6ب. بعد ذَلكَ، وفي موقع ولحظة زمنية عشوائيين، تنتقل منطقة من الفضاء عبر الجبل الفاصل إلى الوادي الواقع في الجانب الأيمن من الشكل 6-6أ. لا يعني هذا أن منطقة الفضاء الصغيرة تتحرك (بصرف النظر عما يعنيه هذا)، بل يعني أن صورة الأبعاد الإضافية (شكلها وحجمها والتدفقات التي تحملها في هذه المنطقة الصغيرة تتغير. فالأبعاد الإضافية في المنطقة الصغيرة تتحول، مكتسبة الصورة المصاحبة للوادي الموجود في يمين الشكل 6-6أ وتقع هذه الفقاعة الكونية الجديدة داخل الكون الأصلي، كما هو موضح في الشكل 6-6ب.

سوف يتمدد الكون الجديد بسرعة ويواصل تحويل الأبعاد الجديدة في أثناء انتشاره. لكن بما أن الثابت الكوني للكون الجديد قد انخفض - إذ إنّ ارتفاعه داخل المشهد الطبيعي أقل من الارتفاع الأصلي - فإن قوة الجاذبية المضادة التي يستشعرها تكون أضعف، ومن ثم فلن يتمدد بالسرعة التي يتمدد بها الكون الأصلي. وهكذا يكون لدينا فقاعة كونية آخذة في التمدد، تتخذ فيها الأبعاد الإضافية صورة جديدة، ومُحتواة داخل فقاعة كونية أكبر ذات معدل تمدد أسرع تتخذ فيها الأبعاد الإضافية الصورة الأصلية[100].

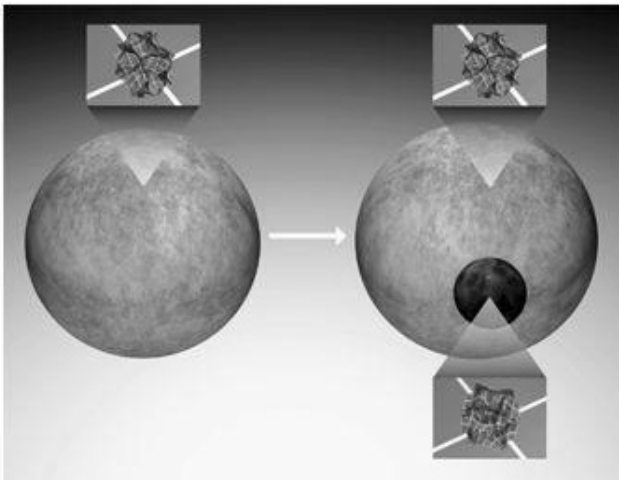
(a)



الشكل 6-6 (أ): حدث الانتقال المعروف باسم «النفق الكمي»، داخل المشهد الوتري.

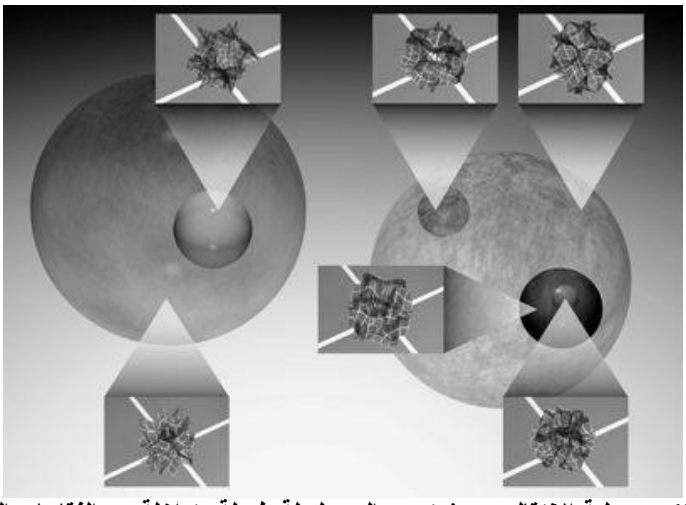
-

(b)



الشكل 6-6(ب): المنطقة تتغير صورة الأبعاد الإضافية.

ومن الممكن أن تتكرر هذه العملية. ففي مواضع أخرى داخل الكون الأصلي، وكذلك داخل الكون الجديد، تتسبب عمليات انتقال مشابهة في ظهور فقاعات إضافية، بحيث تخلق مناطق بها صور مختلفة من الأبعاد الإضافية (الشكل 6-7). وبعد قليل، سيكون حيز الفضاء عامرًا بفقاعات داخل فقاعات، وكل منها يمر بعملية تمدد تضخمي وكل منها له صورة مختلفة من الأبعاد الإضافية، وكل منها له ثابت كوني أصغر من الفقاعة الكونية الأكبر التي تكونت داخلها.



الشكل 6-7: من الممكن أن تتكرر عملية الانتقال، بحيث تؤدي إلى سلسلة طويلة متداخلة من الفقاعات الكونية الآخذة في التمدد، وكل منها تمتلك صور مختلفة من الأبعاد الإضافية.

النتيجة نسخة أكثر تعقيدًا من كون الجبن السويسري المتعدد الذي قابلناه مسبقًا في سيناريو التضخم الأبدي. في تلك النسخة، لدينا نوعين من المناطق: المناطق «المليئة بالجبن» التي تمر بتمدد تضخمي، و«الثقوب» التي لا تمر بذلك التضخم. كانَ ذَلكَ انعكاسًا مباشرًا للمشهد المبسط ذي الجبل الوحيد الذي افترضنا أن قاعدته على مستوى سطح البحر نفسه: أما المشهد الوتري الأكثر ثراءً، بما فيه من مختلف القمم والوديان التي تتوافق مع قيم مختلفة للثابت الكوني، فيؤدي إلى ظهور المناطق العديدة المختلفة الموجودة في الشكل 6-7- فقاعات داخل فقاعات داخل فقاعات - وكأنها مجموعة من دُمى ماتريوشكا، وكل منها زخرفها فنان مختلف. وفي النهاية، تتسبب سلسلة الانتقالات الكمية التي لا تتوقف في أرجاء المشهد الوتري الجبلي في تحقيق كل صورة ممكنة من الأبعاد الإضافية في فقاعة كونية أو أكثر. وهذا هو «كون المشهد المتعدد».

إن كون المشهد المتعدد هو ما نحتاجه تماماً من أجل تفسير واينبرج للثابت الكوني. لقد ذهبنا إلى أن المشهد الوتري يضمن، نظريًّا، وجود صور محتملة للأبعاد الإضافية يقع ثابتها الكوني في نطاق القيم المرصودة: فهناك وديان في المشهد الوتري تساوى ارتفاعاتها الصغيرة الثابت الكوني الضئيل لكن غير الصفري الذي كشفت عنه مشاهدات المستعرات العظمي. وحين يتضمن المشهد الوتري التضخم الأبدي كذلك، فإن كل الصور المحتملة للأبعاد الإضافية، بما فيها تلك التي لها ثابت كوني صغير كهذا، تدب فيها الحياة. ففي موضع ما داخل سلسلة الفقاعات الدفينة التي يتألف منها كون المشهد المتعدد، توجد أكوان يساوي ثابتها الكوني نحو 10^{-123}، وهو العدد الضئيل الذي استهللنا به هذا الفصل. ووفق هذا المنطق فإننا نعيش داخل أحد هذه الأكوان.

ماذا عن بقية الخصائص الفيزيائية؟

ما الثابت الكوني إلا سمة واحدة للكون الذي نعيش فيه. وهو على الأرجح من بين أكثر السمات إثارة للحيرة، نظرًا لأن قيمته المقيسة الصغيرة تتعارض كما هو معروف مع الأرقام التي تظهر من التقديرات المباشرة التي توصلنا إليها باستخدام النظريات المثبتة وهذه الهوة الفاصلة تجذب تركيزًا متفردًا على الثابت الكوني وتعد المحرك وراء الرغبة في العثور على إطار مفاهيمي يمتلك القدرة على تفسير هذا الثابت، مهما كانَ ذَلكَ الإطار غريبًا. ويذهب مؤيدو مجموعة الأفكار المتشابكة المعروضة فيما سبق إلى أن كون المشهد المتعدد يفي بهذا الغرض تماماً.

لكن ماذا عن كل السمات الأخرى لكوننا؛ كوجود ثلاثة أنواع من النيوترينوات، وكتل الإلكترونات المحددة، وشدة القوة النووية الضعيفة، وغير ذَلكَ من سمات؟ فرغم أن بإمكانك على الأقل أن تتصور حساب هذه الأرقام، فإن أحداً لم يتمكن من فعل ذَلكَ بعد. قد تتساءل عما إذا كانت قيمتها هي الأخرى تصلح للتفسير استنادًا إلى مفهوم الكون المتعدد. في الواقع، وجد الباحثون الذين يدرسون المشهد الوتري أن هذه الأرقام، شأنها شأن الثابت الكوني، تتباين هي الأخرى من مكان إلى آخر، ومن ثم - على الأقل حسب فهمنا الحالي لنظرية الأوتار - فإنها لا تتحدد على نحو متفرد. يقودنا هذا إلى منظور شديد الاختلاف عن ذَلكَ الذي هيمن في الأيام الأولى للبحث في هذا الموضوع. وهو يقترح أن محاولة حساب خصائص الجسيمات الأساسية، مثل محاولة تفسير المسافة بين الأرض والشمس، ربما تكون مضللة. فمثل المسافات الكوكبية، من شأن بعض هذه الخصائص أو كلها أن تتباين من كون إلى آخر.

لكن كي يتسم هذا المنطق بالمصداقية، نحتاج على أقل تقدير لا إلى المعرفة بوجود فقاعات كونية يمتلك فيها الثابت الكوني القيمة الصحيحة وحسب، وإنما أيضاً معرفة أنه في واحدة من هذه الفقاعات على الأقل تتفق القوي والجسيمات مع ما قاسه العلماء في كوننا. فنحن نحتاج إلى التأكد من أن كوننا، بكل تفاصيله، موجود في مكان آخر داخل المشهد. وهذا هو هدف مجال نابض بالنشاط يطلق عليه «بناء النماذج الوترية». ويتألف البرنامج البحثي في التنقيب في أرجاء المشهد الوتري ودراسة كل الصور المحتملة للأبعاد الإضافية رياضيًّا، وذلك بحثًا عن أكوان تشبه كوننا عن كثب. إنه تحدٍّ هائل، لأن المشهد ضخم للغاية ويتسم بتعقيد شديد يحول دون دراسته بأي طريقة منهجية. ويتطلب تحقيق التقدم امتلاك مهارات حسابية بارعة، علاوة على التمتع بحدس سليم بشأن القطع التي يجري تجميعها: شكل الأبعاد الإضافية وحجمها وتدفقات المجال التي تدور بين الثقوب ووجود أغشية متعددة وغير ذَلكَ من أمور. ويجمع من يخوضون هذا التحدي بين أفضل الأساليب العلمية الصارمة والحس الفني السليم. وإلى الآن، لم يعثر أحد على مثال يمكنه إنتاج السمات التي يتمتع بها كوننا تماماً. لكن في ضوء وجود 10^{500} احتمالية تنتظر الاستكشاف، ثمة إجماع على أن لكوننا مكانًا داخل هذا المشهد.

أهذا علم؟

في هذا الفصل سلكنا منعطفًا منطقيًّا. فحتى الآن، عكفنا على استكشاف تطورات عديدة في أبحاث الفيزياء الأساسية وعلم الكونيات وتبعاتها الأوسع نطاقًا على الواقع. تسعدني احتمالية وجود نسخ أخرى من الأرض في أقصى أطراف الفضاء، أو احتمالية أن يكون كوننا واحدًا من فقاعات كونية عديدة داخل كون آخذ في التضخم، أو أننا نعيش في واحد من عوالم الأغشية العديدة التي تؤلف رغيفًا كونيًّا عملاقًا. كل هذه الأفكار محفزة للذهن وجذابة من دون شك.

لكن في حالة كون المشهد المتعدد تناولنا الأكوان الموازية بطريقة مختلفة. ففي النهج الذي اتبعناه للتو،

ليس كون المشهد المتعدد محض صورة موسعة لنظرتنا عما قد يوجد حولنا. بل استعنا على مباشر في توليد الرؤى المتعلقة بالمشاهدات التي يمكننا رصدها هنا في هذا الكون بطيف من الأكوان الموازية، والعوالم التي قد تقع وراء خارج قدرتنا على زيارتها أو رؤيتها أو اختبارها أو التأثير عليها، سواء في الوقت الحالي أو في المستقبل على الأرجح.

وهذا يثير سؤالًا أساسيًّا: أهذا علم؟

الفصل السابع
العلم والكون المتعدد
عن الاستدلال والتفسير والتنبؤ

عندما ينتقد ديفيد جروس، أحد الفائزين بجائزة نوبل في الفيزياء لعام 2004[101]، كون المشهد المتعدد القا على نظرية الأوتار فثمة احتمالية معقولة أن يقتبس خطاب وينستون تشرشل الذي ألقاه في 29 أكتوبر عام 1941 وقال فيه: «إياك أن تستسلم... إياك ثم إياك ثم إياك ثم إياك أن تستسلم، في أي شيء عظيمًا كان أم تافهًا». وحين يتحدث بول ستينهارد، الذي يشغل كرسي أستاذية ألبرت آينشتاين للعلوم في جامعة برينستون وأحد مكتشفي الصورة الحديثة لعلم الكونيات التضخمي، عن نفوره من كون المشهد التضخمي فإن الزخارف البلاغية تقل من دون شك، لكن من المؤكد أن تطفو على السطح في نقطة أو أخرى من الحوار مقارنة، غير مواتية، بالدين. أما مارتن ريز، عضو الجمعية الفلكية الملكية بالمملكة المتحدة، فيرى أن الكون المتعدد هو الخطوة الطبيعية التالية التي ستعمق فهمنا لكل الوجود. ويقول ليونارد سَسكيند إن أولئك الذين يتجاهلون احتمالية أننا جزء من كون متعدد إنما يشيحون بأعينهم وحسب عن رؤية يجدونها مربكة. ما هذه إلا أمثلة قليلة، وهناك أمثلة أخرى عديدة في كلا جانبي النقاش، من جانب المعارضين المتحمسين والمؤيدين المخلصين، ودائمًا ما لا يعبرون جميعهم عن آرائهم بكل كياسة. وخلال مدة ربع قرن عملتُ فيها على نظرية الأوتار لم يسبق لي أن رأيت المشاعر تتأجج، أو اللغة تحتد، كما في مناقشات مشهد نظرية الأوتار والكون المتعدد الذي قد يؤدي إليه. وسبب هذا واضح؛ إذ يرى كثيرون أن هذه التطورات معترك تخوضه روح العلم ذاتها.

رغم أن كون المشهد المتعدد كانَ المحفز الأساسي، فإن الجدال يدور حول قضايا محورية في أي نظرية تلعب فيها أي نسخة من الكون المتعدد دورًا. هل من المقبول علميًّا الحديث عن كون متعدد، عن نهج يقضي بوجود عوالم يستحيل الولوج إليها، ليس فقط من الناحية العملية وإنما، في حالات عدة، من الناحية النظرية كذلك؟ هل فكرة وجود كون متعدد قابلة للاختبار أو الدحض؟ هل القول بوجود كون متعدد يمدُّنا بقوة تفسيرية من دونه لن نمتلكها؟

لو كانت إجابة هذه الأسئلة بالسلب، كما يؤكد المعارضون، حينها فإن مؤيدي الكون المتعدد يتخذون لأنفسهم موضعًا استثنائيًّا. فالمقترحات غير القابلة للاختبار أو الدحض، والتي تقول بوجود عوالم خفية تقع خارج حدود قدرتنا على الولوج إليها إنما تبدو بعيدة كل البعد عن العلم كما يراه معظمنا. وفي هذا الموضع نجد الشرارة التي تذكي الحماسة وتؤجج المشاعر. إذ يرد المؤيدون قائلين إنه رغم أن الطريقة التي يتصل بها أي كون متعدد مع المشاهدات ربما تكون مختلفة عما نألفه في حالة المقترحات محل التقدير - إذ قد تكون غير مباشرة أكثر، أو أقل وضوحًا، أو قد تتطلب محالفة الحظ لبعض التجارب المستقبلية - فإن هذه الصلات ليست غائبة بشكل جوهري. فمن دون أي تردد، يتبنى هذا المنطق نظرة شاملة بشأن ما يمكن أن تكشفه نظرياتنا ومشاهداتنا، وبشأن الكيفية التي يمكن التحقق بها من الأفكار المختلفة.

أيضاً يتحدد موقفك من مقترح الكون المتعدد بناءً على رأيك في الدور الجوهري للعلم. فالملخصات العامة تشدد عادة على أن العلم معني بالعثور على مواطن الشذوذ في عمل الكون، بحيث يفسر الكيفية التي تضيء بها هذه المواطن وتعكس قوانين الطبيعة الأساسية، ويختبر القوانين المزعومة عن طريق طرح تنبؤات يمكن التحقق منها أو دحضها من خلال مزيدٍ من التجارب والمشاهدات. ورغم ما يتسم به هذا التوصيف من معقولية، فإنه يتغاضى عن حقيقة أن العملية الفعلية للعلم أقل تنظيمًا من هذا بكثير، وكثيراً ما يكون فيها طرح الأسئلة المناسبة بقدر أهمية العثور على إجابات واختبارها.

وليست الأسئلة موجودة بالفعل بحيث يتمثل دور العلم في انتقائها وحسب، واحدًا تلو الآخر. بل عوضًا عن ذَلكَ فإن الأسئلة تتشكل في المعتاد عن طريق أفكار الأمس. فالطفرات العلمية تجيب عادة عن بعض الأسئلة، غير أنها تثير مجموعة جديدة من الأسئلة لم يكن من الممكن تخيلها من قبل. وعند الحُكم على أي تطور، بما في ذَلكَ نظريات الكون المتعدد، علينا ألاّ نضع في الحسبان فقط قدرته على الكشف عن الحقائق الخفية وإنما أيضاً تأثيره على الأسئلة التي سيتعين علينا مجابهتها. وهذا التأثير يطول ممارسة العلم نفسها. وكما سيتضح لنا فإن نظريات الكون المتعدد لها القدرة على إعادة تشكيل بعض من أعمق الأسئلة التي حار العلماء في الإجابة عنها على مدار عقود. وهذه الاحتمالية تبث الحماسة لَدى البعض وتثير الحنق لدى البعض الآخر.

أماً وقدْ مهدنا الساحة، دعونا نتفكر على نحو منهجي في مدى مشروعية الأطر النظرية التي ترى أن كوننا جزء من كون متعدد، علاوة على قابلية هذه الأطر للاختبار ونفعها.

الأكوان المتعددة الممكن بلوغها

من الصعب أن نجد إجماعًا حول هذه القضايا، وهذا يرجع جزئيًّا إلى أن مفهوم الكون المتعدد ليس موحدًا. لقد قابلنا بالفعل خمس نسخ منه – الكون المتعدد المنسوج والتضخمي والغشائي والدوري وكون المشهد المتعدد - وفي الفصول التالية سنقابل أربع نسخ أخرى. من المفهوم أن الفكرة العامة للكون المتعدد تشتهر بكونها مستحيلة الاختبار. يقضي التقييم المعتاد، على أي حال، بأننا بصدد تدبر أكوان أخرى بخلاف كوننا، لكن بما أننا عاجزون عن الوصول إلى أي كون آخر بخلاف كوننا، فهذا لا يختلف كثيراً عن الحديث عن الأشباح أو الجنيَّات. هذه في الواقع هي المشكلة المحورية، وسوف نتعامل معها عما قليل، لكن لاحظ قبل هذا أن بعض الأكوان المتعددة تسمح بالفعل بحدوث تفاعل بين الأكوان المنفردة الموجودة داخلها. وقدْ رأينا من قبل أن في الكون المتعدد الغشائي باستطاعة حلقات الأوتار الحرة الانتقال من غشاء إلى آخر، وفي الكون المتعدد التضخمي من الممكن أن يحدث تواصل مباشر بين الفقاعات الكونية.

كما تذكر فإن الفضاء الفاصل بين أي فقاعتين كونيتين تقعان داخل الكون المتعدد التضخمي يملؤه مجال تضخم يتسم بارتفاع الطاقة والضغط السالب، ومن ثمّ فهو يمر بحالة من التمدد التضخمي، وهذا التمدد يجعل الفقاعات الكونية تزداد ابتعادًا بعضها عن بعض. لكن رغم هذا، إذا كانَ المعدل الذي تتمدد به الفقاعات الكونية نفسها يفوق معدل تضخم الفضاء الذي يحضها على التباعد، فسوف تتصادم الفقاعات. وعند الوضع في الحسبان أن التمدد التضخمي تراكمي في طبيعته - فكلما زاد مقدار الفضاء المتضخم بين أي فقاعتين زاد معدل تباعدهما - نصل إلى نتيجة مثيرة للاهتمام. فإذا تشكلت فقاعتان على مقربة شديدة إحداهما من الأخرى، سيكون هناك مقدار ضئيل للغاية من الفضاء الفاصل بينهما، لدرجة أن معدل الانفصال سيكون أبطأ من معدل تمددهما. وهذا من شأنه التسبب في تصادمهما.

تؤكد الحسابات الرياضية صحة هذا الاستنتاج؛ ففي الكون المتعدد التضخمي من الممكن أن تتصادم الأكوان. علاوة على ذَلك فإن عدداً من المجموعات البحثية (منها مجموعة جاوم جاريجا وآلان جوث وألكسندر فايلكين، ومجموعة بِن فرايفوجل وماثيو كليبان وألبرتو نيكوليس وكريس سيجوردسون، علاوة على مجموعة أنتوني أجواير وماثيو جونسون) أكد أنّه بينما من شأن بعض التصادمات أن تزعزع بعنف البنية الداخلية لكل فقاعة كونية - وهو خبر سيئ لكل القاطنين المحتملين للفقاعة أمثالنا - فمن الممكن كذلك أن تحدث احتكاكات أكثر إعتدالًا، تتجنب أي تبعات كارثية ومع ذَلكَ تخلف بصماتها القابلة للرصد. وتبين الحسابات أننا لو تعرضنا لمثل هذا الحادث التصادمي البسيط مع كون آخر، فسيتسبب ذَلكَ في موجات تصادمية تتردد عبر الفضاء، وتحدث تعديلات في نمط المناطق الحارة والباردة داخل إشعاع الخلفية الميكروني الكوني[102]. ويعكف الباحثون الآن على دراسة البصمة التفصيلية التي قد يخلفها هذا الاضطراب، بحيث يضعون أساسًا للمشاهدات يمكن أن يقدم ذات يوم دليلًا على أن كوننا قد تصادم مع كون آخر؛ أدلة على وجود أكوان أخرى بخلاف كوننا.

لكن بصرف النظر عما يتسم به هذا الاحتمال، ماذا لو لم يثبت نجاح أي اختبار يسعى إلى إيجاد دليل على حدوث اتصال أو تصادم مع كون آخر؟ وإذا تبنينا منظورًا متشددًا ماذا سيكون موقف مفهوم الكون المتعدد لو لم نعثر مطلقًا على أي بصمات تجريبية أو رصدية تثبت وجود أكوان أخرى؟

العلم والنطاقات التي يستحيل بلوغها(1):
هل من المقبول علميًّا القول بوجود أكوان مستحيلة الرصد؟

كل إطار نظري يأتي مصحوباً ببنية مُفترضَة؛ ونعني بهذا المكونات الأساسية للنظرية، والقوانين الرياضية التي تحكمها. وإلى جانب تعيين حدود النظرية فإن هذه البنية ترسي أيضاً نوعية الأسئلة التي يمكننا توجيهها داخل النظرية. كانت بنية إسحاق نيوتن ملموسة؛ إذ تعاملت حساباته الرياضية مع مواضع وسرعات الأجسام التي يمكننا مقابلتها أو رؤيتها بيسر، بداية من الصخور والكرات وانتهاءً بالقمر والشمس. وقدْ أكدت مشاهدات عديدة صحة تنبؤات نيوتن، وهو ما أمدنا بالثقة في أن حساباته الرياضية كانت تصف بالفعل الكيفية التي تتحرك بها الأجسام المألوفة. استحدثت بنية جيمس كلارك ماكسويل خطوة شديدة الأهمية من التجريد. فالمجالات الكهربائية والمغناطيسية المتذبذبة ليست من الأشياء التي تطورت حواسنا بحيث ترصدها مباشرة. ورغم أننا نرى «الضوء» – الذبذبات الكهرومغناطيسية التي تقع أطوالها الموجية في نطاق تستطيع أعيننا رصده - فإن خبراتنا البصرية تعجز عن أن تتتبع مباشرة المجالات المتذبذبة التي تفترض النظرية وجودها. ورغم هذا فبإمكاننا أن نبني معدات متقدمة تقيس هذه الاهتزازات، وقادرة إلى جانب التنبؤات العديدة المثبت صحتها للنظرية، أن تمنحنا دليلًا مقنعًا على أننا مغمورون في محيط نابض من المجالات الكهرومغناطيسية.

في القرن العشرين صارت العلوم الأساسية معتمدة على نحو متزايد على سمات يستحيل رصدها مباشرة. فيوفر المكان والزمن، من خلال اتحادهما، الدعامة التي ترتكز عليها النسبية الخاصة. وحين صارا يتمتعان بالمرونة بفضل أعمال آينشتاين، باتا يمثلان الخلفية المرنة للنسبية العامة. لقد رأيت ساعات تدق، ومساطر للقياس، غير أنني لم أستوعب مطلقًا مفهوم الزمكان بالكيفية ذاتها التي أتفهم بها وجود مسندَيْ اليد بمقعدي. كما أنني أشعر بتأثير الجاذبية، لكن لو أنك ألححت عليَّ بالسؤال عما إذا كنت أشعر بأنني منغمس داخل زمكان منحنٍ، فسأجد نفسي في موقف ماكسويل نفسه. فأنا مقتنع بأن نظريتي النسبية العامة والخاصة صحيحتين ليس لأنني أستطيع الإحساس مباشرة بمكوناتهما الجوهرية، وإنما لأنني حين أتقبل إطاريهما النظريين المُفترضَيْن فإن الحسابات الرياضية تؤدي إلى تنبؤات عن أشياء يمكنني قياسها. ويتبين بالفعل أن التنبؤات صحيحة على نحو استثنائي.

تأخذ ميكانيكا الكم هذا العجز عن الرصد خطوة أبعد. فالمكون الأساسي لميكانيكا الكم هو موجة الاحتمالية، التي تحكمها معادلة مُكتشَفة في منتصف عشرينيات القرن العشرين على يد إرفين شرودنجر. ورغم أن هذه الموجات تعد الملمح الأبرز لفيزياء الكم، فسنرى في الفصل الثامن أن بنية فيزياء الكم تضمن بقاؤها غير قابلة للرصد على نحو دائم وتام. إنّ موجات الاحتمالية تُنتِج تنبؤات بشأن الموضع المرجح لهذا الجسيم أو ذاك، غير أن الموجات نفسها تقع خارج نطاق الواقع اليومي[103].

لكن نظرًا للنجاح الكبير الذي تحققه التنبؤات، فقد تقبلت أجيال من العلماء هذا الموقف العجيب: وجود نظرية تقترح بناءً حيويًّا جديدًا بالكامل لكنه، من منظور النظرية ذاتها، غير قابل للرصد.

الفكرة الأساسية الموجودة في كل هذه الأمثلة هي أن نجاح أي نظرية يمكن استخدامه كمبرر لاحق لمعماريتها الأساسية، حتّى حين تظل تلك البنية خارج نطاق قدرتنا على رصدها مباشرة. هذا جزء أساسي من الخبرة اليومية للباحثين الفيزيائيين النظريين لدرجة أن اللغة المستخدمة والأسئلة المُصاغة دوريًّا تشيران، من دون أي تردد، إلى أشياء أقل كثيراً في إمكانية رصدها من الطاولات والمقاعد ويقع بعضها خارج حدود الخبرة المباشرة[104].

حين نمضي إلى ما هو أبعد من ذَلكَ ونستخدم بنية أي نظرية من أجل معرفة الظواهر التي تستتبعها،

فإننا نجد في مواجهة أنواع أخرى من استحالة الرصد. تظهر الثقوب السوداء من ثنايا المعادلات الرياضية للنسبية العامة، وقدْ أمدتنا المشاهدات الفلكية بأدلة مقنعة على أنها ليست حقيقية وحسب، بل وشائعة الوجود كذلك. ومع هذا فإن المنطقة الداخلية للثقوب السوداء بيئة عجيبة؛ فوفق معادلات آينشتاين تعد حافة الثقوب السوداء، المعروفة باسم أفق الحدث، منطقة لا عودة. فبإمكانك الدخول منها، لكن لا يمكنك الخروج. ونحن الموجودين خارج الثقب الأسود لن نستطيع مطلقًا أن نرصد المنطقة الداخلية للثقب، ولا يرجع هذا فقط إلى اعتبارات عملية وإنما هو نتيجة لقوانين النسبية العامة ذاتها. ومع هذا فثمة إجماع على أن المنطقة الموجودة على الجانب الآخر من أفق الحدث حقيقية.

إنّ تطبيق النسبية العامة على علم الكونيات يقدم مزيداً من الأمثلة على استحالة الرصد. فإذا لم تكن تمانع القيام برحلة في اتجاه واحد، تعد المنطقة الداخلية للثقب الأسود إحدى الوجهات الممكنة. غير أن العوالم التي تقع خارج أفقنا الكوني يستحيل الوصول إليها، حتّى لو استطعنا السفر بسرعة تقارب سرعة الضوء. وفي كون آخذٍ في التمدد مثل كوننا، تصير هذه النقطة واضحة تمام الوضوح. ففي ضوء القيمة المقيسة للتسارع الكوني (وبفرض أنها لن تتغير أبداً)، فإن أي جرم يبعد عنا بنحو 20 مليار سنة ضوئية يقع على نحو دائم خارج نطاق قدرتنا على رؤيته أو زيارته أو قياسه أو التأثير عليه. فعلى مسافة تزيد على هذه سيتراجع الفضاء على الدوام مبتعدًا عنا بسرعة كبيرة، لدرجة أن أي محاولة لاختراق المسافة الفاصلة ستكون غير مجدية، شأنها شأن محاولة راكب قارب الكياك التجديف ضد تيار تفوق سرعته قدرة الراكب على التجديف.

إنّ الأجرام التي ظلت على الدوام خارج أفقنا الكوني هي أجرام لم يسبق لنا رصدها من قبل قطّ، ولن نتمكن من رصدها مطلقًا، وبالمثل لم يسبق لأيها أن رصدنا من قبل قطّ، ولن يتمكن من رصدنا مستقبلًا مطلقًا. كانت هناك أجرام تقع في وقت ما من الماضي داخل أفقنا الكوني ومن ثمّ كانَ بمقدورنا رؤيتها، لكنّها ابتعدت متجاوزة إياه بفعل التمدد الكوني ومن ثمّ لن نستطيع رصدها أبداً. ومع ذَلكَ أعتقد أن بإمكاننا الاتفاق على أن هذه الأجرام حقيقية شأنها شأن أي شيء آخر ملموس، وكذلك العوالم التي تسكنها. وسيكون من العجيب بالتأكيد القول بأن المجرة التي كانَ بمقدورنا رؤيتها في السابق لكنّها تجاوزت أفقنا الكوني إنما دخلت بهذا عالمًا غير موجود، عالمًا يجب محوه من خريطة الواقع بسبب عدم قدرتنا الدائمة على الوصول إليه. ورغم عجزنا عن رصد هذه العوالم أو التأثير عليها، وعجزها هي الأخرى عن ذَلكَ، فإنها تشكل على الأرجح جزءًا من الصورة الكلية للوجود[105].

توضح هذه الأمثلة أن العلم ليس غريبًا على النظريات التي تتضمن عناصر يستحيل الوصول إليها ورصدها، بداية من المكونات الأساسية ووصولًا إلى النتائج المُشتقة. وتعتمد ثقتنا في مثل هذه الأمور غير الملموسة على ثقتنا في النظرية التي تدعمها. فعندما تستعين ميكانيكا الكم بموجات الاحتمالية، فإن قدرتها المذهلة على وصف أشياء يمكننا قياسها، مثل سلوك الذرات والجسيمات دون الذرية، تجبرنا على اعتناق الواقع الأثيري الذي تفترض وجوده. وعندما تتنبأ النسبية العامة بوجود أماكن يستحيل علينا رصدها، فإن نجاحاتها المذهلة في وصف تلك الأشياء التي نستطيع رصدها، مثل حركة الكواكب أو مسار الضوء، تجبرنا على أخذ التنبؤات على محمل الجد.

لذا كي تنمو ثقتنا في أي نظرية، لسنا في حاجة إلى أن تكون كل جوانبها قابلة للتحقق، إذ تكفينا مجموعة متنوعة من التنبؤات المؤكدة وحسب. وقدْ تقبلت الأبحاث العلمية التي يعود زمنها إلى أكثر من قرن احتمالية استعانة النظرية بعناصر خفية يستحيل رصدها؛ وذلك بشرط أن تقدم تنبؤات جديدة ومثيرة للاهتمام وقابلة للاختبار بشأن عدد وفير من الظواهر القابلة للرصد.

يشير هذا إلى أن من الممكن بناء حجة قوية تدعم أي نظرية تتضمن كونًا متعددًا، حتّى لو تعذر علينا

الحصول على أي أدلة مباشرة على وجود أكوان أخرى بخلاف كوننا. فإذا كانت الأدلّة التجريبية والرصدية التي تدعم النظرية تدفعك إلى اعتناقها، وإذا كانت النظرية مبنية على هيكل رياضي محكم بحيث لا يصير ثمة تعارض بين سماتها، عندئذٍ سيتعين عليك اعتناق النظرية. وإذا كانت النظرية تشير إلى وجود أكوان أخرى، حينئذٍ فإن واقع النظرية سيتطلب منك القبول بهذا أيضاً.

إذاً من حيث المبدأ - وتأكد هنا أنني أريد أن أثبت هذه النقطة من حيث المبدأ لا أكثر - فإن القول بوجود أكوان يستحيل رصدها لا يعني أن هذا المقترح ليس علميًّا. وللاستفاضة في هذه النقطة، تخيل أننا نجحنا ذات يوم في بناء حجة تجريبية ورصدية مقنعة تعضد نظرية الأوتار. فلربما يستطيع معجل جسيمات مستقبلي رصد تتابعات من أنماط اهتزاز الأوتار ورصد أدلة على وجود أبعاد إضافية، بينما رصدت المشاهدات الفلكية سمات خاصة بالأوتار في إشعاع الخلفية الميكروني، علاوة على بصمات لأوتار طويلة ممتدة تتذبذب في أرجاء الفضاء. افترض أيضاً أن فهمنا لنظرية الأوتار قد تقدم تقدمًا ملحوظًا، وأننا أدركنا أن النظرية تؤدي على نحو مطلق ومؤكد ولا يقبل الجدل إلى توليد كون المشهد المتعدد. فبصرف النظر عن أي رأي معارض، فمن شأن نظرية تحظى بدعم رصدي وتجريبي قوي، وتتطلب بنيتها الداخلية وجود كون متعدد، أن تؤدي بنا إلى أن نخلص من دون شك إلى أن وقت «الاستسلام» قد حان[106].

لذا، من أجل تناول السؤال الذي بدأ به القسم، ففي السياق العلمي الصحيح لن يكون فقط من باب التهذيب القول بوجود كون متعدد، بل إنّ عدم الذهاب إلى ذَلكَ من شأنه أن يُعد دليلًا على التحامل المناقض لروح العلم.

العلم والنطاقات التي يستحيل بلوغها(2):
كفانا حديثاً عن المبادئ النظرية، ما الموقف العملي الفعلي؟

سيرد المتشككون، ولهم الحق في ذَلكَ، قائلين إنّ الحديث من حيث المبدأ عن الكيفية التي تصاغ بها أي نظرية للأكوان المتعددة شيء، غير أن تقييم ما إذا كانَ أي من مقترحات الأكوان المتعددة التي طرحناها يرقى إلى مصاف النظريات المؤكدة تجريبيًّا التي تقدم تنبؤًا مطلقًا بوجود أكوان أخرى شيء مختلف تماماً. فهل هم محقون؟

ينشأ الكون المتعدد المنسوج من وجود حيز مكاني لا متناهي، وهي احتمالية يمكن تضمينها على نحو محكم داخل النسبية العامة. ويتمثل العائق الوحيد في أن النسبية العامة تسمح بوجود حيز مكاني لا متناهٍ، غير أنها لا تستلزم وجوده، وهذا بدوره يفسر لماذا يظل الكون المتعدد المنسوج إطارًا غير راسخ، رغم كون النسبية العامة كذلك. يَنتُج حيز مكاني لا متناهٍ على نحو مباشر من التضخم الأبدي - كما تذكر فإن كل فقاعة كونية حين النظر إليها من الداخل تبدو كبيرة بلا نهاية – لكن في هذا الإطار يصير الكون المتعدد المنسوج غير مؤكد، نظرًا لأن المُقترح الذي ينبني عليه – التضخم الأبدي - يظل افتراضيًّا. يؤثر الاعتبار ذاته على الكون المتعدد التضخمي، الذي ينشأ هو الآخر عن التضخم الأبدي. لقد عززت المشاهدات الفلكية المُجراة على مدار العقد الماضي ثقة مجتمع الفيزياء في علم الكونيات التضخمي، غير أنها لا تقدم جديدًا بشأن ما إذا كانَ التمدد التضخمي أبديًّا أم لا. تبين الدراسات النظرية أنّه رغم أن العديد من النسخ أبدية، وتؤدي إلى وجود فقاعات كونية فوق فقاعات كونية، فإن بعضها يفرض وجود حيز مكاني وحيد دائم التضخم.

إنّ نسخ الكون المتعدد الغشائي، والكون المتعدد الدوري، وكون المشهد المتعدد كلها مبنية على نظرية الأوتار، ومن ثمّ فهي تعاني من مواضع انعدام يقين متعددة. فرغم أن نظرية الأوتار تثير الإعجاب، ورغم أن بنيتها الرياضية صارت ثرية، فإن ندرة التنبؤات القابلة للاختبار وما يصاحب ذَلكَ من غياب للاتصال بين المشاهدات أو التجارب يضعها في نطاق التخمينات العلمية لا أكثر. علاوة على ذَلكَ ففي ضوء عدم اكتمال النظرية، يظل من غير الواضح أي سمات ستواصل لعب دور أساسي في التنقيحات المستقبلية. فهل ستظل الأغشية، التي تمثل أساس الكون المتعدد الغشائي والكون المتعدد الدوري، تلعب دورًا محوريًّا؟ وهل ستظل الخيارات الوفيرة من الأبعاد الإضافية، التي تمثل أساس كون المشهد المتعدد، موجودة؟ أم هل سنجد في نهاية المطاف مبدأ رياضيًّا ينتقي شكلًا معينًا لهذه الأبعاد؟ نحن ببساطة لا نعلم.

لذا، رغم أنّه من غير المستبعد أن نصوغ حجة مقنعة لنظرية من نظريات الكون المتعدد لا تشير في تنبؤاتها إلى وجود أكوان أخرى، أو تشير إلى ذَلكَ بالكاد، فبالنسبة لسيناريوهات الكون المتعدد التي تعرضنا لها لن ينجح هذا النهج. على الأقل ليس بعد. ومن أجل تقييمها، سنحتاج إلى التعامل مع تنبؤها بوجود كون متعدد تعاملًا مباشرًا.

هل يمكننا ذَلك؟ هل يمكن لنظرية تقضي بوجود أكوان أخرى أن تقدم تنبؤات قابلة للاختبار حتّى لو كانت تلك الأكوان تقع خارج نطاق تجاربنا ومشاهداتنا؟ لنتناول هذا السؤال المحوري عبر سلسلة من الخطوات. سنتبع النمط المبين أعلاه، بحيث ننتقل من منظور «المبدأ النظري» إلى منظور «التطبيق العملي».

التنبؤات داخل كون متعدد (1):

لو كانت الأكوان التي تؤلف كونًا متعددًا يستحيل الوصول إليها، فهل يمكنها مع ذَلكَ أن تسهم إسهامًا ذا مغزى في صياغة التنبؤات؟

بعض العلماء الذين يقاومون نظريات الكون المتعدد يرون أن هذا المسعى بمنزلة إقرار بالفشل، وأنه تراجع صريح عن الهدف الذي طال السعي وراءه والمتمثل في فهم السبب وراء امتلاك الكون للخصائص التي يمتلكها. أتفهم جيدًا هذا الشعور، بصفتي واحد من علماء كثيرين عملوا طوال عقود من أجل تحقيق وعد نظرية الأوتار الجذاب المتمثل في حساب كل سمة أساسية قابلة للرصد من سمات الكون، بما في ذَلكَ أحجام ثوابت الطبيعة. فإذا تقبلنا أننا جزء من كون متعدد تتباين فيه بعض الثوابت، أو حتّى كلها، من كون إلى آخر، فهذا يعني أننا نتقبل أن هذا الهدف مضلل. فإذا كانت القوانين الجوهرية تسمح، مثلاً، لشدة القوة الكهرومغناطيسية بأن تمتلك قيمًا عديدة مختلفة عبر الكون المتعدد، حينها فإن فكرة حساب «الشدة» الأساسية ستصير عديمة المعنى، وكأننا نطلب من عازف بيانو أن يختار «النغمة» الوحيدة الأساسية.

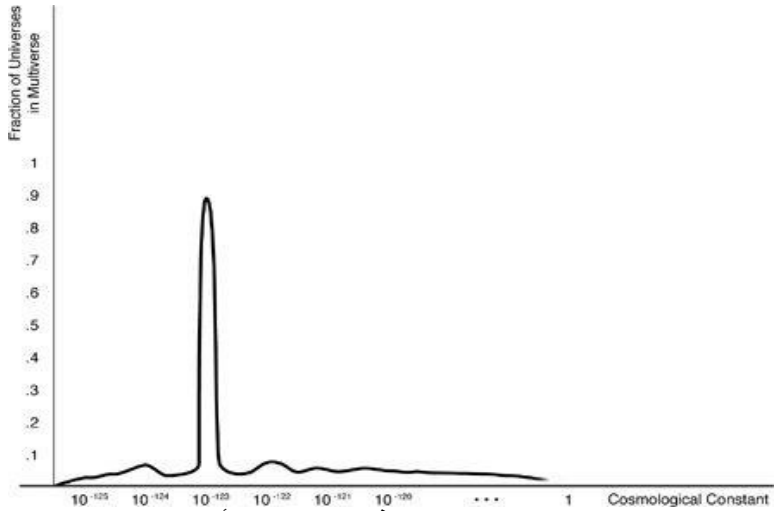
لكن ها هو السؤال: هل التباين في السمات يعني أننا نفقد كل قدرتنا على التنبؤ (أو التفسير اللاحق) بتلك السمات الجوهرية في كوننا؟ ليس بالضرورة. فرغم أن الكون المتعدد يقضي على التفرد، فمن الممكن الاحتفاظ بدرجة ما من درجات القدرة على التنبؤ. ويتعلق الأمر في النهاية بالإحصائيات.

فكر في الكلاب. لا تتسم الكلاب بأوزان متفردة. فهناك كلاب خفيفة الوزن للغاية، مثل الشيواوا، ويصل وزنها إلى رطلين وحسب، وفي المقابل هناك كلاب ثقيلة الوزن، مثل الماستيف الإنجليزي، ويزيد وزنها عن مائتي رطل. ولو أنني تحديتك أن تتنبأ بوزن الكلب التالي الذي يمر في الشارع فقد يبدو أن أفضل ما يمكنك عمله هو اختيار أي رقم عشوائي يقع ضمن النطاق الذي ذكرته في العبارة السابقة. لكن إذا امتلكتَ مزيداً من المعلومات ستتمكن من إصدار تخمين أدق. ولو أنك اطلعتَ على بيانات الكلاب الموجودة في منطقتك، بيانات على غرار عدد الأشخاص الذين يمتلكون هذه الفصيلة من الكلاب أو تلك، وتوزيع الأوزان في كل فصيلة، وربما حتّى معلومات عن عدد المرات التي تحتاج فيها كلاب كل فصيلة أن يصطحبها المالك للتمشية يوميًّا، سيكون باستطاعتك تخمين وزن الكلب الذي يرجح أن تقابله تاليًا. لن يكون ذَلكَ التنبؤ شديد الدقة، فالأفكار الإحصائية ليست كذلك عادة. لكن اعتماداً على توزيع الكلاب ربما تستطيع أن تفعل ما هو أفضل من مجرد اختيار رقم عشوائي. فإذا كانت منطقتك تتسم بتوزيع غير متكافئ بشدة، بحيث تنتمي نسبة 80 بالمائة من الكلاب إلى فصيلة لابرادور ريتريفر الذي يبلغ متوسط وزنه ستين رطلًا، بينما تتألف نسبة 20 بالمائة من طيف من الفصائل يتراوح بين التيرير الإسكتلندي والبودل التي يبلغ متوسط وزنها ثلاثين رطلًا، حينئذٍ يكون الوزن المتراوح بين خمسة وخمسين رطلًا وخمسة وستين رطلًا رهانًا جيدًا. ربما يكون الكلب التالي كلبًا صغيرًا زغبي الشعر من فصيلة تشيه تزو، لكنّ احتمالات ذَلكَ ضعيفة للغاية. وفي حالة التوزيعات التي تتسم بقدر أكبر من عدم التكافؤ ربما تكون تنبؤاتك أدق. فإذا كانت نسبة 95 بالمائة من الكلاب بالمنطقة تنتمي إلى فصيلة لابرادور ريتريفر التي يبلغ متوسط وزنها اثنين وستين رطلًا، حينها ستكون أكثر ثقة حين تتنبأ بأن الكلب التالي الذي سيمر ينتمي إلى هذه الفصيلة.

من الممكن تطبيق نهج إحصائي مشابه على الكون المتعدد. تخيل أننا ندرس نظرية من نظريات الكون المتعدد تسمح بوجود طيف واسع من الأكوان المختلفة؛ قيم مختلفة لشدة القوى، وخصائص الجسيمات، وقيم الثوابت الكونية وما إلى ذَلكَ. تخيل أيضاً أن العملية الكونية التي تشكلت بها تلك الأكوان (مثل خلق الفقاعات الكونية في كون المشهد المتعدد) مفهومة جيدًا بحيث يمكننا تحديد توزيع الأكوان، ذات

الخصائص المتباينة، عبر الكون المتعدد. من الممكن أن تمدنا هذه المعلومة برؤى شديدة الأهمية. من أجل توضيح الاحتمالات الممكنة، افترض أن حساباتك أنتجت توزيعًا بسيطًا معينًا: بحيث تتفاوت بعض الخصائص الفيزيائية تفاوتًا شاسعًا من كون إلى آخر في ما تظل خصائص أخرى كما هي. على سبيل المثال، تخيل أن الحسابات الرياضية كشفت عن أن ثمة مجموعة من الجسيمات يشيع وجودها في جميع الأكوان داخل الكون المتعدد، وأن كتلها وشحناتها لها القيم ذاتها في كل كون من هذه الأكوان. من شأن توزيع كهذا أن ينتج تنبؤات قوية للغاية. وإذا عجزت التجارب المجراة في كوننا المنفرد عن العثور على مجموعة الجسيمات المُتنبأ بوجودها، فسنستبعد النظرية، والكون المتعدد، وكل ذَلك. ومن ثمّ فإن المعرفة بهذا التوزيع تجعل مُقتَرح الكون المتعدد قابل للدحض. وعلى العكس، لو عثرت التجارب على الجسيمات المُتنبأ بوجودها، فمن شأن هذا أن يزيد ثقتنا في صحة النظرية[107].

وفي مثال مختلف، تخيل أن هناك كونًا متعددًا يتخذ الثابت الكوني داخله مجموعة شديدة التباين من القيم، غير أن هذا يحدث على نحو غير منتظم بالمرة، كما هو مبين في الرسم البياني بالشكل 7-1. يشير الخط البياني إلى نسبة الأكوان داخل الكون المتعدد (المحور الرأسي) التي يتخذ فيها الثابت الكوني قيمة معينة (المحور الأفقي). ولو كنا جزءًا من هذا الكون المتعدد، فمن شأن لغز الثابت الكوني أن يتخذ شكلًا مختلفًا تماماً. فغالبية الأكوان في هذا السيناريو لها ثابت كوني يقترب من ذَلكَ الذي قسناه داخل كوننا، ومن ثمّ فرغم أن نطاق القيم «الممكنة» هائل، فإن التوزيع المنحرف يشير ضمنًا إلى أن القيمة التي رصدناها لا تتسم بالخصوصية في شيء. ففي هذا الكون المتعدد لن يكون امتلاك كوننا قيمةً للثابت الكوني مقدارها -(123) مفاجأة، تماماً مثلما ليس من قبيل المفاجأة أن تقابل كلبًا من فصيلة لابرادور ريتريفر يزن اثنان وستين رطلًا. وفي ضوء التوزيعات ذات الصلة ستكون كل قيمة مرجحة الحدوث بالقدر عينه.



شكل 7-1: توزيع محتمل لقيم الثابت الكوني داخل كون متعدد افتراضي، يوضح أن التوزيعات شديدة الانحراف يمكن أن تجعل المشاهدات المحيرة ممكنة الفهم.

إليك بنسخة مغايرة للفكرة عينها. تخيل، في أي مقترح للكون المتعدد، أن قيمة الثابت الكوني تتباين تباينًا شاسعًا، لكن خلافاً للمثال السابق فإنها تتباين على نحو منتظم، بحيث إنّ عدد الأكوان التي تمتلك أي قيمة بعينها للثابت الكوني يظل مساويًا لعدد الأكوان التي تمتلك أي قيمة أخرى للثابت الكوني. لكن تخيل أيضاً أن دراسة دقيقة للكون المتعدد المقترح كشفت عن وجود سمة غير متوقعة لهذا التوزيع. ففي تلك الأكوان التي تقع فيها قيمة الثابت الكوني داخل النطاق الذي رصدناه، تبين الحسابات الرياضية وجود نوع معين من الجسيمات تكون كتلته أكبر من كتلة البروتون بخمسة آلاف مرة، مثلاً، وبذا يكون أثقل من أن ترصده معجلات الجسيمات المشيدة في القرن العشرين، لكنه يقع داخل نطاق قدرة المعجلات التي ستبنى في القرن الحادي والعشرين. وبسبب علاقة الارتباط الوثيقة بين هاتين السمتين الفيزيائيتين، تعد هذه النظرية الخاصة بالكون المتعدد قابلة للدحض هي الأخرى. فإذا فشلنا في العثور على النوع الثقيل المُتنبأ بوجوده من الجسيمات، فسنثبت خطأ نظرية الكون المتعدد المُقترحَة، بينما من شأن اكتشاف هذه الجسيمات أن يعزز ثقتنا في صحتها.

دعني أشدد على أن هذه السيناريوهات افتراضية، وأنني أستعين بها لأنها تلقي الضوء على وجه محتمل للرؤى العلمية والتحقق العلمي في سياق الكون المتعدد. وقدْ اقترحتُ سابقًا أنّه لو أدت نظرية من نظريات الكون المتعدد إلى إنتاج سمات قابلة للاختبار إضافة إلى التنبؤ بوجود أكوان أخرى، فمن الممكن - من حيث المبدأ - بناء حجة داعمة لها حتّى لو تعذر الوصول إلى هذه الأكوان الأخرى. وتوضح الأمثلة التي أوردتُها هذا المُقترَح. ففي هذه الأنواع من مقترحات الأكوان المتعددة تكون إجابة السؤال الذي يتصدر هذا القسم بالإيجاب على الدوام.

والسمة الجوهرية لهذه «الأكوان المتعددة المُتنبأ بوجودها» هي أنها ليست مؤلفة من مجموعة مجهولة من الأكوان المنفردة، بل عوضًا عن ذَلكَ فإن القدرة على إصدار تنبؤات تظهر تلقائيًّا نتيجة اتباع الكون المتعدد نمطًا رياضيًّا جوهريًّا: إذ إنّ السمات الفيزيائية موزعة عبر الأكوان المنفردة على نحو شديد الانحراف أو شديد الارتباط.

كيف لهذا أن يحدث؟ وإذا نحينا الإطار «النظري» جانبًا، فهل هذا يحدث فعلاً في نظريات الكون المتعدد التي قابلناها إلى الآن؟

التنبؤات داخل كون متعدد (2):
كفانا حديثاً من الناحية النظرية، ما موقفنا من الناحية العملية؟

يعتمد توزيع الكلاب داخل أي منطقة بعينها على طيف من العوامل المؤثرة، من بينها عوامل ثقافية ومالية، علاوة على المصادفة المحضة. وبسبب هذا التعقيد، لو أنك اعتزمت إصدار تنبؤات إحصائية فإن رهانك الأفضل سيتمثل في التغاضي عن التفكير في الكيفية التي تحقق بها أي توزيع معين للكلاب، وأن تستخدم وحسب البيانات ذات الصلة المأخوذة من هيئة ترخيص الكلاب المحلية. لكن للأسف الشديد ففي سيناريوهات الأكوان المتعددة لا وجود لهيئة مماثلة، لذا ليس هذا الخيار ممكنًا. فنحن مجبرون على الاعتماد على فهمنا النظري للكيفية التي نشأ بها أي كون متعدد بعينه، وذلك من أجل تحديد توزيع الأكوان التي يحتوي عليها.

يُعد كون المشهد المتعدد، الذي يعتمد على التضخم الأبدي ونظرية الأوتار، مثالًا جيدًا لهذا الأمر. ففي هذا السيناريو يتمثل المحركان المتلازمان اللذان يقفان خلف إنتاج الأكوان الجديدة في التمدد التضخمي وتأثير النفق الكمي. تذكر كيف يسير الأمر: إذ ينتقل كون آخذ في التضخم، يتوافق مع أحد الوديان في المشهد الطبيعي الوتري، وفق تأثير النفق الكمي عبر أحد الجبال المحيطة ويستقر داخل وادٍ آخر. يكتسب الكون الأولِ - الذي لهُ سمات محددة على غرار شدة القوى وخصائص الجسيمات وقيمة الثابت الكوني وما إلى ذَلك - الفقاعة المتمددة الخاصة بالكون الجديد (انظر الشكل 6-7)، مع مجموعة جديدة من السمات الفيزيائية، وتتواصل هذه العملية.

وبما أن عمليات الانتقال هذه لها طبيعة كمية، فإنها تتسم بالاحتمالية. فيستحيل عليك التنبؤ بمكان أو توقيت حدوث هذه العملية، لكن يمكنك التنبؤ باحتمالية وقوع حدث انتقال كمي في أي فترة زمنية بعينها واتجاه وقوعه؛ وهذه الاحتمالات تعتمد على السمات التفصيلية للمشهد الوتري، على غرار ارتفاع قمم الجبال المتعددة وعمق الوديان (أي قيمة الثابت الكوني الخاص بها). إن أحدث الانتقال الكمي ذات الاحتمالية الأعلى ستقع بوتيرة أعلى، وسوف يعكس التوزيع الناتج للأكوان هذا الأمر. تتمثل الاستراتيجية إذًا، في استخدام الحسابات الرياضية لعلم الكونيات التضخمي ونظرية الأوتار من أجل حساب توزيع الأكوان، ذات السمات الفيزيائية المتباينة، في أرجاء كون المشهد المتعدد.

المشكلة هنا هي أنّه لم يتمكن أحد من فعل هذا إلى الآن. ويشير فهمنا الحالي إلى وجود مشهد وتري خصب يحوي عدداً هائلاً من الجبال والوديان، وهو ما يجعل محاولة التوصل إلى تفاصيل الكون المتعدد الناتج تحديًا رياضيًّا شديد الصعوبة. وقدْ أسهمت الأعمال الرائدة لعدد من علماء الكونيات ونظرية الأوتار مساهمة كبيرة في فهمنا لهذا الأمر، لكنّ لا تزال هذه الدراسات في بداياتها[108].

ومن أجل التعمق في الأمر، يقترح أنصار نظرية الكون المتعدد إدخال عنصر مهم في هذا الخليط، وهو تدبر تأثيرات عملية الاختيار التي ناقشناها في الفصل السابق: ونعني بهذا المنطق الإنساني.

التنبؤات داخل كون متعدد (3):
المنطق الإنساني

داخل أي كون متعدد، من الحتمي أن يكون العديد من الأكوان خالياً من الحياة، وسبب ذَلكَ كما رأينا هو أن أي تغيرات في المؤشرات الأساسية عن قيمها المعروفة ينحو إلى الإخلال بالظروف المواتية لظهور الحياة[109].

فوجودنا ذاته يعني ضمناً أنّه من المستحيل أن نجد أنفسنا في أي من النطاقات غير الصالحة للحياة، ومن ثمّ لا يوجد سبب آخر يفسر عدم رؤيتنا لتوليفة الخصائص الخاصة بها. فإذا أشار مقترح ما لكون متعدد إلى وجود كون وحيد داعم للحياة، فسنكون نحن سعداء الحظ. فستتوصل إلى حساب الخصائص المكانية لذلك الكون رياضيًّا، ولو تبين أنها مختلفة عما قسناه في كوننا، حينها يمكننا استبعاد ذَلكَ المقترح الخاص بالكون المتعدد. أماً إذاً اتفقت الخصائص مع خصائصنا، فسنحظى حينها بتأكيد عظيم على نظرية الكون المتعدد الإنساني، وستكون لدينا أسباب البسط صورة الواقع الخاصة بنا.

وفي الحالة الأكثر ترجيحاً التي لا يتفرد فيها أحد الأكوان بدعم الحياة، أيد عددٌ من الباحثين النظريين (من بينهم ستيفن واينبرج وأندري لينده وألكسندر فايلكين وجورج إفستاتيو، وكثيرون غيرهم) نهجاً إحصائياً أكثر تقدماً. فبدلاً من حساب الاحتمالية النسبية لوجود أنواع متباينة من الأكوان داخل الكون المتعدد، فإنهم يقترحون حساب عدد القاطنين - يطلق عليهم الفيزيائيون اسم الراصدين - الذين سيجدون أنفسهم داخل أنواع متباينة من الأكوان. في بعض الأكوان ربما تكون الظروف ملائمة بالكاد للحياة، لذا سيكون عدد الراصدين قليلاً، بينما ستكون أكوان أخرى عامرة بالراصدين نظراً لأن الظروف بها أكثر ملاءمة للحياة. الفكرة هنا هي أنّه مثلما تتيح لنا بيانات إحصاء الكلاب التنبؤ بأنواع الكلاب المتوقع أن نقابلها، تتيح لنا بيانات إحصاء الراصدين التنبؤ بالخصائص التي يتوقع أي قاطن عادي في أي مكان بالكون المتعدد - أنت وأنا، وفق منطق هذا النهج - أن يراها.

في عام 1997 توصل واينبرج ومعاوناه هوجو مارتل وبول شابيرو إلى مثال ملموس لهذا الأمر؛ إذ حسبوا وفرة الحياة داخل كون متعدد تتباين فيه قيمة الثابت الكوني من كون إلى آخر، ما جعل هذه المهمة قابلة للأداء هو الاستعانة بالبديل الذي استحدثه واينبرج (الفصل السادس): فبدلاً من البحث عن الحياة ذاتها، درس هؤلاء الباحثون عملية تشكُّل المجرات. فوجود مجرات أكثر يعني وجود مجموعات شمسية أكثر، ومن ثمّ تزيد احتمالية وجود الحياة، الحياة الذكية تحديداً. وقدْ وجد واينبرج في عام 1987 أن من شأن أي ثابت كوني تافه القيمة أن يولد جاذبية مضادة تكفي للإخلال بعملية تشكل المجرات، وهو ما يجعل مناطق الكون المتعدد ذات الثوابت الكونية الصغيرة فقط هي الجديرة بالدراسة. كما أن الثابت الكوني ذا القيمة السالبة سيؤدي إلى انهيار الكون على ذاته قبل أن تتشكل المجرات، ومن ثمّ يمكن استبعاد هذه المناطق من التحليل بالمثل. ومن ثمّ يركز المنطق الإنساني انتباهنا على ذَلكَ الجزء من الكون الذي يقع فيه الثابت الكوني داخل هامش ضيق، وكما أوضحنا في الفصل السادس فإن الحسابات تبين أنّه كي يحتوي أي كون على مجرات، ينبغي أن يكون ثابته الكوني أقل من 200 ضعف الكثافة الحرجة (أي كتلة تعادل نحو 10^{-27}جرام لكل سنتيمتر مكعب من الفضاء، أو نحو 10^{-121} بوحدات بلانك)[110].

في الأكوان التي يقع فيها الثابت الكوني في هذا النطاق، اضطلع واينبرج ومارتل وشابيرو بحسابات أكثر تعقيداً، بحيث حددوا في كل كون من هذه الأكوان نسبة المادة التي ستتجمَّع معاً على مدار التطور الكوني، وهي خطوة محورية على الطريق نحو تشكُّل المجرات. وقدْ وجدوا أنّه لو اقترب الثابت الكوني

كثيراً من الحد الأقصى، فمن شأن كتل قليلة نسبيًّاً من المادة أن تتكون، لأن القوة الطاردة للثابت الكوني ستعمل عمل الرياح القوية، بحيث تعصف بالمادة المتراكمة وتشتتها. أماً لو كانت قيمة الثابت الكوني قريبة من الحد الأدنى، الصفر، فقد وجدوا أن كتلاً عديدة من المادة ستكون، لأن التأثير المزعزع للثابت الكوني يكون في حده الأدنى. وهذا يعني أن ثمة فرصة أكبر لوجودك في كون يقترب ثابته الكوني من الصفر، نظراً لأن كونا كهذا سيمتلك وفرة من المجرات، وحسب هذا المنطق ستكون فرص وجود الحياة به أكبر.

ثمة احتمالية ضعيفة أن نوجد في كون يقترب ثابته الكوني من الحد الأقصى،البالغ نحو 10^{-121}، لأن كونًا كهذا سيمتلك عدداً أقل بكثير من المجرات. وثمة احتمالية معقولة لأن نوجد في كون يقع ثابته الكوني في موقع متوسط بين هذين الطرفين القصويين.

وباستخدام النسخة الكمية من هذه النتائج، حسب واينبرج ومعاونوه النظير الكوني المقابلة كلب من فصيلة لابرادور يزن اثنين وستين رطلاً خلال جولة عادية في الحي؛ أي قيمة الثابت الكوني التي يقابلها الراصد العادي داخل الكون المتعدد. ماذا كانت الإجابة؟ أكبر قليلاً مما كشفت عنه قياسات المستعرات العظمى اللاحقة، لكنّها في النطاق نفسه بالتأكيد. وقدْ وجدوا أن ما يتراوح بين 1 في كل 10 إلى 1 في كل 20 من قاطني الكون المتعدد سيجد نفسه في كون يشبه كوننا، حيث تبلغ قيمة الثابت الكوني في كونه نحو 10^{-123}.

رغم أن النسبة الأعلى من ذَلكَ ستكون أكثر إرضاءً، فلا شك في أن النتيجة مذهلة. فقبل هذه العملية الحسابية كانت الفيزياء تواجه تبايناً بين النظرية والمشاهدات يزيد مقداره على 120 قيمة أسية، وهو ما كانَ يشير في وضوح إلى وجود خطأ كبير في فهمنا. غير أن نهج الكون المتعدد الذي اتبعه واينبرج ومعاونوه بيَّنَ أن العثور على حياة عاقلة في كون يتوافق ثابته الكوني مع القيمة المقدسة ليس مدعاة للدهشة، شأنه شأن مقابلة كلب من فصيلة تشبه تزو في حي تهيمن عليه كلاب من فصيلة لابرادور. بعبارة أخرى، ليس الأمر مدعاة للدهشة على الإطلاق. فبالتأكيد، عندَ النظر إلى الأمر من منظور الكون المتعدد هذا فإن القيمة المرصودة للثابت الكوني لا توحي بوجود نقص عميق في الفهم، وهذه خطوة مشجعة إلى الأمام.

ومع ذَلكَ فقد أكدت التحليلات التالية على جانب مثير للاهتمام يرى البعض أنّه يضعف هذه النتيجة. فعلى سبيل التبسيط، تصوّر واينبرج ومعاونوه أن في أرجاء الكون المتعدد كله وحدها قيمة الثابت الكوني هي التي تتغير من كون إلى آخر، بينما افترضوا ثبات كل المؤشرات الأخرى. وقدْ لاحظ ماكس تجمارك ومارتن ريس أنّه لو تباينت قيمة الثابت الكوني وكذلك، مثلاً، حجم التذبذبات الكمية في مرحلة الكون المبكر من كون إلى آخر، فمن شأن النتيجة أن تتغير. كما تذكر فإن التذبذبات هي البذور البدائية لعملية تشكُّل المجرات: فهي تموجات كمية دقيقة، تسبب التمدد التضخمي في استطالتها، وبذَا أنتجت مجموعة عشوائية من المناطق التي تكون فيها كثافة المادة أعلى أو أقل قليلاً من المتوسط. تمارس المناطق ذات الكثافة الأعلى قوة جذب أكبر على المادة القريبة منها ومن ثمّ تكبر أكثر في الحجم، وفي النهاية تشكل المجرات. وقدْ أوضح تجمارك وريس أنّه تماماً كما تستطيع كومات الأوراق الأكبر أن تتحمل عصف الرياح بشكل أفضل، باستطاعة البذور البدائية الأكبر أيضاً أن تتحمل الدفعة المزعزعة للثابت الكوني. وبهذا فمن شأن الكون المتعدد الذي تتباين فيه حجم البذور وقيمة الثابت الكوني أن يضم أكوانا تعادل فيها البذور الأكبر تأثير الثابت الكوني الأكبر، وهذا المزيج مواتٍ لعملية تشكُّل المجرات، ومن ثمّ ظهور الحياة. ومن شأن كون متعدد من هذا النوع أن يزيد قيمة الثابت الكوني التي يراها الراصد العادي وبذا يؤدي إلى انخفاض - حاد على الأرجح - في نسبة الراصدين الذين سيجدون أن ثابتهم الكوني لهُ تلك

القيمة الصغيرة التي قسناها.

إنّ الأنصار المتشددين لنظرية الكون المتعدد مغرمون بالإشارة إلى تحليل واينبرج ومعاونيه بوصفه نجاحاً للمنطق الإنساني. أماً المعارضون فمغرمون بالإشارة إلى القضايا التي أثارها تجمارك وريس بوصفها تجعل النتيجة الإنسانية أقل إقناعاً. وفي الحقيقة، لا يزال الوقت مبكراً على هذا الجدل. فهذه مجرد حسابات استكشافية أولية لا أكثر، يُنظَر إليها على النحو الأمثل بوصفها تلقي الضوء على النطاق العام للمنطق الإنساني. وفي ظل بعض الافتراضات المقيدة، تبين هذه الحسابات أن الإطار الإنساني يمكن أن يمضي بنا داخل نطاق القيم المقيسة للثابت الكوني، ولو أننا تحررنا من هذه القيود قليلاً، فستبين الحسابات أن حجم ذَلكَ النطاق سيزداد زيادة كبيرة. وهذه الحساسية تشير ضمناً إلى أن الحسابات الأدق للكون المتعدد ستتطلب فهماً أدق للخصائص التفصيلية التي تميز الأكوان التي يتألف منها ذَلكَ الكون المتعدد، وللكيفية التي تتباين بها، وبذا تحل التعليمات النظرية محل الافتراضات الاعتباطية. وهذا أمر ضروري لو أردنا للكون المتعدد أن يحظى بأي فرصة لتقديم نتائج حاسمة.

يعمل الباحثون بكد على تحقيق هذا الهدف، لكنهم لم يصلوا إليه حتّى يومنا هذا[111].

التنبؤات داخل كون متعدد (4):
ما الذي سيتطلبه الأمر؟

ما العوائق، إذاً التي سنحتاج إلى التغلب عليها قبل أن نتمكن من استخلاص تنبؤات من أي نظرية مقترحة للكون المتعدد؟ ثمة ثلاث عقبات رئيسية.

أولاً، وكما أوضحنا من خلال المثال الذي أوردناه للتو، يجب على مقترح الكون المتعدد أن يتيح لنا تحديد أي السمات الفيزيائية يتباين من كون إلى آخر، وبالنسبة لتلك الخصائص التي تتباين بالفعل، علينا أن نكون قادرين على حساب توزيعها الإحصائي عبر الكون المتعدد. ومن الضروري لعمل ذَلكَ فهم الآلية الكونية التي يمتلئ وفقها الكون المتعدد المقترح بالأكوان (على غرار آلية خلق الفقاعات الكونية في كون المشهد المتعدد). وهذه الآلية هي التي تحدد مدى شيوع أحد أنواع الأكوان نسبة إلى غيره، ومن ثمّ فإن هذه الآلية تحدد التوزيع الإحصائي للسمات الفيزيائية. وإذا حالفنا الحظ فإن التوزيعات الناتجة، سواء في الكون المتعدد كله أو في تلك الأكوان الداعمة للحياة، ستكون منحرفة بما يكفي بحيث تمنحنا تنبؤات حاسمة.

يأتينا تحدَّ ثان، لو كنا بالفعل في حاجة إلى الاعتماد على المنطق الإنساني، من الافتراض المحوري القائل بأننا نحن البشر لسنا متميزين في شيء داخل الكون. فربما تكون الحياة نادرة داخل الكون المتعددة، وربما تكون الحياة الذكية أشد ندرةً، غير أن الافتراض الإنساني يذهب إلى أنّه لا يوجد ما يميزنا وسط الكائنات الذكية، بحيث إنّ مشاهداتنا ينبغي ألاّ تختلف البتة عما ستراه الكائنات الذكية التي تقطن الكون المتعدد.

(أطلق ألكسندر فايلكين على هذا المبدأ اسم «مبدأ العاديَّة».) وإذا علمنا توزيع السمات الفيزيائية في أرجاء الأكوان الداعمة للحياة، فسنستطيع حساب مثل هذه المتوسطات. بيد أن افتراض العادية هذا افتراض شائك. فإذا بينت الأبحاث المستقبلية أن مشاهداتنا تقع في نطاق المتوسطات المحسوبة في أي كون متعدد بعينه، فمن شأن الثقة في مقدار ما نتسم به من عادية - والثقة في مقترح الكون المتعدد - أن تزداد. سيكون هذا أمراً مثيراً. لكنّ لو وقعت مشاهداتنا خارج نطاق المتوسطات فيمكن أن يكون هذا دليلاً على أن مقترح الكون المتعدد خاطئ، أو قد يعني أن موقعنا ليس عاديَّاً كما اعتقدنا. فحتى في منطقة تنتمي فيها نسبة 99 بالمائة من الكلاب إلى فصيلة لابرادور، سيظل ممكناً أن تقابل كلباً من فصيلة دوبرمان على نحو استثنائي. فالتفريق بين مقترح فاشل للكون المتعدد ومقترح ناجح يتسم فيه كوننا بشيء من الاستثنائية ربما يكون أمراً صعباً[112].

من المرجح أن يتطلب تحقيق التقدم في هذه القضية فهماً أفضل للكيفية التي تنشأ بها الحياة الذكية في أي كون متعدد بعينه، وفي ضوء هذه المعرفة سنتمكن على الأقل من استيضاح إلى أي مدى يتسم تاريخنا التطوري إلى الآن بالعاديَّة. وهذا، بطبيعة الحال، تحدٍّ عظيم. فحتى وقتنا الحالي تجنب المنطق الإنساني في غالبيته هذه القضية بالكامل عن طريق اللجوء إلى افتراض واينبرج؛ القائل بأن عد صور الحياة الذكية في أي كون يتناسب طردياً مع عدد المجرات داخله. فعلى حد علمنا، تحتاج الحياة الذكية إلى كوكب دافئ، وهذا بدوره يحتاج إلى نجم، وفي المعتاد يكون النجم جزءاً من مجرة، ومن ثمّ توجد أسباب تدعونا إلى الاعتقاد في صحة نهج واينبرج. لكنّ نظراً لأن فهمنا لأصلنا ذاته لا يزال في بداياته، يظل هذا الافتراض غير محسوم. ومن أجل تحسين حساباتنا، نحتاج إلى فهم تطور الحياة الذكية على نحو أفضل من هذا كثيراً.

العائق الثالث يسهل شرحه، لكنّ على المدى البعيد قد يكون آخر العوائق التي يمكن التغلب عليها، وهو يتعلق بالقدرة على تقسيم اللانهائية.

تقسيم اللانهائية

من أجل فهم المشكلة، لنعد إلى مثال الكلاب. لو كنت تعيش في منطقة يقطنها ثلاثة كلاب من فصيلة لابرادور وكلب واحد من فصيلة داشهند، عندئذٍ لو تجاهلنا بعض التفاصيل المعقدة على غرار عدد المرات التي تحتاج فيها الكلاب إلى التمشية، ستجد أن من الأكثر ترجيحاً بثلاثة أضعاف أن تقابل كلا من فصيلة لابرادور. والأمر عينه يسري لو كانَ بالمنطقة 300 كلب لابرادور 100 كلب داشهند، أو 3 آلاف كلب لابرادور وألف كلب داشهند، أو 3 ملايين كلب لابرادور ومليون كلب داشهند، وهكذا دواليك. لكنّ ماذا لو كانت هذه الأعداد كبيرة إلى درجة لا نهائية؟ كيف لك أن تقارن بين عدد لا نهائي من كلاب فصيلة داشهند بعدد لا نهائي أكبر بثلاثة أضعاف من كلاب فصيلة لابرادور؟ رغم أن هذا يبدو أشبه بالمسائل الرياضية المعقدة التي تعذب الأطفال ذوي السبعة أعوام، فإن هناك سؤال حقيقي هنا. فهل حاصل ضرب اللانهائية في ثلاثة أكبر من اللانهائية المعتادة؟ ولو كانَ الأمر كذلك، فهل هذا الحاصل أكبر بثلاثة أضعاف؟

إنّ المقارنات التي تتضمن أعداداً ضخمة لا نهائية معروف عنها أنها صعبة التناول للغاية. في حالة الكلاب الموجودة على الأرض، بالطبع، لا تظهر هذه الصعوبة، لأن عدد الكلاب متناهي. لكنّ في حالة الأكوان التي تؤلف أكواناً متعددة معينة، يمكن أن تكون المشكلة حقيقية. تدبر مثلاً الكون المتعدد التضخمي. لو أننا نظرنا إلى قالب الجبن السويسري بالكامل من منظور خارجي مُتخيَّل، سنرى أنّه يواصل النمو وإنتاج أكوان جديدة بلا نهاية. هذا هو ما تعنيه كلمة «الأبدي» في مصطلح «التضخم الأبدي». علاوة على ذَلكَ فعند النظر إلى هذا الكون من الداخل، رأينا أن كل فقاعة كونية تضم هي الأخرى عدداً لا نهائياً من النطاقات المنفصلة، التي تملأ كوناً متعدداً منسوجاً. وعند استخلاص التنبؤات من الحتمي أن نجد أنفسنا بصدد عدد لا نهائي من الأكوان.

من أجل استيعاب حجم هذا التحدي الرياضي؛

تخيل أنك تتنافس في برنامج الألعابLet's make a Deal (لنعقد صفقة)، وأنك فزت بجائزة غير عادية: مجموعة لا نهائية من الأظرف، يحتوي أولها على دولار واحد، والثاني على دولارين، والثالث على ثلاثة دولارات، وهكذا دواليك. وبينما يتصايح الجمهوريتدخل مونتي (مقدم البرنامج) ويقدم لك عرضاً آخر. فإما تحتفظ بجائزتك كما هي، أو أن تجعله يضاعف محتويات كل ظرف. من الوهلة الأولى يبدو من البديهي أن تقبل بالصفقة. تفكر: «كل ظرف سوف يحتوي على أموال أكثر مقارنة بالعرض الأول، لذا من المؤكد أن هذا هو القرار السليم» ـ فمن المنطقي تماماً الاستعاضة عن خمسة أظرف تحتوي على دولار واحد، ودولارين، وثلاثة دولارات، وأربعة دولارات، وخمسة دولارات بخمسة أظرف أخرى تحتوي على دولارين، وأربعة دولارات، وستة دولارات، وثمانية دولايات، وعشرة دولارات. لكنّ بعد لحظة من التفكير تبدأ في التردد؛ لأنك تدرك أن الحالة اللانهائية ليست واضحة المعالم. تفكر: «لو أني قبلت العرض، سينتهي بي المطاف بالحصول على أظرف تحتوي على دولارين، وأربعة دولارات، وستة دولارات، وهكذا، على امتداد كل الأعداد الزوجية. لكنّ في الوقت الحالي، تحتوي الأظرف الخاصة بي على جميع الأعداد الكاملة، الزوجي منها والفردي. لذا يبدو أنني لو قبلت الصفقة فسوف أزيل بهذا مبالغ الدولارات الفردية من الحاصل الإجمالي، وهذا لا يبدو تصرفاً حصيفاً». يراودك شعور بالارتباك. فعند المقارنة ظرف بظرف، تبدو الصفقة جيدة. لكنّ عندَ مقارنة الحاصل الإجمالي لهذا العرض وذاك، تبدو الصفقة سيئة.

توضح معضلتك نوعية المأزق الرياضي الذي يجعل من الصعب المقارنة بين مجموعات لا نهائية.

يتململ الجمهور، وعليك أن تتخذ قراراً، غير أن تقييمك للصفقة يعتمد على الطريقة التي تقارن بها بين المحصَّلتين.

ثمة حيرة مشابهة تكتنف المقارنات الخاصة بسمة أبسط لهاتين المجموعتين: عدد الأعداد التي تحويها كل مجموعة منهما. يوضح مثال برنامج المسابقات هذا الأمر أيضاً. أيهما أكثر عدداً: الأعداد الكاملة أم الأعداد الزوجية؟ سيذهب أغلب الناس إلى أن الأعداد الكاملة أكثر عدداً، نظراً لأن الأعداد الزوجية تشكل نصف الأعداد الكاملة. غير أن ذَلكَ الموقف الذي مررت به مع مونتي يمنحك رؤية أفضل. تخيل أنك قبلت عرض مونتي وانتي بك المطاف بالحصول على أعداد زوجية فقط من الدولارات. حين تفعل هذا فإنك لن تعيد أي أظرف أو تأخذ أظرف جديدة، نظرا لأن كل ما سيفعله مونتي هو مضاعفة المبلغ الموجود داخل كل ظرف لديك. ومن ثمّ فإنك تخلص إلى أن عدد الأظرف المطلوب لاستيعاب جميع الأعداد الكاملة يساوي عدد الأظرف المطلوب الاستيعاب جميع الأعداد الزوجية؛ فلا يوجد فارق بين المجموعتين في عدد الأظرف (الجدول 7-1). وهذا أمر عجيب. فوفق إحدى طرق المقارنة - معاملة الأعداد الزوجية بوصفها مجموعة فرعية من الأعداد الكاملة - خلصت إلى أن عدد الأعداد الكاملة أكبر. ووفق طريق مقارنة مختلفة - حساب عدد الأظرف المطلوب لاستيعاب أعضاء كل مجموعة - خلصت إلى أن مجموعة الأعداد الكاملة ومجموعة الأعداد الفردية متساويتان تماماً.

الأعداد الكاملة	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
الأعداد الزوجية	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2

جدول 7-1: كل عدد من الأعداد الكاملة مقترن بعدد زوجي، والعكس بالعكس، وهو ما يشير إلى أن عدد المجموعتين متساوي.

بل إنّ بإمكانك أن تقنع نفسك أن عدد الأعداد الزوجية يزيد على عدد الأعداد الكاملة. تخيل أن مونتي عرض عليك مضاعفة المال الموجود في كل ظرف أربع مرات، وبذا يكون لدينا في الظرف الأول 4 دولارات، وفي الثاني 8، وفي الثالث 12 دولاراً، وهكذا دواليك. ومجدداً، بما أن عدد الأظرف المشارك في الصفقة سيظل كما هو، يقترح هذا أن كمية الأعداد الكاملة، التي بدأتْ منها الصفقة، مساوية للأعداد التي تقبل القسمة على 4 (الجدول 7-2)، التي انتهت إليها الصفقة. غير أن هذه المزاوجة، أي مقابلة كل عدد كامل بعدد يقبل القسمة على 4، تخلف مجموعة لا نهائية من الأعداد الزوجية التي لا تقبل القسمة على 4 – أعداد مثل 2، و6، و10، وما إلى ذَلكَ - ومن ثمّ يشير هذا في ما يبدو إلى أن الأعداد الزوجية أكثر وفرة من الأعداد الكاملة.

الأعداد الكاملة	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
الأعداد الزوجية المضاعفة مرتين	40	36	32	28	24	20	16	12	8	4

جدول 7-2: كل عدد من الأعداد الكاملة يقابله عدد من الأعداد الزوجية التي تقبل القسمة على 4، وهذا يخلف لدينا مجموعة لا نهائية من الأعداد الزوجية التي لا تقبل القسمة على 4، وهو ما يشير إلى أن عددها يفوق عدد الأعداد الكاملة.

وفق أحد المنظورات، عدد الأعداد الزوجية أقل من عدد الأعداد الكاملة، ومن منظور آخر العددان متساويان، ومن منظور ثالث، عدد الأعداد الزوجية أكبر من عدد الأعداد الكاملة. ليس الأمر أن إحدى التيجتين صحيحة والأخرى خاطئة، فببساطة لا توجد إجابة مطلقة للسؤال المتعلق بأي هذه الأنواع من المجموعات اللانهائية أكبر من غيره. فالنتيجة التي ستتوصل إليها تعتمد على الطريقة التي تُجري بها المقارنة[113].

هذا يثير معضلة أمام نظريات الكون المتعدد. كيف لنا أن نحدد ما إذاً كانت المجرات والحياة أكثر وفرة في ذَلكَ النوع من الأكوان أو غيره، رغم أن عدد الأكوان محل الاعتبار عددٌ لا نهائي؟ فالحيرة عينها التي واجهناها للتو ستصيبنا بنفس القوة، ما لم تنتقي الفيزياء قاعدة دقيقة تُجرى المقارنات على أساسها. قدَّمَ الباحثون النظريون بعض المقترحات، بها عمليات مزاوجة شبيهة بتلك الموضحة في الجدولين، والتي تظهر من أحد الاعتبارات الفيزيائية أو آخر، لكنّ إلى الآن لم يُشتَق إجراء حاسم مُتفق عليه. وكما في حالة المجموعات اللانهائية من الأعداد، تؤدي الأساليب المختلفة إلى نتائج مختلفة. فوفق إحدى طرق المقارنة، الأكوان ذات مجموعة معينة من الخصائص تكون لها الاحتمالية، ووفق طريقة بديلة تكون الاحتمالية الأكوان ذات مجموعة مختلفة من الخصائص.

لهذه الحيرة تأثير بالغ على ما نستنتجه بشأن الخصائص العامة أو المعتادة في أي كون متعدد بعينه. يطلق على هذا اسم «مشكلة القياس»، وهو مصطلح رياضي تتضح طبيعته جيدا من اسمه. إننا بحاجة إلى وسيلة لقياس أحجام المجموعات اللانهائية المختلفة من الأكوان. فهذه هي المعلومة التي نحتاج إليها من أجل إصدار التنبؤات. إنها المعلومة التي تحتاج إليها من أجل حساب احتمالية أننا نقطن في كون من نوع ما دون غيره. وإلى أن نجد القول الفصل في كيفية مقارنة مجموعات الأكوان اللانهائية بعضها ببعض، فلن نتمكن من أن نتنبأ رياضيا بما ينبغي لقاطني الكون المتعدد العاديين - نحن - أن يرونه في التجارب والمشاهدات. ومن الحتمي حل هذه المشكلة.

حجة معارضة أخرى

تحدثتُ عن مشكلة القياس في القسم الخاص بها ليس فقط لأنها تمثل عائقاً كبيراً يحول دون التنبؤ، ولكن أيضاً لأنها قد تؤدي إلى نتيجة أخرى مزعجة. لقد أوضحت في الفصل الثالث لماذا صارت النظرية التضخمية النموذجَ الكوني السائد. فدفعة التمدد السريع التي حدثت خلال اللحظات الأولى من عمر الكون أتاحت للمناطق البعيدة عن بعضها التواصل في ذَلِكَ الوقت المبكر، وهو ما يفسر درجة الحرارة المشتركة التي وجدناها من خلال القياسات، كما محا التمدد السريع أي انحناء مكاني، وهو ما جعل شكل الفضاء مستوياً، وهو ما يتفق مع مشاهداتنا، وأخيراً فإن هذا التمدد تسبب في تحويل التذبذبات الكمية إلى تفاوتات دقيقة في درجة الحرارة في أرجاء الفضاء، ومن الممكن قياس هذه التفاوتات في إشعاع الخلفية الميكروني الكوني كما أنها ضرورية العملية تشكَّل المجرات. كل هذه الأدلّة تعضد نظرية التضخم[114].

الغير أن نسخة التضخم الأبدي يمكن أن تتسبب في تقويض هذه النتيجة تماماً.

متى أصبح الأمر لهُ علاقة بعمليات كمية، فإن أفضل ما يسعنا عمله هو التنبؤ باحتمالية حدوث إحدى النتائج نسبةٌ إلى نتيجة أخرى. يعي الفيزيائيون التجريبيون هذا الأمر جيداً، ويجرون التجارب مراراً وتكراراً ويحصلون على كميات هائلة من البيانات التي يمكن إجراء التحليلات الإحصائية عليها. فإذا كانت ميكانيكا الكم تتنبأ بأن احتمالية حدوث إحدى النتائج مرجحة بمقدار عشر مرات مقارنة باحتمالية حدوث نتيجة أخرى، حينها من المفترض أن تعكس البيانات هذه النسبة. إنّ حسابات إشعاع الخلفية الميكروني الكوني، التي يُعد اتفاقها مع المشاهدات الدليل الأكثر إقناعاً على صحة نظرية التضخم، تعتمد أساساً على التذبذبات الكمية، ومن ثمّ فهي تتسم بالاحتمالية هي الأخرى. لكنّ خلافاً للتجارب المعملية، لا يمكن التحقق من هذه النتائج عن طريق إعادة الانفجار العظيم مراراً وتكراراً. فكيف يمكن تفسيرها إذاً؟

حسناً، لو خلصت الاعتبارات النظرية، مثلاً، إلى وجود احتمالية بنسبة 99 بالمائة بأن بيانات إشعاع الخلفية الميكروني ينبغي أن تتخذ صورة معينة دون أخرى، وإذا كانت النتيجة الأكثر ترجيحاً هي ما نراه نحن الراصدون، فعندئذٍ سنعتبر أن البيانات تدعم النظرية بقوة. السبب المنطقي وراء ذَلِكَ هو أنّه لو أنتجت مجموعة من الأكوان بفعل هذه الآلية الفيزيائية ذاتها، فإن النظرية تتنبأ بأن نسبة 99 بالمائة من هذه الأكوان ينبغي أن تبدو مثل الكون الذي نرصده، بينما تختلف نسبة 1 بالمائة عن ذَلِكَ اختلافاً شديداً. لو كانَ الكون المتعدد التضخمي يحتوي على مجموعة متناهية من الأكوان، فبوسعنا أن نخلص بسهولة إلى أن عدد الأكوان الشاذة التي تُنتِج فيها العمليات الكمية بيانات لا تتفق مع التوقعات يظل صغيراً للغاية بالمقارنة. لكنّ، كما في نظرية الكون المتعدد التضخمي، لو كانَ عدد الأكوان لانهائياً، سيكون حساب هذه الأعداد أصعب كثيراً. فما هي نسبة 99 بالمائة من اللانهائية؟ عدد لا نهائي. وما هي نسبة 1 بالمائة من اللانهائية؟ عدد لا نهائي. أي العددين أكبر؟ تحتاج الإجابة منا إلى مقارنة هاتين المجموعتين اللانهائيتين، وكما رأينا فإنه حتّى حين يبدو واضحاً أن إحدى المجموعتين اللانهائيتين أكبر من الأخرى، فإن النتائج التي ستتوصل إليها تعتمد أساساً على طريقة المقارنة.

سيذهب المعترضون إلى أنّه حين يكون التضخم أبداً، فإن التنبؤات ذاتها التي نستخدمها لبناء ثقتنا في النظرية ستقوض. فمن شأن كل نتيجة محتملة، مهما كانت غير مرجحة، تسمح بها الحسابات الكمية - سواء أكانت احتمالية كمية مقدارها 0.1 بالمائة، أم احتمالية كمية مقدارها 0.0001 بالمائة، أم احتمالية كمية مقدارها0.0000000001 بالمائة – أن تتحقق في عدد لا نهائي من الأكوان، وذلك لأن حاصل ضرب أي من هذه الأعداد في اللانهائية سيعطينا نتيجة لا نهائية. فمن دون وصفة محددة لمقارنة المجموعات اللانهائية سيستحيل علينا القول بأن إحدى مجموعات الأكوان أكبر من البقية، ومن ثمّ تمثل

النوعية المرجح أن نتواجد بها، وبهذا سنفقد القدرة على إصدار أي تنبؤات قاطعة.

سيرى الشخص المتفائل أن الاتفاق المذهل بين الحسابات الكمية في علم الكونيات التضخمي وبين البيانات، كما في الشكل 3-5، يجب أن يعكس حقيقة أعمق. ففي حالة وجود عدد متناهي من الأكوان والراصدين، تتمثل الحقيقة العميقة في أن الأكوان التي تنحرف فيها البيانات عن التنبؤات الكمية - تلك التي لها نسبة احتمالية كمية مقدارها 0.1 بالمائة، أو احتمالية كمية مقدارها 0.0001 بالمائة، أو احتمالية كمية مقدارها 0.0000000001 بالمائة - هي نادرة الوجود بالفعل، ولهذا السبب فإن سكان الكون المتعدد الطبيعيين، أمثالنا، لا يجدون أنفسهم يعيشون داخل أحد هذه الأكوان. أماً الشخص المتشائم فسيرى أنّه في ظل وجود عدد لا نهائي من الأكوان، فإن الحقيقة العميقة يجب أن تتمثل في أن ندرة الأكوان المتشابهة لا تزال قائمة، وإن كنا لا نعلم بعد كيفية إثبات ذَلكَ. ونتوقع أن نتمكن يوماً ما من اشتقاق مقياس ما، وسيلة قاطعة لمقارنة المجموعات اللانهائية من الأكوان، وأن هذه الأكوان التي تظهر نتيجة انحرافات كمية نادرة ستكون لها حصة ضئيلة مقارنة بتلك التي تظهر بفعل النتائج الكمية الأكثر ترجيحاً. يظل تحقيق هذا الأمر تحدياً صعباً، لكنّ غالبية الباحثين في هذا المجال مقتنعون بأن الاتفاق الوارد في الشكل 3-5 يعني أننا سننجح في ذَلكَ ذات يوم[115].

ألغاز وأكوان متعددة:

هل باستطاعة الكون المتعدد أن يمدنا بقدرة تفسيرية ليس بوسعنا امتلاكها من دونه؟

لا شك في أنك لاحظت أن حتّى أكثر التقديرات تفاؤلاً تشير إلى أن التنبؤات الناتجة عن إطار عمل الكون المتعدد ستكون لها سمة مختلفة عن تلك التي نتوقعها تقليدياً من الفيزياء. إنّ بدارية حضيض عطارد، والعزم المغناطيسي المزدوج للإلكترون، والطاقة المنبعثة من نواة اليورانيوم التي انقسمت إلى باريوم وكريبتون، كل هذه تنبؤات. وهي تنتج عن حسابات رياضية تفصيلية مبنية على نظرية فيزيائية متماسكة، وتُنتِج أعداداً دقيقة قابلة للاختبار. وقدْ جرى التحقق من صحة هذه الأعداد تجريبياً. فعلى سبيل المثال، تؤكد الحسابات أن العزم المغناطيسي للإلكترون يساوي 2.0023193043628، بينما كشفت القياسات عن أنّه يساوي 2.0023193043622. وبهذا فقد أكدت التجارب صحة النظرية بدقة تزيد على جزء واحد من 10 مليار جزء من موقفنا الحالي، يبدو أن تنبؤات الكون المتعدد لن تصل مطلقاً إلى هذا المستوى من الدقة. فوفق أدق السيناريوهات ربما نتمكن من التنبؤ بأنه «من المرجح بقوة» وقوع الثابت الكوني، أو شدة القوة الكهرومغناطيسية، أو كتلة الكوارك العلوي، داخل نطاق معين من القيم. لكنّ كي نفعل ما هو أفضل من ذَلكَ يجب أن نكون محظوظين على نحو استثنائي. فبالإضافة إلى حل مشكلة القياس، سنحتاج إلى أن نكتشف نظرية مقنعة للكون المتعدد ذات احتمالات تتسم بالانحراف الشديد (مثل الاحتمالية البالغة 99.9999 بالمائة بأن يجد الراصد نفسه في كون لهُ ثابت كوني مساو للقيمة التي نقيسها) أو علاقات ارتباط وثيقة على نحو استثنائي (مثل وجود الإلكترون فقط في كون يساوي ثابته الكوني 10^{-123}). إذاً لم يتسم مقترح الكون المتعدد بهذه السمات المواتية، فسيفتقر إلى الدقة التي ميزت الفيزياء عن غيرها من المجالات منذ وقت طويل. وفي نظر بعض الفيزيائيين هذا ثمن فادح غير مقبول.

تبنيتُ أنا أيضاً هذا الموقف لبعض الوقت، لكنّ تغير رأيي تدريجياً. فمثل غيري من الفيزيائيين أفضل التنبؤات الدقيقة القاطعة التي لا لبس فيها. غير أنني أدركت، وكذلك كثيرون غيري، أنّه رغم أن بعض السمات الأساسية للكون تتلاءم مع مثل هذه التنبؤات الرياضية الدقيقة، فإن البعض الآخر ليس كذلك، أو على الأقل من الممكن منطقياً أن توجد سمات خارجة عن نطاق التنبؤ الدقيق. ومنذ منتصف ثمانينيات القرن العشرين، حين كنت طالب دراسات عليا يافعاً أعمل على نظرية الأوتار، كانَ ثمة توقّع عريض بأن هذه النظرية ستتمكن يوماً ما من تفسير قيم كتل الجسيمات، وشدة القوى، وعدد الأبعاد المكانية، وتقريباً كل سمة فيزيائية أخرى أساسية. وما يزال الأمل يحدوني في أن نصل إلى هذا الهدف ذات يوم. غير أنني أدركت أيضاً أن من الصعب للغاية على معادلات أي نظرية أن تنتج عدداً يشبه كتلة الإلكترون (وتبلغ 0.00000000000000000000000091095 بوحدات كتلة بلانك) أو كتلة الكوارك العلوي (وتبلغ 0.00000000000000000632 بوحدات كتلة بلانك). وحين يتعلق الأمر بالثابت الكوني يبدو التحدي هائلاً بحق. فبعد بضع صفحات من المعادلات وبضعة ميجا واط من القدرة الحاسوبية المخصصة المعالجة البيانات أنتجت عملية حسابية العدد الذي ورد في الفقرة الأولى من الفصل السادس، الأمر ليس مستحيلاً إذاً لكنه يستنزف مخزون التفاؤل لدى أشد الأشخاص تفاؤلاً. بالتأكيد لا تبدو نظرية الأوتار أنها أقرب إلى حساب أي من هذه الأعداد اليوم مما كانت عليه حين بدأتُ العمل عليها، لكنّ هذا لا يعني أنها، أو أي نظرية مستقبلية أخرى، ستعجز عن تحقيق ذَلكَ. ربما يحتاج الشخص المتفائل إلى أن يمتلك خيالاً أشد جموحاً. لكنّ في ظل ما نعرفه عن الفيزياء اليوم فمن المنطقي أن نتدبر سبلاً جديدة. وهذا ما تفعله نظريات الكون المتعدد.

في أي مقترح مكتمل من مقترحات الكون المتعدد يوجد تحديد تام للسمات الفيزيائية التي تحتاج إلى

التعامل معها على نحو يختلف عن الممارسة المعتادة: ونعني بهذا تلك السمات التي تتباين من كون إلى آخر. وهذا هو مصدر قوة الأسلوب المتبع. فأي نظرية من نظريات الكون المتعدد تحدد بوضوح أي الألغاز الموجودة في سياق الكون المنفرد يستمر في الوجود داخل سياق الكون المتعدد وأبيها لا يستمر. ويُعد الثابت الكوني أحد أبرز الأمثلة لذلك. فإذا كانت قيمة الثابت الكوني تتباين داخل أرجاء الكون المتعدد، بحيث يحدث هذا على نحو تراكمي دقيق، فإن ما كنا نعتبره أمراً شديد الغموض من قبل - قيمته - لن يصير كذلك. فمثلما هو من المؤكد أن يحتوي متجر الأحذية العامر بجميع المقاسات على حذاء مناسب لك، من المؤكد أن يحتوي الكون المتعدد الممتد على أكوان تساوي فيها قيمة الثابت الكوني القيمة التي قسناها. وبهذا يمكن للكون المتعدد أن يفسر ببساطة ذَلكَ اللغز الذي حاولت أجيال من العلماء حلّه بمشقة بالغة. فمن شأن نظريات الكون المتعدد أن تبين أن ثمة قضية تبدو عميقة ومحيِّرة ظهرت إلى السطح نتيجة افتراض مضلل يقضي بأن الثابت الكوني لهُ قيمة متفرَّدة. وبهذا المعنى تستطيع أي نظرية من نظريات الكون المتعدد منحنا قدرة تفسيرية كبيرة، ومن الممكن أن تؤثر تأثيراً عميقاً على مسار البحث العلمي.

ينبغي التعامل مع هذا المنطق بحذر. فماذا لو كانَ نيوتن، بعد سقوط التفاحة، قد فكر أننا جزء من كون متعدد يسقط فيه التفاح إلى الأسفل في بعض الأكوان، بينما يسقط إلى الأعلى في البعض الآخر، ومن ثمّ فإن سقوط التفاحة يخبرنا ببساطة عن نوعية الكون الذي نقطنه، من دون الحاجة إلى مزيد من الدراسة؟ أو ماذا لو خلص نيوتن إلى أنّه في كل كون يسقط بعض التفاح إلى الأسفل بينما يسقط البعض الآخر إلى الأعلى، وأن سبب رؤيتنا للتفاح الساقط إلى الأسفل هو الحقيقة البيئية التي تقضي بأن التفاح الساقط إلى الأعلى في كوننا غادر بالفعل سطح الكوكب وغاص في الفضاء العميق؟ هذا مثال سخيف بطبيعة الحال - فلم يكن ثمة أي سبب، نظري أو غيره، يدعو إلى مثل هذا التفكير - لكنّ النقطة التي يثيرها جديرة بالتدبر. فعن طريق الاستعانة بفكرة الكون المتعدد، يمكن أن يتسبب العلم في إضعاف الدافع نحو استيضاح بعض ألغاز بعينها، رغم أن بعض تلك الألغاز ربما تكون لهُ تفسيرات عادية ليست لها علاقة بمفهوم الكون المتعدد. فبينما كانَ كل المطلوب هو العمل الجاد والتفكير العميق، فربما نفشل بدلاً من ذَلكَ في مقاومة إغراء نظريات الكون المتعدد ونتخلى بشكل دائم عن الأساليب التقليدية.

ويوضح ذَلكَ الخطر المحتمل لماذا ينفر بعض العلماء من التفكير القائم على مفهوم الكون المتعدد. وهو كذلك السبب وراء ضرورة أن يكون أي مقترح للكون المتعدد نابعاً بقوة من النتائج النظرية، ويجب أن يحدد بدقة طبيعة الأكوان التي يتألف منها ذلك الكون المتعدد. فعلينا أن نتحلى بالحرص والحذر في خطواتنا. وفي المقابل فمن الخطورة بالمثل التخلي عن فكرة الكون المتعدد لأنها قد تقودنا نحو طريق مظلم. فإذا فعلنا هذا فربما نشيح بأنظارنا بعيدًا عن واقع عالمنا.

الفصل الثامن
العوالم المتعددة للقياس الكمي
الكون المتعدد الكمي

يذهب التقييم الأكثر منطقية لنظريات الأكوان المتعددة التي قابلناها حتى الآن إلى أن الأمر لا يزال محل أخذ ورد. فأفكار مثل الحيز المكاني اللامتناهي والتضخم الأبدي وعوالم الأغشية وعلم الكونيات الدوري ومشهد نظرية الأوتار، كلها أفكار مثيرة للاهتمام ظهرت نتيجة عدد من التطورات العلمية. لكن تظل جميعها غير حاسمة، شأنها شأن مقترحات الكون المتعدد التي تنتج عن كل مقترح منها. ورغم أن كثيرًا من الفيزيائيين على استعداد لتقديم آرائهم، سواء مع أو ضد، بشأن مقترحات الكون المتعدد هذه، فإن أغلبهم يدرك أن الرؤى المستقبلية - النظرية والتجريبية والرصدية - سوف تجدد ما إذا كان أي من هذه المقترحات سيشكل جزءًا من الناموس العلمي أم لا.

إن الكون المتعدد الذي سنتناوله في هذا الفصل، والذي ينشأ عن ميكانيكا الكم، يُنظَر إليه على نحو مختلف. فقد وصل كثير من الفيزيائيين إلى حُكم نهائي بشأن هذا الكون المتعدد تحديدًا. لكن المشكلة تكمن في أنهم لم يصلوا جميعًا إلى الحُكم ذاته. وتتعلق الاختلافات بالمشكلة العميقة وغير القابلة للحل بعد والمتمثلة في الانتقال من الإطار المفاهيمي لميكانيكا الكم القائم على الاحتمالية إلى واقع الخبرة المشتركة المحدد والقاطع.

في عام 1954، وبعد نحو ثلاثين عاماً من وضع أسس نظرية الكم على يد رواد هذا المجال اللامعين مثل نيلز بور وفيرنر هايزنبرج وإرفين شرودنجر، توصل طالب دراسات عليا مغمور من جامعة برينستون يُدعى هيو إيفريت الثالث إلى كشف مذهل. وقد كشف تحليله، الذي ركز على سد الفجوة التي حاول بور - أحد أعظم أساطين ميكانيكا الكم - سدها من دون جدوى، عن أن الفهم الصحيح للنظرية ربما يتطلب وجود شبكة واسعة من الأكوان الموازية. لقد كانت رؤية إيفريت إحدى أوائل الرؤى ذات الأساس الرياضي التي تقترح أننا ربما نكون جزءًا من كون متعدد.

حظيَ نهج إيفريت، الذي صار يُطلَق عليه مع الوقت تفسير العوالم المتعددة لميكانيكا الكم، بتاريخ متقلب. ففي يناير 1956، وبعد أن توصل إيفريت إلى النتائج الحسابية لمُقترحه الجديد، قدم مسودة أطروحته إلى جون ويلر، المشرف على رسالة الدكتوراه. أعجب ويلر، أحد أشهر مفكري القرن العشرين في مجال الفيزياء، بالأطروحة إعجاباً شديدًا. لكن حين زار ويلر بور في شهر مايو في كوبنهاجن وناقش معه أفكار إيفريت، كان الاستقبال فاترًا. فقد أمضى بور وزملاؤه عقودًا في تنقيح نظرتهم لميكانيكا الكم. وفي نظرهم كانت المسائل التي أثارها إيفريت، والطرق غير التقليدية التي رأى أنّه ينبغي تناولها بها، لا تستحق الاهتمام.

كانَ ويلر يضع بور في مكانة عالية، ومن ثمّ فقد كان يولي أهمية شديدة لإرضاء زميله الأكبر سنًّا. واستجابة لهذا النقد، أرجأ ويلر منح الدكتوراه لإيفريت، وأرغمه على تعديل أطروحته تعديلًا كبيرًا، بحيث اقتطع إيفريت منها تلك الأجزاء التي كانت تتعارض مع منهجية بور وشدد على أن نتائجه كان مقصودًا منها إيضاح الصيغة التقليدية لنظرية الكم والاستفاضة فيها. قاوم إيفريت، لكنه كان قد قبل بالفعل وظيفة في وزارة الدفاع (وهناك سيلعب دورًا مهمًّا خلف الكواليس في سياسة الأسلحة النووية في إدارة الرئيسين أيزنهاور وكينيدي) وهذه الوظيفة تتطلب حصوله على الدكتوراه، لذا أذعن على مضض. وفي مارس عام 1957 قدَّم إيفريت نسخة مختصرة منقحة من أطروحته الأصلية، وفي أبريل قُبلت الأطروحة من جامعة برينستون بوصفها تفي بالمتطلبات المتبقية، وفي يوليو نُشرَت في مجلة Reviews of Modern Physics.[116] لكن بعد رفض نهج إيفريت في ميكانيكا الكم من جانب بور وبطانته، وإخفاء الرؤية الأكبر التي كان قد عبر عنه في أطروحته الأصلية، كان نصيب الورقة التجاهل[117].

بعد عشر سنوات، انتشل الفيزيائي الشهير برايس ديويت أبحاث إيفريت من غياهب النسيان. استقى ديويت الإلهام من النتائج التي توصل إليها نيل جراهام، طالب الدراسات العليا لديه، والتي طورت بشكل أكبر الصيغ الرياضية التي كان إيفريت قد توصل إليها، وصار ديويت مناصرًا متحمسًا لرؤية إيفريت في نظرية الكم. وإلى جانب نشر عدد من الأوراق الفنية التي عرضت أفكار إيفريت على مجموعة صغيرة لكن مؤثرة من المتخصصين، كتب ديويت في عام 1970 ملخصًا عامًّا لمجلة Physics Today وصل إلى جمهور علمي أعرض. وعلى العكس من ورقة إفريت المقدمة عام 1957، والتي تحاشت الحديث عن العوالم الأخرى، شدد ديويت على هذه السمة وأبرزها موضحًا «صدمته» حين علم بالنتيجة التي خلص إليها إيفريت والتي تقضي بأننا جزء من «عالم متعدد» هائل. ولَّد المقال استجابة قوية في مجتمع الفيزياء الذي صار أكثر ترحيبا لتعديل الأيديولوجية الكمية التقليدية وأشعل جدالًا، لا يزال دائرًا إلى الآن، حول طبيعة الواقع حين تكون الهيمنة لقوانين الكم، وهو ما نؤمن أنه الحال بالفعل.

دعونا نمهد الساحة أولًا.

إن ثورة الفهم التي حدثت بين عامي 1900 و1930 تقريبًا نتج عنها هجوم شرس على الحدس والحس المنطقي والقوانين المقبولة، لدرجة أن الطليعة الجديدة سريعًا ما بدأت في استخدام التسمية «الفيزياء الكلاسيكية»؛ وهو مصطلح يحمل الثقل والاحترام الممنوحين لصورة الواقع التي كانت تتسم فيما مضى بأنها مهيبة وواضحة ومُرضية وقابلة للتنبؤ بها. فإذا أخبرتني بالكيفية التي عليها الأمور الآن سأستخدم قوانين الفيزياء الكلاسيكية من أجل التنبؤ بما ستكون عليه الأمور في أي لحظة من المستقبل، أو الكيفية التي كانت عليها في الماضي. إن أمورًا دقيقة مثل الفوضى (بالمعنى الفني المتخصص يعني هذا المصطلح أن التغيرات الدقيقة في الكيفية التي عليها الأشياء الآن يمكن أن تؤدي إلى أخطاء هائلة في التنبؤات) وتعقيد المعادلات تتحدى قابلية هذا البرنامج للتطبيق في كل المواقف ما خلا أبسطها، غير أن القوانين نفسها ثابتة وتُحكِم قبضتها إحكامًا على الماضي والمستقبل.

استلزمت الثورة الكمية منا أن نتخلى عن المنظور الكلاسيكي لأن النتائج الجديدة أكدت أنه خاطئ بكل وضوح. بالنسبة لحركة الأجسام الكبيرة، كالأرض والقمر، أو الأجسام المألوفة كالصواريخ والكرات، تجيد القوانين الكلاسيكية عمليتي التنبؤ والوصف. لكن حين ننتقل إلى العالم فائق الصغر الخاص بالجزيئات والذرات والجسيمات دون الذرية، فإن القوانين الكلاسيكية تفشل. فعلى نحو يتناقض تمامًا مع جوهر منطق الفيزياء الكلاسيكية، لو أنك أجريت التجارب عينها على جسيمات متطابقة مهيأة بالطريقة ذاتها، ففي العموم لن تحصل على نتائج متطابقة.

تخيل، مثلًا، أن لديك مائة صندوق كلها متماثلة، وكل منها يحوي إلكترونًا واحدًا، وجرى تهيئتها كلها وفق إجراء معملي متطابق. بعد مرور نحو عشر دقائق، تقيس أنت و99 زميل لك مواضع كل إلكترون من الإلكترونات المائة. وخلافًا لما كان سيتوقعه نيوتن أو ماكسويل أو حتى آينشتاين في بداياته - ربما إلى درجة المراهنة بحياتهم عليه - فإن عمليات القياس المائة لن تؤدي إلى النتائج عينها. ففي الواقع، ستبدو النتائج من الوهلة الأولى عشوائية تمامًا، بحيث نجد بعض الإلكترونات قرب الركن الأمامي الأيسر السفلي للصندوق، بينما البعض قرب الركن الخلفي الأيمن العلوي، والبعض الآخر في المنتصف، وهكذا دواليك.

إن أوجه الانتظام والأنماط التي تجعل الفيزياء علمًا صارمًا قابلًا للتنبؤ تصير ظاهرة فقط إذا أجريت هذه التجربة على مائة إلكترون داخل صناديق مرارًا وتكرارًا. ولو أنك فعلت هذا، فستجد الآتي. لو وجدت أول مائة عملية قياس قمت بها أن نسبة 27 بالمائة من الإلكترونات توجد قرب الركن الأيسر السفلي، ونسبة 48 بالمائة موجودة قرب الركن الأيمن العلوي، ونسبة 25 بالمائة موجودة قرب المنتصف، حينها فإن مجموعة القياسات التالية ستقدم توزيعات مشابهة للغاية. والأمر عينه يسري على المجموعة الثالثة والرابعة وكل مجموعة قياسات أخرى تالية. ومن ثم فإن الانتظام لا يتضح من خلال أي عملية قياس منفردة، فلا يمكنك التنبؤ بالموضع الذي سيكون فيه الإلكترون. بدلًا من هذا فإن الانتظام يوجد في «التوزيع الإحصائي» للقياسات المتعددة. وهذا الانتظام يحدد مقدار «احتمالية»، العثور على الإلكترون في أي موضع بعينه.

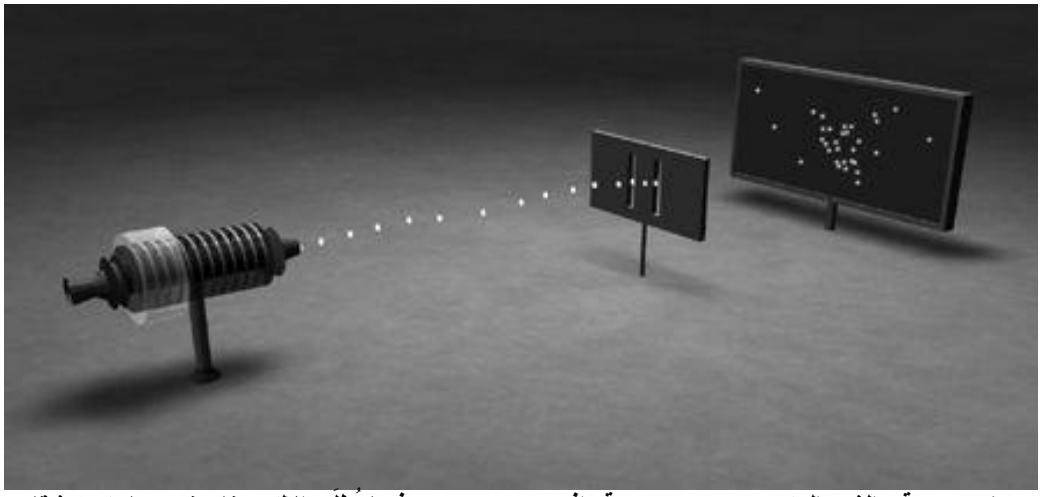
تمثل الإنجاز المذهل لمؤسسي ميكانيكا الكم في تطوير صيغة رياضية استغنت عن التنبؤات المطلقة التي تعد جزءًا جوهريًا من الفيزياء الكلاسيكية، وبدلًا من هذا فقد تنبأت بمثل هذه الاحتمالات. وانطلاقًا من معادلة نشرها شرودنجر في عام 1926 (ومعادلة أخرى مكافئة لكنّها لكنها أقل كفاءة كتبها هايزنبرج في عام 1925)، يستطيع الفيزيائيون إدخال التفاصيل المتعلقة بما عليه الأمور الآن، ثم حساب احتمالية الشكل الذي ستتخذه، أو غيره، في أي لحظة من المستقبل.

لكن لا تنخدع ببساطة مثال الإلكترون الذي قدمه. فميكانيكا الكم لا تنطبق فقط على الإلكترونات وإنما على أنواع الجسيمات كافة، وهي لا تعرفنا بمواضعها وحسب وإنما تعرفنا كذلك بسرعاتها، وزخمها الزاوي، وطاقاتها، وسلوكها في نطاق عريض من المواقف، بداية من جحافل النيوترينوات التي تندفع الآن عبر جسدك وانتهاء بعمليات الاندماج النووي المحمومة التي تحدث في قلوب النجوم البعيدة. وتتفق التنبؤات الاحتمالية الميكانيكا الكم مع البيانات التجريبية على امتداد ذلك النطاق الهائل. على الدوام. وخلال أكثر من ثمانين سنة منذ تطوير هذه الأفكار لا وجود لتجربة واحدة مثبتة أو عملية رصد فيزيائية فلكية تتعارض نتائجها مع تنبؤات ميكانيكا الكم.

إنه لإنجاز عظيم غير مسبوق أن يستطيع جيل من الفيزيائيين الإقدام على مثل هذا الارتحال بعيدًا عن الأفكار البدهية التي تشكلت عبر آلاف السنين من الخبرة الجماعية، وأن يعيد تشكيل الواقع داخل إطار مفاهيمي جديد بالكامل مبني على الاحتمالية استجابة لذلك. ومع ذلك فقد ظلت تفصيلة مثيرة للضيق تخيم على ميكانيكا الكم منذ نشأتها؛ وهي التي مهدت الطريق في النهاية نحو مفهوم الأكوان الموازية. ومن أجل فهم هذه التفصيلة، نحتاج إلى إلقاء نظرة أقرب على التقليد الكمي.

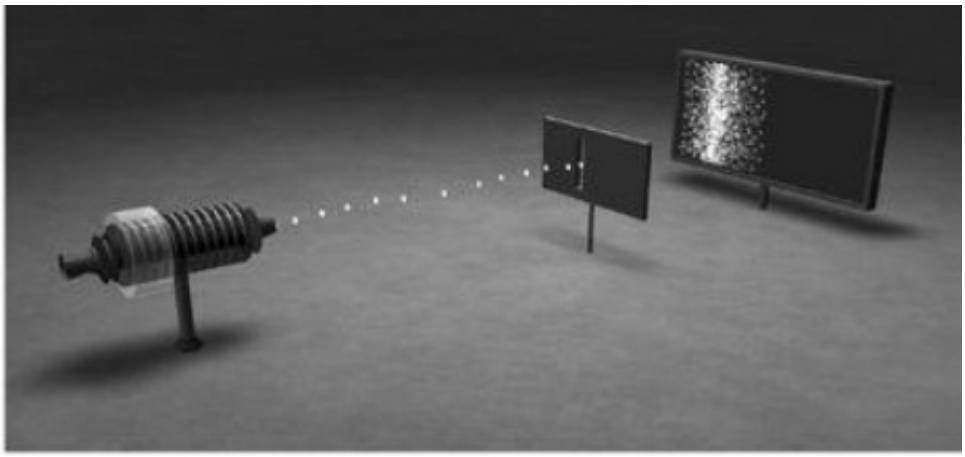
في أبريل عام 1925، وخلال تجربة أجريت في مختبرات شركة بل على يد فيزيائيّيْن أمريكييْن ، هما كلينتون دافيسون ولستر جيرمر، انفجر على نحو مفاجئ أنبوب زجاجي يحوي قطعة ساخنة من النيكل. كان دافيسون وجيرمر قد أمضيا أيامًا وهما يطلقان تيارات من الإلكترونات نحو عينة من النيكل بغية دراسة الجوانب المتعددة للخصائص الذرية لذلك الفلز، وكان فشل التجربة أمرًا مثيرًا للضيق، وإن كان معتادًا في العمل التجريبي. وقد لاحظ دافيسون وجيرمر عند تنظيف شظايا الزجاج أن النيكل قد تلوث خلال الانفجار. لم تكن تلك معضلة عويصة بالطبع؛ فكل ما كان عليهما فعله هو تسخين العينة، وتبخير المواد الغريبة، ثم استئناف التجربة مجددًا ، وهذا ما فعلاه بالفعل. غير أن ذلك الاختيار - تنظيف العينة بدلًا من اختيار عينة جديدة – أتى بنتائج غير متوقعة. فعندما قاموا بتوجيه تيار الإلكترونات نحو العينة المنظفة حديثًا كانت النتائج مختلفة اختلافًا شاسعًا عن أي نتائج توصلا إليها من قبل. وبحلول عام 1927 كان من الواضح أن دافيسون وجيرمر قد أثبتا سمة جوهرية من سمات نظرية الكم الآخذة في التطور سريعًا ، وفي غضون عقد من الزمن حصلا نظير اكتشافهما الذي تحقق بمحض المصادفة على جائزة نوبل.

رغم أن تجربة دافيسون وجيرمر تعود إلى زمن السينما الصامتة، بل وتسبق الكساد العظيم، فهي لا تزال أكثر الطرق استخدامًا لشرح الأفكار الأساسية لنظرية الكم، وإليك طريقة التفكير فيها. حين سخَّنَ دافيسون وجيرمر العينة الملوثة، تسببا في جعل بلورات النيكل الصغيرة تلتحم معًا على صورة بلورات أكبر حجمًا. وبالتبعية، لم يعد تيار الإلكترونات ينعكس عن سطح عالي التجانس من النيكل وإنما ارتد عن بضعة مواضع مركزة تتجمع فيها بلورات النيكل الأكبر حجمًا. يعرض الشكل 8-1 نسخة مبسَّطة لهذه التجربة توضح العمليات الفيزيائية الأساسية، وفيها تُطلَق الإلكترونات نحو حاجز به شقين رفيعين. إن الإلكترونات المنبعثة من أحد الشقين أو الآخر تشبه الإلكترونات المرتدة عن إحدى بلورات النيكل أو أخرى. وحين نعرض الأمر بهذه الطريقة نجد أن دافيسون وجيرمر أجريا بهذا أول نسخة من التجربة التي تسمى الآن «تجربة الشق المزدوج».



شكل 8-1: توضح تجربة «الشق المزدوج» جوهر تجربة دافيسون وجيرمر، وفيها تُطلَق الإلكترونات نحو حاجز به شقان رفيعان. في تجربة دافيسون وجيرمر، ينتج تياران من الإلكترونات حين ترتد الإلكترونات عن بلورات النيكل المتجاورة، وفي تجربة الشق المزدوج ينتج تياران متشابهان بواسطة الإلكترونات التي تعبر الشقين المتجاورين.

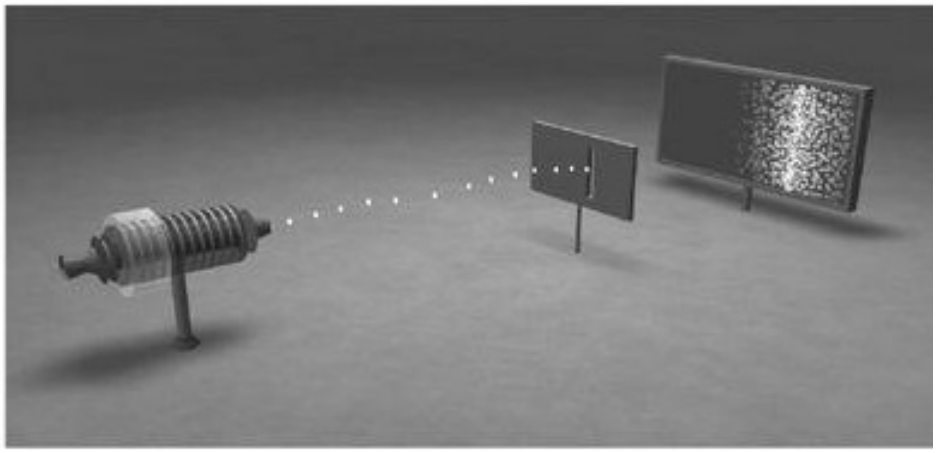
(a)



شكل 8-2: (أ) البيانات التي نحصل عليها عند إطلاق الإلكترونات بينما يكون الشق الأيسر وحده مفتوحًا.

-

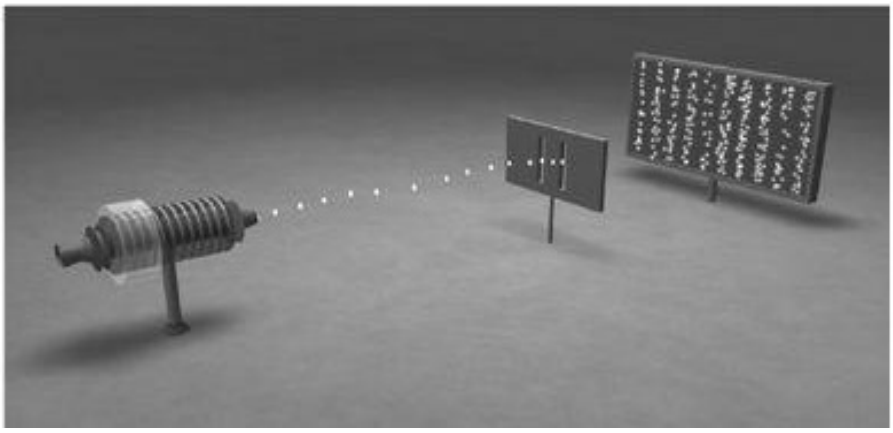
(b)



شكل 8-2: (ب) البيانات التي نحصل عليها عند إطلاق الإلكترونات بينما يكون الشق الأيمن وحده مفتوحًا.

-

(c)



شكل 8-2: (ج) البيانات التي نحصل عليها عند إطلاق الإلكترونات بينما يكون كلا الشقين مفتوحًا.

من أجل فهم النتيجة المدهشة التي توصل إليها دافيسون وجيرمر، تخيل أننا أغلقنا الشق الأيمن أو الأيسر، وسجلنا الإلكترونات المارة من الشق الآخر، واحدًا تلو الآخر، على شاشة رصد. بعد إطلاق العديد من هذه الإلكترونات ستبدو شاشات الرصد شبيهة بتلك المبينة في الشكلين 8-2 أ و8-2 ب. من شأن التفكير المنطقي الذي لا يأبه بالتأثيرات الكمية أن يتوقع أنه عند فتح كلا الشقين فستكون البيانات عبارة عن خليط من هاتين النتيجتين. غير أن الحقيقة المذهلة هي أن ليس هذا ما يحدث. وبدلًا من ذلك فقد وجد دافيسون وجيرمر أن البيانات، كتلك الموضحة في الشكل 8-2 ج، تتألف من أحزمة ساطعة وداكنة، تشير إلى سلسلة المواضع التي أصابتها الإلكترونات أو لم تصبها.

هذه النتائج بعيدة عن التوقعات على نحو يثير العجب. فالأحزمة الداكنة هي المواضع التي رصدت فيها الإلكترونات بغزارة لو كان الشق الأيسر أو الأيمن وحده هو المفتوح (المناطق المكافئة في الشكلين 8-2 أ و8-2 ب هي الساطعة)، لكن يبدو أنه لا يمكن الوصول إليها حين يكون كلا الشقين مفتوحًا. ومن ثم فإن وجود الشق الأيسر يغير موضع الهبوط المحتمل للإلكترونات المارة من الشق الأيمن، والعكس بالعكس. هذا أمر محير للغاية. فعلى نطاق الجسيمات الضئيلة كالإلكترونات، تعد المسافة الفاصلة بين الشقين مسافة هائلة. لذا حين يعبر الإلكترون من أحد الشقين، كيف يمكن لوجود الشق الآخر أو غيابه أن يكون له أي تأثير يذكر، ناهيك عن تأثير شديد، على البيانات؟ الأمر يبدو وكأنك ظللت تدخل إلى مبنى عملك لسنوات مستخدمًا أحد الأبواب، لكن حين فتحت الإدارة بابًا ثانيًا في الجانب المقابل من المبنى، لم يعد بمقدورك الوصول إلى مكتبك.

ما الذي نستنتجه من هذا؟ تقودنا تجربة الشق المزدوج على نحو لا مفر منه إلى نتيجة يصعب استيعابها. فبصرف النظر عن الشق الذي سيعبر منه الإلكترون المنفرد، فإنه «يعرف» بصورة ما بوجود الشقين. فهناك شيء مصاحب لكل إلكترون منفرد، أو مرتبط به أو يمثل جزءًا منه، وهذا الشيء يتأثر بكلا الشقين.

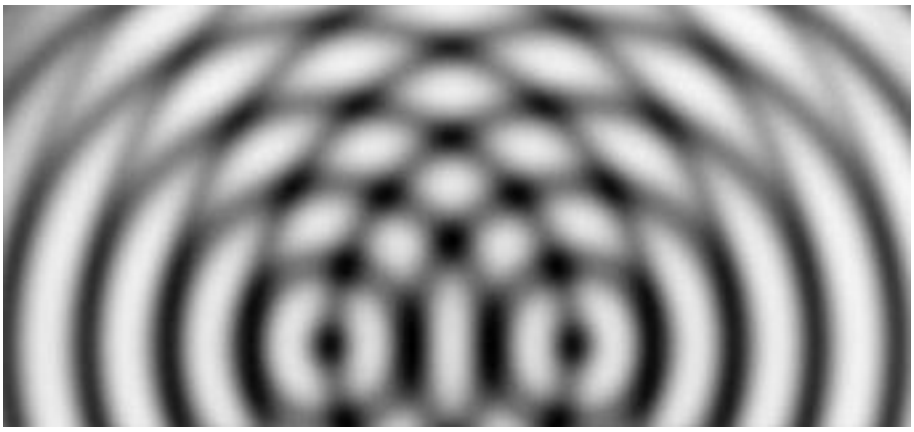
لكن ماذا يمكن أن يكون هذا الشيء؟

الموجات الكمية

من أجل التعرف على الكيفية التي «يعرف» بها الإلكترون المار عبر أحد الشقين بوجود الشق الآخر، انظر عن كثب إلى البيانات المعروضة في الشكل 8-2ج. يستطيع أي فيزيائي أن يتعرف على نمط الحزمة الساطعة والداكنة المبين بالشكل بالسهولة نفسها التي تتعرف بها الأم على وجه طفلها. وهذا النمط يقول - بل يصرخ قائلًا - إنه ما نراه هي موجات. لو سبق لك أن ألقيت حصاتين في بركة ماء وشاهدت التموجات الناتجة وهي تنتشر وتتداخل في ما بينها، فستدرك ما أعنيه. فعندما تقابل قمة إحدى الموجات قمة موجة أخرى يكون ارتفاع الموجة الموحدة كبيرًا، بينما حين يلتقي قاع إحدى الموجات بقاع موجة أخرى يكون انخفاض الموجة عميقًا، وأهم ما في الأمر أنه عند التقاء قمة إحدى الموجات بقاع موجة أخرى فإن الموجتين تتلاشيان ويظل الماء مستويًا. يوضح الشكل 8-3 هذا الأمر. فإذا حدث أن وضعت. شاشة رصد أعلى الشكل كي تسجل اضطراب الماء في كل موضع - كلما زاد الاضطراب، صارت الأحزمة أشد سطوعًا - فستتمثل النتيجة في سلسلة من المناطق الساطعة والداكنة التبادلية التي تظهر على الشاشة. ستمثل المناطق الساطعة المواضع التي تعزز فيها الموجات بعضها بعضًا، أما المناطق الداكنة فهي المواضع التي تلغي فيها الموجات بعضها بعضًا، بحيث لا يحدث اضطراب. ويقول الفيزيائيون إن الموجات المتراكبة يتداخل بعضها مع بعض، ويطلقون على بيانات الأحزمة الساطعة والداكنة التي تنتجها الموجات اسم «نمط التداخل»..

إن التشابه مع الشكل 8-2ج لا تخطئه عين، لذا عند محاولة تفسير البيانات الخاصة بالإلكترونات من الحتمي أن يقودنا تفكيرنا إلى الموجات. هذا أمر طيب، فلدينا هكذا نقطة للبدء. غير أن التفاصيل لا تزال غامضة. عن أي نوع من الموجات نتحدث؟ وأين هي؟ وما علاقتها بجسيمات الإلكترونات؟

الدليل التالي يأتينا من الحقيقة التجريبية التي أكدت عليها في البداية؛ إذ تبين مجموعات البيانات الخاصة بحركة الجسيمات أن أوجه الانتظام لا تظهر إلا بصورة إحصائية. فالقياسات نفسها التي تجري على جسيمات مجهزة بصورة متماثلة ستكشف في العموم عن وجود الإلكترونات في مواضع مختلفة، ومع هذا فإن العديد من هذه. القياسات تؤكد الإلكترونات ستمتلك، في المتوسط، احتمالية الوجود نفسها في أي موضع بعينه. وفي عام 1926 ضم الفيزيائي الألماني ماكس بورن هذين الدليلين معًا وتوصل إلى اكتشاف مهم تسبب في فوزه بجائزة نوبل بعد ثلاثة عقود. لدينا أدلة تجريبية على أن الموجات تلعب دورًا، ولدينا أدلة تجريبية على أن الاحتمالية تلعب دورًا. اقترح بورن أن من المرجح إذًا أن تكون الموجة المصاحبة للجسيم هي «موجة احتمالية».

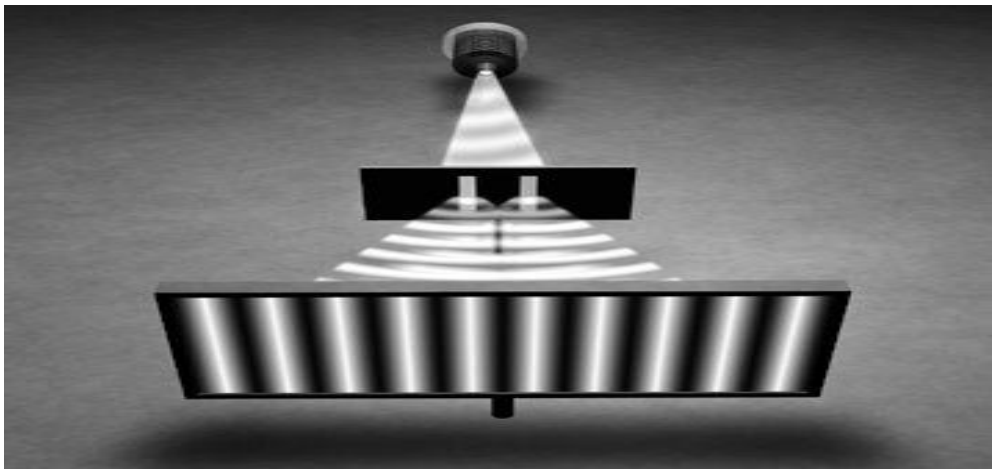


شكل 8-3: عندما تتداخل موجتان من الماء، فإنهما «تداخلان»، وبهذا تُنشئان مناطق يشتد بها الاضطراب وأخرى يقل بها بالتبادل، وهو ما يعرف باسم نمط التداخل.

كانت تلك مساهمة غير مسبوقة وشديدة الأصالة. وجوهر الفكرة هو أنه عند تحليل حركة أي جسيم لا ينبغي علينا أن ننظر إليه وكأنه صخرة تندفع من مكان إلى آخر، بل علينا التفكير فيه بوصفه موجة تتهادى من موضع إلى آخر. إن المواضع التي تكون فيها قيم الموجة كبيرة - قرب القمم والقيعان - هي المواضع التي من المرجح العثور على الجسيم فيها. بينما المواضع التي تكون فيها قيم موجة الاحتمالية صغيرة هي المواضع التي من غير المرجح أن يوجد الإلكترون بها. أما المواضع التي تتلاشى فيها قيم الموجة فهي المواضع التي لن يعثر فيها على الجسيم. وبينما تواصل الموجة تقدمها فإن قيمها تتطور، بحيث تزداد في بعض المواضع وتنخفض في مواضع أخرى. وبما أننا نفسر القيم المتذبذبة على أنها احتمالات متذبذبة، تُوصَف الموجة عن حق بأنها موجة احتمالية.

من أجل توضيح الصورة، تدبر كيف تفسر موجة الاحتمالية بيانات تجربة الشق المزدوج. بينما ينتقل الإلكترون نحو الحاجز في الشكل 8-2ج، تطالبنا ميكانيكا الكم بالتفكير فيه بوصفه موجة متذبذبة، كما في الشكل 8-4. وحين تقابل الموجة الحاجز، يعبر جزءان من الموجة الشقين متجهين نحو شاشة الرصد. ما يحدث بعد ذلك أمر جوهري. فكما في حالة موجات الماء المتداخلة، فإن موجات الاحتمالية الخارجة من الشقين تتقاطع وتتداخل، بحيث تنتج شكلًا مجمعًا يبدو شبيها بذلك المعروض في الشكل 8-3: نمطًا من القيم المرتفعة والمنخفضة التي تكافيء، من منظور ميكانيكا الكم، نمطًا من الاحتمالات المرتفعة والمنخفضة الخاصة بالموضع الذي سيوجد فيه الإلكترون. وعند إطلاق إلكترون تلو الآخر، فإن مواضع الاستقرار النهائية ستتوافق مع صورة الاحتمالية هذه. فكثير من الإلكترونات ستستقر في المواضع التي تكون فيها الاحتمالية عالية، وقليل منها سيستقر في المواضع التي تكون فيها الاحتمالية منخفضة بينما لن يوجد أي إلكترون في المواضع التي تنعدم فيها الاحتمالية. والنتيجة النهائية هي نمط الأحزمة الساطعة والداكنة المبين في الشكل 8-2ج.[118]

هذه هي الكيفية التي تفسر بها ميكانيكا الكم البيانات. وهذا التوصيف يوضح بجلاء أن كل إلكترون «يعرف» بوجود كلا الشقين، بما أن موجة الاحتمالية الخاصة بكل إلكترون تمر من الشقين كليهما. واتحاد هاتين الموجتين الجزئيتين هو ما يحدد احتمالات المواضع التي ستستقر فيها الإلكترونات. ولهذا السبب فإن مجرد وجود الشق الثاني يؤثر على النتائج.



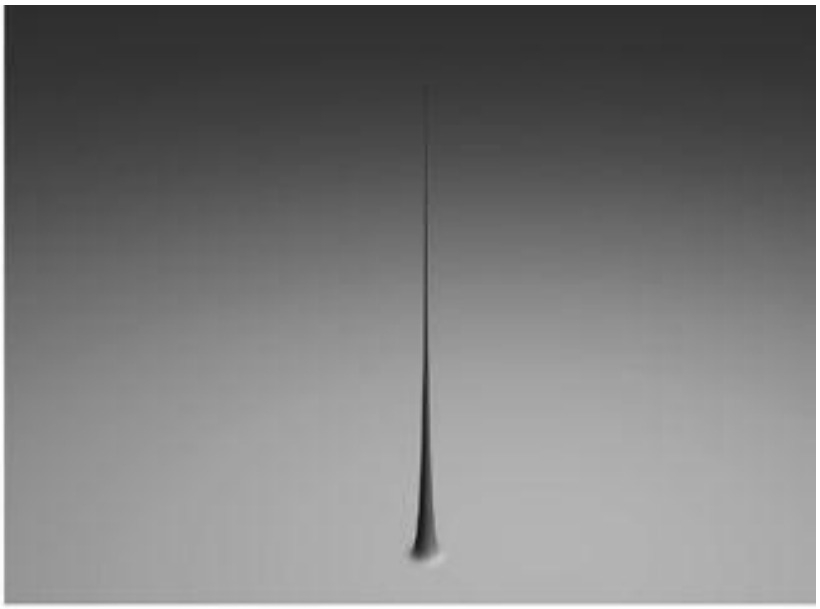
شكل 8-4: عندما نصف حركة الإلكترون من منظور موجات الاحتمالية المتذبذبة، يمكن تفسير بيانات التداخل المحيرة.

ليس بهذه السرعة

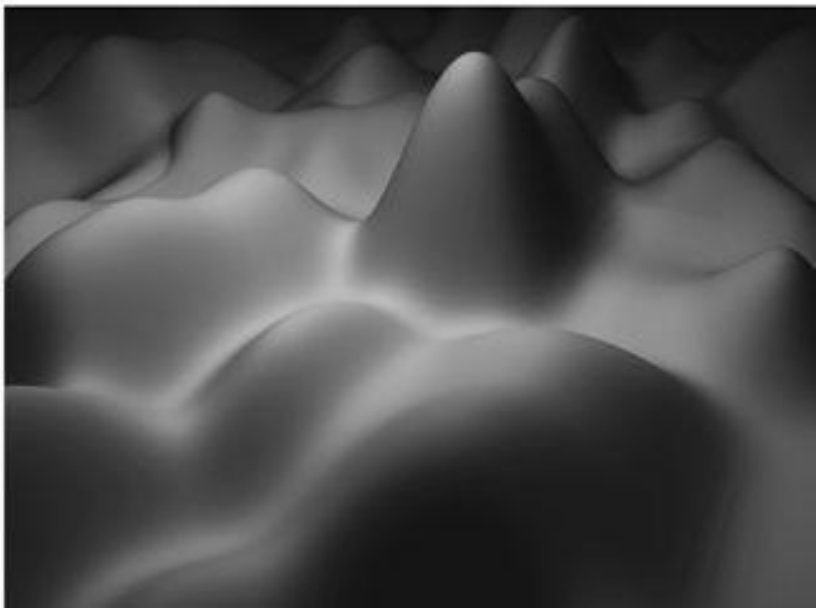
رغم أنني ركزتُ في حديثي على الإلكترونات، فقد أكدت تجارب مشابهة صورة موجات الاحتمالية عينها بالنسبة لكل مكونات الطبيعة الأساسية. فالفوتونات والنيوترينوات والميونات والكواركات - كل الجسيمات الأساسية - توصف كلها عن طريق موجات الاحتمالية. لكن قبل أن نسارع بإعلان النصر، ثمة أسئلة ثلاثة تطرح نفسها على الفور. اثنان من هذه الأسئلة مباشران ويسهل الإجابة عنهما، بينما الثالث أصعب بعض الشيء. سعى إيفريت إلى إجابة هذا السؤال الأخير في خمسينيات القرن العشرين، وهو ما قاده إلى النسخة الكمية للعوالم المتعددة.

أولًا، إذا كانت نظرية الكم صحيحة وكانت الاحتمالية هي الأساس الذي ينبني العالم عليه، فلماذا يعد إطار نيوتن المفاهيمي غير الاحتمالي مفيدًا في التنبؤ بحركة الأشياء، من كرات البيسبول إلى الكواكب إلى النجوم؟ الإجابة هي أن موجات الاحتمالية للأجسام الكبيرة تمتلك في المعتاد (لكن ليس دائمًا، كما سنرى بعد قليل) شكلًا خاصًا للغاية. فهي تكون ضيقة بشكل استثنائي، كما في الشكل 8-5أ، وهو ما يعني وجود احتمالية هائلة، تناهز المائة بالمائة، لوجود الجسم في الموضع الذي تكون فيه الموجة في قمتها، واحتمالية شديدة الضالة، تقارب الصفر بالمائة، لوجوده في أي موضع آخر.[119] علاوة على ذلك فإن قوانين الكم تبين أن قمم هذه الموجات الضيقة تتحرك في المسارات نفسها التي تظهر من واقع معادلات نيوتن. وبهذا فرغم أن قوانين تتنبأ تحديدًا بمسار كرة البيسبول، فإن نظرية الكم لا تقدم إلا تنقيحات شديدة الضالة، بحيث تقول إن ثمة احتمالية مقدارها نحو 100 بالمائة لوجود الكرة في الموضع الذي تقضي به قوانين نيوتن، واحتمالية مقدارها نحو صفر بالمائة لوجودها لعدم وجودها.

(a)



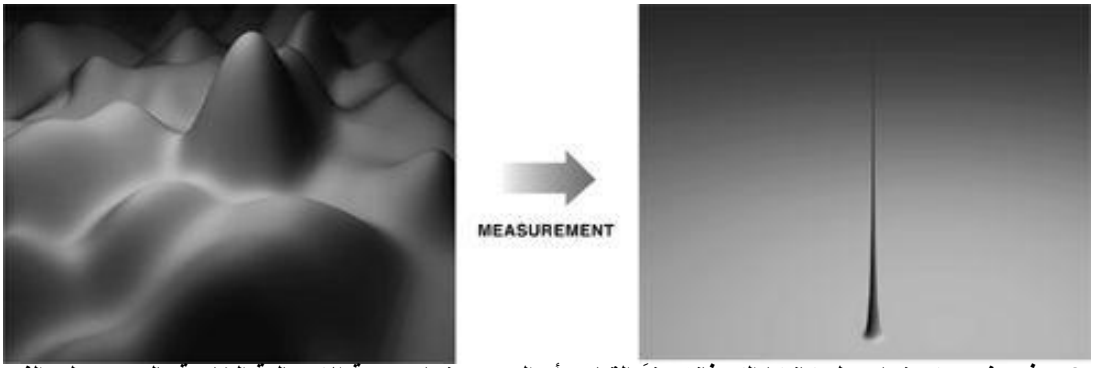
(b)



شكل رقم 8-5: (أ) موجة الاحتمالية الخاصة بجسم عياني تكون في المعتاد ذات قيمة ضيقة.
(ب) موجة الاحتمالية الخاصة بجسم شديد الصغر، كالجسم المنفرد مثلاً، تكون في المعتاد منتشرة علي مدي واسع.

وفي الحقيقة، الكلمتان «تناهز» و «تقارب» لاتفيان هذه الخاصية الفيزيائية حق قدرها. فاحتمالية انحراف جسم عياني عن تنبؤات نيوتن شديدة الضآلة لدرجة أنك لو رصدت الكون على مدار مليارات الأعوام القليلة الماضية فمن المرجح بشدة ألاّ تجد أيا من هذه الانحرافات. لكنّ وفق نظرية الكم، كلما كانَ الجسم أصغر، صارت موجة الاحتمالية الخاصة به موزعة على مدى أوسع. على سبيل المثال، موجة الإلكترون المعتادة ربما تبدو على النحو المبين في الشكل 8-5ب، بحيث تكون هناك احتمالات كبيرة لوجود الإلكترون في عدة مواضع، وهو مفهوم غريب بالكامل على العالم من منظور قوانين

نيوتن. ولهذا السبب تظهر الطبيعة الاحتمالية للواقع على المستوى متناهي الصغر في أوضح صورها.
ثانياً، هل يمكننا أن نرى موجات الاحتمالية التي تعتمد عليها ميكانيكا الكم؟ هل من سبيل إلى الدخول مباشرة إلى تلك الغيمة الاحتمالية غير المألوفة، على النحو المبسط المبين في الشكل 8-5ب، الذي يمتلك فيه إلكترون وحيد احتمالية التواجد في عدد متباين من المواضع؟ الجواب هو لا. وفق النهج المعياري لميكانيكا الكم، والذي طوره نيلز بور ومجموعته، والمسمى «تفسير كوبنهاجن» تكريما لهم، فإنك كلما حاولت أن ترى موجة الاحتمالية، فإن فعل الرصد ذاته يسبب فشل المحاولة. فعندما تنظر نحو الموجة الاحتمالية لأحد الإلكترونات، حيث «تنظر» هنا تعني «قياس موضعه»، فإن الإلكترون يتجمد في موضع واحد محدد. وبالتبعية فإن موجة الاحتمالية ترتفع وتبلغ 100 بالمائة في ذَلكَ الموضع، بينما تنهار قيمتها إلى الصفر في كل موضع آخر، كما في الشكل 8-6. أماً إذاً نظرت بعيداً، فإن موجة الاحتمالية الرفيعة كالإبرة تنتشر، بحيث تشير مجددا إلى وجود احتمالية معقولة للعثور على الإلكترون في عدد من المواضع. وإذا عاودت النظر، ستنهار موجة الإلكترون مجددا، بحيث تقضي على نطاق المواضع المحتملة التي يمكن أن يوجد الإلكترون بها لصالح الوجود في نقطة محددة. اختصارا، كل مرة تحاول فيها أن ترى غيمة الاحتمالية ستتبدد هذه الغيمة - تنهار - ويحل محلها - الواقع المألوف. وتعد شاشة الرصد المعروضة في الشكل 8-2ج مثالا جيدا لذلك: فهس تقيس موجة الاحتمالية الخاصة بالإلكترونات المرتطمة بها، ومن ثمّ تتسبب على الفور في انهيارها. فشاشة الرصد تجبر الإلكترون على التخلي عن العديد من الخيارات المتاحة المتعلقة بموضع ارتطامه بالشاشة وأن يستقر في موضع محدد، والذي يظهر وقتها على صورة نقطة صغيرة على الشاشة.



شكل 8-6: وفق تفسير كوبنهاجن لميكانيكا الكم فإنه عندَ القياس أو الرصد، تنهار موجة الاحتمالية الخاصة بالجسيم على الفور في كل المواضع عدا موضع وحيد. ويتحول نطاق المواضع المحتملة للجسيم إلى موضع وحيد محدد.

أتفهم تماماً شعور الحيرة الذي قد ينتابك عندَ سماع هذا التفسير. فما من شك في أن العقيدة الكمية تبدو أقرب إلى الخزعبلات. فنحن بصدد نظرية تقترح صورة جديدة مذهلة للواقع مبنية على موجات الاحتمالية، ثمّ في اللحظة التي تلي ذَلكَ تصرح بأن هذه الموجات لا يمكن رؤيتها. الأمر يبدو وكأن فتاة ما تدعى لوسيل تزعم أنها شقراء الشعر، ما دام أحد لا ينظر إليها، وعند النظر إليها يتحول شعرها على الفور إلى اللون الأحمر. فلماذا إذاً يقبل الفيزيائيون بتفسير لا يتسم بالغرابة فقط وإنما يبدو مخادعا تماماً كذلك؟

الحسن الحظ فإن ميكانيكا الكم قابلة للاختبار، رغم كل سماتها الغامضة والخفية. فوفق أنصار تفسير كوبنهاجن كلما كانت موجة الاحتمالية أكبر في موضع معين، زادت احتمالية أنّه عندَ انهيار الموجة ستظل قمتها الوحيدة الباقية - ومن ثمّ الإلكترون نفسه - في ذَلكَ الموضع تحديداً. هذه العبارة تقدم تنبؤًا محددًا. فيمكنك أن تجري إحدى التجارب مرارًا وتكرارًا، مع إحصاء عدد المرات التي تجد فيها الجسيم في مختلف المواضع، ثمّ تقيم ما إذاً كانَ ذَلكَ التواتر الذي رصدته يتفق مع الاحتمالات التي تمليها موجة الاحتمالية أم لا. فإذا كانت الموجة أكبر في هذا الموضع ب 2.874 مرة منها في ذاك، فهل احتمالية عثورك على الجسيم في هذا الموضع أكثر ب 2.874 مرة من عثورك عليه في الموضع الآخر؟ اختبرت تنبؤات كهذه بنجاح كبير. ورغم ما يتسم به المنظور الكمي من مراوغة، فمن الصعب الجدال مع مثل هذه النتائج الاستثنائية.

صعب، لكنه ليس مستحيلاً.

وهذا ينقلنا إلى السؤال الثالث والأصعب. إنّ انهيار موجات الاحتمالية عندَ القياس، كما في الشكل 8-6، يعد ركنا أساسيًا في تفسير كوبنهاجن لميكانيكا الكم. وقدْ أدت تنبؤاته الناجحة، علاوة على دعم بور القوي لهُ، إلى اقتناع غالبية الفيزيائيين به، غير أن أكثر عمليات التدقيق تحفظًا تكشف عن سمة مثيرة لعدم الارتياح. فمعادلة شرودنجر، وهي المحرك الرياضي لميكانيكا الكم، تملي كيفية تطور شكل موجة الاحتمالية مع مرور الزمن. فإذا أعطيتني شكلا مبدئيا للموجة، كذلك المبين في الشكل 8-5ب مثلاً، يمكنني أن أستخدم معادلة شرودنجر كي أرسم صورة لما ستبدو الموجة عليه بعد دقيقة، أو ساعة، أو أي فترة زمنية. غير أن التحليل المباشر للمعادلة يكشف عن أن التطور المبين في الشكل 8-6 - الانهيار الفوري للموجة في كل النقاط ما عدا نقطة وحيدة، مثل المصلي الذي يقف بطريق الخطأ داخل الكنيسة بينما الكل راكعون - لا يمكن بأي حال أن يظهر نتيجة حسابات شرودنجر الرياضية. بالتأكيد من الممكن أن تمتلك الموجة شكلًا ذي قمة ناتئة أشبه بالإبرة، وسوف نستخدم بالفعل هذه الموجات الناتئة في ما يلي.

لكنّ من المستحيل أن تصير الموجات ناتئة بالصورة التي تخيلها تفسير كوبنهاجن. فالحسابات الرياضية لا تسمح بذلك مطلقا. (سترى سبب ذلكَ بعد قليل).

قدم بور علاجًا يتسم بالخرق بعض الشيء: عليك بتطوير موجات الاحتمالية وفقًا لمعادلة شرودنجر ما دمت لا تنظر إلى الجسيمات أو تؤدي أي نوع من أنواع القياسات عليها. لكنّ حين تنظر، فعليك أن تنحي معادلة شرودنجر جانبا وأن تصرح بأن عملية الرصد الخاصة بك قد سببت انهيار الموجة.

لا تتسم هذه الوصفة بالخرق وحسب، وإنما تفتقر كذلك إلى الأساس الرياضي؛ فهي ليست واضحة من الأصل. على سبيل المثال، لا تحدد هذه الوصفة بدقة ما تعنيه الكلمتان «النظر» و«القياس». هل يجب أن يكون البشر جزءا من عملية الرصد؟ أم، كما تساءل آينشتاين ذات مرة، هل ستكفي نظرة عابرة من فأر ما؟ ماذا عن مسبار حاسوبي أو حتّى دفعة من بكتيريا أو فيروس؟ هل هذه «القياسات» تسبب انهيار موجات الاحتمالية؟ أعلن بور أنّه كانَ يرسم خطًا على الرمال حين فصل بين الأشياء الصغيرة، كالذرات ومكوناتها - والتي تنطبق معادلة شرودنجر عليها - عن الأشياء الكبيرة، كالأشخاص الذين يؤدون التجارب أو معداتهم، وهي الأشياء التي لا تنطبق عليها المعادلة. بيد أنّه لم يحدد مطلقا موضع ذلكَ الخط. وفي الواقع لم يكن بوسعه ذلكَ. فمع كل عام يمر يؤكد الفيزيائيون التجريبيون صحة انطباق معادلة شرودنجر، من دون أي تعديل، على مجموعات أكبر وأكبر من الجسيمات، وثمة أسباب عدة تدعونا للاعتقاد بأنها تنطبق على مجموعات ضخمة من الجسيمات كتلك التي تتألف منها أجسامنا وكل شيء آخر حولنا. فمثل مياه الفيضان التي ترتفع من قبو منزلك، متجهة نحو غرفة المعيشة وتهدد بإغراق الطابق العلوي، فإن المعادلات الرياضية لميكانيكا الكم انتشرت في ثبات إلى ما وراء نطاق الذرات وأثبتت ناجحها على مستويات أكبر حجمًا.

ينبغي إذاً التفكير في المشكلة على النحو التالي. أنت وأنا وأجهزة الكمبيوتر والبكتيريا والفيروسات وكل شيء آخر يتألف من جزيئات وذرات، وهذه بدورها تتألف من جسيمات الإلكترونات والكواركات. تنطبق معادلة شرودنجر بنجاح على الإلكترونات والكواركات، وتشير كل الأدلّة إلى أنها تنطبق بالمثل على الأشياء التي تتكون من هذه الجسيمات، بصرف النظر عن عدد الجسيمات محل الاعتبار. يعني هذا أن معادلة شرودنجر من المفترض أن تنطبق بالمثل خلال عملية القياس. فعلى أي حال، ما عملية القياس في حقيقتها إلا مجموعة من الجسيمات (أشخاص أو معدات أو أجهزة كمبيوتر...) تتواصل مع مجموعة أخرى (الجسيم أو الجسيمات محل القياس). لكنّ لو كانَ الحال كذلك، ولو كانت معادلة شرودنجر الرياضية تأبى الانصياع، حينها سيكون بور في ورطة. فمعادلة شرودنجر لا تسمح بانهيار الموجات. ومن ثمّ سيقوض هذا عنصرا أساسيا من نهج كوبنهاجن.

وبهذا فإن السؤال الثالث يكون: لو كانَ المنطق الذي أوردناه للتو صحيحًا وكانت موجات الاحتمالية لا تنهار، كيف تعبر من نطاق النتائج المحتملة التي توجد قبل عملية القياس إلى النتيجة الوحيدة التي تكشف عنها عملية القياس؟ أو لو عبرنا عن الأمر بكلمات أعم، ماذا الذي يحدث لموجة الاحتمالية خلال عملية القياس بحيث يسمح لواقع مألوف محدد متفرد بالتجسد؟

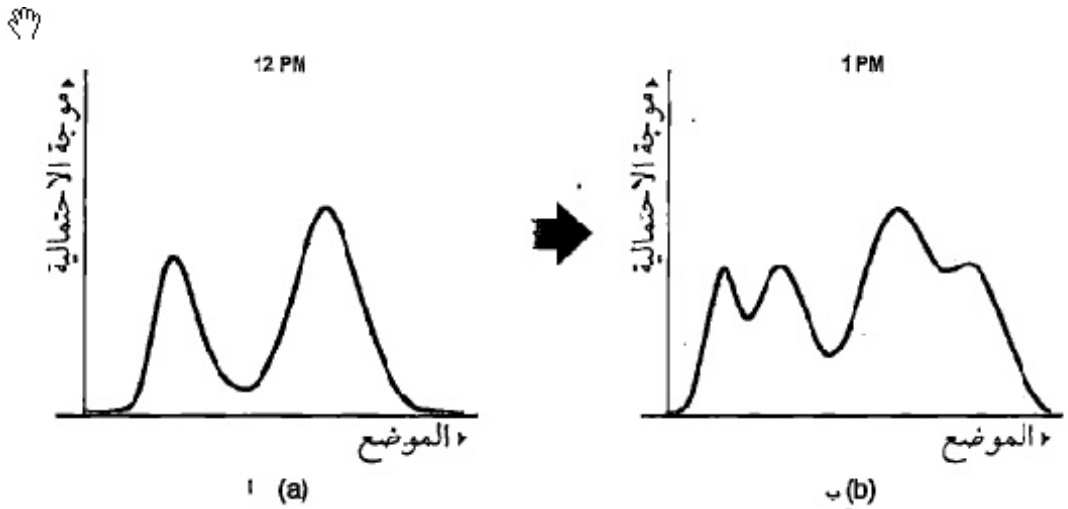
سعي إيفرت إلى إجابة هذا السؤال في أطروحة الدكتوراه التي قدمها في جامعة برينستون، وتوصل إلى نتيجة غير متوقعاً تماماً.

الخطيَّة ومثالبها

من أجل فهم مسار اكتشاف إيفريت، ستحتاج إلى معرفة القليل عن معادلة شرودنجر. شدد على أن هذه المعادلة لا تسمح بانهيار موجات الاحتمالية على نحو مفاجئ. لكنّ لماذا؟ وما الذي تسمح به المعادلة؟ لنتعرف قليلاً على الكيفية التي توجه بها معادلة شرودنجر الرياضية موجة الاحتمالية بينما تتطور مع مرور الوقت.

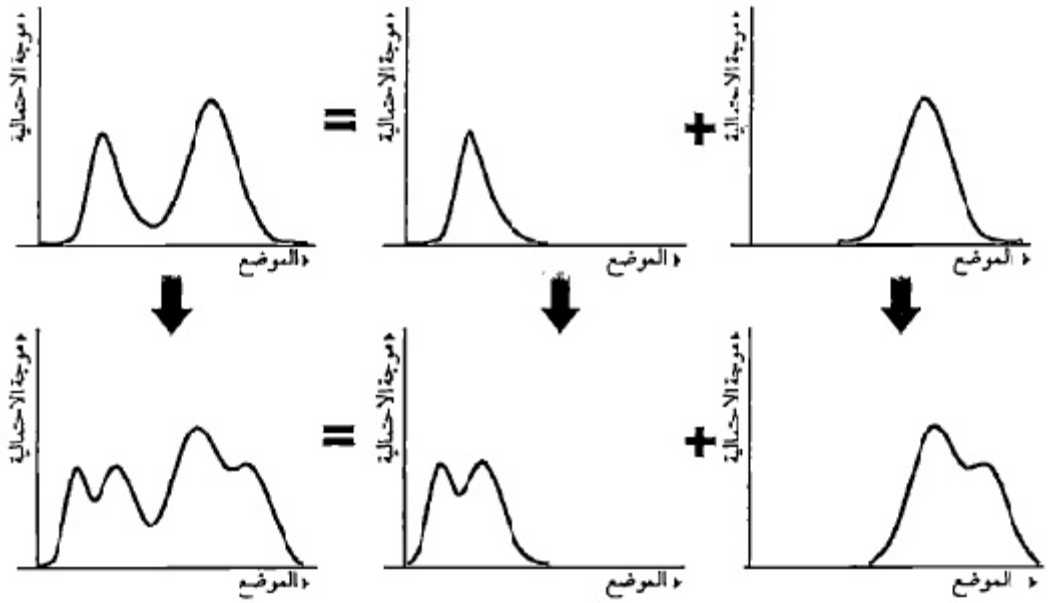
الأمر بسيط ومباشر، لأن معادلة شرودنجر من أبسط أنواع المعادلات الرياضية، وتتصف بخاصية تعرف باسم «الخطيَّة»، وهي التجسيد الرياضي لفكرة أن الكل مساوي المجموع أجزائه. ولمعرفة ما يعنيه هذا، تخيل أن الرسم البياني الموضح في الشكل

7- 8أ هو موجة احتمالية ترسمت في الثانية عشر ظهرا لإلكترون معين (بهدف التوضيح البصري سأستخدم موجة احتمالية تعتمد على الموقع في بعد واحد يمثله المحور الأفقي، لكنّ الأفكار المبينة هنا عامة). يمكننا أن نستخدم معادلة شرودنجر كى نتتبع تطور هذه الموجة عبر الزمن، وبهذا نحصل على شكلها في الساعة الواحدة ظهرًا، مثلاً، والمبين في الشكل 8-7ب. لاحظ الآن ما يلي. بمقدورك تفكيك شكل الموجة المبدئي المبين في الشكل 8-7أ إلى جزءين أبسط، كما في الشكل 8-8أ، وإذا جمعت الموجتان الموضحتان في الشكل، بحيث أضفت قيمتيهما نقطة بنقطة، فستستعيد شكل الموجة الأصلي. إنّ الخطية التي تتسم بها معادلة شرودنجر تعني أن بإمكانك استخدامها على كل جزء من أجزاء الشكل.8-8أ على نحو منفصل، بحيث تحدد ما سيبدو عليه كل جزء في الساعة الواحدة ظهرًا، ثمّ تجمع النتائج كما في الشكل 8-8ب كي تستعيد النتيجة الكاملة الموضحة في الشكل 8-7ب. ليس من الحتمي أن تقم الموجة إلى جزءين وحسب، فبإمكانك تفكيك الشكل الأصلي إلى أي عدد من الأجزاء، بحيث يتطور كل منها على نحو مستقل، ثمّ تعيد تجميع النتيجة كي تحصل على الشكل النهائي للموجة.

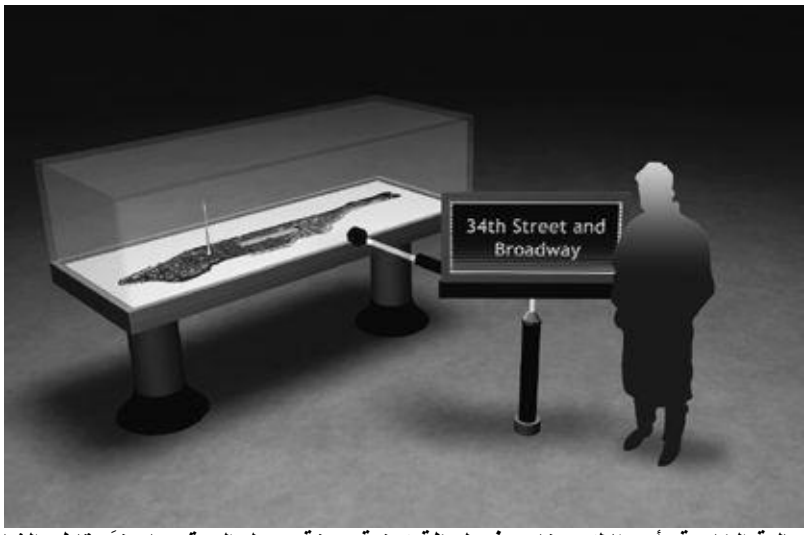


شكل 8-7: (أ) شكل موجة الاحتمالية المبدئي يتطور في لحظة معينة إلى شكل مختلف عبر معادلة شرودنجر. (ب) شكل الموجة في وقت لاحق.

قد تبدو هذه محض تفاصيل فنية، غير أن الخطية في حقيقتها سمة رياضية فعالة على نحو استثنائي؛ فهي تتيح لنا استخدام استرتيجية تقسيم على غرار استراتيجية «فرق تسد». فإذا كانَ شكل الموجة المبدئي معقدا، لك مطلق الحرية في تقسيمه إلى أجزاء أبسط وتحليل كل جزء على حدّة، وفي النهاية يمكنك تجميع النتائج المنفردة معاً. رأينا بالفعل تطبيقًا مهما للخطية خلال تحليلنا لتجربة الشق المزدوج في الشكل 8-4. فمن أجل تحديد الكيفية التي تتطور بها موجة الاحتمالية الخاصة بالإلكترون، عمدنا إلى تقسيم المهمة: فلاحظنا الكيفية التي يتطور بها الجزء الذي يمر عبر الشق الأيسر، ثمّ لاحظنا الكيفية التي يتطور بها الجزء الذي يمر عبر الشق الأيمن، ثمّ جمعنا جزءي الموجة معاً، وبهذه الكيفية عثرنا على نمط التداخل. وإذا نظرت إلى سبورة أي باحث فيزيائي نظري في ميكانيكا الكم فسترى النهج ذاته مطبقًا على عدد كبير من العمليات الرياضية.



شكل 8-8: (أ) يمكن تفكيك شكل موجة الاحتمالية بحيث يتألف من اتحاد شكلين أبسط. (ب) يمكن إعادة إنتاج تطور موجة الاحتمالية المبدئية عن طريق تطوير الأجزاء الأبسط ثمّ جمع النتائج معاً.



شكل 8-9: موجة الاحتمالية الخاصة بأحد الإلكترونات، في لحظة زمنية معينة، تصل إلى قمتها عندَ تقاطع الشارع الرابع والثلاثين مع برودواي. يؤكد قياس موضع الإلكترون، في تلك اللحظة، على أنّه يوجد في المكان الذي تصل فيه الموجة إلى قمتها.

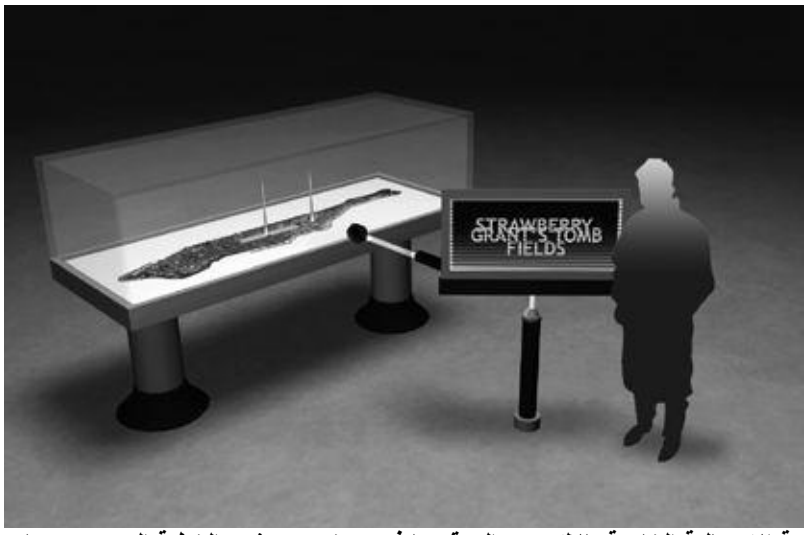
غير أن الخطية لا تجعل الحسابات الكمية يسيرة التناول وحسب، بل إنها تشكل كذلك جزءًا أساسيًا من الصعوبة التي تواجهها النظرية في تفسير ما يحدث خلال أي عملية قياس. وأفضل سبيل لفهم هذا هو تطبيق الخطية على فعل القياس ذاته.

تخيل أنك فيزيائي تجريبي، وأنك تمتلك حنينًا إلى مكان طفولتك في نيويورك، ومن ثمّ تقوم بقياس مواضع الإلكترونات التي تطلقها عبر نموذج مصغر للمدينة موضوع على سطح طاولة. تبدأ التجارب بإلكترون واحد تمتلك موجة الاحتمالية الخاصة به شكلًا بسيطا؛ إذ تتسم بالإنسيابية ولها قمة وحيدة، كما في الشكل 8-9، وهو ما يشير إلى احتمالية مقدارها 100 بالمائة لوجود الإلكترون لحظيًا في تقاطع الشارع الرابع والثلاثين مع برودواي. (لا تشغل بالك بالكيفية التي حصل بها الإلكترون على شكل الموجة هذا، فقط تعامل معه باعتباره أحد المعطيات)[120]. لو أنك قمت في هذه اللحظة بقياس موضع الإلكترون مستخدما جهازا جيد التجهيز، فمن المفترض أن تكون النتيجة دقيقة؛ ومن المفترض أن تكون القراءة الصادرة عن الجهاز هي «تقاطع الشارع الرابع والثلاثين مع برودواي». وفي الواقع، لو أنك أجريت هذه التجربة فهذا ما سيحدث بالفعل، كما في الشكل 8-9.

سيكون من قبيل التعقيد الشديد حساب الكيفية التي تمزج بها معادلة شرودنجر بين موجة الاحتمالية الخاصة بالإلكترون وبين تلك الخاصة بتريليونات وتريليونات الذرات التي يتألف منها جهاز القياس، بحيث تجتمع مجموعة من تلك الذرات معًا كي تكتب عبارة «تقاطع الشارع الرابع والثلاثين مع برودواي»، لكنّ من صمم الجهاز آيًا كانَ قام بهذه المهمة الشاقة نيابة عنا بالفعل. فالجهاز مصمم بحيث إنّ تفاعله مع ذَلكَ الإلكترون يتسبب في إظهار القراءة للموضع المحدد الذي يوجد فيه الإلكترون في هذه اللحظة. وإذا فعل الجهاز أي شيء آخر في هذا الموقف، فسيكون من الحصافة من جانبنا أن نستبدل به جهازًا جديدًا يعمل على نحو صحيح. لا يوجد ما يميز تقاطع الشارع الرابع والثلاثين مع برودواي، باستثناء سلسلة متاجر ماسي بالطبع، وإذا أجرينا التجربة ذاتها بحيث كانت قمة موجة الاحتمالية الخاصة بالإلكترون تقع عندَ قبة هايدن السماوية بالقرب من تقاطع الشارع الحادي والثمانين مع طريق سنترال بارك ويست، أو عندَ مكتب بيل كلينتون في الشارع 125 بالقرب من طريق لينوكس، فستظهر شاشة

الجهاز هذه المواقع.

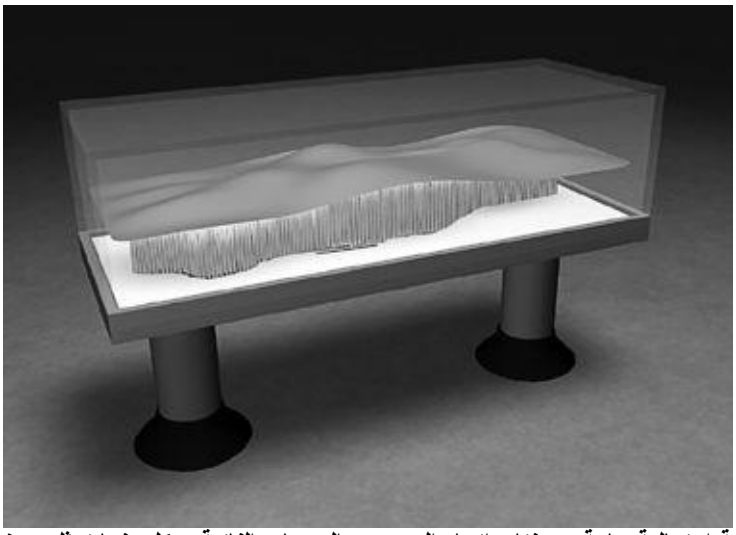
لنتدبر الآن شكلًا أكثر تعقيدًا بقليل للموجة، كما في الشكل 8-10. تشير موجة الاحتمالية هذه إلى أنّه، في أي لحظة زمنية، يوجد موضعان يمكن العثور فيهما على الإلكترون؛ نصب جون لينون التذكاري في سنترال بارك والمسمى ستروبيرى فيلدز، وضريح جرانت في ريفرسايد بارك. (هذا الإلكترون يمر بحالة مزاجية سيئة. لو أننا قسنا موضع الإلكترون ولكن، على العكس من رأي بور وعلى نحو يتفق مع أدق تجاربنا، افترضنا أن معادلة شرودنجر لا تزال تنطبق - على الإلكترون وعلى الجسيمات الموجودة في جهاز القياس وعلى كل شيء آخر - فماذا سيكون الناتج الذي يظهره الجهاز؟ الخطية هي مفتاح الجواب. فنحن نعلم ما يحدث حين نقيس الموجات الناتئة على نحو منفرد، وتتسبب معادلة شرودنجر في جعل شاشة الجهاز تعرض موضع هذه القمم، كما في الشكل 8-9. تخبرنا الخطية عندئذٍ بأنه من أجل العثور على جواب خاص بقمتين، علينا مزج نتيجتي القياس اللتين جرى التوصل إليهما على نحو منفصل.



شكل 8-10: تصل موجة الاحتمالية الخاصة بالإلكترون إلى قمتها في موضعين. تشير الخطية التي تتسم بها معادلة شرودنجر إلى أن أي عملية قياس لموضع الإلكترون ستؤدي إلى مزيج محير من كلا الموضعين.

وهنا تصير الأمور غريبة. فمن الوهلة الأولى تشير النتائج المجمعة إلى أن الشاشة ينبغي أن تسجل في الوقت ذاته موضعي القمتين. وكما يظهر في الشكل 8-10 فإن الكلمتين «ستروبيري فيلدز» و «ضريح جرانت» من المفترض أن تظهرا في الآن عينه، وقدْ امتزجت إحداهما مع الأخرى، على نحو يشبه ما يحدث مع شاشة جهاز كمبيوتر على وشك العطب. أيضًا تملي معادلة شرودنجر الكيفية التي تتشابك بها موجات الاحتمالية الخاصة بالفوتونات المنبعثة من جهاز القياس مع تلك الخاصة بالجسيمات الموجودة في الخلايا العصوية والمخروطية الموجودة في عينيك، وبالتبعية مع تلك الجسيمات المندفعة عبر أعصابك، بحيث تخلق صورة ذهنية تعكس ما تراه. وبافتراض الهيمنة المطلقة لمعادلة شرودنجر، تنطبق الخطية هنا أيضًا، ومن ثمّ لن تظهر شاشة الجهاز كلا الموضعين في الوقت ذاته وحسب، بل أيضًا سيصاب عقلك بالارتباك، إذ يظن أن الإلكترون موجود في كلا الموضعين في الوقت ذاته.

في حالة أشكال الموجات الأكثر تعقيدا، تصير الحيرة أشد وأشد. فإذا احتوى الشكل على أربع قمم تصير الحيرة مضاعفة، وإذا احتوى على ست قمم تصير الحيرة أشد بثلاثة أضعاف. لاحظ أنك لو واصلت عمل ذَلكَ - وضع قمم موجات على ارتفاعات مختلفة في كل موضع من نموذج مانهاتن - فإن شكلها المجمع سيصير أشبه بشكل موجة كمية متدرجة الارتفاع، على النحو المبين في الشكل 8-11. لا تزال الخطية سارية، وهذا يعني ضمنًا أن القراءة النهائية للجهاز، وكذلك حالتك الدماغية النهائية وانطباعك الذهني، كلها تتحدد عن طريق اتحاد النتائج الآتية من كل قمة على نحو منفرد.



شكل 8-11: أي موجة احتمالية عامة هي نتاج اتحاد العديد من الموجات الناتئة، وكل منها تمثل موضعا محتملا للإلكترون.

من المفترض أن يسجل الجهاز في الوقت ذاته موضع كل قمة - كل مكان في مانهاتن - بينما يصير عقلك متحيرًا بشدة، وعاجزًا عن الاستقرار على موضع محدد للإلكترون[121].

غير أن هذا يتعارض تماماً بطبيعة الحال مع خبراتنا المباشرة. فلا يوجد جهاز يعمل على نحو سليم يقوم بعملية القياس ثمّ يقدم نتائج متناقضة. ومن المستحيل لأي شخص عاقل يؤدي تجربة علمية أن يحصل على انطباع ذهني عن مزيج محير لنتائج متباينة في الوقت عينه.

يمكنك أن ترى الجانب الجذاب في طرح بور، الذي يصرح بأن علينا التخلص من مواضع الحيرة. فحسب ما يرى بور، يرجع السبب وراء عدم رؤيتنا أي قراءات مبهمة إلى أنّه لا وجود لها من الأساس. وهو يقول إننا توصلنا إلى نتيجة غير صحيحة لأننا بالغنا في بسط نطاق معادلة شرودنجر بحيث امتدت إلى عالم الكيانات الكبيرة: أجهزة القياس بالمختبر، والعلماء الذين يقرؤون النتائج. ورغم أن معادلة شرودنجر وما تتسم به من خطية مستقبلية تفرض علينا دمج النتائج التي نحصل عليها من المسارات الممكنة المختلفة - إذ لا شيء ينهار - فإن بور يخبرنا أن هذا ليس من الصواب لأن عملية القياس نفسها تطيح تماماً بحسابات شرودنجر الرياضية. وبدلًا من ذَلكَ يرى بور أن عملية القياس تسبب انهيار كل القمم الموجودة في الشكلين 8-10 و8-11 إلى الصفر في ما عدا قمة وحيدة، بحيث تناسب احتمالية بقاء أي قمة بعينها طرديًا مع ارتفاع هذه القمة. وهذه القمة الفريدة المتبقية تحدد القراءة الفريدة التي يظهرها الجهاز، وكذلك إدراكك الذهني لهذه النتيجة المتفردة. وبهذا تتلاشى الحيرة.

لكنّ في نظر ايفريت، وكذلك ديويت لاحقًا، كانت تكلفة نهج بور أعلى من المقبول. فمعادلة شرودنجر مقصود بها أن تصف الجسيمات. كل الجسيمات. فلماذا لا تنطبق بصورة ما على تجميعات معينة من الجسيمات؛ ونعني بهذا تلك الجسيمات التي تتألف منها أجهزة القياس وتلك التي يتألف منها القائمون على إجراء التجارب؟ هذا أمر عديم المعنى تمامًا. ومن ثمّ فقد رأى إيفريت أنّه ليس علينا نبذ معادلة شرودنجر بهذه السرعة، وبدلًا من ذَلكَ دعانا إلى تحليل ما ستأخذنا إليه معادلة شرودنجر انطلاقًا من منظور مختلف تمامًا.

يتمثل التحدي الذي واجهناه في أن من المحير الاعتقاد بأن جهاز القياس أو العقل يستشعر هو الآخر أكثر من واقع منفصل في الوقت عينه. فمن الممكن أن تكون لدينا آراء متعارضة حول هذه القضية أو تلك، وأن تنتابنا مشاعر متضاربة حيال هذا الشخص أو ذاك، لكنّ حين يتعلق الأمر بالحقائق التي تؤلف الواقع، فكل شيء نعرفه يؤكد على أن هناك وصفًا واحدًا موضوعيًا لا لبس فيه. وكل ما نعرفه يؤكد أن الجهاز الواحد وعملية القياس الواحدة سوف يقدمان قراءة واحدة، قراءة واحدة يخرج منها العقل بانطباع ذهني واحد.

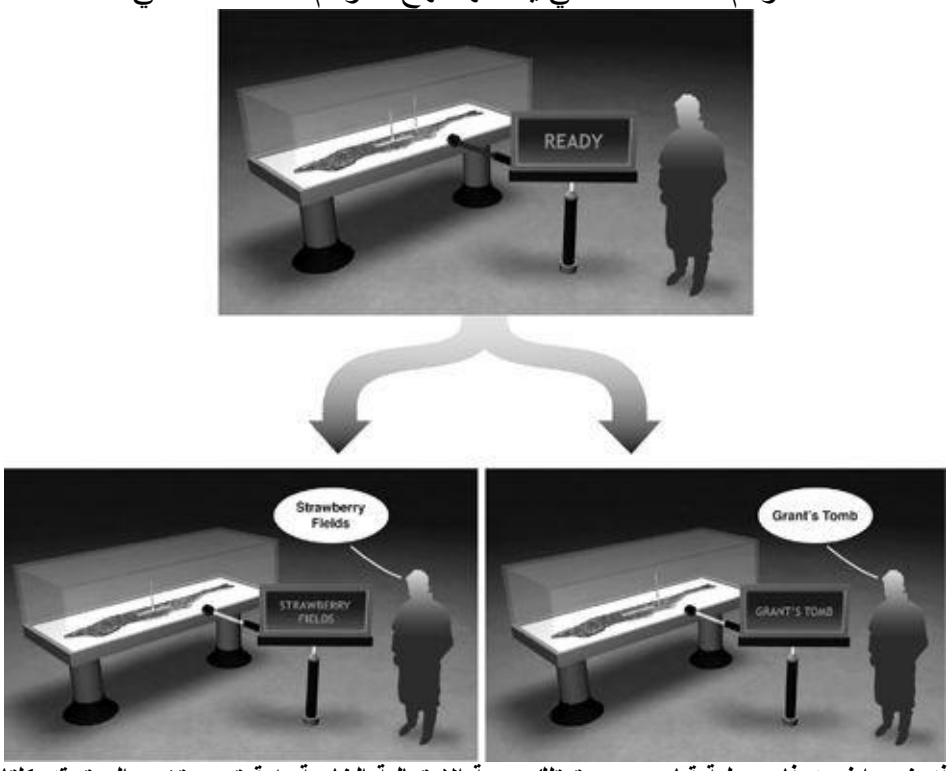
تمثلت فكرة إيفريت في أن حسابات شرودنجر الرياضية، وهي جوهر ميكانيكا الكم، متوافقة مع هذه الخبرات الأساسية. فمصدر الإبهام المفترض في قراءات جهاز القياس والانطباعات الذهنية هو الطريقة التي نؤدي بها تلك الحسابات؛ الطريقة التي نضم بها نتائج عمليات القياس الموضحة في الشكلين 8-10 و8-11. ولنتدبر هذا الأمر بقدر من التفصيل.

حين نقيس موجة ذات قمة وحيدة، كتلك المبينة في الشكل 8-9، فإن الجهاز يسجل موضع القمة. فإذا كانت القمة عندَ ستروبيري فيلدز، سيعلن الجهاز هذا، وإذا نظرت إلى النتيجة فسيسجل عقلك الموضع وستكون واعيًا به. أماً إذا كانت القمة عندَ ضريح جرانت فهذا ما سيعلن عنه الجهاز، وإذا نظرت إليه سترى ذَلكَ الموقع وتصير واعيًا به. وعندما تقيس الموجة ذات القمتين في الشكل 8-10 فإن حسابات شرودنجر الرياضية تنبئنا بأن عليك مزج التيجتين معًا. وهذه النتيجة المجمعة، كما يرى، تجعل جهاز القياس والعقل يسجلان الموضعين في الوقت ذاته. وهذا تفكير مغلوط.

بدلاً من ذَلكَ حين نتقدم ببطء وحرص نجد أن النتيجة المجمعة هي وجود جهاز قياس وعقل يسجلان ستروبيري فيلدز، وجهاز قياس وعقل يسجلان ضريح جرانت. ما الذي يعنيه هذا؟ سأستخدم خطوطًا عريضة كي أرسم الصورة العامة، ثمّ أنقح هذه الصورة بعد قليل. من أجل استيعاب النتيجة التي اقترحها إيفرت، يجب على جهاز القياس، وعليك، وعلى كل شيء آخر أن ينقسم عندَ إجراء عملية القياس، بحيث تصير لدينا نسختان من جهاز القياس، ونسختين منك، ونسختين من كل شيء آخر؛ والاختلاف الوحيد بين النسختين هو أن إحدى نسختي الجهاز وإحدى نسختيك تسجلان ستروبيري فيلدز، بينما تسجل النسخة الأخرى من الجهاز ومنك ضريح جرانت. وكما يبين الشكل 8-12 فإن هذا يعني أنّه صار لدينا الآن واقعان موازيان، عالمان موازيان. بالنسبة إلى نسختك التي تشغل كل عالم منهما، تتسم القياسات والانطباع الذهني عن النتيجة بالوضوح والتفرد ومن ثمّ فإن نسختك تشعر أن الحياة تسير على النحو المعتاد. غير أن مكمن الغرابة، بطبيعة الحال، هو وجود نسختين منك تشعران بهذا الشعور.

من أجل جعل هذه المناقشة سهلة الاستيعاب، ركزت على قياس الموضع الخاص بإلكترون وحيد، إلكترون لهُ موجة احتمالية بسيطة للغاية. غير أن مقترح إيفريت ينطبق على نحو عام. فإذا قمت بقياس موضع جسيم تمتلك موجة الاحتمالية الخاصة به أي عدد من القمم، خمس مثلاً، فستكون نتيجة هذا حسب إيفريت هي وجود خمس نسخ من الواقع تختلف فقط في ما بينها من حيث الموضع المسجل على الجهاز الخاص بكل واقع منها، وكذلك الموضع المسجل داخل عقل نسختك الموجودة في هذا الواقع. وإذا قامت إحدى نسخك هذه بقياس موضع جسيم آخر تمتلك موجته سبع قمم، فستنقسم أنت وعالمك مجددا، سبع مرات، بما يتوافق مع كل نتيجة من نتائج القياس. وإذا قمت بقياس موجة تشبه تلك الموجودة في الشكل 8-11، والتي يمكن تجزئتها إلى عدد كبير متلاصق من القمم، فستكون النتيجة عددًا كبيرًا للغاية من العوالم التي يسجل في كل منها الموضع المحتمل لكل جسيم عاى جهاز قياس وتقرأ نتيجة القياس من

جانب نسخة مختلفة منك. وفق نهج إيفريت فإن كل شيء ممكن، من منظور ميكانيكا الكم (بمعنى كل النتائج التي تعزو لها ميكانيكا الكم احتمالية غير صفرية)، يتحقق بالفعل في عالمه المنفصل. هذه هي «العوالم المتعددة» التي يضمها نهج العوالم المتعددة الكمي.



شكل 8-12: وفق نهج إيفريت فإن عملية قياس جسيم تمتلك موجة الاحتمالية الخاصة به قمتين ستؤدي إلى تحقق كلتا النتيجتين. ففي أحد العوالم سيوجد الجسيم في الموضع الأول، وفي العالم الآخر سيوجد في الموضع الثاني.

إذا استعنا بالمفردات التي استخدمناها في الفصول السابقة، فإن هذه العوالم المتعددة يمكن وصفها بأنها أكوان متعددة، بحيث تؤلف كونًا متعددًا، وهو سادس نوع نقابله من الأكوان المتعددة. وسأطلق على هذا النوع اسم «الكون المتعدد الكمي».

قصة قصتين

عندَ وصف الكيفية التي يمكن أن تولد بها ميكانيكا الكم عوالم متعددة، استخدم كلمة «ينقسم»، التي استخدمها إيفريت نفسه. ومع ذَلكَ، ففي هذا السياق يحمل هذا الفعل معاني كثيرة ومن الممكن أن يكون مضللًا، ورغم أنني كنت أنوي عدم الاستعانة به إلا أنني استسلم في النهاية. ودفاعًا عن موقفي أقول إنه في بعض الأحيان يكون استخدام مطرقة ثقيلة لتحطيم الحاجز الذي يفصل بيننا وبين مقترح غير مألوف متعلق بكيفية عمل الواقع، ثمّ العمل على إصلاح التلف بعد ذَلكَ، أكثر فاعلية من فتح نافذة ضيقة بحرص بحيث تكشف المشهد الجديد مباشرة. لقد استخدم هذه المطرقة، وفي هذا القسم والقسم الذي يليه سأباشر عملية الإصلاح. إنّ بعض الأفكار أشد صعوبة قليلًا من تلك التي قابلناها إلى الآن، ومن الممكن أن تكون سلسلة التفسير أطول قليلًا، غير أنني أشجعك على البقاء معي. وقدْ وجدت في أحيان كثيرة أن كثيرًا من الأشخاص الذين يعرفون بشأن فكرة العوالم المتعددة، أو حتّى يألفونها، لديهم انطباع بأن هذه الفكرة جاءت نتيجة تأملات فكرية جامحة أشد الجموح. غير أن هذا بعيد كل البعد عن الحقيقة. وكما سأشرح فإن نهج العوالم المتعددة، بصورة ما، هو الإطار المفاهيمي الأكثر تحفظا لتعريف فيزياء الكم، ومن المهم أن نفهم سبب ذَلكَ.

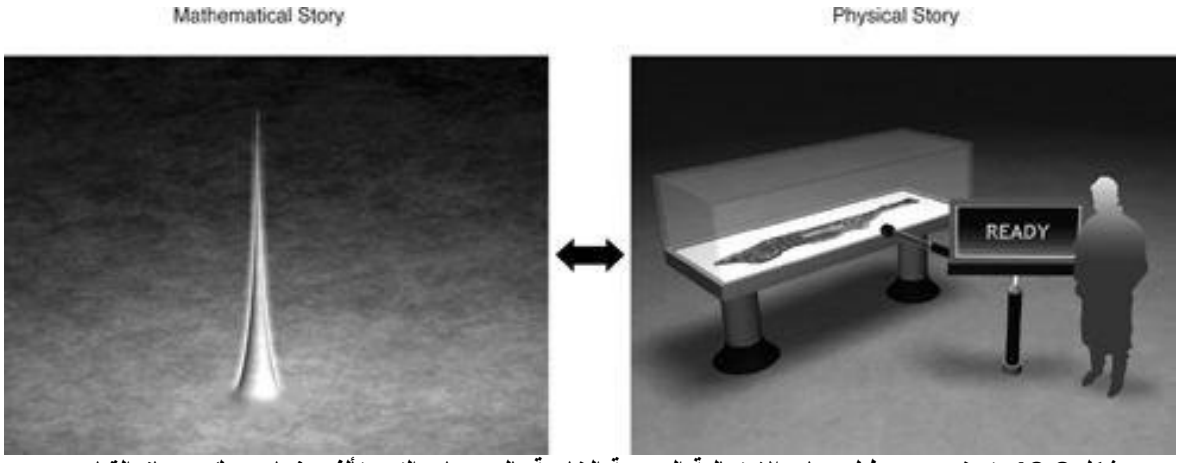
النقطة الأساسية هنا هي أن الفيزيائيين مجبرون دائمًا على رواية نوعين من القصص. النوع الأول هو القصة الرياضية المتعلقة بكيفية تطور الكون وفق أي نظرية بعينها. أماً القصة الثانية، والضرورية أيضًا، فهي القصة الفيزيائية التي تترجم الرموز الرياضية المجردة إلى لغة تجريبية. وهذه القصة الثانية تصف الكيفية التي سيبدو بها التطور الرياضي في نظر الراصدين أمثالنا وكذلك، بصورة عامة، ما تخبرنا به الرموز الرياضية بشأن طبيعة الواقع. في زمن نيوتن كانت القصتان متطابقتين تمامًا، كما اقترحت في الملحوظة التي أوردتها في الفصل السابع عن أن «البنية» النيوتونية كانت مباشرة وملموسة. فكل رمز رياضي في معادلات نيوتن لهُ مكافي فيزيائي مباشر وواضح. ماذا يعني الرمز «م»؟ إنه يشير إلى موضع الكرة. وماذا عن الرمز «س»؟ إنه يشير إلى السرعة المتجهة للكرة. لكنّ حين نتحدث عن ميكانيكا الكم فإن ترجمة الرموز الرياضية إلى أشياء يمكن رؤيتها في العالم من حولنا تصير أكثر صعوبة بكثير. وبالتبعية فإن اللغة المستخدمة والمفاهيم ذات الصلة بكل قصة من القصتين تصير مختلفة جدًا لدرجة أنك تصير في حاجة إلى القصتين معًا كي تكتسب فهمًا متكاملًا. لكنّ من المهم التزام الوضوح بشأن أي القصتين تروي: بمعنى أن تفهم جيدًا أي الأفكار والتوصيفات يجري الاستعانة بها كجزء من البنية الرياضية الأساسية للنظرية، وأنها تستخدم لبناء جسر يربط النظرية بالخبرة الإنسانية الفعلية.

لنتناول معاً قصتي نهج العوالم المتعددة في ميكانيكا الكم. وإليك القصة الأولى.

إنّ المعادلات الرياضية لنهج العوالم المتعددة نقية وبسيطة وثابتة، وذلك خلافاً لتلك الخاصة بنهج كوبنهاجن. فمعادلة شرودنجر تحدد كيفية تطور موجات الاحتمالية مع مرور الوقت، ولا تجري تنحيتها جانباً مطلقاً، إذ إنها تنطبق على الدوام. تحدد معادلة شرودنجر الرياضية شكل موجات الاحتمالية، فتجعلها تتحول وتتغير وتتذبذب مع مرور الوقت. وسواء أكانت تتناول موجة احتمالية خاصة بأحد الجسيمات، أو بمجموعة من الجسيمات، أو بمجموعات مترابطة من الجسيمات كتلك التي تؤلف جسدك أو جهاز القياس، فإن معادلة شرودنجر تأخذ شكل موجة الاحتمالية المبدئية للجسيمات وتعامله على أنّه أحد المدخلات وبعد ذلك، مثل البرنامج الرسومي الذي يشغل شاشة حفظ معقدة، ترسم شكل الموجة في أي لحظة مستقبلية، وهذا هو المخرج الخاص بها. ووفق هذا النهج فإن هذه هي الكيفية التي يتطور بها

الكون. هذا كل شيء. نهاية القصة. أو بالأحرى، نهاية القصة الأولى.
لاحظ أنني عندَ رواية القصة الأولى لم أكن بحاجة إلى استخدام كلمة «ينقسم»، أو مصطلح «العوالم المتعددة»، أو «الأكوان الموازية»، أو «الكون المتعدد الكمي». فنهج العوالم الموازية لا يفترض هذه السمات؛ إذ إنها لا تلعب دورا في البنية الرياضية الأساسية للنظرية. بدلاً من ذلك، وكما سنرى الآن، فإن هذه الأفكار سنستعين بها في القصة الثانية، حين نتناول ما تخبرنا به الرياضيات بشأن مشاهداتنا وقياساتنا، وذلك سيرًا على خطى إيفريت وغيره ممن توسعوا في أبحاثه الرائدة.
لنبدأ على نحو بسيط، أو بأبسط ما في وسعنا. تدبر علمية قياس إلكترون له موجة احتمالية ناتئة، كما في الشكل 8-9. (مجددًا، لا تشغل بالك بالكيفية التي حصل بها الإلكترون على شكل الموجة هذا، فقط تعامل معه باعتباره أحد المعطيات.) كما ذكرنا من قبل فإن رواية القصة الأولى حتى لعملية القياس البسيطة هذه بالتفصيل إنما هو أمر يقع خارج حدود قدراتنا. فسنحتاج إلى استخدام حسابات شرودنجر الرياضية من أجل تبين كيفية اتحاد موجة الاحتمالية التي تصف مواضع ذلك العدد الهائل من الجسيمات التي يتألف منها جسدك وجهاز القياس مع موجة الاحتمالية الخاصة بالإلكترون، وكيفية تطور اتحادها مع مرور الوقت. في المعتاد يجد طلاب الدراسات العليا الذين أشرف عليهم، وكثير منهم بارعون للغاية، صعوبةً كبيرة في حل معادلة شرودنجر لجسيم واحد وحسب. أما جسدك وجهاز القياس فيتألفان من نحو 10^{27} جسيمًا. إن حل معادلة شرودنجر لهذا العدد الكبير من الجسيمات أمر مستحيل فعلياً. ورغم هذا، فنحن نفهم ما تستتبعه الحسابات الرياضية نوعياً. فعندما نقيس موضع الإلكترون، نحن نتسبب في هجرة جماعية للجسيمات؛ فنجد أن نحو 10^{24} جسيم أو نحو ذلك تتدافع عبر شاشة جهاز القياس، وكأن هذه الجسيمات أشبه براقصين يؤدون عرضاً سريعاً بين شوطي مباراة، بحيث يصل كل منهم إلى موضعه الملائم حتى تتمكن معاً من تكوين العبارة «تقاطع الشارع الرابع والثلاثين مع برودواي»، بينما يندفع عدد مقارب في عينيك ودماغك كي يؤدي ما هو مطلوب أيًّا كان من أجل تكوين صورة ذهنية واضحة عن النتيجة. ومعادلة شرودنجر الرياضية - مهما كان التحليل المباشر لها مستحيلاً في مواجهة هذا العدد الضخم من الجسيمات - تصف حركة الجسيمات هذه.
أيضاً يُعد تصور هذا التحول على مستوى موجة الاحتمالية أمرًا مستحيل المنال. في الشكل 8-9 وما تلاه من أشكال في هذا السياق استخدمتُ محورين، محور الشمال - الجنوب ومحور الشرق الغرب لشوارع نموذج مدينة مانهاتن، وذلك من أجل الإشارة إلى المواضع المحتملة لجسيم واحد. جرت الإشارة إلى قيمة موجة الاحتمالية في كل موضع عن طريق ارتفاع الموجة. هذا يبسط الأمور كثيراً بالفعل لأنني تغاضيت عن المحور الثالث، وأعني بهذا الموضع العمودي للجسيم (ما إذا كان في الطابق الثاني من متجر ماسي أم الخامس). كان من شأن تضمين المحور الثالث أن يكون مثيرًا للمتاعب، لأنني لو استخدمت هذا المحور بغية الإشارة إلى الموضع، فلن يتبقى لدي أي محاور لتسجيل حجم الموجة. هذه من مواطن قصور المنظومة الدماغية والبصرية التي رسخها التطور في الأبعاد المكانية الثلاثة. ومن أجل تصور موجة الاحتمالية تصورًا صحيحًا بالنسبة للجسيمات البالغ عددها نحو 10^{27}جسيم، سأحتاج إلى تضمين ثلاثة محاور لكل جسيم منها، وهو ما يمكنني من أن أفسر رياضيًّا كل موضع من المحتمل أن يشغله كل جسيم[122]. ومن شأن إضافة محور واحد وحسب إلى الشكل 8-9 أن يجعله صعب التصور، أما التفكير في إضافة مليار مليار مليار محور آخر فهو من قبيل السخافة.
غير أن الصورة الذهنية للأفكار المحورية مهمة، لذا فبصرف النظر عن النتيجة غير المثالية دعونا نجرب هذا الأمر. عند رسم موجة الاحتمالية للجسيمات التي يتألف منها جسدك وجهاز القياس، سألتزم

بقيد المحورين المرسومين على الصفحة المستوية، غير أنني سأستخدم تفسيرًا غير تقليدي لما يعنيه المحوران. وبصورة عامة سأفكر في كل محور على أنه يتألف من حزمة ضخمة من المحاور، المُجَمَّعة معًا على نحو وثيق، والتي من شأنها أن تُفَصِّل المواضع المحتملة لعدد ضخم مماثل من الجسيمات. ومن ثم فإن الموجة المرسومة باستخدام هذه المحاور المجمعة ستعرض المواضع المحتملة لمجموعة ضخمة للغاية من الجسيمات. ومن أجل التشديد على الفارق بين مواقف الجسيم الوحيد ومواقف الجسيمات المتعددة، سأستخدم مخططًا ساطعًا لبيان موجة الاحتمالية الخاصة بالجسيمات المتعددة، كما في الشكل 8-13.



شكل 8-13: توضيح مبسط لموجات الاحتمالية المجمعة الخاصة بالجسيمات التي يتألف منها جسدك وجهاز القياس.

الصور الإيضاحية الخاصة بالجسيمات المتعددة والجسيم المنفرد تمتلك بعض السمات المشتركة. فمثلما يشير شكل الموجة الناتئة في الشكل 8-6 إلى أن الاحتمالات شديدة الترجيح (إذ من المرجح بنسبة تقارب المائة في المائة أن يوجد الجسم في موضع القمة وبنسبة تقارب الصفر في المائة أن يوجد في أي موضع آخر)، فإن الموجة الناتئة في الشكل 8-13 تشير أيضاً إلى احتمالات شديدة الترجيح. غير أن عليك توخي الحذر، لأن الفهم المبني على الرسومات الإيضاحية الخاصة بالجسيم المنفرد لن تفيدك أكثر من هذا. على سبيل المثال، استنادًا إلى الشكل 8-6 من الطبيعي التفكير في أن الشكل 8-13 يمثل جسيمات مجتمعة معًا حول الموضع ذاته، غير أن هذا ليس صحيحًا. فشكل القمة الظاهر في الشكل 8-13 يرمز إلى أن كل جسيم من الجسيمات التي يتألف منها جسدك وجهاز القياس يبدأ من الحالة الطبيعية المألوفة التي يكون فيها الموضع محددًا بنسبة تناهز 100 بالمائة. غير أنها ليست موجودة في الموضع ذاته. فالجسيمات التي تؤلف يدك وكتفك ودماغك متجمعة، على نحو شبه يقيني، حول الموضع الذي تحتله يدك وكتفك ودماغك، والجسيمات التي تؤلف جهاز القياس متجمعة، على نحو شبه يقيني، حول الموضع الذي يحتله الجهاز. ويشير شكل الموجة الناتئة في الشكل 8-13 إلى أن كل جسيم من هذه الجسيمات يمتلك فرصة شديدة الضآلة في التواجد في أي موضع آخر.

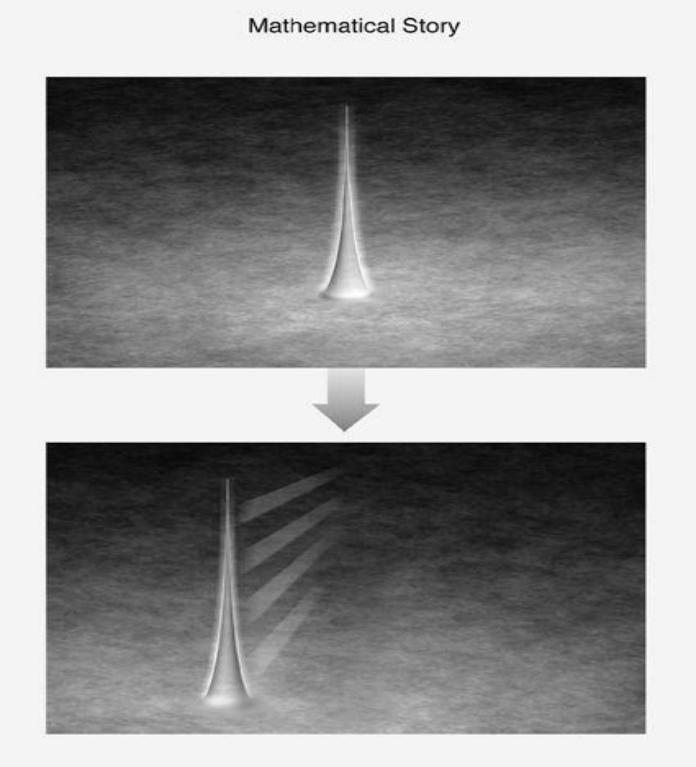
لو أنك أجريت الآن عملية القياس الموضحة في الشكل 8-14، فإن موجة الاحتمالية للجسيمات المتعددة (الخاصة بالجسيمات الموجودة في جسدك وفي جهاز القياس)، ستتطور)على النحو الموضح في الشكل 8-14أ) نتيجة التفاعل مع الإلكترون. كل الجسيمات المعنية ستظل لها مواضع محددة بشكل شبه كامل (داخلك وداخل جهاز القياس)، ولهذا السبب تظل الموجة الموضحة في الشكل 8-14أ محتفظة بشكلها الناتئ. ومع ذلك تحدث عملية إعادة ترتيب ضخمة للجسيمات بحيث تؤدي إلى ظهور الكلمات «ستروبيري فيلدز» على شاشة الجهاز وأيضًا في دماغك (كما في الشكل 8-14ب). يمثل الشكل 8-14أ التحول الرياضي الذي تمليه معادلة شرودنجر، أي النوع الأول من القصة. أما الشكل 8-14ب فيمثل الوصف الفيزيائي لهذا التطور الرياضي، أي النوع الثاني من القصة. وبالمثل، لو أننا أجرينا التجربة في الشكل 8-15، سيحدث تحول مماثل في الموجة (الشكل 8-15أ)، وهذا التحول يتوافق مع عملية إعادة ترتيب ضخمة للجسيمات تظهر الكلمات «ضريح جرانت» على شاشة جهاز القياس وتولد الصورة الذهنية المصاحبة لها في دماغك (الشكل 8-15ب).

والآن استخدم سمة الخطيَّة لجمع الصورتين معًا. لو أنك قمت بقياس موضع الإلكترون الذي تمتلك موجة

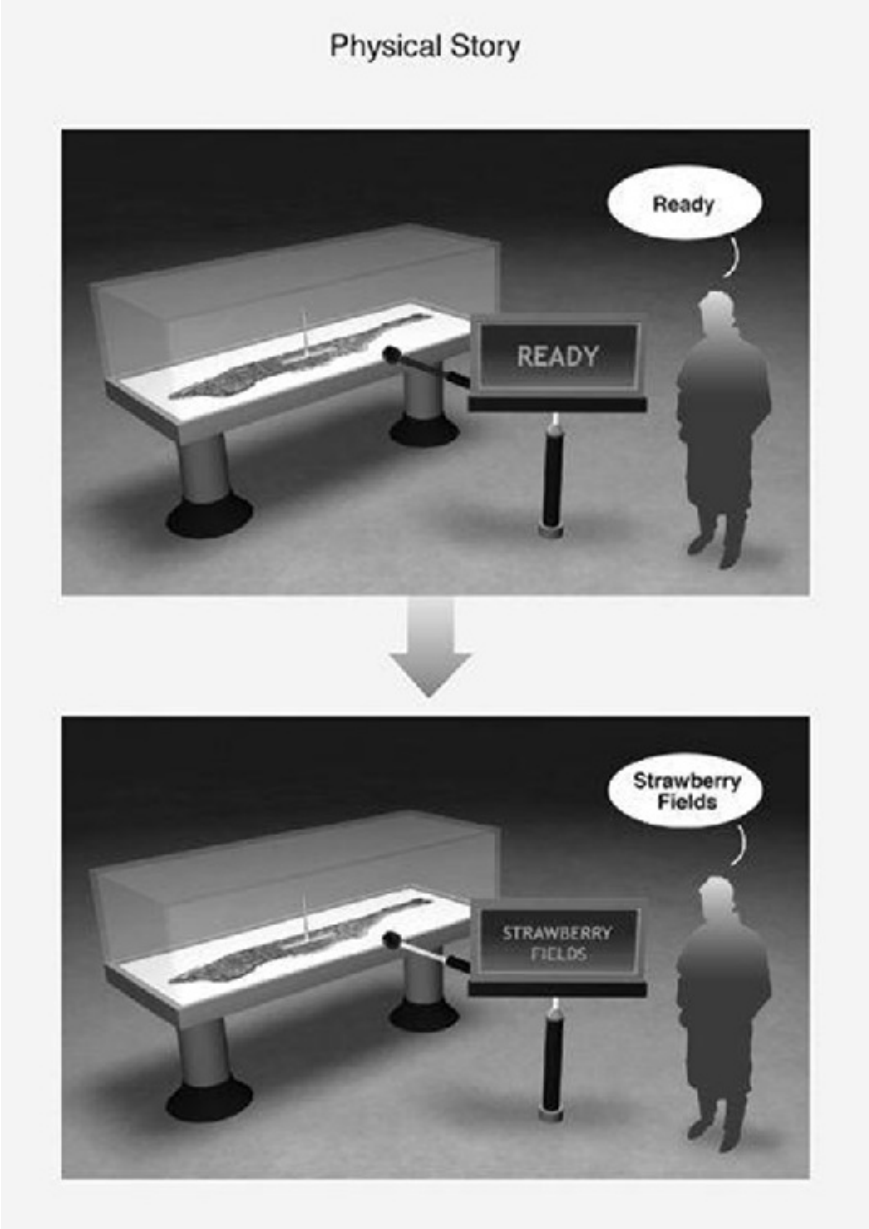
الاحتمالية الخاصة به قمتين في موضعين مختلفين، فإن موجة الاحتمالية الخاصة بك وبجهاز القياس ستمتزجان مع تلك الخاصة بالإلكترون، وهو ما يؤدي إلى التطور المبين في الشكل 8-16أ؛ والذي يجمع التطور المبين في الشكل 8-14أ مع ذلك المبين في الشكل 8-15أ. إلى هذا الحد ليست هذه إلا نسخة مشروحة وموضحة للنوع الأول من القصة الكمية. فنحن نبدأ بموجة احتمالية لها شكل معين، ثم تتطور الموجة مع مرور الزمن وفق معادلة شرودنجر، وينتهي بنا المطاف بموجة احتمالية لها شكل جديد. غير أن التفاصيل التي أوضحناها الآن تسمح لنا برواية هذه القصة الرياضية بلغة قصة النوع الثاني ذات الصبغة النوعية.

من الناحية الفيزيائية، كل قمة في الشكل 8-16أ تمثل نسقًا لعدد ضخم من الجسيمات، وهذا النسق يؤدي إلى إصدار جهاز القياس قراءة معينة وإلى اكتساب عقلك لتلك المعلومة. في القمة اليسرى، القراءة الناتجة هي «ستروبيرى فيلدز»، وفي اليمنى «ضريح جرانت». وإلى جانب هذا الاختلاف فمن الضروري أن ندرك أنه ليست أي من القراءتين أكثر واقعية من الأخرى. فلا يوجد ما يميز بين هاتين الموجتين متعددتي الجسيمات بخلاف القراءة التي يظهرها الجهاز وقراءتك أنت لتلك القراءة.

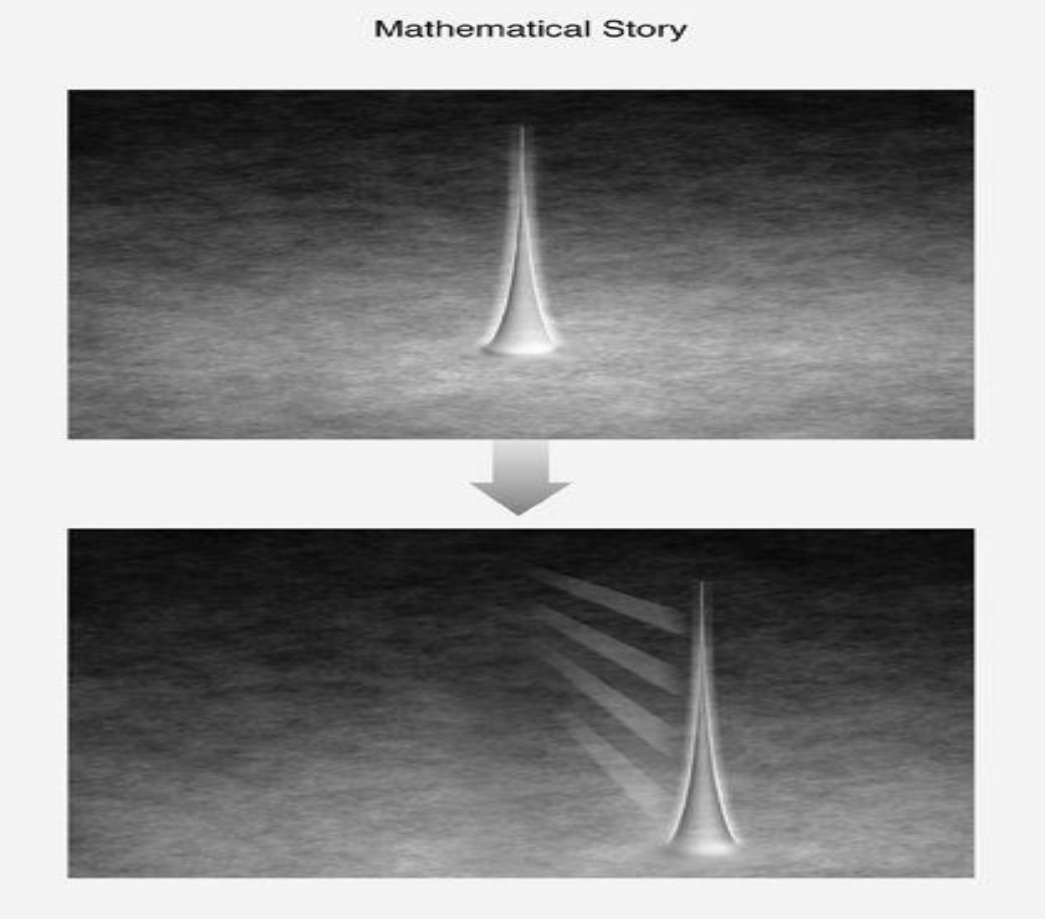
وهذا يعني أن قصتنا ذات النوعين تتضمن واقعين متمايزين، على النحو المبين في الشكل 8-16ب. في الحقيقة، التركيز على جهاز القياس وعلى جسدك ما هو إلا وجه آخر من أوجه التبسيط؛ فبإمكاننا أيضًا تضمين الجسيمات التي يتألف منها المختبر وكل ما فيه، علاوة على تلك التي تتألف منها الأرض والشمس وما إلى ذلك، وستظل المناقشة كما هي تمامًا. الفارق الوحيد سيتمثل في أن موجة الاحتمالية الساطعة المبينة في الشكل 8-16أ ستضم وقتها المعلومات الآتية من كل تلك الجسيمات كذلك. لكن بما أن عملية القياس التي نناقشها الآن ليس لها تأثير على هذه الجسيمات، فستتواجد في الصورة بغرض التواجد وحسب. ومع ذلك فمن المفيد تضمين تلك الجسيمات؛ لأن قصتنا الثانية يمكن الآن تدعيمها بحيث لا تشتمل وحسب على نسخة منك وأنت تنظر إلى الجهاز الذي يجري عملية القياس وحسب، بل ستشتمل كذلك على نسخ من المختبر المحيط بك، ومن بقية الأرض التي تدور حول الشمس، وهكذا دواليك. وهذا يعني أن كل قمة، بلغة القصة الثانية، تتوافق مع ما نسميه كونًا حقيقيًّا. وفي أحد هذه الأكوان، أنت ترى العبارة «ستروبيري فيلدز» على الشاشة، وفي كون آخر ترى العبارة «ضريح جرانت».



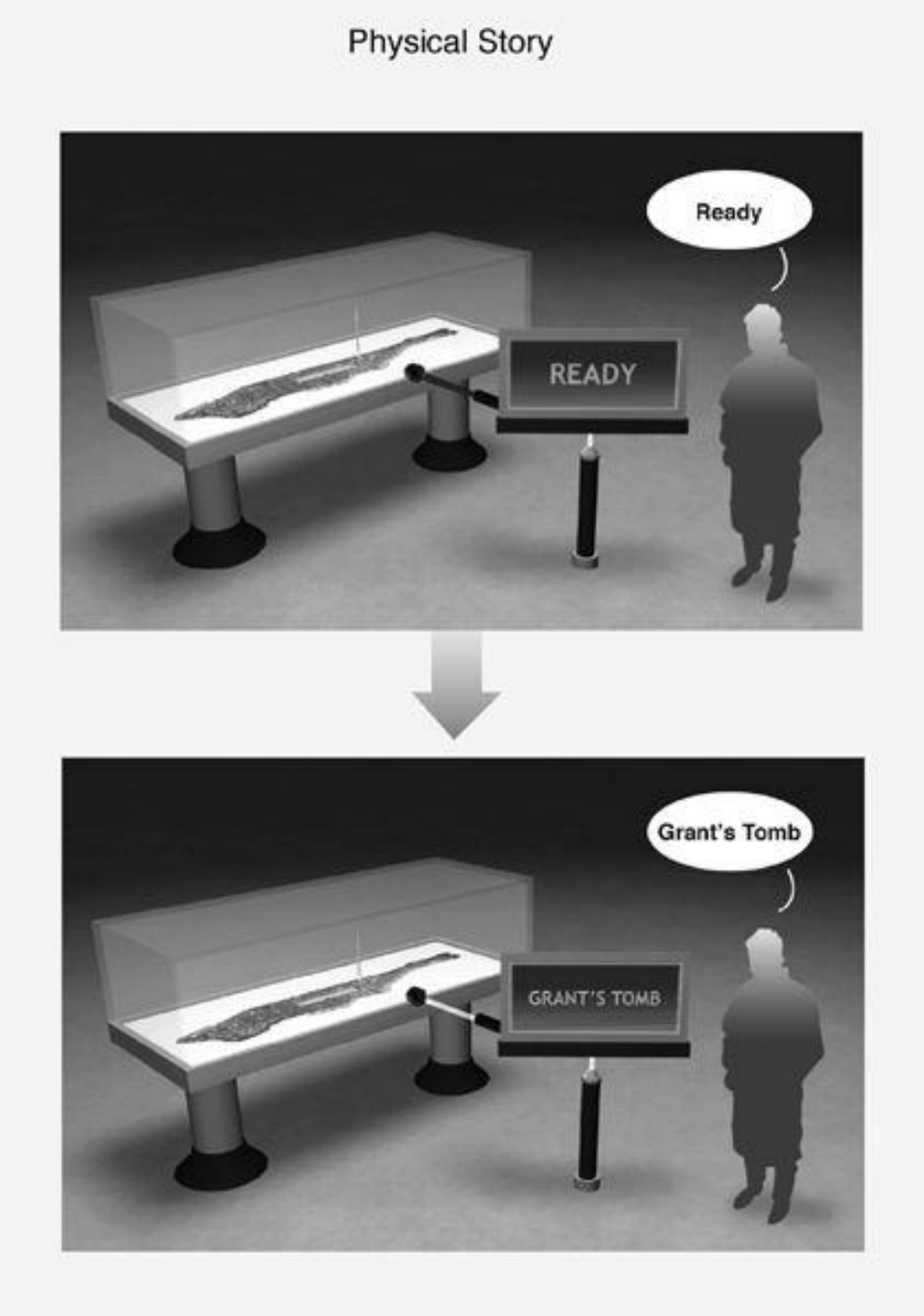
شكل 8-14أ: توضيح مبسط لتطور موجة الاحتمالية المجمعة الخاصة بكل الجسيمات التي يتألف منها جسدك وجهاز القياس، وذلك عند قياس موضع أحد الإلكترونات، وهذا التطور تمليه معادلة شرودنجر. تصل موجة احتمالية الإلكترون إلى قمتها عند «ستروبيري فيلدز».



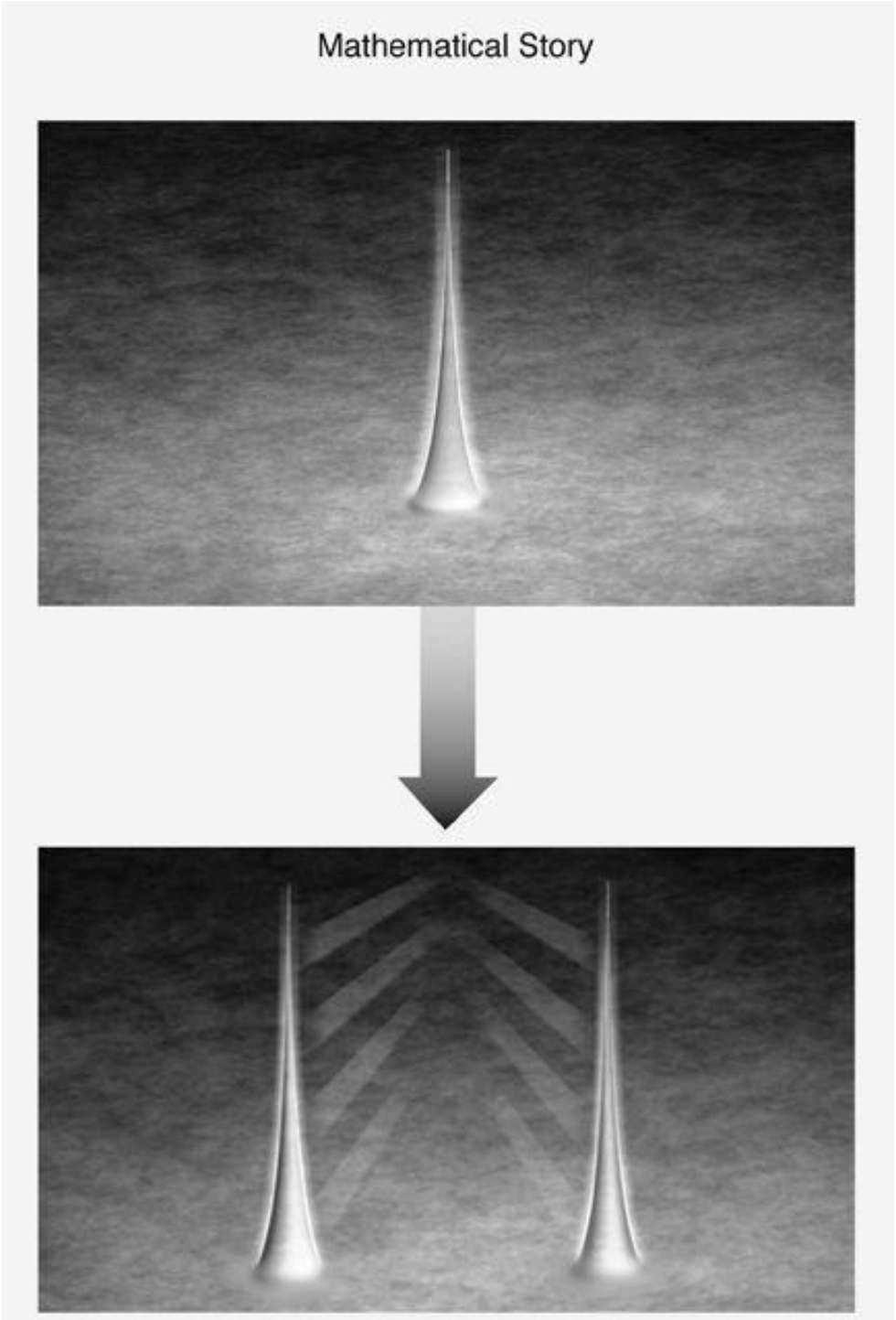
(ب) شكل 8-14ب: القصة الفيزيائية، أو التجريبية، المكافئة.



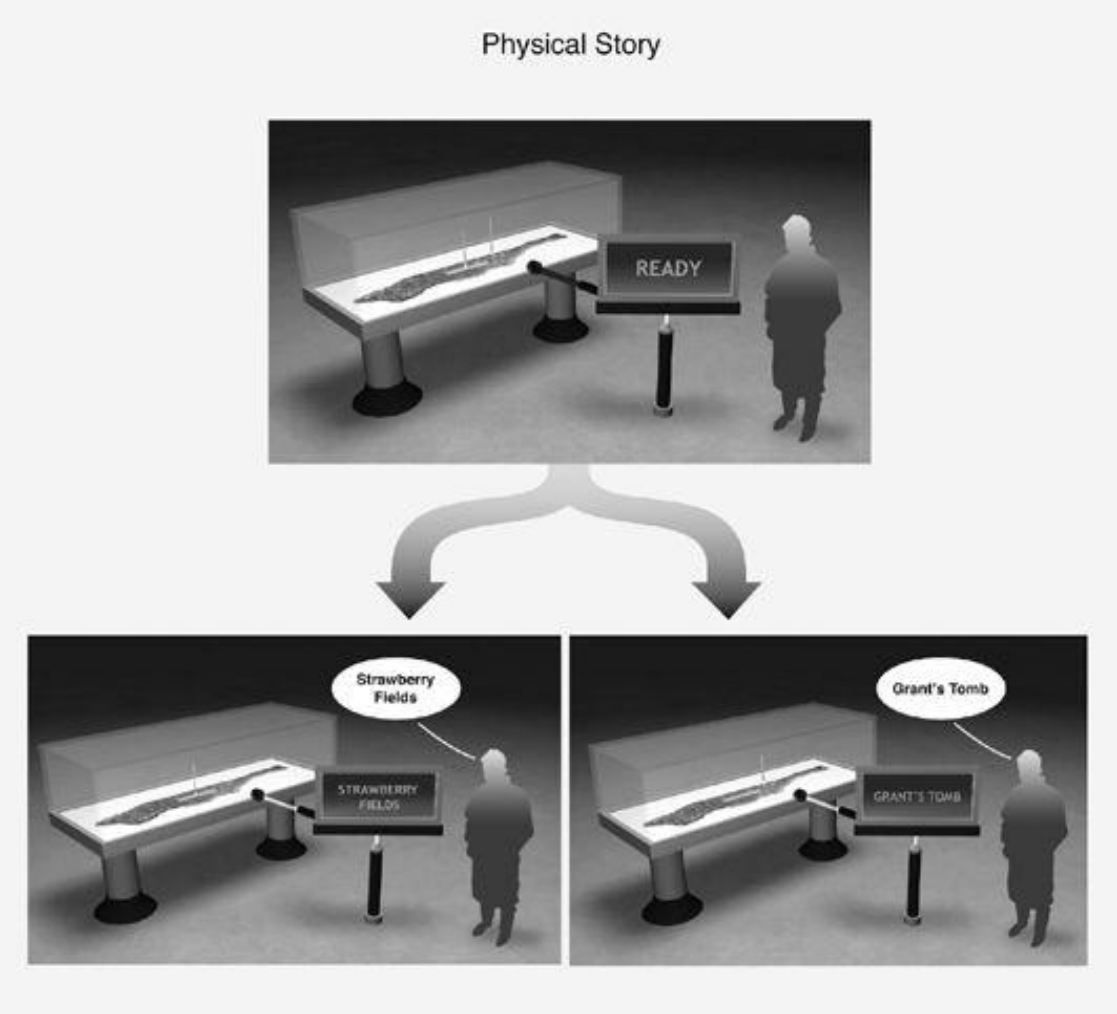
شكل 8-15أ: نوعية التطور الرياضي نفسها المبينة في الشكل 8-14 أ، غير أن موجة احتمالية الإلكترون تصل إلى قمتها عند «ضريح جرانت».



(ب) الشكل 8-15ب: القصة الفيزيائية، أو التجريبية، المكافئة.



(أ) شكل 8-16أ: توضيح مبسط لتطور موجة الاحتمالية المجمعة الخاصة بكل الجسيمات منها جسدك وجهاز القياس، وذلك عند قياس موضع أحد الإلكترونات، وتصل احتمالية الإلكترون إلى قمتها عند «ضريح جرانت».



(ب) شكل 8-16ب: القصة الفيزيائية، أو التجريبية، المكافئة.

إذا كانت موجة الاحتمالية الأصلية الخاصة بالإلكترون تمتلك أربع قمم، مثلاً، أو خمسة أو مائة أو أي عدد من القمم، فسيترتب على ذلك أن يؤدي تطور الموجة إلى وجود أربعة أكوان، أو خمسة أو مائة أو أي عدد من الأكوان. وفي أكثر الحالات عمومية، كما في الشكل 8-11، تتألف الموجة المنتشرة من قمم في كل موضع، ومن ثم ينتج تطور الموجة مجموعة عريضة من الأكوان، كون في كل موضع محتمل[123].

لكن كما أوضحنا فإن الشيء الوحيد الذي يحدث في أي من هذه السيناريوهات هو أن موجة الاحتمالية تدخل معادلة شرودنجر، ثمّ تؤدي الحسابات الرياضية مهمتها، ثم تخرج الموجة ولها شكل مُعَدَّل. لا وجود لأي «ماكينة استنساخ»، ولا «ماكينة تقسيم». ولهذا السبب قلت سابقًا إن مثل هذه الكلمات يمكن أن تعطي انطباعا مضللًا. فلا يوجد شيء بخلاف «ماكينة» تطور موجة الاحتمالية، والتي يحركها القانون الرياضي البسيط لميكانيكا الكم.

وحين تمتلك الموجات الناتجة شكلًا معينًا، كما في الشكل 8-16 أ، فإننا نعيد رواية القصة الرياضية بلغة النوع الثاني، ومن ثم نخلص إلى أنّه يوجد عند كل قمة كائن عاقل، موجود داخل كون طبيعي، واثق من

أنه يرى النتيجة الوحيدة والحاسمة لهذه التجربة، كما في الشكل 8-16ب. وإذا أمكنني بصورة ما مقابلة كل هذه الكائنات العاقلة فسأجد أن كل منها نسخة طبق الأصل من الباقين. ونقطة الاختلاف الوحيدة بينهم ستكون تأكيد كل منهم على وجود نتيجة مختلفة.

وهكذا، رغم أن بور وأنصار تفسير كوبنهاجن يرون أن واحدًا فقط من هذه الأكوان سيكون له وجود (لأن فعل القياس، الذي يزعمون أنه يقع خارج نطاق معادلة شرودنجر، سيسبب انهيار كل النتائج الأخرى)، ورغم أن المحاولة الأولى لتجاوز ما ذهب إليه بور وتطبيق معادلة شرودنجر على الجسيمات كافة، بما فيها تلك التي تتألف منها أجهزة القياس والأدمغة، تؤدي إلى نتيجة محيرة (لأنه يبدو أن أي جهاز قياس أو دماغ يضمان كل النتائج المحتملة في الآن عينه)، فقد وجد إيفريت أن القراءة الحريصة لحسابات شرودنجر تقودنا إلى طريق آخر: إلى واقع ثري عامر بمجموعات دائمة الزيادة من الأكوان.

قبل نشر ورقة إيفريت البحثية في عام 1957 جرى تداول نسخة أولية منها بين عدد من الفيزيائيين حول العالم. وتحت توجيه ويلر جرى تخفيف لغة الورقة بشدة، لدرجة أن كثيرين ممن قرؤوها كانوا غير واثقين مما إذا كان إيفريت ينادي بأن كل الأكوان الناتجة عن الحسابات الرياضية حقيقية أم لا. صار إيفريت واعيًا بهذا اللبس وقرر توضيحه، وفي «ملحوظة أضيفت في مرحلة البروفات المطبعية» يبدو أنه أدرجها خلسة قبل النشر مباشرة، ومن دون أن يلاحظ ويلر ذلك بالطبع، عبر إيفريت بوضوح عن موقفه إزاء ما تتسم به النتائج المختلفة من واقعية، إذ قال: «من منظور النظرية، كلها... «حقيقية»، وليس أي منها أكثر الحقيقية من البقية»[124]

متى يكون العالَم البديل كونًا حقيقيًّا؟

إلى جانب كلمتي «انقسام» و«استنساخ» المحملتين بعديد المعاني، استخدمنا بحرية مصطلحين شاملين آخرين في قصتنا ذات الشقين؛ وهما «العالَم» و«الكون»، وكانتا تُستخدمان على نحو تبادلي في هذا السياق. هل ثمة خطوط عامة تحدد لنا متي يكون هذا الاستخدام ملائمًا؟ عندما نتدبر موجة الاحتمالية الخاصة بإلكترون وحيد لهُ قمتان (أو أكثر)، فنحن لا نتحدث عن عالَمَيْن (أو أكثر)؛ بل نحن نتحدث عن عالم واحد - عالمنا - يحوي إلكترونًا يتسم موضعه بالغموض. ومع ذلك، وفق نهج إيفريت، فعندما نقيس ذلك الإلكترون أو نرصده، فنحن نتحدث عن وجود عوالم متعددة. ما الذي يفرق بين الجسيم المقيس والجسيم غير المقيس، بحيث تكون التوصيفات الناتجة مختلفة على نحو جذري كهذا؟

من الإجابات السريعة لهذا السؤال هي أنه في حالة الإلكترون الوحيد المنعزل، نحن لا نروي القصة ذات النوعين لأنه من دون عملية قياس أو رصد لا يوجد أي صلة بالخبرة البشرية تحتاج إلى التعبير عنها. فقصة النوع الأول الخاصة بموجة الاحتمالية التي تتطور عبر معادلة شرودنجر الرياضية هي كل ما نحتاج إليه. ومن دون القصة ذات النوعين لا توجد فرصة لاستحضار مفهوم العوالم المتعددة. ورغم أن هذا التفسير ملائم، فإن من المُجدي التعمق قليلًا في الأمر، بحيث نكشف عن سمة خاصة للموجات الكمية تمارس تأثيرها حين نكون بصدد التعامل مع جسيمات عديدة.

ومن أجل استيعاب الفكرة الجوهرية، من الأيسر معاودة النظر إلى تجربة الشق المزدوج المبينة في الشكلين 8-2 و8-4. كما تذكر فإن موجة الاحتمالية الخاصة بالإلكترون تصطدم بالحاجز، ويعبر جزءان من الموجة من الشقين متجهين نحو شاشة الرصد. ومن واقع مناقشة العوالم المتعددة، ربما يتراءى لك أن كلتا الموجتين المتسارعتين تمثلان واقعين مختلفين. في أحد هذين العالمين يندفع الإلكترون عبر الشق الأيسر، وفي الآخر يندفع عبر الشق الأيمن. غير أنك تدرك على الفور أن الامتزاج بين هذين «الواقعين المنفصلين» المفترضين يؤثر تأثيرًا عميقًا على نتيجة التجربة؛ فهذا الامتزاج هو السبب وراء إنتاج نمط التداخل. لذا لا يصير من المنطقي النظر إلى مساري الموجتين بوصفهما يوجدان في كونين منفصلين، كما أنه لا يقدم أي نتيجة محددة.

لكن إذا غيرنا التجربة، عن طريق وضع جهاز قياس خلف كل شق بحيث يسجل ما إذا كان الإلكترون قد عبر منه أم لا، يصير الموقف مختلفًا تمام الاختلاف. فبسبب وجود ذلك الجهاز العياني، يولد مسارا الإلكترون المنفصلان اختلافات عديدة في عدد ضخم من الجسيمات؛ ذلك العدد الضخم من الجسيمات الموجودة في شاشة جهاز القياس التي تُظهِر عبارة «عَبَرَ الإلكترون من الشق الأيسر» أو «عَبَرَ الإلكترون من الشق الأيمن». ولهذا السبب فإن موجتي الاحتمالية الخاصتين بكل نتيجة محتملة تصيران متمايزتان إلى درجة أن من المستحيل أن تؤثر إحداهما على الأخرى. وكما في الشكل 8-16أ فإن الاختلافات بين مليارات ومليارات الجسيمات الموجودة في جهاز القياس تجعل الموجتين الخاصتين بالنتيجتين تنحرفان إحداهما على الأخرى، ما يخلِّف قدرًا لا يُذكَر من التداخل. وفي ظل انعدام التداخل هذا، لا تظهر الموجات أي من ظواهر التداخل المميزة لفيزياء الكم. وفي الواقع، في ظل وجود جهاز القياس في موضعه، فإن الإلكترونات لا تنتج نمط التداخل الموضح في الشكل 8-2ج، وإنما تولد تجمعية غير متداخلة من النتيجتين المبيتين في الشكلين 8-12 و8-2ب. ويقول الفيزيائيون إن موجات الاحتمالية ينعدم الترابط بينها (وهو أمر يمكنك أن تقرأ عنه بمزيد من التفصيل في الفصل السابع من كتاب «نسيج الكون»).

المغزى من هذا، إذًا، أنه بمجرد حدوث عملية انعدام الترابط فإن الموجة الخاصة بكل نتيجة تتطور على

نحو مستقل - فلا يوجد امتزاج بين النتيجتين المحتملتين المتمايزتين - ومن ثم يمكن أن توصَف كل منهما بأنها عالم أو كون مستقل. وفي الحالة التي بين يدينا فإنه في أحد الأكوان سيعبر الإلكترون من الشق الأيسر، وتظهر شاشة القياس هذا وفي الكون الآخر سيعبر من الشق الأيمن، ويسجل جهاز القياس هذا أيضًا.

وبهذا المعنى، وهذا المعنى وحده، يحدث توافق مع رؤية بور. فوفق نهج العوالم المتعددة فإن الأشياء الكبيرة المؤلفة من جسيمات عديدة تختلف عن الأشياء الصغيرة المؤلفة من جسيم واحد أو من حفنة من الجسيمات. فالأشياء الكبيرة لا تخرج عن القانون الرياضي الأساسي لميكانيكا الكم، كما ظن بور، ولكنها تسمح لموجات الاحتمالية باكتساب تنويعات كافية بحيث تصير قدرتها على التداخل بعضها مع بعض شبه منعدمة. وبمجرد أن يستحيل على موجتين أو أكثر التأثير على بعضها بعضاً، فإنها تصير غير مرئية في ما بينها، بحيث «تظن» كل موجة منها أن الموجات الأخرى قد اختفت. وهكذا، بينما استبعد بور عنوة كل النتائج في ما خلا نتيجة واحدة لعملية القياس، فإن نهج العوالم المتعددة، بالترافق مع مفهوم انعدام الترابط، يؤكد على أن كل كون يبدو كما لو أنه اختفى من منظور النتائج الأخرى. يعني هذا أنه في داخل كل كون يبدو كما لو أن موجة الاحتمالية قد انهارت. ولكن بالمقارنة مع تفسير كوبنهاجن فإن مفهوم «كما لو» هذا يرسم صورة مختلفة تمامًا للواقع الممتد. ومن منظور نهج العوالم المتعددة فإن كل النتائج تتحقق فعلًا، وليس فقط نتيجة واحدة.

عدم اليقين يكتنف أحدث التطورات

ربما يبدو هذا موضعًا ملائمًا لإنهاء الفصل، أما وقد رأينا كيف تقودنا البنية الرياضية الأساسية لميكانيكا الكم مباشرةً نحو تصور جديد للأكوان الموازية. ولكن كما ستلاحظ فإن الفصل لا يزال متبقيًا فيه جزء لا بأس به. وفي تلك الصفحات سأوضح لماذا يظل نهج العوالم المتعددة في ميكانيكا الكم محل خلاف، وسنرى أن المقاومة تتجاوز شعور الامتعاض الذي ينتاب البعض حيال القفزة المفاهيمية نحو ذَلِكَ المنظور غير المألوف للواقع. لكنّ لو كنت قد وصلت إلى مرحلة التشبع وتشعر بالرغبة في الانتقال مباشرة إلى الفصل التالي، إليك بهذا الملخص القصير.

في الحياة اليومية، تدخل الاحتمالية إلى تفكيرنا حين نواجه نطاقًا من النتائج المحتملة، لكنّ لسبب أو لآخر نعجز عن تحديد أي من هذه النتائج سيقع بالفعل. في بعض الأحيان نمتلك معلومات كافية من أجل تحديد أي النتائج أكثر ترجيحا وأيها أقل ترجيحا، والاحتمالية هي الأداة التي تضفي الصبغة الكمية على مثل هذه الأفكار. وتتعاظم ثقتنا في أن نهج احتمالي حين نجد أن النتائج الأكثر ترجيحا تقع في أحوال كثيرة، وأن النتائج الأقل ترجيحا تقع في أحوال نادرة. والتحدي الذي يواجه نهج العوالم المتعددة هو أنّه بحاجة إلى توضيح معنى الاحتمالية - التنبؤات الاحتمالية في ميكانيكا الكم - في سياق مختلف تماماً، سياق يتصور حدوث كل النتائج الممكنة بالفعل. ومن السهل التعبير عن هذه المعضلة: كيف لنا أن نتحدث عن أن بعض النتائج أكثر ترجيحًا وبعضها أقل ترجيحًا في حين أنها كلها تتحقق بالفعل؟

في الأقسام المتبقية من هذا الفصل سأشرح القضية على نحو أوفى وأناقش المحاولات المبذولة لحلها. لكنّ فلتحذر: فنحن الآن بصدد الاطلاع على أحدث الأبحاث، لذا قد تتباين الآراء بشدة حول موقفنا الحالي.

مشكلة محتملة

من الانتقادات التي توجه باستمرار إلى نهج العوالم المتعددة أنّه شديد التعقيد إلى درجة تمنعه من أن يكون صحيحًا. فتاريخ الفيزياء يعلمنا أن النظريات الناجحة بسيطة وأنيقة، وهي تفسر البيانات بأقل قدر من الافتراضات، وتقدم لنا فهمًا دقيقا مُقتصدًا. والنظرية التي تذهب إلى وجود عدد هائل دائم الزيادة من الأكوان تفشل في تحقيق ذَلكَ المعيار.

يرى مناصرو نهج العوالم المتعددة أنّه عندَ تقييم مدى تعقيد أي طرح علمي علينا ألا نركز على النتائج المترتبة عليه، وهو رأي يتسم بالوجاهة. فالمهم في الأمر هو السمات الأساسية للطرح نفسه. إنّ نهج العوالم المتعددة يُفترض أن معادلة واحدة - معادلة شرودنجر - تحكم جميع موجات الاحتمالية في كل الأوقات، ومن ثمّ فمن حيث بساطة الصياغة والاقتصاد في الافتراضات من الصعب التغلب عليه.

وبالتأكيد ليس نهج كوبنهاجن أبسط منه؛ فهذا النهج هو الآخر يعتمد على معادلة شرودنجر، غير أنّه يتضمن أيضاً وصفًا غامضًا غير محدد بدقة للأوقات التي ينبغي فيها أن تُتنحَّى معادلة شرودنجر جانبًا، وكذلك وصفًا أقل تحديدًا يتعلق بعملية انهيار الموجة المفترض حدوثها. إنّ وجود صورة شديدة الثراء للواقع كنتيجة لنهج العوالم المتعددة ليس من نقاط ضعف هذا النهج، تمامًا مثلما لا يعد التنوع الثري للحياة على الأرض من نقاط ضعف نهج الانتقاء الطبيعي الداروينى. فالآليات البسيطة من الممكن حقاً أن تؤدي إلى نتائج معقدة.

لكنّ رغم أن هذا الرأي لا يثبت أن شفرة أوكام[125] حادة بما يكفي بحيث تجتث نهج العوالم المتعددة من منبته، فإن وفرة الأكوان التي يقترح هذا النهج وجودها تتسبب في مشكلة محتملة. ذكر مسبقا أنّه عندَ تطبيق أي نظرية فإن الفيزيائيين يحتاجون إلى رواية نوعين من القصص القصة التي تصف كيف يتطور العالم رياضيًّا، والقصة التي تربط الرياضيات بخبراتنا. لكنّ هناك في الحقيقة قصة ثالثة، مرتبطة بهاتين القصتين، وعلى الفيزيائيين أن يرووها أيضًا. في حالة ميكانيكا الكم، تسير القصة الثالثة في العموم كما يلي: إنّ ثقتنا في ميكانيكا الكم تأتي من نجاحها الاستثنائي في تفسير البيانات؛ فإذا استخدم أحد خبراء الكم هذه النظرية كي يحسب أنّه عندَ تكرار تجربة معينة نتوقع حدوث نتيجة ما بمعدل يبلغ، مثلاً، 9.62 مرة أكثر من النتيجة الأخرى، ستكون هذه هي النتيجة التي يراها الفيزيائيون التجريبيون بالفعل. وإذا نظرنا للأمر على نحو معاكس نجد أنّه لو لم تتفق النتائج مع التنبؤات الكمية، لكان الفيزيائيون التجريبيون قد خلصوا إلى أن ميكانيكا الكم ليست صحيحة. في الواقع، وانطلاقًا من كونهم علماء يتوخون الدقة، فإنهم سيكونون أشد حرصًا. فكانوا سيعلنون أن من المشكوك فيه أن تكون ميكانيكا الكم صحيحة، لكنهم سيذكرون أيضاً أن نتائجهم لم تستبعد ميكانيكا الكم على نحو حاسم. فحتى عندَ إلقاء عملة معدنية 1000 مرة من الممكن أن تحدث تتابعات مفاجئة تتحدى المتوقع. لكن كلما كانَ الانحراف أكبر، شك المرء بدرجة أكبر في أن العملية ليست سليمة، وكلما كانَ الانحراف التجريبي عن النتائج التي تتوقعها ميكانيكا الكم أكبر، زاد شك الفيزيائيين التجريبيين في أن نظرية الكم خاطئة.

تلك الثقة في أن ميكانيكا الكم من الممكن تقويضها من واقع البيانات هي جانب أساسي؛ ففي حالة أي نظرية علمية مقترحة جرى تطويرها وفهمها على نحو ملائم، من المفترض أن يكون بوسعنا أن نقول، على الأقل من حيث المبدأ، إننا لو أجرينا التجربة «أ» أو «ب» ولم نعثر على النتيجة «ج» أو «د»، فمن المفترض أن يتضاءل إيماننا بهذه النظرية. وكلما زاد انحراف المشاهدات عن التنبؤات، صار فقدان المصداقية أكبر.

المشكلة المحتملة التي تواجه نهج العوالم المتعددة، وسبب إثارة هذا النهج للخلاف على نحو متواصل،

هي أنّه ربما يستبعد هذه الوسيلة المستخدمة في تقييم مصداقية ميكانيكا الكم. وإليك السبب. حين أقذف عملة معدنية، فأنا أعلم أن هناك احتمالية مقدارها 50 بالمائة أن تستقر العملة على الصورة، واحتمالية مماثلة أن تستقر على الكتابة. غير أن هذا الاستنتاج يرتكز على الافتراض الطبيعي القائل بأن عملية قذف العملية تنتج عنها نتيجة فريدة. فإذا أدي قذف العملية إلى استقرار العملية في أحد العوالم على الصورة وفي عالم آخر على الكتابة، بل علاوة على ذَلكَ لو كانت هناك نسخة مني في كل عالم من هذين العالمين تشاهد تلك النتيجة، فما جدوى ومنطقية الاحتمالات المعتادة من الأساس؟ فسيكون هناك شخص آخر يشبهني تمامًا - لهُ كل ذكرياتي ويزعم بحماسة أنّه أنا - يرى العملة تستقر على الصورة، كما توجد نسخة أخرى، مقتنعة بالمثل أنها أنا، ترى العملة تستقر على الكتابة. بما أن كلتا النتيجتين تقع فعلاً - فهناك برايان جرين يرى العملية وهي تستقر على الصورة وبرايان جرين يراها وهي تستقر على الكتابة - فإن الاحتمالية المألوفة المتمثلة في وجود فرصة متساوية أن يرى برايان جرين العملة وهي تستقر إما على الصورة أو الكتابة تبدو غير موجودة.

التخوُّف نفسه ينطبق على الإلكترون الذي تحوم موجة الاحتمالية الخاصة به بالقرب من ستروبيري فيلدز ومن ضريح جرانت، كما في الشكل 8-16ب. يخبرنا المنطق الكمي التقليدي بأنك، القائم على إجراء التجربة، تمتلك احتمالية مقدارها 50 بالمائة أن تعثر على الإلكترون في أي من الموضعين. لكنّ وفق نهج العوالم المتعددة فإن كلتا النتيجتين تتحققان فعلاً. فهناك نسخة منك تعثر على الإلكترون في ستروبيري فيلدز، ونسخة أخرى تعثر على الإلكترون في ضريح جرانت. كيف لنا إذاً أن نفهم التنبؤات الاحتمالية التقليدية، التي تقضي في هذه الحالة بأن احتمالات تحقق أي من النتيجتين متساوية؟

يميل غالبية الناس عندَ التعرض إلى هذه القضية للمرة الأولى إلى التفكير في أنّه يوجد من بين النسخ الكثيرة الخاصة بك في نهج العوالم المتعددة نسخة حقيقية أكثر مما سواها. ورغم أن كل نسخة منك في كل عالم تبدو متطابقة تماماً وتمتلك الذكريات عينها، فإن الفكرة العامة هي أن ثمة نسخة وحيدة تمثلك حقاً. وحسب هذا المنطق فإن هذه النسخة، التي ترى نتيجة واحدة وهي تتحقق، هي التي تنطبق عليها التنبؤات الاحتمالية. أقدر هذه الاستجابة. منذ سنوات، حين علمت بشأن هذه الأفكار للمرة الأولى كانَ هذا رد فعلي أنا أيضاً. بيد أن هذا التفكير يتعارض تعارضًا تاما مع نهج العوالم المتعددة. إنّ النهج العوالم المتعددة بنية بسيطة؛ فموجات الاحتمالية تتطور ببساطة بواسطة معادلة شرودنجر، هذا كل ما في الأمر، والاعتقاد بأن إحدى نسخك هي نسختك «الحقيقية» هو في الواقع يكافئ إقحام عنصر خارجي يشبه كثيراً نهج كوبنهاجن. فانهيار الموجات في نهج كوبنهاجن يعد وسيلة فظة لجعل واحدة فقط من النتائج المحتملة هي النتيجة الحقيقية. وإذا تصورت في نهج العوالم المتعددة أن ثمة نسخة بعينها هي النسخة «الحقيقي» منك، فأنت بهذا تفعل الأمر عينه، لكنّ بصورة أهدأ قليلاً. فمن شأن هذه الحركة أن تمحو المنطق الذي أدى إلى استحداث نهج العوالم المتعددة من الأساس. فقد ظهر هذا النهج نتيجة محاولات إيفريت مواجهة أوجه القصور في نهج كوبنهاجن وكان مقصودا من هذه الاستراتيجية الاعتماد فقط على معادلة شرودنجر المختبرة جيدا.

تلقي هذه الفكرة ضوءً غير مريح على نهج العوالم المتعددة. فنحن نثق في ميكانيكا الكم لأن التجارب تؤكد على صحة تنبؤاتها الاحتمالية. ومع ذَلكَ ففي نهج العوالم المتعددة يصعب أن نرى الكيفية التي تلعب بها الاحتمالية دورًا. كيف، إذًا، نستطيع أن نروي النوع الثالث من القصة، ذَلكَ الذي ينبغي أن يمدنا بالأساس الذي نبني عليه ثقتنا في نهج العوالم المتعددة؟ تلك هي المعضلة.

بالتفكير في الأمر نجد أنّه ليس من قبيل المفاجأة أن نصطدم بهذا العائق. فلا وجود للاحتمالية في نهج العوالم المتعددة؛ إذ تتطور الموجات ببساطة من شكل إلى التالي على نحو حتمي وموصوف بالتفصيل

من واقع معادلة شرودنجر. فلا مجال لإلقاء النرد، أو لف عجلة الروليت. على النقيض من ذَلكَ فإن الاحتمالية تدخل إلى نهج كوبنهاجن عبر عملية انهيار الموجات التي تحدث نتيجة القياس، تلك العملية ذات التحديد المبهم مجددا نقول إنه كلما كانت قيمة الموجة أكبر في موضع ما، كانت احتمالية أن يتسبب انهيار الموجة في إحلال الجسيم في هذا الموضع أكبر). هذه هي النقطة التي يحدث فيها «إلقاء النرد» داخل نهج كوبنهاجن. لكنّ بما أن نهج العوالم المتعددة تخلص تماماً من فكرة الانهيار، فقد تخلص بالفعل من النقطة التي قد تتسلل منها الاحتمالية.

هل هناك إذاً مكان للاحتمالية داخل نهج العوالم المتعددة؟

بالتأكيد رأى إيفريت أن ثمة مكان لها. إنّ السواد الأعظم من مسودة أطروحته التي أعدها عام 1956، علاوة على النسخة المبتسرة لعام 1957، كُرِّسَ لشرح كيفية تضمين الاحتمالية داخل نهج العوالم المتعددة. لكنّ بعدها بنصف قرن لا يزال الجدال مستعرًا. ولدى أولئك الفيزيائيين والفلاسفة الذين أمضوا حياتهم المهنية وهم يحاولون حل القضية، يوجد طيف عريض من الآراء بشأن الكيفية التي تتحقق بها الاحتمالية داخل العوالم المتعددة، وما إذا كانَ هذا ممكنا من الأساس أم لا. وقدْ ذهب البعض إلى أن المشكلة غير قابلة للحل، ومن ثمّ ينبغي غض الطرف عن نهج العوالم المتعددة، بينما ذهب آخرون إلى أن الاحتمالية، أو على الأقل شيء يتخذ هيئتها، يمكن تضمينها بالفعل داخل هذا النهج.

يقدم طرح إيفريت الأصلي مثالا جيدا للنقاط الصعبة التي تظهر للعيان. ففي الظروف اليومية المعتادة، نحن نلجأ إلى الاحتمالية لأننا بصفة عامة نمتلك معرفة منقوصة. فإذا قذفنا عملة معدنية، وكنا نعرف قدرًا كافيا من التفاصيل (الأبعاد الدقيقة للعملة ووزنها، وعدد العملات المقذوفة وما إلى ذَلكَ)، فسنكون قادرين على التنبؤ بالنتيجة. لكنّ بما أننا لا نمتلك في المعتاد تلك المعلومات فنحن نلجأ إلى الاحتمالية. ينطبق منطق مشابه على الطقس، واليانصيب، وكل مثال مألوف آخر تلعب فيه الاحتمالية دورًا: فنحن نعتبر النتائج محتملة فقط لأن معرفتنا بكل موقف معرفة محدودة. وذهب إيفريت إلى أن الاحتمالات تجد طريقها إلى نهج العوالم المتعددة بسبب جهل مشابه، نابع من مصدر مختلف تماماً، يحتم تسللها إلى هذا النهج. فقاطنو العوالم المتعددة ليس لأي منهم معرفة إلا بالعالم الذي يقطنه وحسب، ولا يدري أي منهم شيئاً عن العوالم الأخرى. وقدْ ذهب إيفريت إلى أن هذا المنظور المحدود هو المتسبب في إدخال عنصر الاحتمالية.

من أجل تبين كيفية حدوث هذا، دعنا ننحي جانبا ميكانيكا الكم لبرهة كي نتدبر مثالا منقوصا لكنه مفيد. تخيل أن ثمة كائنات فضائية آتية من كوكب زاكستار نجحت في بناء ماكينة استنساخ قادرة على صنع نسخ طبق الأصل مني ومنك ومن أي شخص. فإذا دخلت ماكينة الاستنساخ، ستخرج منها نسختان منك، وكل نسخة منهما مقتنعة أنها أنت فعلاً، وكل منهما على حق. يجد أهل زاكستار متعة كبيرة في وضع صور الحياة الأقل ذكاءً في معضلات وجودية، لذا فإنهم ينقضون على الأرض ويقدمون لك العرض التالي:

الليلة، وبعد أن تخلد إلى النوم، سيجري إدخالك في حرص إلى ماكينة الاستنساخ، وبعد خمس دقائق ستخرج من الماكينة نسختان منك. حين تستيقظ إحدى النسختين ستبدو الحياة عادية أمامها؛ فيما خلا أنّه سيتاح لهذه النسخة تحقيق أي أمنية تتمناها. لكنّ حين تستيقظ النسخة الأخرى، لن تبدو الحياة كالمعتاد، بل ستجد نفسها داخل غرفة تعذيب على كوكب زاكستار، ولن تغادره مطلقا. وبطبيعة الحال ليس مسموحا للنسخة سعيدة الحظ بأن تطلب إطلاق سراح النسخة الأخرى. فهل تقبل بهذا العرض؟

سيجيب الغالبية بالنفي. فبما أن كل نسخة من النسختين هي أنت حقاً، فعندما تقبل العرض ستضمن أن نسخة منك ستعيش في حياة من العذاب الأبدي. بالتأكيد ستعيش النسخة الأخرى حياتها العادية، وهي تتمتع بقدر غير محدودة على تحقيق أمنياتها، لكنّ بالنسبة للنسخة الموجودة على كوكب زاكستار ستكون حياتها عذابا مقيما. السعر هكذا أعلى من المقبول.

يتوقع أهل زاكستار أنك ستحجم عن قبول العرض، لذا فهم يحسنونه. فيقدمون العرض نفسه، لكنهم الآن سيصنعون مليون وواحد نسخة منك. ستستيقظ مليون نسخة على مليون نسخة مطابقة من كوكب الأرض، وهم قادرون على تحقيق أمنياتهم كلها، بينما ستعذب نسخة واحدة على كوكب زاكستار. فهل

تقبل بهذا العرض؟ هنا تصير مترددا. تفكر: «اللعنة، إنّ احتمالات عدم استيقاظي على كوكب زاكستار، واستيقاظي على كوكب الأرض موطني مع امتلاك القدرة على تحقيق أمنياتي تبدو قوية».

ذَلكَ التفكير الحدسي الأخير لهُ علاقة وثيقة بنهج العوالم المتعددة. إذا دخل مفهوم الاحتمالية إلى تفكيرك لأنك تتخيل أن نسخة واحدة فقط من المليون وواحد نسخة هي أنت «الفعلي»، فاعلم بهذا أنك لم تتفهم السيناريو بالكامل جيدًا. فكل نسخة هي أنت حقاً. ومن المؤكد بنسبة 100 بالمائة أن ينتهي الحال بإحدى نسخك بالاستيقاظ داخل سيناريو مستقبلي غير محتمل. لو كانَ هذا حقاً هو ما قادك إلى التفكير في الاحتمالية، فأنت بحاجة إلى التخلي عن هذا التفكير. ومع ذَلكَ، ربما تتسلل الاحتمالية إلى تفكيرك بطريقة أقل وضوحًا. تخيل أنك وافقت على عرض أهل زاكستار، وأنك الآن تفكر فيما ستبدو عليه الحال حين تستيقظ في الغد. وبينما أنت تحت الغطاء، وقبل أن تفتح عينيك، تتذكر الاتفاق مع أهل زاكستار. من الوهلة الأولى يبدو الأمر أشبه بكابوس مخيف لكنك تدرك، وقلبك يدق بسرعة من الخوف، أن الأمر حقيقي؛ أن مليون ونسخة واحدة منك في سبيلهم للاستيقاظ الآن، وأن واحد منهم كتب عليه البقاء في زاكستار بينما سيمنح الباقون قدرة استثنائية. تسأل نفسك في عصبية: «ما احتمالات أنني حين أفتح عيني سأجد نفسي في طريقي إلى كوكب زاكستار؟

قبل عملية الاستنساخ لم يكن هناك سبيل معقول للحديث عما إذاً كانَ من المحتمل أم لا أن ينتهي بك الحال على كوكب زاكستار، فمن الحتمي أن ينتهي الحال بإحدى النسخ عليه، فكيف يمكن أن يكون هذا غير محتمل؟ لكنّ بعد الاستنساخ يبدو الموقف مختلفا. فكل نسخة تنظر إلى نفسها على أنها نسختك الحقيقية، بل في الواقع كل منها هي بالفعل نسختك الحقيقية. غير أن كل نسخة هي كذلك شخص منفصل متمايز يمكنه التساؤل بشأن مستقبله. فكل نسخة من المليون وواحد نسخة يمكنها التساؤل عن احتمالية أن ينتهي بها الحال في زاكستار. وبما أن كل نسخة تعلم أن نسخة واحدة فقط من بين المليون ونسخة واحدة سينتهي بها الحال هكذا، تدرك كل نسخة أن احتمالات كونها ذَلكَ الشخص تعيس الحظ منخفضة. وعند الاستيقاظ ستجد مليون نسخة أن توقعها المتفائل هذا قد تحقق فعلاً، بينما ستجد نسخة وحيدة العكس. لذا رغم أنّه لا يوجد مجال لعدم اليقين، أو المصادفة، أو الاحتمالية في سيناريو زاكستار - مجددا لا مجال لإلقاء النرد، أو لف عجلة الروليت - فمع ذَلكَ يبدو أن الاحتمالية قد وجدت طريقها إليه. ويحدث هذا بسبب الجهل الشخصي لدى كل نسخة منفردة بشأن النتيجة التي ستشهدها في النهاية.

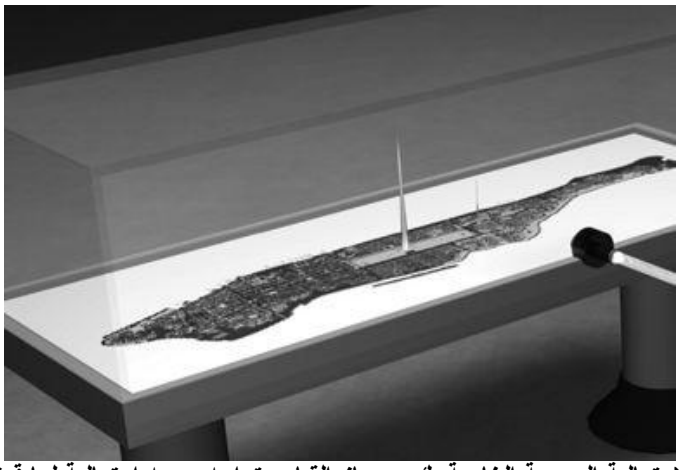
هذا يوضح سبيلا لإدخال الاحتمالات إلى نهج العوالم المتعددة. فقبل أن تجري أي تجربة، أنت تشبه كثيراً نفسك قبل الاستنساخ. فأنت تتدبر كل النتائج التي تسمح بها ميكانيكا الكم وتعرف أن من المؤكد بنسبة 100 بالمائة أنك سترى كل نتيجة وهي تتحقق. لا مجال للاحتمالات إلى الآن. بعد ذَلكَ تُجري التجربة. وفي تلك النقطة، كما في سيناريو زاكستار، تطرح فكرة الاحتمالية نفسها. فكل نسخة منك تمثل كائنا عاقلا مستقلا قادرا على التساؤل عن العالم الذي يتصادف أنّه يقطنه؛ أي عن احتمالية أنّه عندَ الكشف عن نتائج التجربة، أن يشهد تحقق هذه النتيجة أو تلك. فالاحتمالية تدخل عن طريق الخبرة الشخصية لكل فرد.

إنّ نهج إيفريت، الذي وصفه بأنه «حتمي من المنظور الموضوعي» بحيث «تعاود الاحتمالية الظهور فيه على المستوى الشخصي» يتفق مع هذه الاستراتيجية. وقدْ كانَ سعيدا بهذا الاتجاه. وكما ذكر في مسودة أطروحته التي كتبها عام 1956 فإن هذا الإطار المفاهيمي يقدم إمكانية رأب الصدع بين موقف آينشتاين (الذي اشتهر عنه أنّه يؤمن بأن أي نظرية أساسية للفيزياء يجب ألاّ تتضمن عنصر الاحتمالية) وموقف بور (الذي كانَ مُرحبًا بشدة باحتواء أي نظرية أساسية على عنصر الاحتمالية). ووفق إيفريت فإن نهج العوالم المتعددة يتسع لكلا الموقفين، إذ أن الاختلاف بينهما ما هو إلا اختلاف في المنظور

وحسب. فمنظور آينشتاين هو المنظور الرياضي الذي فيه تتطور موجة الاحتمالية الكبرى الخاصة بكل الجسيمات دون توقف وفق معادلة شرودنجر، بحيث لا تلعب الاحتمالية أي دور على الإطلاق[126]. أحبّ أن أتصور آينشتاين وهو يسمو عاليا فوق العوالم العديدة التي يقضي نهج العوالم المتعددة بوجودها، يشاهد معادلة شرودنجر وهي تُملي على نحو تام الكيفية التي يتشكل بها المشهد الكلي، ويخلص في سعادة إلى أنّه رغم أن ميكانيكا الكم صحيحة، فإن الإله لا يلعب النرد. أماً منظور بور فهو ذَلكَ الخاص بشخص يقطن أحد هذه العوالم، وهو لا يجد غضاضة هو الآخر في استخدام الاحتمالية كي يفسر، بدقة هائلة، تلك المشاهدات التي يتيح لهُ منظوره المحدود الاطلاع عليها.

إنها رؤية آسرة؛ أن يتفق آينشتاين وبور على ميكانيكا الكم. لكنّ ثمة تفاصيل مؤرقة أقنعت الكثيرين على مدار أكثر من نصف قرن بأنه لا يزال من المبكر التصريح بذلك. إنّ أولئك الذين درسوا أطروحة إيفريت يتفقون عموما على أنّه رغم وضوح مقصده - نظرية حتمية تبدو رغم ذَلكَ في نظر من تنطبق عليهم وكأنها تتصف بالاحتمالية - فإنه لم يحدد على نحو مقنع كيفية تحقيقها. على سبيل المثال، وعلى غرار ما شهدناه في الفصل السابع، سعى إيفريت إلى تحديد ما سيرصده أي قاطن «نموذجي» للعوالم المتعددة في أي تجربة بعينها. لكنّ على خلاف ما غطيناه في الفصل السابع) في نهج العوالم المتعددة، القاطنين الذين سنحتاج إلى الحديث معهم كلهم في الحقيقة الشخص نفسه، فإذا كنت أنت من يجري التجربة، فكلهم نسخة منك، وستشاهدون معاً طيفًا من النتائج المتباينة. من منكم إذاً هو الشخص النموذجي»؟

بوحي من سيناريو كوكب زاكستار، ثمة مقترح طبيعي يقضي بإحصاء عدد النسخ الخاصة بك التي ستشهد نتيجة معينة، بحيث إنّ النتيجة التي يشهدها العدد الأكبر من النسخ تكون هي النتيجة النموذجية. أو من منظور كمي أكثر، علينا بتحديد الاحتمالية الخاصة بأي نتيجة من منطلق تناسبها مع عدد النسخ التي تشهدها. ينجح هذا الأمر في الأمثلة البسيطة: ففي الشكل 8-16 يوجد نسختان منك تشهد كل منهما نتيجة مختلفة، ومن ثمّ تكون نسبة مشاهدة إحدى النتيجتين أو الأخرى 50:50 هذا أمر طيب، إذ إنّ التنبؤ الذي تخبرنا به ميكانيكا الكم هو أيضًا 50:50 لأن ارتفاع موجة الاحتمالية في الموضعين متساوي.



شكل8-17: موجة الاحتمالية المجمعة الخاصة بك وبجهاز القياس تواجه موجه احتمالية لها قمتان مختلفتا الارتفاع.

لكنّ عليك الآن أن تتدبر موقفًا أكثر عمومية، كذلك المبين في الشكل 8-17، والذي فيه يكون ارتفاع القمتين غير متساوٍ. لو كانت الموجة في ستروبيري فيلدز أكبر مائة مرة منها في ضريح جرانت، عندئذٍ تتنبأ ميكانيكا الكم بأن من الأرجح مائة مرة أن تعثر على الإلكترون في ستروبيري فيلدز. لكنّ في نهج العوالم المتعددة ستظل عمليات القياس تنتج نسخة منك تشاهد الإلكترون في ستروبيري فيلدز ونسخة أخرى تشاهده في ضريح جرانت، ولا تزال احتمالات ذَلكَ المبنية على إحصاء عدد النسخ تبلغ 50:50، وهذه نتيجة خاطئة. إنّ سبب الخطأ واضح؛ فعدد النسخ التي تشاهد إحدى النتيجتين أو الأخرى يتحدد من منطلق عدد القمم التي تمتلكها موجة الاحتمالية، غير أن الاحتمالات الكمية تتحدد عن طريق شيء آخر، ليس عدد القمم وإنما ارتفاعاتها النسبية. وهذه التنبؤات، التنبؤات الكمية، هي التي جرى التحقق من صحتها على نحو مقنع من خلال التجارب.

طور إيفريت حجة رياضية كانَ الهدف منها التغلب على هذا التعارض، وقدْ واصل كثيرون غيره محاولاتهم لتطويرها أكثر وأكثر[127]. وبصفة عامة، تتمثل الفكرة في أنّه عندَ حساب احتمالات مشاهدة نتيجة أو أخرى، علينا أن نضع تركيزًا أقل وأقل على الأكوان التي تكون فيها ارتفاعات الموجة أصغر، على النحو المبين رمزيا في الشكل 8-18. غير أن هذا أمر مربك، ومثير للجدل. فهل الكون الذي تجد فيه الإلكترون في ستروبيري فيلدز أكثر حقيقية بمائة مرة، أو أكثر ترجيحا بمائة مرة، أو أكثر أهمية بمائة مرة من ذَلكَ الذي تجد فيه الإلكترون في ضريح جرانت؟ من شأن هذه المقترحات أن تثير التوتر بالتأكيد في ظل الاعتقاد بأن كل عالم حقيقي شأن غيره تماماً.

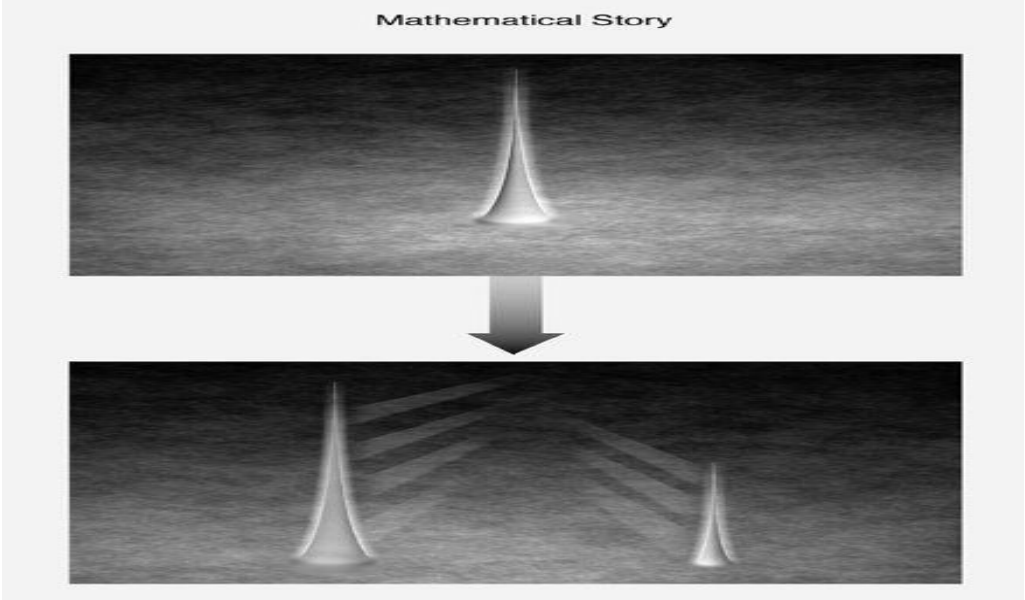
بعد أكثر من خمسين عاماً، وخلال هذه الفترة عاود علماء بارزون دراسة حجج إيفريت ومراجعتها وتنقيحها، يتفق الكثيرون على أن اللغز لا يزال قائما. ومع ذَلكَ يظل من المغري تخيل أن نهج العوالم المتعددة الذي يتصف بالبساطة والوضوح الرياضيين وبالثورية التامة، يقدم تنبؤات احتمالية تشكل أساس الإيمان بنظرية الكم. وقدْ ألهم هذا الكثيرين بأفكار أخرى، تتجاوز نوعية سيناريو زاكستار، لضم الاحتمالية والعوالم المتعددة معًا[128].

يأتينا أحد المقترحات الشهيرة من مجموعة رائدة من الباحثين في جامعة أكسفورد، منهم على سبيل المثال لا الحصر ديفيد دويتش وسايمون ساوندرز وديفيد والاس وهيلاري جريفز. فقد طور هؤلاء الباحثين استراتيجية معقدة لتناول هذه القضية تركز على سؤال يبدو فجًّا. إذاً كنت مقامرًا، وتؤمن بنهج العوالم المتعددة، فما هي الاستراتيجية المثلى للمراهنة على تجارب ميكانيكا الكم؟ إجابة هذا السؤال، التي

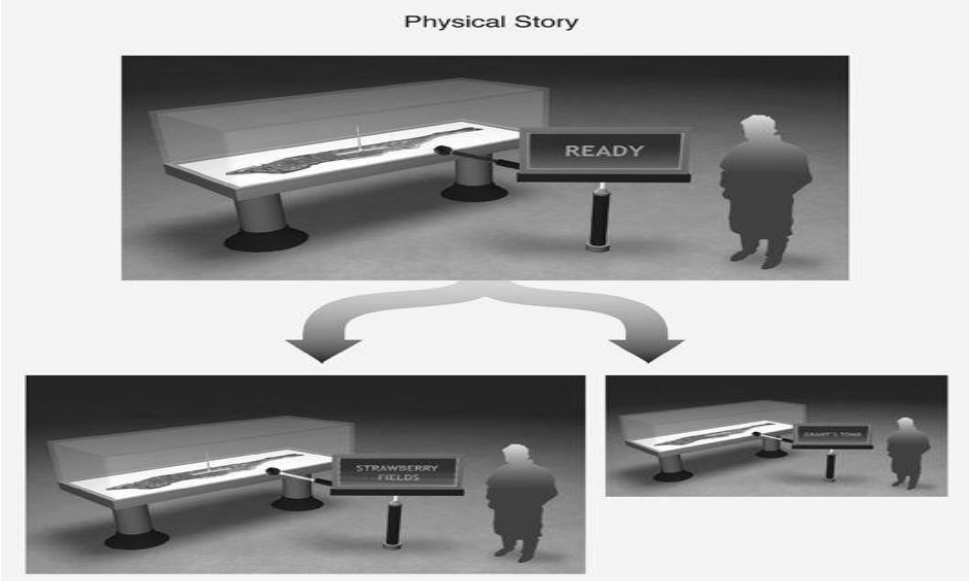
يعضدون صحتها بالحسابات الرياضية، هي أنك ستراهن بنفس الكيفية التي من شأن بور أن يراهن بها. فعند الحديث عن تعظيم العائد، يمتلك هؤلاء الباحثين شيئاً من شأنه أن يصيب بور بالفرح الشديد؛ إذ يتدبرون متوسط عدد قاطني الكون المتعدد الذين يزعمون أنهم أنت. لكنّ حتّى مع هذا فإن النتيجة التي يخلصون إليها هي أن الأرقام التي كانَ بور وكل شخص آخر يحسبونها ويطلقون عليها اسم الاحتمالات هي الأرقام نفسها التي ينبغي أن توجه رهانك. يعني هذا أنّه رغم أن نظرية الكم تتصف بالحتمية الكاملة، ينبغي عليك أن تتعامل مع الأرقام كما لو أنها كانت محض احتمالات.

البعض مقتنعون بأن هذا يكمل برنامج إيفريت، والبعض الآخر ليسوا كذلك.

غير أن عدم وجود إجماع حول المسألة الحيوية الخاصة بكيفية معاملة الاحتمالية في نهج العوالم المتعددة ليس بالأمر المفاجئ على الإطلاق. فالتحليلات شديدة التعقيد وتتعامل كذلك مع موضوع - الاحتمالية - يشتهر بكونه شديد الصعوبة حتّى عندَ تطبيقه خارج حدود نظرية الكم. فعندما تلقي نردًا، كلنا متفقون على أن لديك فرصة واحدة من ستة للحصول على الرقم 3، لذا فنحن نتنبأ بأنه على مدار نحو 1200 عملية إلقاء للنرد، مثلاً، سيظهر الرقم 3 نحو 200 مرة. لكنّ في ضوء أنّه من المحتمل، بل ومن المرجح، أن ينحرف الرقم 3 عن الظهور 200 مرة، فما الذي يعنيه هذا التنبؤ إذاً؟ نريد أن نقول إنّ من المرجح بقوة إنّ 1/ 6 من النتائج ستكون الرقم 3، لكنّ لو أننا فعلنا هذا فإننا حينها نكون قد عرفنا احتمالية الحصول على الرقم 3 عن طريق اللجوء إلى مفهوم الاحتمالية ذاته. وهكذا ندور في دائرة مفرغة. هذه لمحة بسيطة عن الكيفية التي تتسم بها هذه القضايا بالصعوبة الشديدة على المستوى المفاهيمي، فضلا عن تعقيدها الرياضي الجوهري. أضف إلى ذَلكَ التعقيد الخاص بنهج العوالم المتعددة والمتمثل في أن كلمة «أنت» لم تعد تشير إلى شخص واحد، وليس من قبيل العجب أن يجد الباحثون نقاط اختلاف عديدة. ليس لدي شك في أننا سنصل إلى الوضوح الكامل يوماً ما، لكنّ ليس الآن، وربما ليس قبل مضي بعض الوقت.



شكل18-8(أ): توضيح مبسط لتطورموجة الاحتمالية المجمعة الخاصة بكل الجسيمات التي يتألف منها جسدك وجهاز القياس، وذلك عند قياس موضع أحد الإلكترونات، وهذا التطور تملية معادلة شرودنجر. تصل موجه احتمالية الإلكترون إلي قمتها في موضعين، لكن ارتفاع القمتين غير متساوي.



شكل18-8(ب): تذهب بعض المقترحات إلي أنه في نهج العوالم المتعددة، تشير الارتفاعات غير المتساوية للموجات إلي أن بعض العوالم أقل حقيقة، او أهمية، من البعض الآخر.ثمة جدل يدور حول ما يعنيه هذا، إن كان يعني شيئًا من الأساس.

رغم كل هذا الخلاف، فإن ميكانيكا الكم نفسها تظل نظرية ناجحة، شأنها شأن أي نظرية أخرى في تاريخ الأفكار. وسبب ذَلكَ، كما رأينا، هو أنّه في نوعية التجارب التي يمكننا أن نجريها في المختبر، وفي حالة عديد المشاهدات التي نرصدها للعمليات الفيزيائية الفلكية، نحن نمتلك «خوارزمية كمية» تنتج تنبؤات قابلة للاختبار. عليك باستخدام معادلة شرودنجر من أجل حساب تطور موجات الاحتمالية ذات الصلة، ثمّ استخدم النتائج - الارتفاعات المختلفة للموجة - في التنبؤ باحتمالية العثور على هذه النتيجة أو تلك. ومن منظور التنبؤات فإن سبب نجاح هذه الخوارزمية - ما إذاً كانت الموجة تنهار عندَ القياس أم لا، وما إذاً كانت كل الاحتمالات تتحقق كل منها في كونها الخاص أم لا، وما إذاً كانَ ثمة وجود لعملية أخرى أم لا- إنما هو أمر ثانوي.

بل يذهب بعض الفيزيائيين إلى أن وصف هذه القضية بأنها ثانوية يمنحها مكانة أعلى مما تستحق. فمن وجهة نظرهم، الفيزياء معنية فقط بوضع التنبؤات، وما دامت المناهج المختلفة لا تؤثر على تلك التنبؤات، فلماذا نكترث بأي منها هو الصحيح في نهاية المطاف؟ وردا على هذا السؤال أقدم هذه الأفكار الثلاثة.

أولاً: بخلاف وضع التنبؤات، تحتاج النظريات الفيزيائية إلى أن تتصف بالاتساق الرياضي. إنّ نهج كوبنهاجن جريء، لكنه يفشل في الوفاء بهذا المعيار: فعند لحظة الرصد الحاسمة، ينسحب تماماً ويصمت من الناحية الرياضية. هذه فجوة كبيرة، ويحاول نهج العوالم المتعددة أن يملأها[129].

ثانيًا: في بعض المواقف تتباين تنبؤات نهج العوالم المتعددة عن تنبؤات نهج كوبنهاجن. في نهج كوبنهاجن من شأن عملية الانهيار أن تعيد رسم الشكل 8-16أ بحيث يمتلك قمة وحيدة. لذا لو أمكنك جعل الموجتين الموضحتين بالشكل تتداخلان - وهما اللتان تمثلان موقفين متمايزين على المستوى العياني - بحيث يتولد نمط مشابه لذلك المبين في الشكل 8-2ج، فسيثبت هذا أن انهيار الموجة الذي يفترضه نهج كوبنهاجن لم يحدث. بسبب انعدام الترابط، كما ذكرنا من قبل، يصعب للغاية أداء هذه المهمة، لكنّ على الأقل من الناحية النظرية يقدم نهج كوبنهاجن ونهج العوالم المتعددة تنبؤات مختلفة.12

هذه نقطة مهمة من حيث المبدأ. كثيراً ما يشار إلى نهج كوبنهاجن ونهج العوالم المتعددة بوصفهما «تفسيرين» مختلفين لميكانيكا الكم، غير أن هذا استخدام لغوي خاطئ. فإذا استطاع النهجان تقديم تنبؤات مختلفة، لن يصير بوسعك أن تصفهما بأنهما تفسيرين وحسب. حسناً، من الممكن عمل هذا، وبعض الناس يفعلونه بالفعل. غير أن ذَلكَ التوصيف الاصطلاحي غير صحيح.

ثالثا: ليست الفيزياء معنية وحسب بوضع التنبؤات. فإذا تمكنا ذات يوم من العثور على صندوق أسود يتنبأ دائماً وبدقة بنتيجة تجارب فيزياء الجسيمات التي تجريها، وكذلك بمشاهدتنا الفلكية، فلن يتسبب وجود هذا الصندوق في إنهاء البحث والاستقصاء العلمي في هذين المجالين. فهناك فارق بين وضع التنبؤات وفهمها. ويكمن جمال الفيزياء، بل وعلة وجودها، في أنها تمدنا بأفكار حول الأسباب التي تدعو الأشياء إلى التصرف على هذا النحو أو ذاك. إنّ القدرة على التنبؤ بالسلوك تعد جزءا كبيراً من قوة الفيزياء، لكنّ جوهر الفيزياء سيضيع لو أنها لم تمنحنا فهماً عميقا للواقع الخفي الكامن أسفل ما نراه. وإذا تبين أن نهج العوالم المتعددة صحيحا، سيكون التزامنا الراسخ بفهم التنبؤات قد كشف عن واقع مذهل بحق.

لا أتوقع الوصول خلال فترة حياتي إلى إجماع نظري أو تجريبي حول نسخة الواقع - كون وحيد أم كون متعدد أم شيء آخر مختلف تماماً - التي تجسدها ميكانيكا الكم. غير أنني لا أشك في أن الأجيال المستقبلية

سترى أن الجهود المبذولة في القرنين العشرين والحادي والعشرين هي التي وضعت أساس الصورة التي ستظهر في نهاية المطاف أيا كانت.

الفصل التاسع
الثقوب السوداء والصور الهولوجرامية
الكون المتعدد الهولوجرافي

شبَّه أفلاطون نظرتنا إلى العالم بنظرة أحد أسلافنا القدماء، والذي يشاهد الظلال تتراقص على جدار كهف خافت الإضاءة. وقد تصوّر أفلاطون أن مدركاتنا ما هي إلا تلميحات خافتة لواقع أغنى بكثير يسطع بعيداً عن متناولنا. وبعد ذَلكَ بألفي عام، بدا أن كهف أفلاطون يتجاوز كونه صورة مجازية وحسب. وإذا قلبنا مقترحه رأساً على عقب سنقول إنّ الواقع - وليس ظلاله فقط - ربما يحدث على سطح مطوق بعيد، بينما كل ما نشهده في أبعادنا المكانية الثلاثة المألوفة ما هو إلا إسقاط لتلك العملية التي تحدث بعيداً. أي إنّ الواقع ربما يكون أشبه بالهولوجرام، أو في حقيقة الأمر، فيلما هولوجرافيًّا[130].

ربما يعد المبدأ الهولوجرافي أغرب صور العوالم الموازية، ووفق هذا المبدأ فإن ما نستشعره من خبرات يمكن أن يوصف على نحو تام ومكافئ باعتباره أحداثا تجري في نقطة مركزية دقيقة وبعيدة. ويقضي هذا المبدأ بأننا لو استطعنا فهم القوانين التي تحكم الفيزياء في هذا السطح البعيد، والطريقة التي تتصل بها الظواهر هناك بالخبرات التي لدينا هنا، فمن الممكن أن نفهم كل ما يمكن معرفته بشأن الواقع. فمن شأن نسخة من عالم الظلال الأفلاطوني - نسخة مكثفة موازية ولكن غير مألوفة من الظواهر اليومية المعتادة - أن تكون هي الواقع الفعلي.

إنّ الرحلة نحو هذه الاحتمالية العجيبة تتضمن تطورات عميقة آتية من مصادر متباعدة؛ رؤى مأخوذة من النسبية العامة، ومن الأبحاث المجراة على الثقوب السوداء، ومن قوانين الديناميكا الحرارية، ومن ميكانيكا الكم، وأخيرا من نظرية الأوتار. والخيط الذي يربط بين هذه النطاقات المتنوعة هو طبيعة المعلومات داخل الكون الكمي.

المعلومات

إلى جانب ما يتمتع به جون ويلر من قدرة استثنائية على العثور على بعض من ألمع العلماء اليافعين على مستوى العالم (من تلاميذ ويلر، بالإضافة إلى هيو إيفريت، كلا من ريتشارد فاينمان وكيب ثورن وكذلك، كما سنرى بعد قليل، جاكوب بريكنشتاين) وتوجيههم، فقد كانَ يتمتع بقدرة مذهلة على تحديد القضايا التي من الممكن أن يؤدي استكشافها إلى تغيير النموذج الإرشادي الجوهري لعمل الطبيعة. وقدْ سألته خلال إحدى وجبات الغداء التي تناولناها معاً في برينستون في عام 1998 عن الموضوع الذي يرى أنّه سيهيمن على علم الفيزياء خلال العقود القادمة. أطرق ويلر برأسه، كما فعل كثيراً في ذَلكَ اليوم، كما لو أن جسده المسن قد كل من دعم ذَلكَ العقل الجبار. لكنّ في هذه المرة جعلني طول فترة صمته أتساءل، للحظة، عما إذاً كانَ لا يريد الإجابة، بل وجال بخاطري أنّه ربما نسي السؤال. بعد ذَلكَ رفع عينيه نحوي ببطء وقال كلمة واحدة: «المعلومات».

لم يفاجئني قوله هذا. فمنذ فترة من الوقت يعكف ويلر على الترويج لنظرة جديدة للقانون الفيزيائي تختلف كثيراً عما يتعلمه أي فيزيائي شاب في المناهج الأكاديمية المعيارية. تقليديا، تركز الفيزياء على الأشياء - الكواكب والصخور والذرات والجسيمات والمجالات - وتدرس القوى التي تؤثر على سلوكها وتحكم تفاعلاتها. كانَ ويلر يقترح أن الأشياء - المادة والإشعاع - ينبغي أن ينظر إليها على أنها ثانوية، وأنها تحمل كيانا أكثر جوهرية وتجريدا: المعلومات. لا يعني هذا أن ويلر كانَ يزعم أن المادة والإشعاع هي أمور وهمية بصورة ما، بل كانَ يرى أنّه ينبغي النظر إليها بوصفها تجسيدات مادية لشيء أكثر جوهرية. وقدْ كانَ يؤمن أن المعلومات – موضع الجسيم، وما إذاً كانَ يلف حول ذاته في هذا الاتجاه أم ذاك، وما إذاً كانت شحنته موجبة أم سالبة، وهكذا - تشكل نواة غير قابلة للاختزال تقع في قلب الواقع. وتجسد هذه المعلومات في صورة جسيمات حقيقية، تشغل مواضع حقيقية ولها لف مغزلي وشحنات محددة، إنما يشبه ما يحدث حين تتجسّد رسومات المهندس المعماري في شكل ناطحة سحاب. فالمعلومات الجوهرية موجودة في المخططات الأساسية، وما ناطحة السحاب إلا تجسيد مادي للمعلومات التي يحويها تصميم المهندس المعماري.

من هذا المنظور يمكن التفكير في الكون بوصفه معالج للمعلومات. فهو يأخذ المعلومات المتعلقة بالكيفية التي عليها الأشياء الآن، وينتج معلومات تصف الكيفية التي ستكون عليها الأشياء في اللحظة التالية، ثمّ التي تليها. وتصير حواسنا واعية بهذه المعالجة عن طريق رصد الكيفية التي تتغير بها البيئة الفيزيائية مع مرور الوقت. غير أن البيئة الفيزيائية ذاتها عارضة، فهي تبزغ من المكون الأساسية المعلومات، وتتطور وفق القواعد الأساسية؛ قوانين الفيزياء.

لا أدري ما إذاً كانَ لهذا الموقف النظري-المعلوماتي أن يهيمن يوماً ما على الفيزياء كما تصوّر ويلر. لكنّ مؤخرا حدث تحول فكري كبير، بفضل أعمال الفيزيائيين جيرارد تي هوفت وليونارد سسكيند بالأساس، ناتج عن الأسئلة المحيرة المتعلقة بالمعلومات في واحد من أغرب السياقات قاطبة: الثقوب السوداء.

الثقوب السوداء

في غضون عام على نشر النسبية العامة، توصل الفلكي الألماني كارل شفارتسشيلد إلى أول حل دقيق لمعادلات آينشتاين، وهي نتيجة حددت شكل المكان والزمن بالقرب من الأجرام الكروية شديدة الضخامة كالنجوم أو الكواكب. ومن المثير للدهشة أن شفارتسشيلد لم يتوصل إلى هذا الحل بينما كانَ يحسب مسارات القذائف على الجبهة الروسية خلال الحرب العالمية الأولى وحسب، بل أيضاً أنّه تفوق على الأستاذ في لعبته: فحتى ذَلكَ الوقت كانَ آينشتاين قد توصل إلى حلول تقريبية فقط لمعادلات النسبية العامة. عمد آينشتاين، وقدْ انبهر بإنجاز شفارتسشيلد، إلى الترويج لهذا الإنجاز، وقدم هذا العمل أمام الأكاديمية البروسية، لكنه مع ذَلكَ فشل في إدراك نقطة من شأنها أن تصير الإرث الأكثر إثارة لشفارتسشيلد. يبين حل شفارتسشيلد أن الأجسام المألوفة، كالشمس. والأرض، تسبب انحناء أو انخفاضا بسيطا في ترامبولين الزمكان المستوي: يتفق هذا جيدا مع النتائج التقريبية التي تمكن آينشتاين من التوصل إليها مسبقا، لكنّ عن طريق التخلص من التقريبات، استطاع شفارتسشيلد المضي إلى ما هو أبعد من هذا؛ إذ كشفت حلوله الدقيقة عن شيء مثير للذهول: فإذا تجمع ما يكفي من المادة في كرة صغيرة بما يكفي، فستكون هوة جذبوية لا قرار لها. سيصير انحناء الزمكان شديدا للغاية لدرجة أن أي شيء يقترب منه سيعجز عن الإفلات. وبما أن «كل شيء هنا يتضمن الضوء، فإن هذه المناطق تصير سوداء، وهي السمة التي أوحت بالمصطلح الأول لها «النجوم المظلمة». أيضاً من شأن الانحناء الشديد أن يسبب توقف الزمن عندَ خافة النجم، ومن هنا جاءت التسمية الثانية «النجوم المتجمدة). وبعدها بنصف قرن، تسبب ويلر، البارع في التسويق بقدر براعته في الفيزياء على ما يبدو، في ذيوع أمر هذه النجوم داخل المجتمع العلمي وخارجه حين اقترح تسمية جديدة جديرة بالتذكر هي: الثقوب السوداء. وظل هذا الاسم عالقا منذئذ.

حين قرأ آينشتاين ورقة شفارتسشيلد، اتفق مع الحسابات الرياضية المطبقة على النجوم والكواكب، لكنّ ماذا عما نطلق عليه اليوم الثقوب السوداء؟ عارض آينشتاين هذه الفكرة. ففي تلك الأيام المبكرة كانَ من الصعب للغاية فهم الحسابات الرياضية المعقدة للنسبية العامة بالكامل، حتّى على آينشتاين ذاته. ورغم أن عقودا كانت تفصله عن الفهم الحديث للثقوب السوداء، فإن فكرة الانحناء الشديد للمكان والزمن التي ظهرت داخل المعادلات كانت في نظر آينشتاين أكثر ثورية مما يسمح به الواقع. ومثلما عارض آينشتاين التمدد الكوني بعد بضعة عقود، فقد رفض الاعتقاد بأن هذه الأنساق المتطرفة للمادة لم تكن تتجاوز في حقيقتها محض تلاعبات رياضية - مبنية على معادلاته - خرجت عن حدود المقبول[131].

حين ترى الأرقام المعنية، من السهل أن تخلص إلى نتيجة مشابهة. فلكي يصير أي نجم في حجم الشمس ثقبا أسود، ينبغي أن ينضغط إلى كرة لا يتجاوز قطرها ثلاثة كيلومترات، بينما ستصير الأرض ثقبا أسود إذاً انضغطت حتّى يصير قطرها سنتيمترا واحدا. إنّ فكرة وجود مثل هذه الأنساق المتطرفة من المادة تبدو شديدة السخافة في ذاتها، ومع ذَلكَ ففي العقود التالية على ذَلكَ جمع الفلكيون أدلة رصدية عديدة تؤكد أن الثقوب السوداء حقيقية ووفيرة العدد. وثمة اتفاق عام على أن العديد من المجرات تستمد طاقتها من وجود ثقوب سوداء في مراكزها، ومن المعتقد أن مجرتنا، مجرة درب التبانة، تدور حول ثقب أسود تبلغ كتلته نحو ثلاثة ملايين مرة قدر كتلة الشمس. بل ومن المحتمل كذلك، كما ناقشنا في الفصل الرابع، أن يتج مصادم الهدرونات الكبير ثقوبا سوداء دقيقة في المختبر عن طريق حشد كتلة (وطاقة) البروتونات المتصادمة بعنف داخل حيز دقيق بحيث تنطبق نتيجة شفارتسشيلد مجددا، وإن كانَ على مستوى فائق الدقة. إنّ الثقوب السوداء تعد رمزا لقدرة الرياضيات على إلقاء الضوء على الأركان المظلمة من الكون، وقدْ صارت هذه الثقوب محط أنظار الفيزياء الحديثة.

إلى جانب كون الثقوب السوداء نعمة حقيقية لعلم الفلك الرصدي، فهي كذلك مصدر إلهام خصب للأبحاث النظرية، وذلك لأنها توفر نطاقا رياضيا يستطيع فيه الفيزيائيون دفع أفكارهم إلى حدودها القصوى، بحيث يجرون استكشافات نظرية جامحة لواحدة من أكثر البيئات الطبيعية تطرفا. ومن الأمثلة القوية على ذَلكَ أنّه في أوائل سبعينيات القرن العشرين أدرك ويلر أنّه عندَ تدبر القانون الثاني للديناميكا الحرارية الذي يحتل مكانة مبجلة في الفيزياء - والذي وجه فهمنا للتفاعل بين الطاقة والشغل والحرارة على مدار أكثر من قرن - بالقرب من الثقوب السوداء، فمن الظاهر أن التخبط يصيبه. وقدْ أنقذ الوضع بفضل الأفكار الجديدة التي أتى بها جاكوب بيكنشتاين، طالب الدراسات العليا الشاب لدى ويلر، وبهذا تحرشت بذور المقترح الهولوجرافي.

القانون الثاني للديناميكا الحرارية

يأخذ القول المأثور «خير الكلام ما قل ودل» صورا متعددة، على غرار: «لنطلع على الملخص التنفيذي» و«لنقتصر في حديثنا على الحقائق وحسب» و«هذه معلومات زائدة على الحاجة» و«لقد أقنعتني أولى كلماتك». إنّ هذه العبارات يشيع استخدامها لأننا في كل لحظة من لحظات يومنا نتعرض إلى سيل جارف من المعلومات. ولحسن الحظ ففي أغلب الحالات تشب حواسنا التفاصيل بحيث لا ننتبه إلا إلى ما يهم. فإذا كنت أجوب سهول السافانا وقابلني أسد، فلن تهمني حركة كل فوتون ينعكس عن جسده، فهذه معلومات زائدة على الحاجة كثيراً. بل كل ما أريده هو السمات الإجمالية لتلك الفوتونات، تلك السمات التي تطورت عيوننا كي تستشعرها وتطورت أدمغتنا كي تفك شفرتها بسرعة. هل الأسد يتجه نحوي؟ هل هو رابض ويتحين الفرصة للهجوم علي؟ إذاً قدمت لي بيانا تفصيليا لحركة كل فوتون منعكس سيكون لدي هكذا كل التفاصيل بالتأكيد، لكنني لن أفهم منها شيئاً. فبكل تأكيد خير الكلام في هذا الموقف ما قل ودل.

تلعب اعتبارات مشابهة دورا محوريا في الفيزياء النظرية. ففي بعض الأحيان نريد أن نعرف كل تفصيلة دقيقة للمنظومة التي ندرسها. في مواضع متعددة على امتداد نفق مصادم الهدرونات الكبير البالغ طوله سبعة عشرة ميلاً، والذي وجه فيه الجسيمات كي تتصادم تصادما مباشرا، وضع الفيزيائيون كواشف عملاقة قادرة على أن تتبع، بدقة بالغة، حركة شذرات الجسيمات الناتجة. وهذه البيانات لها دور أساسي في تعريفنا بالقوانين الجوهرية لفيزياء الجسيمات، وهي بيانات تفصيلية للغاية لدرجة أن حصيلة العام الواحد منها من شأنها أن تملأ كومة من أقراص ال DVD يبلغ ارتفاعها نحو خمسين مرة قدر ارتفاع مبنى الإمباير ستيت. لكنّ كما حدث في تلك المواجهة غير المتوقعة مع الأسد فهناك مواقف أخرى في عالم الفيزياء يؤدي فيها هذا المستوى من التفاصيل إلى إضفاء مزيد من الإرباك، لا الوضوح. يركز فرع من فروع الفيزياء ظهر في القرن التاسع عشر ويسمى «الديناميكا الحرارية»، أو «الميكانيكا الإحصائية» في صورته الحديثة، على مثل هذه المنظومات. ويعد المحرك البخاري، ذَلكَ الابتكار التكنولوجي الذي كانَ المحرك الأول للديناميكا الحرارية - علاوة على الثورة الصناعية - مثالا جيدا لذلك.

في قلب المحرك البخاري يوجد وعاء مليء ببخار الماء الذي يتمدد عندَ التسخين، بحيث يدفع كباس المحرك إلى الأمام، وينكمش عندَ البرودة، بحيث يعيد الكباس إلى وضعه المبدئي، حيث يكون مستعدا للتحرك أماما مرة أخرى. في أواخر القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين توصل الفيزيائيون إلى الأسس الجزيئية للمادة، والتي رسمت إلى جانب أمور أخرى صورة ميكروسكوبية لعمل البخار. عندَ تسخين بخار الماء فإن جزيئات الأكسجين والهيدروجين تكتسب سرعة متزايدة وتندفع نحو الجانب السفلى للكباس. كلما كانت هذه الجزيئات أشد حرارة، تحركت بسرعة أكبر وأنتجت دفعة أكبر. ومن الأفكار البسيطة، والأساسية في الديناميكا الحرارية، هي أنّه من أجل فهم قوة البخار فلسنا بحاجة إلى معرفة التفاصيل المتعلقة بأي الجزيئات تحديدا يمتلك هذه السرعة أو تلك أو أيها يتصادف أنّه ارتطم بالكباس في هذا الموضع أو ذاك. فإذا قدمت الى قائمة بمسارات مليارات ومليارات الجزيئات، سأنظر إليك نظرة خالية من التعبير تماماً كما سيحدث لو أنك قدمت لي بيانا بمسارات الفوتونات المرتدة عن جسم الأسد. فمن أجل التوصل إلى قوة الدفعة التي يحدثها الكباس، أحتاج فقط إلى معرفة متوسط عدد الجزيئات التي سترتطم به في فترة زمنية معينة، ومتوسط السرعة التي ستمتلكها عندَ الارتطام. هذه البيانات أكثر عمومية بكثير، غير أن هذا التشذيب هو المطلوب تماماً كي تصير المعلومات مفيدة.

وخلال محاولات الفيزيائيين تطوير أساليب رياضية بهدف التقليل المنهجي للتفاصيل الصالح مثل هذا الفهم المجمع ذي المستوى الأعلى، فقد نقحوا نطاقا عريضا من التقنيات وطوروا عدداً من المفاهيم الفعالة. أحد هذه المفاهيم هو مفهوم الإنتروبيا، الذي تعرضنا لهُ بإيجاز في فصل سابق. استحدث هذا المفهوم لأول

مرة في منتصف القرن التاسع عشر من أجل التحديد الكمي لانتشار الطاقة داخل محركات الاحتراق الداخلي، وتقضي النظرة الحديثة لهذا المفهوم، والتي ظهرت بفضل أبحاث لودفيج بولتزمان في سبعينيات القرن التاسع عشر، بأن الإنتروبيا تقدم وصفاً للكيفية التي ترتب بها المكونات الدقيقة لأي منظومة - أو لا ترتب - كي تظل المنظومة محتفظة بمظهرها الإجمالي كما هو.

من أجل معرفة ما يعنيه هذا، تخيل الموقف التالي: أصيب فيلكس بغضب شديد لأنه أعتقد أن الشقة التي يسكنها مع أوسكار تعرضت للسطو. يقول الأوسكار: «لقد شرقنا!» غير أن أوسكار يهز رأسه نفيا، قائلاً إنّ فيلكس يبالغ في الأمر كعادته. ولكي يؤكد أوسكار على صحة قوله فإنه يفتح باب غرفة نومه، التي تتناثر في أرجائها الملابس وعلب البيتزا الفارغة وعبوات الجعة المتغنة، ويقول: «تبدو لي كما كانت على الدوام». لا يتزحزح فيلكس عن موقفه، ويرد قائلاً: «بالطبع ستبدو كما هي، فإذا سطوت على حظيرة خنازير ستظل كما هي، حظيرة خنازير. لكنّ انظر إلى غرفتي». ثمّ يفتح باب غرفته. يقول أوسكار ساخرا: «تعرضت للسطو حقاً! إنها في غاية التنظيم». يرد فيلكس :

«منظمة نعم، لكنّ ترك الدخلاء أثرهم الواضح. أترى زجاجات الفيتامين الخاصة بي؟ إنها ليست مرتبة حسب الحجم كالمعتاد. ماذا عن أعمال شكسبير؟ ليست مرتبة أبجديا. وماذا عن درج الجوارب؟ انظر إلى هذا، بعض الجوارب السوداء موضوعة في كومة الجوارب الزرقاء! لقد تعرضنا للسطو كما قلت لك. من المؤكد أننا تعرضنا للسطو».

إذاً نحينا جانبا الهستيريا التي أصابت فيلكس، سنجد أن هذا السيناريو يوضح نقطة بسيطة وأساسية. فعندما يكون شيء ما في حالة عالية من انعدام النظام، كغرفة أوسكار، يمكن لعمليات إعادة ترتيب عديدة للمكونات أن تخلف المظهر الإجمالي كما هو. فإذا أمسكت بستة وعشرين قميصاً متناثرة على الفراش والأرضية والمزينة، ثمّ ألقيتها على نحو عشوائي، وأعدت توزيع عبوات الجعة الاثنتين وأربعين المتناثرة هنا وهناك عشوائيا، فستبدو الغرفة كما هي. لكنّ حين يكون الشيء في حالة عالية من التنظيم، كغرفة فيلكس، فمن شأن أي تغير بسيط في الترتيب أن يُلحظ بسهولة.

هذا التمييز هو الأساس الذي يقوم عليه تعريف بولتزمان للإنتروبيا. فإذا تناولت أي منظومة وأحصيت عدد الطرق التي يمكن بها إعادة ترتيب مكوناتها من دون التأثير على مظهرها العياني الإجمالي الشامل، فسيكون الرقم الناتج هو مقدار الإنتروبيا الخاصة بتلك المنظومة[132].

فإذا وجد عدد كبير من عمليات إعادة الترتيب هذه، حينها تكون الإنتروبيا مرتفعة، وتتسم المنظومة بانعدام كبير في التنظيم. وإذا كانَ عدد عمليات إعادة الترتيب الممكنة منخفضا، حينها تكون الإنتروبيا منخفضة، وتتسم المنظومة بقدر كبير من التنظيم (أو على نحو مكافئ تتسم بقدر منخفض من انعدام النظام).

لمزيد من الأمثلة التقليدية، تدبر وعاء مليئا ببخار الماء ومكعبا من الثلج. ركز فقط على خصائصهما العيانية الإجمالية، أي تلك الخصائص التي يمكنك قياسها أو رصدها من دون الدخول إلى الحالة التفصيلية للمكونات الجزيئية لأي منهما. حين تحرك يدك عبر بخار الماء فإنك تعيد ترتيب مواضع مليارات ومليارات من جزيئات الماء, H_2O ومع ذَلكَ فإن غيمة البخار المتجانسة التي تملأ الوعاء ستبدو محتفظة بالشكل ذاته. لكنّ إذاً غيرت عشوائيا مواضع وسرعات عدد كبير من جزيئات مكعب الثلج فسترى نتيجة ذَلكَ على الفور؛ إذ ستصاب البنية البلورية للثلج بخلل واضح، وستظهر عليها آثار التصدعات والشقوق. إنّ بخار الماء، الذي تتحرك جزيئاته بحرية في أرجاء الوعاء، يتسم بانعدام شديد للتنظيم، أماً الثلج، الذي تنتظم فيه جزيئات الماء في نمط بلوري منظم، فيتسم بالتنظيم الشديد. إنّ انتروبيا بخار الماء مرتفعة (فمن شأن عمليات إعادة الترتيب العديدة ألاّ تغير مظهره الخارجي) بينما إنتروبيا الثلج منخفضة (عمليات إعادة ترتيب قليلة فقط يمكن أن تجعله يبدو كما هو).

وعن طريق تقييم حساسية المظهر العياني الخاص بأي منظومة تجاه تفاصيلها فائقة الصغر، تعد الإنتروبيا مفهوما طبيعيا في التقليد الرياضي الذي يركز على الخصائص الفيزيائية الإجمالية. وقدْ طور القانون الثاني للديناميكا الحرارية هذا الخط الفكري تطويرا كما؛ إذ ينص القانون على أن الإنتروبيا الإجمالية لأي منظومة تزداد مع مرور الوقت[133]. ويتطلب فهم سبب ذَلكَ فهماً أوليا للغاية لكل من الاحتمالية والإحصاء. بطبيعة الحال من الممكن تحقيق أي نسق ذي إنتروبيا مرتفعة عن طريق إجراء عدد عمليات إعادة الترتيب فائقة الصغر يفوق كثيراً ذَلكَ الممكن إجراؤه في النسق ذي الإنتروبيا المنخفضة. وبينما تتطور المنظومة فإنه من المرجح بشدة أن تمر بحالات إنتروبيا مرتفعة لأن عدد هذه الحالات، ببساطة، أكبر. بل إنّ عددها أكبر كثيراً من حالات الإنتروبيا المنخفضة. فعندما تخبز رغيفا من الخبز يمكنك أن تشم الرائحة في كل أرجاء المنزل لأنه توجد تريليونات من الأنساق للجزيئات المتدفقة من رغيف الخبز تنتشر بعيداً، متسببة في تلك الرائحة المتجانسة، وهذه الأنساق أكبر عدداً بكثير من الأنساق الأخرى التي تكون فيها الجزيئات حبيسة ركن مطبخك. فالحركة العشوائية للجزيئات الساخنة سوف تتسبب، على نحو شبه مؤكد، في دفعها إلى أحد أنساق الانتشار العديدة، وليس نحو أحد الأنساق محدودة العدد المتركزة في مكان واحد. يعني هذا أن مجموعة الجزيئات تتطور من حالة الإنتروبيا المنخفضة إلى الإنتروبيا المرتفعة، وهذا هو التجسيد الواقعي للقانون الثاني للديناميكا الحرارية.

هذه الفكرة عامة. وأشياء مثل تهشم الزجاج واحتراق الشموع وسكب الحبر وانتشار رائحة العطر، كلها عمليات مختلفة، لكنّ الاعتبارات الإحصائية الخاصة بها متماثلة. ففي كل حالة من هذه الحالات تتجه المنظومة من حالة النظام إلى حالة انعدام النظام، وهي تفعل هذا لأنه توجد طرق أكثر بكثير يمكن بها أن يتحقق انعدام النظام. ومكمن جمال هذا النوع من التحليل - الفكرة التي تسببت في واحدة من أرقى لحظات التنوير في تعليمي الفيزيائي - هي أنّه من دون التوغل كثيراً في التفاصيل فائقة الصغر، فإن لدينا مبدأ مرشدا يفسر لنا لماذا يتطور ذَلكَ العدد الكبير من الظواهر على النحو الذي يتطور به.

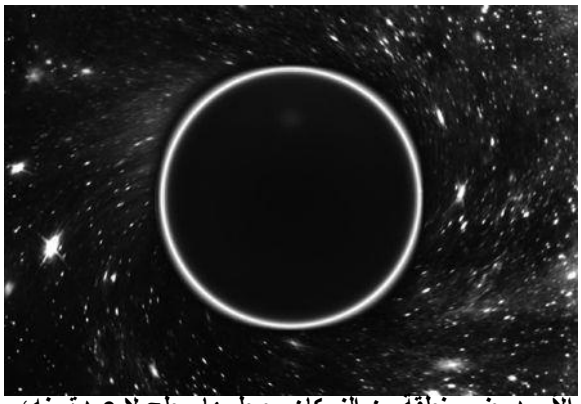
لاحظ أيضاً أن القانون الثاني، بفضل كونه قانونا إحصائيا، لا يقول إنّ الإنتروبيا يستحيل أن تنخفض، بل يقضي وحسب بأن هذا أمر غير مرجح بشدة. فجزيئات اللبن التي صببتها على قهوتك من الممكن، نتيجة حركاتها العشوائية، أن تتجمع معاً وتطفو على السطح في شكل بابا نويل، لكنّ حري بك ألاّ تترقب حدوث ذَلكَ. فصورة بابا نويل المكونة من جزيئات اللبن تتسم بقدر منخفض للغاية من الإنتروبيا، وإذا حدث أن حركت بضعة مليارات قليلة من الجزيئات ستلاحظ النتيجة على الفور؛ إذ سيفقد بابا نويل رأسه أو أحد ذراعيه، أو يتحول إلى خيوط بيضاء هلامية الشكل. وبالمقارنة، فإن النسق الذي تكون فيه جزيئات اللبن موزعة على نحو متجانس يمتلك قدرا أعلى بكثير من الإنتروبيا، وسيظل عدد كبير للغاية من الأنساق محتفظا بالمظهر العادي للقهوة باللبن. ثمة احتمالية كبيرة، إذاً، في أن يتسبب اللبن المصبوب على القهوة في إكسابها اللون البني الفاتح المتجانس، من دون أن يبدو لبابا نويل أثر على الإطلاق. تنطبق اعتبارات مماثلة على الغالبية العظمى لعمليات التطور من الإنتروبيا المرتفعة إلى الإنتروبيا المنخفضة، وهذا يجعل القانون الثاني للديناميكا الحرارية يبدو منيعا على الانتهاك.

القانون الثاني للديناميكا الحرارية والثقوب السوداء

والآن سنتناول النقطة التي أثارها ويلر بشأن الثقوب السوداء. في أوائل سبعينيات القرن العشرين لاحظ ويلر أنّه عندما دخلت الثقوب السوداء إلى المشهد، بدا وكأن القانون الثاني للديناميكا الحرارية قد تزعزع. إنّ بمقدورك أن تلقي المنظومة التي تدرسها أيا كانت - زجاجا مهشما أو شمعاً محترقا أو حبرا مسكوبا - داخل الثقب الأسود، وبما أن لا شيء يفلت من الثقب الأسود فيبدو هكذا وكأن انعدام النظام الذي تتصف به المنظومة قد اختفى إلى الأبد. رغم أن هذا النهج بدا فظا، فقد بدا من اليسير أن يتمكن المرء من تخفيض الإنتروبيا الإجمالية لو أنّه امتلك ثقبا أسود تحت تصرفه. وظن كثيرون أن القانون الثاني للديناميكا الحرارية وجد أخيراً غريماً لا يقهر.

لم يقتنع بيكنشتاين، تلميذ ويلر، بهذا الأمر ورأى أن من المحتمل أن الإنتروبيا لا فقد داخل الثقب الأسود وإنما ببساطة انتقلت إليه. فعلى أي حال، لم يزعم أحد قطّ أن الثقوب السوداء، خلال التهامها الغبار والنجوم، قد وفرت آلية لانتهاك القانون الأول للديناميكا الحرارية؛ قانون حفظ الطاقة. بل على العكس فإن معادلات آينشتاين تبين أنّه حين يلتهم الثقب الأسود المادة، فإنه يصير أكبر وأضخم. فالطاقة الموجودة في أي منطقة من الممكن أن يعاد توزيعها، بحيث يسقط بعضها داخل الثقب ويظل البعض خارجه، غير أن مقدار الطاقة الإجمالي يظل محفوظا. واقترح بيكنشتاين أن من المحتمل أن تنطبق الفكرة عينها على الإنتروبيا. فبعض الإنتروبيا يظل خارج الثقب الأسود بينما يسقط البعض الآخر داخله، ولا يفقد منها أي مقدار.

بدا هذا معقولاً، غير أن الخبراء وئدوا مقترح بيكنشتاين في مهده. فقد بدا أن حل شفارتسشيلد، والكثير من الأبحاث التالية عليه، يؤكد على أن الثقوب السوداء هي النموذج الأسمى للنظام. فالمادة والإشعاع الساقطين داخل الثقب الأسود، بصرف النظر عما تتسم به من فوضوية وافتقار إلى النظام، تنسحق إلى أحجام شديدة الصغر داخل مركز الثقب: فالثقب الأسود هو ماكينة جمع وضغط القمامة المثالية. صحيح أنّه لا يدرى أحد بالضبط ما يحدث خلال عملية الضغط القوية هذه، لأن التطرف الذي يتسم به انحناء المكان والكثافة يتسبب في إفساد معادلات آينشتاني، غير أنّه لا يبدو أن ثمة سعة داخل مركز الثقب الأسود لاستيعاب أي قدر من انعدام النظام. أماً خارج المركز فليس الثقب الأسود إلا منطقة خالية من الزمكان تمتد إلى حدود نقطة اللاعودة - أفق الحدث - كما هو مبين في الشكل 9-1. ومن دون أي ذرات أو جزيئات تندفع في هذا الاتجاه أو ذاك، ومن ثمّ عدم وجود أي مكونات يمكن إعادة ترتيبها، يبدو الثقب الأسود وكأنه خالي تماماً من الإنتروبيا.



شكل 9-1: الثقب الأسود يضم منطقة من الزمكان يحيط بها سطح لا عودة منه؛ يسمى أفق الحدث.

في سبعينيات القرن العشرين حصل هذا الرأي على مزيد من الدعم من جانب ما يطلق عليه «مبرهنات انعدام الشعر»، والتي أثبتت رياضيا أن الثقوب السوداء، شأنها شأن أفراد الفرقة الاستعراضية «بلو مان جروب»، تتسم كلها بسمات واحدة لا تمييز بينها. فوفق هذه المبرهنات أي ثقبين أسودين لهما الكتلة والشحنة والزخم الزاوي (معدل دوران الثقب حول ذاته) أنفسهم، إنما يكونان متماثلين تماماً. وبسبب افتقار الثقوب السوداء إلى أي سمات جوهرية خاصة - مثلما يفتقر أفراد فرقة بلو مان إلى شعور منسدلة أو مصففة على شكل قصة الأسد أو ضفائر - فيبدو بالمثل أنها تفتقر كذلك إلى أي اختلافات أساسية من شأنها أن تأوي الإنتروبيا.

كانت هذه الحجة مقنعة إلى درجة ما في ذاتها، لكنّ كانت هناك اعتبارات واضحة بدا وكأنها تنتقص من صحة فكرة بيكنشتاين على نحو حاسم. فوفق مبادئ الديناميكا الحرارية الأساسية، ثمة ارتباط وثيق بين الإنتروبيا ودرجة الحرارة. فدرجة الحرارة تعد مقياسا لمتوسط حركة مكونات أي جسم: فالأجسام الساخنة تمتلك مكونات سريعة الحركة، بينما الأجسام الباردة تمتلك مكونات بطيئة الحركة. والإنتروبيا مقياس لعمليات إعادة الترتيب الممكنة لهذه المكونات، بحيث تكون هذه العمليات غير ملحوظة من المنظور العياني. ومن ثمّ يعتمد كل من الإنتروبيا ودرجة الحرارة على السمات الإجمالية المكونات الجسم؛ فهماً تسيران معاً يداً بيد. وبإجراء الحسابات الرياضية صار واضحاً أنّه لو كانَ بيكنشتاين محقا وكانت الثقوب السوداء تحمل الإنتروبيا، فمن المفترض كذلك أن تكون لها درجة حرارة[134]. أطلقت تلك الفكرة جرس إنذار. إنّ أي جسم لهُ درجة حرارة غير صفرية يطلق إشعاعا. فالفحم الساخن يشع ضوءا مرئيا، ونحن البشر تنبعث منا في المعتاد أشعة تحت حمراء. ولو كانَ الثقب الأسود لهُ درجة حرارة غير صفرية، فإن قوانين الديناميكا الحرارية ذاتها التي يسعى بيكنشتاين إلى الحفاظ عليها تقضي بأن من المفترض بالثقب الأسود أن يطلق إشعاعا. غير أن هذا يتعارض تعارضا جليا مع الفهم الراسخ الذي يقضي بأن لا شيء يمكنه الإفلات من قبضة الجاذبية الخاصة بالثقب الأسود. خلص الجميع تقريباً إلى أن بيكنشتاين مخطئ؛ فالثقوب السوداء ليس لها درجة حرارة، ولا تضم داخلها أي مقدار من الإنتروبيا. فالثقب الأسود أشبه بهوة لا قرار لها، وفي وجوده يفشل القانون الثاني تماماً.

رغم تراكم الأدلّة ضد بيكنشتاين، فقد كانَ يمتلك أحد أكثر النتائج تشويقا إلى جانبه. ففي عام 1971 أدرك ستيفن هوكينج أن الثقوب السوداء تطيع قانونا عجيبا. فإذا كانَ لديك مجموعة من الثقوب السوداء لها كتل وأحجام مختلفة، البعض منها منخرط في رقصة فالس مدارية مهيبة، بينما يجتذب البعض المادة والإشعاع القريبين، ويرتطم البعض الآخر مع مثيله، فإن مساحة السطح الكلية للثقوب السوداء تزداد مع مرور

الوقت. كانَ هوكينج يعني بالتعبير "مساحة السطح" مساحة أفق الحدث الخاص بكل ثقب أسود. توجد نتائج عديدة في الفيزياء تضمن أن الكميات لا تتغير مع مرور الوقت (على غرار مبدأ حفظ الطاقة، وحفظ الشحنة، وحفظ الزخم، وما إلى ذَلكَ)، لكنّ ثمة نتائج قليلة للغاية تقضي بأن الكميات تزداد. كانَ من الطبيعي، إذا، التفكير في علاقة محتملة بين النتيجة التي توصل إليها هوكينج والقانون الثاني للديناميكا الحرارية. فإذا تصورنا، بشكل ما، أن مساحة سطح الثقب الأسود مقياس للإنتروبيا التي يحويها، حينها فإن زيادة مساحة السطح الإجمالية يمكن النظر إليها بوصفها زيادة في الإنتروبيا الإجمالية.

كان ذلك قياسا جذابا، لكنّ لم يقتنع به أحد. فقد كانَ التشابه بين فرضية المساحة لهوكينج والقانون الثاني للديناميكا الحرارية، في أعين الجميع تقريباً، لا يعدو كونه محض مصادفة. ظل هذا الرأي سائدا حتّى أكمل هوكينج، بعدها ببضع سنوات، أحد أكثر الحسابات تأثيرا في الفيزياء النظرية الحديثة.

إشعاع هوكينج

نظرا لأن ميكانيكا الكم لا تلعب أي دور في النسبية العامة لآينشتاين، فإن حل الثقب الأسود لشفارتسشيلد مبني بالكامل على الفيزياء الكلاسيكية. غير أن التعامل الصحيح مع المادة والإشعاع - مع جسيمات كالفوتونات والنيوترينوات والإلكترونات التي تستطيع نقل الكتلة والطاقة والإنتروبيا من مكان إلى آخر يتطلب فيزياء الكم. ومن أجل إدراك طبيعة الثقوب السوداء إدراكا كاملا وفهم كيفية تفاعلها مع المادة والإشعاع، علينا تحديث عمل شفارتسشيلد بحيث يتضمن الاعتبارات الكمية. ليس هذا بالأمر اليسير. فبصرف النظر عن التقدم المتحقق في نظرية الأوتار (علاوة على المناهج الأخرى التي لم نناقشها مثل الجاذبية الكمية الحلقية ونظرية الإلتواء ونظرية توبوس) فنحن لا نزال في مرحلة مبكرة من محاولاتنا دمج فيزياء الكم مع النسبية العامة. وفي سبعينيات القرن العشرين كانَ ثمة أساس نظري أقل يمكن وفقه فهم الكيفية التي من شأن ميكانيكا الكم أن تؤثر بها على الجاذبية.

ومع هذا فإن عدداً من الباحثين المبكرين استطاعوا إقامة اتحاد جزئي بين ميكانيكا الكم والنسبية العامة عن طريق تدبر المجالات الكمية (الجزء الكمي من ذَلكَ الاتحاد) وهي تتطور داخل بيئة زمكانية ثابتة لكنّها منحنية (وهو الجزء الخاص بالنسبية العامة).

وكما أوضحت في الفصل الرابع فإن الاتحاد الكامل، على الأقل، لن يضع في الاعتبار التذبذبات الكمية للمجالات داخل الزمكان وحسب، وإنما تذبذبات الزمان ذاته كذلك. ومن أجل تيسير التقدم فإن الأبحاث المبكرة تجنبت على الدوام ذَلكَ التعقيد. اعتنق هوكينج ذَلكَ الاتحاد الجزئي ودرس سلوك المجالات الكمية داخل بيئة زمكانية شديدة الخصوصية، تلك التي يتسبب فيها وجود ثقب أسود. وما وجده أصاب الفيزيائيين بالذهول التام.

تتمثل إحدى السمات المعروفة جيداً للمجالات الكمية داخل الزمكان العادي، الخالي، غير المنحني في أن تذبذباتها تسمح لأزواج الجسيمات، كالإلكترون ونظيره من المادة المضادة البوزيترون، بأن تظهر لحظيًّاً من العدم، وتعيش لفترة وجيزة، ثمّ يرتطم بعضها ببعض وتفني نتيجة لذلك. وهذه العملية، المسماة «الإنتاج الكمي للأزواج»، خضعت لدراسة مكثفة على المستويين النظري والتجريبي، وهي مفهومة بالكامل.

ومن السمات العجيبة لعملية الإنتاج الكمي للأزواج. هي أنّه بينما يمتلك أحد الجسيمين طاقة موجبة، فإن قانون حفظ الطاقة يحتم أن يمتلك الجسيم الآخر طاقة مساوية سالبة؛ وهو مفهوم عديم المعني داخل الكون المحكوم بالفيزياء الكلاسيكية[135]. غير أن مبدأ عدم اليقين يقدم منظوراً غريباً يتيح وجود الجسيمات ذات الطاقة السالبة ما دام بقاؤها لا يطول. فإذا وُجد جسيم على نحو عابر، يشدد مبدأ عدم اليقين على أنّه لن يكون بوسع أي تجربة، ولو بشكل نظري، تحديد الزمن الدقيق الذي يمكن فيه تحديد ما إذاً كانت طاقته موجبة أم سالبة. وهذا هو السبب الذي يجعل قوانين الكم تحتم فناء هذه الجسيمات. وبهذا تؤدي التذبذبات الكمية، مجدداً، إلى تخليق أزواج الجسيمات وإفنائها، على نحو متواصل، وذلك هو التأثير الذي لا يمكن تجنبه حين يتجسد مبدأ عدم اليقين داخل منطقة مكانية خاوية.

أعاد هوكينج تدبر هذه التذبذبات كلية الوجود ليس إلى بيئة الفضاء الخاوي وإنما بالقرب من أفق الحدث الخاص بثقب أسود. وقدْ وجد أن في بعض الأحيان يبدو أفق الحدث كما هو في المعتاد؛ إذ يجري تخليق أزواج الجسيمات عشوائياً، ثمّ تتصادم، ثمّ تُدَمَّر. لكنّ من حين لآخر يحدث شيء جديد. فإذا تكونت أزواج الجسيمات على مقربة كافية من حافة الثقب الأسود، فمن الممكن أن يسقط أحد الزوجين داخل الثقب، بينما ينطلق الجسيم الآخر نحو الفضاء. في غياب الثقب الأسود لا يحدث هذا مطلقاً، لأنه لو فشلت

الجسيمات في إفناء بعضها بعضاً، فإن الجسيم ذا ال
طاقة السالبة سيخرج من تحت الغيمة الواقية التي يوفرها مبدأ عدم اليقين. وقدْ أدرك هوكينج أن الإحناء الشديد الذي يسببه الثقب الأسود للمكان والزمن يمكن أن يتسبب في أن الجسيمات التي تمتلك طاقة سالبة، كما يراها أي شخص خارج الثقب، تبدو وكأنها تمتلك طاقة موجبة لأي راصد سيئ الحظ موجود داخل الثقب الأسود. وبهذه الطريقة يوفر الثقب الأسود للجسيمات ذات الطاقة السالبة ملاذاً آمناً، ومن ثمّ يقضي على الحاجة إلى العباءة الكمية الواقية. ومن الممكن أن تتجنب الجسيمات البازغة عملية الإفناء المتبادل وأن تنطلق في طرقها المنفصلة[136].

تندفع هذه الجسيمات ذات الطاقة الموجبة إلى الخارج من المنطقة الملاصقة لأفق حدث الثقب الأسود مباشرة، ومن ثمّ ففي نظر الراصد من بعيد ستبدو أشبه بالإشعاع، وأطلق مُنذئذٍ على هذه الصورة من الإشعاع اسم «إشعاع هوكينج». إنّ الجسيمات ذات الطاقة السالبة لاتُرى مباشرة، لأنها سقطت داخل الثقب الأسود، غير أن لهذه الجسيمات تأثير قابل للرصد. فبما أن كتلة الثقب الأسود تزيد حين يبتلع أي شيء ذي طاقة موجبة، فإن كتلته تنقص حين يبتلع أي شيء ذي طاقة سالبة. وتؤدي هاتان العمليتان معاً إلى جعل الثقب الأسود يشبه قطعة من الفحم المشتعل: إذ يطلق الثقب الأسود تياراً ثابتاً من الإشعاع بينما تصير كتلته أصغر وأصغر[137]. عندَ تضمين الاعتبارات الكمية نجد إذاً أن الثقوب السوداء ليست سوداء تماماً. وهذه هي المساهمة المثيرة للذهول التي قدمها هوكينج.

لا يعني هذا أن الثقب الأسود العادي يكون ذا لون أحمر متقد. فبينما تندفع الجسيمات من الحافة الخارجية للثقب الأسود، فإنها تخوض معركة صعبة كي تفلت من قبضة الجاذبية الشديدة. وحين تفعل هذا فإنها تفقد طاقة، ولهذا السبب فإنها تبرد بدرجة كبيرة. وفق حسابات هوكينج فإن الراصد البعيد عن الثقب الأسود سيجد أن درجة حرارة الإشعاع «المُنهَك» الناتج تتناسب عكسياً مع كتلة الثقب الأسود. فالثقب الأسود الضخم، كذلك القابع في مركز مجرتنا، تقل درجة حرارته عن جزء من التريليون من الدرجة فوق الصفر المطلق. أما الثقب الأسود الذي تعادل كتلته كتلة الشمس فستقل درجة حرارته عن جزء من المليون من الدرجة فوق الصفر المطلق، وهو قدر شديد الضالة حتّى لو قُورن بدرجة حرارة إشعاع الخلفية المتخلف عن الانفجار العظيم والبالغة 2.7- درجة. ولكي تكون درجة حرارة الثقب الأسود عالية بما يكفي لشواء عشاء الأسرة فتحتاج كتلته إلى أن تبلغ نحو جزء من الألف من كتلة الأرض، وهو حجم شديد الندرة وفق معايير الفيزياء الفلكية.

غير أن مقدار درجة حرارة الثقب الأسود له أهمية ثانوية. فرغم أن الإشعاع الصادر عن الثقوب السوداء الفلكية البعيدة لن يضيء السماء، فحقيقة أن لها درجة حرارة، وأنها تطلق إشعاعاً، تشير إلى أن الخبراء قد تسرَّعوا في رفضهم مقترح بيكنشتاين القائل بأن الثقوب السوداء تمتلك قدراً من الإنتروبيا بالفعل. بعد ذَلكَ حسم هوكينج القضية تماماً؛ إذ إنّ حساباته النظرية الهادفة إلى تحديد درجة الحرارة والإشعاع الخاصين بأي ثقب أسود منحته كل البيانات التي كانَ يحتاجها كي يحدد مقدار الإنتروبيا التي من المفترض أن يحويها الثقب الأسود، وذلك وفق القوانين القياسية للديناميكا الحرارية. وكانت الإجابة التي وجدها تتناسب طردياً مع مساحة سطح الثقب الأسود، تماماً كما اقترح بيكنشتاين.

لذا بحلول نهاية عام 1974 استعاد القانون الثاني للديناميكا الحرارية مكانته مجدداً. فقد أثبتت أفكار بيكنشتاين وهوكينج أن الإنتروبيا الإجمالية تزداد في أي موقف، ما دمنا لا نضع في الحسبان فقط إنتروبيا المادة والإشعاع العاديين، ولكن أيضاً الإنتروبيا التي تحويها الثقوب السوداء، والمقيسة عن طريق مساحة السطح الإجمالية. فالثقوب السوداء لم تعد مخازن للإنتروبيا تتعارض مع القانون الثاني

للديناميكا الحرارية، بل هي تلعب دوراً نشطاً في تدعيم القانون داخل الكون الذي تتزايد فيه حالة عدم الانتظام. هذه النتيجة كانت محل ترحاب. ففي نظر عديد الفيزيائيين كانَ القانون الثاني للديناميكا الحرارية، الناتج عن اعتبارات إحصائية محكمة أشد الإحكام في ما يبدو، يقع في مكانة شبه مقدسة شأنه شأن كل شيء آخر مرتبط بالعلم. وكان الحفاظ عليه يعني أن العالم يسير على نحو صحيح مجدداً. لكنّ مع مرور الوقت صار واضحاً من واقع الإحصاء الدقيق للإنتروبيا أن الحفاظ على القانون الثاني للديناميكا الحرارية ليس القضية الأعمق هنا. بل إنّ هذا الشرف يذهب إلى عملية تحديد الموضع الذي تُخزَّن فيه الإنتروبيا، وهي قضية تصير أهميتها واضحة حين ندرك الرابط العميق بين الإنتروبيا والموضوع الرئيسي لهذا الفصل: المعلومات.

إلى الآن، وصفت الإنتروبيا وصفاً فضفاضاً باعتبارها مقياس لانعدام النظام، كما وصفتُها على نحو كمي، باعتبارها عدد عمليات إعادة الترتيب التي تمر بها المكونات فائقة الصغر للمنظومة من دون أن تغير سماتها العيانية الإجمالية. وسأذكر الآن صراحةً ما سبق أن أشرت إليه ضمنيًّاً، وهو أن بإمكانك التفكير في الإنتروبيا بوصفها «فجوة المعلومات» بين البيانات التي تمتلكها (تلك السمات العيانية الإجمالية) والبيانات التي لا تمتلكها (عمليات إعادة الترتيب التي تمر بها المنظومة على المستوى فائق الصغر). فالإنتروبيا تقيس المعلومات الإضافية المختفية داخل التفاصيل فائقة الصغر للمنظومة، والتي من شأنها عندَ الوصول إليها أن تميز النسق على المستوى فائق الصغر عن كل الأنساق الشبيهة على المستوى العياني.

على سبيل التوضيح، تخيل أن أوسكار قام بترتيب غرفته، باستثناء الدولارات الألف، على صورة عملات معدنية، التي ربحها الأسبوع الماضي في لعبة البوكر، والتي تركها متناثرة على الأرضية. وحتى بعد أن جمعها أوسكار في كومة واحدة، فإنه لا يزال يرى تجميعة عشوائية من الدولارات المعدنية، بعضها مستقر على وجه الصورة والبعض الآخر على الكتابة. ولو حدث أنك غيرت عشوائياً بعض العملات التي تستقر على الصورة بحيث باتت تستقر على الكتابة، فلن يلحظ أوسكار الفارق؛ وهذا دليل على أن منظومة الدولارات المعدنية الألف تتسم بقدر مرتفع من الإنتروبيا. وفي حقيقة الأمر هذا المثال واضح للغاية لدرجة أن بإمكاننا إحصاء مقدار الإنتروبيا. فإذا كانت لديك عملتان وحسب، ستكون لديك أربعة أنساق محتملة: (صورة، صورة)، (صورة، كتابة)، (كتابة، صورة)، (كتابة، كتابة)؛ وهي نتيجة ضرب الاحتمالين الخاصين بالدولار الأول في الاحتمالين الخاصين بالدولار الثاني. وفي حالة وجود ثلاث عملات، ستكون لدينا ثمانية أنساق مختلفة: (صورة، صورة، صورة)، (صورة، صورة، كتابة)، (صورة، كتابة صورة)، (صورة، كتابة، كتابة)، (كتابة، صورة، صورة)، (كتابة، صورة، كتابة)، (كتابة، كتابة، صورة)، (كتابة، كتابة، كتابة)، وهي ناتجة عن ضرب الاحتمالين الخاصية بالعملة الأولى في الاحتمالين الخاصية بالعملة الثانية، في الاحتمالين الخاصين بالعملة الثالثة. وإذا كانَ لدينا ألف عملة، فإن عدد الاحتمالات سيسير على النمط ذاته - برفع كل عملة إلى القوة 2 - وهو ما يؤدي إلى إجمالي احتمالات مقداره 2^{1000} أو 107150860718
6770629145711964776865421676604298316526243863720566806937
الغالبية العظمى لهذه التجميعات المختلفة من الصورة والكتابة لن تمتلك أي سمات مميزة، ومن ثمّ فلن تبرز بأي شكل كانَ. البعض الآخر يتسم بالتميز، كما يحدث حين تستقر العملات الألف كلها على الصورة أو الكتابة، أو يستقر منها 999 على الصورة أو 999 على الكتابة. غير أن عدد هذه الأنساق غير المعتادة ضئيل للغاية مقارنة بالعدد الهائل للاحتمالات الكلية، ولن يتسبب إسقاطها من عملية الحساب في أي فارق ملموس[138].

من واقع مناقشتنا السابقة سوف تخلص إلى أن العدد 2^{1000} يمثل إنتروبيا العملات المعدنية. وهذه النتيجة، بصورة ما، ستكون مقبولة. لكنّ من أجل توضيح أقوى الروابط بين الإنتروبيا والمعلومات، أحتاج إلى توضيح الوصف الذي قدمته مسبقاً. فإنتروبيا أي منظومة مرتبطة بعدد عمليات إعادة ترتيب المكونات، والتي لا يمكن التمييز بينها، لكنّها ليست في الحقيقة مساوية لعدد العمليات ذاته. وهذه العلاقة يُعبَّر عنها بواسطة عملية رياضية تسمى اللوغارتم. لا تشعر بالإحباط لو أثار هذا الاسم لديك ذكريات

بغيضة مرتبطة برياضيات المرحلة الثانوية. ففي مثال العملات المعدنية الخاص بنا يعني هذا أنك تنتقي الأس الخاص بعدد عمليات إعادة الترتيب؛ بمعنى أن الإنتروبيا هنا عرف على أنها تساوي 1000 وليس 1000_2.

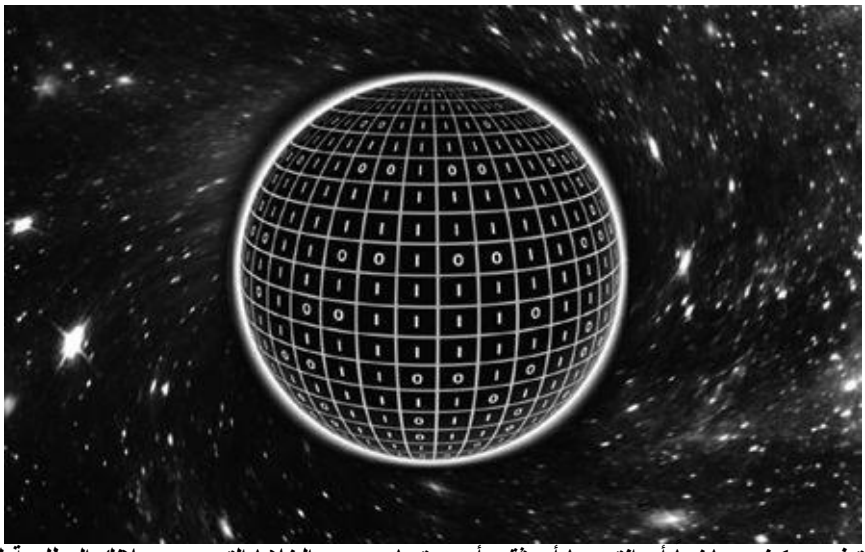
يمنحنا استخدام اللوغارتم مزية تتمثل في العمل مع أعداد أيسر في التناول، لكنّ ثمة محفز آخر أكثر أهمية. تخيل أني سألتك عن مقدار المعلومات الذي تحتاج إلى تقديمه من أجل وصف أحد أنساق «الصورة - الكتابة» المحددة لتلك العملات المعدنية الألف. ستتمثل الإجابة الأبسط في أنك ستحتاج إلى تقديم قائمة - صورة صورة، كتابة، صورة، كتابة، كتابة... - تحدد حالة كل عملة من العملات الألف. سأرد قائلاً إنّ هذا بالتأكيد سيخبرني بتفاصيل ذَلكَ النسق، غير أن هذا ليس ما طلبت. فقد سألتك عن مقدار المعلومات» الذي تحتويه تلك القائمة.

عندئذٍ تبدأ في التفكير ملياً. ما المعلومات في حقيقتها، وما الذي تفعله؟ إنّ استجابتك بسيطة ومباشرة. فالمعلومات تجيب عن أسئلة. بفضل سنوات من البحث من جانب علماء الرياضيات والفيزياء والحاسب الآلي صار هذا الجواب دقيقاً. فقد أثبتت أبحاثهم أن المقياس الأكثر نفعاً لمحتوى المعلومات هو عدد الأسئلة التي يجاب عنها بنعم أو الا الذي يمكن لهذه المعلومات توجيهه. تجيب المعلومات الخاصة بالعملات عن ألف سؤال من هذه الأسئلة: هل العملة الأولى مستقرة على الصورة؟ نعم. هل العملة الثانية مستقرة على الصورة؟ نعم. هل العملة الثالثة مستقرة على الصورة؟ لا. هل العملة الرابعة مستقرة على الصورة؟ لا. وهكذا دواليك. إنّ البيان الذي يستطيع الإجابة عن سؤال يُجاب عنه بنعم أو لا يُسمَّى البِت (bit)؛ وهو مصطلح مألوف من عالم الحاسب الآلي ويعد اختصاراً لمصطلح «الرقم الثنائي» (binary digit)، الذي يعني إما 0 أو 1، والذي يمكنك التفكير فيه بوصفه تمثيل عددي ل «نعم» أو «لا». وبهذا فإن نسق الصورة الكتابة الخاص بالألف عملة يحتوي على معلومات مقدارها 1000 بِت. وعلى نحو مكافئ لو أنك تبنيت منظور أوسكار العياني وركزت فقط على المظهر العشوائي الإجمالي للعملات وتغاضيت عن التفاصيل «فائقة الصغر» الخاصة بأنساق الصورة والكتابة، فإن محتوى المعلومات «الخفي» سيساوي 1000 بت.

لاحظ أن قيمة الإنتروبيا ومقدار المعلومات الخفية متساويان. لا مجال للمصادفة هنا. فعدد عمليات إعادة الترتيب المحتملة للصورة والكتابة يساوي عدد الإجابات المحتملة للأسئلة الألف - (نعم، نعم، لا، لا، نعم،...) أو (نعم، لا، نعم، نعم، لا،...) أو (لا، نعم، لا، لا، لا،...) - وهو ما يساوي تحديداً 1000_2. وفي ضوء تعريف الإنتروبيا بوصفها لوغارتم عدد هذه الأنساق - 1000 في هذه الحالة - فإن الإنتروبيا تساوي عدد أسئلة نعم أو لا التي يجيب عنها مثل هذا التتابع.

ركزتُ حديثي على العملات المعدنية الألف كي أقدم لك مثالاً محدداً، غير أن الرابطة بين الإنتروبيا والمعلومات رابطة عامة. فالتفاصيل فائقة الصغر لأي منظومة تحوي معلومات تكون خفية عندما نقتصر في تناولنا على السمات العيانية الإجمالية. على سبيل المثال، أنت تعرف درجة الحرارة، والضغط، والحجم الخاصين بوعاء مليء ببخار الماء، لكنّ هل ارتطم للتو أحد جزيئات الماء بالركن الأيمن العلوي للوعاء؟ وهل ارتطم آخر بمنتصف الحافة السفلية اليسرى؟ كما في مثال العملات المعدنية فإن إنتروبيا أي منظومة تساوي عدد أسئلة نعم أو لا التي تمتلك تفاصيلها فائقة الصغر القدرة على إجابتها، ومن ثمّ فإن الإنتروبيا هي مقياس لمحتوى المعلومات الخفية للمنظومة[139].

كيف لفكرة الإنتروبيا هذه، وعلاقتها بالمعلومات الخفية، أن تنطبق على الثقوب السوداء؟ حين توصَّل هوكينج إلى الحجة التفصيلية القائمة على ميكانيكا الكم، والتي تربط إنتروبيا الثقوب السوداء بمساحة سطحها، فإنه لم يضِف الدقة الكمية المقترح بيكنشتاين الأصلي وإنما قدم كذلك خوارزمية لحسابها. ووفق حسابات هوكينج، إذاً أخذت أفق حدث أي ثقب أسود وقسَّمته إلى نمط أشبه بالشبكة يساوي فيه طول ضلع كل خلية طول بلانك واحد – 10^{-33} سنتيمتر - حينها فإن إنتروبيا الثقب الأسود ستساوي عدد الخلايا المطلوبة لتغطية أفق الحدث؛ أي مساحة سطح الثقب الأسود كما قاس بوحدات بلانك المربعة؛ أي 10^{-66} سنتيمتر لكل خلية. وبلغة المعلومات الخفية فالأمر يبدو وكأن كل خلية تحمل يا واحدا، إما صفر أو واحد، يقدم إجابة لسؤال واحد يجاب عنه بنعم أو لا يتعلق بأحد جوانب التركيبة فائقة الصغر للثقب الأسود[140]. يعرض الشكل 9-2 توضيحًا مبسطا لهذا الأمر.



شكل 9-2: بيَّنَ ستيفن هوكينج رياضيا أن إنتروبيا أي ثقب أسود تساوي عدد الخلايا التي بحجم بلانك المطلوبة لتغطية أفق الحدث الخاص به. الأمر يبدو وكأن كل خلية تحمل بِتّاً واحداً، وحدة أساسية من المعلومات.

إنّ نسبية آينشتاين العامة، وكذلك مبرهنات انعدام الشعر الخاصة بالثقوب السوداء،تتجاهل ميكانيكا الكم ومن ثمّ فهي تغفل هذه المعلومة تماماً. فإذا حددتَ كتلة ثقب أسود، وشحنته وزخمه الزاوي، فإنك بهذا ستكون قد عرَّفتَ الثقب الأسود على نحو متفرد، هذا ما تذهب إليه النسبية العامة. غير أن القراءة الأبسط والأكثر مباشرة لمقترح بيكنشتاين وهوكينج تخبرنا أن الحال ليس كذلك. فقد أثبتت أبحاث الاثنين أن من المؤكد وجود ثقوب سوداء عديدة لها السمات العيانية نفسها، غير أنها تتباين في ما بينها على المستوى فائق الصغر. وكما في حالة الأشياء المألوفة بدرجة أكبر - كالعملات المعدنية الموجودة على الأرضية أو البخار الموجود داخل وعاء - فإن إنتروبيا الثقب الأسود تعكس المعلومات المختفية داخل تفاصيله الأدق.

رغم ما تتصف به الثقوب السوداء من غرابة، فإن هذه التطورات تشير إلى أنّه في ما يتعلق الأمر بالإنتروبيا فإن الثقوب السوداء لا تختلف عن أي شيء آخر. غير أن هذه النتائج أثارت بعض الألغاز كذلك. فرغم أن بيكنشتاين وهوكينج أخبرانا بمقدار المعلومات المختفية داخل أي ثقب أسود، فإنهما لا يخبرانا بماهية هذه المعلومات. فهم لا يخبرانا بأسئلة نعم أو لا المحددة التي تجيب عنها المعلومات، بل إنهما لا يحددان المكونات فائقة الصغر التي من المفترض بهذه المعلومات أن تصفها. لقد حددت التحليلات الرياضية بدقة مقدار المعلومات الذي يحويه الثقب الأسود، لكنّ من دون أن تقدم تلميحاً عن ماهية المعلومات ذاتها[141].

كانت هناك، ولا تزال، بعض القضايا المحيرة. لكنّ ثمة سؤالاً آخر محيراً، سؤالاً يبدو أكثر جوهرية وهو: لماذا يتحدد مقدار المعلومات عن طريق مساحة سطح الثقب الأسود؟ أعني، لو أنك سألتني عن مقدار المعلومات المخزن في مكتبة الكونجرس، فسأود أن أعرف المساحة المتاحة داخل مكتبة الكونجرس. سأود أن أعرف السعة المتاحة داخل المكتبة من أجل تخزين الكتب، ومَلء شرائح التصوير المصغرة، وتكديس الخرائط والصور والوثائق. الأمر عينه ينطبق على المعلومات الموجودة في رأسي، والتي يبدو أنها مرتبطة بحجم دماغي، أي المساحة المتاحة للتشابكات العصبية. والأمر عينه يسري على المعلومات الموجودة داخل وعاء البخار، والمخزنة داخل خصائص الجسيمات التي تملأ الوعاء. لكنّ من المثير للدهشة أن بيكنشتاين وهوكينج أثبتنا أن في حالة الثقب الأسود، لا تتحدد سعة تخزين المعلومات

عن طريق حجم حيزه الداخلي وإنما عن طريق مساحة سطحه.

قبل هذه النتائج، كانَ الفيزيائيون قد استنتجوا أنّه بما أن طول بلانك – 10^{-33} سنتيمتر - هو أقصر طول يظل فيه مفهوم «المسافة» محتفظاً بمعناه، فإن أصغر حيزٍ ذي معنى سيكون مكعباً طول كل ضلع من أضلاعه مساوي لطول بلانك؛ أي إنّ حجمه يساوي 10^{-99} سنتيمتر مكعب. وقدْ اعتقد كثيرون أنّه بصرف النظر عن الطفرات التكنولوجية المستقبلية المحتملة، فإن أصغر حيز يمكن تخزين المعلومات فيه لن يستطيع تخزين أي قدر يقل عن أصغر وحدة للمعلومات، والتي تساوي بِتًّا واحداً. وهكذا كانَ من المتوقع أن أي منطقة من الفضاء سيكون بوسعها زيادة قدرتها على تخزين المعلومات إلى الحد الأقصى حين يتساوى عدد البنات التي تحويها مع عدد مكعبات بلانك التي يمكن حشدها داخلها. ومن ثمّ حين اشتملت نتيجة هوكينج على طول بلانك لم يكن ذَلكَ مثيرا للدهشة. بل تمثلت المفاجأة في أن مخزن المعلومات الخفية الموجود داخل الثقب الأسود كانَ يتحدد بواسطة عدد المربعات التي في حجم بلانك والتي تغطي سطحه وليس بواسطة عدد المكعبات التي في حجم بلانك التي تملأ حيزه الداخلي.

كانت تلك أولى الإشارات الدالة على الهولوجرافية؛ أن القدرة على تخزين المعلومات تتحدد عن طريق مساحة السطح المحيط وليس عن طريق الحيز الداخلي الذي يطوَّقه هذا السطح. وعبر تقلبات عديدة شهدتها العقود الثلاثة التالية، تطورت هذه الإشارة إلى طريقة جديدة وثورية في التفكير بشأن قوانين الفيزياء.

تحديد موقع المعلومات الخفية داخل الثقب الأسود

إنّ لوحة الشطرنج المعروضة في الشكل 9-2، التي يساوي طول ضلع كل خلية من خلاياها طول بلانك وتتناثر في أرجائها الأرقام صفر وواحد عبر أفق الحدث، ما هي إلا توضيح رمزي لنتيجة هوكينج الخاصة بمقدار المعلومات التي يضمها الثقب الأسود. لكنّ إلى أي مدى يمكننا أن نأخذ هذا المجاز حرفيًّا؟ حين تخبرنا الحسابات الرياضية أن مخزن معلومات الثقب الأسود يُقاس بواسطة مساحة سطحه، فهل يعكس ذَلكَ فقط عملية حساب عددية، أم تراه يعني أن سطح الثقب الأسود هو الموضع الذي تختزن فيه المعلومات حقاً؟

إنها قضية عميقة، وقدْ عكف بعض من أبرز الفيزيائيين على سبرها على مدار عقود[142]. وتعتمد الإجابة بشدة على ما إذاً كنت تنظر إلى الثقب الأسود من الخارج أم من الداخل؛ وحين ننظر إليه من الخارج ثمة سبب قوي يدعونا إلى الاعتقاد بأن المعلومات مخزنة بالفعل في أفق الحدث.

يبدو هذا الزعم عجيباً للغاية في نظر أي شخص مُلِم بالتفاصيل الدقيقة المتعلقة بالكيفية التي تصوّر بها النسبية العامة الثقوب السوداء. فالنسبية العامة توضح بجلاء أنك لو اجتزت أفق الحدث الخاص بثقب أسود فلن ترى أي شيء - لا مادة على السطح، ولا علامات مميزة، ولا أضواء وامضة - من شأنه أن يميز بأي صورة أنك تعبر حدود منطقة اللاعودة. إنّ هذه النتيجة مشتقة من إحدى أبسط أفكار آينشتاين وأهمها قاطبة. فقد أدرك آينشتاين أنّه حين يمر الشخص (أو أي جسم عموماً) بحالة سقوط حر فإنه يصير عديم الوزن تماماً؛ فإذا قفزت من أعلى لوح الغطس بينما هناك ميزان مثبت إلى قدميك فسيسجل الميزان خلال فترة السقوط الحر أن وزنك صفر. ففي الواقع حين تستسلم للسقوط الحر فأنت بهذا تلغي تأثير الجاذبية تماماً. ومن هذه الفكرة قفز آينشتاين إلى نتيجة أخرى مباشرة. فاستنادا إلى ما تشعر به في بيئتك المحيطة المباشرة، لا يوجد سبيل يمكنك من خلاله أن تميز بين السقوط الحر نحو جسم ضخم وبين الطفو الحر في أعماق الفضاء الخاوي: ففي كلا الموقفين أنت عديم الوزن تماماً. بالطبع لو أنك نظرت إلى ما حولك ورأيت، مثلاً، سطح الأرض وهو يقترب في سرعة، فستكون هذه علامة دالة على أنّه قد حان وقت جذب حبل المظلة التي ترتديها. لكنّ لو كنت حبيس قمرة صغيرة عديمة النوافذ فمن المستحيل التمييز بين شعور السقوط الحر والطفو الحر[143].

في السنوات الأولى من القرن العشرين توصل آينشتاين إلى هذه العلاقة البسيطة والعميقة في الوقت ذاته بين الحركة والجاذبية، وبعد عقد من العمل على تطوير الفكرة صاغها في صورة النظرية النسبية العامة. سنطبق الفكرة هنا على نطاق أكثر تواضعاً. افترض أنك داخل قمرة معزولة وأنك تسقط سقوطاً حرًّاً لكنّ ليس نحو الأرض وإنما نحو ثقب أسود. إنّ المنطق ذاته يضمن أن من المستحيل أن يختلف شعورك عن شعور الطفو في الفضاء الخاوي. ويعني ذَلكَ أنّه لا شيء خاص أو غير معتاد سيحدث لك بينما تسقط سقوطاً حرًّاً نحو أفق حدث الثقب الأسود. عندما ترتطم في نهاية المطاف بمركز الثقب الأسود لن تعود حينها في حالة سقوط حر، وبالتأكيد ستشعر بذلك على نحو مختلف. سيكون الشعور مختلفاً بحق. لكنّ إلى أن يحدث ذَلكَ فلن يختلف الشعور عن الطفو على غير هدى في أعماق الفضاء الخارجي العتماء. هذه الفكرة تجعل إنتروبيا الثقوب السوداء محيرة أكثر وأكثر. فإذا اجتزتَ أفق حدث الثقب الأسود فلن تجد شيئاً هناك، لا شيء على الإطلاق يميزه عن الفضاء الخاوي، فكيف إذاً يمكنه تخزين المعلومات؟ ثمة إجابة على هذا السؤال حظيت بقدر متزايد من القبول على مدار العقد السابق، وهي مرتبطة بمفهوم الثنائية الذي تعرضنا لهُ في الفصول السابقة. كما تذكر فإن مفهوم الثنائية يشير إلى موقف يوجد فيه منظوران متكاملان يبدوان مختلفين تماماً، ومع ذَلكَ فهماً متصلان عن كثب بواسطة رابط فيزيائي

مشترك. تعد صورة ألبرت آينشتاين-مارلين مونرو المبينة في الشكل 5-2 مثالاً مجازياً جيداً لهذا المفهوم، كما نجد أمثلة رياضية في الأشكال ذات التناظر المرآتي للأبعاد الإضافية في نظرية الأوتار (الفصل الرابع) وفي نظريات الأوتار المتمايزة على نحو بسيط (الفصل الخامس). وفي السنوات الأخيرة أدرك الباحثون، بقيادة تسكيند، أن الثقب الأسود يوفر سياق آخر يمنحنا فيه منظوران متكاملان ومختلفان بشدة فكرةٌ جوهرية.

أحد هذين المنظورين الأساسيين هو منظورك أنت، بينما تسقط سقوطاً حرَّاً نحو ثقب أسود، أماً المنظور الآخر فهو ذَلكَ الخاص براصد بعيد، يشاهد رحلتك هذه عبر تليسكوب قوي. الأمر المثير للدهشة هو أنّه رغم أنك تجتاز أفق حدث الثقب الأسود دون أن تشعر بشيء مميز، فإن الراصد البعيد يشاهد تتابعاً مختلفاً تماماً للأحداث، ويتعلق الاختلاف بإشعاع هوكينج الصادر عن الثقب الأسود[144]، فعندما يقيس الراصد البعيد درجة حرارة إشعاع هوكينج، سيجد أنها ضئيلة، إذ تبلغ نحو 10^{-13} درجة كلفينية مثلاً، وهو ما يشير إلى أن حجم هذا الثقب الأسود يساوي تقريباً حجم الثقب القابع في مركز مجرتنا. بيد أن الراصد البعيد يعلم أن برودة الإشعاع إنما ترجع فقط إلى أن الفوتونات، المنتقلة من الحيز الخارجي للأفق وصولاً إليه، قد استنفدت طاقتها كثيراً وهي تصارع الجاذبية العاتية للثقب الأسود، وإذا استخدمنا الوصف الذي ذكرته من قبل فسنقول إنّ الفوتونات منهكة. ويستنتج الراصد أنك كلما اقتربت من أفق الحدث، ستواجه مزيداً من الفوتونات اليافعة النشطة، التي لا تزال في بداية رحلتها، ومن ثمّ ستكون ذات طاقة أعلى وحرارة أعلى. في الواقع، بينما يشاهدك الراصد وأنت تقترب بحيث تصير قاب قوسين أو أدنى من أفق الحدث، فإنه سيشاهد جسدك وهو يقصف بقدر متزايد الشدة من إشعاع هوكينج، وفي النهاية لن توجد إلا بقايا جثمانك المتفحم.

لكنّ لحسن الحظ فإن شعورك سيكون ألطف كثيراً. فأنت لا ترى أو تشعر بأي شيء أو تحصل على أي دليل على وجود الإشعاع الحار. ومجدداً، نظراً لأن حركة السقوط الحر تلغي تأثير الجاذبية[145]، فإن شعورك لن يختلف عن شعور الطفو في الفضاء الخاوي. ونحن نعلم يقيناً أنك حين تطفو في الفضاء الخاوي فلن يشتعل جسدك فجأة. ومن ثمّ فإن النتيجة التي نخلص إليها هي أنك، من منظورك، ستمر في سلاسة عبر أفق الحدث ثمّ تندفع (بشكل أقل راحة) نحو نقطة التفرد في مركز الثقب الأسود، بينما من منظور الراصد البعيد ستهلك بفعل الهالة اللافحة المحيطة بأفق الحدث.

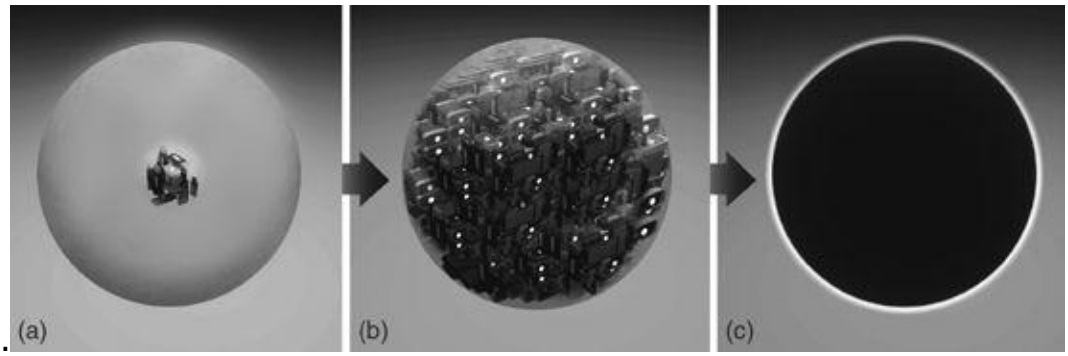
أي المنظورين هو الصحيح؟ يرى سكيند وآخرون غيره أن كلا المنظورين صحيح. بالطبع هذا لا يتفق مع المنطق المعتاد؛ المنطق الذي يقضي بأنك إما تكون حيَّاً أو ميتاً وليس الأمرين معاً. لكنّ هذا الموقف ليس عاديَّاً. أهم ما في الأمر أن هذين المنظورين المتباينين تبايناً شاسعاً من المستحيل أن يتقابلا مطلقاً. فلا يمكنك الخروج من الثقب الأسود كي تثبت للراصد البعيد أنك مازلت حيَّاً. وكذلك يتبين أن من المستحيل للراصد البعيد أن يهرع نحو الثقب الأسود كي يريك الأدلّة الدامغة على أنك لست كذلك. فعندما قلتُ إنّ الراصد البعيد «يراك» وأنت تهلك بفعل إشعاع هوكينج الصادر عن الثقب الأسود، كانَ هذا إفراطاً في التبسيط. فالراصد البعيد، عن طريق دراسة الإشعاع المنهك الذي يصل إليه، يستطيع بناء القصة الخاصة بمصيرك المشؤوم. لكنّ كي تصل المعلومات إليه فإنها تحتاج إلى وقت. وتبيَّن الحسابات الرياضية أنّه حين يخلص الراصد إلى أنك قد احترقت، فلن يمتلك ما يكفي من الوقت كي يسارع بالذهاب إلى الثقب الأسود بحيث يُلحق بك قبل أن تدمرك نقطة التفرد. فالمنظورات قد تتباين، لكنّ الفيزياء تضمن عدم وقوع أي تناقضات منطقية.

ماذا عن المعلومات؟ من منظورك، كل المعلومات المخزنة في جسدك ودماغك وفي الحاسب المحمول

الذي معك، كلها تجتاز أفق حدث الثقب الأسود. ومن منظور الراصد البعيد فإن كل المعلومات تمتصها طبقة الإشعاع المستعرة فوق أفق الحدث مباشرة. فالبِتات التي يحويها جسدك ودماغك وحاسبك المحمول ستظل محفوظة لكنّها ستتبعثر حين تصطدم بأفق الحدث الساخن وتتحد معه. وهذا يعني أن من منظور الراصد البعيد يعد أفق الحدث مكانا حقيقيا، تشغله أشياء حقيقيَّاً تمنح تجسيداً فيزيائياً للمعلومات المعبر عنها رمزيَّاً في لوحة الشطرنج المبينة في الشكل 9-2.

النتيجة النهائية هي أن الراصد البعيد - نحن - يخلص إلى أن إنتروبيا الثقب الأسود تتحدد بواسطة مساحة الأفق؛ لأن الأفق هو المكان الذي تُخَزَّن الإنتروبيا فيه. يبدو الأمر، حين نعبر عنه بهذه الصورة، معقولاً للغاية. لكنّ مع ذَلكَ لاحظ كيف أنّه من غير المتوقَّع ألاّ تتحدد سعة التخزين من خلال حجم الثقب الأسود. وكما سنرى الآن فإن هذه النتيجة لا تُبرِز وحسب سمة مميزة للثقوب السوداء. فالثقوب السوداء تعرفنا بشأن عملية تخزين المعلومات في أي سياق. وهذا يمهد الطريق نحو المنظور الهولوجرافي.

تدبر جسماً، أو مجموعة من الأجسام - محتويات مكتبة الكونجرس مثلاً، أو حاسبات جوجل، أو أرشيفات وكالة الاستخبارات المركزية - موضوعة داخل منطقة من الفضاء. وعلى سبيل التيسير تخيَّل أننا سنميز هذه المنطقة عن طريق إحاطتها بكرة تخيلية، كما هو موضح في الشكل 9-3أ. افترض بعد ذَلكَ أن الكتلة الإجمالية للأجسام، مقارنة بالحيز الذي تملاه، لها قيمة صغيرة للغاية لا تقترب ولو من بعيد من القدر المطلوب لتكوين ثقب أسود. هذا هو الموقف المبدئي. والآن لنواجه السؤال المحوري التالي: ما مقدار المعلومات الأقصى الذي يمكننا تخزينه في هذه المنطقة من الفضاء؟



شكل 9-3: (أ) مجموعة من الأجسام التي تحوي معلومات، موضوعة داخل منطقة محددة جيدا من الفضاء. (ب) نعزز قدرة المنطقة على تخزين المعلومات. (ج) حين يتجاوز مقدار المادة عتبة معينة (يمكن حساب قيمتها من خلال النسبية العامة[146])، تصير المنطقة ثقباً أسود.

يقدم لنا كل من القانون الثاني للديناميكا الحرارية والثقوب السوداء، هذين الطرفين غير المتوقعين، الإجابة. تخيل أنك أضفت مزيداً من المادة إلى المنطقة، بهدف تعزيز قدرتها على تخزين المعلومات. ربما تدخل رقاقة ذاكرة عالية القدرة أو أقراص صلبة ذات سعة ضخمة في بنك حاسبات جوجل، وربما تضع مزيداً من الكتب أو أجهزة كيندل العامرة بالكتب كي تثري المجموعة التي تحويها مكتبة الكونجرس. بما أن كل شيء يحمل معلومات، بما في ذَلكَ المادة الخام نفسها، - هل جزيئات البخار في هذا الموضع أم ذاك؟ وهل تتحرك بهذه السرعة أم تلك؟ - فبإمكانك أيضاً أن تزود كل ركن من أركان المنطقة بأكبر قدر ممكن من المادة. سيستمر هذا حتّى الوصول إلى نقطة حرجة. ففي نقطة ما، ستكون المنطقة مشبعة بالكامل لدرجة أنك لو جربت إضافة ولو حبة رمل واحدة، فإن الحيز الداخلي لها سيظلم وتتحول المنطقة إلى ثقب أسود. وحين يحدث ذَلكَ، ستكون اللعبة قد انتهت. يتحدد حجم الثقب الأسود عن طريق كتلته، لذا لو أنك حاولت زيادة قدرة تخزين المعلومات عن طريق إضافة المزيد من المادة، فستتمثل استجابة الثقب الأسود في أن حجمه سيصير أكبر. وبما أننا نريد التركيز على المعلومات التي يمكنها أن توجد داخل أي حيز ثابت من الفضاء، فإن هذه النتيجة ستتعارض مع الوضع الأساسي الذي بدأنا به. فأنت عاجز عن زيادة السعة المعلوماتية للثقب الأسود من دون أن تجبر الثقب على أن يصير أكبر حجما[147].

ثمة ملحوظتان تكملان هذا المثال. فالقانون الثاني للديناميكا الحرارية يضمن أن الإنتروبيا تزداد خلال هذه العملية برمتها، ومن ثمّ فإن المعلومات الخفية المخزنة داخل أقراص الحاسب وأجهزة كيندل والكتب الورقية عتيقة الطراز، وكل شيء آخر وضعته في المنطقة، أقل من المعلومات الخفية الموجودة في الثقب الأسود. ومن واقع النتائج التي توصل إليها بيكنشتاين وهوكينج بتنا نعرف أن محتوى الثقب الأسود من المعلومات الخفية يتحدد عن طريق مساحة أفق الحدث الخاص به. علاوة على ذَلكَ نظرًا لأنك كنت حريصًا على عدم إغراق المنطقة الأصلية من الفضاء بالمعلومات، فإن أفق حدث الثقب الأسود يتوافق مع حدود هذه المنطقة، ومن ثمّ فإن إنتروبيا الثقب الأسود تساوي مساحة هذه المنطقة المحيطة. وهذا يعلمنا درسًا مهمًّا: أن مقدار المعلومات الموجود داخل منطقة ما من الفضاء، والمخزن داخل أي جسم من أي تصميم، يكون دائمًا أقل من مساحة السطح المحيط بهذه المنطقة (والمقيس بوحدات بلانك المربعة).

هذه هي النتيجة التي كنا نسعى وراءها. لاحظ أنّه رغم أن الثقوب السوداء تلعب دورًا محوريًّا في هذا

التفكير، فإن التحليل ينطبق على أي منطقة من الفضاء، سواء أكانت تحوي ثقبًا أسود أم لا. فإذا زدت سعة التخزين الخاصة بأي منطقة إلى حدها الأقصى، فستخلق ثقبًا أسود، لكن ما دمت باقيًا أسفل هذا الحد فلن يتشكل أي ثقب أسود.

عليَّ أن أسارع بإضافة أن من الناحية العملية، لا ينبغي أن يثير حد تخزين المعلومات قلقنا على الإطلاق. فبالمقارنة بأجهزة تخزين المعلومات البدائية التي لدينا اليوم، تتسم السعة التخزينية المحتملة لسطح أي منطقة مكانية بأنها هائلة الحجم. إنّ كومة من خمسة أقراص تخزين عادية سعة القرص منها تيرابايت واحد يمكن أن تستقر داخل كرة نصف قطرها خمسون سنتيمترًا، وسطحها مغطى بنحو 10^{70} خلايا بلانك. وبهذا فإن القدرة التخزينية لها تساوي 10^{70} بِتًا، وهذا يساوي مليار تريليون تريليون تريليو تريليون تيرابايت، ومن ثمّ فإنه يتجاوز أي شيء يمكنك شراؤه. ولا أحد في وادي السيليكون يكترث لمثل هذه القيود النظرية.

ومع ذَلكَ، وكوسيلة إرشادية لمعرفة الكيفية التي يعمل بها الكون، فإن القيود التخزينية تخبرنا الكثير. فكر في أي منطقة من الفضاء، كالغرفة التي أكتب فيها هذه الكلمات أو التي تقرأ أنت فيها، وتبنَّى منظور ويلر وتصور أن كل ما يحدث داخل المنطقة هو من قبيل معالجة المعلومات؛ فالمعلومات المتعلقة بالكيفية التي عليها الأشياء الآن تتغير بفعل قوانين الفيزياء إلى معلومات متعلقة بالكيفية التي ستكون الأشياء عليها بعد مرور ثانية أو دقيقة أو ساعة من الآن. وبما أن العمليات الفيزيائية التي نشهدها، علاوة على تلك التي تحكمنا، تحدث في الظاهر داخل منطقة مكانية، فمن الطبيعي أن نتوقع أن المعلومات التي تحملها هذه العمليات موجودة بالمثل داخل منطقة مكانية. غير أن النتائج التي توصلنا إليها تقترح وجهة نظر بديلة. ففي حالة الثقوب السوداء وجدنا أن الرابط بين المعلومات ومساحة السطح يتجاوز عملية الإحصاء العددي وحسب؛ إذ تُخزَّن المعلومات على سطوح هذه الثقوب بمعنى ملموس. وقدْ شدد سَكيند وتي هوفت على أن هذا الدرس من المفترض أن يكون عامًّا: فبما أن المعلومات المطلوبة لوصف الظواهر الفيزيائية داخل أي منطقة من الفضاء يمكن تشفيرها بالكامل بواسطة البيانات الموجودة على السطح المحيط بالمنطقة، ثمة سبب يدعونا إلى التفكير في أن هذا السطح هو الموضع الذي تحدث فيه العمليات الفيزيائية الأساسية حقًّا. ومن ثمّ يرى هذان المفكران الجريئان أن واقعنا المألوف ثلاثي الأبعاد يمكن تشبيهه بإسقاط هولوجرافي لتلك العمليات الفيزيائية البعيدة ثنائية الأبعاد.

لو صحت هذه الفكرة فإن ثمة عمليات فيزيائية تحدث على سطح بعيد ما ترتبط ارتباطًا كاملًا بالعمليات التي تحدث في أصابعي وذراعيَّ ودماغي بينما أكتب هذه الكلمات وأنا جالس على مكتبي، وكأن هذه العمليات البعيدة هي محرِّك الدمى الذي يجذب الخيوط. ومن شأن خبراتنا التي نمر بها هنا، وكذلك الواقع البعيد الموجود هناك، أن يشكلا أكثر العوالم الموازية ارتباطًا. وستكون الظواهر التي تقع في العالمين - سأسميهما الكونان الموازيان الهولوجرافيان - مترابطة تمامًا، لدرجة أن تطور كل عالم من العالمين سيكون ملازمًا لتطور الآخر، مثلما يلازمني ظلي.

بضعة محاذير

إنّ احتمالية كون واقعنا محض انعكاس لظواهر تحدث على سطح بعيد ذي أبعاد أقل، أو حتّى نتاج لها، ربما تعد أحد أقل التطورات توقعًا في الفيزياء النظرية كلها. لكن إلى أي مدى ينبغي لنا أن نكون واثقين في صحة المبدأ الهولوجرافي؟ إننا نخوض غمار عالم نظري عميق، ونعتمد حصريًا على تطورات لم تُختَبر تجريبيًا بعد، لذا من المؤكد أنّه توكد مساحة للتشكك، ومن الممكن أن تحيد الحجة عن مسارها في مواضع متعددة. فهل تمتلك الثقوب السوداء حقًّا إنتروبيا غير صفرية ودرجة حرارة غير صفرية، وإذا كانَ الحال كذلك فهل تتفق القيم مع التنبؤات النظرية؟ هل السعة المعلوماتية لأي منطقة من الفضاء تتحدد حقًّا بواسطة مقدار المعلومات التي يمكن تخزينها على السطح المحيط بها؟ وعلى هذا السطح، هل الحد الأقصى هو بت واحد لكل مساحة بحجم بلانك؟ نعتقد أن إجابة كل سؤال من هذه الأسئلة هي نعم، وذلك بفضل الصرح النظري المنطقي المتسق المشيَّد بحرص، والذي تتناغم فيه هذه النتائج على نحو مثالي. لكن نظرًا لعدم خضوع أي فكرة من هذه الأفكار للاختبار، فمن الممكن تمامًا (وإن كانَ من المستبعد في نظري) أن تقنعنا التطورات المستقبلية بأن واحدة أو أكثر من هذه الخطوات الوسيطة الأساسية خاطئة. وهذا من شأنه أن يطيح بفكرة المبدأ الهولوجرافي تمامًا.

ثمة نقطة أخرى مهمة وهي أنّه في أثناء مناقشتنا كلها كنا نتحدث عن منطقة من الفضاء، وعن السطح المحيط بها، وعن محتوى المعلومات في كل منهما. لكن نظرًا لأن تركيزنا كانَ منصبًّا على الإنتروبيا وعلى القانون الثاني للديناميكا الحرارية - وكلاهما معني أساسًا بكمية المعلومات داخل أي سياق - فإننا لم نستفض في بيان الكيفية التي تُجَسَّد بها المعلومات أو تُخَزَّن فيزيائيًّا. فعندما نتحدث عن المعلومات الموجودة على سطح كروي يحيط بمنطقة من الفضاء، ما الذي نعنيه بهذا حقًّا؟ كيف تجسد المعلومات نفسها؟ وأي شكل تتخذ؟ وإلى أي مدى يمكننا بناء قاموس واضح يترجم الظواهر التي تقع على ذَلكَ تخوم هذه المنطقة إلى تلك التي تحدث في النطاق الداخلي لها؟

لم يضع الفيزيائيون بعد إطارًا مفاهيميًّا عامًّا لمجابهة هذه الأسئلة. وفي ضوء أن الجاذبية وميكانيكا الكم كلتاهما محوريتين لهذا التفكير، فربما تتوقع أن من شأن نظرية الأوتار أن تقدم سياقًا فعالًا لهذه الاستكشافات النظرية. لكن حين صاغ تي هوفت المبدأ الهولوجرافي للمرة الأولى فقد شك في أن بمقدور نظرية الأوتار المساهمة في هذا الموضوع، وقال: «الطبيعة على نطاق بلانك أكثر جنونًا بكثير مما يستطيع تخيله باحثي نظرية الأوتار أنفسهم»[148] لكن بعد أقل من عقد أثبتت نظرية الأوتار خطأ هذا الرأي. وفي ورقة بحثية فارقة، أظهر باحث شاب أن نظرية الأوتار تقدم تجسيدًا جليًّا للمبدأ الهولوجرافي.

نظرية الأوتار والمبدأ الهولوجرافي

حين دُعيتُ إلى الصعود على المنصة في جامعة كاليفورنيا بسانتا باربرا كي ألقي كلمتي في المؤتمر السنوي الدولي لنظرية الأوتار في عام 1998، فعلتُ شيئًا لم أفعله من قبل قطّ، وأشك أنني قد أفعله مجددًا؛ إذ نظرت شطر الحضور، ثمّ وضعت يدي اليمني على كتفي الأيسر ويدي اليسرى على كتفي الأيمن، ثمّ أنزلتهما بالتتابع نحو وسطي، ثمّ قفزت في مكاني ودرت بجسدي ربع دورة، وتبع هذا ضحك الحضور لحسن حظي، وبهذه الصورة قطعت الخطوات الثلاث التي تفصلني عن المنصة، حيث بدأت الحديث. لقد فهم الحضور الدعابة. ففي وليمة أقيمت اليوم السابق شارك الحضور في أغنية راقصة – بقدر ما يستطيع الفيزيائيون - احتفالًا بنتيجة مذهلة توصل إليها باحث نظرية الأوتار الأرجنتيني خوان مالداسينا. وبكلمات على غرار: «كانت الثقوب السوداء في الماضي لغزًا / لكننا الآن نستخدم الأغشية كي نحسب الإنتروبيا» غنى المشاركون هذه الكلمات الآتية من عالم نظرية الأوتار على أنغام أغنية راقصة شهيرة للغاية في التسعينات هي أغنية «ماكارينا»؛ وهي نسخة أكثر حميمية من تلك التي غناها آل جور في المؤتمر الوطني للحزب الديمقراطي، وأقل سلاسة من أغنية لوس ديل ريو الأصلية ذات النجاح الساحق، وإن كانت لا تقل عنها حماسًا. كنت أحد القليلين بالمؤتمر الذين لم يتركز حديثهم حول إنجاز مالداسينا الكبير، لذا حين اعتليت المنصة في الصباح التالي شعرت أنّه من الملائم أن استهل كلمتي بلفتة العرفان الشخصية هذه.

والآن، بعد أكثر من عقد، يتفق الكثيرون على أنّه لم يتحقق في نظرية الأوتار منذئذٍ أي إنجاز بنفس الضخامة والتأثير. وتتصل إحدى النتائج العديدة لعمل مالداسينا اتصالًا مباشرًا بموضوع حديثنا. ففي بيئة افتراضية معينة، جسدت نتيجة مالداسينا المبدأ الهولوجرافي تجسيدًا واضحًا، وبهذا قدمت أولى الأمثلة الرياضية على وجود أكوان موازية هولوجرافية. وقدْ حقّق مالداسينا هذا عن طريق دراسة نظرية الأوتار داخل كون يختلف شكله عن كوننا لكنه أيسر في التحليل بما يتوافق مع هدفنا. وبمعنى رياضي دقيق، يحيط بهذا الشكل حد خارجي، سطح غير قابل للاختراق يحيط تمامًا به. وعن طريق التركيز على هذا السطح، أثبت مالداسينا على نحو مُقنِع أن كل شيء يحدث داخل هذا الكون المحدد ما هو إلا انعكاس للقوانين والعمليات التي تقع على الحد الخارجي.

رغم أن طريقة مالداسينا قد لا تبدو قابلة للتطبيق مباشرة على كون لهُ شكل كوننا، فإن النتائج حاسمة لأنها وضعت أساسًا رياضيًّا يمكن وفقه التعبير على نحو جلي عن الأفكار المتعلقة بالأكوان الهولوجرافية ودراستها كميًّا. وقدْ حظيت نتائج هذه الدراسات بدعم كثير من الفيزيائيين الذين كانوا ينظرون في السابق إلى المبدأ الهولوجرافي بكثير من الريبة، وبهذا دشنت وابلًا من الأبحاث التي أنتجت آلاف المقالات وعمَّقَت فهمنا كثيرًا. وأهم ما في الأمر أنّه باتت لدينا الآن أدلة على إمكانية بناء رابط بين هذه الرؤى النظرية والعمليات الفيزيائية التي تحدث في كوننا. وفي السنوات القليلة المقبلة ربما يمكننا ذَلكَ الرابط من اختبار أفكار المبدأ الهولوجرافي اختبارًا تجريبيًا.

سأخصص الجزء المتبقي من هذا القسم، علاوة على القسم الذي يليه، لبيان الكيفية التي حقق بها مالداسينا إنجازه هذا، والمادة المعروضة هنا هي الأكثر صعوبة في ما سنتناوله. سأبدأ بتقديم ملخص قصير، نسخة مبسطة تعفي القارئ من الشعور بالذنب لو أنّه وجد أن التفاصيل المعروضة تفوق قدرته على الاستيعاب ومن ثمّ قرر القفز مباشرة إلى القسم الأخير.

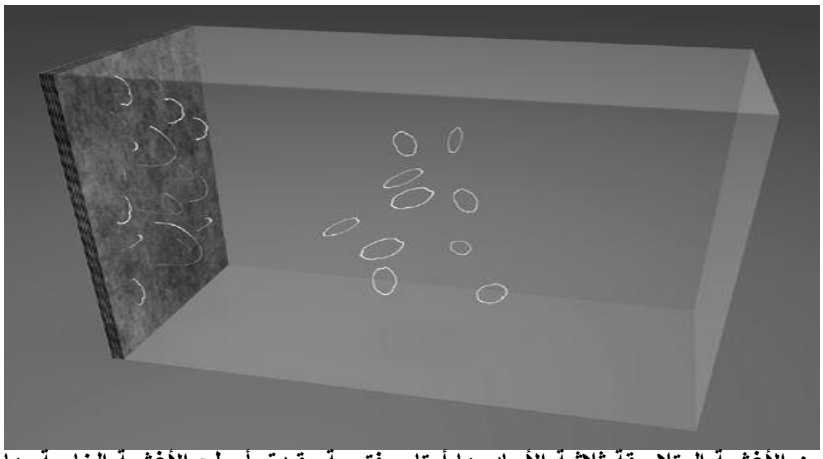
تمثلت فكرة مالداسينا الملهمة في اللجوء إلى نسخة جديدة من حجة الثنائية التي تعرضنا لها بالنقاش في الفصل الخامس. كما تذكر فإننا عرضنا مفهوم الأغشية - «شرائح الخبز» الكونية - في ذَلكَ الفصل. وقدْ

تدبر مالداسينا، من منظورين متكاملين، خصائص مجموعة متلاصقة من الأغشية ثلاثية الأبعاد، على النحو المبين في الشكل 9-4. أحد المنظورين هو منظور «داخلي»، يركز على الأوتار التي تتحرك وتهتز وتتلوى على امتداد الأغشية ذاتها. أما المنظور الآخر فهو منظور «خارجي»، يركز على الكيفية التي تؤثر بها الأوتار على البيئة المحيطة من منظور الجاذبية، تمامًا كما تؤثر الشمس والأرض على البيئة المحيطة بكل منهما. وقدْ ذهب مالداسينا إلى أن كلا المنظورين يصف الموقف الفيزيائي عينه، لكن من وجهتي نظر متباينتين. يتضمن المنظور الداخلي تحرُّك الأوتار عبر حزمة الأغشية، بينما يتضمن المنظور الخارجي تحرُّك الأوتار عبر منطقةٍ من الزمكان المنحني تحيط بها حزمة الأغشية. وعن طريق المساواة بين المنظورين وجد مالداسينا رابطًا واضحًا بين العمليات الفيزيائية التي تحدث في منطقة ما وبين العمليات الفيزيائية التي تحدث على الحد المحيط بهذه المنطقة، وبذا عثر على تجسيد واضح لمبدأ الهولوجرافية. هذه هي الفكرة الأساسية.

<u>والآن سنستعرض الفكرة بمزيد من التفصيل.</u>

يدعونا مالداسينا إلى أن نتدبر مجموعة من الأغشية ثلاثية الأبعاد المتلاصقة التي تبدو وكأنها لوح سميك واحد - كما في الشكل 9-4- وأن ندرس سلوك الأوتار التي تتحرك في هذه البيئة. كما تذكر فإن هناك نوعين من الأوتار – الأوتار المفتوحة والأوتار المغلقة - وأن أطراف الأوتار المفتوحة يمكنها التحرك داخل الأغشية ولكن لا يمكنها الانتقال بين الأغشية، بينما الأوتار المغلقة ليس لها أطراف ومن ثمّ يمكنها التحرك في حرية في أرجاء الحيز المكاني الممتد كله. وبلغة هذا المجال نقول إنّ الأوتار المفتوحة مقيدة بالأغشية، بينما الأوتار المغلقة بوسعها التحرك في أرجاء الحيز المكاني كله.

تمثلت خطوة مالداسينا الأولى في حصر تركيزه الرياضي على الأوتار ذات الطاقة المنخفضة؛ أي تلك التي تهتز ببطء نسبيًّا. سبب هذا هو أن قوة الجاذبية بين أي جسمين تتناسب طرديًّا مع كتلة كل جسم منهما، والأمر عينه ينطبق على قوة الجاذبية بين أي وترين إنّ الأوتار ذات الطاقة المنخفضة لها كتل صغيرة، ومن ثمّ فإنها لا تستجيب للجاذبية على الإطلاق تقريبًا. وعن طريق التركيز على الأوتار ذات الطاقة المنخفضة، تمكن مالداسينا من تحييد تأثير الجاذبية، وهذا أدى إلى تبسيط الأمور كثيرًا. في نظرية الأوتار، كما رأينا (في الفصل الخامس)، فإن الجاذبية تنتقل من مكان إلى آخر بواسطة حلقات الأوتار المغلقة. ومن ثمّ فإن تحييد قوة الجاذبية كانَ معادلًا لتحييد تأثير الأوتار المغلقة على أي شيء قد تواجهه؛ وتحديدًا الأوتار المفتوحة الموجودة على حزمة الأغشية. وعن طريق التأكد من أن نوعي الأوتار، القطع المفتوحة والحلقات المغلقة، لن يؤثر أحدهما على الآخر، ضمن مالداسينا بهذا أن بالإمكان تحليلهما على نحو منفصل.



شكل 9-4: مجموعة من الأغشية المتلاصقة ثلاثية الأبعاد بها أوتار مفتوحة مقيدة بأسطح الأغشية الخاصة بها، وأوتار مغلقة تتحرك في أرجاء «الحيز الداخلي».

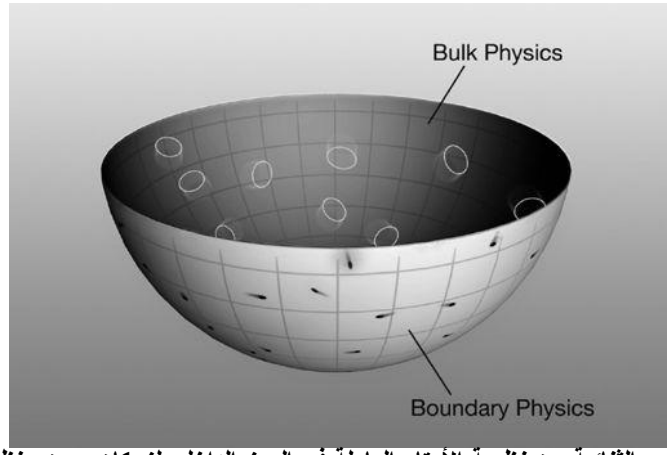
بعد ذَلكَ غير مالداسينا تركيزه واقترح التفكير في الموقف ذاته لكن من منظور مختلف. فبدلًا من معاملة الأغشية ثلاثية الأبعاد بوصفها ركيزة تدعم حركة الأوتار المفتوحة، شجعنا على النظر إليه بوصفها جسمًا واحدًا، لهُ كتلته الذاتية ومن ثمّ يسبب انحناء المكان والزمن في المنطقة المحيطة به. ولحسن حظ مالداسينا فإن الأبحاث السابقة التي أجراها عدد من الفيزيائيين قد وضعت حجر الأساس لهذا المنظور البديل. فقد أثبتت الأبحاث السابقة أنك حين تضع المزيد والمزيد من الأغشية على نحو متلاصق معًا، فإن مجال جاذبيتها الإجمالي سيصير أقوى وأقوى. وفي النهاية ستسلك حزمة الأغشية سلوك الثقب الأسود، غير أنّه ثقب على شكل غشاء، ومن ثمّ يُسمى «الغشاء الأسود». وكما في حالة الثقب الأسود العادي فإذا اقتربت من الغشاء الأسود ستعجز عن الإفلات. كذلك، كما في حالة الثقب الأسود العادي مجددًا، لو ظللت بعيدا عنه لكنك رصدت شيئًا وهو يقترب من الغشاء الأسود، فإن الضوء الذي ستتلقاه سيكون منها لأنه تعيّن عليه أن يصارع جاذبية الغشاء الأسود. من شأن هذا أن يجعل الجسم يبدو وكأن طاقته تتناقص مع الوقت وأن تصير حركته أبطأ وأبطأ[149].

انطلاقًا من هذا المنظور الثاني، ركز مالداسينا مجددًا على السمات منخفضة الطاقة لكون يحتوي على مثل هذه الحزمة السوداء. وكما فعل عندَ العمل انطلاقًا من المنظور الأول، فقد أدرك أن العمليات الفيزيائية منخفضة الطاقة تتضمن مكونين يمكن تحليلهما على نحو منفصل. فالأوتار المغلقة ذات الاهتزاز البطيء، التي تتحرك في أي مكان داخل الحيز الداخلي للحزمة، هي الحاملات الأكثر وضوحًا ذات الطاقة المنخفضة. أما المكون الثاني فيعتمد على وجود غشاء أسود. تخيل أنك بعيد عن الغشاء الأسود وأن لديك وترًا مغلقًا يهتز بمقدار اعتباطي كبير من الطاقة. بعد ذَلكَ تخيل أنك أنزلت هذا الوتر نحو أفق الحدث بينما تقف أنت على مسافة آمنة. كما تذكر مما سبق فإن الغشاء الأسود سيجعل طاقة الوتر تبدو أقل مما هي عليه، والضوء الذي سيصلك سيجعل الوتر يبدو وكأنه يتحرك حركة بطيئة. ومن ثمّ تكون حاملات الطاقة المنخفضة الثانية هي الأوتار المهتزة القريبة بما يكفي من أفق حدث الغشاء الأسود.

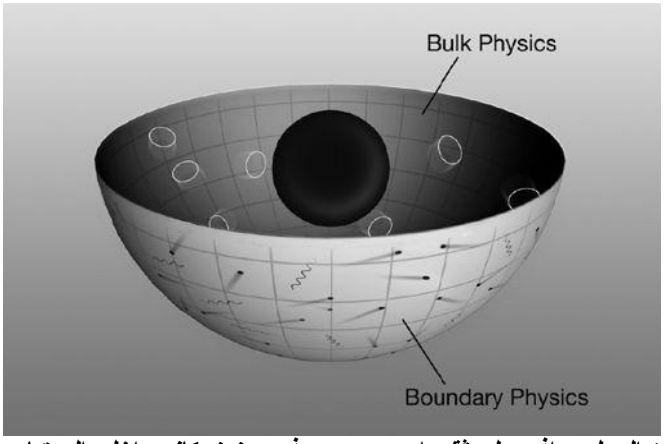
تمثلت حركة مالداسينا الأخيرة في المقارنة بين المنظورين. وقدْ ذكر أنّه بما أن كلا المنظورين يصفان حزمة الأغشية ذاتها، ويختلفان فقط في كيفية النظر إلى الأمر، فمن الحتمي أن يتفقان. فكل وصف يتضمن أوتارًا مغلقة منخفضة الطاقة تتحرك عبر الحيز المكاني داخلي، لذا فإن هذا الجزء من الاتفاق

يتجسد بوضوح. لكن من الحتمي كذلك أن يتفق الجزء المتبقي من الوصف.
وهذا هو الأمر المذهل حقًا.
إنّ الجزء المتبقي من الوصف الأول يتكون من أوتار مفتوحة منخفضة الطاقة موجودة على أغشية ثلاثية الأبعاد. وكما نذكر من الفصل الرابع فإن الأوتار ذات الطاقة المنخفضة موصوفة جيدًا من خلال نظرية المجال الكمي للجسيمات النقطية، وهذا هو الحال هنا. هذا النوع الخاص من نظرية المجال الكمي يتضمن عددًا من المكونات الرياضية المعقدة (ولها تسمية تفتقر إلى السلاسة هي: نظرية المجال الكمي المعيارية فائقة التناظر ثابتة الزوايا)، غير أن لهُ سمتين أساسيتين مفهومتين جيدًا. فغياب الأوتار المغلقة يضمن غياب مجال الجاذبية. وبما أن الأوتار يمكن أن تتحرك فقط على الأغشية ثلاثية الأبعاد المتلاصقة، فإن نظرية المجال الكمي توجد في ثلاثة أبعاد مكانية (علاوة على بُعد الزمن الإضافي، بحيث يكون المجموع أربعة أبعاد زمكانية).
يتكون الجزء المتبقي من الوصف الثاني من الأوتار المغلقة، التي تؤدي أي نمط اهتزازي، ما دامت قريبة بما يكفي من أفق حدث الغشاء الأسود بحيث تبدو بطيئة الحركة؛ أي تبدو وكأنها ذات طاقة منخفضة. هذه الأوتار، رغم أن مدى ابتعادها عن الغشاء الأسود محدود، لا تزال تهتز وتتحرك في تسعة أبعاد مكانية (علاوة على بُعد زمني إضافي، بحيث يكون المجموع عشرة أبعاد زمكانية). وبما أن هذا القطاع مبني من أوتار مغلقة، فهو يحتوي على قوة الجاذبية.
رغم ما قد يبدو عليه المنظوران من اختلاف، فإنهما يصفان الموقف الفيزيائي عينه، ومن ثمّ فهما يتفقان. وهذا يؤدي إلى نتيجة شديدة الغرابة؛ فنجد أن نظرية مجال كمي غير جذبوية وخاصة بالجسيمات النقطية تعمل في أربعة أبعاد زمكانية (المنظور الأول) تصف العمليات الفيزيائية ذاتها التي تصفها الأوتار، بما في ذَلِكَ الجاذبية، التي تتحرك عبر رقعة من عشرة أبعاد زمكانية (المنظور الثاني). قد يبدو هذا زعمًا بعيد الاحتمال مثل الزعم بأن... حسنًا، لقد حاولت بأمانة لكني عجزت عن التفكير في أي شيئين في العالم الفعلي يتسمان بالاختلاف في ما بينهما مثل هاتين النظريتين. غير أن مالداسينا اتبع الحسابات الرياضية، بالطريقة التي أوضحناها، وتوصل مباشرة إلى هذه النتيجة.
إنّ الغرابة الشديدة لهذه النتيجة - وجسارة الزعم المقدم - لا تقلل منها حقيقة أن الأمر لا يستغرق منا إلا لحظة واحدة كي نضعهما داخل السياق الفكري المقدم في مستهل هذا الفصل. وكما يوضح الشكل 9-5 على نحو مبسط فإن جاذبية الغشاء الأسود تسبب انحناء الزمكان رباعي الأبعاد في الرقعة المحيطة بها (التفاصيل الخاصة بذلك ثانوية لكن الزمكان المنحني يطلق عليه «فضاء دي سيتر المضاد خماسي الزمكان خماسي الكرات»)، وحزمة الغشاء الأسود نفسها تقع داخل حدود هذا الفضاء، وهكذا تتمثل النتيجة التي خلص إليها مالداسينا في أن نظرية الأوتار الخاصة بهذا الحيز الزمكاني الداخلي مطابقة تمامًا لنظرية المجال الكمي الموجودة على حدِّه الخارجي[150].
وهذا تجسيد حي للمبدأ الهولوجرافي.
لقد شيد مالداسينا مختبرًا رياضيًّا مستقلًا يستطيع فيه الفيزيائيون أن يستكشفوا على نحو تفصيلي ملموس التجسيد الهولوجرافي للقوانين الفيزيائية، علاوة على أمور أخرى. وفي غضون أشهر قلائل منحتنا ورقتان بحثيتان، واحدة من جانب إدوارد ويتن والثانية من جانب ستيفن جوبسر وإيجور كليبانوف وألكسندر بولياكوف، المستوى التالي من الفهم. فقد وضع هؤلاء قاموسًا رياضيًّا دقيقًا للترجمة بين المنظورين: ففي حالة أي عملية فيزيائية تجري على الحد الخارجي للغشاء، بيَّنَ القاموس كيف من شأنها أن تبدو في الحيز الداخلي، والعكس بالعكس. في كون افتراضي، إذاً، يتيح هذا القاموس تجسيد المبدأ الهولوجرافي بوضوح. فعلى حد هذا الكون، تتجسّد المعلومات بواسطة المجالات الكمية، وعند ترجمة

المعلومات بواسطة القاموس الرياضي فإنها تسرد قصة الظواهر الوترية التي تحدث في الحيز الداخلي لهذا الكون.



شكل 9-5: توضيح مبسط لمفهوم الثنائية بين نظرية الأوتار العاملة في الحيز الداخلي لزمكان معين ونظرية المجال الكمي العاملة على حد ذلكَ الزمكان.



شكل 9-6: يؤدي تطبيق التكافؤ الهولوجرافي علي ثقب اسود موجود في حيز زمكاني داخلي الي تيار ساخن من الجسيمات والاشعاع علي الحد الخارجي لتلك المنطقة.

إنّ القاموس نفسه يجعل التشبيه بالصورة الهولوجرامية مناسبًا لأقصى حد. إنّ الصورة الهولوجرامية لا تحمل أدني شبه بالصورة ثلاثية الأبعاد التي تنتجها. فعلى سطح الصورة الهولوجرامية تظهر فقط خطوط متعددة، وأقواس، ودوائر محفورة على سطح بلاستيكي. ومع ذلكَ يحدث تحول معقد نتيجة تسليط شعاع من الليزر على السطح البلاستيكي، وهذا يحول تلك العلامات إلى صورة ثلاثية الأبعاد مألوفة. وهذا يعني أن الصورة الهولوجرامية البلاستيكية والصورة ثلاثية الأبعاد تجسدان البيانات ذاتها، رغم أن المعلومات الموجودة على إحداهما لا يمكن التعرف عليها من منظور الأخرى. وبالمثل، تبين دراسة نظرية المجال الكمي على الحد الخارجي لكون مالداسينا أنها لا تحمل أي شبه واضح بنظرية الأوتار التي توجد في الحيز الداخلي لهذا الكون. ولو عُرضت كلتا النظريتين أمام أحد الفيزيائيين، ولم يُخْبَر بشأن العلاقات التي أوضحناها هنا، فمن المرجح أَن يخلص هذا الفيزيائي إلى أنّه لا توجد علاقة بينهما. ومع ذَلكَ فإن القاموس الرياضي الذي يربط بين الاثنين - ويعمل عمل شعاع الليزر في حالة الصور الهولوجرامية الطبيعية - يوضح بجلاء أن أي شيء يقع في أحد النطاقين يتجسد بالمثل في النطاق الآخر. وفي الوقت عينه فإن دراسة القاموس تكشف عن أن المعلومات الموجودة في كلا النطاقين تبدو مشوهة قبل ترجمتها إلى لغة النطاق الآخر، وذلك كما هو الحال في الصور الهولوجرامية الفعلية.

وفي مثال مثير للإعجاب على نحو خاص، بحث ويتن ما سيبدو عليه الثقب الأسود العادي في الحيز الداخلي لكون مالداسينا من منظور نظرية الحد الخارجي. تذكر أن نظرية الحد الخارجي لا تتضمن الجاذبية، ومن ثمّ فمن الضروري أن يُتَرجَم الثقب الأسود إلى شيء مختلف تمامًا عن شكله الطبيعي. وقدْ بينت نتائج ويتن أنّه مثلما أُنتِجَت صورة ساحر أوز المخيفة بواسطة رجل عادي، فإن الثقب الأسود الضاري هو الانعكاس الهولوجرافي لشيء عادي بالمثل: تيار من الجسيمات الساخنة في نظرية الحد الخارجي (الشكل 9-6). ومثل الهولوجرام والصورة التي يولدها فإن النظريتين - ثقب أسود في الحيز الداخلي ونظرية مجال كمي ساخن على الحد الخارجي - لا يوجد بينهما أي وجه للشبه، ومع ذَلكَ فهما تجسدان المعلومات ذاتها[151].

حسب صورة الكهف المجازية لأفلاطون فإن حواسنا قادرة فقط على الولوج إلى نسخة مسطحة مُختزلة من الواقع الحقيقي ذي التفاصيل الأكثر ثراءً. إنّ عالم مالداسينا المسطح مختلف تمامًا. فهو ليس مختزلًا على الإطلاق، بل إنه يحكي القصة كاملة. وهي قصة مختلفة اختلافًا عميقًا عن تلك التي اعتدناها. غير

أن هذا العالم المسطح قد يكون هو الراوي الرئيسي للحكاية.

إنّ النتيجة التي خلص إليها مالداسينا، والنتائج العديدة الأخرى التي انبثقت عنها في السنوات التي تلت ذَلكَ، تُعد تخمينية بالأساس. فبما أن الحسابات الرياضية شديدة الصعوبة، يظل من غير الممكن صياغة حجة دامغة. غير أن الأفكار الهولوجرافية خضعت لعدد كبير من الاختبارات الرياضية الصارمة، ونجحت فيها كلها، ومن ثمّ فقد صارت جزءًا من الفكر السائد بين الفيزيائيين الباحثين عن الجذور العميقة للقوانين الطبيعية.

يوضح أحد العوامل المساهمة في صعوبة الإثبات القاطع أن عالم الحد الخارجي ما هو إلا نسخة مُقَنَّعة من عالم الحيز الداخلي، والعكس بالعكس، كيف أن هذه النتيجة لو صحت فستكون لها أهمية شديدة. وصفتُ في الفصل الخامس كيف يعتمد الفيزيائيون كثيرًا على الأساليب التقريبية، أي الطرق الاضطرابية التي أوضحتها (كما تذكر من مثال اليانصيب الخاص برالف وأليس). أيضًا شددتُ على أن هذه الأساليب تكون صحيحة فقط لو كانَ ثابت الاقتران ذي الصلة صغيرًا. وعند تحليل العلاقة بين نظرية المجال الكمي على الحد الخارجي ونظرية الأوتار في الحيز الداخلي، أدرك مالداسينا أنّه حين يكون ثابت اقتران إحدى النظريتين صغيرًا، يكون ثابت النظرية الأخرى كبيرًا، والعكس بالعكس. ويتمثل الاختبار الطبيعي، الذي قد يثبت أن النظريتين متطابقتان على نحو مستتر حقًّا، في إجراء حسابات مستقلة في كل نظرية منهما، ثمّ البحث عن أوجه المساواة. لكن من الصعب عمل ذَلكَ، نظرًا لأن الأساليب الاضطرابية تنجح في إحداهما لكنّها تفشل في الأخرى[152].

ومع ذَلكَ لو أنك قبلت حجة مالداسينا الأكثر تجريدًا، كما هي موضحة في القسم السابق، فإن نقطة ضعف الأساليب الاضطرابية تصير نقطة قوة حسابية. وكما وجدنا في حالة الثنائية الوترية في الفصل الخامس فإن قاموس الحيز الداخلي-الحد الخارجي يترجم الحسابات الرهيبة، التي ينقلها رقم الاقتران الكبير، في أحد الإطارين المفاهيمين إلى حسابات بسيطة ومباشرة، ذات ثابت اقتران صغير، في الإطار الآخر. وفي السنوات الخيرة استُغِل هذا في تحقيق نتائج من الممكن اختبارها تجريبيًّا.

في مصادم الأيونات الثقيلة النسبوي في بروكهافن بنيويورك، تتصادم أنوية الذهب معًا بسرعات تقل قليلًا عن سرعة الضوء. وبما أن الأنوية تحوي بروتونات ونيوترونات، تتسبب هذه التصادمات في إحداث اضطراب هائل في الجسيمات يمكن أن تصل حرارته إلى أكثر من 200 ألف مرة قدر حرارة قلب الشمس. وهذه الحرارة تكفي لإذابة البروتونات والنيوترونات إلى سائل من الكواركات والجلونات العاملة بينها. وقدْ بذل الفيزيائيون جهدًا كبيرًا في محاولة فهم هذا الطور السائل، والمسمى «بلازما الكواركات والجلونات»، لأن من المرجح أن المادة اتخذت هذه الصورة بعد وقت قصير من الانفجار العظيم.

ويتمثل التحدي في أن نظرية المجال الكمي (الديناميكا اللونية الكمية التي تصف حساء الكواركات والجلونات الساخن تمتلك ثابت اقتران ذا قيمة كبيرة، ومن شأن ذَلكَ أن يهدد دقة الحسابات الاضطرابية. وقدْ طُوِّرَت أساليب بارعة من أجل تجاوز هذا العائق، لكن لا تزال الإجراءات التجريبية تتعارض مع بعض النتائج النظرية. على سبيل المثال، بينما يتدفق أي سائل - ماء أو مولاس أو بلازما الكواركات والجلونات - فإن كل طبقة من السائل تمارس قوة سحب على الطبقات الأخرى المتدفقة أعلى منها وأسفل. وقوة السحب هذه تعرف باسم «لزوجة القَصْ». وقدْ قامت تجارب أجريت في مصادم الأيونات الثقيلة النسبوي لزوجة القص الخاصة ببلازما الكواركات والجلونات، وكانت النتائج أصغر كثيرًا من تلك التي تنبأت بها حسابات نظرية المجال الكمي الاضطرابية.

إليك بطريقة ممكنة للمضي قُدمًا. عندَ تقديم المبدأ الهولوجرافي تمثل المنظور الذي تبنيتُه في تصوّر أن كل شيء نشعر به يقع داخل حيز الزمكان الداخلي، وكان الأمر غير المتوقع هو أن ثمة عمليات، هي صورة مطابقة لتلك التي نشعر بها، تحدث على الحد الخارجي البعيد لهذا الزمكان. دعنا نعكس هذا المنظور ونتخيل أن كوننا - أو على نحو أدق الكواركات والجلونات الموجودة في كوننا – موجود على الحد الخارجي، وهذا هو الموضع الذي تحدث فيه تجارب مصادم الأيونات الثقيلة النسبوي. والآن تدخل فكرة مالداسينا الصورة. تبين النتيجة التي توصل إليها أن تجارب مصادم الأيونات الثقيلة النسبوي (التي تصفها نظرية المجال الكمي) لها وصف رياضي بديل قائم على حركة الأوتار داخل الحيز الداخلي. التفاصيل معقدة لكن قوة العبارة واضحة في ذاتها: فالحسابات الصعبة في الوصف الخاص بالحد الخارجي (حيث يكون الاقتران كبيرًا) تُتَرجَم إلى حسابات أيسر في وصف الحيز الداخلي (حيث يكون الاقتران صغيرًا)[153].

أجرى بافل كوفتون وأندري ستارينتس ودام سون الحسابات الرياضية، وجاءت النتائج التي توصلوا إليها قريبة على نحو مدهش من البيانات التجريبية. وقدْ حفز هذا العمل الرائد جيشًا من الفيزيائيين النظريين على إجراء حسابات أخرى تتعلق بنظرية الأوتار في محاولة لمضاهاة مشاهدات مصادم الأيونات الثقيلة النسبوي، وبهذا يتحقق تفاعل قوي بين النظرية والتجارب؛ وهو أمر جديد و محل ترحاب من جانب باحثي نظرية الأوتار. ضع في حسبانك أن نظرية الحد الخارجي لا تعد نموذجا كاملًا لكوننا، لأنها مثلًا لا تتضمن قوة الجاذبية. غير أن هذا لا يخل بالاتفاق الحادث مع نتائج مصادم الأيونات الثقيلة النسبوي لأنه في تلك النتائج كانت الجسيمات ذات كتلة ضئيلة للغاية (حتّى عندَ التحرك بسرعة قريبة من سرعة الضوء) لدرجة أن قوة الجاذبية لا تلعب أي دور تقريبًا. غير أنها توضح أنّه في هذا التطبيق لا تُستخدَم نظرية الأوتار بوصفها «نظرية كل شيئ »، بل عوضًا عن ذَلكَ تقدم نظرية الأوتار أداة حسابية جديدة لتحطيم العقبات التي أعاقت الأساليب التقليدية. من منظور متحفظ نقول إنّ تحليل الكواركات والجلونات باستخدام نظرية أوتار ذات أبعاد أعلى يمكن أن يُنظَر إليه باعتباره حيلة حسابية قائمة على الأوتار. ومن منظور أقل تحفظًا نقول إنّ بمقدورنا تصوّر أن التوصيف الوتري ذي الأبعاد الأعلى حقيقي تمامًا من الناحية الفيزيائية، لكن بصورة غير مفهومة لنا بعد.

لكن مهما يكن المنظور الذي تتبناه، محافظ أم لا، فإن اتفاق النتائج النظرية مع المشاهدات التجريبية مثير للإعجاب للغاية. لا أميل عادة إلى المبالغة، غير أنني أرى أن هذه تعد من أكثر التطورات إثارة للاهتمام على مدار عقد. إنّ الحسابات الرياضية التي تستغل الأوتار المتحركة عبر زمكان معين ذي عشرة أبعاد تخبرنا بشيء عن الكواركات والجلونات الموجودة في زمكان رباعي الأبعاد، وهذا «الشيء» الذي تخبرنا به الحسابات يبدو أن التجارت تثبته بالمثل.

خاتمة: مستقبل نظرية الأوتار

إنّ التطورات التي ناقشناها في هذا الفصل تتجاوز نطاق تقييمات نظرية الأوتار. فبداية من تشديد ويلر على تحليل الكون من منظور المعلومات، إلى إدراك أن الإنتروبيا مقياس للمعلومات الخفية، إلى التوفيق بين القانون الثاني للديناميكا الحرارية والثقوب السوداء، إلى إدراك أن الثقوب السوداء تخزن الإنتروبيا على أسطحها، إلى فهم أن الثقوب السوداء تحدد القيمة القصوى للمعلومات التي يمكن أن تشغل أي منطقة من الفضاء، سرنا عبر طريق متعرج امتد لعقود عدة وغطينا شبكة معقدة من النتائج. لقد كانت الرحلة مليئة بالرؤى المذهلة، وقادتنا إلى فكرة موحدة جديدة؛ وهي المبدأ الهولوجرافي. وهذا المبدأ، كما رأينا، يقترح أن الظواهر التي نشهدها تنعكس على سطح بعيد رقيق يحيط بحيزنا المكاني. وبالنظر إلى المستقبل أتوقع أن يكون المبدأ الهولوجرافي منارة يهتدي بها الفيزيائيون في القرن الحادي والعشرين. ويعد اعتناق نظرية الأوتار للمبدأ الهولوجرافي، وتقديمها أمثلة ملموسة على وجود العوالم الهولوجرافية الموازية، شهادة على الكيفية التي تتضافر بها أحدث التطورات معاً كي تشكل كيانا قويا. كما أن تقديم هذه الأمثلة للأساس الذي تقوم عليه حسابات واضحة، يمكن مقارنة نتائج بعها بالنتائج المأخوذة من تجارب العالم الواقعي، يعد خطوة مرضية نحو التواصل مع الواقع القابل للرصد. لكنّ في داخل نظرية الأوتار نفسها يوجد إطار أوسع من المفترض أن نرى داخله هذه التطورات.

على مدار ثلاثين عاماً تلت اكتشاف نظرية الأوتار للمرة الأولى ظل الفيزيائيون عاجزين عن الوصول إلى تعريف رياضي كامل للنظرية. لقد وضع باحثو نظرية الأوتار الأوائل الأفكار الأساسية المتعلقة بالأوتار المهتزة والأبعاد الإضافية، لكنّ حتّى بعد انقضاء عقود من الأبحاث لا تزال الأسس الرياضية للنظرية تقريبية ومن ثمّ غير كاملة. تمثل الرؤى التي طرحها مالداسينا تقدما كبيراً. وتعد نظرية المجال الكمي التي حدد مالداسينا أنها توجد على الحد الخارجي لحيزنا الداخلي من أيسر الحسابات الرياضية، التي درسها فيزيائيو الجسيمات منذ منتصف القرن العشرين، فهماً. وهي لا تتضمن الجاذبية، وهذه مزية عظيمة لأن محاولة ربط النسبية العامة مباشرة بنظرية المجال الكمي، كما رأينا، تشبه حمل شعلة من النيران داخل مصنع للبارود. لقد بتنا نعلم الآن نظرية المجال الكمي سهلة التناول رياضياً، وغير الجذبوية، تؤدي إلى توليد نظرية الأوتار – وهي نظرية تتضمن الجاذبية - على نحو هولوجرافي. وبالعمل بعيداً على حدود كون له الشكل العام الموضح في الشكل 9-5، تجسد نظرية المجال الكمي هذه كل السمات والعمليات والتفاعلات الفيزيائية للأوتار التي تتحرك في الحيز الداخلي، وهذا الرابط يصير جليا بفعل القاموس الذي يترجم الظواهر بين النطاقين. وبما أن لدينا تعريفا موثوقا به لنظرية المجال الكمي الخاصة بالحد الخارجي، يمكننا استخدامها كتوصيف رياضي لنظرية الأوتار، على الأقل بالنسبة إلى الأوتار التي تتحرك داخل ذلك الشكل من الزمكان. وبهذا ربما تتجاوز الأكوان الهولوجرافية الموازية كونها محض نتيجة محتملة للقوانين الفيزيائية؛ إذ إنها جزء من تعريف القوانين الأساسية ذاته[154].

حين قدمت نظرية الأوتار في الفصل الرابع ذكرت أنها متوافقة مع النمط المبجّل المتمثل في تقديم نهج جديد لتناول قوانين الطبيعة لا يمحو النظريات السابقة عليه. والنتيجة التي نصفها الآن تأخذ هذه الملحوظة إلى مستوى مختلف تماماً. فنظرية الأوتار لا تُختزل فقط إلى نظرية المجال الكمي في ظروف معينة، بل تقترح نتائج مالداسينا أن نظرية الأوتار ونظرية المجال الكمي نهجان متكافئان معبّر عنهما بلغتين مختلفتين. إنّ الترجمة بينهما معقدة، ولهذا السبب استغرق ظهور هذا الرابط للضوء أكثر من أربعين عاماً. لكن لو كانت أفكار مالداسينا صحيحة تماماً، وهو ما تشهد عليه كل الأدلّة المتاحة بين

يدينا، فربما يتضح أن نظرية الأوتار ونظرية المجال الكمي ما هما إلا وجهان لعملة واحدة.
يعمل الفيزيائيون بكد بغية تعميم الأساليب الرياضية بحيث يتسنى تطبيقها على الكون مهما كانَ شكله، ولو ثبتت صحة نظرية الأوتار فمن شأن هذا أن يتضمن كوننا كذلك. لكنّ حتّى في ظل القيود الحالية فإن العثور أخيراً على صيغة متماسكة لنظرية عملنا عليها لسنوات عديدة يُعد أساسا ضروريا للتقدم المستقبلي. وهذا يكفي بالتأكيد لأن يدفع الفيزيائيين إلى الغناء والرقص.

الفصل العاشر
الأكوان والحاسبات والواقع الرياضي
الكون المتعدد المُحاكى والكون المتعدد المُطلق

تبزغ نظريات الأكوان الموازية التي تدبرناها في الفصول السابقة من قوانين رياضية طورها الفيزيائيون خلال سعيهم لمعرفة أعمق آليات عمل الطبيعة. وتتفاوت المصداقية الممنوحة لمجموعة من القوانين أو أخرى تفاوتاً واسعاً - فميكانيكا الكم يُنظر إليها بوصفها حقيقة مُثبتة، وعلم الكونيات التضخمي يحظى بدعم من المشاهدات، بينما نظرية الأوتار تخمينية بالكامل - كما يحدث بشأن نوعية العوالم الموازية المرتبطة بكل نظرية منها وضروريتها المنطقية. بيد أن النمط واضح تماماً؛ فعندما نسلم عجلة القيادة للأسس الرياضية التي تقوم عليها القوانين الفيزيائية الرئيسية المقترحة، فإننا نتجه مراراً وتكراراً صوب نسخة ما من العوالم الموازية.

لنجرب الآن سبيلاً مختلفاً. ما الذي يحدث إذا أمسكنا نحن عجلة القيادة؟ هل نستطيع نحن البشر استغلال الكيفية التي يسير بها الكون لكي نخلق عمداً أكوانا موازية لكوننا؟ إذا كنت تؤمن، مثلي، أن سلوك الكائنات الحية تُمليه قوانين الطبيعة، حينها قد ترى أن هذا ليس سبيلاً مختلفاً على الإطلاق وإنما هو محض تركيز للمنظور، أي تأثير القوانين الفيزيائية حين ننظر إليه من منظور النشاط الإنساني. سريعاً ما يقابل هذا التسلسل الفكري قضايا شائكة عديدة على غرار الجدل العتيق الدائر حول الحتمية والإرادة الحرة، غير أنني لا أنوي السير في هذا الطريق. بدلاً من ذلك فإن السؤال الذي أوجهه هو التالي: في ظل وجود إحساس العمدية والتحكم نفسه الذي تشعر به حين تختار فيلماً تشاهده أو وجبة تتناولها، فهل يمكنك أن تبني كوناً؟

يبدو السؤال عجيباً. وهو كذلك بالفعل. عليّ أن أحذرك الآن من أننا عندَ مواجهة هذا السؤال سنجد أنفسنا في منطقة تتسم بكونها قائمة على التخمينات الجامحة، وذلك بدرجة تفوق ما تعرضنا لهُ من قبل، وأعتقد أن هذا يبوح بالكثير حين نضع في الاعتبار طبيعة ما ناقشناه سابقا. لكن دعنا نحظى ببعض المرح ونرى إلى أين يأخذنا الأمر.

سأوضح أولاً المنظور الذي سأتناول منه الموضوع. عندَ التفكير في عملية بناء الكون، لا يهمني كثيراً القيود العملية بقدر ما تهمني الاحتمالات التي تتيحها قوانين الفيزياء. لذا فعندما أتحدث عن (أنك) ستبني كوناً، فإنني أعني حقاً أنت أو أيا من أحفادك البعيدين، أو أحفاد أحفادهم بعد آلاف السنين من الآن. هؤلاء البشر الحاليون أو المستقبليون سيظلون خاضعين لقوانين الفيزياء، غير أني سأتخيل أنهم يمتلكون تكنولوجيا متقدمة. وسأتدبر عملية بناء نوعين متمايزين من الأكوان. النوع الأول هو الأكوان المعتادة، تلك التي تضم حيزاً مكانياً يمتلئ بأشكال عديدة مختلفة من المادة والطاقة. أما النوع الثاني فليس ملموسا بالدرجة عينها: أكوان افتراضية تولدها الحاسبات. أيضاً سوف تنشئ المناقشة علاقة تربط هذين النوعين بنوع ثالث من مقترحات الكون المتعدد. هذا التنوع لا ينبع من التفكير في عملية بناء الكون في حد ذاتها، وإنما يتناول مسألة ما إذا كانت الرياضيات (حقيقية) أم أنها من ابتكار العقل.

رغم أوجه عدم اليقين التي تعتري عملية تحديد التركيب التفصيلي للكون - ما المادة المظلمة؟ ما القائمة الكاملة للمكونات الجسيمية الأساسية؟ - فإن العلماء واثقون في أنك لو قمت بوزن كل شيء موجود داخل أفقنا الكوني، فستناهز الحصيلة الإجمالية 10 مليار مليار مليار مليار مليار مليار جرام. فإذا كانت المحتويات تزن أكثر كثيراً من هذا أو أقل، فإن تأثيرها الجذبوي على إشعاع الخلفية الميكروني الكوني من شأنه أن يجعل اللطخات الظاهرة في الشكل 3-4 أكبر أو أصغر مما هي عليه كثيراً، وهذا سيتعارض مع القياسات الدقيقة لحجمها الزاوي. غير أن الوزن الدقيق للكون القابل للرصد أمر ثانوي في الأهمية، بل المغزى الحقيقي أن الكون هائل الحجم. فهو شديد الضخامة لدرجة أن فكرة إقدامنا نحن البشر على بناء كون تبدو سخيفة بكل معنى الكلمة.

لو استخدمنا علم كونيات الانفجار العظيم بوصفه المخطط التمهيدي لعملية بناء الكون، فلن نجد أي إرشادات متعلقة بكيفية التغلب على هذا العائق. ففي نظرية الانفجار العظيم القياسية كانَ الكون القابل للرصد أصغر وأصغر في الحجم كلما عدنا إلى الماضي أكثر وأكثر، غير أن الكميات الهائلة من المادة والطاقة التي نقيسها الآن كانت موجودة على الدوام، كل ما في الأمر أنها كانت منضغطة في حجم أصغر. وإذا أردت بناء كون يشبه ذَلكَ الذي نعيش فيه اليوم فعليك البدء بمادة خام تعادل كتلتها وطاقتها الكتلة والطاقة الموجودين اليوم. فنظرية الانفجار العظيم تأخذ هذه المادة الخام بوصفها معطيات غير مفسرة[155].

بصورة عامة، إذاً، تعليمات الانفجار العظيم الخاصة ببناء كون يشبه كوننا تستلزم أن نجمع كمية هائلة من المادة وأن نضغطها حتّى حجم شديد الضآلة. لكنّ حتّى لو تحقق هذا، وهو أمر مستبعد للغاية، فسنواجه تحدياً آخر. فكيف سنشعل فتيل هذا الانفجار؟ تصير هذه عقبة شديدة الصعوبة حين نتذكر أن الانفجار العظيم ليس انفجارا يحدث داخل منطقة مكانية ساكنة من الفضاء، بل إنّ هذا الانفجار العظيم يدفع تمدد الكون ذاته.

لو كانت نظرية الانفجار العظيم هي ذروة الفكر الكوني، فمن شأن السعي العلمي نحو بناء كون أن يتوقف عندَ هذه النقطة. غير أنها ليست كذلك. ولقد رأينا أن نظرية الانفجار العظيم قد أفسحت الطريق أمام نموذج علم الكونيات التضخمي الأشد تماسكًا، ويقدم التضخم استراتيجية تمكننا من المضي قدماً. فبما أن وجود دفعة قوية للتمدد المكاني إلى الخارج هو العلامة المميزة لهذا النموذج، فوفق نموذج التضخم فإن دفعة من الجاذبية المضادة هي ما استحث تمدد الفضاء إلى الخارج على الحدوث. وعلى القدر نفسه من الأهمية، كما سنرى معاً، فإن التضخم يثبت أن من الممكن تخليق كميات هائلة من المادة انطلاقاً من أشد البذور تواضعا.

كما تذكر من الفصل الثالث فإن وفق النهج التضخمي تشكل كون ككوننا - ثقب في قالب الجبن السويسري الكوني - حين انخفضت قيمة التضخم على امتداد منحنى طاقة الوضع، بحيث تسببت في حدوث الدفعة الهائلة في منطقتنا. ومع انخفاض قيمة التضخم فقد تحولت طبيعة الطاقة التي يحويها بحيث صارت على شكل تيار من الجسيمات التي تملأ فقاعتنا الكونية على نحو متجانس. وهذا هو أصل المادة التي نراها. هذا نوع من التقدم بالتأكيد، غير أن هذه الفكرة تثير سؤالا آخر: ما مصدر طاقة التضخم؟ المصدر هو الجاذبية. تذكر أن التمدد التضخمي يشبه كثيراً انتشار العدوى الفيروسية: إذ يدفع مجال التضخم عالي القيمة المنطقة التي يوجد بها إلى النمو بسرعة، وبهذا فهو يخلق حيرا مكانا متزايد الضخامة يكون هو ذاته مشبع بمجال تضخم عالي القيمة. وبما أن مجال التضخم المتجانس يسهم بطاقة

ثابتة لكل وحدة حجم، فكلما صار الحجم الذي يملؤه أكبر، زادت الطاقة التي يجسدها. إنّ القوة الدافعة وراء التمدد هي الجاذبية - في صورتها الطاردة - ومن ثمّ تكون الجاذبية هي مصدر الطاقة المتزايدة التي تحويها المنطقة.

وبهذا يمكن التفكير في علم الكونيات التضخمي بوصفه عملية إنشاء لتدفق دائم للطاقة من مجال الجاذبية إلى مجال التضخم. قد يبدو هذا حلا مؤقتا للمشكلة - إذ من أين تحصل الجاذبية على طاقتها؟ - غير أن الموقف أفضل كثيراً من ذَلكَ. فالجاذبية تختلف عن القوى الأخرى لأنه حيثما توجد الجاذبية، يوجد مخزون غير محدود فعليا من الطاقة. إنها فكرة مألوفة معبر عنها بكلمات غير مألوفة. فعندما تقفز من أعلى منحدر فإن طاقة الحركة - الطاقة التي تتحرك بها - تصير أكبر وأكبر. والجاذبية، تلك القوة التي تقف وراء حركتك، هي مصدر هذه الطاقة. في أي موقف واقعي سوف ترتطم بالأرض، لكنّ من الناحية النظرية من الممكن أن تسقط بعيداً، داخل نفق ضيق متزايد الطول، بينما تصير طاقة الحركة الخاصة بك أكبر وأكبر. والسبب الذي يمكّن الجاذبية من توفير هذه الكميات غير المحدودة من الطاقة هو أنها لا تخشى الدين مطلقا، شأنها شأن وزارة الخزانة الأمريكية. فبينما تسقط وتصير طاقتك أكثر إيجابية على نحو متزايد، تعوض الجاذبية هذا بأن تصير طاقتها سالبة على نحو متزايد. أنت تعرف بالبديهة أن طاقة الجاذبية سالبة لأنك كي تتسلق ذَلكَ النفق صعودا سيتعين عليك بذل طاقة موجبة - أن تدفع بقدميك، وتجذب نفسك بذراعيك - وهكذا ترد دين الطاقة الذي تحملته الجاذبية نيابة عنك[156].

النتيجة الجوهرية هي أنّه بينما تنمو المنطقة المشبعة بالتضخم نمواً سريعاً، فإن التضخم يسحب الطاقة من مصادر مجال الجاذبية التي لا تنضب، وهو ما يؤدي إلى النمو السريع في طاقة المنطقة. ولأن مجال التضخم هو مصدر الطاقة التي تتحول إلى مادة عادية، فإن علم الكونيات التضخمي - على عكس نموذج الانفجار العظيم - لا يحتاج إلى افتراض وجود المادة الخام لتوليد الكواكب والنجوم والمجرات. فالجاذبية هي مصدر المادة.

إنّ ميزانية الطاقة المستقلة الوحيدة التي يتطلبها علم الكونيات التضخمي هي تلك المطلوبة من أجل إيجاد بذرة التضخم الأولى، كتلة كروية صغيرة من الفضاء المشبع بمجال تضخم عالي القيمة تتسبب في بدء التضخم في المقام الأول. وعند إجراء الحسابات يتضح لنا أن هذه الكتلة ينبغي أن يبلغ عرضها نحو 10-26 سنتيمتر فقط وأن تكون مليئة بمجال تضخم تزن طاقته، عندَ تحويلها إلى كتلة، أقل من عشرة جرامات[157].

ومن شأن هذه البذرة الضئيلة أن تخضع، في لمح البصر، لعملية تمدد هائلة، بحيث تصير أكبر من الكون القابل للرصد بينما تحوي طاقة دائمة الزيادة. ومن شأن طاقة التضخم الإجمالية أن تزداد سريعاً بحيث تتجاوز المطلوب من أجل توليد كل النجوم الموجودة في كل المجرات التي نرصدها. وهكذا، حين يتسلم التضخم عجلة القيادة، فإن نقطة البدء المستحيلة في وصفة الانفجار العظيم - التي تقضي بتجميع أكثر من 5510 جراماً من المادة وحشدها في ذرة شديدة الضالة - تتغير تغيرا جذريا. فبوسعك أن تجمع عشرة جر من مجال التضخم وأن تحشدها في كتلة يبلغ عرضها 10-26 سنتيمتر. وهي كتلة صغيرة يمكنك حملها في محفظتك.

غير أن هذا النهج يواجه بدوره عدداً من التحديات، يتمثل أحدها في أن مجال التضخم يظل مجالا افتراضيا خالصا. فعلماء الكونيات يدرجون مجال التضخم بكل حرية في معادلاتهم، لكن خلافاً لمجال الإلكترون أو الكوارك فإلى الآن لا يوجد دليل ملموس على وجود مجال التضخم من الأساس. ثمة تحدي آخر يتمثل في أنّه حتّى لو ثبتت صحة مجال التضخم، وحتى لو استطعنا ذات يوم تطوير سبل للتعامل

معه مثلما نتعامل مع المجال الكهرومغناطيسي، فلا تزال كثافة البذرة المطلوبة هائلة: إذ تبلغ نحو 6710 مرة قدر كثافة نواة الذرة. ورغم أن البذرة سوف تزن أقل من حفنة من حبات الفشار، فإن القوة الضاغطة المطلوبة تزيد بتريليونات المرات على القوة التي نستطيع حشدها في الوقت الحالي.

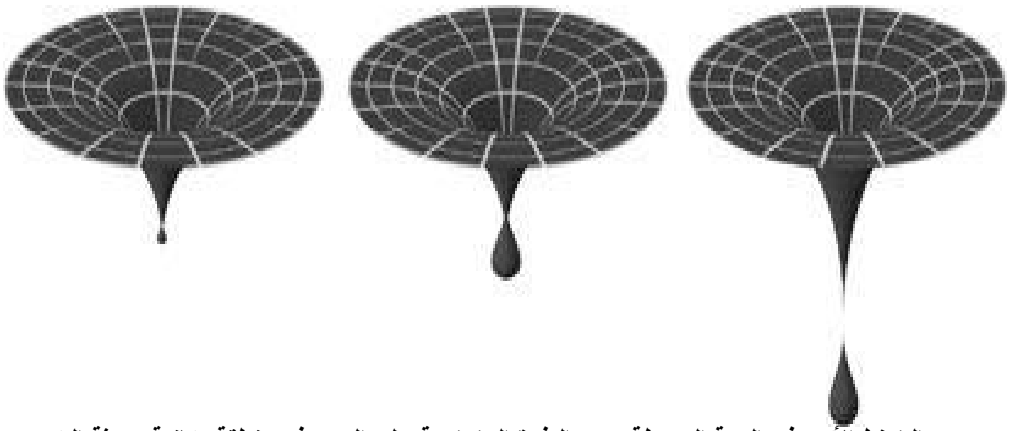
غير أن هذه هي نوعية العوائق التكنولوجية التي نتصور أنّه سيكون بوسع حضارة متقدمة بما يكفي أن تتغلب عليها يوماً ما. ومن ثمّ، لو تمكن أحفادنا في المستقبل البعيد من تسخير مجال التضخم وتطوير أجهزة ضغط استثنائية قادرة على إنتاج مثل هذه الكتل الكثيفة، فهل سنحقق بهذا القدرة على بناء الكون؟ وحين نتدبر هذه الخطوة نحو امتلاك قدرات شبه إلهية، هل ينبغي علينا أن نقلق من أننا، حين ننشئ اصطناعيا عوالم تضخمية جديدة، قد تتسبب في أن يبتلع حيزنا المكاني من قبل الحيز الجديد الآخذ في التضخم؟ تناول آلان جوث وعدد من معاونيه هذه الأسئلة بالدراسة في سلسلة من الأوراق البحثية ووجدوا أن ثمة أنباء طيبة وأخرى سيئة. لنبدأ أولاً بالسؤال الأخير، وهناك سنجد الأنباء الطيبة.

لقد بيّن جوث، بالتعاون مع ستيفن بلاو وإدواردو جويندلمان، أنّه لا توجد حاجة للقلق من أن تتسبب مرحلة اصطناعية من التمدد التضخمي في تدمير بيتنا القائمة. والسبب يتعلق بالضغط. فإذا جرى تخليق البذرة التضخمية في المختبر، فستضم داخلها الطاقة الموجبة والضغط السالب المميزين لمجال التضخم، لكنّها ستكون محاطة بفضاء عادي تساوي فيه قيمة مجال التضخم، وضغطه، صفرا (أو نحو ذَلكَ).

نحن في المعتاد لا ننسب الكثير من القدرة إلى الصفر، لكنّ في حالتنا هذه يحدث الصفر كل الفارق. فالضغط الذي يساوي صفرا أكبر من الضغط السالب، ومن ثمّ فإن الضغط خارج البذرة سيكون أكبر من ذَلكَ الموجود داخلها، وهذا سيجعل البذرة معرضة إلى قوة صافية تضغط عليها، مثلما تتضغط طبلتا الأذن عندَ الغطس في أعماق البحر. وهذا الاختلاف في الضغط يكون قويا بما يكفي بحيث يمنع البذرة من التمدد داخل البيئة المحيطة بها.

غير أن هذا لا يكبح رغبة التضخم في التمدد. فإذا نفخت الهواء في بالون بينما تضغط على سطحه بيديك، فسينتفخ البالون بين أصابعك. وبإمكان بذرة التضخم أن تتصرف على النحو ذاته. فبإمكان البذرة أن تولد عالما مكانيا جديدا متمددا ينبثق من البيئة المكانية الحالية، على غرار الكرة النامية الصغيرة المبينة في الشكل 10-1. وتبين الحسابات أنّه ما إنّ يصل العالم المتمدد الجديد إلى حجم حرج معين، فإن الحبل الشري الذي يربطه ببيئته الأم سوف يتمزق، كما يتضح في الصورة الأخيرة بالشكل 10-1، ومن ثمّ يولد كو مستقل متضخم جديد.

رغم أن هذه العملية قد تكون مثيرة للاهتمام - التخليق الاصطناعي لكون جديد - فإن الموجودين في المختبر لن يشهدوا هذه اللحظة. فمن المطمئن أن نعرف أن الفقاعة التضخمية لن تبتلع البيئة المحيطة بها، لكنّ الجانب السلبي للأمر هو أنّه لن توجد إلا أدلة قليلة للغاية على حدوث عملية التخليق ذاتها. فالكون الذي يتمدد عن طريق توليد فضاء جديد، ينفصل بعد ذَلكَ عنا، هو كون تستحيل علينا رؤيته. وفي الحقيقة، بينما ينفصل الكون الجديد، فإن الشيء الوحيد الذي سيتبقى منه هو بئر جاذبية عميق - يمكنك أن ترى هذا في الصورة الأخيرة بالشكل 10-1 - والتي ستبدو من منظورنا وكأنها ثقب أسود عادي. وبما أننا لا نمتلك القدرة على رؤية ما يقع وراء حافة أي ثقب أسود، فسنعجز حتّى عن التأكد من أن تجربتنا قد كتب لها النجاح، ومن دون امتلاك القدرة على الولوج إلى الكون الجديد لن تكون لدينا وسائل كي نثبت من واقع المشاهدات أن الكون قد جرى تخليقه من الأساس.



شكل 10-1: بسبب الضغط الأكبر في البيئة المحيطة، جبر البذرة التضخمية على التمدد في منطقة مكانية حديثة التكون. وبينما تنمو الفقاعة الكونية فإنها تنفصل عن البيئة الأم، بحيث تنتج نطاقا مكانيا منفصلا متمددا. ومن منظور الشخص الموجود في البيئة المحيطة فإن العملية تبدو أشبه بتشكل ثقب أسود.

إنّ الفيزياء تحمينا، لكنّ ثمن تأميننا هو انفصالنا الكامل عن صنيعة أيدينا. وهذه هي الأنباء الطيبة. أما الأنباء السيئة لمن يطمحون في بناء كون فتتمثل في نتيجة أكثر واقعية استنتجها جوث وزميله بمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا إدوارد فارهي. فقد بينت معالجاتهما الرياضية الحريصة أن التتابع المبين في الشكل 10-1 يتطلب مكونّا إضافياً. فمثلما يتطلب البالون منك أن تمنحه دفعة مبدئية من الهواء، يستطيع بعدها أن ينتفخ في يسر، وجد جوث وفارهي أن الكون الوليد في الشكل 10-1 يحتاج إلى دفعة مبدئية قوية كي يبدأ في التضخم. وهي من القوة بحيث لا يستطيع إلا كيان واحد أن يوفرها: ثقب أبيض. إنّ الثقب الأبيض، وهو نقيض الثقب الأسود، جرم إفتراضي ينفث المادة إلى الخارج بدلاً من أن يبتلعها داخله. وهذا يتطلب ظروفا شديدة التطرف لدرجة أن الأساليب الرياضية تنهار داخلها (تماماً كما هو الحال في الثقوب السوداء)، لكنّ يكفينا أن نقول إنه لا يتوقع أي شخص إمكانية توليد ثقب أبيض داخل المختبر. مطلقا. لقد وجد جوث وفارهي عيبا قاتلاً في عملية تخليق الأكوان.

منذ ذَلكَ الحين اقترحت مجموعات بحثية متعددة سبلاً محتملة لتحاشي هذه المشكلة. وقدْ وجد جوث وفارهي، وانضم إليهما كذلك جمال جوفين، أن عن طريق تخليق البذرة التضخمية عبر عملية انتقال كمى (تشبه تلك التي ناقشناها في سياق كون المشهد المتعدد) فمن الممكن تجنب نقطة تفرد الثقب الأبيض، غير أن احتمالات حدوث عملية الانتقال الكمي (النفق الكمي) ضئيلة للغاية لدرجة أنّه لا توجد فعلياً فرصة لحدوث ذَلكَ على مدار النطاقات الزمنية التي تستحق التدبر. وقدْ بينت مجموعة من الفيزيائيين اليابانيين، وهو نوبويوكي ساكي وكين إيتشي ناكاو وهيديكي إيشيهارا وماكوتو كوباياتشي، أن من الممكن لقطب مغناطيسي أحادي - وهو جسيم افتراضي يمتلك إما. القطب الشمالي أو الجنوبي فقط لقضيب المغناطيس القياسي - أن يحفز على حدوث التمدد التضخمي، وبهذا يتجنب نقاط التفرد، لكنّ بعد نحو أربعين عاماً من البحث المكثف لم يعثر أحد بعد على جسيم كهذا[158].

ملخص الأمر، إذاً، أنّه في وقتنا الحالي الباب مفتوح أمام بناء أكوان جديدة، غير أن الفُرجة ضيقة للغاية. وفي ضوء اعتماد هذا المقترح بقوة على عناصر افتراضية، ربما تؤدي تطورات مستقبلية إلى إغلاق هذا الباب إلى الأبد. لكنّ لو لم تفعل هذا - أو ربما لو أيدت الأبحاث التالية بقوة احتمالية بناء الأكوان - فهل سيكون هناك حافز للمواصلة؟ فلماذا نبني كونًا لو لم يكن ثمة سبيل إلى رؤيته أو التفاعل معه أو حتّى التأكد من أنّه موجود من الأساس؟ وقدْ ذكر أندري لينده، الذي لا يشتهر فقط برؤاه الكونية العميقة

وإنما كذلك بميله إلى السخرية أن من المستحيل للبشر مقاومة إغراء لعب دور الإله.
أعرف أن هذه المقاومة مستحيلة بالفعل. وأعترف أنّه سيكون من المثير للغاية الإلمام تماماً بقوانين الطبيعة بحيث نتمكن من إعادة القيام بأهم الأحداث قاطبة. غير أنني أشك أننا بحلول الوقت الذي نستطيع فيه أن نتدبر جديا عملية بناء الأكوان - إنّ حل وقت كهذا من الأساس - فإن قدراتنا العلمية والتقنية المتقدمة ستكون قد أتاحت أمامنا العديد من المساعي الأخرى المذهلة، والتي سنكون قادرين على معايشة نتائجها وليس فقط تخيلها، بحيث تصير الطبيعة غير الملموسة لعملية بناء الأكوان أقل إثارة للاهتمام بكثير.
بالتأكيد سيكون الإغراء أقوى لو عرفنا كيفية بناء أكوان نستطيع رؤيتها أو التفاعل معها. وبالنسبة إلى الأكوان «الحقيقية»، بالمعنى المعتاد للكون المؤلف من المكونات القياسية كالمكان والزمن والمادة والطاقة، فنحن لا نمتلك بعد أي استراتيجية تمكننا من عمل ذَلكَ بما يتوافق مع قوانين الفيزياء التي نفهمها حاليا.
لكنّ ماذا لو نحينا جانباً الأكوان الحقيقية وتدبرنا الأكوان الافتراضية؟

رحلة فكرية

منذ عامين أصبت بحمى شديدة نتيجة الأنفلونزا، وصاحب هذه الحمّى نوبات هلوسة أشد وضوحا من أي حلم أو كابوس عادي. وفي إحدى هذه النوبات وجدت نفسي مع مجموعة من البشر نجلس داخل غرفة فندق فسيحة، نمر بنوبة هلوسة داخل نوبة الهلوسة الأصلية. كنت متأكدا تماماً من أنّه قد مرت علي أيام وأسابيع داخل هذه النوبة الفرعية، إلى أن عدت إلى نوبة الهلوسة الأساسية، وهناك علمت، لصدمتي، أنّه لم ينقضي أي وقت على الإطلاق. وفي كل مرة كنت أجدْ نفسي أنجرف إلى هذه الغرفة كنت أقاوم بعنف لأنني كنت أعلم من النوبات السابقة أنني بمجرد دخولي فيها فإنها ستبتلعني بالكامل، وسأعجز عن إدراك زيف ذَلكَ العالم إلى أن أجدْ نفسي وقدْ عدت مجددا إلى الهلوسة الأصلية، وهناك سيصيبني الجزع الشديد حين أدرك أن كل ما مررت به كان وهما. وعلى نحو دوري، حين كانت وطأة الحمى تخف، كنت أعود إلى الحياة العادية وأدرك أن كل تلك الهلوسات كانت تحدث داخل عقلي المصاب بالدوار.

لا أتعلم الكثير دوما من نوبات الحمّى، غير أن هذه التجربة أضفت خضورا ملموشا على شيء كنت إلى تلك اللحظة لا أفهمه إلا على نحو مجرد. إنّ إدراكنا للواقع أوهن مما تقودنا حياتنا العادية إلى الاعتقاد به. فإذا عدلنا كيفية عمل المخ تعديلا طفيفا من الممكن أن يتغير أساس الواقع فجأة، ورغم أن العالم الخارجي سيظل كما هو فإن إدراكنا لهُ لن يظل كذلك. يثير هذا سؤالا فلسفيا كلاسيكيا. فبما أن كل خبراتنا تمر عبر أدمغتنا وتخضع للتحليل بواسطتها، إلى أي مدى نحن واثقون من أن خبراتنا تعكس ما هو حقيقي بالفعل؟ ولو وضعنا هذا السؤال في الإطار الذي يحب الفلاسفة استخدامه سنقول: كيف لك أن تعرف أنك تقرأ هذه العبارة، وأن دماغك ليس حبيس وعاء موضوع على كوكب بعيد يقوم علماؤه بمحاكاة دماغية لك كي ينتجون أفكارا وخبرات تراها حقيقية؟

هذه القضايا لها أهمية بالغة في نظرية المعرفة، وهو مبحث فلسفي فرعي يتساءل عما يشكل المعرفة، وعن كيفية اكتسابها، وكيفية التأكد من أننا نمتلكها. لقد أتاحت الثقافة الشعبية عرض هذه الأسئلة البحثية أمام جمهور عريض في أفلام على غرار The Matrix (المصفوفة)، وThe Thirteenth Floor (الطابق الثالث عشر)، وVanilla Sky (سماء الفانيلا)، إذ تناولتها بطرق مسلية ومثيرة للفكر. وبهذا فإن السؤال الذي نوجهه، بلغة فضفاضة، هو: كيف لك أن تعرف أنك لست حبيس المصفوفة؟

خلاصة القول هي أنك عاجز عن معرفة ذَلكَ على نحو مؤكد. فأنت تتفاعل مع العالم من خلال حواسك، وهذه الحواس تستثير دماغك بطرق تطورت الدوائر العصبية بحيث تستطيع تأويلها. وإذا قام أحد باستثارة دماغك اصطناعيا بحيث يستحث إشارات كهربية تشبه تماماً تلك التي تنتج عندما تأكل البيتزا أو تُقرأ هذه العبارة أو تمارس القفز بالمظلات، فسيكون من المستحيل تمييز هذه الخبرة عن الخبرة الحقيقية. فالخبرات تتحدد عن طريق عمليات دماغية، وليس بواسطة ما ينشط تلك العمليات.

بالمضي إلى خطوة أبعد يمكننا التفكير في التخلص من عدم الإتقان الذي تتسم به المادة البيولوجية تماماً. فهل يمكن أن تكون كل خبراتك محض محاكاة تستغل برمجيات ودوائر كهربية معقدة بما يكفي بحيث تحاكي الوظائف الدماغية العادية؟ هل أنت مقتنع بأن اللحم والدم والعالم الفيزيائي كلها أمور حقيقية رغم أن خبراتك في واقع الأمر ما هي إلا حشد من النبضات الكهربية المتبادلة عبر حاسب عملاق متقدم؟ يتمثل أحد التحديات الفورية عندَ تدبر هذه السيناريوهات في أنها تتسبب في دوامة عميقة من التشكك تؤدي لانهيار كل شيء؛ إذ ينتهي بنا الحال ونحن لا نثق في شيء، ولا حتّى قدرتنا على التفكير الاستدلالي المنطقي. إنّ استجابتي الأولى للأسئلة الشبيهة بتلك التي طرحتها هي حساب مقدار القدرة الحاسوبية المطلوبة كي تكون هناك فرصة لمحاكاة الدماغ البشري. لكن لو أنني جزء بالفعل من محاكاة

كهذه، فلماذا ينبغي علي أن أصدق أي شيء أقرؤه في كتب علم البيولوجيا العصبية؟ فهذه الكتب محاكاة هي الأخرى، كتبها علماء بيولوجيا هم أيضاً محاكاة، والنتائج التي توصلوا إليها تمليها برمجيات تدير المحاكاة ومن ثمّ من الممكن ألاّ تكون لها أدني علاقة بكيفية عمل الأدمغة «الحقيقية». إنّ فكرة الدماغ «الحقيقي» ذاتها ربما تكون محض حيلة حاسوبية بارعة. وبمجرد أن تعجز عن الثقة في قاعدتك المعرفية، سريعاً ما يصير مفهوم الواقع عديم المعنى.

سنعود لاحقا إلى مناقشة هذه المخاوف، غير أنني لا أريدها أن تعيقنا عن التقدم، على الأقل ليس بعد. لذا، في الوقت الحالي، دعنا نستقر على فكرة واحدة، وتخيل أنك حقيقي، من لحم ودم، وأنني كذلك، وأن كل شيء حولي وحولك حقيقي، بكل ما تحمله كلمة (حقيقي) من معنى. وبعد أن نفترض صحة كل هذا، دعنا نتناول مسألة الحاسبات والقدرة الدماغية. ما هي، بشكل تقريبي، سرعة المعالجة الخاصة بالدماغ البشري، وما وضعها مقارنة بقدرة الحاسب الآلي؟

حتّى لو لم نكن عالقين في مستنقع التشكك سنجد أن هذا السؤال صعب. فنحن نجهل الكثير عن القدرة الدماغية. وكي نحصل على لمحة، ولو مبهمة، عن الأمر فلنتدبربعض الأرقام. إنّ شبكية العين البشرية عبارة عن شريحة رقيقة مؤلفة من 100 مليون خلية عصبية، وهي أصغر حجمًا من الدايم ولا يزيد سُمكها عن سُمك بضعة أوراق، وهي من أكثر المجموعات العصبية خضوعًا للدراسة والبحث. وقدْ قدَّر باحث التكنولوجيا الروبوتية هانز مورافيك أنّه لكي تعمل منظومة شبكية حاسوبية على نحو مكافئ للمنظومة البشرية فإنها ستحتاج إلى القيام بنحو مليار عملية في الثانية الواحدة. وإذا ارتقينا من مستوى الشبكية إلى مستوى الدماغ كله فإننا سنضاعف هذا الرقم 100 ألف مرة، ويقترح مورافيك أن محاكاة الدماغ بفاعلية من شأنها أن تتطلب زيادة مقاربة في قدرة المعالجة، بحيث تصل إلى 100 مليون مليون - 10^{14} - عملية في الثانية[159]، وتشير التقديرات المستقلة المبنية على عدد التشابكات العصبية في الدما ومعدلات الاتصال بينها إلى أن سرعة المعالجة أعلى ببضع قيم أسّية من هذه النتيجة، إذ تبلغ 10^{17} عمل في الثانية. ورغم أن من الصعب أن نكون أكثر دقة فإن هذا يمنحنا إحساسًا بالأرقام المطلوبة. إنّ الحاسب الذي أستخدمه حاليًّا تبلغ سرعته نحو مليار عملية في الثانية، وأسرع الحاسبات العملاقة الموجودة اليوم تصل سرعتها القصوى إلى نحو 10^{15} عملية في الثانية (وهي إحصائية من المؤكد أن ت سريعًا وقت إصدار هذا الكتاب). وإذا استخدمنا التقديرات الأسرع لسرعة الدماغ فسنجد أن بإمكان مائة مليون حاسب محمول، أو مائة حاسب عملاق، الاقتراب من قدرة المعالجة الخاصة بالدماغ البشري.

غير أن هذه المقارنات تتسم بالسذاجة: فالألغاز التي تكتنف الدماغ البشري متعددة، وما السرعة إلا مقياس واحد عام لوظيفته. غير أن الأغلبية توافق على أننا ذات يوم سنمتلك قدرة حاسوبية تعادل القدرة التي وفرتها البيولوجيا، بل ومن المرجح أن تفوقها. ويؤكد مستشرفو المستقبل أن هذه القفزات التكنولوجية سوف تشكل عالمًا يتجاوز كثيرًا خبراتنا المألوفة لدرجة أننا نعجز عن تصوّر ما سيبدو عليه. وقدْ شبهوا هذا بظاهرة تقع خارج نطاق أقوى نظرياتنا الفيزيائية وأطلقوا على ذَلكَ العائق اسم نقطة التفرد. ومن التكهنات العامة أن هذا التفوق على القدرة الدماغية من جانب الحاسبات سوف يزيل الحاجز بين البشر والتكنولوجيا. ويتوقع البعض أن تنتشر الآلات القادرة على التفكير والشعور في أرجاء العالم، بينما من يظلون في أجسامهم البيولوجية عتيقة الطراز سيُحَمِّلون محتويات أدمغتهم على نحو دوري، وبهذا يخزنون في أمان كل معارفهم وشخصياتهم على شرائح من السيليكون، وأقراص تخزين احتياطية، لفترات غير محدودة.

قد تتسم هذه الرؤية بالمبالغة قليلًا. فلا يوجد خلاف تقريبًا حول التوقعات المتعلقة بالقدرة الحاسوبية، غير

أن الجانب المجهول هو ما إذا كنا سنتمكن من تسخير هذه القدرة من أجل إحداث دمج ثوري بين العقل والآلة أم لا. إنه سؤال عصري لكنّ لهُ جذورًا قديمة، إذ إننا نفكر في عملية التفكير لآلاف السنوات. كيف يولّد العالم الخارجي استجاباتنا الداخلية؟ هل إحساسك بالألوان هو نفس إحساسي بها؟ ماذا عن إحساسك بالصوت واللمس؟ ما هو تحديدًا الصوت الذي نسمعه في رؤوسنا، تيار الثرثرة الداخلية الذي نسميه ذواتنا الواعية؟ هل ينبع من عمليات فيزيائية محضة؟ أم هل ينشأ الوعي عن طبقة من الواقع تسمو فوق الجانب الفيزيائي؟ على مر العصور حاول مفكرون ثاقبو الفكر، مثل أفلاطون وأرسطو، هوبز وديكارت، هيوم وكانط، كيركجارد ونيتشه، جيمس وفرويد، فيتجنشتاين وتورينج، علاوة على عدد آخر لا يُحصى، حاولوا استجلاء (أو فضح) العمليات التي تبث الحياة في العقل وتخلق الحياة الداخلية المتفردة التي نتوصل إليها عبر تدبر الذات.

ظهرت نظريات عديدة عن العقل، وهي تتباين في ما بينها تباينًا بالغًا في بعض الجوانب وبسيطًا في جوانب أخرى. لسنا في حاجة إلى تناول التفاصيل الدقيقة، لكن كي نتعرف على المسار الذي تقودنا إليه هذه النظريات إليك ببعض منها: فمثلًا تذهب النظريات القائلة بوجود «ثنائية للروح والجسد»، والتي توجد منها صور متنوعة، إلى أن ثمة مكونًا جوهريًا غير فيزيائي يلعب دورًا محوريًّا في العقل، بينما النظريات «الفيزيائية» للعقل، التي توجد أيضًا صور متنوعة منها، تنكر هذا وتشدد على أن كل خبرة شخصية متفردة تقوم في النهاية على حالة عقلية متفردة. أما النظريات «الوظيفية» فتذهب إلى مدى أبعد في هذا الاتجاه وتقترح أن ما يهم حقًّا في تشكيل العقل هي العمليات والوظائف - الدوائر العصبية وتشابكاتها وعلاقاتها - وليس تفاصيل الوسط الفيزيائية الذي تحدث هذه العمليات داخله.

يتفق أنصار النظرة الفيزيائية إجمالًا على أنك لو نسخت دماغي بأي وسيلة كانت - جزيء بجزيء وذرة بذرة – فإن الناتج النهائي سيفكر ويشعر مثلي تمامًا. ويتفق أنصار النظرة الوظيفية إجمالًا على أنك لو ركزت على البنى ذات المستوى الأعلى - بحيث نسخت كل الوصلات في دماغي، وحفظت كل العمليات الدماغية بينما غيرت فقط الوسط الفيزيائي الذي تحدث فيها - فستتوصل إلى النتيجة ذاتها. أما أنصار ثنائية الروح والجسد فيختلفون مع الرأيين.

إنّ إمكانية وجود وعي اصطناعي تعتمد في وضوح على نظرة وظيفية. وثمة افتراض محوري لهذا المنظور يقضي بأن الفكر الواعي ليس مطبوعًا على الدماغ وإنما هو الإحساس ذاته المتولد بواسطة نوعية معينة من معالجة المعلومات، ولا يهم إذا حدثت هذه المعالجة داخل كتلة بيولوجية وزنها ثلاثة أرطال أم داخل دوائر كهربية لحاسب آلي. قد يكون هذا الافتراض خاطئًا. فربما تحتاج مجموعة الوصلات إلى ركيزة من المادة المتغضنة الدبقة لو كانَ لها أن تكتسب الوعي بالذات. وربما تحتاج إلى الجزيئات الفيزيائية الفعلية التي تؤلف الدماغ، وليس فقط العمليات والوصلات التي تيسرها هذه الجزيئات، لو كنت تريد للتفكير الواعي أن يبث الحياة في ما هو جامد. وربما ستظل نوعية معالجة المعلومات التي تقوم بها الحاسبات مختلفة دائمًا بصورة جوهرية ما عن آلية عمل المخ، وهو ما يمنع القفزة نحو الوعي. وربما يكون التفكير الواعي غير فيزيائي في جوهره، كما تزعم تقاليد فكرية عدة، ومن ثمّ فهو يقع على الدوام بعيدًا عن مطال الابتكار التكنولوجي.

ومع بزوغ تكنولوجيات متزايدة التقدم والتعقيد، صارت هذه الأسئلة أشد حضورًا وصار الطريق نحو الإجابات ملموسًا بدرجة أكبر. وقدْ أخذ عدد من المجموعات البحثية خطوات مبدئية بالفعل نحو محاكاة الدماغ البشري على حاسب آلي. على سبيل المثال، مشروع بلو برين، وهو مشروع مشترك بين شركة آي بي إم والمدرسة التكنولوجية المتعددة في لوزان بسويسرا، مُكَرَّس لنمذجة الوظائف الدماغية على أسرع حاسبات شركة آي بي إم. ويُعد الحاسب العملاق بلو جيم نسخة أقوى من الحاسب ديب بلو، الذي

تغلب في عام 1997 على بطل العالم في الشطرنج جاري كاسباروف. لا يختلف نهج مشروع بلو برين كثيرًا عن السيناريو الذي وصفته للتو. فعن طريق الدراسة التشريحية الحريصة للأدمغة الحقيقية، يجمع الباحثون معلومات متزايدة الدقة حول البنية الخلوية والوراثية والجزيئية للخلايا العصبية وتشابكاتها. ويهدف المشروع إلى ترميز هذا الفهم، وهو مقتصر حاليًّا في معظمه على المستوى الخلوي، في نماذج رقمية يحاكيها الحاسب بلو جين. وقدْ اعتمد الباحثون إلى الآن على نتائج مستقاة من عشرات الآلاف من التجارب التي ركزت على قطاع في حجم رأس الدبوس من دماغ أحد الفئران، ويدعى القشرة المخية الجديدة، بغية تطوير محاكاة حاسوبية ثلاثية الأبعاد لنحو 10 آلاف خلية عصبية تتواصل في ما بينها عبر نحو 10 ملايين وصلة عصبية. وتظهر مقارنة استجابة القشرة المخية الجديدة للفأر باستجابة المحاكاة الحاسوبية لنفس المثيرات أن النموذج التخليقي يتسم بقدر مشجع من الدقة. هذا لا يزال بعيدًا عن الخلايا العصبية البالغ عددها 100 مليار والتي تتواصل في ما بينها داخل الدماغ البشري الطبيعي، غير أن قائد المشروع، عالِم الأعصاب هنري ماركرام، يتوقع أنّه قبل عام 2020 سينجح مشروع بلو برين في بناء نموذج كامل مُحاكى للدماغ البشري، وذلك عن طريق الاستفادة من سرعات المعالجة المُنتظَر أن تزيد بمعامل أسّي يفوق المليون. لا يهدف بلو برين إلى إنتاج وعي اصطناعي، وإنما يهدف إلى امتلاك أداة استقصائية تساعد في تطوير علاجات لمختلف صور الأمراض العقلية، ومع هذا يعبر ماركرام عن رأي يخالف الكثيرين ويتوقع أنّه عندَ اكتمال بلو برين فإنه سوف يكون قادرًا على الحديث والشعور.

وبصرف النظر عن النتيجة، فإن هذه الاستكشافات المباشرة تلعب دورًا محوريًّا في نظريات العقل التي لدينا، وأثق تمام الثقة في أن مسألة أي المنظورات هو الصحيح، هذا إنّ صح أيها من الأساس، لا يمكن حسمها عن طريق التفكير النظري الخالص. فعند التطبيق العملي تصير التحديات ظاهرة بوضوح على الفور. افترض أن أحد الحاسبات زعم ذات يوم أنّه يمتلك أحاسيس؛ فكيف سنعرف أن الأمر كذلك بالفعل؟ لا أستطيع حتّى التحقق من زعم كهذا حين يصدر عن زوجتي، ولا تستطيع هي ذَلكَ معي. وذلك لأن عبء هذا الإثبات ناتج عن كون الإحساس مسألة خاصة. لكن لأن تفاعلاتنا البشرية تقدم أدلة ظرفية وفيرة تدعم تمتع الآخرين من حولنا بالإحساس، سريعًا ما تصير نظرية وحدة الأنا عبثية. ربما تصل التفاعلات الحاسوبية ذات يوم إلى نقطة مشابهة. وربما نقتنع ذات يوم من خلال التحدث مع الحاسبات، ومواساتها وتملقها، بأن التفسير الأبسط لتمتعها الظاهري بالشعور والوعي الذاتي هو أنها بالفعل تشعر وتمتلك وعيًا ذاتيًّا.

دعونا نتبنى وجهة النظر الوظيفية ونرى إلى أين تقودنا.

الأكوان المُحاكاة

لو استطعنا خلق وعي قائم على أساس حاسوبي، فمن المرجح أن يُقْدِم البعض على زراعة الآلات المفكرة داخل أجسام بشرية اصطناعية، بحيث يجري تخليق نوع ميكانيكي - روبوتات - من شأنها أن تندمج في الواقع المعتاد. غير أن اهتمامي منصب على أولئك الذين سيجذبهم نقاء المحفزات الكهربية كي يبرمجوا بيئات محاكاة تقطنها كائنات مُحاكاة توجد داخل العتاد الحاسوبي، وبدلًا من التفكير فيها على أنها أشبه بالروبوت سي ثري بي أوه[160]، أو الروبوت داتا، يمكنك التفكير في عوالم كاملة محاكاة على غرار لعبة ذا سيمز أو سكند لايف[161]، غير أن قاطني هذه العوالم يمتلكون وعيًا ذاتيًّا وعقولًا قادرة على الاستجابة. إنّ تاريخ الابتكار التكنولوجي يشير إلى أنّه مع التكرار ستكتسب المحاكات مزيدًا من المصداقية، وهو ما يمكن الخصائص الفيزيائية والتجريبية للعوالم الاصطناعية من الوصول إلى مستويات مُقنعة من الدقة والواقعية. وسيقرر من يدير أي محاكاة ما إذا كانت الكائنات المُحاكاة الموجودة داخلها ستدرك أنها توجد داخل حاسب آلي أم لا، ومن الممكن أن يجد أولئك الذين يستنتجون أن عالمهم ما هو إلا برنامج حاسوبي معقد أنفسهم وقدْ اصطحبهم فنيون مُصطنعون يرتدون معاطف بيضاء إلى عنابر مغلقة مُحاكاة. لكن على الأرجح فإن غالبية الكائنات المُحاكاة سترى أن احتمالية وجودهم داخل حاسب آلي احتمالية سخيفة للغاية بحيث لا تستحق الاهتمام.

ربما يراودك رد الفعل ذاته الآن. وحتى لو أنك تقبلت احتمالية وجود وعي اصطناعي، فربما تقتنع بأن الصعوبة الجمة التي تكتنف صنع محاكاة لحضارة كاملة، أو حتّى مجتمع صغير، تجعل هذه الأعمال الفذة خارج متناول قدراتنا الحاسوبية. وفي ما يخص هذه النقطة، من المفيد تدبُّر مزيدًا من الأرقام. من المرجح أن يتمكن أحفادنا في المستقبل البعيد من حشد كميات أكبر وأكبر من المادة داخل شبكات حاسوبية ضخمة، وبهذا يطلقون العنان لخيالهم، والتفكير على نطاق واسع. لقد قدَّرَ العلماء أن باستطاعة حاسب في حجم كوكب الأرض اليوم أن يجري ما بين 10^{33} و10^{42} عملية في الثانية الواحدة. وعلى سبيل المقارنة، لو افترضنا أن تقديرنا السابق البالغ 10^{17} عملية في الثانية الواحدة والخاص بالدماغ البشري تقدير دقيق، حينها فإن الدماغ يؤدي في المتوسط نحو 10^{24} عملية إجمالية خلال حياة مقدارها مائة عام وإذا ضاعفنا هذا الرقم لنحو 100 مليار مرة بعدد البشر الذين مشوا على سطح هذا الكوكب، فسيكون إجمالي عدد العمليات التي أجرتها الأدمغة البشرية منذ لوسي (يخبرني أصدقائي الأثريون أن من المفترض بي أن أقول «آردي»[162]. يبلغ نحو 10^{35} عملية. وباستخدام التقدير المتحفظ البالغ 10^{33} عملية في الثانية، نرى أن القدرة الحاسوبية الإجمالية للنوع البشري من الممكن الوصول إليها عن طريق تشغيل حاسب في حجم كوكب الأرض لمدة دقيقتين وحسب. وهذا وفق التكنولوجيا التي نمتلكها اليوم. إنّ الحوسبة الكمية - تسخير كل الاحتمالات المتمايزة التي تمثلها موجة الاحتمالية الكمية بحيث يُمكن إجراء عمليات حسابية متباينة في الوقت ذاته - لها القدرة على زيادة سرعات المعالجة بمعاملات أسيَّة مذهلة. ورغم أننا لا نزال بعيدين جدًّا عن إتقان هذا التطبيق لميكانيكا الكم، فقد قدَّرَ الباحثون أن بإمكان حاسب كمي لا يزيد حجمه عن الحاسب المحمول العادي أن يؤدي عمليات تساوي في عددها كل عمليات التفكير البشرية التي حدثت منذ ظهر نوعنا إلى النور في جزء يسير من الثانية.

إنّ عدم الاكتفاء بمحاكاة العقول المنفردة وإنما أيضًا محاكاة التفاعلات التي تجري بينها وتلك التي تجري مع البيئة الآخذة في التطور سيجعل الحِمل الحاسوبي أكبر بعدة قيم أسيَّة. غير أن المحاكاة المتقدمة

بإمكانها توفير القدرات الحوسبية من دون أن تؤثر على الجودة إلا قليلًا. فالبشر المُحاكون الموجودون على كوكب الأرض المُحاكى لن يكترثوا لو قام الحاسب بمحاكاة الأشياء التي تقع داخل أفقهم الكوني وحسب. فليس بوسعنا أن نرى ما وراء هذا النطاق، لذا فبإمكان الحاسب أن يتجاهله دون ضرر. بل ومن الممكن تبني نهج أجرأ بحيث لا تصوّر المحاكاة النجوم الموجودة وراء الشمس إلا خلال الليل، وذلك حين تكون السماء صافية وحسب. وحين لا ينظر أحد إلى السماء، باستطاعة الجزء الذي يحاكي السماء من الحاسب أن يستريح ويتوقف عن عمله المتمثل في توفير صورة السماء لكل شخص يستطيع النظر إليها. ومن شأن برنامج حاسوبي جيد البناء أن يتتبع الحالات العقلية والنيات الخاصة بالسكان المُحاكين، ومن ثمّ يتنبأ بأي عملية تحديق وشيكة في السماء ويستجيب لها. الأمر عينه يسري على محاكاة الخلايا والجزيئات والذرات. ففي الغالب لن يكون لهذه الأشياء ضرورة إلا للمتخصصين في فرع علمي أو آخر، وذلك حين يكون هؤلاء المتخصصون منخرطين في دراسة تلك العوالم العجيبة. وسيكون من الملائم وجود نسخة حاسوبية أرخص من الواقع المألوف تُعَدّل درجات تفاصيل المحاكاة حسب الحاجة.

هذه العوالم المحاكاة من شأنها أن تجسد بقوة رؤية ويلر التي تدور حول أهمية المعلومات. فإذا أمكنك بناء دوائر تحمل المعلومات الصحيحة فستكون بهذا قد شيدت عوالم بديلة تتسم في نظر قاطنيها بنفس مقدار الواقعية الذي يتسم به هذا العالم في نظرنا. وتشكل عمليات المحاكاة هذه النوع الثامن من الأكوان المتعددة، وسأطلق عليه «الكون المتعدد المُحاكي»

هل نعيش داخل محاكاة؟

إنّ الفكرة القائلة بأن الأكوان ربما تكون محض محاكاة حاسوبية لها تاريخ طويل، يعود إلى المُقترحات التي قدمها في ستينيات القرن العشرين رائد علوم الحاسب كونراد زوس والخبير الرقمي إدوارد فريدكين. عملتُ في شركة آي بي إم لخمس إجازات صيفية خلال سنوات دراستي الجامعية وما بعد الجامعية، وكان رئيسي في العمل، الراحل جون كوك أحد متخصصي الحاسب المخضرمين، يتحدث دائمًا عن نظرة فريدكين القائلة بأن الكون ما هو إلا حاسب عملاق يهدر على الدوام وينفذ شيئًا أشبه بلغة الفورتران البرمجية الكونية. رأيت أن هذا توسع سخيف ومبالغ فيه في النموذج الإرشادي الرقمي، وعلى مدار سنوات لم أفكر فيه مطلقًا، إلى أن تعرضتُ في وقت قريب لنتيجة بسيطة ولكن مثيرة للتعجب توصل إليها نيك بوستروم الفيلسوف من جامعة أكسفورد.

من أجل تفهُّم النقطة التي أثارها بوستروم (وهي ذاتها التي ألمح إليها مورافيك)، لنبدأ بمقارنة بسيطة ومباشرة: صعوبة بناء كون حقيقي، في مقابل صعوبة بناء كون مُحاكى. إنّ بناء كون حقيقي، كما ناقشنا، يواجه عوائق هائلة. وإذا نجحنا في مسعانا فإن الكون الناتج سيكون خارج نطاق قدرتنا على رؤيته، وهذا يدعونا إلى التساؤل عما قد يحفزنا على بناء مثل هذا الكون في المقام الأول.

أما بناء كون مُحاكى فهو أمر مختلف تمامًا. إنّ المسيرة نحو بناء حاسبات متزايدة القدرة، تُشَغّل برامج متزايدة التعقيد، لا يمكن وقفها. وحتى باستخدام تكنولوجيا اليوم البدائية يظل سحر بناء بيئات محاكاة قويًّا، وفي ضوء تمتعنا بمزيدٍ من القدرة سيكون من العسير أن نتصور ألاّ يزيد الاهتمام بهذا الأمر.

والسؤال المطروح ليس ما إذا كانَ من شأن أحفادنا أن يبنوا عوالم قائمة على المحاكاة الحاسوبية أم لا، فنحن بالفعل نفعل هذا. بيد أن الجانب المجهول هو مقدار ما ستتمتع به هذه العوالم من واقعية. وإذا كانت ثمة عقبة جوهرية تحول دون بناء وعي اصطناعي، حينها لا يمكن التنبؤ بما ستؤول إليه الأمور. غير أن بوستروم يدلي بملاحظة مشابهة، وذلك على افتراض أن عمليات المحاكاة ثبت أنها ممكنة فعلًا.

سوف يبني أحفادنا عددًا هائلًا من الأكوان المحاكاة، والعامرة بعدد كبير من السكان الواعين بذواتهم. وإذا كانَ بمقدور الشخص أن يعود إلى منزله في المساء، ويسترخي ثمّ يشغّل برنامج المحاكاة الكونية، فمن السهل أن نتصور أنّه لن يفعل ذَلكَ مرة واحدة وحسب، بل سيفعله كثيرًا. فكر في ما قد يستتبعه هذا السيناريو. ففي يوم ما من المستقبل، ربما تكشف عملية إحصاء رسمية للسكان أن عدد البشر الحقيقيين من لحم ودم يتضاءل إلى جانب أولئك المصنوعين من الرقاقات والبِتّات، أو مكافِئاتها المستقبلية. وهكذا يرى بوستروم أنّه لو كانت نسبة الأكوان المحاكاة إلى الأكوان الحقيقية هائلة، فإن الإحصائيات تشير إلى أننا لا نقطن كونًا حقيقيًّا. فالاحتمالات تشير بقوة بالغة إلى أنني أنا، وأنت، وكل شخص آخر، إنما نعيش داخل محاكاة، محاكاة ربما أنشأها مؤرخ مستقبلي ما مهتم بمعرفة ما كانت عليه الحياة على كوكب الأرض في القرن الحادي والعشرين.

قد تعترض قائلًا إننا بهذا نعود إلى دائرة التشكك المُفرغة التي حرصنا منذ البداية على تجنبها. فبمجرد أن نخلص إلى أن ثمة احتمالية مرتفعة أننا نعيش داخل محاكاة حاسوبية، كيف لنا أن نثق في أي شيء، بما في ذَلكَ المنطق ذاته الذي أدى بنا إلى هذه النتيجة؟ حسنًا، إنّ ثقتنا في أمور عديدة قد تتلاشى. فهل ستشرق الشمس غدًا؟ ربما، ما دام القائم على المحاكاة، أيًّا كانَ، لم ينهيها. وهل ذكرياتنا جديرة بالثقة؟ يبدو أنها كذلك، لكن ربما يكون القائم على المحاكاة مولعًا بتغييرها من حين لآخر.

ومع هذا، كما يرى بوستروم، فإن النتيجة القائلة بأننا داخل محاكاة حاسوبية لا تضر بالكامل باستيعابنا للواقع الجوهري الحقيقي. فحتى لو اعتقدنا أننا نعيش داخل محاكاة، فلا يزال بوسعنا تحديد سمة واحدة

يمتلكها الواقع الجوهري على نحو مؤكد: وهي أنّه يسمح بعمليات محاكاة حاسوبية واقعية. فعلى أي حال، نحن نؤمن أننا موجودون داخل إحدى هذه العمليات بالفعل. إنّ مشاعر الريبة القوية الناتجة عن شكنا في أننا محض محاكاة إنما تتفق مع هذه المعرفة تمامًا، ومن ثمّ تفشل في تقويضها. ورغم أنّه كانَ مفيدًا حين بدأنا أن نجد لأنفسنا نقطة ارتكاز وأن نعلن أن الواقع الذي نعيش فيه ليس محاكاة حاسوبية، فإن هذا ليس ضروريًّا الآن. فالمنطق وحده يعجز عن أن يضمن لنا أننا لا نعيش داخل محاكاة حاسوبية.

والسبيل الوحيد إلى تفادي هذه النتيجة القائلة بأننا نعيش على الأرجح داخل محاكاة هو الارتقاء بنقاط الضعف الجوهرية في هذا المنطق. فربما من المستحيل محاكاة الوعي، وهذا يحسم الأمر تمامًا. أو ربما، كما يقترح بوستروم أيضًا، أن الحضارات التي في سبيلها إلى تحقيق البراعة التكنولوجية اللازمة لبناء عمليات محاكاة واعية سوف توجه هذه التكنولوجيا إلى الداخل وتتسبب في تدمير ذاتها. أو ربما حين يمتلك أحفادنا في المستقبل البعيد القدرة على بناء أكوان محاكاة فإنهم سيختارون عدم فعل ذَلكَ، ربما لأسباب أخلاقية أو بسبب وجود مشروعات أخرى لا يمكن تصورها من منظورنا الحالي تعد أكثر إثارة للاهتمام بكثير بحيث تصير محاكاة الكون، كما أشرنا في حالة بناء الكون الفعلي، أمرًا مُهملًا.

هذه عينة من الثغرات العديدة الممكنة، لكننا لا ندري ما إذا كانت مؤثرة بما يكفي بحيث تعيق عملية المحاكاة أم لا[163]. وإذا لم تكن كذلك، فربما تجد في نفسك رغبة في إثراء حياتك قليلًا، وأن تترك أثرًا مميزًا. فمن المؤكد أن القائم على إدارة المحاكاة سيسأم الأشخاص الذين لا يحققون شيئًا في حياتهم، ومن شأن تحقيقك للإنجازات أن يكون سبيلك نحو طول العمر[164].

رؤية ما وراء المحاكاة

لو كنتَ تعيش داخل محاكاة، فهل بوسعك أن تتبين ذَلكَ؟ تعتمد الإجابة في جزء كبير منها على طبيعة القائم على إدارة المحاكاة الخاصة بك - يمكنك تسميته «المُحاكي» - وعلى الطريقة التي جرت بها برمجة المحاكاة. فقد يختار المُحاكي، على سبيل المثال، أن يطلعك على هذا السر. وذات يوم بينما تستحم قد تسمع صوت تنبيهٍ رقيق، وحين تمسح الشامبو من عينيك ترى نافذة مفتوحة تطفو في الهواء أمامك يظهر عليها الوجه المبتسم للمُحاكي ويقدم نفسه إليك. أو ربما يحدث هذا الكشف على نطاق عالمي، بحيث تنفتح نافذة عملاقة ويدوّي صوت يُسمع الكوكب كله، مُعلنًا أن هناك في الحقيقة مُبرمجًا واحدًا قديرًا هو المسؤول عن المحاكاة. لكن حتّى لو خجل المحاكي من أن يظهر نفسه، فمن الممكن العثور على دلائل أقل وضوحًا.

من شأن عمليات المحاكاة التي تسمح بوجود كائنات عاقلة واعية أن تصل بالتأكيد إلى حدّ أدنى من الدقة، لكن كما يحدث في حالة التقليد الرخيص لماركات الملابس الشهيرة فمن الممكن أن تتفاوت مستويات الدقة والاتساق. على سبيل المثال أحد طرق برمجة المحاكاة - ولنسميها «الاستراتيجية الطارئة» - تتمثل في الاعتماد على المعرفة البشرية التراكمية، بحيث تستحضر المنظورات ذات الصلة حسب ما يمليه السياق. فالتصادمات بين البروتونات في مصادمات الجسيمات ستجري محاكاتها عبر نظرية المجال الكمي، بينما مسارات الكرات المقذوفة ستجري محاكاتها باستخدام قوانين نيوتن. أما رد فعل الأم تجاه خطوات طفلها الأولى فستجري محاكاتها عن طريق دمج أفكار مأخوذة من مجالات الكيمياء الحيوية وعلم وظائف الأعضاء وعلم النفس. ستعتمد أفعال القادة الحكوميين على النظرية السياسية، والتاريخ، وعلم الاقتصاد. وهذه الاستراتيجية الطارئة، التي تتألف من مزيج من المناهج التي تركز على جوانب مختلفة من الواقع المُحاكى، ستحتاج إلى الحفاظ على الاتساق الداخلي خلال مرحلة تأويل العمليات لتحديد ما إذا كانت تقع في هذا النطاق أم ذاك. إنّ الطبيب النفسي ليس بحاجة إلى الإلمام على نحو تام بالعمليات التي تجري على المستوى الخلوي والكيميائي والجزيئي والذري ودون الذري والتي تشكل أساس عمل المخ، وهذا في صالح مهنة العلاج النفسي. لكن عندَ محاكاة الفرد سيتمثل التحدي الماثل أمام هذه الاستراتيجية الطارئة في تضمين مستويات جافة ودقيقة من العلومات معًا، بحيث تضمن على سبيل المثال اتفاق الوظائف الانفعالية المعرفية على نحو منطقي مع البيانات الكيميائية الفسيولوجية. هذا النوع من الدمج العابر للحدود يحدث في كل الظواهر وطالما دفع العلم إلى البحث عن تفسيرات أعمق وأكثر توحيدًا.

سيتعين على القائمين على المحاكاة التي تستخدم الاستراتيجية الطارئة أن يمحوا أي مواضع تناقض تنشأ عن الطرق المتباينة، وسيحتاجون إلى ضمان أن تسير عملية الدمج بسلاسة. سوف يتطلب هذا بعض التعديلات والتدخلات التي ستبدو في نظر البشر داخل المحاكاة وكأنها تغيرات فجائية ومحيرة في البيئة وليس لها سبب أو تفسير واضح. وربما تفشل عملية الدمج في العمل بفاعلية تامة، ومن الممكن أن تتفاقم أوجه عدم الاتساق مع الوقت، وربما تصير شديدة الوطأة بحيث يتفكك العالم وتنهار عملية المحاكاة.

ومن الطرق الممكنة لتحاشى هذه الصعوبات استخدام نهج مختلف - يمكن أن نسمّيه «الاستراتيجية الاختزالية الفائقة» - وفيه ستواصل المحاكاة سيرها وفق مجموعة واحدة من المعادلات الأساسية، على نحو مشابه لما يتخيل الفيزيائيون حدوثه في الكون الحقيقي. من شأن عمليات المحاكاة هذه أن تتضمن بعض المدخلات، مثل إحدى النظريات الرياضية للمادة والقوى الأساسية، ومجموعة مختارة من «الظروف المبدئية» (كيف كانت الأشياء عندَ بدء المحاكاة)، وبعد ذَلكَ يطور الحاسب كل شيء مع

مرور الوقت، وبذا يتجنب القضايا التي تتسبب فيها الاستراتيجية الطارئة. غير أن عمليات المحاكاة من هذا النوع من شأنها أن تواجه مشكلاتها الحوسبية الخاصة بها، فضلًا عن العبء الحوسبي الهائل المتمثل في محاكاة «كل شيء»، وصولًا إلى سلوك الجسيمات المنفردة. وإذا كانت المعادلات التي سيعمل بها أحفادنا شبيهة بالمعادلات التي نعمل بها اليوم - بحيث تتضمن أعدادًا يمكن أن تتباين على نحو متواصل - عندئذٍ فمن شأن عمليات المحاكاة أن تعتمد على التقريبات. فلكي نتبع عددًا وهو يتباين باستمرار سنحتاج إلى أن نتتبع قيمته وصولًا إلى عدد لا نهائي من القيم العشرية (على سبيل المثال عندَ تدبر القيم الواقعة بين العددين 0.9 و1، سيتعين المرور بقيم على غرار: 0.9 و0.95 و0.958 و0.9583 و0.95831 و0.958317 ، وهكذا دواليك، بحيث نحتاج إلى عدد ضخم للغاية من الأعداد كي نحقق الدقة الكاملة). ليس بمقدور حاسب ذي قدرات متناهية الاضطلاع بمهمة كهذه: إذ لن يمتلك الوقت ولا الذاكرة الكافيين. لذا، حتّى لو استُخدِمَت أعمق المعادلات، فسيظل من الممكن أن تلجأ الحسابات التي تجريها الحواسيب إلى التقريبات، وهو ما يسمح بتراكم الأخطاء مع مرور الوقت[165].

بالطبع أعني بكلمة «الأخطاء» التباعد الحادث بين ما يحدث داخل المحاكاة وبين الوصف الجوهري الكامن في أدق النظريات الفيزيائية المتاحة تحت تصرف القائم على المحاكاة. لكن بالنسبة للموجودين داخل المحاكاة مثلك، ستكون القواعد الرياضية التي تحرك الحاسب بمنزلة قوانين الطبيعة. والقضية، إذًا، ليست في مقدار القرب الذي تجسد به القوانين الرياضية المستخدمة من جانب الحاسب العالمَ الخارجي، فنحن نتصور أنك لن ترصد العالم الخارجي من داخل المحاكاة. بدلًا من ذَلكَ فإن مشكلة الكون المُحاكى تتمثل في أنّه حين تتغلغل التقريبات الضرورية داخل المعادلات الرياضية الدقيقة، فمن السهل أن تفقد الحسابات استقرارها. ومع تراكم أخطاء التقريب عبر عمليات حسابية عديدة فمن الممكن أن تنشأ تناقضات. وربما تلاحظ أنت وغيرك من العلماء الموجودين داخل المحاكاة أن التجارب تؤدي إلى نتائج غير منطقية، وأن القوانين الراسخة تؤدي إلى تنبؤات غير دقيقة، وأن القياسات التي طالما اتفقت على نتائج واحدة مؤكدة بدأتْ في إنتاج إجابات متباينة. وعلى فترات زمنية طويلة تظن أنت وزملاؤك داخل المحاكاة أنكم عثرتم على أدلة تثبت أن النظرية النهائية التي توصلتم إليها ليست نهائية في حقيقتها، وهو ما حدث بالضبط مع أسلافكم على مدار القرون والألفيات السابقة. وستعملون معًا على إعادة دراسة النظرية، وربما تخرجون بأفكار ومعادلات ومبادئ جديدة تصف البيانات على نحو أفضل. لكن حتّى لو افترضنا أن الأخطاء لم تؤدِ إلى تناقضات تتسبب في انهيار البرنامج، فستجدوا أنفسكم في نقطة ما تسيرون في طريق مسدود.

بعد البحث المضني بين التفسيرات المحتملة، لا يجد المفكر الثوري أن أيًّا منها يفسر على نحو تام ما يحدث، ومن ثمّ قد يقترح فكرة جديدة مختلفة مفادها أنّه إذا كانت القوانين المتصلة التي طورها الفيزيائيون عبر آلاف السنين بمنزلة مُدخلات لحاسب رقمي قوي واستُخدمت في توليد كون مُحاكى، فمن شأن الأخطاء التي تراكمت عبر التقريبات التي تشكل جزءًا أساسيًّا منها أن تؤدي إلى مواطن شذوذ من النوعية المرصودة تمامًا. تتساءل: «هل تقترح أننا نعيش داخل محاكاة حاسوبية؟» يجيب زميلك: «نعم« ترد قائلًا: «حسنًا، هذا جنون». يقول: «حقًّا؟ فلتلقِ نظرة». ثمّ يريك شاشة معروض عليها عالم مُحاكى، قام ببرمجته مستخدمًا القوانين العميقة نفسها للفيزياء ومن ثمّ ترى - بعد أن تلتقط أنفاسك من هول صدمة مشاهدة عالم مُحاكى - أن العلماء داخل المحاكاة محتارون بشأن نوعية البيانات العجيبة ذاتها التي حيرتك[166].

بالطبع إذا كانَ القائم على المحاكاة حريصًا على إخفاء نفسه فسوف يستخدم طرقًا أشد جرأة. وعندما تبدأ

التناقضات في التراكم، قد يلجأ إلى إعادة تشغيل برنامج المحاكاة ومسح هذه التناقضات من ذاكرة القاطنين. وهكذا سيكون من غير المقبول الزعم بأن الواقع المُحاكى سوف يكشف عن طبيعته الحقيقية عن طريق الأخطاء والثغرات المنطقية. وبكل تأكيد سأجدني مدفوعًا بكل قوة إلى الزعم بأن أمورًا مثل التناقضات ومواطن الشذوذ والأسئلة غير المجاب عنها والتقدم البطيء لا تعكس إلا أوجه قصورنا العلمية. وسيتمثل التفسير المعقول لهذه الأدلّة في أننا نحن العلماء بحاجة إلى العمل بجد أكبر وأن نتحلى بمزيدٍ من الإبداع خلال بحثنا عن تفسيرات. ومع ذَلكَ فثمة نتيجة قاطعة تبرز من بين ثنايا ذَلكَ السيناريو الجامح الذي اقترحته. فإذا استطعنا أن نولد عوالم محاكاة، وحين نفعل ذَلكَ بالتأكيد، يسكنها أشخاص عاقلون، فسيثار سؤال أساسي: هل من المنطقي الاعتقاد بأننا نشغل مكانة سامية في تاريخ التطور العلمي والتكنولوجي؛ وأننا صرنا الخالقين الأوائل لعمليات محاكاة عاقلة وواعية؟ ربما كنا كذلك، لكنّ لو كنا حريصين على مسايرة الاحتمالات فعلينا أن نتدبر تفسيرات بديلة لا تتطلب منا، على النطاق الشامل للأمور، أن نحتل مثل هذه المكانة الاستثنائية. وبالفعل ثمة تفسير جاهز يفي بهذا الغرض. وبمجرد أن تقنعنا أبحاثنا أن عمليات المحاكاة الواعية ممكنة، فإن مفهوم «التنوع الهائل» الوارد في الفصل السابع سيشير إلى أنّه لا توجد محاكاة واحدة وحسب، وإنما محيط كامل من عمليات المحاكاة، والتي تؤلف معًا «الكون المتعدد المُحاكى». وبينما قد تُعد المحاكاة التي خلقناها إنجازًا مميزًا داخل النطاق المحدود الذي نستطيع الوصول إليه، ففي سياق الكون المتعدد المُحاكى بأسره ليست هذه المحاكاة شيئًا مميزًا، لأنها تكررت بالفعل عددًا لا يُحصى من المرات. وحين نتقبَّل تلك الفكرة، سيقودنا تفكيرنا إلى أننا نحن أيضًا قد نكون داخل محاكاة، نظرًا لأن هذا هو حال السواد الأعظم من الكائنات الواعية داخل الكون المتعدد المُحاكى.

إنّ الأدلّة على وجود وعي اصطناعي وعوالم محاكاة تدفعك إلى إعادة التفكير في طبيعة واقعك.

خلال فصلي الدراسي الأول بالجامعة، التحقتُ بمقرر تمهيدي في الفلسفة يُدَرِّسه الراحل روبرت نوزيك. ومنذ المحاضرة الأولى خضتُ رحلة فكرة جامحة. كانَ نوزيك يعمل على الانتهاء من كتابه Philosophical Explanations، «تفسيرات فلسفية»، وقدْ استخدم هذا المقرر كساحة تدريب على العديد من الحجج المحورية التي يعرضها الكتاب. وبعد كل محاضرة كانَ فهمي للعالم يتغير، أحيانًا بعنف. كانت تلك تجربة غير متوقعة؛ وكنت أظن أن هذه الحقيقة المزلزلة ستكون مقتصرة على مقررات الفيزياء وحدها. ومع ذَلكَ فقد كانت ثمة اختلافات أساسية بين الاثنين؛ فمحاضرات الفيزياء كانت تتحدى الآراء الباعثة على الارتياح عن طريق كشف الظواهر العجيبة التي تظهر في نطاقات غير مألوفة بالمرة تتحرك فيها الأشياء بسرعة كبيرة، أو تكون ثقيلة للغاية، أو ذات حجم شديد الضآلة. أما محاضرات الفلسفة فكانت تزلزل الآراء الباعثة على الارتياح عن طريق تحدي أسس الخبرات اليومية ذاتها. كيف لك أن تعرف أن ثمة عالمًا حقيقيًا من الأساس؟ هل علينا أن نثق في مُدركاتنا؟ ما الخيط الرابط بين جزيئاتنا وذراتنا بحيث يحفظ هويتنا الشخصية عبر الزمن؟

وبينما كنتُ أتجول بعد إحدى المحاضرات ذات يوم، سألني نوزيك عما يثير اهتمامي حاليًّا، وأخبرته في صفاقة أنني كنت أريد العمل على الجاذبية الكمية والنظريات الموحَّدة. كانَ هذا كفيلًا في المعتاد بوأد المحادثة في مهدها، غير أنّه مثَّل لنوزيك فرصة لتعليم عقل شاب عن طريق الكشف عن منظور جديد. سألني: «ما الذي يحفّز اهتمامك؟» أخبرته أنني كنت أريد العثور على الحقيقة الأبدية، وأن أساعد في فهم سبب كون الأشياء على ما هي عليه. كنت ساذجًا متبجحًا بكل تأكيد. غير أن نوزيك استمع إليَّ بلُطف ثمّ شرع في مناقشة الفكرة على نطاق أوسع. قال: «لنفترض أنك عثرت على النظرية الموحدة. فهل من شأن هذا حقًّا أن يمنحك الإجابات التي تبحث عنها؟ ألن تواصل التساؤل لماذا تعد تلك النظرية بعينها، وليست نظرية أخرى، هي النظرية الصحيحة للكون؟» كانَ محقًّا بطبيعة الحال، غير أنني رددتُ قائلًا إنّ في خضم عملية البحث عن تفسيرات ربما نصل إلى نقطة يتعين علينا فيها وحسب أن نقبل أشياءً معينة بوصفها معطيات مسلم بها. كانَ هذا ما يريدني نوزيك أن أقوله تمامًا؛ ففي أثناء تأليف كتاب «تفسيرات فلسفية» كانَ قد توصل إلى بديل لهذه النظرة، وهو مبني على مبدأ سمَّاه «مبدأ الخصوبة»، وهو يُعد محاولة لإعادة صياغة التفسيرات من دون «أن نقبل أشياءً معينة بوصفها معطيات مسلم بها»، أو حسب شرح نوزيك من دون أن نقبل أي شيء بوصفه حقيقة عمياء.

كانت المناورة الفلسفية الكامنة خلّف هذه الحيلة واضحة ومباشرة: التهرب من السؤال. فإذا أردت أن تتجنب توضيح السبب وراء تمييز نظرية بعينها عما سواها، إذاً فعليك عدم تمييزها. ومن ثمّ، يقترح نوزيك علينا أن نتصور أننا جزء من كون متعدد يضم كل كون يمكن وجوده[167]، وهذا الكون من شأنه ألاّ يتضمن فقط عمليات التطور البديلة التي تخرج من رحم الكون المتعدد الكمي، أو الفقاعات الكونية العديدة الموجودة في الكون المتعدد التضخمي، أو العوالم الوترية المحتمل وجودها داخل الكون المتعدد الغشائي أو كون المشهد المتعدد. فهذه الأكوان المتعددة لا تفي وحدها بمقترح نوزيك، لأننا سنظل بعدها نتساءل: لماذا ميكانيكا الكم؟ أو لماذا التضخم؟ أو لماذا نظرية الأوتار؟ بدلاً من ذَلكَ فبإمكانك التفكير في أي كون محتمل - من الممكن أن يكون مصنوعاً من الأنواع الذرية المعتادة، ولكن من الممكن بالمثل أن يكون مصنوعا بالكامل من جبن الموتزاريللا السائل - وسيكون لهذا الكون مكان داخل منظومة نوزيك. هذا هو الكون المتعدد الأخير الذي سنتناوله بالدراسة، نظرًا لأنه الأشمل في ما بينها، والأشمل على الإطلاق. إنّ أي كون متعدد جرى اقتراحه من قبل أو سيتم اقتراحه مستقبلاً إنما يتألف هو نفسه من

أكوان محتملة، ومن ثمّ فهو جزء من هذا الكيان الإجمالي الضخم، والذي سأطلق عليه اسم «الكون المتعدد المطلق». وفي داخل هذا الإطار، لو أنك تساءلت لماذا كوننا محكوم بالقوانين التي تكشف عنها أبحاثنا، فسيرجع الجواب إلى المبدأ الإنساني: فهناك أكوان أخرى موجودة، كل الأكوان الممكنة في حقيقة الأمر، ونحن نسكن الأكوان التي نسكنها لأنها هي وحدها التي تدعم ذَلكَ الشكل من أشكال الحياة. وفي الأكوان الأخرى التي بقدورنا العيش فيها - وهي وفيرة العدد لعدة أسباب منها أن بوسعنا البقاء في ظل تغييرات طفيفة في المؤشرات الفيزيائية الأساسية - فهناك أشخاص يشبهوننا يوجهون السؤال ذاته. وتنطبق الإجابة عينها عليهم بالمثل. المقصد هنا هو أن صفة الوجود لا تضفي على الكون أي مكانة خاصة، لأن في داخل الكون المتعدد المطلق كل الأكوان محتملة الوجود موجودة بالفعل. والسؤال المتعلق بالسبب الذي يجعل مجموعة معينة من القوانين تصف كونا حقيقيًا - كوننا – بينما بقيتها جميعاً محض تجريدات عقيمة. فلا توجد أي قوانين عقيمة. بل القوانين كلها تصف أكوانًا حقيقية.

ومن الغريب أن نوزيك ذكر أنّه داخل هذا الكون المتعدد ستوجد أكوان لا تحوي شيئاً على الإطلاق. فلا وجود لأي شيء بها. لا فضاء خاو وإنما ذَلكَ العلم الذي أشار إليه لايبنتس في سؤاله الشهير: «لماذا يوجد شيء بدلاً من لا شيء؟» لم يكن نوزيك يدري أن ملاحظته هذه وجدت صدى عميق داخلي. فعندما كنت في العاشرة أو الحادية عشرة من العمر قرأت سؤال لايبنتس ووجدته مقلق لأقصى حد. كنت أجوب غرفتي محاولاً تفهم ما يكون عليه اللاشيء، وعادة كنت أضع إحدى يدي خلّف رأسي، مفكرًا في أن محاولتي عمل المستحيل - رؤية يدي - من شأنها أن تعينني على استيعاب معنى الغياب التام. وحتى في وقتنا الحالي فإن التفكير في العدم الحقيقي المطلق يصيبني بالدوار. فالعدم التام، من منظورنا المعتاد على وجود الأشياء، يستتبع خسارة عميقة. لكنّ لأن عدم وجود شيء أبسط كثيراً من وجود أي شيء - فلا قوانين عاملة ولا مادة تتفاعل ولا فضاء نقطنه ولا زمن ينقضي - فإن سؤال لايبنتس يصيب كبد الحقيقة في نظر كثيرين. لماذا لا يوجد عدم تام؟ فالعدم كانَ من شأنه بالتأكيد أن يتسم بالأناقة.

في الكون المتعدد المطلق يوجد بالفعل كون يتألف من العدم التام. وعلى حد علمنا فإن العدم نتيجة منطقية ممكنة بالكامل ومن ثمّ يجب تضمينها داخل الكون المتعدد الذي يضم الأكوان كلها. إنّ إجابة نوزيك على لايبنتس، إذاً، هي أنّه في الكون المتعدد المطلق لا يوجد توازن مختل بين الشيء واللاشيء يحتاج إلى تفسير؛ إذ تعد الأكوان من النوعين جزءًا من هذا الكون المتعدد. ولا ينبغي أن يثير الكون المتألف من العدم تعجبنا. فسبب صعوبة إدراكنا نحن البشر لهذا العدم هو أننا نتألف من مادة ملموسة.

من شأن أي باحث نظري مدرب على الحديث بلغة الرياضيات أن يتفهم كون نوزيك المتعدد الشامل، وأن يرى أنّه ذَلكَ الكون الذي تتجسّد فيه كل المعادلات الرياضية ماديًا ـ إنه نسخة من قصة خورخي لويس بورخيس مكتبة بابل» التي فيها تكون كتب بابل مكتوبة بلغة الرياضيات، ومن ثمّ تحوي كل تتابعات الرموز الرياضية التي لها معنى ولا تتناقض ذاتيًا[168]. بعض الكتب تحوي معادلات مألوفة، مثل معادلات النسبية العامة أو ميكانيكا الكم، وهي مطبقة على جسيمات الطبيعة المعروفة. غير أن تتابعات الرموز الرياضية المعروفة هذه شديدة الندرة، وأغلب الكتب تحوي معادلات لم يدونها أحد من قبل قطّ، معادلات ينظر إليها في الطبيعي على أنها محض تجريدات. وينبني الكون المتعدد المطلق على فكرة التخلص من هذا المنظور المألوف. فلم تعد معظم المعادلات تقبع خاملة، بينما يجد منها عدد قليل للغاية طريقه إلى النور في الحياة عبر التجسيد المادي. بل عوضًا عن ذَلكَ فكل كتاب في مكتبة بابل الرياضية هو كون حقيقي في ذاته.

يقدم مقترح نوزيك، في صيغته الرياضية، إجابة ملموسة لسؤال أثار الجدل طويلاً.

فعلى مدار قرون تساءل الفلاسفة وعلماء الرياضيات عما إذاً كانت الرياضيات تكتشف أم تخترع. فهل

المفاهيم والحقائق الرياضية موجودة في مكان ما، تنتظر أن يعثر عليها مستكشف مقدام؟ أم هل بالنظر إلى أن ذَلكَ المستكشف من الأرجح أن يكون جالسًا إلى مكتبه، ممسكًا قلمًا ويخط رموزًا مبهمة على الورق، تكون المفاهيم والحقائق الرياضية الناتجة عن هذه العملية اختراعا وجزءا من بحث العقل عن النظام والأنماط؟

من الوهلة الأولى تقدم الطريقة البارعة التي تنطبق بها العديد من الرؤى الرياضية على الظواهر الفيزيائية دليلاً دامغًا على أن الرياضيات حقيقية. والأمثلة على ذَلكَ وفيرة. فبداية من النسبية العامة ووصولاً إلى ميكانيكا الكم وجد العلماء أن الاكتشافات الرياضية العديدة تشتمل كي تلائم التطبيق الفيزيائي. ويعد تنبؤ بول ديراك بوجود البوزيترون (الجسيم المضاد للإلكترون) مثالاً بسيطًا ومبهرًا في الوقت ذاته يؤكد هذه النقطة. ففي عام 1931 وفي أثناء حل بعض المعادلات الكمية الخاصة بحركة الإلكترون، وجد ديراك أن الحسابات الرياضية تقدم حلاً «دخيلاً»؛ يصف في ما يبدو حركة جسيم مطابق للإلكترون في ما عدا أنّه موجب الشحنة (بينما الإلكترون سالب الشحنة). وفي عام 1932 اكتشف ذَلكَ الجسيم على يد كارل أندرسون عن طريق الدراسة الدقيقة للأشعة الكونية التي تنهمر على الأرض من الفضاء. وبهذا أدى تلاعب ديراك ببعض الرموز الرياضية في دفاتره إلى الاكتشاف التجريبي لأولى جسيمات المادة المضادة في المختبر.

ومع ذَلكَ من الممكن أن يرد الشخص المتشكك قائلاً إنّ الرياضيات لا تزال تنبع من داخلنا. فقد شكلنا التطور بحيث نستطيع العثور على أنماط داخل البيئة، وكلما برعنا في فعل ذَلكَ أكثر، تنبأنا على نحو أفضل بكيفية عثورنا على الوجبة التالية. فالرياضيات، لغة الأنماط، ظهرت نتيجة لصلاحيتنا البيولوجية. وباستخدام تلك اللغة تمكنا من إضفاء المنهجية على عملية البحث عن أنماط، بحيث تجاوزنا تلك الأنماط المتعلقة بالبقاء على قيد الحياة وحسب. غير أن الرياضيات، شأنها شأن أي من الأدوات التي طورناها واستخدمناها عبر العصور، ما هي إلا اختراع بشري.

تتغير نظرتي إلى الرياضيات من حين إلى آخر. فعندما أكون منغمسًا وسط عملية استقصاء رياضية تسير في سلاسة، أشعر عادة أن العملية عملية اكتشاف، لا اختراع. فلا أعتقد أن ثمة شعوراً أكثر إثارة من مشاهدة الأجزاء المنفصلة لإحدى الأحجيات الرياضية وهي تتجمع فجأة معاً في صورة واحدة متناسقة. وحين يحدث هذا أشعر أن هذه الصورة كانت موجودة منذ البداية، مثل المشهد العريض الذي تحجبه شبورة الصباح. وعلى الجانب المقابل حين أستعرض الرياضيات على نحو أكثر موضوعية أجدني أقل اقتناعاً بهذا الرأي. فالمعرفة الرياضية هي المخرج الحرفي لبشر ملمين بلغة الرياضيات الدقيقة على نحو استثنائي. وكما هو الحال بالتأكيد مع الأدب المنتج وفق إحدى لغات العالم الطبيعية فإن الأدب الرياضي هو نتاج للبراعة والإبداع البشريين. لا يعني هذا أن أشكال الحياة الذكية الأخرى ستعجز عن التوصل إلى النتائج الرياضية عينها التي توصلنا إليها، فربما يحدث هذا. لكنّ من الممكن أن يعكس هذا تشابهات في خبراتنا (مثل الحاجة إلى العد والحاجة إلى المقايضة والحاجة إلى المسح، وهكذا) ومن ثمّ فلن يقدم إلا دليلاً واهيًا على أن للرياضيات وجودًا ساميًا.

منذ بضع سنوات، وفي مناقشة عامة حول الموضوع، قلت إنّ بوسعي أن تخيل مقابلة مع كائن فضائي يقول فيها الكائن عندما يتعرض إلى إحدى نظرياتنا العلمية: «آه، الرياضيات. أجل، لقد جربنا هذا لبعض الوقت. في البداية بدا الأمر واعدًا، لكنّ في النهاية وصلنا إلى طريق مسدود. دعني أريك كيف يعمل الأمر». غير أني لا أدري كيف سينهي الكائن عبارته، وفي ضوء التعريف الواسع للرياضيات (على سبيل المثال: الاستدلالات المنطقية النابعة من مجموعة من الافتراضات)، لست حتّى واثقًا من نوعية الإجابة التي لن تعد ضربًا من الرياضيات.

الكون المتعدد المطلق واضح تماماً حيال هذه القضية. فالرياضيات كلها حقيقية، بمعنى أن الرياضيات بجميع صورها تصف أكوان حقيقية. وعبر الكون المتعدد تجد كل صورة من الرياضيات تجسيد لها. فالكون المحكوم بمعادلات نيوتن ولا تقطنه إلا كرات بلياردو مصمتة (ليس لها أي بنية داخلية) هو كون حقيقي، والكون الخاوي الذي يضم 666 بعدًا مكانيًا ومحكوم بنسخة ذات أبعاد أعلى من معادلات آينشتاين هو كون حقيقي بالمثل. وإذا حدث أن كانَ الكائن الفضائي محقًا، فستكون هناك أيضاً أكوان يقع توصيفها خارج نطاق الرياضيات. لكنّ دعونا ننحي هذه الاحتمالية جانبًا. فالكون المتعدد الذي يجسد. كل المعادلات الرياضية سيكون كافيًا لإبقائنا مشغولين، هذا ما يقدمه لنا الكون المتعدد المطلق.

الأسباب المنطقية خلْف الكون المتعدد

إنّ مقترح الكون المتعدد المطلق يختلف عن مقترحات الأكوان الموازية الأخرى التي تعرضنا لها بالنقاش من حيث المنطق الذي يستند إليه. فنظريات الأكوان المتعددة الواردة في الفصول السابقة لم تكن محض اختلاق يهدف إلى حل مشكلة أو إجابة سؤال. بعضها كذلك بالفعل، أو يزعم على الأقل أنّه كذلك، لكنّها لم تنور لأجل هذا الغرض. ولقد رأينا أن بعض الباحثين النظريين يؤمنون أن الكون المتعدد الكمي يحلّ مشكلة القياس الكمي، والبعض يؤمن أن الكون المتعدد الدوري يحلّ مشكلة بداية الزمن، والبعض يؤمن أن الكون المتعدد الغشائي يوضح لماذا تتسم الجاذبية بهذا الضعف مقارنة بالقوى الأخرى، والبعض يؤمن أن كون المشهد المتعدد يفسر لنا القيمة المرصودة للطاقة المظلمة، والبعض يؤمن أن الكون المتعدد الهولوجرافي يفسر البيانات التي حصلنا عليها من تصادمات الأنوية الذرية الثقيلة. غير أن هذه التطبيقات ثانوية. فميكانيكا الكم طورت بهدف وصف العالم فائق الصغر، وطَوَر علم الكونيات التضخمي بهدف تفسير الخصائص المرصودة للكون، وطورت نظرية الأوتار بهدف التوفيق بين النسبية العامة وميكانيكا الكم. وما احتمالية أن تؤدي هذه النظريات إلى توليد أنواع مختلفة من الأكوان المتعددة إلا نتيجة ثانوية.

على النقيض من ذَلكَ فإن الكون المتعدد المطلق لا يتمتع بأي ثقل تفسيري في ما خلا افتراضه وجود كون متعدد. فهو يحقق هدفًا وحيدًا وحسب: أن يزيل من قائمة المهام مشروع العثور على تفسير التزام الكون بهذه المجموعة من القوانين الرياضية أو تلك، وهو يحقق هذا الإنجاز المنفرد عن طريق افتراض وجود كون متعدد. وهذا الكون المتعدد المطلق، المصاغ تحديدًا من أجل مواجهة قضية واحدة، يفتقر إلى الأسباب المنطقية التي تميز أنواع الكون المتعدد التي ناقشناها في الفصول السابقة.

هذه وجهة نظري، لكنّ لا يشاركني فيها الجميع. فثمة منظور فلسفي (يأتي من مدرسة فكرة تسمى الواقعية البنائية) يقترح أن الفيزيائيين ربما يكونوا قد وقعوا ضحية فصل زائف بين الرياضيات والفيزياء. فمن الشائع أن ينظر الفيزيائيون النظريون إلى الرياضيات بوصفها لغة كمية لوصف الواقع الفيزيائي، ولقد فعل هذا في معظم صفحات هذا الكتاب. ومع ذَلكَ فهذا المنظور يقترح أن الرياضيات ربما تتجاوز كونها محض وصف للواقع، وأن الرياضيات ربما تكون هي الواقع ذاته.

إنها فكرة عجيبة. فنحن لسنا معتادين على التفكير في الواقع بوصفه مؤلف من رياضيات غير ملموسة. تعد الأكوان المحاكاة المذكورة في القسم السابق طريقة مفيدة وملموسة للتفكير في الأمر. فكر في رد الفعل التلقائي الشهير، المتمثل في ركل حجر كبير، والذي صدر عن صامويل جونسون استجابة لزعم الأسقف بيركلي أن المادة ما هي إلا اختلاق من تلفيق العقل. بدلاً من ذَلكَ تخيل أن هذه الركلة حدثت، من دون معرفة د. جونسون، في داخل محاكاة حاسوبية افتراضية تتسم بالدقة العالية. في ذَلكَ العالم المحاكى سيكون شعور د. جونسون بركل الحجر مقنعًا بدرجة لا تقل عنه في النسخة التاريخية. ومع ذَلكَ فما المحاكاة الحاسبية إلا سلسلة من المعادلات الرياضية التي تأخذ الحالة التي عليها الجاسب في لحظة ما – نسق معقد من البتات - ثمّ تطورها وفق قواعد رياضية محددة إلى بتات أخرى تنتظم في أنساق تالية. هذا يعني أنك لو درست في حرص التحولات الرياضية التي أجراها الحاسب خلال رد فعل د. جونسون فسترى، في الحسابات الرياضية مباشرة، الركلة وارتداد قدمه، علاوة على الفكرة والعبارة الشهيرة التي رد بها: «أرفض هذا القول». وإذا أوصلت الحاسب بشاشة عرض (أو أي واجهة مستقبلية)، فسترى أن البتات المتراقصة وفق الأنماط الرياضية تجسد د. جونسون وركلته. لكنّ لا تدع الأمور الجانبية المتعلقة بالمحاكاة - العتاد الحاسوبي والواجهة المعقدة وما إلى ذَلكَ - تخفي الحقيقة الجوهرية التالية: أنّه أسفل كل

هذا لا يوجد شيء سوى الرياضيات. فإذا غيرت القواعد الرياضية فستشكل البتات واقعًا مختلفًا تماماً. لكنّ لماذا نتوقف عندَ هذا الحد؟ لقد وضع د. جونسون داخل المحاكاة لأن السياق يقدم رابطًا مفيدًا بين الرياضيات وواقع د. جونسون. غير أن المغزى الأعمق لهذا المنظور هي أن المحاكاة الحاسوبية خطوة وسيطة غير جوهرية، محض خطوة عقلية بين خبرة الشعور بعالم واقعي وتجريد المعادلات الرياضية. فالمعادلات الرياضية ذاتها - من خلال العلاقات التي تنشئها والروابط التي تقيمها والتحولات التي تجسدها - تضم بين ثناياها د. جونسون، كل أفكاره وأفعاله. فأنت لست بحاجة إلى حاسب آلي، ولا إلى بتات متراقصة؛ إذ إنّ د. جونسون جزء من الرياضيات ذاتها[169].

وبمجرد أن تتبنى الفكرة العامة القائلة بأن الرياضيات نفسها تستطيع أن تجسد، عبر بنيتها الجوهرية، جميع جوانب الواقع - العقول الواعية والأحجار الثقيلة والركلات القوية وأصابع القدم المتألمة - سيقودك هذا إلى تصوّر أن واقعنا ذاته ما هو إلا محض علاقات رياضية. ووفق هذا التفكير فإن كل شيء تعيه - إحساس حمل هذا الكتاب، والأفكار التي تراودك الآن، وخطط العشاء - ما هي إلا خبرات رياضية. فالواقع هو كيفية شعورنا بالرياضيات.

بطبيعة الحال يتطلب هذا المنظور قفزة مفاهيمية ليس الجميع مستعدين للإقدام عليها، وأنا عن نفسي لم أقدم عليها بعد. لكنّ في نظر أولئك القادرين على هذا فإن الرؤية الشاملة لا تقضي بأن الرياضيات الموجودة في الواقع وحسب، بل إنها هي الواقع ذاته. فأي مجموعة من المعادلات الرياضية، سواء أكانت معادلات نيوتن أم آينشتاين أم غير ذَلِكَ، لا تصير واقعًا حقيقيًا حين تظهر إلى النور كيانات فيزيائية تجسدها. بل إنّ الرياضيات - بكل صورها - واقع حقيقي بالفعل، ولا تتطلب تجسيدًا. فالمجموعات المختلفة من المعادلات الرياضية ما هي إلا أكوان مختلفة. ومن ثمّ فإن الكون المتعدد المطلق يعد نتاجًا جانبًا لهذا المنظور للرياضيات.

ماكس تجمارك، من معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، مناصر قوي لمفهوم الكون المتعدد المطلق (والذي سماه «فرضية الكون الرياضي»)، وهو يبرر هذا الرأي عبر فكرة ذات صلة. إنّ أعمق توصيفات الكون لا ينبغي أن يتطلب منا مفاهيم يعتمد معناها على الخبرة أو التأويل الإنسانيين. فالواقع يسمو فوق وجودنا ومن ثمّ لا ينبغي، بأي صورة جوهرية، أن يعتمد على أفكار من اختلاقنا. وتقضي نظرة تجمارك بأن الرياضيات - التي يفكر فيها بوصفها مجموعة العمليات (كعملية الجمع) التي تؤثر على مجموعات مجردة من الأشياء (كالأعداد)، بحيث تنتج علاقات متنوعة بينها (مثل: 1+2= 3) - هي تحديدًا اللغة المستخدمة في التعبير عن الحالة الإنسانية. لكنّ ما الذي يمكنه، إذاً، تمييز مجموعة المعادلات الرياضية عن الكون الذي تصوره؟ يرى تجمارك أن الإجابة هي لا شيء. فإذا كانَ ثمة وجود لسمة تميز الرياضيات عن الكون، فمن الحتمي أنها سمة غير رياضية، وإلا فسيجري استيعابها داخل التوصيف الرياضي، وهو ما يمحو أي تمييز مزعوم. لكنّ وفق هذا المنطق في التفكير فإذا كانت السمة غير رياضية، فمن الحتمي أن تحمل الطابع البشري، ومن ثمّ لا يمكن أن تكون جوهرية. ومن ثمّ فلا يوجد تمييز بين ما نسميه تقليداً الوصف الرياضي للواقع وبين التجسيد الرياضي لهذا الوصف. فهما الشيء نفسه. ولا يوجد مفتاح تشغيل للرياضيات. فالوجود الرياضي مرادف للوجود الفيزيائي. وبما أن هذا ينطبق على الرياضيات بكل صورها، فهو يمدنا بطريق آخر يقودنا نحو الكون المتعدد المطلق.

رغم أن كل هذه الحجج تثير الاهتمام عندَ تدبرها، فإنني ما زل متشككًا. فعند تقييم أي مقترح للأكوان المتعددة أجدني منحازًا إلى وجود عملية، مهما كانت بسيطة - تذبذب المجال التضخم، تصادمات بين الأغشية، انتقال كمي عبر مشهد نظرية الأوتار، موجة تتطور وفق معادلة شرودنجر - بوسعنا أن نتصور أنها تولد الكون المتعدد. وأفضل أن أبني تفكيري على تتابع للأحداث يمكنه، ولو من حيث المبدأ،

أن يؤدي إلى ظهور كون متعدد بعينه. في حالة الكون المتعدد المطلق من الصعب أن أتخيّل ماهية هذه العملية، إذ ستحتاج العملية إلى أن تؤدي إلى قوانين رياضية مختلفة في النطاقات المختلفة. في الكون المتعدد التضخمي وكون المشهد المتعدد رأينا أن التفاصيل المتعلقة بالكيفية التي تجسد بها قوانين الفيزياء نفسها يمكن أن تتفاوت من كون إلى آخر، بيد أن هذا يرجع إلى اختلافات بيئية، مثل قيم مجالات هيجز معينة أو شكل الأبعاد الإضافية. فالمعادلات الرياضية التي ينبني عليها كل هذا واحدة في كل الأكوان. إذاً ما هي العملية التي تعمل في حدود مجموعة معينة من القوانين الرياضية ويكون بوسعها أن تغير تلك القوانين الرياضية؟ من الجلي أن الأمر مستحيل، وكأن العدد خمسة يحاول جاهدًا أن يتحول إلى العدد ستة.

لكنّ قبل أن نركن إلى هذه النتيجة تدبر ما يلي: من الممكن أن توجد نطاقات تبدو وكأنها محكومة بقوانين رياضية متباينة. فكر في العوالم المحاكاة. عندَ مناقشة مثال د. جونسون في ما سبق استعن بالمحاكاة الحاسوبية كأداة تعليمية كي أفسر الكيفية التي يمكن بها للرياضيات أن تجسد جوهر الخبرة البشرية. لكنّ لو أننا تدبرنا عمليات المحاكاة هذه في حد ذاتها، كما نفعل في حالة الكون المتعدد المحاكى، سنرى أنها تقدم لنا العملية التي نحتاجها: فرغم أن العتاد الحاسوبي الذي جرى عليه عملية المحاكاة خاضع لقوانين الفيزياء، فإن العالم المحاكى نفسه سيكون مبنيا على معادلات رياضية من اختيار المستخدم. وفي المعتاد سوف تتابين القوانين الرياضية من محاكاة إلى أخرى.

وكما سنرى الآن فإن هذا يقدم لنا آلية لتوليد جزء معين متميز من الكون المتعدد المطلق.

ذكرت في موضع سابق أنّه في حالة نوعيات المعادلات التي ندرسها عادة في الفيزياء، لا تقدم عمليات المحاكاة الحاسوبية إلا صورًا مقربة وحسب من الحسابات الرياضية. هذه هي الحالة في المعتاد حين يكون الحاسب الرقمي بصدد التعامل مع الأعداد المتصلة. فمثلاً في الفيزياء الكلاسيكية (ولو افترضنا، حسب ما نفعل في الفيزياء الكلاسيكية، أن الزمان متصل) تمر الكرة المقذوفة بعدد لا نهائي من النقاط المختلفة بينما تنتقل من مكان الرامي إلى الميدان المفتوح[170]. وسيظل تتبع الكرة في عدد لا نهائي من المواضع، ولعدد لا نهائي من السرعات المحتملة في هذه المواضع، بعيداً عن متناولنا دائماً. في أفضل الأحوال باستطاعة أجهزة الكمبيوتر أن تؤدي حسابات شديدة الدقة لكنّها تظل تقريبية، بحيث تتتبع الكرة في كل جزء من المليون أو المليار أو التريليون من المتر مثلاً. هذا أمر ملائم لكثير من الأغراض، غير أنها تظل حسابات تقريبية. تساعد ميكانيكا الكم ونظرية المجال الكمي في بعض الجوانب، وذلك بأن استحدثتا صورا عديدة من عمليات التقسيم، إلا أن كلتيهما تعتمدان كثيراً على أعداد دائمة التغير (قيم موجات الاحتمالية وفيم المجالات وغير ذَلكَ). والمنطق نفسه ينطبق على كل المعادلات القياسية الأخرى في الفيزياء. فباستطاعة الكمبيوتر تقريب الحسابات، غير أنّه يعجز عن محاكاة المعادلات بدقة[171]. ومع ذَلكَ فثمة أنواع أخرى من الوظائف الرياضية يمكن فيها أن تتسم المحاكاة الحاسوبية بالدقة التامة. وهذه الوظائف جزء من فئة تسمى «الدوال الحسابية»، وهي الدوال التي يمكن تقييمها بواسطة كمبيوتر يجزي مجموعة متناهية من التعليمات المنفصلة. ربما يحتاج الكمبيوتر إلى أداء مجموعة من الخطوات على نحو متكرر، لكنه عاجلاً أم آجلاً سينتج الإجابة عينها. لا توجد حاجة لأي ابتكار أو تجديد في أي خطوة، فالأمر يتعلق وحسب بحساب النتيجة. عندَ محاكاة حركة الكرة المقذوفة عمليًا، إثراء برمج الحاسبات بمعادلات تكون تقريبات قابلة للحساب لقوانين الفيزياء التي تعلمناها في المرحلة الثانوية (في المعتاد الصورة الحاسوبية التقريبية للمكان والزمن المتصلين تكون على شكل شبكة دقيقة.)

على النقيض من ذَلكَ فإن أي كمبيوتر يحاول أن يحسب دالة غير قابلة للحساب سوف يعمل بصورة لا نهائية من دون الوصول إلى إجابة، مهما كانت سرعته أو سعة ذاكرته. سيكون هذا هو موقف أي كمبيوتر يسعى إلى حساب المسار المتصل الدقيق للكرة المقذوفة. ومن أجل الاطلاع على مثال نوعي أوضح تخيل كونًا محاكى يكون فيه جهاز الكمبيوتر مبرمجًا على تقديم طاه محاكى شديد الكفاءة يطهو وجبات من أجل كل السكان داخل المحاكاة - فقط أولئك الموجودون داخل المحاكاة - الذين لا يطهون لأنفسهم. وبينما ينخرط الطاهي في الخبز والقلي والشي، يجد أن شهيته صارت مفتوحة لتناول الطعام.

والسؤال الآن هو: من الذي أوكل لهُ الكمبيوتر مهمة إطعام الطاهي؟[172] لو فكرت في الأمر ستحتار كثيراً. فالطاهي لا يستطيع أن يطهو لنفسه لأنه يطهو فقط لمن لا يستطيعون الطهي لأنفسهم، لكنّ لو لم يطهو الطاهي لنفسه فسيكون من ضمن المجموعة التي من المفترض به أن يطهو لها. تأكد من أن الكمبيوتر سيواجه الحيرة ذاتها التي تواجهها أنت. تشبه الدوال غير القابلة للحساب هذا المثال: الكمبيوتر على إكمال العملية الحسابية، ومن ثمّ فإن المحاكاة التي سوف تتوقف. وبهذا فإن الأكوان الناجحة التي تؤلف الكون المتعدد مبنية على دوال حسابية.

تقترح هذه المناقشة وجود تداخل بين الكون المتعدد المحاكى المطلق. فكر في نسخة مبسطة للكون المتعدد المطلق تتضمن فقط عن دوال حسابية. بعد ذَلكَ، وبدلاً من اعتبار هذا الكون المتعدد المطلق إجابة لسؤال بعينه - هو: لماذا هذا الكون حقيقي بينما الأكوان الممكنه كذلك؟ - فإن بوسعه أن يظهر

نتيجة إحدى العمليات. فبمقدور جيش من مستخدمي الكمبيوتر المستقبليين المتحمسين، الذي ربما لا يختلفون كثيراً عن ممارسي لعبة (الحياة الثانية) المتحمسين، أن ينتجوا هذا الكون المتعدد بفضل و عمليات محاكاة مبنية على معادلات دائمة الاختلاف. لن يولد هؤلاء الأكوان التي تحويها مكتبة بابل الرياضية، لأن تلك الأكوان المبنية غير قابلة للحساب لن تقوم لها قائمة. غير أن بمقدور المستخدمين العمل باستمرار داخل قسم الدوال الحسابية من المكتبة.

توسع يورجن شميدهوبر، اختصاصي علم الحاسب، في الأفكار التي سبق و قدمها زوس وتوصل إلى نتيجة مشابهة من زاوية مختلفة. فقد أدرك شميدهوبر أن برمجة كمبيوتر واحد من أجل توليد كل الأكوان المحتملة أيسر في حقيقة الأمر من برمجة أجهزة كمبيوتر متعددة من أجل توليد هذه الأكوان واحدا تلو الأخر ولمعرفة السبب تخيل أنك برمجت جهاز كمبيوتر من أجل محاكاة مباريات البيسبول إن كم المعلومات التي تحتاجها لكل مباراة منفصلة كمية هائلة: كل تفصيلة تتعلق بكل لاعب بدينة كانت أم ذهنية، وكل تفصيلة تخص الملعب والحكام والطقس وغير دلك من أمور. وكل مباراة جديدة تحاكيها تتطلب منك جَبلاً جديدًا من البيانات ومع دالك لو أنك قررت ألاّ تحاكي مباراة واحدة أو بضع مباريات، وإنما قررت أن تحاكي كل مباراة محتملة، فستكون مهمة البرمجة التي تؤديها أسهل بكثير؛ إذ ستحتاج فقط إلى بناء برنامج رئيسي واحد يشق طريقه على نحو منهجي عبر كل متغير محتمل تلك المتغيرات التي تؤثر على اللاعبين وعلى البيئة وعلى كل سمة دات صلة ثم تدع برنامج يعمل إن عثور على مباراة واحدة معينة ضمن العدد الهائل من المباريات الناتجة سيكون أمرًا صعباً لكنك ستكون متأكدًا ان كل مباراة محتملة ستظهر للوجود إن عاجلاً أو أجلاً المقصد هو أنّه بينما يتطلب تحديد عضو واحد ضمن مجموعة كبيرة قدرًا كبيراً من المعلومات، فإن تحديد المجموعة كلها من الممكن عادة أن يكون أسهل بكثير. وقدْ وجد شميدهوبر أن هذه النتيجة تنطبق على الأكوان المحاكاة. فالمبرمج الذي يطلب منه محاكاة مجموعة من الأكوان المبنية على مجموعات محددة من المعادلات الرياضية من الممكن أن يختار السبيل الأسهل لذلك: فشأن أي متحمس لمباريات البيسبول يمكنه أن يكتب برنامجًا واحدًا قصيرًا نسبيًا من شأنه أن يولد «كل» الأكوان القابلة للحساب، ثمّ يترك العنان للكمبيوتر. وفي موضع ما وسط مجموعة الأكوان المحاكاة الهائلة الناتجة سيعثر المبرمج على تلك الأكوان التي جرى الاستعانة بها كي يحاكيها. لن أود أن أدفع تكلفة تشغيل الكمبيوتر بالساعة لأن الوقت المستغرق في توليد هذه الأكوان سيكون هائلاً بالمثل. غير أني لن أمانع في أن أدفع للمبرمج بالساعة لأن التعليمات الموضوعة من أجل توليد كل الأكوان القابلة للحساب ستكون أقل كثافة من تلك المطلوبة من أجل توليد أي كون محدد بعينه[173].

من الممكن توليد الكون المتعدد المحاكى وفق أي من هذين السيناريوهين؛ إما عبر وجود عدد كبير من المستخدمين الذي يولدون عدداً كبيراً من الأكوان المحاكاة، أو وجود برنامج رئيسي يحاكي الأكوان كلها. ونظرًا لأن الأكوان الناتجة ستكون مبنية على مجموعة واسعة من القوانين الرياضية المختلفة، بوسعنا التفكير كذلك في هذين السيناريوهين بوصفهما يولدان جزءًا من الكون المتعدد المطلق: بحيث يكون الجزء الذي يتضمن الأكوان المختلفة مبنيًا على دوال رياضية حسابية[174].

يتمثل أحد عيوب توليد جزء وحسب من الكون المتعدد المطلق في أن هذه النسخة المبسطة ستكون أقل فاعلية في مواجهة القضية التي ألهمت «مبدأ الخصوبة» الخاص بنوزيك في المقام الأول. فإذا لم تكن كل الأكوان المحتملة موجودة بالفعل، وإذا لم يتم توليد الكون المتعدد المطلق بالكامل، فيعاود السؤال المتعلق بسبب تجسد بعض المعادلات وعدم تجسد بعضها الآخر الظهور مجددًا. وتحديدًا، نظل نتساءل

لماذا تستأثر الأكوان المبنية على المعادلات القابلة للحساب بالاهتمام كله.
وإذا واصلنا اتباع النهج التخيلي الجامح الذي يقوم عليه هذا الفصل سنقول إنَّذلكَ الفصل بين ما هو قابل للحساب وما هو غير قابل ربما يخبرنا شيئاً ما. فالمعادلات الرياضية القابلة للحساب تتجنب القضايا الشائكة التي أثيرت في منتصف القرن الماضي على يد مفكرين ثاقبين أمثال كيرت جودل وآلان تورينج وألونزو تشيرش. تبين مبرهنة عدم الاكتمال لجودل أن ثمة منظومات رياضية معينة تسمح بالضرورة بوجود عبارات صحيحة لا يمكن إثباتها من داخل المنظومة الرياضية عينها. لطالما تساءل الفيزيائيون عن التبعات المحتملة لأفكار جودل على أعمالهم. فهل من الممكن أن تكون الفيزياء، هي الأخرى، غير مكتملة بالضرورة، بمعنى أن بعض سمات العالم الطبيعي ستستعصي إلى الأبد على التوصيف الرياضي؟ في سياق الكون المتعدد المطلق المبسط الإجابة هي لا. فالدوال الرياضية الحسابية، حسب تعريفها، تقع تماماً داخل نطاق الحساب. فهي الدوال ذاتها التي تقر بوجود إجراء يمكن عن طريقه للحاسب أن يقيمها. وهكذا، لو كانَ جميع الأكوان الموجودة داخل كون متعدد مبنية على دوال حسابية، فسوف تتفادى جميعها الوقوع تحت طائلة مبرهنة جودل، من شأن هذا الجناح من مكتبة بابل الرياضية، هذه النسخة من الكون المتعدد المطلق، أن تتحرر من شبح جودل. وربما هذا هو ما يميز الدوال الحسابية.
هل سيجد كوننا مكانا لهُ في هذا الكون المتعدد؟ بمعنى، لو حدث أننا وضعنا أيدينا على القوانين النهائية للفيزياء، فهل سنجد أن تلك القوانين تصف الكون باستخدام الدوال الرياضية القابلة للحساب؟ لا نعني بهذا الدوال القابلة للحساب التقريبية، كما في حالة قوانين الفيزياء التي نستخدمها اليوم. لكنّ هل ستكون قابلة للحساب بكل دقة؟ لا أحد يدري. وإذا كانَ الحال كذلك فمن المفترض أن تؤدي التطورات في الفيزياء إلى دفعنا نحو نظريات لا تلعب فيها الاستمرارية أي دور. ومن المفترض أن تكون الهيمنة للتقسيم، وهو جوهر النموذج الإرشادي الحوسبي. بالتأكيد يبدو المكان متصلاً، لكننا لم نستكشفه إلا إلى نطاق جزء من مليار مليار جزء من المتر. ومن المحتمل أن نتمكن ذات يوم باستخدام معدات استكشاف أدق من إثبات أن المكان يتسم بالتقسيم في جوهره، لكنّ في وقتنا الحالي تظل هذه المسألة مفتوحة دون حسم. ينطبق فهم محدود مشابه على الفترات الزمنية. إنّ الاكتشافات المعروضة في الفصل التاسع، التي تحدد السعة المعلوماتية بأنها تساوي يا واحدًا لكل منطقة مكانية لها حجم بلانك، تشكل خطوة عظيمة في اتجاه التقسيم. غير أن قضية المدى الذي يمكن به تبني النموذج الرقمي تظل بعيدة عن الحسم[175].
وأخمن أننا سواء توصلنا إلى عمليات محاكاة تتسم بالوعي أم لا، فسنجد في الواقع أن العالم يتصف في جوهره بالتقسيم.

جذور الواقع

في الكون المتعدد المحاكي لا يوجد غموض بشأن أي كون هو الكون «الحقيقي»؛ بمعنى أي كون يقع عندَ جذور شجرة العوالم المحاكاة المتفرعة. فهذا هو الكون الذي يأوي تلك الحاسبات التي من شأنها لو تعطلت أن تطيح بهذا الكون المتعدد بالكامل. ربما يقوم سكان أحد الأكوان المحاكاة بصنع مجموعتهم الخاصة من الأكوان على حواسيبهم، وربما يقوم سكان تلك الأكوان بدورهم بفعل ذلك، لكنّ ستظل هناك حاسبات حقيقية تبدو عليها كل عمليات المحاكاة هذه وكأنها تيار من النبضات الكهربية. فلا وجود لأي شك بشأن أي الحقائق والأنماط والقوانين، بالمعنى التقليدي، هي الحقيقية: فهي تلك التي توجد في الكون القابع عندَ الجذر.

ومع ذَلكَ فإن العلماء الموجودون في أرجاء الكون المتعدد المحاكى ربما يكون منظورهم مختلفًا. فإذا سمح لهؤلاء العلماء بقدر كافي من الاستقلالية - لو لم يكن المحاكون يعبثون إلا في ما ندر بذكريات سكان هذه العوالم أو يعبثون بالتتابع الطبيعي للأحداث - فمن خلال خبراتنا نتوقع أنهم سوف يحققون تقدمًا عظيماً على سبيل الكشف عن الكود الرياضي الذي يحرك عالمهم. وسوف يعاملون هذا الكود بوصفه قانون الطبيعة الأساسي. ومع ذَلكَ فإن قوانينهم لن تكون مطابقة بالضرورة للقوانين التي تحكم الكون الحقيقي. فقوانينهم تحتاج فقط إلى أن تكون جيدة بما يكفي، بمعنى أنّه حين تجري المحاكاة على الحاسب فإنها تؤدي إلى كون ذي كائنات واعية. ولو كانَ ثمة وجود لمجموعات عديدة متمايزة من القوانين الرياضية الجيدة بما يكفي، فمن الممكن أن تكون هناك مجموعة متزايدة من العلماء المؤمنين بقوانين رياضية لا تتصف بأنها جوهرية وإنما جرى اختيارها ببساطة من قبل من قاموا ببرمجة المحاكاة التي ينتمي إليها هؤلاء العلماء أيا كانَ. ولو كنا من قاطني كون متعدد كهذا فإن هذا المنطق يقترح أن ما نعتبره علماً من وجهة نظرنا، أي ذَلكَ المنهج المعني بالكشف عن الحقائق الجوهرية للواقع – الواقع الأصلي، الجذر، الموجود عندَ قاعدة الشجرة - من شأنه أن يقوض تماماً.

إنها احتمالية غير مريحة، لكنّها لا تقض مضجعي ليلاً بالتأكيد. وإلى أن أرى بعيني محاكاة واعية تثير انبهاري فلن أتدبر بجدية احتمالية أنني حالياً جزء من واحدة. وعلى المدى البعيد، حتّى لو نُفذَت عمليات محاكاة واعية ذات يوم - وهذا في حد ذاته موضع شك كبير - فأتصور أنه حين تتيح القدرات التكنولوجية هذا للمرة الأولى فسيكون إغراء القيام بها هائلاً. لكن هل سيستمر هذا الإغراء طويلاً؟ أعتقد أن الإحساس بالجِدَة الناتج عن خلق عوالم اصطناعية يجهل قاطنوها أنهم محض محاكاة سريعاً ما سيخبو، فهناك قدر كبير من عروض التلفاز الواقعي موجود بالفعل.

بدلاً من ذلك، لو سمحتُ لخيالي أن يتحرر داخل هذا النطاق الافتراضي بالكامل، أتوقع أن القوة الحقيقية ستكمن داخل التطبيقات التي طورت التفاعلات بين العوالم الحقيقية والمحاكاة. ربما يتمكن قاطنو العوالم المحاكاة من الهجرة إلى العالم الواقعي، أو أن ينضم إليهم في عالمهم المُحاكى نظراؤهم البيولوجيون الحقيقيون. ومع مرور الوقت سيصبح التمييز بين الكائنات الحقيقية والمحاكاة غير ذي معنى. أرى أن هذا الاتحاد السلس هو النتيجة الأكثر ترجيحًا. وفي تلك الحالة من شأن الكون المتعدد المحاكي أن يسهم في حيز الواقع الممتد – حيز واقعنا، واقعنا الحقيقي - بأقوى الصور الملموسة. ومن شأنه أن يصير جزءًا لا يتجزأ مما نعنيه بكلمة «الواقع».

الفصل الحادي عشر
حدود الاستقصاء
الكون المتعدد والمستقبل

فتح إسحاق نيوتن باب المشروع العلمي على مصراعيه؛ إذ اكتشف أن باستطاعة معادلات رياضية قليلة أن تصف كيفية تحرك الأشياء، سواء هنا على الأرض أو في الفضاء. وبالنظر إلى قوة وبساطة النتائج التي توصل إليها، كان بوسعنا أن نتخيَل أن معادلات نيوتن تعكس حقائق أبدية محفورة في نسيج الكون. غير أن نيوتن نفسه لم يكن يظن ذلك؛ إذ كان يؤمن أن الكون أكثر ثراءً وغموضًا بكثير مما توحي به قوانينه، وفي وقت متأخر من حياته قال عبارته الشهيرة: «أنا لا أعرف كيف أبدو للعالم، غير أني أرى نفسي كصبي يلعب على شاطئ البحر، أتسلى من حين لآخر بإيجاد حصاة ناعمة أو قوقعة جميلة للغاية، لكن في الواقع هناك محيط كبير من الحقائق غير المكتشفة ما زال أمامي.» وقد أكدت القرون التالية على صحة قوله هذا.

يسعدني هذا الأمر. فإذا كانت معادلات نيوتن تتمتع بمدى لا نهائي، بحيث تصف بدقة الظواهر في أي سياق، كبير كانَ أم صغير، خفيف أم ثقيل، سريع أم بطيء، كانت رحلة العلم من بعده ستتخذ شكلاً شديد الاختلاف. إن معادلات نيوتن تعلمنا الكثير عن العالم، غير أن صحتها غير المحدودة كان من شأنها أن تعني أن الكون له نكهة وحيدة وحسب، في كل مكان. وبمجرد أن تفهم الفيزياء العاملة على نطاقات الحياة اليومية ستكون هذه نهاية المطاف. والأمر عينه يسري على كل النطاقات، من أكبرها إلى أصغرها.

واصل العلماء عمليات الاستكشاف التي بدءها نيوتن، ووصلوا إلى عوالِم بعيدة للغاية عن متناول معادلاته. وقد تطلب ما تعلمناه تغييرات كاسحة في فهمنا لطبيعة الواقع، وهي تغييرات ليست هينة على الإطلاق، وهي محل تمحيص دقيق من جانب مجتمع العلماء، وكثيراً ما تُقاوَم بقوة، ولا تُعتَنَق أي نظرة جديدة إلا بعد تراكم الأدلة الداعمة لها. وهذا هو الموقف كما ينبغي أن يكون. فلا توجد حاجة إلى التعجل في الحُكم. فالحقيقة ستنتظر.

تتمثل الحقيقة المحورية، التي تأكدت بأوضح صورة خلال السنوات المائة الأخيرة من التقدم على المستويين النظري والتجريبي، في أن الخبرة المعتادة ليست مرشدًا جديرًا بالثقة في النطاقات التي تتجاوز ظروف الحياة اليومية. لكن رغم كل الخصائص الفيزيائية الثورية الجديدة التي تقابلها في الظروف المتطرفة - والتي تصفها النسبية العامة وميكانيكا الكم ونظرية الأوتار، لو ثبتت صحة هذه الأخيرة - فإن حقيقة احتياجنا إلى أفكار ثورية جديدة ليست بالأمر المفاجئ. فالافتراض الأساسي للعلم هو أن أوجه الانتظام والأنماط موجودة على كل النطاقات، لكن كما توقع نيوتن نفسه فلا يوجد سبب يدعونا إلى توقع أن الأنماط التي تتعرض لها مباشرة ستتكرر على كل النطاقات كما هي تمامًا. فالمفاجأة ستمثل في عدم عثورنا على أي مفاجآت.

الأمر عينه ينطبق من دون شك على ما ستكشف عنه الفيزياء في المستقبل. ليس بمقدور أي جيل بعينه من العلماء أن يعرف ما إذا كانت النظرة الطويلة المدى للتاريخ ستحكم على عملهم بأنه محض تسلية، افتتان عابر، أم خطوة على الطريق الصحيح، أم عمل يكشف عن حقائق عميقة ستجتاز اختبار الزمن. وهذا الشك المتأصل تعادله واحدة من أكثر سمات الفيزياء إشباعًا - وهي الاستقرار العام - بمعنى أن النظريات الجديدة في المعتاد لا تمحو تلك التي حلت محلها. وكما ناقشنا فبينما قد تتطلب النظريات الجديدة التأقلم مع منظورات جديدة بشأن طبيعة الواقع، فإنها في معظم الأحيان لا تجعل الاكتشافات السابقة عليها عديمة القيمة، بل عوضًا عن ذلك فإنها تستوعبها داخلها وتتوسع فيها. ولهذا السبب تتسم

قصة الفيزياء بهذا القدر المثير للإعجاب من الترابط والاتساق.

استكشفنا في هذا الكتاب تطورًا جديدًا محتملًا في هذه القصة: احتمالية أن يكون كوننا جزءًا من كون متعدد. وقد أخذتنا الرحلة عبر تسع صور مختلفة من الأكوان المتعددة، والتي يلخصها الجدول 11-1. ورغم أن المقترحات المختلفة تتباين كثيرًا من حيث التفاصيل، فإنها تقترح جميعًا أن الصورة المنطقية الشائعة لدينا عن الواقع هي إلا جزء من كلٍّ أكبر. وكل هذه المقترحات تحمل البصمة التي لا تُمحى للبراعة والإبداع البشريين. غير أن تحديد ما إذا كان أيُ من هذه الأفكار يتجاوز نطاق التأمين الرياضي للعقل البشري سوف يتطلب قدرًا من الرؤى والمعرفة والحسابات والتجارب والمشاهدات يزيد على ذلك الذي حققناه إلى الآن. ومن ثم فإن التقدير النهائي لما إ كانت الأكوان الموازية ستكون موجودة في الفصل التالي من قصة الفيزياء أم لا سوف ينتظر المنظور الذي لا يمكن إلا للمستقبل أن يجلبه.

جدول 11-1: ملخص للنسخ المختلفة من الكوان الموازية

مُقتَرح الكون الموازي	الوصف
الكون المتعدد المنسوج	الظروف الموجودة في كون لا متناهي من الحتمي أن تتكرر في أرجاء الفضاء، وتنتج لنا عوالِم موازية.
الكون المتعدد التضخمي	التضخم الكوني الأبدي يؤدي إلى شبكة ضخمة من الفقاعات الكونية، والتي يُعد كوننا أحدها.
الكون المتعدد الغشائي	في سيناريو الكون المتعدد الغشائي لنظرية الأوتار/ النظرية إم، يوجد كوننا على غشاء ثلاثي الأبعاد، يطفو في حيز مكاني ذي أبعاد أعلى تقطنه أغشية أخرى؛ أي أكوان موازية أخرى.
الكون المتعدد الدوري	من الممكن أن تؤدي التصادمات بين العوالِم الغشائية إلى بدايات شبيهة بالانفجار العظيم، وتنتج أكوانًا موازية في الزمن.
كون المشهد المتعدد	عن طريق الجمع بين علم الكونيات التضخمي ونظرية الأوتار، من الممكن أن تؤدي الصور العديدة المختلفة للأبعاد الإضافية في نظرية الأوتار إلى ظهور العديد من الفقاعات الكونية المختلفة.
الكون المتعدد الكمي	تقترح ميكانيكا الكم أن كل احتمالية مُتضَمنَة داخل موجات الاحتمالية الخاصة بها تتجسّد في واحدٍ من مجموعة الأكوان الموازية الشاسعة.
الكون المتعدد الهولوجرفي	يذهب المبدأ الهولوجرافي إلى أن كوننا هو انعكاس تام لظواهر تحدث على سطح مطوَق بعيد، وهو مكافئ فيزيائي لكون موازٍ.
الكون المتعدد المُحاكى	تقترح القفزات التكنولوجية أن الأكوان المُحاكاة يمكن أن تكون ممكنة ذات يوم.
الكون المتعدد المُطلق	يذهب مبدأ الخصوبة إلى أن كل كون محتمل الوجود هو كون حقيقي بالفعل، ومن ثم فإنه يتحاشى السؤال المتعلق بسبب الخصوصية التي يتمتع بها كون محتمل بعينه، هو كوننا. وهذه الأكوان تجسد كل المعادلات الرياضية المحتملة.

إن ما يسري على كتاب الطبيعة المجازي يسري كذلك على كتابنا هذا. وفي هذا الفصل الختامي يسعدني أن أجمع كل أجزاء الصورة معًا وأن أجيب على السؤال الأهم المتعلق بالموضوع: هل نعيش في كون واحد أم في كون متعدد؟ لكن ليس بوسعي عمل ذلك. فهذه هي طبيعة الاستكشافات التي تجري على التخوم البعيدة للمعرفة. وبدلاً من ذلك فلكي أعرض لمحة عن الاتجاه المحتمل لمفهوم الكون المتعدد،

وأوضحُ كذلك أبرز السمات الرئيسية لموقفه الحالي، سأورد في ما يلي خمسة أسئلة أساسية سيواصل الفيزيائيون محاولة الإجابة عنها في السنوات القادمة.

هل النمط الكوبرنيكي نمط أساسي؟

تلعب أوجه الانتظام والأنماط، الواضحة من خلال المشاهدات وفي الحسابات الرياضية، دوًرا أساسيًا في صياغة القوانين الفيزيائية. أيضًا يشيع وجود أنماط من نوع مختلف في طبيعة القوانين الفيزيائية التي يتقبلها كل جيل متعاقب. وهذه الأنماط تعكس الكيفية التي غير بها الاكتشاف العلمي منظور البشرية بشأن موقعها داخل النظام الكوني. على مدار نحو خمسة قرون ظل التقدم الكوبرنيكي هو السمة المهيمنة. فمن شروق الشمس وغروبها، إلى حركة الكوكبات عبر سماء الليل، إلى الدور الجوهري الذي يلعبه كل شخص منا في عالمنا العقلي الذاتي، تكثر الخبرات التي تشير إلى أن البشر هم محور الكون. غير أن الطرق الموضوعية للاكتشاف العلمي دأبت على تصحيح هذا المنظور. ومع كل منعطف جديد كنا نكتشف أنه لو لم يكن للبشر وجود، ما كان ذلك ليؤثر على النظام الكوني. لقد تعين علينا التخلي عن إيماننا بمركزية الأرض وسط الأجرام الكونية المحيطة، ومركزية الشمس وسط المجرة، ومركزية المجرة وسط غيرها من المجرات، بل ومركزية البروتونات والنيوترونات والإلكترونات - المادة التي تتألف منها أجسادنا - داخل الوصفة الكونية. فيما مضى كانت الأدلّة المخالفة لأوهام العظمة الجماعية يُنظَر إليها على أنها هجوم صريح على مكانة الإنسان. لكن بالممارسة، تحسنت قدرتنا على تقدير قيمة ذَلك التنوير.

الرحلة التي استعرضناها في هذا الكتاب ربما تؤدي بنا إلى التصحيح الأكبر للنظرة الكوبرنيكية. فكوننا ذاته ربما لا يشغل موقعًا مركزيًا داخل أي نظام كوني أكبر. وكما هو حال كواكب مجموعتنا الشمسية وشمسنا ومجرتنا، ربما يكون كوننا مجرد عضو واحد في مجموعة كبيرة من الأكوان. وفكرة أن الواقع المبني على كون متعدد تبسط النمط الكوبرنيكى وربما تكمله إنما هي مصدر للتعجب. لكن ثمة حقيقة محورية تُعلي مفهوم الكون المتعدد فوق منزلة التخمين الكسول، ولقد قابلنا هذه الحقيقة مرارًا. لم يشرع العلماء بعد في محاولة العثور على طرق لبسط الثورة الكوبرنيكية، ولِم يعكفوا داخل مختبراتهم المظلمة على التخطيط لطرق تمكنهم من إكمال النمط الكوبرنيكى. بدلاً من ذَلكَ فقد دأب العلماء على فعل ما يفعلونه دومًا: فباستخدام البيانات والمشاهدات كمرشد لهم، قاموا بصياغة نظريات رياضية بغية وصف المكونات الأساسية للمادة والقوى التي تحكم سلوك تلك المكونات وتفاعلاتها وتطورها. ومن المثير للدهشة أن العلماء حين تتبعوا المسار الذي ترسمه هذه النظريات، وجدوا أنفسهم يصطدمون باحتمالية وجود كون متعدد تلو الآخر. وإذا سلكت عددًا كبيرًا من الطرق العلمية التي قطعها العلماء، وتحليت بالانتباه الكافي، فستواجه تشكيلة متنوعة من الأكوان المتعددة المقترحة. وتحاشي هذه الأكوان المتعددة أصعب من العثور عليها.

ربما تلقي الاكتشافات المستقبلية ضوءًا مختلفًا على سلسلة التصحيحات الكوبرنيكية.

لكن من منظورنا الحالي، كلما زاد فهمنا، بدا أننا أقل مركزية. وإذا واصلت الاعتبارات العلمية التي ناقشناها في الفصول السابقة دفعنا نحو تفسيرات قائمة على مفهوم الكون المتعدد، فستكون تلك هي الخطوة الطبيعية التالية نحو إكمال الثورة الكوبرنيكية، التي استغرقت حتّى الآن خمسمائة عام.

هل النظريات العلمية التي تستعين بمفهوم الكون المتعدد قابلة للاختبار؟

رغم أن مفهوم الكون المتعدد يتوافق توافقًا تامًا مع القالب الكوبرنيكي، فإنه يختلف نوعيًا عن ارتحالاتنا السابقة عن موضعنا المركزي. فعن طريق استحضار عوالِم ربما تقع إلى الأبد خارج نطاق قدرتنا على الدراسة - سواء بأي درجة من الدقة، أو حتّى على الإطلاق في بعض الحالات - يبدو أن الأكوان المتعددة تقيم حواجز أساسية تعيقنا عن المعرفة العلمية. وبصرف النظر عن رأي المرء في موضع

البشرية داخل النظام الكوني، فثمة افتراض شائع مفاده أن من خلال التجريب والرصد والحسابات الرياضية الدءوبة تصير قدرتنا على اكتساب الفهم الأعمق لا نهائية. لكن لو أننا جزء من كون متعدد، فمن المنطقي أن نتوقع أن بإمكاننا في أفضل الأحوال معرفة الكثير عن كوننا، عن ركننا الصغير. في ذَلك الكون الأكبر الشامل. وما هو أكثر إثارة للإحباط هو القلق من أننا عن طريق استحضار مفهوم الكون المتعدد فإننا ندخل نطاقًا من النظريات التي لا يمكن اختبارها؛ نظريات تعتمد على قصص «تُقبَل على علاتها»، وهو ما يحيل كل شيء نرصده إلى منزلة متدنية باعتباره «الحال الذي تصادف أن تكون عليه الأمور هنا وحسب».

ومع ذَلك فإن مفهوم الكون المتعدد، كما أوضحت، أكثر تعقيدًا من هذا. فلقد رأينا سبلًا عديدة يمكن بها لأي نظرية تتضمن كونا متعددًا أن تقدم تنبؤات قابلة للاختبار. على سبيل المثال، رغم أن الأكوان المحددة التي تؤلف أي كون متعدد قد تتباين تباينًا كبيرًا في ما بينها، فمن الممكن أن تشترك هذه النظريات في سمات عامة بسبب حقيقة أنها تنبع من نظرية واحدة مشتركة. والفشل في العثور على تلك السمات، عن طريق القياسات التي نجريها هنا في الكون الوحيد الذي يمكننا الوصول إليه، من شأنه أن يثبت خطأ مُقترَح الكون المتعدد. أماً تأكيد وجود تلك السمات، خاصة لو كانت جديدة، فسيعزز ثقتنا في صحة المُقترَح.

وإذا لم توجد أي سمات مشتركة بين الأكوان كلها، فمن الممكن أن تقدم علاقات الارتباط بين السمات الفيزيائية طبقة جديدة من التنبؤات القابلة للاختبار. على سبيل المثال، رأينا أنه لو كانت كل الأكوان التي تتضمن في قائمة جسيماتها إلكترونًا تتضمن كذلك نوعًا من الجسيمات غير مرصود بعد، فإن الفشل في العثور على هذا الجسيم عبر التجارب المُجراة هنا في كوننا من شأنه أن يستبعد مُقترَح الكون المتعدد هذا. ومن شأن تأكيد وجوده أن يعزز ثقتنا فيه. وبالمثل فإن علاقات الارتباط الأكثر تعقيدًا - مثل القول بأن الأكوان التي تتضمن في قائمة جسيماتها كل الجسيمات المعروفة (الإلكترونات والميونات والكواركات العلوية والكواركات السلفية وما إلى ذَلك). تحتوي بالضرورة على نوع جديد من الجسيمات - يمكن أن تقدم تنبؤات قابلة للاختبار والدحض.

في غياب علاقات الارتباط الوثيق هذه فإن الطريقة التي تتباين بها السمات الفيزيائية من كون إلى آخر يمكن أيضًا أن تقدم تنبؤات. فعبر أي كون متعدد، مثلاً، ربما يتخذ الثابت الكوني نطاقًا عريضًا من القيم. لكن لو الغالبية العظمى للأكوان تمتلك قيمة للثابت الكوني تتفق مع تلك التي وجدتها القياسات هنا (كما هو موضح في الشكل 7-1) فستنمو ثقتنا في ذَلكَ الكون المتعدد عن حق.

وأخيرًا،حتّى لو كانت خصائص معظم الأكوان داخل أي كون متعدد تختلف عن خصائص كوننا، ثمة إجراء تشخيصي يمكننا الاستعانة به؛ إذ بوسعنا استحضار المبدأ الإنساني عن طريق الاقتصار على تدبر الأكوان الموجودة في الأكوان المتعددة المناسبة لشكل الحياة الخاص بنا. فإذا كانت غالبية هذه المجموعة الفرعية من الأكوان تمتلك خصائص تتفق مع خصائص كوننا - لو كانَ كوننا شائعًا وسط تلك الأكوان التي تسمح بها الظروف لنا بالحياة - فمن شأن ثقتنا في مقترح الكون المتعدد أن تنمو. لكن لو لم يكن كوننا شائعًا فلا يمكننا استبعاد النظرية تمامًا، وإنما يُعد ذَلك قصورًا مألوفاً للتفكير الإحصائي. فالنتائج غير المرجحة يمكن أن تقع أحياناً، بل وتقع بالفعل. وحتى مع هذا، فكلما كان كوننا أقل شيوعًا، صار مقترح الكون المتعدد أيًا كان أقل إقناعًا. وإذا كان كوننا يبرز من بين كل الأكوان الداعمة للحياة الموجودة في أي كون متعدد بخلاف أقرانه، فهذا سيقدم حجة قوية نعتبر على أساسها أن مقترح الكون المتعدد ذاك غير ذي أهمية.

ولهذا فمن أجل استكشاف أحد مقترحات الكون المتعدد كميًا، علينا أن نحدد خصائص الأكوان التي

تقطنه. فليس كافيًا أن نعرف الأكوان المحتملة التي يسمح الكون المتعدد المُقترح بوجودها، بل علينا أن نحدد السمات التفصيلية للأكوان الفعلية التي سيؤدي ذَلك الاقتراح إلى وجودها. يتطلب هذا فهم العمليات الكونية التي تأتي بالأكوان المتنوعة المنتمية لكون متعدد مُقتَرح إلى الوجود. حينها يمكن أن تظهر تنبؤات قابلة للاختبار من الطرق التي تتباين بها السمات الفيزيائية من كون إلى آخر في أرجاء الكون المتعدد.

إن احتمالية أن يؤدي هذا التتابع من التقييمات إلى نتائج واضحة ملموسة لا يمكن تقييمها إلا في حالة كل كون متعدد على حدة. غير أن النتيجة النهائية هي أن النظريات التي تتضمن أكوان أخرى - عوالم لا يمكن الوصول إليها الآن أو ربما على الإطلاق - يظل بمقدورها أن تقدم تنبؤات قابلة للاختبار، ومن ثمّ قابلة للدحض.

هل باستطاعتنا اختبار نظريات الكون المتعدد التي استعرضناها ؟

يلعب الحدس دورًا مهمًا في البحث النظري. فالباحثون النظريون يحتاجون إلى تدبر طيف هائل من الاحتمالات. أينبغي عليَ أن أجرب هذه المعادلة أم تلك، أن أستعين بهذا النمط أم ذاك؟ ويمتلك أفضل الفيزيائيين حدسًا أو شعورًا باطنيًا صائبًا بدرجة مدهشة يعينهم في تحديد أي الاتجاهات واعدة وأيها عديمة الجدوى. غير أن هذا يحدث في الكواليس وحسب؛ إذ لا يُحكَم على المقترحات العلمية، عند تقديمها، عن طريق الحدس أو الشعور الباطني. وثمة معيار وحيد ذو أهمية: قدرة المُقتَرح على تفسير البيانات التجريبية أو المشاهدات الفلكية والتنبؤ بها.

وهذا مكمن الجمال الذي يتفرد به العلم. فبينما نكافح في سبيل الوصول إلى فهم أعمق، علينا أن نمنح خيالنا الإبداعي مساحة واسعة من أجل الاستكشاف. علينا أن نكون مستعدين لأخذ خطوة بعيدًا عن الأفكار التقليدية والأطر المفاهيمية الراسخة. لكن خلافًا لمجموعة الأنشطة البشرية التي يجري توجيه الحافز الإبداعي عبرها، فإن العلم يقدم عملية حساب ختامية، تقييمًا جوهريًا لما يعد صحيحًا وما ليس كذلك.

يتمثل أحد جوانب تعقيد الحياة العلمية في أواخر القرن العشرين وبدايات القرن الحادي والعشرين في أن بعض أفكارنا النظرية خرجت عن حدود قدرتنا على الاختبار أو الرصد. لبعض الوقت ظلت نظرية الأوتار المثال الأبرز لهذا الموقف؛ واحتمالية أننا جزء من كون متعدد تقدم عددًا أكبر من الأمثلة. لقد قدمت وصفًا عامًا للكيفية التي يمكن بها اختبار مقترحات الأكوان المتعددة، لكن على مستوى فهمنا الحالي لا تفي أي نظرية للكون المتعدد إلى الآن بهذا المعيار. ومن الممكن أن يتحسن هذا الموقف كثيرًا مع إجراء مزيد من الأبحاث.

على سبيل المثال، لا تزال محاولات استكشاف كون المشهد المتعدد في مراحلها الأولية. يعرض الشكل 4-6 مخططًا بسيطًا لمجموعة الأكوان الوترية المحتملة - المشهد الوتري - غير أن الخرائط التفصيلية لهذا النطاق الهائل لم ترُسَم بعد. مثل مستكشفي البحار القدماء، نحن نمتلك حسًا تقريبيًا بما هو موجود هناك، بيد أن رسم خريطة لملامح هذه المنطقة سوف يتطلب منا استكشافات رياضية واسعة. وفي ضوء امتلاك هذه المعرفة بين يدينا ستتمثل الخطوة التالية في تحديد الكيفية التي تتوزع بها هذه الأكوان المحتملة في أرجاء كون المشهد المتعدد الملائم لها. إن العملية الفيزيائية الأساسية، تشكُّل الفقاعات الكونية عن طريق الانتقال الكمي (والموضحة في الشكلين 6-6 و6-7) مفهومة جيدًا من الناحية النظرية، غير أنها لم تُختَبر كميًا بعمق بعد داخل نظرية الأوتار. وقد اضطلعت مجموعات بحثية عديدة (من ضمنها مجموعتي) بمحاولات استكشاف مبدئية، لكن لا تزال أمامنا. مساحات شاسعة تنتظر

الاكتشاف. وكما رأينا في الفصول السابقة فإن مجموعة متنوعة من الشكوك تكتنف مقترحات الكون المتعدد الأخرى كذلك.

لا يدري أحد ما إذا كنا سنستغرق سنوات أم عقودًا أم ربما وقتًا أطول كي يتيح لنا التقدم في الأبحاث النظرية والمشاهدات استخلاص تنبؤات تفصيلية من أي نوع بعينه من الأكوان المتعددة. وإذا استمر الموقف الحالي كما هو سيتعين علينا الاختيار. فهل نُعَرف العلم – «العلم المحترم» - بأنه يتضمن فقط تلك الفكار والنطاقات والاحتمالات التي تقع ضمن حدود قدرة البشر المعاصرين، الموجودين على كوكب الأرض، على الاختبار أو الرصد؟ أم هل نتبنى نظرة أوسع ونضفي الصبغة «العلمية» على الأفكار التي ربما تكون قابلة للاختبار في ضوء التقدم التكنولوجي الذي بوسعنا تخيل تحقيقه في السنوات المائة المقبلة؟ أو المائتين؟ أو أطول من ذَلك؟ أم هل علينا أن نتبنى نظرة أوسع نطاقًا من ذَلك؟ هل نسمح للعلم بأن يتبع كل المسارات التي يكشفها، وأن يسير في اتجاهات نابعة من مفاهيم مُثبَتَة تجريبيًا لكنّها ربما تؤدي بتنظيراتنا إلى نطاقات خفية تقع، ربما إلى الأبد، خارج متناولنا كبشر؟

لا توجد إجابات قاطعة. وفي موقف كهذا يدخل الذوق العلمي الشخصي إلى الصورة. أفهم جيدًا الدافع إلى ربط الاستكشافات العلمية بتلك المقترحات التي يمكن اختبارها الآن، أو في المستقبل القريب؛ إذ إن هذه، على أي حال، هي الكيفية التي شيدنا بها الصرح العلمي. غير أنني أرى أن من ضيق الأفق تقييد تفكيرنا بالقيود الاعتباطية التي يفرضها علينا موقعنا المكاني، أو الزمني، أو هويتنا. فالحقيقة تسمو فوق هذه القيود، لذا فمن المتوقع أن يسمو البحث عن الحقائق العميقة عن هذه القيود بالمثل إن عاجلًا أم آجلاً. أؤيد النظرة الأوسع نطاقًا. لكنني أستبعد الأفكار التي من غير الممكن تناولها على نحو ذي معنى بواسطة التجارب أو المشاهدات، ليس بسبب الضعف البشري أو العوائق التكنولوجية، وإنما بسبب الطبيعة الجوهرية للمُقتَرح ذاته. في حالة الأكوان المتعددة التي استعرضناها، وحدها نسخة الكون المتعدد المُطلَق في أكثر صورها جموحًا تقع تحت هذا البند. أما الأكوان المتعددة الثمانية الأخرى، التي يلخصها الجدول 11-1، فتتحاشى هذا الشَرَك. فكل كون من هذه الأكوان ينتج عن سلسة تفكير منطقية تتسم بالتحفيز الجيد، وكل منها متاح للحُكم عليه. وإذا حدث أن قدمت المشاهدات أدلة مقنعة على أن الحيز المكاني متناهٍ، فسوف يسقط الكون المتعدد المنسوج من الاعتبار وإذا حدث أن تناقضت ثقتنا في علم الكونيات التضخمي، ربما لأن البيانات الأدق لإشعاع الخلفية الميكروني الكوني لا يمكن تفسيرها إلى بافتراض وجود منحنيات طاقة وضع تضخمية منحرفة (ومن ثم غير مُقنعة)، حينها فإن أهمية الكون المتعدد التضخمي سوف تتناقص هي الأخرى[176]. وإذا حدث أن عانت نظرية الأوتار من انتكاسة نظرية، ربما بسبب اكتشاف عيب رياضي دقيق يبين أن النظرية تتصف بعدم الاتساق (كما كان الباحثون الأوائل يظنون بالفعل)، حينها فإن الدافع خلف افتراضها وجود أكوان متعددة سوف يتلاشى. وعلى العكس، بإمكان مشاهدات الأنماط الموجودة في إشعاع الخلفية الميكروني الكوني المتوقع من تصادم الفقاعات الكونية أن تقدم لنا أدلة مباشرة تدعم علم الكونيات التضخمي. وبإمكان تجارب المعجلات التي تبحث عن جسيمات التناظر الفائق وبصمات الطاقة المفقودة والثقوب السوداء الدقيقة، أن تعزز موقف نظرية الأوتار والكون المتعدد الغشائي، بينما بمقدور الأدلة المؤيدة لتصادمات الفقاعات الكونية أن تقدم كذلك الدعم لكون المشهد المتعدد. وبإمكان رصد بصمات موجات الجاذبية التي تعود إلى حقبة الكون المبكر، أو إثبات غيابها، أن يميز بين علم الكونيات المبني على. النموذج الإرشادي التضخمي وذلك الخاص بالكون المتعدد الدوري.

تؤدي ميكانيكا الكم، في هيئة مقترح العوالم المتعددة، إلى مقترح الكون المتعدد الكمي. وإذا حدث أن بيَن باحثون مستقبليون أن معادلات ميكانيكا الكم، مهما كانت محل ثقة إلى الآن، تتطلب تعديلًا بسيطًا كي

تتفق مع البيانات الأدق، فمن الممكن وقتها استبعاد هذا النوع من الأكوان المتعددة. فمن شأن تعديل لنظرية الكم يخل بخاصية الخطية (التي اعتمدنا عليها بقوة في الفصل الثامن) أن يفعل هذا تمامًا. ذكرنا كذلك أنه توجد اختبارات نظرية للكون المتعدد الكمي، وهي تجارب تعتمد نتائجها على ما إذا كانت صورة العوالم المتعددة التي اقترحها إيفريت صحيحة أم لا. تقع هذه النتائج خارج حدود قدارتنا الحالية وربما المستقبلية كذلك، لكن هذا يرجع إلى أنها شديدة الصعوبة، وليس بسبب وجود سمة جوهرية للكون المتعدد الكمي ذاته تجعلها غير ممكنة من حيث المبدأ.

يظهر الكون المتعدد الهولوجرافي نتيجة تدبر نظريات مُثبتَة - النسبية العامة وميكانيكا الكم - ويحصل على الدعم النظري الأقوى من نظرية الأوتار. والحسابات المبنية على المبدأ الهولوجرافي تتصل على استحياء بالنتائج التجريبية التي توصلنا إليها في مصادم الأيونات الثقيلة النسبوي، وتوضح المؤشرات كافة أن هذه الصلات التجريبية سوف تصير أقوى وأقوى في المستقبل. إنّ النظر إلى الكون المتعدد الهولوجرافي بوصفه محض أداة رياضية مفيدة أو كدليل على الواقع الهولوجرافي هي مسألة رأي بالأساس. وعلينا أن ننتظر الأبحاث المستقبلية، النظرية والتجريبية، كى نبني حجة أقوى لهذا التفسير الفيزيائي.

لا يرتكز الكون المتعدد المُحاكي على أي بنية نظرية بعينها وإنما على الزيادة المتواصلة في القدرة الحاسوبية. والافتراض الأساسي هنا هو أن الوعي ليس مرتبطًا على نحو جوهري بركيزة معينة – الدماغ - وإنما هو سمة عارضة لمجموعة معينة من عمليات معالجة المعلومات. هذا المُقتَرح محل جدل كبير، ويقدم كلا جانبي الجدل حججًا قوية. ربما تقوض الأبحاث المستقبلية المُجراة على الدماغ وعلى طبيعة الوعي فكرة الآلات المفكرة الواعية بذاتها تمامًا. وربما لا. ومع ذَلكَ فثمة سبيل واضح للحُكم على مقترح الكون المتعدد هذا؛ فإذا رصد أحفادنا ذات يوم عالمًا محاكى مقنعًا، أو تفاعلوا معه أو زاروه افتراضيًا، فسُتحسم هذه القضية من الناحية العملية حسمًا تامًا.

من الممكن أيضًا أن يكون الكون المتعدد المُحاكى مرتبطًا، على الأقل نظريًا، بنسخة مختزلة من الكون المتعدد المُطلَق، الذي يتضمن فقط الأكوان المبنية على بني رياضية قابلة للحساب. وخلافًا للنسخة المكتملة للكون المتعدد المُطلَق فإن هذا التجسيد يتمتع بقصة نشوء ترفعه إلى مرتبة تفوق محض التأكيد النظري. إن المستخدمين الواقفين خلّف الكون المتعدد المُحاكى، سواء أكانوا حقيقيين أم محاكاة هم أنفسهم، سيقومون بطبيعة الحال بمحاكاة بني رياضية قابلة للحساب، ومن ثم سيمتلكون القدرة على توليد هذا الجزء من الكون المتعدد المُطلَق.

إن الحصول على أمثلة تجريبية أو رصدية تؤكد صحة أي من مقترحات الأكوان المتعددة هذه هو أمر بعيد الاحتمال دون شك. غير أنّه ليس مستحيلاً. وفي ضوء ضخامة العائد المتوقع لذلك، فما دام استكشاف الكون المتعدد هو المسار الطبيعي الذي سيأخذنا إليه البحث النظري، علينا إذا أن نتبعه كي نرى إلى أين سيقودنا.

كيف لكون متعدد أن يؤثر على طبيعة التفسير العلمي؟

يركز العلم أحيانًا على التفاصيل. فهو يخبرنا لماذا تحرك الكواكب في مدارات إهليجية، ولماذا السماء زرقاء، ولماذا الماء شفاف، ولماذا مكتبى صلب. ومهما كانت هذه السمات مألوفة، فإن قدرتنا على تفسيرها تثير الدهشة. أحيانًا يتبنى العلم نظرة أعم؛ إذ يكشف عن أننا نعيش في مجرة تضم بضع مئات

الملايين من النجوم، ويثبت أن مجرتنا ما هي إلا واحدة من مئات الملايين من المجرات، ويقدم أدلة على تغلغل الطاقة المظلمة غير المرئية في كل ركن وشق من هذا المشهد الكوني الفسيح. وبالنظر إلى ما كاَ الحال عليه منذ مائة عام وحسب، إلى وقت كنا نظن فيه أن الكون ساكن ولا توجد به إلا مجرة درب التبانة، يحق لنا أن نحتفي بالصورة المذهلة التي رسمها العلم منذ ذَلكَ الحين.

أحيانًا يفعل العلم شيئًا آخر؛ إذ يتحدانا في بعض الأحيان كي نعيد دراسة آراءنا عن العلم ذاته. إن الإطار المفاهيمي العلمي المعتاد البالغ من العمر قرونًا يتصورأنه عند وصف أي منظومة فيزيائية، سيحتاج الفيزيائي إلى تحديد ثلاثة أشياء. رأينا هذه الأشياء الثلاثة جميعها في سياقات متعددة، لكن من المفيد أن نجمعها معًا هنا. أول هذه الأشياء هي المعادلات الرياضية التي تصف القوانين الفيزيائية ذات الصلة (على سبيل المثال قد تكون هذه قوانين نيوتن للحركة أو معادلات ماكسويل الخاصة بالكهرباء والمغناطيسية أو معادلة شرودنجر في ميكانيكا الكم). ثاني هذه الأشياء هي القيم العددية لكل ثوابت الطبيعة التي تظهر داخل المعادلات الرياضية (على سبيل المثال، الثوابت التي تحدد الشدة الجوهرية لقوة الجاذبية والقوة الكهرومغناطيسية أو تلك التي تحدد كتل الجسيمات الأساسية). ثالثًا، على الفيزيائي أن يحدد «الظروف الأولية» للمنظومة، (على غرار قذف كرة البيسبول من منطقة الرمي بسرعة معينة وفي اتجاه معين، أو أن يبدأ الإلكترون وهو يمتلك احتمالية مقدارها 50 بالمائة أن يُعثَر عليه عند ضريح جرانت واحتمالية مماثلة أن يُعثَر عليه في ستروبيري فيلدز). تحدد المعادلات إذا ما ستكون عليه الأشياء في أي نقطة زمنية لاحقة. تلتزم كل من الفيزياء الكلاسيكية والكمية بهذا الإطار المفاهيمي، وتختلفان فقط في أن الفيزياء الكلاسيكية تزعم أنها تخبرنا بالكيفية التي ستكون عليها الأشياء على نحو حاسم في أي لحظة، بينما تُقدم ميكانيكا الكم احتمالية أن تكون الأشياء على صورة أو أخرى.

حين يتعلق الأمر بالتنبؤ بموضِع هبوط الكُرة، أو كيفية تحرُك الإلكترون عبر رُقاقة حاسب (أو نموذج لمدينة مانهاتن)، تتسم هذه العملية ثُلاثية الخطوات بالفاعلية الشديدة. لكنّ حين يتعلق الأمر بوصف الواقع الإجمالي، تدعونا هذه العملية ثُلاثية الخطوات إلى توجيه أسئلة أعمق: هل باستطاعتنا تفسير الظروف المبدئية؛ أي الكيفية التي كانت عليها الأشياء في لحظة سابقة ما؟ هل باستطاعتنا تفسير القيم والثوابت - كُتل الجسيمات وشدة القوى وما شابه - التي تعتمد تلك القوانين عليها؟ هل باستطاعتنا أن نُفسر لماذا تصف مجموعة معينة من المُعَادلَات الرياضية جانبًا ما أو آخر من جوانب الكونِ المادي؟

إنّ مُقترحات الأكوان المُتعددة التي ناقشناها من الممكن أن تُغير جذريًّا تفكيرنا في هذه الأسئلة. ففي الكون المُتعدد المُنسوج تكون القوانين الفيزيائية في كل الأكوان التي تُؤلف هذًا الكون المُتعدد واحدة، غير أن أنساق الجُسيمات تتباين، وأنساق الجُسيمات الموجودة الآن تعكس حالاتها المبدئية في الماضي. ومن ثمّ ففي هذًا الكون المُتعدد يتباين منظورنا نحو السُّؤال المُتعلق بسبب كون الظُّروف المبدئية في كوننا على هذه الصورة أو تلك. فالظروف المبدئية يُمكن أن تتباين، بل وتتباين فعلًا، من كون إلى آخر، وبذلك لا يُوجد تفسير جوهري لأي نُسق بعينه من أنساق الجسيمات. إنّ طلب تفسير كهذا يُعد من قبيل الخطأ؛ إذ إنه يعني أننا نُفكر في الكون المُتعدد من منظور الكون المُنفرد وبدلًا من ذَلكَ فإن السؤال الذي ينبغي لنا أن نوجهه هو ما إذا كانَ يوجد كون في موضِع ما من الكونِ المُتعدد تتفق فيه أنساق الجسيمات، ومن ثمَّ حالاتها المبدئية، مع ما نراه هُنا. والسؤال الأفضل من ذَلكَ: هل بمقدورنا أن نُبين أن مثل هذه الأكوان وفيرة؟ ولو كانَ الأمر كذلك، فمن شأن السؤال العميق الخاص بالظروف المبدئية أن يُجاب بكل سهولة؛ ففي هذًا الكون المُتعدد لن تكون الظروف المبدئية الخاصة بكوننا بحاجة إلى أي تفسير يتجاوز حقيقة أنّه في مكان ما من مدينة نيويورك يُوجد متجر أحذية يضم حذاءً على مقاسك.

في الكون المُتعدد التضخمي من الممكن أن تتباين «ثوابت» الطبيعة، بل وتتباين بالفعل، من فُقاعة كونية

إلى أخرى. كما تذكَر من الفصل الثالث فإن الاختلافات البيئية - القيم المُختلفة لمجال هيجز الذي يملأ كل فُقاعة كونية - يُؤدي إلى ظهور كُتل مختلفة للجُسيمات وخصائص مُختلفة للقوى. والأمر عينه ينطبق على الكون المُتعدد الغشائي، والكون المُتعدد الدوري، وكون المشهد المُتعدد، حيث يُؤدي شكل الأبعاد الإضافية لنظرية الأوتار، علاوة على الاختلافات المُتعددة في المجالات والتدفقات، إلى أكوان ذات سمات مُتباينة؛ مثل كُتلة الإلكترون، وما إذا كانَ للإلكترون وُجود من الأساس أم لا، ومن حيثُ شدة القوة الكهرومغناطيسية، وما إذا كانَ للقوة الكهرومغناطيسية وجود من الأساس أم لا، ومن حيثُ قيمة الثابت الكوني، وغير ذَلكَ من أمور. وفي سياق هذِّه الأكوان المُتعددة، يُعد التساؤل عن تفسير لخصائص الجُسيمات والقوى التي نقيسها من قبيل الخطأ مُجددًا؛ فهو تساؤل مبني على التفكير المُرتبط بالكون المُنفرد. بدلًا من ذَلكَ علينا أن نتساءل عما إذا كانَ يُوجد كون داخل هذِّه الأكوان المُتعددة يمتلك الخصائص الفيزيائية التي نقيسها. والأفضل من هذَّا أن نُبين أن الأكوان ذات السمات الفيزيائية الخاصة بكوننا وفيرة، أو على الأقل وفيرة ضمن كُل تلك الأكوان التي تُدعم الحياة كما تعرفها. لكنّ بقدر ما يُعد التساؤل عن «الكلمات» ذاتها التي كتب بها شكسبير مسرحية «ماكبث» عديم المعنى، فمن العبث بالمثل التساؤل عن المُعَادلَات التي تُؤدي إلى قيم الخصائص الفيزيائية المُعينة التي نراها في كوننا.

الكون المُتعدد المُحاكي والكون المُتعدد المُطلق مختلفان تمامًا في هذَّا الصدد عما سواهما؛ إذ إنهما لا يَنتُجان عن نظريات فيزيائية مُحددة. ومع ذَلكَ فمن الممكن لهما أيضًا أن يُغيرا طبيعة أسئلتنا. ففي هذين الكونين المُتعددين تتباين القوانين الرياضية التي تحكم الأكوان المُنفردة. وبهذَّا، وعلى نحوٍ مُشابه للظروف المبدئية وثوابت الطبيعة المُتباينة، تقترح القوانين المُتباينة أن من المُضلل التساؤل عن تفسير للقوانين المُحددة العاملة هنا. فالأكوان المُختلفة لها قوانين مُختلفة، ونحن نُوجد في الأكوان التي تُوجد بها. لأن هذِّه الأكوان تكون القوانين الخاصة بها مُواتية لوجودنا.

وإجمالًا، نرى أن مُقترحات الأكوان المُتعددة المُلخصة في الجدول 11-1 تجعل هذِّه الجوانب الثلاثة الأساسية للإطار العلمي المعياري غير مُؤثرة، رغم أنها في سياق الكون المُنفرد تتسم بالغموض الشديد. ففي الأكوان المُتعددة، ليست هناك حاجة إلى تفسير الظروف المبدئية أو ثوابت الطبيعة أو حتّى القوانين الرياضية.

أينبغي أن نثق في الرياضيات؟

كتب ستيفن واينبرج، الفائز بجائزة نوبل: «ليس خطؤنا أننا نأخذ نظرياتنا بقدر أكبر من اللازم من الجدية، وإنما أننا لا نأخذها بالجدية الكافية. فمن الصعب دومًا أن نُدرك أن هذه الأعداد والمُعادلات التي نعبث بها على مكاتبنا لها علاقة بالعالم الحقيقي»[177]. كانَ واينبرج يُشير إلى النتائج الرائدة التي توصل إليها رالف ألفر وروبرت هيرمان وجورج جاموف بخصوص إشعاع الخلفية الميكروني الكوني، وهي النتائج التي أوضحتُها في الفصل الثالث. ورغم أن الإشعاع الذي جرى التنبؤ به يُعد نتيجة مُباشرة للنسبية العامة الممتزجة بفيزياء علم الكونيات الأساسية، فإنه لم يحظَ بالأهمية إلَّا بعد اكتشافه نظريًا مرتين، يفصل بينهما اثنا عشر عامًا، ثمّ رصده الفعلي الذي حدث بمحض المُصادفة.

بطبيعة الحال يجب تطبيق ملحوظة واينبرج بكل حذر. فرغم أن مكتبه شهد إجراء قدر هائل من الحسابات الرياضية التي كانت وثيقة الصلة بالعالم الحقيقي، وذلك على خلاف المُعَادلَات التي نعبث بها نحن الفيزيائيين النظريين والتي لا تصل إلى هذَّا المستوى، ففي غياب نتائج تجريبية أو رصدية مُقنعة، يُعد تحديد أي الحسابات الرياضية ينبغي أخذه بجدية وأيُّها لا مسألة فن بقدر ما هي مسألة علم.

وفي الواقع، تُعد هذِه القضية محورية في كل ما ناقشناه بين دفتي هذَّا الكتاب، كما أنها لعبت دورًا في تحديد عنوان الكتاب. قد تُوحي وفرة مُقترحات الأكوان المُتعددة المعروضة في الجدول 11-1 بوجود مشهد عريض من العوالم الخفية. غير أنني صغتُ عنوان الكتاب بصيغة المُفرد كي أعكس الفكرة القوية المُتفردة التي تتبنى هذِه المُقترحات عليها: قُدرة الرياضيات على الكشف عن الحقائق الخفية بشأن كيفية عمل العالم. لقد أثبتت قرون من الاكتشاف صحة هذَّا الأمر، وحدثت ثورات هائلة في الفيزياء مرة تلو الأخرى بفضل اتبَاع سبيل الرياضيات بكل حرص. وتُعد علاقة آينشتاين المُعقدة بالرياضيات مثالًا كاشفًا لذلك الأمر.

في نهايات القرن التاسع عشر أدرك جيمس كلارك ماكسويل أن الضوء عبارة عن موجة كهرومغناطيسية، وبينت مُعادلاته أن سرعة الضوء ينبغي أن تساوي نحو 300 ألف كيلو متر في الثانية؛ وهو رقم قريب من القيمة التي قاسها الفيزيائيون التجريبيون. لكنّ ظل سُؤال عَالق مُؤرِّق في معادلاته دون جواب: 300 ألف كيلو متر نسبةً إلى ماذا؟ ارتضي العُلماء حلًّا مُؤقتًا مفاده أن ثمة مادة خفية تملأ الفضاء، «الأثير»، وهي تُقدم معيارًا غير مرئي لبقية الأشياء. لكنّ في بداية القرن العشرين رأى آينشتاين أن العلماء كانوا بحاجة إلى تدبر مُعادلات ماكسويل بجدية أكبر. فما دامت مُعادلات ماكسويل لا تُشير إلى معيار للسكون، حينها لا تُوجد حاجة إلى معيار للسكون، وأعلن آينشتاين في جُرأة أن سُرعة الضوء تساوي 300 ألف كيلومتر في الثانية نسبة إلى «أي شيء». ورغم أن التفاصيل مُهمة من المنظور التاريخي، فإنني أصف هذَّا الموقف كي أُوضح نُقطة أعم: أن كل شخص كانَ مُطلعًا على مُعادلات ماكسويل الرياضية، لكنّ تطلب الأمر عبقرية آينشتاين كي نستوعب هذِه الحسابات الرياضية استيعابًا كاملًا. وبهذه الحركة توصل آينشتاين إلى النظرية النسبية الخاصة، وغير جذري قرونًا من التفكير بشأن المكان والزمن والمادة والطاقة.

وخلال العقد التالي، وفي خضم تطوير النظرية النسبية العامة، صار آينشتاين مُطلعًا على مناح شاسعة من الرياضيات كانَ أغلب مُعاصريه من الفيزيائيين على معرفة قليلة بها أو يجهلونها تمامًا. وبَينما كانَ آينشتاين يتلمس طريقه نحو المُعَادلَات النهائية للنسبية العامة، أظهر مهارة بارعة في تشكيل هذِه البنى الرياضية عن طريق الحدس الفيزيائي الرَّاسخ. وبعدها ببضع سنوات، حين تلقى الأنباء السعيدة التي تُفيد

بأن مُشاهدات الكسوف الشمسي لعام 1919 أثبتت صحة تنبؤات النسبية العامة القائلة بأن ضوء النجوم ينتقل إلينا في مسارَات منحنية، أوضح آينشتاين في ثقة أنّه لو كانت النتائج مُختلفة «لشعر بالأسف تجاه الإله العزيز، لأن النظرية صحيحة بالتأكيد». أثقٍ في أن البيانات المُقنعة التي تنفي صحة النسبية العامة كانَ من شأنها أن تُغير نبرة آينشتاين، لكنّ هذه المُلاحظة تُجسد إلى أي مدى يُمكن لمجموعة من المُعَادلَات الرياضية، من خلال منطقها الداخلي الأنيق وجمالها الذاتي وإمكانية تطبيقها على نطاق واسع، أن تعكس الواقع.

ومع ذَلكَ فقد كانت هناك حدود للمدى الذي كانَ آينشتاين مُستعدا لبلوغه في أثناء اتباعه للرياضيات التي وضعها؛ إذ لم يأخذ آينشتاين النظرية النسبية الخاصة «بالجدية الكافية» كي يُصدّق تنبؤاتها القائلة بوجود الثقوب السوداء أو القائلة بأن الكون آخذ في التمدد. وكما رأينا فقد اعتنق آخرون، منهم فريدمان ولومتر وشفارتسشيلد، مُعادلات آينشتاين بأكثر مما فعل هو، ورسمت إنجازاتهم ملامح فهمنا لعلم الكونيات لما يُقارب القرن. وعلى النقيض من ذَلكَ فخلال السنوات العشرين الأخيرة، أو نحو ذَلكَ، من حياته انغمس آينشتاين في أبحاث رياضية في مُحاولة مُتحمسة منه لتحقيق الإنجاز المنشود المُتمثل في التوصل إلى نظرية مُوحدة للفيزياء. وعند تقييم هذَا العمل في ضوء ما نعرفه الآن لا يسعنَا إلَّا أن نخلُص إلى أن خلال تلك السنوات كانَ آينشتاين واقعًا أكثر مما ينبغي تحت تأثير المُعَادلَات التي كانَ محاطًا بها على نحوٍ مُتصل؛ بل قد يقول البعض إنها أعمته تمامًا. وهكذا نجد أن آينشتاين ذاته، في أوقات معينة من حياته، اتخذ قرارا خاطئا بشأن أي المُعَادلَات عليه أن يأخذها بجدية وأيها لا.

تُقدم الثورة الثالثة، في الفيزياء النظرية الحديثة، ونعني بهذَا ميكانيكا الكم، مثالًا آخر جدير بالدراسة، وهو يتصل مُباشرة بالقصة التي رويتُها في هذَا الكتاب. لقد دوَّنَ شرودنجر مُعادلته الخاصة بكيفية تطور الموجات الكمية في عام 1926. وعلى مدار عقود ساد اعتقاد أن هذه المُعادلة تنطبق فقط على النطاقات فائقة الصغر: الجُزيئات والذرات والجُسيمات. لكنّ في عام 1957 فعل هيو إيفريت نفس ما فعله آينشتاين في معادلات ماكسويل قبل نصف قرن: إذ أخذ المُعَادلَات الرياضية بجدية. وقدْ ذهب إيفريت إلى أن مُعادلة شرودنجر من المفترض أن تنطبق على كل شيء لأن كل الأشياء المادية، بصرف النظر عن حجمها، تتألف من جزيئات وذرات وجسيمات دون ذرية. وكما رأينا فقد أدى هذَا بإيفريت إلى ابتكار نهج العوالم المُتعددة في ميكانيكا الكم وإلى مفهوم الكون المُتعدد الكمي. بعد أكثر من خمسين عامًا على هذَا ما زلنا لا ندري يقينًا ما إنّ كانَ نهج إيفريت صحيحًا أم لا، لكنّ عبر أخذ نظرية الكم الأساسية بجدية - وبجدية تامة - ربما يكون إيفريت قد حقق أحد أعظم الاكتشافات العلمية.

تعتمد مقترحات الأكوان المُتعددة الأخرى بالمثل على مُعتقد مفَاده أن الرياضات تتصل بنسيج الواقع بروابط لا تنفصم. يأخذ مُقترح الكون المُتعدد المُطلق هذَا المنظور إلى أبعد حدوده؛ فالرياضيات وفق مُقترح الكون المُتعدد المُطلق هي الواقع ذاته. ومع ذَلكَ فإن نظريات الكون المُتعدد الأخرى الواردة في الجدول 11-1، والتي تتسم بنظرة أقل شمولًا بشأن الصلة بين الرياضيات والواقع، تدين بأصولها إلى الأرقام والمُعادلات التي يدونها الباحثون النظريون الجالسون إلى مكاتبهم، ويكتبون بالأقلام في دفاترهم وبالطباشير على سبوراتهم ويبرمجون الأكواد الحاسوبية. وسواء اعتمد الجدول 11-1 على النسبية العامة أم ميكانيكا الكم أم نظرية الأوتَار أم رؤى رياضية أشمل، فإنه يظهر إلى النور فقط لأننا نفترض أن التنظير الرياضي باستطاعته أن يُرشدنا نحو الحقائق الخفية. وسيُخبرنا الزمن وحده بما إذا كانَ هذَا الافتراض يأخذ النظريات الرياضية الجوهرية بجدية تزيد على المطلوب، أم ربما لا يأخذها بالجدية الكافية.

لو ثبت أن بعض الرياضيات التي دفعتنا إلى التفكير بشأن العوالم المُوازية، أو كلها، ذات صلة بواقعنا،

فمن شأن سؤال آينشتاين الشهير، المُتعلق بما إذا كانَ الكون يمتلك الخصائص التي يمتلكها فقط لأنه ليس من المُحتمل وجود كون آخر، أن تكون إجابته الحاسمة هي لا قاطعة. فكوننا ليس الكون الوحيد المُحتمل وجوده. وكان من الممكن أن يمتلك خصائص مختلفة. وفي العديد من مقترحات الأكوان المُتعددة من شأن خصائص الأكوان الأخرى أن تكون مُختلفة بالفعل. ومن ثمّ فإن البحث عن تفسير أساسي للكيفية التي عليها أشياء بعينها سيكون عديم المعنى. وبدلا من هذًا سيجري إقحام الاحتمالية الإحصائية أو المُصادفة البحتة في فهمنا للكون الكلي الذي يتسم بالاتساع الشديد.

لا أدري إنّ كانت الأمور ستؤول إلى هذًا الحال. ولا يدري أحد ذَلكَ. لكنّ فقط عن طريق البحث الجسور سيكون بوسعنا أن نُدرك حدودنا. وفقط عن طريق السعي العقلاني وراء النظريات، حتّى تلك التي تجتذبنا نحو نطاقات عجيبة وغير مألوفة، ستصير لدينا فرصة للكشف عن المدى الفسيح للواقع.

الفهرس

إشادات بهذا الكتاب

الفصل الأول حدود الواقع عن العوالم الموازية

الكون والأكوان

تشكيلة من الأكوان الموازية

النظام الكوني

الفصل الثاني:عددٌ لا نهائي من الأشباه

أبُ الانفجار العظيم

النسبية العامة

الكون وإبريق الشاي

ضبط قيمة الجاذبية

الذرة البدائية

النماذج والبيانات

كوننا

الواقع في كون لا متناهٍ

الفضاء اللامتناهي والبساط المُرَقَّع

احتمالات متناهية

التكرار الكوني

لا شيء سوى الفيزياء

الفصل الثالث

الأبدية واللانهائية

الكون المتعدد التضخمي

بقايا البداية الحارة

التجانس العجيب للفوتونات العتيقة

أسرع من الضوء

آفاقُ متزايدة الاتساع

المجالات الكمية

المجالات الكمية والتضخم

تضخمُ أبدي

الجبن السويسري والكون

منظورات متغيرة

رحلة داخل الكون المتعدد التضخمي

أكوان داخل قشرة جوز

الفضاء داخل فقاعة كونية

الفصل الرابع

توحيد قوانين الطبيعة
على الطريق نحو نظرية الأوتار
تاريخ موجز لتوحيد القوى
عودة إلى المجالات الكمية
نظرية الأوتار
الأوتار والنقاط والجاذبية الكمية
أبعاد المكان
آمالٌ عريضة
نظرية الأوتار وخصائص الجسيمات
نظرية الأوتار والتجارب
نظرية الأوتار ونقاط التفرد والثقوب السوداء
نظرية الأوتار والرياضيات
حالة نظرية الأوتار: تقييم
الفصل الخامس
أكوانٌ رابضة في أبعادٍ قريبة
ما وراء التقريبات
الثنائية
الأغشية
الأغشية والعوالم الموازية
الأغشية اللاصقة ومجسات الجاذبية
الزمن، والدورات، والكون المتعدد
ماضي ومستقبل الكون المتعدد الدوري
التدفق
الفصل السادس
تفكير جديد في ثابتٍ قديم
عودة الثابت الكوني
الكثافة الكونية
المسافات والسطوع
ألوان الكون
التسارع الكوني
الثابت الكوني
تفسير الصفر
المبدأ الإنساني الكوني
الحياة والمجرات وأعداد الطبيعة
تحويل نقطة الضعف إلى نقطة قوة
الخطوة الأخيرة، في إيجاز

المشهد الوتري
الانتقال الكمي في المشهد الوتري
ماذا عن بقية الخصائص الفيزيائية؟
الفصل السابع
العلم والكون المتعدد
عن الاستدلال والتفسير والتنبؤ
روح العلم
الأكوان المتعددة الممكن بلوغها
تقسيم اللانهائية
حجة معارضة أخرى
الفصل الثامن
العوالم المتعددة للقياس الكمي
الكون المتعدد الكمي
الواقع الكمي
لغز البدائل
الموجات الكمية
ليس بهذه السرعة
الخطيَّة ومثالبها
العوالم المتعددة
قصة قصتين
متى يكون العالَم البديل كونًا حقيقيًّا؟
عدم اليقين يكتنف أحدث التطورات
مشكلة محتملة
الاحتمالية والعوالم المتعددة
التنبؤ والفهم
الفصل التاسع
الثقوب السوداء والصور الهولوجرامية
الكون المتعدد الهولوجرافي
المعلومات
الثقوب السوداء
القانون الثاني للديناميكا الحرارية
القانون الثاني للديناميكا الحرارية والثقوب السوداء
إشعاع هوكينج
الإنتروبيا والمعلومات الخفية
الإنتروبيا، والمعلومات الخفية، والثقوب السوداء
تحديد موقع المعلومات الخفية داخل الثقب الأسود

ما وراء الثقوب السوداء
بضعة محاذير
نظرية الأوتار والمبدأ الهولوجرافي
أكوان موازية أم حسابات رياضية موازية ؟
خاتمة: مستقبل نظرية الأوتار
الفصل العاشر
الأكوان والحاسبات والواقع الرياضي
الكون المتعدد المُحاكى والكون المتعدد المُطلق
بناء كون
رحلة فكرية
الأكوان المُحاكاة
هل نعيش داخل محاكاة؟
رؤية ما وراء المحاكاة
مكتبة بابل
الأسباب المنطقية خلّف الكون المتعدد
محاكاة بابل
جذور الواقع
الفصل الحادي عشر
حدود الاستقصاء
الكون المتعدد والمستقبل
هل النمط الكوبرنيكي نمط أساسي؟
أينبغي أن نثق في الرياضيات؟

Notes

[←1]

تعود احتمالية أن يكون كوننا مجرد لوح يطفو في عالم ذي أبعاد أعلى؛ إلى ورقة بحثية نشرها اثنان من الفيزيائيين الروس البارزين هما في إيه روباكوف وإم إي شابوشنيكوف بعنوان «هل نعيش داخل جدار احد؟» Physics Letters,B 125 (May26,1983):136 , وهي لا تتضمن نظرية الاوتار. والنسخة التي سأركز عليها في الفصل الخامس تنشأ عن التقدم

المتحقق في نظرية الأوتار في منتصف تسعينيات القرن العشرين.

[←2]

هذا الاقتباس مأخوذ من عدد مارس من عدد مارس1933 من مجلةThe Literary Digest . ومن الجدير بالذكر أن دقة هذا الاقتباس خضعت مؤخرًا للتشكيك على يد مؤرخ العلوم الدنماركي هيلجي كراج
(انظر كتابه cosmology and Controversy) Princeton: Princeton University Press,1999
الذي اقترح أن هذا الاقتباس ربما يكون إعادة تأويل لتقرير ورد في مجلة نيوزويك في وقت سابق من ذلك العام وفيه كان آينشتاين يشير إلى أصل الأشعة الكونية، غير أن الأمر المؤكد هو أنه بحلول هذا العام كان آينشتاين قد تخلى عن اعتقاده بأن الكون ساكن وتقبل علم الكونيات الديناميكي الذي ظهر ثنايا معادلاته الأصلية للنسبية العامة.

[←3]

يخبرنا هذا القانون بقوة الجاذبية، F ، بين أي جسمين، لهما الكتلة m_1 و m_2، وتفصل بينهم المسافة R.

رياضيًا، ينص القانون على ما يلي: $F=Gm_1m_2r/^2$، حيث G ترمز الي ثابت نيوتن؛ وهو عدد يقاس تجريبيًا يحدد الشدة الذاتية لقوة الجاذبية.

[4→]
في الفيزياء تُستخدَم كلمتا «المكان» و«الفضاء» بشكل متبادل للإشارة إلى الحيز الذي توجد داخله الأجسام، ولكن منعًا للبس سأتجنب تحديدًا استخدام كلمة «الفضاء» إلا في المواضع التي يكون مقصودًا فيها الفضاء النجمي وحده، بينما عند الحديث بشكل عام سأستخدم كلمة «المكان» لكونها أكثر عمومية (المترجم).

[←5]

إن تصور المكان المنحني أيسر من تصور الزمن المنحني، ولهذا السبب يركز كثير من الشروحات العامة لجاذبية آينشتاين فقط على المكان. ومع ذلك، في حالة الجاذبية التي تولدها أجسام مثل كوكب الأرض أو الشمس، فإن انحناء الزمن - وليس المكان - هو ما يمارس التأثير المهيمن في واقع الأمر. على سبيل التوضيح، فكر في ساعتين، إحداهما موضوعة على سطح الأرض، والأخرى على قمة مبنى الإمباير ستيت. بما أن الساعة الموجودة على سطح الأرض أقرب إلى مركز الأرض، فستستشعر جاذبية أقوى قليلًا من تلك التي تستشعرها الساعة الموجودة أعلى مانهاتن. وتبين النسبية العامة أنه لهذا السبب، فإن المعدل الذي ينقضي به الزمن وفق كل ساعة من الساعتين سيكون مختلفًا: فالساعة الموجودة على سطح الأرض ستسير أبطأ قليلًا (جزء من المليار من الثانية كل عام) مقارنة بالساعة الموضوعة أعلى البرج. وهذا الاختلاف الزمني يُعد مثالًا لما نعنيه بقولنا إلى الزمن يتقوس أو ينحني. بعد ذلك تثبت النسبية العامة أن الأجسام تتحرك نحو المناطق التي ينقضي فيها الزمن بمعدل أبطأ؛ فبصورة ما، كل الأجسام «تريد» أن تشيخ بأبطأ معدل ممكن. ومن منظور آينشتاين، هذا يفسر سقوط الأشياء حين تفلتها من يدك.

[←6]

للقارئ ذي الميول الرياضية، نقول إنّ معادلات آينشتاين هي $R_{UV}-0.5g_{uv}=8\pi GT_{UV}$ حيث g_{uv} هي الدالة المترية للزمكان، و R_{uv} هو موتِّر انحناء ريتشي، و R هو الانحناء المدرج، و G ثابت نيوتن، T_{uv} موتِّر الطاقة-الزخم.

[←7]

في السنوات التي تلت تحققه الشهير من صحة النسبية العامة أُثيرت تساؤلات بشأن موثوقية النتائج. فلكي يصير ضوء النجوم البعيد الذي يحف الشمس مرئيًا، كانَ يتعين إجراء المُشاهدات خلال وقت الكسوف الشمسي، لكنّ لسوء الحظ أعاق الطقس السيئ التقاط صور واضحة لكسوف عام 1919 الشمسي. والسؤال يتعلق بما إذا كانَ إدنجتون ومعاونوه ربما انحازوا نتيجة معرفتهم السابقة بالنتيجة التي كانوا يسعون إليها، ولذا حين غربلوا الصور الفوتوغرافية التي عُدَّت غير موثوق بها بسبب تدخل الطقس تخلصوا من عدد أكبر مما ينبغي من الصور التي تحوي بيانات بدت وكأنها لا تتفق مع نظرية آينشتاين. وقد خلصت دراسة مُكثفة حديثة أجراها دانيال كينفيك (انظر , paperarXiv: 0709.0685 Www.arxiv.org ، وهي تأخذ - من ضمن اعتبارات أخرى - في الحُسبان عملية إعادة تقييم حديثة للألواح الفوتوغرافية المُلتقطة عام 1919) على نحو مُقنِع إلى أن إثبات النسبية العامة الذي حدث عام 1919 جدير بالثقة بالفعل

[←8]

للقارئ ذي الميول الرياضية، نقول إنّ معادلات آينشتاين للنسبية العامة في هذًا السياق تُختَزَل إلى

$$\left(\frac{da/dt}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G\rho}{3} - \frac{k}{a^2}$$

. a(tالمُتغير) مُعامل قياس الكون؛ وهو عدد تُحدد قيمته، كما يُشير الاسم، مقاييس المسافة بين الأجسام (إذا كانت قيمة a(t في لحظتين زمنيتين مُتباينتين، مثلًا، بمُعامل قدره 2، حينها فإن المسافة بين أي مجرتين ستتباين بين هاتين اللحظتين الزمنيتين بمُعامل قدره 2 أيضًا)، وG هو ثابت نيوتن، و هي كثافة المادة / الطاقة، وk مُتغير يُمكن أن تساوي قيمته 1 أو 0 أو -1 اعتمادًا على ما إذا كانَ شكل الفضاء كرويًّا، أم إقليديًّا («مستويًا»)، أم على شكل قطع زائد. ويُعزى الفضل في صورة هذه المعادلة إلى ألكسندر فريدمان، ومن ثمّ يُطلق عليها معادلة فريدمان.

[←9]

ينبغي للقارئ ذي الميول الرياضية أن يُلاحظ أمرين. أولًا، في النسبية العامة عادة ما نُعيِّن إحداثيات تكون هي ذاتها مُعتمدة على المادة التي يحويها الفضاء: فنحن نستخدم المجرات كحاملات للإحداثيات (كما لو أن كل مجرة لها مجموعة مُحددة من الإحداثيات «مطبوعة» عليها؛ والتي يُطلق عليها إحداثيات الحركة المُشتركة). لذا، من أجل تعيين أي منطقة من الفضاء فنحن نُشير عادةً إلى المادة التي تحتوي عليها. ومن ثمّ تتمثل إعادة الصياغة الدقيقة للنص فيما يلي: منطقة الفضاء التي تحتوي على مجموعة مُحددة N من المجرات في اللحظة الزمنية t1 سيكون لها حجم أكبر في لحظة زمنية تالية هي t2. ثانيًا، التصريح المعقول بالبديهة المُتعلق بتغير كثافة المادة والطاقة مع تمدُّد الفضاء أو انكماشه يقدم افتراضًا صريحًا يتعلق بمُعادلة حالة المادة والطاقة. فهناك مواقف، سوف نتعرض لها بعد قليل، يُمكن فيها للفضاء أن يتمدد أو ينكمش بينما يظل إسهام مُعين للطاقة - كثافة الطاقة الخاصة بما يُطلق عليه الثابت الكوني - دون تغيير. وفي الواقع تُوجد حتّى سيناريوهات أكثر غرابة يُمكن فيها للفضاء أن يتمدد بينما تزداد كثافة الطاقة. يُمكن لهذا أن يحدث لأن باستطاعة الجاذبية أن تكون مصدرًا للطاقة في ظروف مُعينة. والنقطة المُهمة التي تطرحها الفقرة هي أن مُعادلات النسبية العامة في صورتها الأصلية ليست متوافقة مع الكون الساكن.

[←10]

سنرى بعد قليل أن آينشتاين تخلى عن فكرة الكون الساكن عندما اطلع على البيانات الفلكية التي تبين أن الكون آخذ في التمدد. لكنّ من الجدير بالذكر أن هواجسه بشأن فكرة الكون الساكن سبقت هذه البيانات. وقدْ أوضح الفيزيائي فيليم دي سيتر لآينشتاين أن الكون الساكن الذي اقترحه كانَ غير مُستقر: فإذا كانَ أكبر بقدر يسير مما هو عليه فسيواصل النمو، وإذا كانَ أقل مما هو عليه بقدر يسير فسيواصل الانكماش. ويفضل الفيزيائيون الابتعاد عن الحلول التي تتطلب ظروفًا مثالية خالية من أي مُعيقات.

[11 ←]

في نموذج الانفجار العظيم، يُنظَر إلى تمدد الفضاء إلى الخارج وكأنه يشبه حركة كرة مقذوفة إلى أعلى: إذ تعمل قوة الجاذبية على كبح حركة الكرة إلى أعلى ومن ثمّ تُبطئ حركتها، وبالمثل فإن الجاذبية تكبح المجرات المُتحركة إلى الخارج ومن ثمّ تبطئ حركتها. وفي أي من الحالتين لا تتطلب الحركة المتواصلة قوة طاردة. ومع ذَلكَ يُمكنك أن تسأل نفسك: إذا كانَ ذراعي هو ما قذف الكرة إلى أعلى، فما الذي «قذف» الكون المكاني بحيث يتمدد إلى الخارج؟ سوف نعود إلى هذا السؤال في الفصل الثالث، حيث سنرى أن النظرية الحديثة تفترض وجود دفعة قصيرة من الجاذبية الطاردة، مارست تأثيرها خلال أولى لحظات التاريخ الكوني. وسنرى أيضًا أن البيانات الأكثر دقة قدمت أدلة على أن تمدد الفضاء لا يتباطأ مع مرور الوقت، وهو ما أدى إلى إحياء مُفاجئ وعميق - كما ستوضح الفصول اللاحقة - المفهوم الثابت الكوني. لقد مثّل اكتشاف تمدد الفضاء نقطة تحول في علم الكونيات الحديث. واعتمد هذا الإنجاز، إلى جانب إسهامات هابل، على أبحاث وأفكار أشخاص آخرين منهم فيستو سليفر وهارلو شابلي وميلتون هوماسون.

[←12]

تُصور حلقة المرساة ثُنائية الأبعاد دائمًا على شكل كعكة مجوَّفة. وتظهر عملية ثُنائية الخطوات أن هذِّه الصورة تتفق مع الوصف المُقدم في النص. فعندما نُصرح بأن اجتياز الحافة اليُمنى للشاشة سيجعلك تُعاود الظهور من الحافة اليُسرى، فهذًا يُكافئ المُطابقة التامة للحافة اليُمني بأكملها مع الحافة اليُسرى. ولو كانت الشاشة مرنة (مصنوعة من بلاستيك رقيق مثلًا) فيمكن توضيح هذًا التطابق عن طريق طوي الشاشة على شكل أسطواني ثمّ لصق الحافتين اليُمنى واليُسرى معًا. وحين نُصرح بأن اجتياز الحافة العلوية سيجعلك تُعاود الظهور من الحافة السفلية فهذًا أيضًا يعني المُطابقة بين الحافتين. ويُمكننا توضيح هذًا عن طريق تعديل ثانٍ نقوم فيه بطيِّ الأسطوانة ولصق الحافتين الدائريتين العلوية والسفلية معًا. سيمتلك الشكل الناتج مظهر الكعكة المجوّفة المُعتادة. ومنَ الجوانبِ المُضللة في هذِّه التعديلات هو أن سطح الكعكة المجوّفة يبدو مُنحنيًا، ولو أنّه طُلي بطلاء عاكس فسيبدو انعكاسك فيه مشوهًا. هذًا ناتج عن تمثيل حلقة المرساة بوصفها جسمًا واقعًا داخل بيئة مُحيط ثُلاثية الأبعاد. فحلقة المرساة في جوهرها، بوصفها سطح ثُنائي الأبعاد، ليست مُنحنية، بل هي مُستوية، وهو ما يتضح عندَ تمثيلها على صورة شاشة ألعاب فيديو مُستوية. ولهذًا السبب أُركز في مُتن الكتاب على الوصف الأكثر جوهرية باعتبارها شكلا تتطابق كل حافتين مُتقابلتين لهُ.

[←13]

سيُلاحظ القارئ ذي الميول الرياضية أنّه عن طريق «التقطيع والتشذيب الحريص» فإنني أُشير إلى حساب حاصل الفضاءات المُتصلة عن طريق مجموعات المساحة العديدة المُنفصلة.

[←14]

في ضوء مناقشتنا السابقة عن الكيفية التي تتسبب بها المادة في انحناء المنطقة الموجودة فيها، ربما تتساءل كيف يمكن ألا يوجد أي انحناء رغم وجود مادة. وتفسير ذلك هو ان الوجود المتجانس للمادة يتسبب إجمالاً في أنحناء الزمكان، وفي هذه الحالة تحديداً، الانحناء المكاني صفري، لكن الانحناء الزمكاني غير صفري.

المقدار المُذكور خاص بالحقبة الحالية. في الكون المُبكر كانت الكثافة الحرجة أعلى. [←15]

[←16]

إذاً كانَ الكون ساكنًا، فإن الضوء الذي ظل ينتقل داخله على مدار 13.7 مليار سنةَ ماضية ووصل إلينا للتو انبعث من مسافة مقدارها 13.7 مليار سنةَ ضوئية. في كون آخذ في التمدد، يُواصل الجُرم الذي انبعث منه الضوء التراجع خلال مليارات السنوات التي ينتقل فيها الضوء. وحين نستقبل الضوء يكون الجُرم على مسافة أبعد - أبعد بكثير - من 13.7 مليار سنةَ ضوئية. وتُبين حسبة بسيطة باستخدام النسبية العامة أن الجُرم (بافتراض أنّه موجود وواصل ابتعاده مع تمدُد الفضاء سيكون الآن على مسافة 41 مليار سنةَ ضوئية. يعني هذا أننا حين ننظر في أعماق الفضاء فإن بمقدورنا، نظريًّا، أن نرى الضوء القادم من مصادر تبعد عنا حاليًّا 41 مليار سنةَ ضوئية. وهكذا فإن قُطر الكون القابل للرصد يبلغ 82 مليار سنةَ ضوئية. والضوء القادم من أجرام أبعد من هذه المسافة لم يُتَح لهُ بعد الوقت الكافي كي يصل إلينا ومن ثمّ فهو يقع خارج أفقنا الكوني.

[←17]

بلغة عامة، يُمكنك تصوّر أن الجُسيمات تمر طوال الوقت، كنتيجة لميكانيكا الكم، بما أُسميه «التذبذب الكمي»: وهو نوع من الاهتزاز الكمي العشوائي الحتمي الذي يجعل فكرة امتلاك الجُسيم موضع وسرعة (زخم) مُحددين فكرة تقريبية. وبهذا المعنى فإن التغييرات في الموضع/ السرعة التي تكون طفيفة للغاية لدرجة أنها تُعادل في قوتها التذبذبات الكمية إنما تقع في نطاق «ضوضاء» ميكانيكا الكم ومن ثمّ فلا تكون ذات معنى.

وبلغة أدق فإنك إذا ضربت مقدار عدم الدقة في قياس الموضع في مقدار عدم الدقة في قياس الزخم فإن النتيجة - عدم اليقين - ستكون دائمًا أكبر من عدد يسمى «ثابت بلانك»، والمُسمى تيمنًا بماكس بلانك، أحد رواد فيزياء الكم. ويعني هذا تحديدًا أن الفروق الدقيقة في قياس موضع أي جُسيم (مقدار عدم الدقة الصغير في قياس الموضع) تستتبع بالضرورة وجود مقدار أكبر من عدم اليقين عندَ قياس الزخم، وكذلك طاقته بالتبعية. وبما أن الطاقة تكون محدودة على الدوام، فإن الفروق في دقة قياس الموضع تكون محدودة كذلك.

لاحظ أيضًا أننا سنُطبق دائمًا هذِه المفاهيم في أي نطاق مكاني مُتناهي، عمومًا في المناطق التي تساوي حجم الأفق الكوني اليوم (كما في القسم التالي). فالمنطقة مُتناهية الحجم، مهما كانَ حجمها كبيرًا، تعني أن ثمة حد أقصى لمقدار عدم اليقين المُتعلق بقياسات الموضع. فإذا افترضنا أن ثمة جُسيمًا موجودًا في منطقة ما، فمن المؤكد أن مقدار عدم اليقين المُتعلق بموضعه لن يكون أكبر من حجم المنطقة ذاتها. وهذا الحد الأقصى لمقدار عدم اليقين المُتعلق بالموضع يستتبع بعد ذلكَ، انطلاقًا من مبدأ عدم اليقين، وجود حد أدنى من عدم اليقين المُتعلق بقياسات الزخم؛ بمعنى وجود فرق محدود في قياسات الزخم. وبالوضع كذلك في الاعتبار الفرق محدود في قياسات الموضع، نرى الاختزال من عدد لا مُتناهٍ إلى عدد مُتناهٍ من الأنساق المُتمايزة المُحتملة الخاصة بموضع الجُسيم وسرعته. ربما تُواصل التساؤل عما يمنعنا من بناء جهاز قادر على قياس موضع أي جُسيم بدقة أعظم. الأمر أيضًا مُتعلق بالطاقة. كما أوضح في مُتن النص فإنك إذا أردت أن تقيس موضع جُسيم ما بقدر أكبر من الدقة، ستحتاج إلى استخدام مسبار أدق. فمن أجل تحديد ما إذا كانَ ثمة وجود لذُبابة في الغُرفة، يمكنك أن تُضيء مصباحًا عاديًّا. ومن أجل تحديد ما إذا كانَ ثمة وجود لإلكترون في تجويف ما، ستحتاج إلى إضاءته بشعاع من الليزر القوي. ولكي تُحدد موضع الإلكترون بقدر أعظم من الدقة ستحتاج إلى أن تجعل شعاع الليزر أقوى وأقوى. لاحظ أنّه حين يرتطم شعاع ليزر قوي بإلكترون، فإنه سيتسبب في قدر أكبر من الخلل في سرعته.

وخُلاصة القول إن الدقة في تحديد مواضع الجُسيمات تأتي على حساب تغييرات هائلة في سرعاتها، ومن ثمّ تحدث تغييرات هائلة في طاقات الجُسيمات. وإذا كانَ يُوجد حد لمقدار الطاقة التي تستطيع الجُسيمات أن تمتلكها، كما هو الحال دائمًا، فبالتبعية يوجد حل المقدار الدقة الذي نستطيع أن نتبين به مواضعها. ومن ثمّ فإن الطاقة المحدودة داخل نطاق مكاني محدود تمنحنا دقة محدودة في قياسات الموضع والسرعة.

[←18]

سأناقش الثقوب السوداء على نحو أوفي في فصول لاحقة. لكن هنا سألتزم بالفكرة التقليدية، المحفورة في أذهان العامة، التي تقضي بوجود منطقة مكانية - فكر فيها وكأنها كرة داخل الفضاء - تكون الجاذبية فيها قوية للغاية لدرجة أنّه يستحيل على أي شيء يعبر حافتها أن يفلت منها. وكلما كانت كتلة الثقب الأسود أكبر، صار حجمه أكبر، لذا حين يسقط أي شيء داخل الثقب الأسود لا تزيد كتلته وحسب، وإنما يزيد حجمه كذلك.

[←19]

الطريقة الأكثر مُباشرة لإجراء هذِّه العملية الحسابية تعتمد على الاستعانة بنتيجة سأصفُها بمصطلحات غير مُتخصصة في الفصل التاسع مفادها كالتالي: إنتروبيا أي ثُقب أسود - اللوغاريتم الخاص بعدد الحالات الكمية المُتمايزة - تتناسب طرديًا مع مساحة سطحه ـة بمربع وحدات بلانك. فمن شأن الثقب الأسود الذي يملأ أُفقنا الكوني أن يكون نصف قُطره 10^{28} سنتيمترًا، أو نحو 10^{61} طول بلانك.

ن ثمّ فستبلغ الإنتروبيا الخاصة به نحو 10^{122} وحدة بلانك مُربعة. وبهذًا فإن العدد الإجمالي للحالات المُتمايزة يساوي 10 مرفوعة إلى القوة 10^{122}، أو $(10)^{(10)^{(122)}}$.

[←20]

ربما تتساءل لماذا لا أُدرج المجالات أيضًا. كما سنرى فإن الجُسيمات والمجالات لُغتان مُتكاملتان؛ فالمجال يُمكن وصفه من منظور الجُسيمات التي يتألف منها، مثلما يُمكن وصف موجة المُحيط من منظور جُزيئات الماء التي يتألف منها. ومسألة اختيار استخدام اللغة الخاصة بالمجال أو الجُسيم تعتمد بقدر كبير على ما يُناسب المرء.

[←21]

المسافة التي يستطيع الضوء أن يقطعها في أي فترة زمنية مُعينة تعتمد بقوة على المُعدل الذي يتمدد به الفضاء. في الفصول الأخيرة سأستعرض الأدلّة التي تُشير إلى أن مُعدل تمدد الفضاء آخذ في التراجع. وإذا كانَ هذا صحيحًا فثمة حد للمدى الذي يستطيع الضوء أن يقطعه عبر الفضاء، حتّى لو انتظرنا لوقت طويل للغاية. فالمناطق البعيدة من الفضاء سوف تبتعد عنا بسرعة كبيرة لدرجة أن الضوء المُنبعث منا لن يستطيع الوصول إليها، وبالمثل فإن الضوء المُنبعث منها لن يصل إلينا. يعني هذا أن الأفق الكوني - ذَلكَ الجزء من الفضاء الذي نستطيع داخله تبادل الإشارات الضوئية - لن ينمو في الحجم بلا نهاية. (يُمكن للقارئ ذي الميول الرياضية أن يطلع على المُعَادلات الأساسية (بالفصل السادس).

[←22]
دَرَسَ جي إيليس وجي بوندريت نطاقات مُتطابقة داخل كون كلاسيكي لا مُتناهي، كما درس جيه كاريجا وإيه فايلكين هذِّه النطاقات في السياق الكمي.

[←23]

ألفا وبيتا وجاما (المترجم).

[←24]

تتمثل إحدى النقاط التي شهدت انحرافاً عن الأبحاث السابقة في منظور ديك الذي ركز على احتمالية وجود كون دوري من شأنه أن يمر على نحو مُتكرر بسلسلة من الدورات؛ انفجار عظيم، تمدد، انكماش، انسحاق عظيم، ثمّ انفجار عظيم مُجددًا. وفي أي دورة بعينها سيكون هناك إشعاع مُتبقٍ يملأ الفضاء.

[←25]

جدير بالذكر أنّه رغم أن المجرات غير مُزودة بمُحركات نفاثة، فإنها في العموم تُظهر نوعًا من الحركة يزيد على ذَلكَ النابع من تمدد الفضاء؛ وهو ينتُج في المُعتاد عن قوى الجاذبية الهائلة بين المجرات علاوة على الحركة الذاتية لسحب الغاز الدوامة التي تكونت منها النجوم داخل المجرات. يُطلق على هذِه الحركة اسم «السُرعة المُتمايزة» وهي عادة شديدة الضآلة بحيث يُمكن إسقاطها من حساباتنا الكونية.

[←26]

مُشكلة الأُفق مُشكلة مُعقدة، والوصف الذي قدمته للحل المطروح من جانب علم الكونيات التضخمي غير تقليدي قليلًا، لذا فليسمح لي القارئ المُهتم بالأمر أن أستفيض هنا قليلًا في عرض بعض التفاصيل. أولًا لنستعرض المشكلة:

تدبر منطقتين من الفضاء في سماء الليل تكون كل منهما بعيدة جدًا عن الأخرى لدرجة أنّه لم يحدث تواصل بينهما من قبل قطّ. وكي يكون كلامنا ملموسًا لنقل أن كل منطقة موجود بها راصد يتحكم في مُنظّم حرارة يُحدد درجة حرارة المنطقة الموجود بها. يُريد الراصدان أن تكون درجتا حرارة المنطقتين مُتماثلتين، لكنّ لأن الراصدين عاجزان عن التواصل فيما بينهما، فلا يدري أيهما الدرجة الصحيحة التي ينبغي أن يضبط مُنظم الحرارة الخاص به عليها. تتمثل الفكرة الطبيعية في أنّه بما أن الراصدين كانا أقرب كثيرًا كل منهما للآخر منذ مليارات السنوات، فمن المُؤكد أنّه كانَ من الأيسر لهما، منذ زمن بعيد، أن يتواصلا ومن ثمّ يضمنان أن تكون لكلتا المنطقتين درجة الحرارة ذاتها. ومع ذَلكَ، وكما ذكرنا في مُتن الكتاب، فإنه وفق نظرية الانفجار العظيم القياسية تفشل هذه الفكرة. إليك مزيدًا من التفاصيل عن السبب. في نظرية الانفجار العظيم القياسية، الكون آخذ في التمدد، غير أن مُعدل التمدد يتباطأ مع الوقت بسبب قوة الجاذبية. الأمر أشبه بما يحدث حين تقذف كرة لأعلى في الهواء. فخلال رحلة الصعود تتحرك الكرة بعيداً بسرعة، لكنّ بسبب قوة الجاذبية الأرضية فإنها تتباطأ على نحو ثابت. إنّ لتباطؤ التمدد المكاني تأثير عميق، وسأستخدم مثال الكرة المقذوفة كي أوضح الفكرة الأساسية. تخيل أنّ ثمّة كرة تستغرق رحلة صعودها، مثلاً، ست ثواني. بما أن الكرة كانت تتحرك في البداية بسرعة (حين غادرت يدك)، فإنها ستقطع النصف الأول من الرحلة في ثانيتين فقط، لكنْ بسبب تناقص سرعتها فإنها تستغرق أربع ثوان كي تقطع النصف الثاني من الرحلة. عندَ نقطة المنتصف الزمنية، أي بعد انقضاء ثلاث ثواني، ستكون الكرة هذا قد تجاوزت علامة المنتصف المكانية. وعلى نحو مشابه، في حالة التمدد المكاني الذي يتباطأ مع الوقت: عندَ نقطة المنتصف الزمنية من تاريخ الكون، كانت المسافة التي تفصل بين الراصدين تزيد على نصف المسافة المكانية الحالية. فكر فيما يعنيه هذا. لقد كانَ الراصدين قريبين، لكنْ كانَ التواصل بينهما أصعب، وليس أيسر. كانَ من شأن الإشارات التي يرسلها أحد الراصدين أن يتاح لها نصف الوقت كي تصل إلى الراصد الآخر، لكنّ المسافة التي كانَ على الإشارات أن تقطعها كانت تزيد على نصف المسافة الموجودة اليوم. إنّ إتاحة نصف الفترة الزمنية لتوصيل الإشارات عبر ما يزيد على نصف المسافة الفاصلة الحالية يجعل التواصل أكثر صعوبة من دون شك.

وهكذا فإن المسافة بين أي جسمين ما هي إلا اعتبار وحيد عندَ تحليل قدرتهما على التواصل معاً. الاعتبار الأساسي الآخر هو مقدار الزمن المُنقضي منذ الانفجار العظيم، لأن هذا المقدار يحد المدى الذي كانَ بمقدور أي تأثير مزعوم أن يقطعه. في نظرية الانفجار العظيم القياسية، رغم أن كل شيء كانَ أقرب لبعضه في الماضي بالفعل، فقد كانَ الكون يتمدد أيضاً بسرعة أكبر، وهو ما أتاح وقتاً أقل، من منظور نسبي، كي تؤدي المؤثرات عملها.

يتمثل الحل الذي يقدمه علم الكونيات التضخمي في إقحام حقبة في اللحظات المبكرة من تاريخ الكون لا يقل فيها معدل تمدد الفضاء مثل سرعة الكرة المقذوفة إلى أعلى، بل عوضا عن ذَلكَ فإن التمدد المكاني يبدأ بطيئا ثمّ يزداد بسرعة على نحو متواصل: فالتمدد يتسارع. ووفق المنطق عينه الذي عرضناه ففي منتصف هذه الحقبة التضخمية ستكون المسافة الفاصلة بين الراصدين أقل من نصف المسافة التي تفصل بينهما في نهاية هذه الحقبة. إنّ إتاحة نصف الفترة الزمنية أمام الراصدين كي يرسلوا إشاراتهم عبر أقل من نصف المسافة تعني أن التواصل في أزمنة سابقة كانَ أيسر. وبصورة أعم، في الأوقات الزمنية السابقة يعني التمدد المتسارع أن ثمة مزيداً من الوقت نسبياً - وليس أقل - كي تؤدي المؤثرات عملها. كانَ من شأن هذا أن يتيح للمناطق المكانية البعيدة عن بعضها اليوم أن تتواصل معاً في أزمنة سابقة، ويفسر درجة الحرارة المشتركة التي تمتلكها اليوم.

وبما أن التمدد المتسارع يؤدي إلى تمدد مكاني إجمالي أكبر بكثير مما في نظرية الانفجار العظيم القياسية، فقد كانت المنطقتان أقرب كثيراً لبعضهما عندَ بداية التضخم مقارنةً بما كانتا عليه في لحظة زمنية مماثلة وفق نظرية الانفجار العظيم القياسية. وهذا التفاوت في الحجم في الكون المبكر للغاية يعد طريقةً مكافئةً لفهم السبب وراء أن التواصل بين المنطقتين، الذي كانَ مستحيلاً وفق نظرية الانفجار العظيم القياسية، يمكن أن يتحقق بسهولة في النظرية التضخمية. فلو حدث أن صارت المسافة بين أي منطقتين أقل في أي لحظة زمنية بعد البداية، فسيكون من الأيسر لهما أن تتبادلا الإشارات.

وإذا أخذنا معادلات التضخم بجدية في أزمنة اعتباطية سابقة (وعلى سبيل التحديد تخيلنا أن الفضاء ذي شكل كروي)، سنرى أيضاً أن المنطقتين كانَ من شأنهما أن تنفصلان في البداية وفق نظرية الانفجار العظيم القياسية بصورة أسرع مما هو الحال حسب النموذج التضخمي: فهذه هي الكيفية التي جعلتهما موجودتان وفق نظرية الانفجار العظيم القياسية على مسافة أبعد مما هو الحال لو انفصلتا حسب النظرية التضخمية. وبهذا المعنى فإن الإطار المفاهيمي التضخمي يتضمن حقبة زمنية كانَ فيها معدل الانفصال بين هاتين المنطقتين أبطأ مما هو عليه وفق الإطار المفاهيمي المعتاد للانفجار العظيم. كثيراً، عندَ وصف علم الكونيات التضخمي، يكون التركيز منصبا وحسب على الزيادة الهائلة في سرعة التمدد مقارنة بالإطار المفاهيم التقليدي، وليس على الانخفاض في السرعة. وينبع الاختلاف في الوصف من ماهية السمات الفيزيائية التي نقارنها بين الإطارين. فإذا كنا بصدد مقارنة مسارا منطقتين كانت تفصلهما مسافةٌ معينةٌ في حقبة الكون المبكر، سيجد أن هاتين المنطقتين كانتا تنفصلان وفق النظرية التضخمية أسرع كثيراً مما هو الحال وفق نظرية الانفجار العظيم القياسية، وبحلول وقتنا الحالي فإنه تفصل بينهما مسافة أكبر كثيراً وفق النظرية التضخمية مما هو الحال وفق نظرية الانفجار العظيم التقليدية. لكنّ لو كنا بصدد تدر منطقتين تفصل بينهما مسافة معينة اليوم (مثل المنطقتين المتقابلتين على سماء الليل اللتين ركزت عليهما حديثي سابقا)، حينها فإن الوصف الذي أقدمه يعد ذا صلة. وتحديدا، في

أي لحظة زمنية في حقبة الكون المبكر، كانت تلك المنطقتان أقرب كثيراً لبعضهما، وتبتعد إحداهما عن الأخرى على نحو أبطأ كثيراً وفق نظرية تعتمد على التمدد التضخمي، مقارنة بالحال وفق نظرية لا تعتمد عليه. إنّ دور التمدد التضخمي هو تعويض البداية البطيئة عن طريق الفصل بين هاتين المنطقتين أسرع كثيراً، وبذا يضمن أنهما تصلان إلى الموقعين نفسيهما اللذين كانتا ستصلان إليه في السماء وفق نظرية الانفجار العظيم.

من شأن التناول الأوفى لمشكلة الأفق أن يتضمن تحديداً أكثر تفصيلاً للظروف التي ينتج عنها التمدد التضخمي، علاوة على العمليات التالية عليه والتي بموجبها، مثلاً، ينتج إشعاع الخلفية الميكروني الكوني. غير أن هذه المناقشة توضح التمييز الأساسي بين التمدد المتسارع والتمدد المتباطئ.

[←27]

وبالمثل، يعني التمدد فائق السرعة أن المناطق البعيدة عن بعضها اليوم كانت أقرب كثيراً لبعضها في اللحظات المبكرة من عمر الكون مما افترضته نظرية الانفجار العظيم التقليدية؛ وهو ما يضمن تثبيت درجة حرارة مشتركة لها قبل أن يفصلها التمدد المباغت.

[←28]

لاحظ أنك عن طريق ضغط الكيس فإنك تضخ طاقة فيه، وبما أن الكتلة والطاقة تؤديان إلى انحناء جذبوي، فإن الزيادة في الوزن ستكون راجعة جزئياً إلى الزيادة في الطاقة. ومع ذَلكَ فالمغزى هنا هو أنّ الزيادة في الضغط ذاته تسهم أيضاً في زيادة الوزن. (لاحظ أيضاً أننا على سبيل تحري الدقة علينا أن نتصور أننا نؤدي هذه «التجربة» في حجرة فراغية، ومن ثمّ لن نكون بحاجةٍ إلى تدبّر قوة الطفو الناتجة عن الهواء المحيط بالكيس) في أمثلة الحياة اليومية تكون الزيادة طفيفة، ومع ذَلكَ ففي البيئات الفيزيائية الفلكية من الممكن أن تكون الزيادة ضخمة. وفي الواقع، يلعب هذا دوراً في فهم لماذا، في مواقف معينة، تنهار النجوم على ذاتها بالضرورة مُشكِّلةً ثقوباً سوداء. فالنجوم عادة تحافظ على التوازن عن طريق الموازنة بين الضغط الدافع إلى الخارج، والذي تولده العمليات النووية في قلب النجم، وقوة الجاذبية التي تضغط إلى الداخل، والتي تولدها كتلة النجم. وبينما يستنفد النجم وقوده النووي، يقل الضغط الموجب، مسبباً انكماش النجم. يؤدي هذا إلى تقارب المكونات معاً ومن ثمّ يزيد قوة الجاذبية الخاصة بها. من أجل تحاشي مزيد من الانكماش تكون هناك حاجة إلى ضغط إضافي إلى الخارج (ما يطلق عليه الضغط الموجب، كما في الفقرة التالية الواردة في متن الكتاب). غير أن الضغط الموجب الإضافي ذاته يولد قوة جاذبة إضافية وبذا يجعل الحاجة إلى ضغط موجب إضافي أكثر إلحاحا. وفي مواقف بعينها يؤدي هذا إلى دوامة من عدم الاستقرار ويسهم الشيء ذاته الذي يعتمد عليه النجم كي يعادل قوة الجاذبية - الضغط الموجب - بقوة في تلك القوة الجاذبة بحيث لا يصير ثمة مفر من الانهيار الجذبوي الكامل. وبذا ينهار النجم على ذاته ويشكل ثقباً أسود.

[←29]

لعلك تظن أن الضغط السالب من شأنه أن يجذب إلى الداخل، وبهذا يتعارض مع الجاذبية الطاردة؛ التي تدفع نحو الخارج. وفي الواقع، لا يتسبب الضغط المتجانس، بغض النظر عن كونه موجبا أو سالبا، في الدفع أو الجذب. فعندما يكون الضغط حولك غير متجانس فأنت تشعر بهذا الاختلاف في الضغط على طبلة أذنك، إذ يكون الضغط مرتفقا على أحد الجانبين ومنخفضا على الآخر. الضغط الطارد الذي أتحدث عنه هنا هو قوة الجاذبية المولدة عن طريق وجود الضغط السالب المتجانس. هذه نقطة صعبة الفهم لكنّ أساسية. ومجددا، رغم أن وجود الكتلة الموجبة أو الضغط الموجب يولد قوة جاذبية جاذبة، يؤدي وجود الضغط السالب إلى توليد الجاذبية الطاردة غير المألوفة.

[←30]

التمدد السريع للفضاء يطلق عليه اسم التضخم، أو inflation، لكنّ اقتداء بالنمط التاريخي المتمثل في اختيار أسماء تنتهي بالمقطع «on» (على غرار الإلكترون electron، والنيوترون neutron والميون، muon... إلخ)، فعندما يشير الفيزيائيون إلى المجال الذي يسبب التضخم فإنهم يسقطون الحرف i من الكلمة الإنجليزية، ومن ثمّ يكتب اسم مجال التضخم على النحو التالي:
inflaton field.

شخصية رئيسية من شخصيات مسلسل ساوث بارك (المترجم). [←31]

[←32]

في النهج التضخمي الذي وصفته توًّا، لا يوجد تفسير جوهري وراء القيمة المرتفعة لمجال التضخم على منحنى الطاقة في البداية، ولا وراء الشكل المحدد الذي يتخذه منحنى طاقة الوضع. إنّ هذه محض افتراضات تطرحها النظرية. والنسخ الأخرى من نظرية التضخم، وأبرزها تلك التي طورها أندري لينده والمسماة «التضخم الفوضوي»، تجد أن منحنى طاقة الوضع «الطبيعي» (على شكل قطع زائد ليس به قطاع مستوي يظهر من أبسط المعادلات الرياضية الخاصة بطاقة الوضع) يمكن أيضاً أن ينتج تمدداً تضخمياً. ومن أجل بدء التمدد التضخمي، تحتاج قيمة مجال التضخم إلى أن تكون مرتفعة في أعلى منحنى طاقة الوضع هذا أيضاً، لكنّ ظروف الحرارة الشديدة المتوقع وجودها في حقبة الكون المبكر من الطبيعي أن تتسبب في حدوث هذا الأمر بصورة طبيعية.

[←33]

دعني أضيف تفصيلة إضافية ستفيد القارئ المجتهد. إنّ التمدد السريع للفضاء في علم الكونيات التضخمي يستتبع انخفاضاً شديداً في درجة الحرارة (تماماً مثلما يستتبع الانضغاط السريع للفضاء، أو غالبية الأشياء الأخرى، ارتفاعاً شديداً في درجة الحرارة). لكنْ مع انتهاء التضخم، يتذبذب مجال الضخم حول الحد الأدنى لمنحنى طاقة الوضع الخاص به، وينقل طاقته إلى تيار الجسيمات. تسمى هذه العملية «إعادة التسخين» لأن الجسيمات الناتجة بهذه الصورة تمتلك طاقة حركة ومن ثمّ يمكن أن تكتسب سماتها من واقع درجة الحرارة. وبينما يواصل الفضاء بعد ذلك المرور بعملية التمدد الطبيعية (غير التضخميّة المميزة لنظرية الانفجار العظيم، فإن درجة حرارة تيار الجسيمات تنخفض على نحو مطرد. غير أن المهم في الأمر هو أن هذا التجانس الذي أرساه التضخم يوفر ظروفاً متماثلة لكل هذه العمليات، ومن ثمّ يؤدي إلى نتائج متماثلة.

[←34]

كانَ آلان جوث واعياً بالطبيعة الأبدية للتضخم، كما كتب بول ستينهارد عن تجسيداتها الرياضية في سياقات معينة، وكذلك سلط ألكسندر فايلكين الضوء عليها بعبارات عامة.

[←35]

دعني أتعرّض إلى مسألةٍ ربما تكون قد خطرت ببالك، وهي مسألة سأعاود الحديث عنها في الفصل العاشر. بينما يمر الفضاء بتمدد تضخمي، فإن طاقته الإجمالية تزداد: فكلما كانَ حيز الفضاء المليء بمجال التضخم أكبر، كانت الطاقة الإجمالية أعظم (إذا كانَ الفضاء كبيراً بلا نهاية، ستكون الطاقة لا نهائية بالمثل، وفي هذه الحالة علينا أن نتحدث عن الطاقة المحتواة داخل منطقة متناهية من الفضاء بينما تكبر هذه المنطقة في الحجم). وهذا يقودنا على نحو طبيعي إلى السؤال التالي: ما مصدر هذه الطاقة؟ في الموقف الشبيه الخاص بزجاجة الشمبانيا يأتي مصدر الطاقة الإضافية داخل الزجاجة من القوة التي تبذلها عضلاتك. ما الذي يلعب دور عضلاتك في الكون الأخذ في التمدد؟ الإجابة هي الجاذبية. فبينما كانت عضلاتك هي العامل الذي من الفضاء المتاح داخل الزجاجة من التمدد (عن طريق جذب الفلينة)، فإن الجاذبية هي العامل الذي يمكّن الفضاء المتاح داخل الكون من التمدد. الأمر المهم الذي يجب إدراكه هو أن طاقة مجال الجاذبية يمكن أن تكون سالبة على نحو اعتباطي. تدبر جسيمين ينجذبان نحو أحدهما الآخر بفعل قوة الجاذبية المشتركة. تغري الجاذبية الجسيمين كي يتقارب أحدهما نحو الآخر أسرع وأسرع، وبينما يفعلان ذَلكَ فإن طاقة الحركة الخاصة بهما تصير موجبة أكثر وأكثر. بمقدور مجال الجاذبية أن يمد الجسيمين بهذه الطاقة الموجبة لأن الجاذبية يمكنها أن تسحب من مستودع الطاقة الخاص بها، والذي يصير سالبا في خضم هذه العملية: فكلما اقترب الجسيمان أحدهما من الآخر أكثر، صارت طاقة الجاذبية سالبة أكثر (وعلى نحو مكافئ صارت الطاقة التي ستحتاج إلى ضخها كي تتغلب على قوة الجاذبية وتفصل الجسيمين مجددا أكبر وأكبر). وبهذا فإن الجاذبية تعمل عمل بنك ذي خط ائتمان لا حدود لهُ ومن ثَمّ يمكنه إقراض مقادير لا نهائية من المال، وبمقدور الجاذبية أن توفر كميات لا نهائية من الطاقة لأن طاقتها الخاصة يمكن أن تصير سالبة أكثر وأكثر. وهذا هو مصدر الطاقة الذي يعتمد عليه التمدد التضخمي.

[←36]

سوف أستخدم مصطلح «الفقاعة الكونية»، رغم أن صورة «الجيب الكوني» الذي ينفتح داخل البيئة المحيطة التي يملؤها مجال التضخم تعد جيدة بالمثل (وهذا المصطلح من ابتكار آلان جوث).

[←37]

من ضمن الذين لعبوا دورًا رائدًا في هذا العمل كل من: فاتشيسلاف موكهانوف وجينادي تشيبيسوف وستيفن هوكينج وألكسي ستاروبينسكي وآلان جوث وسو-يونج باي وجيمس باردين وبول ستينهارد ومايكل تيرنر.

[←38]
مستكشف الخلفية الكونية أو مسبار كوبي الفضائي (بالإنجليزية: COBE)، هو قمر صناعي أمريكي مهمته قياس توزيع إشعاع الخلفية الميكروني الكوني (المترجم).

[←39]

للقارئ ذي الميول الرياضية نقول إنّ الوصف الأدق للمحور الأفقي في الشكل 3-5 هو كالتالي: تدبر الكرة ثنائية الأبعاد التي تضم النقاط داخل الفضاء في الوقت الذي بدأتْ فيه فوتونات إشعاع الخلفية الميكروني الكوني في التدفق بحرية. وكما هو الحال في أي كرة ثنائية الأبعاد، فإن مجموعة الإحداثيات الملائمة في هذا الموضع هي الإحداثيات الزاوية المأخوذة من منظومة إحداثيات كروية قطبية. من الممكن النظر إلى درجة حرارة إشعاع الخلفية الميكروني الكوني باعتبارها دالة لهذه الإحداثيات الزاوية، ومن ثمّ يمكن تفكيكها داخل متسلسلة فورييه مستخدمين التوافقات الكروية القياسية كأساس. المحور الرأسي في الشكل 3-5 مرتبط بحجم المعاملات الخاصة بكل نمط من أنماط التمدد، والجزء الواقع في أقصى يمين المحور الأفقي يتوافق مع انفصال زاوي أصغر. ومن أجل الاطلاع على التفاصيل الفنية المتخصصة انظر على سبيل المثال كتاب سكوت دودلسون الرائع:

.(Modern Cosmology (San Diego, Calif: Academic Press,2003

[40→]

أقتصر في حديثي على "الجسيمات الأساسية" كالإلكترونات والكواركات، لأن في حالة الجسيمات المركبة، كالبروتونات والنيوترونات (التي يتألف كل جسيم منها من ثلاثة كواركات)، غالبية الكتلة تنشأ من التفاعلات بين مكوانتها (فالطاقة التي تحملها جلونات القوة النووية القوية، والتي تربط الكواركات داخل البروتونات والنيوترونات معاً، تسهم بالسواد الأعظم من كتلة هذه الجسيمات المركبة).

[←41]

أعلن مختبر سيرن في 4 يوليو 2012 أنّه متأكد بنسبة 99.999% من وجود جسيم هيجز فعليًّا (المترجم).

[←42]

وعلى نحو أدقّ قليلاً، ليس طول مجال الجاذبية في حد ذاته هو ما يحدد الإبطاء الزمني، وإنما شدّة طاقة الوضع الجذبوية. على سبيل المثال، لو أنك تواجدت داخل تجويف كروي في قلب نجم هائل الحجم، فلن تشعر بقوة الجاذبية على الإطلاق، لكنْ لأنّك غارق في أعماق بئر من طاقة الوضع - الجاذبية، فسيسير الزمن من منظورك على نحو أبطأ مقارنة بشخص موجود خارج النجم.

[←43]

هذه النتيجة (وأفكار أخرى ذات صلة) تمّ التوصل إليها على يد عدد من الباحثين في سياقات مختلفة، وكان أفصح من عبّر عنها كل من ألكسندر فايلكين، وكذلك سيدني كولمان و فرانك دي لوتشيا.

[←44]

في مناقشتنا للكون المنسوج ربما تذكر أننا افترضنا أن ترتيب الجسيمات سوف يتباين عشوائياً من رقعة إلى أخرى. والصلة بين الكون المتعدد المنسوج والكون المتعدد التضخمي تتيح لنا أيضاً أن نستفيد من هذا الافتراض. تتشكل فقاعة كونية في منطقة ما حين تنخفض قيمة مجال التضخم، وبينما يحدث هذا فإن الطاقة التي يحويها مجال التضخم تتحول إلى جسيمات. والترتيب الدقيق لهذه الجسيمات في أي لحظة بعينها يتحدد عن طريق القيمة الدقيقة لمجال التضخم خلال عملية التحويل. لكنْ لأن مجال التضخم يكون عرضاً للتذبذبات الكمية، فبينما تنخفض قيمته سيكون عرضاً لتفاوتات عشوائية في القيمة؛ وهي التفاوتات العشوائية نفسها التي تؤدي إلى أنماط البقع الأسخن والأبرد قليلاً الظاهرة في الشكل 3-4. وعند تدبر هذه التذبذبات على امتداد الرقع الممتدة داخل الفقاعة الكونية، فإنها تشير إلى أن قيمة التضخم سوف تعتريها تفاوتات كمية عشوائية. وهذه العشوائية تضمن انصاف توزيع الجسيمات الناتج بالعشوائية بالمثل. ولهذا السبب نتوقع أن أي ترتيب للجسيمات، مثل ذَلِكَ المسؤول عن وجود كل ما نراه حولنا الآن، سوف يتكرر شأنه شأن أي ترتيب آخر.

[←45]

أشكر والتر إيزاكسون لتواصله الشخصي معي بشأن هذه القضية وعدد آخر من القضايا التاريخية المتصلة بألبرت آينشتاين.

[←46]

بقدر أكبر قليلاً من التفصيل نقول إنّ أفكار جلاشو وعبد السلام وواينبرج اقترحت أن القوة الكهرومغناطيسية والقوة النووية الضعيفة كانتا جانبين لقوة كهروضعيفة موحدة، وقدْ تم التحقق تجريبياً من صحة هذه النظرية بواسطة تجارب معجلات الجسيمات في أواخر سبعينيات القرن العشرين وأوائل ثمانينياته. قطع جلاشو وجورجي خطوة أبعد واقترحا أن القوة الكهروضعيفة والقوة النووية القوية كانتا جانبين لقوة أخرى أكثر جوهرية، ويطلق على هذا النهج اسم «التوحيد العظيم». غير أنّ الصورة الأبسط للتوحيد العظيم جرى استبعادها حين فشل العلماء في رصد إحدى تنبؤاتها، والتي تقضي بأن البروتونات من المفترض أن تتحلل من وقت إلى آخر. ومع ذَلكَ فثمة نسخ أخرى عديدة للتوحيد العظيم تظل قابلة للتحقق تجريبياً نظرا لأن معدل تحلل البروتونات، مثلاً، الذي تتنبأ به بطيء للغاية لدرجة أن التجارب القائمة لا تتمتع بعد بالحساسية الكافية لرصده. ومع ذَلكَ فحتى لو لم تثبت البيانات صحة التوحيد العظيم فما من شك بالفعل في أن القوى الثلاث غير الجذبوية من الممكن وصفها باستخدام اللغة الرياضية ذاتها الخاصة بنظرية المجال الكمي.

[←47]

أدى اكتشاف نظرية الأوتار الفائقة إلى ظهور مناهج نظرية أخرى، وثيقة الصلة، تسعى إلى التوصل إلى نظرية موحدة لقوى الطبيعة. وتحديداً، جرت محاولات نشطة لبناء النظرية المجال الكمي فائقة التناظر»، والنسخة الأعم منها التي تشمل الجاذبية والمسماة «الجاذبية الفائقة»، منذ منتصف سبعينيات القرن العشرين. إنّ نظرية المجال الكمي فائقة التناظر والجاذبية الكمية مبنيتان على المبدأ الجديد المسمى «التناظر الفائق»، والذي اكتشف داخل نظرية الأوتار الفائقة، غير أن هذان النهجان تُدرجان التناظر الفائق في نظريات الجسيمات النقطيَّة التقليدية. سوف تناقش التناظر الفائق بإيجاز في موضع لاحق من هذا الفصل، لكنّ للقارئ ذي الميول الرياضية سأذكر هنا أن التناظر الفائق هو آخر تناظر متاح في ما وراء التناظر الدوراني، والتناظر الانتقالي، وتناظر لورنتز، والتناظر الأكثر عمومية وشمولا؛ تناظر برانكاريه) لنظرية عادية للجسيمات الأساسية. وهو يربط بين جسيمات ذات لف مغزلي كمي متباين، وبذا يرسي علاقة نسب رياضية عميقة بين الجسيمات التي توصل القوى وتلك التي تؤلف المادة. الجاذبية الفائقة امتداد للتناظر الفائق، وهي تتضمن قوة الجاذبية. في الأيام المبكرة لأبحاث نظرية الأوتار أدرك العلماء أن الإطارين المفاهيميين للتناظر الفائق والجاذبية الفائقة يبزغان من التخليل منخفض الطاقة النظرية الأوتار. فعند الطاقات المنخفضة يصير من المستحيل تمييز الطبيعة الممتدة لأي وتر، لذا فإنه يبدو وكأنه جسيم نقطي. وبالتبعية، كما سنناقش في هذا الفصل، عندَ تطبيق الحسابات الرياضية لنظرية الأوتار على العمليات منخفضة الطاقة فإنها تتحول إلى تلك الخاصة بنظرية المجال الكمي. وقدْ وجد العلماء أنّه نظرا لأن التناظر الفائق والجاذبية يجتازان عملية التحول هذه بسلام، فإن نظرية الأوتار منخفضة الطاقة تؤدي إلى ظهور نظرية المجال الكمي فائقة التناظر والجاذبية الفائقة. وفي وقت قريب، كما سنناقش في الفصل التاسع، صارت الصلة بين نظرية المجال الكمي فائقة التناظر ونظرية الأوتار أعمق وأعمق.

[←48]

ربما يعترض القارئ المطلّع على قولي إنّ كل مجال مرتبط بجسيم. لذا، وعلى نحو أدق، أقول إنّ التذبذبات الصغيرة في أي مجال حول قدر موضعي أدنى من طاقة الوضع يتم في المعتاد تفسيرها على أنها حالات استثارة سببها جسيم. هذا كل ما تحتاجه من أجل المناقشة التي بين أيدينا، علاوة على ذَلكَ، سيلاحظ القارئ المطلع أن تحديد موضع جسيمٍ في حد ذاته يعد نوعا من التجسيد المثالي، لأنه سيحتاج - من واقع مبدأ عدم اليقين - إلى قدر لا نهائي من الطاقة والزخم لعمل ذَلكَ. ومجددا فإن المقصد الأساسي هو أنّه في نظرية المجال الكمي لا يوجد نظريا، أي قيود على الموضع الذي يتخذه الجسيم نهائيا.

[←49]

تاريخيا، جرى تطوير طريقة رياضية تعرف باسم «إعادة التنظيم» من أجل التعامل مع التبعات الكمية للتذبذبات الكمية الحادة التي تحدث على نطاق صغير (طاقات عالية)، وعند تطبيق إعادة التنظيم على نظريات المجال الكمي الخاصة بالقوى الثلاث غير الجذبوية فإنها عالجت الكميات اللانهائية التي ظهرت في مختلف الحسابات، ومكنت الفيزيائيين من إصدار تنبؤات شديدة الدقة. ومع ذَلكَ فعند استخدام عملية إعادة التنظيم مع التذبذبات الكمية الخاصة بمجال الجاذبية فقد ثبتت عدم فاعليتها: إذ فشلت هذه الطريقة في علاج القيم اللانهائية التي نتجت عن إجراء الحسابات الكمية التي تتضمن الجاذبية.

ومن منظور أحدث، تُرى هذه القيم اللانهائية الآن على نحو مختلف. فقد أدرك الفيزيائيون أنّه في الطريق نحو الحصول على فهم أعمق لطبيعة القوانين، من الحصافة أن يكون أي مقترح جديد وقتيا ومشروطا، وكذلك - لو كانَ هذا ملائما - أن يكون قادرا على وصف العمليات الفيزيائية وصولاً إلى نطاقات طول معينة وحسب (أو وصولاً إلى نطاقات طاقة محددة وحسب). وفي ما وراء ذَلكَ النطاق توجد ظواهر تقع خارج متناول أي مقترح. وإذا تبنينا هذا النهج فسيكون من قبيل الطيش أن تبسط النظرية حتّى نطاقات مسافة أصغر من تلك الموجودة داخل مجال تطبيقها (أو إلى مستويات طاقة أعلى من مجال تطبيقها). وفي ضوء هذا القيد الداخلي (وكما وصفنا في متن الكتاب)، لا تظهر أي قيم لا نهائية على الإطلاق. وبدلاً من ذَلكَ جرى حسابات داخل نظرية يكون نطاق تطبيقها محدد من البداية. هذا يعني أن القدرة على إصدار التنبؤات قاصرة على الظواهر التي تقع ضمن حدود النظرية؛ إذ عندَ المسافات القصيرة للغاية (أو الطاقات المرتفعة للغاية لا تقدم النظرية أي رؤى. ويتمثل الهدف النهائي لأي نظرية كاملة للجاذبية الكمية في رفع هذا القيد الداخلي، وتحرير القدرات التنبؤية والكمية على نطاقات غير محدودة.

[←50]

لمعرفة من أين أتت هذه الأرقام المحددة، لاحظ أن ميكانيكا الكم (التي نناقشها في الفصل الثامن) تربط موجة بكل جسيم، وكلما كانَ الجسيم أثقل كانَ الطول الموجي أقصر (المسافة بين القمم المتعاقبة). أيضاً تربط نسبية آينشتاين العامة طولاً موجياً بأي جسيم؛ الحجم الذي سيحتاج الجسم أن ينضغط إليه كي يصير ثقباً أسوداً. وكلما كانَ الجسم أثقل، كانَ الحجم أكبر. تخيل، إذاً، أنك بدأتَ بجسيم تصفه ميكانيكا الكم ثمّ زدت كتلته ببطء. بينما تفعل ذَلكَ فإن الموجة الكمية الخاصة بالجسيم تصير أقصر، بينما «حجم ثقبه الأسود» يصير أكبر. عندَ كتلة معينة سيصير الطول الموجي الكمي وحجم الثقب الأسود متساويين؛ وهو ما يرسي خطاً قاعدياً للكتلة والحجم تكون فيه اعتبارات ميكانيكا الكم والنسبية العامة مهمة بالمثل. عندَ إجراء هذه التجربة الفكرية بصورة كمية، نجد أن الكتلة والحجم هما هذان المذكوران في متن الكتاب: كتلة بلانك وطول بلانك على الترتيب. سأتحدث الآن عن «المبدأ الهولوجرافي» الذي ستناقشه بالتفصيل في الفصل التاسع. يستخدم هذا المبدأ النسبية العامة وفيزياء الثقوب السوداء كي يقترح حداً معيناً لعدد درجات الحرية الفيزيائية التي يمكن أن توجد داخل أي حيز من الفضاء (ثمة نسخة أدق من هذه المناقشة وردت في الفصل الثاني عندَ الحديث عن عدد ترتيبات الجسيمات المحددة الممكنة داخل حيز من الفضاء، وهي كذلك مذكورة في الملحوظة رقم 14 من ملحوظات الفصل الثاني). إذا صح هذا المبدأ، حينها فإن التعارض بين النسبية العامة وميكانيكا الكم يمكن أن ينشأ قبل أن تكون المسافات صغيرة أو الانحناءات كبيرة. ونظرية المجال الكمي تتنبأ بأن الحيز المكاني الضخم الذي يحوي غازاً منخفض الكثافة من الجسيمات سيمتلك درجات من الحرية أكثر بكثير من ذَلكَ الذي يُتيحه المبدأ الهولوجرافي (الذي يعتمد على النسبية العامة).

[←51]

اللف المغزلي الكمي مفهوم معقد. وبصفة خاصة في نظرية المجال الكمي، حيث ينظر إلى الجسيمات بوصفها نقاط، من الصعب تخيّل ما يعنيه «اللف المغزلي» من الأساس. لكنّ ما حدث فعلياً هو أن التجارب تبين أن الجسيمات يمكن أن تمتلك خاصية جوهرية تبدو أقرب إلى كمية ثابتة من الزخم الزاوي. علاوةً على ذَلكَ، تبيّن نظرية الكم أن الجسيمات سوف تمتلك في المعتاد زخماً زاويًّا هو مضاعف صحيح لكمية أساسية (ثابت بلانك مقسوما على 2)، وقدْ أكدت التجارب هذا. وبما أن الأجسام الكلاسيكية الملتفة حول ذاتها تمتلك زخماً ذاتياً جوهرياً (لكنّه ليس ثابتاً، إذ يتغير مع تغير سرعة دوران الجسم حول ذاته)، فقد استعار الفيزيائيون النظريون التسمية «اللف المغزلي» وطبقوها على هذا الموقف الكمّي المشابه. ومن هنا جاءت التسمية «الزخم الزاوي المغزلي». أما تشبيه «اللف مثل النحلة الدوارة» فيقدم صورة ذهنية معقولة، ومن الأدق تصوّر أن الجسيمات لا يجري تعريفها من واقع كتلتها وشحنتها الكهربية وشحناتها النووية وحسب، وإنما أيضاً من خلال الزخم الزاوي المغزلي الذي تمتلكه. ومثلما نقبل الشحنة الكهربية للجسيم بوصفها سمة جوهرية مميزة لهُ، تؤكد التجارب أن الأمر عينه ينطبق على الزخم الزاوي المغزلي الخاص به.

[←52]

كما تذكر فإن التعارض بين النسبية العامة وميكانيكا الكم ينشأ عن التذبذبات الكمية القوية لمجال الجاذبية والتي تهز نسيج الزمكان بعنف شديد لدرجة أن الطرق الرياضية التقليدية لا يمكنها التأقلم مع الأمر. ويخبرنا عدم اليقين الكمي بأن هذه التذبذبات تصير أقوى وأقوى عندَ دراسة المكان على مستويات مسافة أصغر وأصغر (ولهذا السبب لا نرى هذه التذبذبات في حياتنا اليومية). وعلى وجه التحديد، تبيّن الحسابات أن التذبذبات النشطة العنيفة في نطاقات المسافة التي تقل عن نطاق بلانك هي التي تجعل الحسابات الرياضية تتداعى (فكلما كانت المسافة أقصر، كانت طاقة التذبذب أعلى). وبما أن نظرية المجال الكمّي تصف الجسيمات باعتبارها نقاطا ليس لها حيز مكاني، فإن المسافات التي تستطيع هذه الجسيمات سبرها يمكن أن تكونٍ صغيرة للغاية، ومن ثمّ فإن التذبذبات الكمية التي تستشعرها ستكون عنيفة للغاية. تغير نظرية الأوتار هذا. فالأوتار ليست نقاطاً؛ بل لها امتداد مكاني. وهذا يعني أنّه يوجد قيد يحدد مقدار صغر المسافة التي يمكن سبرها، ولو من الناحية النظرية، نظراً لأن الأوتار تعجز عن أن تستكشف مسافات أصغر من حجمها. وبالتبعية، فإن الحد المفروض على مقدار صغر المسافات التي يمكن استكشافها يترجم إلى حد على مقدار النشاط الذي تستطيع التذبذبات أن تكون عليه. وهذا الحد يعد كافياً لترويض الحسابات الرياضية الجامحة، ويسمح لنظرية الأوتار بتحقيق الدمج بين ميكانيكا الكم والنسبية العامة.

[←53]

لو كانَ أيّ جسم أحادي البعد حقاً، فلن نستطيع أن نراه مباشرة لأنه لن يمتلك سطحاً يمكن أن تنعكس عليه الفوتونات ولن يمتلك القدرة على إنتاج فوتونات خاصة به عن طريق الانتقالات الذريّة. لذا، حين أستخدم الفعل «نري» في متن الكتاب فإن هذا بديل لأي وسيلة رصد أو تجريب ربما تستخدمها كي تحصل على دليل بشأن الامتداد المكاني للجسم. المغزى، إذاً، هو أن أي امتداد مكاني أصغر من قدرة إجراءاتك التجريبية على سبره سوف يفلت من الرصد التجريبي.

برنامج وثائقي بعنوان «ما لم يعلمه آينشتاين قطّ» عرض على قناة نوفا، 1985. [←54]

[←55]

وعلى نحو أدق، المكون الكوني الأكثر ارتباطاً بوجودنا سيكون مختلفاً تماماً. فبما أن الجسيمات المألوفة والأجسام التي تتألف منها - النجوم والكواكب والبشر، إلخ - تمثل أقل من 5 بالمائة من كتلة الكون، فمن شأن هذا الخلل ألاّ يؤثر على السواد الأعظم من الكون، على الأقل من منظور الكتلة المقيسة. ومع ذَلكَ، فمن منظور التأثير على الحياة كما نعرفها، سيكون التغيير عميقا.

[←56]

ثمة بعض القيود الهينة التي تضعها نظريات المجال الكمي على متغيراتها الداخلية. فمن أجل تجنب فئات معينة من السلوكيات الفيزيائية غير المقبولة (انتهاكات القوانين حفظ الطاقة المهمة، وانتهاكات لتحولات معينة في التناظر، وما إلى ذَلكَ)، من الممكن أن توجد قيود على الشحنات (الكهربية والنووية كذلك) الخاصة بجسيمات هذه النظريات. علاوة على ذَلكَ فمن أجل ضمان أن مجموع الاحتمالية في كل العمليات الفيزيائية يساوي 1، من الممكن أن توجد أيضاً قيود على كتل الجسيمات. لكن حتّى في وجود هذه القيود ثمة نطاق عريض من القيم المسموح بها لخصائص الجسيمات.

[←57]

سيذكر بعض الباحثين أنّه رغم أن لا المجال الكمي ولا فهمنا الحالي لنظرية الأوتار يقدمان تفسيراً لخصائص الجسيمات، فإن القضية أكثر إلحاحاً في نظرية الأوتار. النقطة الأساسية معقدة بعض الشيء، لكن سأقدم في ما يلي ملخصاً لأولئك الذين لا يفضلون الحديث بلغة فنية متخصصة. في نظرية المجال الكمي، تتحدد خصائص الجسيمات - كتلتها تحديداً - من خلال الأرقام التي يجري إدخالها في معادلات النظرية. وحقيقة أن معادلات نظرية المجال الكمي تتيح تباين هذه الأرقام هي الطريقة الرياضية للقول بأن نظرية المجال الكمي لا تحدد كتل الجسيمات وإنما تأخذها كما هي كمدخلات. في نظرية الأوتار تأتي المرونة التي تتسم بها كتل الجسيمات من أصل رياضي مشابه - تسمح المعادلات للأرقام بأن تتفاوت في حرية - غير أن تجسيد هذه المرونة يكون أوضح. إنّ الأرقام المتفاوتة في حرية - بمعنى الأرقام التي يمكن أن تتفاوت من غير وجود أي تكلفة في الطاقة - تتوافق مع وجود جسيمات عديمة الكتلة. (باستخدام لغة منحنى طاقة الوضع الذي قدمناه في الفصل الثالث، تخيل منحنى طاقة وضع مستوي بالكامل، أي خطاً أفقياً. وتماماً مثلما من شأن السير على أرض مستوية تمام الاستواء ألاّ يكون لهُ تأثير على طاقة الوضع الخاصة بك، فإن تغيير قيمة مثل هذا المجال من شأنه ألاّ يكلف أي طاقة. وبما أن كتلة الجسيم تعتمد على تقوس منحنى طاقة الوضع الخاص بمجاله الكمي حول القيمة الدنيا، فمن ثمّ تصير كمّات هذه المجالات عديمة الكتلة.) إنّ الأعداد الهائلة للجسيمات عديمة الكتلة تعد سمة مثيرة للحرج في أي نظرية مقترحة، لأن ثمة قيد شديد على هذه الجسيمات يأتي من البيانات المأخوذة من المعجلات ومن المشاهدات الفلكية. وكي تصير نظرية الأوتار صحيحة، من الحتمي أن تكتسب هذه الجسيمات كتلة. في السنوات الأخيرة، أوضحت مجموعة من الاكتشافات طرقا يمكن بها حدوث هذا الأمر، وهي تتعلق بالتدفقات التي يمكن أن تشق طريقها عبر الثقوب الموجودة في أشكال كالابي-ياو ذات الأبعاد الإضافية. وسوف أناقش هذا ملامح هذه التطورات في الفصل الخامس.

[←58]

ليس من المستحيل على التجارب أن تقدم أدلة من شأنها أن تعارض بشدة نظرية الأوتار. إنّ بنية نظرية الأوتار تضمن أن ثمة مبادئ أساسية معينة ينبغي أن تحترمها كل الظواهر الفيزيائية. ومن هذه المبادئ مبدأ الواحدية (بمعنى أن مجموع كل الاحتمالات الخاصة بكل النتائج الممكنة في أي تجربة يجب أن يساوي 1) وثبات لورنتز الموضعي (ويعني أن في أي نطاق صغير بما يكفي ينبغي أن تسري قوانين النسبية الخاصة)، علاوة على السمات الأكثر تخصصاً مثل الخاصية التحليلية والعبور المتناظر (ويعني أن نتيجة تصادمات الجسيمات يجب أن تعتمد على زخم الجسيمات بصورة تحترم مجموعة معينة من المعايير الرياضية). وإذا حدث أننا عثرنا على أدلة - ربما في مصادم الهدرونات الكبير - تثبت أن أي من هذه المبادئ قد تعرض للانتهاك، فسيكون من الصعب للغاية توفيق هذه البيانات مع نظرية الأوتار. (أيضاً سيكون من الصعب للغاية توفيق تلك البيانات مع النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات، والذي يتضمن هذه المبادئ هو الآخر، غير أن الافتراض الأساسي هو أن النموذج القياسي يجب أن يفسح المجال أمام نوع جديد من الفيزياء عندَ نطاقات الطاقة المرتفعة نظرا لعدم احتواء النظرية على الجاذبية. والبيانات المتعارضة مع أي من المبادئ التي أوردناها من شأنها أن تشير إلى أن الفيزياء الجديدة ليست نظرية الأوتار.)

[←59]

من الشائع الحديث عن مركز الثقب الأسود كما لو كانَ موضعاً مكانياً. غير أنّه ليس كذلك، بل هو لحظة زمنية. فعندما تعبر أفق حدث أي ثقب أسود يتبادل الزمن والمكان (الاتجاه الشعاعي) دوريهما. فإذا سقطت في ثقب أسود، مثلاً، فإن حركتك الشعاعية تمثل تقدمك عبر الزمن. ومن ثمّ فأنت تنجذب نحو مركز الثقب الأسود بالطريقة عينها التي تنجذب بها نحو اللحظة الزمنية التالية. وبهذا المعنى فإن مركز الثقب الأسود يشبه لحظة زمنية أخيرة.

[←60]

لأسباب كثيرة، تعد الإنتروبيا من المفاهيم المحورية في الفيزياء. في الحالة التي ناقشناها، تستخدم الإنتروبيا كأدة تشخيصية بغية تحديد ما إنّ كانت نظرية الأوتار ستتغاضى عن أي خصائص فيزيائية أساسية عندَ وصفها للثقوب السوداء. وإذا كانَ الحال كذلك، فإن انعدام النظام داخل الثقوب السوداء، والتي تستخدم حسابات نظرية الأوتار الرياضية في حسابه، سيكون غير دقيق. وحقيقة أن الإجابة تتفق تماماً مع ما توصل إليه بيكنشتاين وهوكينج باستخدام عمليات تفكير مختلفة للغاية تعد علامة قوية على أن نظرية الأوتار نجحت في اقتناص الوصف الفيزيائي الجوهري. وهذه نتيجة مشجعة للغاية. لمزيد من التفاصيل، طالع الفصل الثالث عشر من كتاب «الكون الأنيق».

[←61]

ظهرت البادرة الأولى لذلك الاقتران بين أشكال كالابي-ياو في أبحاث لانس ديكسون، وكذلك على نحو مستقل في أبحاث فولفجانج ليرش ونيكولاس فارنر وكومرون فافا. وقدْ توصلت أبحاثي مع رونين بليسر إلى طريقة لإنتاج أول أمثلة ملموسة لهذه الأزواج، والتي سميناها «أزواج المرآة»، وسمينا العلاقة بينها «التناظر المرآتي». أيضاً أوضحت أنا وبليسر أن الحسابات الصعبة في أحد عضوي أزواج المرأة، والتي تتضمن تفاصيل مستحيلة التعقيد مثل عدد الكرات التي يمكن وضعها داخل الشكل، من الممكن ترجمتها إلى حسابات أيسر كثيراً داخل العضو الآخر داخل الزوج. وقدْ انتبه فيليب كانديلاس وزينيا دي لا أوسا وبول جرين ولايندا باركس هذه النتيجة ووضعوها موضع التنفيذ؛ إذ طوروا طرقا لتقييم التساوي الذي أثبتناه أنا ويليسر بين الصيغ «الصعبة» و«السهلة». وباستخدام الصيغ السهلة استطاعوا الحصول على معلومات عن الشريك الصعب، منها الأعداد المرتبطة بوضع الكرات والموضحة في متن الكتاب. وفي السنوات التي تلت ذَلكَ، صار التناظر المرآتي مجالاً بحثياً مستقلاً، وأثمر عن تحقيق عدد كبير من النتائج المهمة. ومن أجل الاطلاع على القصة كاملة، انظر كتاب شينج-تونج وستيف ناديس:

.(The Shape of Inner Space (New Yourk:basicbooks,2010)

[←62]

إنّ زعم نظرية الأوتار أنها نجحت في دمج ميكانيكا الكم والنسبية العامة يرتكز على وفرة من الحسابات المؤيدة، والتي تجعلها النتائج التي سنغطيها في الفصل التاسع أكثر إقناعا.

[←63]

الميكانيكا الكلاسيكية F=MA، الكهرومغناطيسية $d*F = *J; dF = 0$.

ميكانيكا الكم $H\psi = i\hbar\frac{d\psi}{dt}$، النسبية العامة $R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$.

[←64]

أشير هنا إلى ثابت البنية الدقيق $E^2HC/$، الذي تساوي قيمته العددية (عندَ الطاقات المعتادة للعمليات الكهرومغناطيسية) نحو 1/ 137، أو ما يعادل تقريباً 0.0073

[←65]

يمكنك النظر إلى هذا بوصفه تعميم شامل للنتائج التي تعرضنا إليها في إيجاز في الفصل الرابع والذي فيه تؤدي الأشكال المختلفة للأبعاد الإضافية إلى ظهور نماذج فيزيائية متطابقة.

[←66]

ذهب ويتن إلى أنّه حين يكون ثابت اقتران نظرية النوع الأول كبيراً، فإن النظرية تتحول إلى نظرية النوع الهجين أوه، والتي يكون ثابت الاقتران بها صغيراً، والعكس بالعكس، وحين يكون ثابت اقتران نظرية النوع الثاني (ب) كبيراً فإنها تتحول إلى نسخة من نفسها، لكنّ ذات ثابت اقتران صغير. الموقف في حالة النوع الهجين إي والنوع الثاني (أ) أكثر تعقيداً بقليل (لمزيد من التفاصيل انظر كتاب «الكون الأنيق» الفصل الثاني عشر)، غير أن الصورة الإجمالية هي أن النظريات الخمس كلها تشارك في شبكة من العلاقات المتبادلة.

[←67]

لم يكن هذا نتيجة مصادفة رياضية غامضة. ولكن بمعنى رياضي دقيق فإن الأوتار أشكال تتسم بدرجة عالية من التناظر، وهذا التناظر هو ما محا أوجه التضارب.

- للقارئ ذي الميول الرياضية نقول إنّ الأمر المميز بشأن الأوتار، تلك المكونات أحادية الأبعاد، هو أن الفيزياء التي تصف حركتها تطيع مجموعة تناظر ذات أبعاد لا نهائية. يعني هذا أنّه بينما يتحرك الوتر فإنه يجتاز سطحاً ثنائي الأبعاد، ومن ثمّ فإن الفعل الذي تشتق منه معادلات حركته هو نظرية مجال كمى ثنائية الأبعاد. بصورة تقليدية فإن مثل هذه الأفعال ثنائية الأبعاد تكون ثابتة الزوايا (أي ثابتة خلال عمليات إعادة الضبط التي تحافظ على الزوايا في أي سطح ثنائي الأبعاد)، وهذا التناظر يمكن حفظه في ميكانيكا الكم عن طريق فرض قيود عديدة (مثل عدد الأبعاد الزمكانية التي تتحرك خلالها الأوتار؛ أي أبعاد الزمكان). إنّ مجموعات الثبات الخاصة بتحولات التناظر ذات أبعاد لا نهائية، وهذا أمر أساسي في ضمان أن التحليل الكمي الاضطرابي لأي وتر متحرك يتصف بالاتساق الرياضي. على سبيل المثال، العدد اللانهائي من حالات الاستثارة لأي وتر متحرك والذي في ظل ظروف أخرى سيكون لهُ دالة سالبة (نابعة من البصمة السالبة للمكون الزمني داخل المصفوفة الزمكانية) يمكن «إدارته» بعيداً بصورة منهجية باستخدام مجموعة تناظر ذات أبعاد لا نهائية. لمزيد من التفاصيل يستطيع القارئ الرجوع إلى كتاب مايكل جرين وجون شوارتز وإدوارد ويتن Superstring Theory, vol. 1 (Cambridge: Cambridge University Press, 1988).

[←68]

كما هو الحال في أي اكتشاف كبير، ينبغي أن ننسب الفضل إلى أولئك الذين مهدت أفكارهم الساحة علاوة على أولئك الذين قدموا أبحاثاً ذات أهمية، ومن الذين لعبوا دوراً في اكتشاف الأغشية داخل نظرية الأوتار كل من: مايكل داف وبول هاو وتاكيو إينامي وكيلي ستيلي وإريك برجسهوف وإرجين زيجين ويول تاونسند وكريس هل وكريس بوب وجون شوارتز وأشوك سين وأندرو سترو مينجر وكيرتس كالان وجو بولتشينسكي وبيتر هورافا وجيه داي وروبرت لي وهيرمان نيكولاي وبرنارد ديويت.

[←69]
تمثلت الثورة الأولى في النتائج التي قدمها جون شوارز و مايكل جرين في عام 1984، والتي شكلت نقطة انطلاق النسخة الحديثة من هذا الموضوع.

[←70]

لو كنت دقيق الملاحظة ستلاحظ أن شريحة الخبز ثلاثيةِ الأبعاد في حقيقتها (إذ يوجد بُعدا الطول والعرض على سطح الشريحة، ويوجد بُعد العمق في سُمك الشريحة)، لكنّ لا تدع ذَلكَ يقلقك. فسُمك شريحة الخبز سيذكرنا بأن شرائح الخبز ما هي إلا تمثيل بصري بديل للأغشية الثلاثية الضخمة.

[←71]

قد يقول القارئ المجتهد إنّ الكون المتعدد التضخمي يتضمن الزمن أيضاً بصورة جوهرية ما، نظراً لأن حدود فقاعتنا الكونية تعد بداية الزمن داخل كوننا، وما يوجد خارج نطاق فقاعتنا يكون بالتبعية خارج زمننا؛ ورغم أن هذا صحيح، فالنقطة التي أقصدها هنا أكثر عمومية؛ وهي أن الأكوان المتعددة التي ناقشتها إلى الآن تظهر جميعها من تحليلات تركز بالأساس على عمليات تحدث في أرجاء المكان، وفي الكون المتعدد الذي سوف نناقشه الآن، يُعد الزمن مكوناً محورياً من البداية.

[←72]

ربما لا تزال تتساءل عما إذا كانَ ذَلكَ الحيز المكاني ذي الأبعاد الأعلى يتحرك هو الآخر، غير أن هذه الفكرة، مهما بدت مثيرة للاهتمام، ليست لها صلة بمناقشتنا الحالية.

[←73]

كتاب ألكسندر فريدمان The World as Space and Time المنشور بالروسية عام 1923، والذي أشار إليه هيلجي كراج في مقال:

Continual Fascination: The Oscillating Universe in Modem Cosmology, » Science in« ..Context 22, no.4» (2009): 587–612

[74 ←]

للقراء المطلعين على معضلة سهم الزمن، رجاء ملاحظة أنني أفترض، بما يتفق مع المشاهدات، أن الإنتروبيا تقل كلما اتجهنا نحو الماضي. ولمناقشة أكثر تفصيلًا يمكن الرجوع إلى الفصل السادس من كتابي «نسيج الكون».

[←75]

من التفاصيل المثيرة للاهتمام أن واضعي نموذج العوالم الغشائية الدوري يعتمدون على تطبيق نفعي محدد للطاقة المظلمة (سوف نناقش الطاقة المظلمة تفصيليًّا في الفصل السادس). ففي المرحلة الأخيرة من كل دورة، يضمن وجود الطاقة المظلمة في العوالم الغشائية وجود اتفاق مع مشاهداتنا اليوم للتمدد المتسارع، وهذا التمدد المتسارع بالتبعية يخفف كثافة الإنتروبيا، بحيث يمهد الساحة أمام الدورة الكونية التالية.

[76 ←]

أيضاً تنحو قيمة التدفق الكبيرة إلى الإخلال باستقرار أي شكل بعينه من أشكال كالابي-ياو الخاصة بالأبعاد الإضافية. يعني هذا أن التدفقات تنحو إلى دفع شكل كالابي-ياو إلى النمو لحجم أكبر، بحيث يدخل في تعارض مع المعيار الذي يقضي بأن الأبعاد الإضافية يجب ألاّ تكون مرئية.

[←77]

ثمة نقطة لغوية تستحق لفت النظر إليها. في أغلب الأحيان أستخدم المصطلحين «الثابت الكوني» و«الطاقة المظلمة» على نحو تبادلي. وعندما أتحرى المزيد من الدقة، أعتبر أن قيمة الثابت الكوني تشير إلى «مقدار» الطاقة المظلمة التي تتخلل الفضاء. وكما ذكرت من قبل فإن الفيزيائيين يستخدمون عادة مصطلح «الطاقة المظلمة» على نحو فضفاض أكثر قليلًا، بحيث يعني أي شيء

يتخذ هيئة الثابت الكوني عبر نطاقات زمنية طويلة على نحو معقول، لكنه قد يتغير ببطء ومن ثم لا يُعد ثابتًا بحق.

[←78]

My World Line (New York: Viking Adult, 1970); J. C. Pecker, Letter to the Editor, جورج جاموف
.Physics Today, May 1990, p. 117

[←79]

ألبرت آينشتاين The Meaning of Relativity (Princeton: Princeton University Press, 2004), p. 127.

لاحظ أن آينشتاين استخدم مصطلح «العضو الكونى» لوصف ما نطلق عليه الآن اسم «الثابت الكوني»، وتحرياً للوضوح فقد قمت بهذا الاستبدال في متن الكتاب.

[←80]

انظر كتاب: The Collected Papers of Albert Einstein, (Princeton: Princeton University Press, 1998), p. 316 من تحرير روبرت شولمان وآخرين

[←81]

التزيح أو التخاطل (parallax) هو التغير الظاهري في موقع الشيء المنظور، خاصة الجرم السماوي، بسبب اختلاف مكان الرؤية (المترجم).

[←82]

هذه أيضًا هي الكيفية التي تعمل بها تقنية الرؤية ثلاثية الأبعاد في الأفلام: فعن طريق اختيار المواضع المكانية للصور شبه المتطابقة على الشاشة يستطيع صناع الفيلم حمل عقلك على تأويل التزيحات الناتجة على أنها مسافات مختلفة، وبهذا يخلق وهم البيئة ثلاثية الأبعاد.

[←83]

بطبيعة الحال بعض الأشياء تتغير بالفعل، وكما أوضحت في الملحوظات الخاصة بالفصل الثالث فإن المجرات تمتلك عموماً سرعات بسيطة إلى جانب سرعة التضخم المكاني. وعلى مدار فترات زمنية فلكية، يمكن لهذه الحركات الإضافية أن تغير العلاقات بين المواضع، ويمكن لهذه الحركة أيضاً أن تؤدي إلى مجموعة متنوعة من الأحداث الفيزيائية الفلكية المثيرة للاهتمام على غرار تصادم المجرات واندماجها. ولكن عندَ الحديث عن المسافات الكونية فإن هذه التعقيدات يمكن تجاهلها في أمان.

[←84]

ثمة تعقيد إضافي ليس من شأنه أن يؤثر على الفكرة الأساسية التي شرحتها، لكنه يظهر واضحاً عندَ إجراء التحليلات العلمية المذكورة. فبينما تتحرك الفوتونات نحونا قادمة من أي مستعر أعظم، فإن كثافتها العددية تخف على النحو الذي وصفته. ومع ذَلكَ فثمة انخفاض آخر يحدث لها. في القسم التالي سأصف كيف أن تمدد الفضاء يتسبب في جعل الأطوال الموجية للفوتونات تستطيل هي الأخرى، وبالتبعية فإن طاقاتها تنخفض، وهو التأثير المسمى الإزاحة الحمراء، كما سنرى. وكما أوضحت هنا فإن علماء الفلك يستخدمون بيانات الإزاحة الحمراء كي يعرفوا بشأن حجم الكون حين انبعثت الفوتونات؛ وهي خطوة مهمة نحو تحديد الكيفية التي تباين بها تمدد الفضاء على مدار الوقت. غير أن استطالة الفوتونات -وانخفاض طاقاتها -لهُ تأثير آخر: إذ إنه يجعل المصار البعيدة أشد خفوتاً. وهكذا، من أجل تحديد المسافة التي تفصلنا عن المستعر الأعظم بشكل دقيق عن طريق مقارنة السطوع الظاهري بالسطوع الحقيقي، يجب على علماء الفلك ألاّ يضعوا في الحسبان قلة الكثافة العددية للفوتونات (كما وصفت في متن الكتاب) وحسب، وإنما كذلك الخفوت الإضافي للطاقة الآتية من الإزاحة الحمراء. (وعلى نحو أدق، يجب تطبيق معامل الخفوت الإضافي هذا مرتين، إذ إنّ معامل الإزاحة الحمراء الثاني يفسر استطالة المعدل الذي تصل به الفوتونات بالمثل بسبب التمدد الكوني.)

[←85]

إنّ الإجابة الثانية المُقترحة، والخاصة بمعنى المسافة المقيسة، من الممكن اعتبارها إجابة صحيحة بالمثل إذا جرى تفسيرها على نحو ملائم. في مثال تمدد سطح الأرض، تبتعد نيويورك وأوستن ولوس أنجلوس بعيداً عن بعضها، ومع ذَلكَ فكل منها لا تزال تشغل الموضع ذاته على الأرض كما كانَ حالها دوماً. فهذه المدن تبتعد عن بعضها لأن سطح الأرض يتضخم، وليس لأن شخصاً ما انتزعها من مكانها ووضعها على شاحنة ثمّ غرسها في مكان جديد. وبالمثل، نظراً لأن المجرات تبتعد عن بعضها بسبب التضخم الكوني، فإنها أيضاً تشغل المواض ذاتها في الفضاء كما كانت دائماً. ولك أن تفكر فيها باعتبارها مثبتة داخل نسيج المكان، وعندما يتمدد هذا النسيج فإن المجرات تبتعد عن بعضها، لكنّها مع ذَلكَ مثبتة إلى المواضع نفسها التي كانت تشغلها دائماً. وهكذا فرغم أن الإجابة الثانية والثالثة تبدوان مختلفتين -إذ تركز الإجابة الثانية على المسافة بيننا وبين الموضع الذي كانت تشغله مجرة بعيدة منذ دهور مضت، حين أطلق المستعر الأعظم الضوء الذي نراه الآن، بينما تركز الإجابة الثالثة على المسافة التي تفصل بيننا الآن وبين الموضع الحالي لتلك المجرة -فإنها في الحقيقة ليستا كذلك. فالمجرة البعيدة موجودة الآن، وطالما كانت موجودة على مدار مليارات الأعوام، في الموضع المكاني ذاته. وفقط لو أنها تحركت «عبر» الفضاء ولم تكتفي بركوب موجة التمدد المكاني كانَ من شأن مكانها أن يتغير. وبهذا المعنى فإن الإجابة الثانية والثالثة متماثلتان في حقيقة الأمر.

[←86]

لو كان الفضاء كبيرًا على نحو لا متناه، ربما تتعجب عما يعنيه قولنا إن الكون الآن أكبر مما كان عليه في الماضي، والإجابة هي أن الصفة «أكبر». تشير إلى المسافات بين المجرات اليوم مقارنة بالمسافات بين تلك المجرات عينها في الماضي. ويعني تمدد الكون أن المجرات الآن أبعد عن بعضها، وهذا ينعكس رياضيًا على صورة معامل قياس أكبر للكون. وفي حالة الكون اللامتناهي، لا تشير الصفة «أكبر» إلى الحجم الإجمالي للفضاء، لأن الشيء اللامتناهي سيظل كذلك على الدوام.

لكن على سبيل التيسير اللغوي، سأواصل الإشارة إلى الحجم المتغير للكون، حتى في حالة الفضاء اللامتناهي، مع الوضع في الاعتبار انني أشير بهذا إلى المسافات المتغيرة بين المجرات.

[←87]

للقارئ ذي الميول الرياضية نوضح كيفية حساب المسافة -في الوقت الحالي، حيث الزمن T_{now} - التي قطعها الضوء منذ وقت انبعاثه، حيث الزمن $T_{emitted}$. سوف نعمل الآن في سياق مثال يكون فيه الجزء المكاني من الزمكان مستوياً، وهكذا يمكن كتابة المعادلة على الصورة التالية: $ds^2 = c^2dt^2 - a^2(t)dx^2$ حيث a,t هو معامل قياس الكون في الزمن t ، و c هي سرعة الضوء. والإحداثيات التي نستخدمها الآن تسمى إحداثيات الحركة المشتركة. ووفق اللغة التي استخدمناها في هذا الفصل فإن هذه الإحداثيات يمكن التفكير فيها بوصفها نقاط إرشادية على خريطة ساكنة، ويقدم معامل القياس المعلومات التي يضمها مفتاح الخريطة.

والسمة الخاصة للمسار الذي يتبعه الضوء هي أن $DS^20=$ (ما يكافئ سرعة الضوء التي تساوي C دائماً(على امتداد المسار وهو ما يشير إلى أن $|dx| = \frac{cdt}{a(t)}$ ، أو، عبر فترة زمنية متناهية كتلك التي بين $t_{emitted}$ and t_{now}: $\int|dx| = \int_{t_{emitted}}^{t_{now}} \frac{cdt}{a(t)}$ الجانب الأيسر لهذه المعادلة يمنحنا المسافة التي يقطعها الضوء عبر خريطة ساكنة بين لحظة الانبعاث ووقتنا الحالي. ومن أجل تحويل هذا إلى مسافة عبر الفضاء الحقيقي، علينا أن نعيد معايرة الصيغة بأن ندرج معامل القياس الخاص بوقتنا الحالي، ومن ثمّ فإن المسافة الإجمالية التي قطعها الضوء تساوي $a(t_{now})\int_{t_{emitted}}^{t_{now}} \frac{cdt}{a(t)}$.

إذا لم يكن الفضاء يتمدد، حينها فإن المسافة الإجمالية المقطوعة ستساوي $\int_{t_{emitted}}^{t_{now}} cdt = c(t_{now} - t_{emitted})$ ، كما هو متوقَّع. عندَ حساب المسافة المقطوعة في كون آخذ في التمدد، نرى إذاً أن كل قطاع من مسار الضوء يُضرب في معامل، وهذا المعامل هو المقدار الذي استطال به هذا القطاع، منذ اللحظة التي اجتازه فيها الضوء، إلى وقتنا الحالي.

بصورة أدق، نحو 7.12× 10^{-30} جرام لكل سنتيمتر مكعب.

[←88]

[←89]

بة التحويل هي 7.12×10^{-30} جرام/ سنتيمتر مكعب = (7.12×10^{-30} جرام/سنتيمتر مكعب) × (4.6×10^{4}) كتلة بلانك/ جرام)×(1.62×10^{-33} سنتيمتر / طول بلانك) ^{3}= كتلة بلانك/ حجم بلانك مكعب.

[←90]

في حالة التضخم، كانت الجاذبية الطاردة التي تدبرناها شديدة وموجزة. وهذا يمكن تفسيره بواسطة الطاقة الهائلة والضغط السالب الهائل اللذين أسهم بهما مجال التضخم. ومع ذَلكَ فعن طريق تعديل منحنى طاقة الوضع الخاص بمجال كمي، من الممكن لمقدارا الطاقة والضغط السالب اللذين يسهم بهما أن ينخفضا، وهو ما يُنتج تمدداً متسارعاً معتدلاً. علاوة على ذَلكَ فبوسع تعديل مناسب يُجرى على منحنى طاقة الوضع أن يطيل فترة هذا التمدد المتسارع. وفترة التمدد المتسارع المعتدلة المتواصلة هي المطلوب لتفسير البيانات الآتية من المستعرات العظمى. ومع ذَلكَ فإن القيمة غير الصفرية للثابت الكوني تظل التفسير الأشد إقناعاً، وذلك على مدار أكثر من عشر سنوات، منذ أن جرى رصد التمدد المتسارع للمرة الأولى.

[←91]

ينبغي للقارئ ذي الميول الرياضية أن يلاحظ أن كل تذبذب كهذا يسهم بطاقة تناسب عكسيًّا مع طوله الموجي، وهو ما يضمن أن مجموع كل الأطوال الموجية الممكنة يُنتج طاقة لانهائية.

[←92]

للقارئ ذي الميول الرياضية نقول إنّ الإلغاءات تحدث بسبب أن التناظر الفائق يجمع بين البوزونات (وهي جسيمات ذات لف مغزلي يساوي عدد صحيح) والفرمونات (وهي جسيمات ذات لف مغزلي يساوي نصف «عدد فردي»). وهذا يؤدي إلى أن البوزونات توصف بواسطة متغيرات إبدالية، بينما توصف الفرميونات بواسطة متغيرات غير إبدالية، وهذا هو مصدر علامة السالب النسبية الموجودة في تذبذباتها الكمية.

[←93]

كان جورج إفستاتيو، عالم الفيزياء الفلكية بجامعة كامبريدج، هو أيضاً من أول من دافعوا بقوة وعلى نحو مُقنع عن وجود ثابت كوني غير صفري.

[←94]

في الفصل السابع سنتناول على نحو أوفي وأعم التحديات المائلة أمام اختبار النظريات التي تتضمن فكرة الكون المتعدد، كما سنحلل على نحو أوثق دور المنطق الإنساني في توليد نتائج من الممكن اختبارها.

[←95]

رغم التشديد على أن التغييرات في السمات الفيزيائية لكوننا من شأنه أن يجعل هذا الكون غير ملائم لاستضافة الحياة كما نعرفها، فإنه يُعد أمراً مقبولاً داخل قطاع عريض من المجتمع العلمي، إذ اقترح البعض أن نطاق السمات المتوافقة مع الحياة ربما يكون أكبر مما كنا نظن من قبل. وقدْ كتب كثيرون عن هذه القضايا. انظر على سبيل المثال كتاب جون بارو وفرانك تيبلر The Anthropic Cosmological 1986,Principle (New York:Oxford University Pres) وكتاب جون بارو The Constants of Nature (New York: Pantheon Books, 2003)، وكتاب بول ديفيز The Cosmic, Jackpot (New York : Houghton Mifflin Harcourt 2007)، وكتاب فيكتور ستينجر: Has Science Found. God? (Amherst ,N.Y 2003,Prometheus Books)، والمراجع الواردة بها.

[←96]

تنويعًا على اسم الفيلم الشهير Pulb Fiction (المترجم).

[←97]

اعتماداً على المادة التي غطيناها في الفصول السابقة، ربما تظن على الفور أن الإجابة هي نعم قاطعة. وقدْ ترى أن علينا تدبر الكون المتعدد المنسوج، الذي يحوي حيزه المكان اللامتناهى عدداً لا نهاية لهُ من الأكوان. غير أن عليك توخي الحذر. فحتى في حالة الأكوان العديدة بلا نهاية، فإن قائمة الثوابت الكونية المختلفة الممثلة ربما لا تكون طويلة للغاية. فمثلاً إذا لم تكن القوانين الأساسية تسمح بوجود قيم عديدة مختلفة للثابت الكوني، حينها فبصرف النظر عن عدد الأكوان، فإن مجموعة صغيرة فقط من الثوابت الكونية هي التي ستتحقق. لذا فإن الأسئلة التي نوجهها هي: (أ) هل هناك قوانين مرشحة للفيزياء تؤدي إلى وجود كون بدد أم لا؟ (ب) هل الكون المتعدد المولَّد بهذه الصورة يحوي أكثر بكثير من 10^{124} كون مختلف؟ (ج) هل القوانين تضمن أن قيمة الثابت الكوني تتباين من كون إلى آخر أم لا؟

[←98]

كانَ هؤلاء المؤلفون الأربعة أول من بين بشكل وافٍ أنّه عن طريق الاختيار الحصيف لأشكال كالابي-ياو، والتدفقات التي تجري بين ثقوبها، من الممكن تجسيد نماذج وترية لها ثوابت كونية موجبة صغيرة القيمة، مثل تلك التي وجدناها من خلال المشاهدات. وبالتعاون مع خوان مالداسينا وليان ماكأليستر كتبت هذه المجموعة ورقة بحثية مؤثرة عن كيفية دمج علم الكونيات التضخمي مع نظرية الأوتار.

[←99]

بصورة أدق، هذه المنطقة الجبلية من شأنها أن تضم فضاء ذا 500 بُعد تقريباً، والذي تتوافق اتجاهاته -محاوره -المستقلة مع تدفقات مجال متباينة. الشكل 6-4 هو تجسيد تصويري تقريبي غير أنّه يمنحنا تصوراً للعلاقة بين الصور المختلفة للأبعاد الإضافية. علاوة على ذَلكَ فعند الحديث عن المشهد الوتري، يتصوَّر الفيزيائيون عادة أن المنطقة الجبلية تضم، إلى جانب قيم التدفقات المحتملة، كل الأحجام والأشكال المحتملة (طوبولوجيات وهندسات مختلفة) للأبعاد الإضافية. الوديان في المشهد الوتري هي المواضع (صور محددة للأبعاد الإضافية والتدفقات التي تحملها) التي تستقر فيها الفقاعات الكونية عادة، تماماً مثلما تستقر الكرة في موضع كهذا في أي منطقة جبلية حقيقية. والوديان، عندَ وصفها رياضيًّا، تعد الحدود الدنيا (المحلية) لطاقة الوضع المرتبطة بالأبعاد الإضافية. وعلى نحو تقليدي، بمجرد أن تكتسب الفقاعة الكونية صورة ذات بعد إضافي يتوافق مع أحد الوديان فإن هذه السمة لا تتغير مطلقاً. غير أننا سنرى، من منظور ميكانيكا الكم، أن أحداث الانتقال الكمي يمكن أن تؤدي إلى تغير صورة الأبعاد الإضافية.

[←100]

الانتقال الكمي إلى قمة أعلى ممكن، لكنه أقل ترجيحاً بكثير وفق الحسابات الكمية.

فاز بها بالمشاركة مع فرانك ويلكزك وديفيد بولتيزر (المترجم). [←101]

[←102]

إنّ فترة تمدد الفقاعة الكونية قبل الاصطدام تحدد التأثير الناتج، وما يصاحبه من دمار. وهذه الاصطدامات تثير أيضاً نقطة مهمة تتعلق بالزمن، وهي ذات صلة بمثال تريكسي ونورتون الوارد في الفصل الثالث. فحين تتصادم فقاعتان كونيتان فإن حافتيهما الخارجيتين -حيث تكون طاقة مجال التضخم مرتفعة -تتلامسان مباشرة. من منظور الشخص الموجود داخل أي الفقاعتين المتصادمتين فإن طاقة التضخم المرتفعة تتوافق مع اللحظات الزمنية المبكرة، القريبة من لحظة الانفجار العظيم الخاصة بهذه الفقاعة. وهكذا فإن تصادم الفقاعتين يحدث عندَ بداية كل كون منهما، ولهذا السبب فإن التذبذبات الناتجة يمكنها التأثير على عملية أخرى في حقبة الكون المبكر، وهي عملية تكون إشعاع الخلفية الميكروني.

[←103]

سوف نتعرض لميكانيكا الكم بصورة أكثر منهجية في الفصل الثامن. وكما سنرى هناك فإن التعبير الذي استخدمته، «تقع خارج نطاق الواقع اليومي»، يمكن تأويله على عدد من المستويات. وما يدور في خلدي هنا هو أبسطها: أن معادلة ميكانيكا الكم تفترض أن موجات الاحتمالية لا تسكن في المعتاد الأبعاد المكانية المألوفة الدينا. وبدلاً من ذَلكَ فإن هذه الموجات تقبع في بيئة مختلفة لا تهتم فقط بالأبعاد المكانية المألوفة وإنما أيضاً بعدد الجسيمات الموصوفة. يطلق على هذه البيئة اسم «فضاء التهيئة» وهي مشروحة من أجل القارئ ذي الميول الرياضية في الفصل الثامن.

[←104]

نظرًا لوجود منظورات مختلفة بشأن دور النظرية العلمية في مسعانا لفهم الطبيعة، فإن النقاط التي أطرحها عُرضة لنطاق من التفسيرات. ثمة موقفين أساسيين هنا هما الموقف «الواقعي»، الذي يذهب إلى أن النظريات الرياضية يمكنها أن تقدم أفكارًا مباشرة عن طبيعة الواقع، والموقف «الذرائعي» الذي يؤمن أن النظرية تقدم سبيلًا للتنبؤ بما ينبغي لأدوات القياس أن تسجله لكنّها لا تخبرنا بأي شيء عن الواقع الجوهري، وعلى مدار عقود من الجدل المحتدم أنتج فلاسفة العلم تنقيحات عدة لهذين الموقفين ولمواقف أخرى ذات صلة. وكما يتضح من دون شك فإن موقفي، والنهج الذي أتبعه في هذا الكتاب، متفق مع المعسكر الواقعي تمام الاتفاق. وفي هذا الفصل تحديدًا، الذي يبحث في الصلاحية العلمية لأنواع معينة من النظريات ويقيّم ما تقتضيه هذه النظريات بشأن طبيعة الواقع، سنجد اتجاهات فلسفية عديدة تحاول تناول الموضوع بطرق مختلفة اختلافًا شديدًا.

[←105]

لو لم يكن التمدد المتسارع للفضاء الذي رصدناه تمدداً دائماً، حينها ففي لحظة زمنية ما من المستقبل سوف يتباطأ تمدد الفضاء. ومن شأن هذا الإبطاء أن يمكّن الضوء القادم من أجرام تقع حالياً في ما وراء أفقنا الكوني من الوصول إلينا، وبذا ينمو أفقنا الكوني. عندئذٍ سيكون من المستغرب أن نقترح أن العوالم الواقعة الآن خارج حدود أفقنا الكوني عوالم غير حقيقية، نظراً لأننا في المستقبل سوف نتمكن من رصد هذه العوالم ذاتها. (ربما تذكر أنني بالقرب من نهاية الفصل الثاني ذكرت أن الأفق الكوني المبين في الشكل 1-2 سوف ينمو في الحجم مع مرور الوقت. وهذا صحيح في كون لا يتسارع فيه تمدد الفضاء. ومع ذَلكَ فإذا كانَ التمدد متسارعاً بالفعل، فثمة مسافة لن نستطيع رصدها مطلقاً، مهما طال انتظارنا. ففي كون متسارع لا يستطيع الأفق الكوني أن ينمو أكبر من حجم يتحدد رياضيا من واقع معدل التسارع.)

[←106]

في كون متعدد يحوي عدداً ضخمًا من الأكوان المختلفة، سيتمثل أحد مواطن القلق المعقولة في أنّه بصرف النظر عما تكشف عنه التجارب والمشاهدات، فمن المؤكد أنّه يوجد كون داخل مجموعة الأكوان الهائلة التي تضمها النظرية يتوافق مع النتائج التي توصلنا إليها. ولو حدث هذا، لن يكون بمقدور أي دليل رصدي أن يثبت خطأ النظرية، وبالتبعية لن يمكن تفسير أي بيانات على أنها دليل داعم للنظرية. وسأتناول هذه النقطة بعد قليل.

[←107]

إليك بمثال ملموس لسمة يمكن أن تكون شائعة في كل الأكوان الواقعة داخل كون متعدد بعينه. ذكرنا في الفصل الثاني أن البيانات الحالية تشير بقوة إلى أن انحناء الفضاء يساوي صفراً. ومع ذَلكَ، ولأسباب رياضية متخصصة، توضح الحسابات أن كل الفقاعات الكونية الموجودة داخل الكون المتعدد التضخمي لها انحناء سالب. وبصورة عامة فإن الأشكال المكانية التي تسببت بها قيم تضخم متساوية -وهي أشكال تحددت عن طريق الربط بين الأعداد المتساوية في الشكل 3 - 8ب - تشبه رقائق البطاطس أكثر مما تشبه أسطح الطاولات. ورغم هذا فإن الكون المتعدد التضخمي يظل متفقاً مع المشاهدات، لأنه بينما يتمدد أي شكل فإن انحناءه يقل، إنّ انحناء سطح البلية واضح تمام الوضوح، بينما انحنا سطح الكرة الأرضية ظل عصيًّا على الإدراك آلاف السنوات. وإذا مرت فقاعتنا الكونية بقدر كافي من التمدد، فمن الممكن أن يكون انحناؤها سالباً لكنه مع ذَلكَ ضئيل للغاية بحيث تعجز قياساتنا اليوم عن تمييزه عن الصفر، هذا يؤدي بنا إلى اختبار محتمل. فإذا قطعت المشاهدات المستقبلية الأدق بأن انحناء الفضاء ضئيل للغاية لكنه انحاء موجب، فهذا يُعد دليلاً على أننا لسنا جزءً من كون متعدد تضخمي، وهو ما ذهب إليه بي فوريفرجل وإم كليبان وام رودريجيز مارتينيز وليونارد سكيند، (انظر مقال «تبعات رصدية لمشهد طبيعي» Journal of High Energy 0603, 039 [Physics 2006])، ومن شأن قياسات انحناء موجب مقدارها جزءً واحداً في 10 جزء أن تقدم دليلاً قوياً يعارض نوعية عمليات الانتقال الكمي (انظر الفصل السادس) التي نتصور أنها تملأ المشهد الطبيعي الوتري.

[←108]

تتضمن القائمة الطويلة من علماء الكونيات وباحثو نظرية الأوتار الذين أيدوا هذا الأمر كلاً من: آلان جوث وأندري لينده وألكسندر فايلكين وجيمس كاريجا ودون بيج وسيرجي فينتسكي وريتشارد إيستر ويوجين ليم وماثيو مارتن و مايكل دوجلاس وفريدريك دينيف ورافائيل بوسو وين فراينوجل وإي-شينج يانج ودليا شوارتز-بيرلوف، وكثيرين غيرهم. ثمة تحذير مهم يتمثل في أنّه رغم أن تأثير التغييرات البسيطة في بضعة ثوابت يمكن استنتاجه على نحو موثوق به، فإن التغييرات الأوقع أثراً في عدد أكبر من الثوابت تجعل المهمة أكثر صعوبة بكثير. ومن الممكن على الأقل أن تتسبب هذه التغييرات التي تطول مجموعة من ثوابت الطبيعة في إلغاء تأثيرات بعضها بعضاً، وتعمل معاً بطرق جديدة، ومن ثمّ تكون متوافقة مع الحياة كما نعرفها.

[←109]

ثمة تحذير مهم يتمثل في أنّه رغم أن تأثير التغييرات البسيطة في بضعة ثوابت يمكن استنتاجه على نحو موثوق به، فإن التغييرات الأوقع أثراً في عدد أكبر من الثوابت تجعل المهمة أكثر صعوبة بكثير. ومن الممكن على الأقل أن تتسبب هذه التغييرات التي تطول مجموعة من ثوابت الطبيعة في إلغاء تأثيرات بعضها بعضاً، وتعمل معاً بطرق جديدة، ومن ثمّ تكون متوافقة مع الحياة كما نعرفها.

[←110]
بصورة أدق، إذا كانَ الثابت الكوني سالباً، لكنه صغيراً بما يكفي، فسيكون الانهيار الزمني طويلاً بما يكفي بحيث يسمح بتشكُّل المجرات. وقدْ تغاضيت عن هذه التفصيلة البسيطة على سبيل التيسير.

[←111]

ثمة نقطة أخرى جديرة بالذكر وهي أن الحسابات التي وصفتها أُجريت من دون اختيار شكل بعينه من أشكال الكون المتعدد. بدلاً من ذَلكَ فقد واصل واينبرج ومعاونوه العمل عن طريق افتراض وجود كون متعدد يمكن أن تتباين سماته وحسبوا وفرة المجرات في كل كون من الأكوان التي يتألف منها. وكلما امتلك أي كون منها مجرات أكثر، زادت الأهمية التي أولاها واينبرج ومعاونوه لخصائصه في عملية حساب السمات العادية التي من شأن أي راصد طبيعي أن يجدها. لكنّ نتيجة عدم التزامهم بنظرية أساسية بعينها عن الأكوان المتعددة، فقد فشلت حساباتهم على نحو حتمي في تفسير احتمالية العثور على كون يمتلك هذه الصفة أو تلك في الكون المتعدد (أي الاحتمالات التي ناقشناها في القسم السابق). فالأكوان التي تمتلك ثوابت كونية وتذبذبات بدائية في نطاقات معينة ربما تكون ملائمة لتشكّل المجرات، لكنّ لو كانت هذه الأكوان نادرة الوجود في أي كون متعدد فسيكون من غير المرجح بشدة أن نجد أنفسنا داخل أحدها.

كي تصير الحسابات أيسر، رأى واينبرج ومعاونوه أنّه بما أن نطاق قيم الثوابت الكونية التي كانوا يدرسونها كانَ ضيقاً للغاية (بين صفر و 10^{120-})، فإن الاحتمالية الأساسية لوجود هذه الأكوان في أي كون ليس من المرجح أن تشهد تفاوتاً كبيراً، مثلما لن تتباين كثيرا احتمالات عثورك على كلب يزن 59.99997 رطلاً كثيراً عن احتمالات عثورك على كلب يزن 59.99997 رطلاً. ومن ثمّ فقد افترضوا أن كل قيمة للثابت الكوني في النطاق الصغير المتوافق مع عملية تشكل المجرات لها الاحتمالية ذاتها مثل سواها من القيم. وفي ضوء فهمنا البسيط لعملية تكون الكون المتعدد، ربما تبدو هذه محاولة أولية معقولة. غير أن الأبحاث التالية تشككت في صحة هذا الافتراض، مؤكدة على الحاجة إلى إجراء عملية حساب وافية من أجل المضي قدماً: الالتزام بمقترح واحد للكون المتعدد وتحديد المساهمة الفعلية للأكوان ذات الخصائص المتعددة. فعملية الحساب المستقلة القائمة على المبدأ الإنساني والتي تعتمد على أقل قدر من الافتراضات هي السبيل الوحيد إلى الحكم على ما إذا كانَ هذا النهج سيؤدي إلى إنتاج تفسيرات في نهاية المطاف أم لا.

[←112]

إنّ معنى كلمة «طبيعي» ذاته ليس بسيطاً؛ إذ إنه يعتمد على الكيفية التي نُعَرِّف بها الكلمة ونقيسها. فإذا استخدمنا عدد الأطفال والسيارات كمؤشر لنا، فستوصل إلى وصف معين للأسر الأمريكية «الطبيعية». وإذا استخدمنا مقاييس مختلفة، مثل الاهتمام بالفيزياء أو حب الأوبرا أو الانخراط في السياسة، فسوف يتغير توصيف الأسرة «الطبيعية». وما ينطبق على الأسرة الأمريكية «الطبيعية» ينطبق بالمثل على الراصدين «الطبيعيين» داخل الكون المتعدد: فمن شأن تدبر سمات أخرى بخلاف العدد أن يؤدي إلى أفكار متباينة بشأن من هو الراصد «الطبيعي». وسيؤثر هذا بالتبعية على التنبؤات المتعلقة باحتمالية أننا سنرى هذه الخاصية أو تلك في كوننا. فلكي تكون عملية الحساب القائمة على المبدأ الإنساني مقنعة بحق، سيتعين عليها أن تجابه هذه القضية. من ناحية أخرى، وكما أشرنا في متن الكتاب، فستكون ثمة حاجة إلى أن يكون التوزيع ذا قمة حادة للغاية بحيث يكون هناك أقل قدر من التباين بين أحد الأكوان الداعمة للحياة وآخر.

[←113]

إنّ الدراسة الرياضية للمجموعات ذات العدد اللانهائي من الأعضاء ثرية ومتطورة بشكل طيب. وربما يكون القارئ ذو الميول الرياضية علمياً بحقيقة أن ثمة أبحاثا تعود إلى القرن التاسع عشر قد أثبتت وجود «أحجام» مختلفة، أو على نحو أكثر شيوعاً، «مستويات» مختلفة من اللانهائية. يعني هذا أن من الممكن أن تكون إحدى الكميات اللانهائية أكبر من أخرى. إنّ مستوى اللانهائية الذي يحدد حجم المجموعة التي تضم كل الأعداد الصحيحة يسمى N_0. وقدْ أثبت جورج كانتور أن هذه اللانهائية أصغر حجماً من تلك التي تضم مجموعة الأعداد الحقيقية. وبصورة تقريبية، لو أنك حاولت مطابقة مجموعة الأعداد الصحيحة مع مجموعة الأعداد التقريبية، فمن الحتمي أن تستنفد الأولى قبل الثانية. وإذا تدبرت المجموعة التي تضم كل المجموعات الفرعية من الأعداد الحقيقية، فإن مستوى اللانهائية يصير أكبر. في كل الأمثلة التي نناقشها في متن الكتاب، اللانهائية ذات الصلة هي N_0 نظراً لأننا نتعامل مع مجموعات لا نهائية من الأجسام المنفصلة، أو «القابلة للإحصاء»، أي مجموعات متعددة من الأعداد الصحيحة. بالمعنى الرياضي، إذاً، نجد أن كل الأمثلة لها الحجم ذاته، وتوصف حالة انتمائها بواسطة مستوى اللانهائية نفسه. ومع ذَلكَ فمن منظور الفيزياء، كما سنرى بعد قليل، لن تكون نتيجة كهذه مفيدة على الإطلاق. بل الهدف عوضاً عن ذَلكَ هو أن نجد منظومة محفزة فيزيائياً لمقارنة المجموعات اللانهائية من الأكوان، بحيث تمنحنا تراتبية أدق تعكس الوفرة النسبية لمجموعة واحدة من السمات الفيزيائية داخل الكون المتعدد مقارنة بأخرى. ومن المناهج الفيزيائية المعتادة لمواجهة تحدي من هذه النوعية عقد مقارنات بين المجموعات الفرعية المتناهية الخاصة بالتجميعات اللانهائية ذات الصلة (نظراً لأنه في الحالة المتناهية فإن كل القضايا المحيرة تتلاشى)، ثمّ السماح للمجموعات الفرعية بأن تتضمن مزيداً من الأعضاء، إلى أن تضم في النهاية التجميعات اللانهائية الكاملة. وتتمثل العقبة في العثور على طريقة مبررة فيزيائياً لانتقاء مجموعات فرعية متناهية بعينها من أجل عقد المقارنة، ثمّ إثبات أن المقارنات تظل منطقية بينما تصير المجموعات الفرعية أكبر وأكبر.

[←114]

يُنسَب إلى التضخم نجاحات أخرى كذلك، منها حل مشكلة الأقطاب المغناطيسية الأحادية. فخلال محاولات الباحثين دمج القوى الثلاث غير الجذبوية داخل بنية نظرية موحدة (تعرف باسم التوحيد العظيم) وجدوا أن الحسابات الرياضية الناتجة تشير إلى أن بعد الانفجار العظيم بوقت قصير تشكل عدد كبير من الأقطاب المغناطيسية الأحادية. وهذه الجسيمات، بطبيعة الحال، ستشكل القطب الشمالي القضيب المغناطيس من دون الاقتران الطبيعي بالقطب الجنوبي (أو العكس). لكنّ لم يُعثر قطّ على جسيم من هذه الجسيمات. يفسر علم الكونيات التضخمي غياب الأقطاب المغناطيسية الأحادية بأن يذكر أن التمدد الوجيز لكنّ الهائل للفضاء بعد الانفجار العظيم مباشرة تسبب في بعثرة هذه الأقطاب في أرجاء الكون بحيث لم يُعد لها وجود تقريباً.

[←115]

في الوقت الحالي ثمة آراء متباينة حول مدى جسامة هذا التحدي. يرى البعض المشكلة باعتبارها قضية فنية شائكة سوف تضيف، بمجرد حلّها، إلى علم الكونيات التضخمي تفصيلة إضافية مهمة. بينما عبر آخرون (منهم مثلاً بول ستينهارد) عن اعتقادهم بأن حل مشكلة القياس سوف يتطلب منا أن نخطو خارج الصياغة الرياضية لعلم الكونيات التضخمي بحيث إنّ الإطار المفاهيمي الناتج سيحتاج على التفسير باعتباره نظرية كونية جديدة بالكامل. وتتمثل وجهة نظري، والتي تعتنقها مجموعة قليلة لكنّ متزايدة من الباحثين، في أن مشكلة القياس تمس قضية أعمق تقع عندَ جذور الفيزياء نفسها، قضية ربما تتطلب منا إجراء فحص شامل ودقيق للأفكار الأساسية.

[←116]

يمكن العثور على أطروحة إيفريت الأصلية لعام 1956 وكذلك نسخة عام 1957 المختصرة منها في كتاب:
The Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics (Princeton: Princeton University Press, 1973) من تحرير برايس إس ديويت ونيل جراهام.

[←117]

في السابع والعشرين من يناير 1998، تحدثتُ مع جون ويلر حول بعض جوانب ميكانيكا الكم والنسبية العامة التي كنت سأتناولها في كتابي «الكون الأنيق». وقبل الدخول في التفاصيل العلمية الدقيقة ذكر لي ويلر كيف أن من المهم أن يجد الباحثون، والباحثون النظريون اليافعون تحديداً، اللغة المناسبة للتعبير عن نتائجهم. في ذَلِكَ الوقت نظرت إلى هذه النصيحة بوصفها نصيحة حكيمة وحسب، ربما استلهمها من حديثه معي بوصفي «باحثاً فيزيائياً نظرياً يافعاً» يعبر عن اهتمامه باستخدام اللغة العادية في وصف المفاهيم الرياضية. لكنّ عندَ قراءة التاريخ المضيء المعروض في كتاب بيتر بايرن:

(The Many Worlds of Hugh Everett III (New York: Oxford University Press, 2010

ذهلت حين وجدت أن ويلر شدد على أهمية هذه النقطة منذ أربعين عاماً في أثناء تعامله مع إيفريت، لكنّ في سياق ذي تبعات أهم بكثير. فاستجابة لمسودة إيفريت الأولى لأطروحته، أخبر ويلر إيفريت أنّه كانَ بحاجة إلى أن «ينقي الكلمات، وليس المعادلات، من الأخطاء» وحذره من «صعوبة التعبير عن تفاصيل أي منظومة رياضية باللغة العادية؛ إذ إنها أبعد ما تكون عن الوصف الطبيعي، فسوف تظهر تناقضات ومواطن سوء فهم، ويقع على عاتقك عبء ومسؤولية التعبير عن كل شيء بطريقة تجعل من المستحيل ظهور أي سوء فهم». لقد أوضح بايرن أن ويلر كانَ يفصل تماماً بين إعجابه بعمل إيفريت واحترامه لإطار عمل ميكانيكا الكم الذي اجتهد بور وفيزيائيون بارزون آخرون في بنائه. من ناحية أخرى لم يكن ويلر يريدُ أن تُرفض أفكار إيفريت بسرعة من جانب الحرس القديم لأن أسلوب تقديمها كانَ مُغرقاً في الطموح، أو بسبب بعض الكلمات الحساسة (مثل القول بأن الكون «ينقسم») التي يمكن أن تبدو خيالية. ومن ناحية أخرى أيضاً لم يكن ويلر يريد لمجتمع الفيزيائيين الراسخ أن يخلص إلى أنّه كانَ في سبيله إلى التخلي عن الصياغة الكمية الناجحة عن طريق تبني هجوم غير مبرر عليها. كانت التسوية التي فرضها ويلر على إيفريت وأطروحته تتمثل في الإبقاء على الحسابات الرياضية التي طورها كما هي، لكنّ مع التعبير عن معناها ونفعها بنبرة أهدأ وأقل حدّة. في الوقت ذاته شجع ويلر إيفريت بقوة على زيارة بور وعرض قضيته أمامه بشكل شخصي، على سبورة. وفي عام 1959 فعل إيفريت هذا بالفعل، لكنّ المواجهة التي تخيل إيفريت أنها ستستمر الأسبوعين لم تتجاوز في حقيقتها بضع محادثات غير مثمرة. فلم تتغير الآراء ولا المواقف.

[←118]

دعني أوضح أحد الأمور المبهمة. تبين معادلة شرودنجر أن القيم التي نحصل عليها من أي موجة احتمالية (أو بلغة هذا المجال، الدالة الموجية) يمكن أن تكون موجبة أو سالبة، وبصورة أعم يمكن أن تكون القيم أعداداً مركبة. هذه القيم من المستحيل تفسيرها مباشرة على صورة احتمالات؛ إذ ما الذي قد تعنيه الاحتمالية السالبة أو المركبة؟ بدلاً من ذَلكَ ربط الاحتمالات بمربع قيمة موجة الاحتمالية في أي موضع. رياضيًّا، هذا يعني أنّه من أجل تحديد احتمالية العثور على جسيم في أي موضع بعينه، فإننا نأخذ حاصل قيمة الموجة في تلك النقطة ومرافق هذا العدد المركب. هذا التوضيح يتناول أيضاً قضية مهمة أخرى. فالإلغاءات بين الموجات المتداخلة تلعب دوراً أساسيا في خلق نمط التداخل. لكنّ لو كانت الموجات نفسها توصف على نحو ملائم على صورة موجات احتمالية فمن غير الممكن أن تحدث هذه الإلغاءات؛ لأن الاحتمالات أعداد موجبة. لكنّ كما نرى الآن فإن موجات الاحتمالية لا تمتلك قيما موجبة وحسب؛ وهذا يمكِّن الإلغاءات من أن تحدث بين الأعداد الموجبة والسالبة، وكذلك على وجه العموم بين الأعداد المركبة. وبما أننا سنحتاج فقط إلى السمات النوعية لهذه الموجات، فعلى سبيل تسهيل المناقشة في متن الكتاب لن أميز بين الموجة الكمية وبين موجة الاحتمالية المصاحبة لها (والمشتقة من مربع قيمتها).

[←119]

للقارئ ذي الميول الرياضية نقول إنّ موجة الاحتمالية (الدالة الموجية الخاصة) بجسيم واحد ذي كتلة ضخمة من شأنها أن تتفق مع الوصف الذي أوردته في متن الكتاب. ومع ذَلكَ فإن الأجسام شديدة الضخامة تتألف في المعتاد من جسيمات عديدة، وليس جسيمًا واحدًا. في موقف كهذا يكون الوصف من منظور ميكانيكا الكم أكثر تعقيدًا. وعلى وجه التحديد ربما كنت تظن أن كل الجسيمات يمكن أن توصَف بواسطة موجة كمية تُعَرَّف على شبكة الإحداثيات نفسها التي نوظفها من أجل الجسيم المنفرد؛ باستخدام المحاور المكانية الثلاثة ذاتها. غير أن هذا ليس صحيحًا. فموجة الاحتمالية تأخذ «الموضع المحتمل» لكل جسيم متفرد بوصفه أحد المعطيات ثمّ تنتج احتمالية شغل الجسيم لتلك المواضع. ومن ثمَّ، تعيش الاحتمالية داخل فضاء ذي ثلاثة محاور لكل جسيم؛ أي في الإجمالي يكون عدد المحاور ثلاثة أضعاف عدد الجسيمات (أو عشرة أضعاف لو أننا تبنينا الأبعاد المكانية الإضافية الخاصة بنظرية الأوتار). يعني هذا أن الدالة الموجية لمنظومة مركبة تتألف من العدد n من الجسيمات هي دالة ذات قيم مركبة لا يكون نطاقها هو الفضاء العادي ثلاثي الأبعاد وإنما فضاء ذي العدد n من الأبعاد، وإذا لم يكن عدد الأبعاد المكانية 3 وإنما كانَ عددها m، فسوف يحلّ m محل العدد 3 في هذه التعبيرات. هذا الفضاء يسمى «فضاء التهيئة». يعني هذا أنّه في الأوضاع العادية ستكون الدالة الموجية بمنزلة خريطة $\psi : \Re^{mn} \rightarrow C$ وحين نتحدث عن دالة موجية كهذه باعتبارها ذات قمة ناتئة، فنحن نعني أن هذه الخريطة تحظى بدعم داخل كرة صغيرة ذات الأبعاد mn داخل نطاقها. لاحظ، على وجه التحديد، أن الدوال الموجية لا تقبع في العموم داخل الأبعاد المكانية التي نألفها من واقع خبراتنا. فقط في الحالة المثالية للدالة الموجية الخاصة بجسيم وحيد منعزل تمامًا يتوافق فضاء التهيئة مع البيئة المكانية المألوفة. لاحظ أيضًا أنني حين أقول إنّ قوانين ميكانيكا الكم تبين أن الدالة الموجية ذات القمة الناتئة الخاصة بجسيم ضخم تتخذ المسار نفسه الذي تشير إليه معادلات نيوتن للجسم ذاته، فبإمكانك التفكير في أن الدالة الموجية تصف حركة مركز كتلة الجسيم.

[←120]

على سبيل التبسيط، لن نتدبر موضع الإلكترون في الاتجاه الرأسي؛ إذ سنركز فقط على موضعه على خريطة مانهاتن. أيضًا دعني أشدد من جديد على أنّه رغم أن هذا القسم سيوضح بجلاء أن معادلة شرودنجر لا تسمح للموجات بالانهيار الفوري كما في الشكل 6-8، فإنه بالإمكان إعداد الموجات من جانب القائم على التجربة بحيث تمتلك شكلا ذا قمة وحيدة (أو على نحو أدق، شكلا قريباً من ذَلكَ).

[←121]

ربما تخلص من هذا الوصف إلى أن ثمة عددًا لا نهائيًا من المواضع التي يمكن العثور على الإلكترون فيها: فمن أجل ملء موجة الاحتمالية المتغيرة تدريجيًّا ستحتاج إلى عدد لا نهائي من الأشكال الناتئة، كل منها مرتبط بموضع محتمل للإلكترون. كيف يتصل هذا بما ذكرناه في الفصل الثاني حين ناقشنا وجود عدد كبير ومتناهي من الأنساق المتمايزة للجسيمات؟ كي أتجنب الشروط الصابتة التي ليس لها أهمية كبيرة بالنقاط الأساسية التي أوضحها في هذا الفصل، لم أركز على الحقيقة التي تعرَّضنا إليها في الفصل الثاني والقائلة بأنه من أجل تحديد موضع الإلكترون بدقة متزايدة فسيحتاج جهازك إلى بذل مقدار أعظم وأعظم من الطاقة. وبما أن المواقف الواقعية فيزيائيًّا لا يتاح لها إلا كميات متناهية من الطاقة، يصير الحل في هذه الحالة غير مثالي. وفي حالة الموجات الكمية ذات القمم يعني هذا أنّه في أي سياق ذي طاقة متناهية تمتلك القمم عرضًا غير صفري. يعني هذا بالتبعية أنّه في أي نطاق محدود (مثل الأفق الكوني) توجد مواضع عديدة ومتناهية ومتمايزة من حيث القياس للإلكترون. علاوة على هذا، كلما كانت القمم أنحف (كلما زادة دقة قياس موضع الإلكترون) صارت الموجات الكمية التي تصف طاقة الإلكترون أعرض، وهذا يوضح المبادلة التي يحتمها مبدأ عدم اليقين.

للاطلاع على توضيح رياضي، انظر الملحوظة رقم 4.

[←122]

[←123]

يتحدث الفيزيائيون كثيرًا على نحو فضفاض عن وجود أكوان عديدة بشكل لا متناهٍ مرتبطة بنهج العوالم المتعددة في ميكانيكا الكم. بالتأكيد توجد احتمالات عديدة لا نهاية لها لأشكال الموجات. وحتى في الموضع المكاني الواحد يمكنك أن تغير باستمرار قيمة موجة الاحتمالية، ومن ثمّ يمكنها أن تتخذ قيمًا مختلفة لا متناهية العدد. ومع ذَلكَ فإن موجات الاحتمالية ليست السمة الفيزيائية التي يمكننا الوصول إليها على نحو مباشر في المنظومة. بدلًا من ذَلكَ فإن موجات الاحتمالية تحوي معلومات عن النتائج المتمايزة المحتملة في أي موقف بعينه، وهذه المعلومات ليس من الضروري أن تتسم بتنوع لا نهائي. وتحديدًا، سيلاحظ القارئ ذو الميول الرياضية أن الموجة الكمية (الدالة الموجية) تقع داخل فضاء هيلبرت. وإذا كانَ فضاء هيلبرت ذَلكَ ذا أبعاد متناهية العدد، حينها ستوجد نتائج عديدة متمايزة ومتناهية العدد لقياسات المنظومة الفيزيائية الموصوفة بواسطة الدالة الموجية (بمعنى أن أي مؤثر هرميتي لهُ عدد متناهٍ ومتمايز من القيم الذاتية). يستتبع هذا وجود عدد كبير ومتناهي من العوالم المتعددة في مقابل عدد المشاهدات والقياسات المتناهي. ومن المعتقد أن فضاء هيلبرت المرتبط بالعمليات الفيزيائية التي تجري داخل أي حيز متناهٍ من الفضاء، ومقصورة على كميات متناهية من الطاقة، هو بالضرورة ذو عدد متناهٍ من الأبعاد (وهي نقطة سنتناولها بصورة أعم في الفصل التاسع)، وهذا يقترح أن من شأن عدد العوالم أن يكون متناهيًا بالمثل.

[←124]

انظر كتاب بيتر بايرن:

177 .p ,(2010 ,The Many Worlds of Hugh Everett III (New York.Oxford University Press

[←125]
شفرة او نصل أوكام، Occam's razor، مبدأ منسوب إلي ويليام الأوكامي ويقضي بأن تفسيرأي ظاهرة يجب أن يقوم علي أقل عدد ممكن من الفرضيات (المترجم).

[←126]
هذا المنظور المناهض للاحتمالية سيدعو بقوة إلى التخلي عن مصطلح «موجة الاحتمالية» الدارج الذي استخدمتُه، لصالح المصطلح الفني المتخصص «الدالة الموجية».

[←127]

على مدار سنوات توصل على نحو مستقل عدد من الباحثين، من بينهم نيل جراهام وبرايس ديويت وجيمس هارتل وإدوارد فارهي وجيفري جولدستون وسام جوتمان وديفيد دويتش وسيدني كولمان وديفيد ألبرت، وآخرون من بينهم أنا، إلى حقيقة رياضية مدهشة بدا أنها تلعب دورًا محوريًّا في فهمنا لطبيعة الاحتمالية في ميكانيكا الكم. سأقدمها هنا للقارئ ذي الميول الرياضية: لنفترض أن $|\psi\rangle$ دالة موجية لمنظومة كمية، وهي متجه يُعد عنصرًا لفضاء هيلبرت H. وعلى هذا فإن الدالة الموجية للنسخ المتطابقة ذات العدد n من المنظومة تكون $|\psi\rangle^{\otimes n}$ لنفترض أن A هي أي مؤثر هرميتي لهُ القيمة الذاتية α_k ودوال الذاتية. ولنفترض أن $F_k(A)$ هو «تواتر» المؤثر الذي يحصي عدد المرات $|\lambda_k\rangle$ التي يظهر فيها في أي حالة $H^{\otimes n}$ النتيجة الرياضية هي $\lim_{n\to\infty}[F_k(A)|\psi\rangle^{\otimes n}] = |\langle\psi|\lambda_k\rangle|^2|\psi\rangle^{\otimes n}$ يعني هذا أنّه بينما ينمو عدد النسخ المتطابقة للمنظومة من دون حدود، فإن الدالة الموجية للمنظومة المركبة تقترب من الدالة الذاتية لمؤثر التواتر، بقيمة ذاتية مقدارها $|\langle\psi|\lambda_k\rangle|^2$ وهذه نتيجة مذهلة. وكونها دالة ذاتية لمؤثر التواتر يعني، في الحدود المذكورة، أن في العدد الكسري من المرات التي يقيس فيها الراصد A سيجد أن α_k هي $|\langle\psi|\lambda_k\rangle|^2$، وهذا يبدو وكأنه اشتقاق مباشر تمامًا من قاعدة بورن الخاصة بالاحتمالية الكمية. من منظور نهج العوالم المتعددة يقترح هذا أن تلك العوالم التي يفشل فيها العدد الكسري للمرات التي يُرصَد فيها α_k في الاتفاق مع قاعدة بورن يكون لها دالة فضاء هيلبرت صفرية في حدود العدد n الكبير للغاية. وفي هذه الحالة يبدو وكأن الاحتمالية الكمية لها تفسير مباشر في نهج العوالم المتعددة. فكل الراصدين في العوالم المتعددة سيرون النتائج بتواتر يتفق مع ذَلكَ الخاص بميكانيكا الكم المعيارية، باستثناء مجموعة من الراصدين تصير دالة فضاء هيلبرت الخاص بهم صغيرة للغاية بينما تقترب n من اللانهاية. ورغم أن هذه النتيجة تبدو واعدة، فعند التفكير فيها تكون أقل إقناعًا. فبأي معنى نستطيع القول بأن الراصد المنتمي لفضاء هيلبرت ذي الدالة الصغيرة، أو الدالة التي تقترب من الصفر بينما يقترب n من اللانهائية، هو غير مهم أو غير موجود؟ نحن نريد أن نقول إنّ مثل هؤلاء الراصدين غير عاديين، أو من غير المرجح وجودهم»، لكنّ كيف لنا أن تعقد رابطًا بين دالة فضاء هيلبرت الخاصة بمتجه ما وبين هذه السمات؟ يمكن لمثال أن يجعل القضية أكثر وضوحًا. في فضاء هيلبرت ثنائي الأبعاد، لنقل إنّ به حالتين هما اللف المغزلي العلوي$|\uparrow\rangle$ واللف المغزلي السفلي $|\downarrow\rangle$ ، تدبر حالة $|\psi\rangle = .99|\uparrow\rangle + .14|\downarrow\rangle$ هذه الحالة تجعل احتمالية قياس اللف العلوي مقدارها نحو0.98 واحتمالية قياس اللف السفلي مقدارها نحو 0.02 لو أننا تدبرنا العدد د n من نسخ منظومة اللف هذه، حينها فإن $|\psi\rangle^{\otimes n}$ تتجه نحو اللانهائية، والغالبية العظمى من دوال التمدد الخاص بهذا المتجه سيكون لها تقريبًا أعدادًا متساوية من حالات اللف العلوي واللف السفلي. لذا فمن منظور الراصدين (نسخ الشخص القائم على إجراء التجربة) فسترى الغالبية العظمى حالات لف علوي ولف سفلي بنسب لا تتفق مع التنبؤات الكمية. فقط حدود قليلة للغاية في التمدد $|\psi\rangle^{\otimes n}$ ، التي لها نسبة 98 بالمائة لف علوي و2 بالمائة الف سفلي، هي التي ستوافق مع التوقعات الكمية، والنتيجة السابقة تخبرنا أن هذه الحالات هي الحالات الوحيدة التي لها دالة فضاء هيلبرت غير صفرية بينما تتجه n إلى اللانهائية. بصورة ما، إذًا، الغالبية العظمى من الحدود في التمدد (الخاص بالغالبية العظمة من نسخ الشخص القائم على إجراء التجربة) يجب اعتبار أنها «غير موجودة». والتحدي يكمن في فهم ما يعنيه هذا، إنّ كانَ يعني شيئًا على الإطلاق.

توصلتُ أيضًا، بصورة مستقلة، إلى النتيجة الرياضية الموصوفة مسبقًا، بينما كنت أجهز محاضرات خاصة بدورة دراسية عن ميكانيكا الكم كنت أدَرِّسها. كانَ شعوري بالإثارة بالغًا حين وجدت أن التفسير الاحتمالي لميكانيكا الكم ينبع مباشرة من الصياغة الرياضية، وأعتقد أن هذا الشعور راود مجموعة الفيزيائيين (المذكورين عنا) الذين توصلوا إلى هذه النتيجة أيضًا. وكم يدهشني الآن أن هذه النتيجة لم تكن معروفة إلا لقلة قليلة من الفيزيائيين. على سبيل المثال، لا أعرف بشأن أي مرجع قياسي في ميكانيكا الكم يتضمن هذه النتيجة. ورأيي في هذه النتيجة أن أفضل طريقة للتفكير فيها هو باعتبارها (1) تحفيزًا رياضيًا قويًّا لتفسير بورن الاحتمالي للدالة الموجية؛ فلو لم يكن بورن قد «خمَّنَ» هذا التفسير لكان من شأن الحسابات الرياضية أن تقود شخصًا آخر إليه في نهاية المطاف، و(2) قيد للتوافق مفروض على تفسير الاحتمالية؛ فإذا لم تكن هذه النتيجة الرياضية صحيحة، لكان من شأنها أن تتحدى الاستقرار الداخلي للتفسير الاحتمالي للدالة الموجية.

[←128]

كنت أستخدم التعبير «التفكير النابع من سيناريو زاكستار» كي أشير إلى الإطار المفاهيمى الذي تدخل فيه الاحتمالية نتيجة جهل كل قاطن للعوالم المتعددة بشأن أي العوالم تحديدًا يقطنه. وقدْ اقترح ليف فايدمان أخذ تفاصيل سيناريو زاكستار بكل جدية؛ إذ ذهب إلى أن الاحتمالية تدخل إلى نهج العوالم المتعددة عبر النافذة الزمنية التي تفصل بين إكمال القائم على التجربة عملية القياس وبين قراءة النتيجة. لكنّ قد يرد المتشككون بقولهم إنّ الوقت سيكون متأخرًا؛ فمن الحتمي لميكانيكا الكم، والعلم إجمالًا، إصدار التنبؤات بشأن ما سيحدث في التجربة، وليس ما حدث بالفعل. والأهم من ذَلكَ أن من المشكوك فيه أن يكون أساس الاحتمالية الكمية معتمدًا على ما يبدو وكأنه محض تأخير زمني يمكن تجنبه: فإذا استطاع العالِم الوصول فورًا إلى نتيجة تجربته، فستكون الاحتمالية الكمية على ما يبدو في خطر أن تُستَبعَد من الصورة. (للاطلاع على مناقشة تفصيلية انظر الفصل المعنون «الاحتمالية في صورة إيفريت» من كتاب:

Many Worlds: Everett, Quantum Theory, and Reality (Oxford: Oxford University Press, 2010)

من تحرير سايمون ساوندرز وجوناثان باريت وأدريان كِنت وديفيد والاس، ومقال بيتر لويس بعنوان «عدم اليقين والاحتمالية الخاصة بالذوات المتفرعة»، (philsciarchive.Pitt.edu/archive/00002636.) ثمة قضية أخيرة تتصل بمقترح فايدمان وكذلك بهذا النوع من الاحتمالية القائم على الجهل، وهي كالتالي: حين أقذف عملة معدنية متوازنة في السياق المألوف لكون منفرد، فإن السبب الذي يجعلني أقول إنّ هناك احتمالية نسبتها 50 بالمائة أن تستقر العملية على الصورة هي أني سأشعر بنتيجة واحدة وحسب، رغم أن هناك نتيجتين محتملتين كانَ من الممكن أن أشعر بهما. لكنّ دعني الآن أتخيّل أنني أغمضتُ عينَي وتخيلت أنني قست موضع الإلكترون. أعلم أن شاشة الرصد ستظهر إما ستروبيري فيلدز أو ضريح جرانت، لكنني لا أدري أيهما تحديدًا سيظهر. بعد ذَلكَ تقول أنت لي: «برايان، ما هي احتمالية أن يظهر على الشاشة الاسم «ضريح جرانت»؟» كي أجيب عن سؤالك أعود بتفكيري إلى عملية قذف العملة، وبينما أنا في سبيلي نحو السير على المنطق ذاته، أجدُ أنني أتردد. أفكر: «حسنًا، هل هناك نتيجتان حقًّا من الممكن أن أشعر بهما؟ إنّ التفصيلة الوحيدة التي تميز بيني وبين برايان الآخر هي قراءة المكتوب على الشاشة. ولو أنني تخيلت أن شاشتي ستكتب كلمات مختلفة، فهذا يعني أنني لستُ أنا. إنه يعني أنني أتخيّل أنني برايان الآخر». لذا رغم أنني لا أعلم المكتوب على شاشتي فإنني - هذا الشخص الذي يتردد صوته داخل عقلي الآن - من المستحيل أن يكون قد شعر بأي نتيجة أخرى، وهذا يشير إلى أن جهلي ليس لهُ علاقة بالتفكير الاحتمالي.

[←129]

من المفترض أن يتحلى العلماء بالموضوعية في أحكامهم. غير أنني لا أجدُ غضاضة في الإقرار بأنني أفضل أن يكون نهج العوالم المتعددة صحيحًا، وذلك بسبب ما يتمتع به من اقتصاد رياضي وتبعات بعيدة المطال. في الوقت ذاته ما زلت محتفظًا بقدر من التشكك، وهو نابع من صعوبات دمج الاحتمالية داخل الإطار المفاهيمي، لذا فأنا منفتح تمامًا للأفكار البديلة لتناول الموضوع. وتقدم فكرتان من تلك الأفكار دعامة جيدة للمناقشة الواردة في متن الكتاب. وتحاول إحداهما تطوير نهج كوبنهاجن غير المكتمل بحيث يصير نظرية متكاملة، بينما يمكن النظر إلى الأخرى بوصفها نهج العوالم المتعددة لكنّ من دون تعدد العوالم. الاتجاه الأول، الذي تزعمه جيانكارلو جيراردي وألبرتو ريميني وتوليو ويبر، يحاول تفهُّم منظومة كوبنهاجن عن طريق تغيير حسابات شرودنجر الرياضية بحيث تسمح لموجات الاحتمالية بأن تنهار. الكلام بطبيعة الحال أيسر من الفعل. من المفترض أن تؤثر الحسابات الرياضية المعدلة بالكاد في موجات الاحتمالية الخاصة بالأجسام الصغيرة، كالذرات أو الجسيمات المنفردة، نظرًا لأننا لا نريد أن تغير الوصف الناجح الذي تقدمه النظرية على هذا النطاق. لكنّ يجب أن يظهر أثر التعديلات بقوة في حالة الأجسام الكبيرة مثل أجهزة المختبرات، بحيث تتسبب في انهيار موجة الاحتمالية المختلطة. وقدْ طوَّر جيراردي وريميني وويبر حسابات رياضية تحقق هذا بالفعل. والمحصلة النهائية هي أنّه في ضوء معادلاتهم المعدلة يتسبب القياس بالفعل في انهيار موجة الاحتمالية، فهي تدشن التطور المعروض في الشكل 8-6.

النهج الثاني، الذي طوره لويس دي بروي بصورة مبدئية في عشرينيات القرن العشرين، ثمّ تطور بشكل أوفي في وقت لاحق على يد ديفيد بوم، فيبدأ من فرضية رياضية أساسية تتوافق مع فرضية إيفريت. فمعادلة شرودنجر ينبغي دائمًا، وفي كل الظروف، أن تحكم تطور الموجات الكمية. ومن ثمّ فوفق نظرية دي بروي-بوم تتطور موجات الاحتمالية كما تفعل تمامًا في نهج العوالم المتعددة. ومع ذَلكَ فإن نظرية دي بروي-بوم تمضي إلى ما هو أبعد من هذا وتقترح الفكرة عينها التي أكدتُ في موضع سابق أنها خاطئة: ففي نهج دي بروي-بوم كل العوالم المتعددة التي تجسدها موجة الاحتمالية، في ما خلا عالم واحد، هي عوالم «محتملة» وحسب، وعالَم واحد فقط من بينها هو العالم الحقيقي.

ولتحقيق هذا، يتخلص هذا النهج من الجدلية الكمية التقليدية الخاصة بالموجة في مقابل الجسيم (فالإلكترون موجة إلى أن يقُاس، وحينها يعود جسيمًا) وبدلًا من ذَلكَ يرسم صورة تضم الموجات والجسيمات معًا. وخلافًا للنظرة الكمية التقليدية، يتصوَّر دى بروى وبوم الجسيمات بوصفها كيانات ضئيلة موضعية تنتقل على امتداد مسارات محددة، بحيث تنتج واقعًا عاديًّا لا غموض فيه، تمامًا كما في التقليد الكلاسيكي. فالعالم «الحقيقي» الوحيد هو ذَلكَ الذي تستقر فيه الجسيمات في مواضعها المتفردة المحددة. تلعب الموجات الكمية إذًا دورًا مختلفًا للغاية. فبدلًا من أن تجسد الموجة الكمية وفرة من العوالم فإنها تعمل بمنزلة مرشد لحركة الجسيمات. فالموجة الكمية تدفع الجسيمات نحو المواضع التي تكون فيها الموجة كبيرة، بحيث يصير من المرجح العثور على تلك الجسيمات في مثل هذه المواضع، كما تدفعها بعيدًا عن المواضع التي تكون الموجة فيها صغيرة، بحيث يصير من غير المرجح العثور على الجسيمات فيها. ولتفسير هذه العملية، احتاج دي بروي و بوم إلى معادلة إضافية تصف تأثير أي موجة كمية على أي جسيم، ومن ثمّ ففي نهجهما تتقاسم معادلة شرودنجر، رغم استبعادها، الساحة مع مكون رياضى آخر. (باستطاعة القارئ ذي الميول الرياضية الاطلاع على هذه المعادلات في ما يلي.) لسنوات عديدة كانَ الرأي السائد هو أن نهج دي بروي-بوم لا يستحق التدبر من الأساس، وأنه محمل بأشياء لا ضرورة لهُ؛ ليس فقط معادلة ثانية وإنما أيضًا قائمة طويلة مضاعفة من المكونات، نظرًا لأنه يتضمن كلا من الجسيمات والموجات. لكنّ مؤخرًا، ثمة إدراك متزايد بأن هذه الانتقادات بحاجة إلى سياق. وكما توضح أبحاث جيراردي وريميني وويبر بجلاء فإن حتّى النسخة المعقولة من نهج كوبنهاجن القياسي تتطلب معادلة ثانية. أيضًا فإن تضمين كلا من الموجات والجسيمات يجلب فائدة عظيمة: إذ إنه يستعيد فكرة الأجسام التي تتحرك هنا وهناك على امتداد مسارات محددة، وهذا يمثل عودة إلى سمة أساسية ومألوفة ربما أقنع أنصار نهج كوبنهاجن الجميع بالتخلي عنها بصورة أسرع من اللازم. ومن الانتقادات الأكثر تخصصًا هي أن ذَلكَ النهج غير موضعي (فالمعادلة الجديدة تبين أن التأثيرات المبذولة على أحد المواضع تؤثر تأثيرًا فوريًا على مواضع بعيدة) وأنه من الصعب التوفيق بين هذا النهج وبين النسبية الخاصة. إنّ قوة الانتقاد السابق تتضاءل حين ندرك أن حتّى نهج كوبنهاجن يمتلك سمات غير موضعية، وأن هذه السمات تأكدت كذلك تجريبيًّا. ومع ذَلكَ فالنقطة الخير المتعلقة بالنسبية تعد نقطة مهمة ولم يتم حلّها بالكامل بعد.

جزء من المقاومة التي تتعرض لها نظرية دي بروى-بوم ينبع من أن الصياغة الرياضية للنظرية لم تُقدَّم دائمًا بأكثر صورة بسيطة ومباشرة. وفي ما يلي سأقدم للقارئ ذي الميول الرياضية الاشتقاق المباشر للنظرية.

سنبدأ بمعادلة شرودنجر الخاصة بالدالة الموجية لأي جسيم: $H\psi = i\hbar\frac{\partial\psi}{\partial t}$ حيث تتحدد كثافة احتمالية وجود الجسيم في الموضع(x, p(x) بواسطة المعادلة القياسية $p(x) = |\psi(x)|^2$. بعد ذَلكَ، تخيل أننا عينَّا مسارًا محددًا للجسيم، بحيث تتحدد سرعته عندَ النقطة x من خلال الدالة) x v) ما الشروط الفيزيائية التي يجب على هذه الدالة أن تفي بها؟ بالتأكيد يجب أن تضمن الدالة حفظ الاحتمالية: فإذا كانَ الجسيم يتحرك بالسرعة) x v) من منطقة إلى أخرى فإن كثافة الاحتمالية ينبغي تعديلها بما يتفق

مع: $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial x} = 0$ ومن اليسير الآن حل v(x) وإيجاد $v(x,t) = \frac{-1}{\rho(x,t)} \int \frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\hbar}{m} \mathrm{Im}(\frac{\psi^* \frac{\partial \psi}{\partial x}}{\psi^* \psi})$ ،
حيث m هي كتلة الجسيم. وهذه المعادلة الأخيرة، إلى جانب معادلة شرودنجر، تُعرَّف نظرية دي بروي بوم. لاحظ أن هذه المعادلة الأخيرة لا خطية، بيد أن هذا لا يؤثر البتة على معادلة شرودنجر، التي تظل محتفظة بصفتها الخطية بالكامل. والتفسير الصحيح، إذاً، هو أن هذا النهج المتبع من أجل ملء الفجوات التي خلَّفها نهج كوبنهاجن يضيف معادلة جديدة، والتي تجعل اللاخطية معتمدة على الدالة الموجية. وهكذا فإن كل القوة والجمال اللذان تتسم بهما المعادلة الموجية الأساسية، معادلة شرودنجر، يظلان محفوظَيْن بالكامل.

ربما أضيف أيضًا أن التعميم على جسيمات عديدة يظهر بشكل تلقائي وفوري: فعلى الجانب الأيمن للمعادلة الجديدة نستعيض عن الدالة الموجية بمنظومة متعددة الجسيمات: $\psi(x_1, x_2, x_3, \dots x_n)$ وعند حساب سرعة الجسيم kth، فإننا نأخذ المشتق نسبةً إلى الإحداثي k-th (بحيث نعمل، تحريًا للتيسير، في فضاء أحادي البعُد، وفي حالة الأبعاد الأعلى نزيد عدد الإحداثيات بالقدر الملائم). هذه المعادلة المُعَمَّمة تجسد اللاموضعية الخاصة بهذا النهج: فسرعة الجسيم kth تعتمد بشكل فوري على مواضع الجسيمات الأخرى كلها (إذ إنّ مواضع إحداثيات الجسيمات هي متغيرات خاصة بالدالة الموجية).

[←130]

الهولوجرام يعني الصورة المجسمة النافرة، وعند تسليط شعاع ليزر عليها تظهر صورة هولوجرافية ثلاثية الابعاد (المترجم).

[←131]

أجرى آينشتاين حسابات داخل النسبية العامة كي يثبت رياضيًّا أن أنساق شفارتسشيلد المتطرفة - التي نسميها الآن الثقوب السوداء - يستحيل أن توجد. كانت الأسس الرياضية التي قامت عليها حساباته صحيحة تمامًا، غير أنّه وضع افتراضات إضافية تبين، في ضوء الانحناء الشديد للمكان والزمن الذي سيتسبب فيه الثقب الأسود، أنها مقيَّدة للغاية، وفعليًّا فقد ألغت هذه الافتراضات احتمالية انهيار المادة على ذاتها. كانت هذه الافتراضات تعني أن صياغة آينشتاين الرياضية لم تتمتع بالحرية الكافية كي تكشف عن الثقوب السوداء بوصفها حقيقة ممكنة. لكنّ كانت هذه صنيعة نهج آينشتاين، وليس مؤشرًا لما إذاً كانَ من الممكن للثقوب السوداء أن تكون أم لا. ويوضح فهمنا الحديث أن النسبية العامة تسمح بحلول تتيح تكون الثقوب السوداء.

[←132]

سيكفينا هذا التعريف الفضفاض في الوقت الحالي ، وسأكون أكثر تحديداً بعد قليل.

[←133]

بمجرد وصول المنظومة إلى حد أقصى من الإنتروبيا (مثل بخار الماء الموزع، عندَ درجة حرارة ثابتة، على نحو متجانس في أرجاء وعاء)، فإنها سوف تستنفد قدرتها على زيادة الإنتروبيا بأي مقدار إضافي. لذا، فإن التعبير الأدق هو أن الإنتروبيا تنحو إلى الزيادة، وذلك حتّى تصل إلى أكبر قيمة يمكن أن تدعمها المنظومة.

[←134]

في عام 1972 توصل جيمس باردين وبراندون كارتر وستيفن هوكينج إلى القوانين الرياضية التي يقوم عليها تطور الثقوب السوداء، ووجدوا أن المعادلات تبدو شبيهة بتلك الخاصة بالديناميكا الحرارية. ومن أجل إجراء الترجمة بين مجموعتي القوانين، كل المطلوب كانَ الاستعاضة عن مساحة أفق «الثقب الأسود» بـ «الإنتروبيا» (والعكس بالعكس)، وكذلك الاستعاضة عن «الجاذبية عندَ سطح الثقب الأسود» بـ «درجة الحرارة». لذا، كي تصح فكرة بيكنشتاين - وكي لا يكون هذا التشابه محض مصادفة، وإنما يعكس حقيقة أن الثقوب السوداء تتسم بإنتروبيا - فستحتاج الثقوب السوداء أيضًا إلى درجة حرارة غير صفرية.

[←135]

ناقشنا في الفصل الثالث كيف أن الطاقة المُجسدة على صورة مجال جاذبية يمكن أن تكون سالبة، غير أن هذه الطاقة طاقة وضع. أماً الطاقة التي نناقشها هنا فهي طاقة حركة، وهي آتية من كتلة الإلكترون وحركته. في الفيزياء الكلاسيكية من الحتمي أن تكون هذه الطاقة موجبة.

[←136]

سبب التغير الظاهري في الطاقة بعيد كل البعد عن كونه بديهيًّا؛ إذ يعتمد على رابطة وثيقة بين الطاقة والزمن. بإمكانك التفكير في طاقة أي جسيم باعتبارها السرعة الاهتزازية لمجاله الكمي. وحين نضع في الاعتبار أن معنى السرعة ذاته يستدعي مفهوم الزمن، تصير العلاقة بين الطاقة والزمن واضحة. تؤثر الثقوب السوداء تأثيرًا عميقًا على الزمن. ومن موقع رصد بعيد يبدو الزمن وكأنه يتباطأ حين يقترب الجسم من أفق أي ثقب أسود، ويتوقف عندَ الأفق ذاته. وعند عبور الأفق يتبادل الزمن والمكان دوريهما؛ ففي داخل الثقب الأسود يصير الاتجاه الشعاعي اتجاهًا زمنيًّا. يعني هذا أن في داخل الثقب الأسود تتوافق الطاق الموجبة مع الحركة في الاتجاه الشعاعي نحو نقطة تفرد الثقب الأسود. وحين يعبر الجسيم ذو الطاقة السالبة من زوج الجسيمات أفق الحدث فإنه في الحقيقة يسقط نحو مركز الثقب الأسود. وهكذا فإن الطاقة السالبة التي كانَ يمتلكها من منظور شخص يرصده من بعيد تصير طاقة موجبة من منظور شخص موجود داخل الثقب الأسود ذاته. وهذا يجعل النطاق الداخلى للثقب الأسود مكانًا يمكن أن توجد فيه مثل هذه الجسيمات.

[←137]

حين ينكمش الثقب الأسود فإن مساحة أفق الحدث الخاص به تنكمش بالمثل، وهذا يتعارض مع تصريح هوكينج بأن المساحة الإجمالية للسطح تزداد. ومع ذَلكَ تذكر أن فرضية المساحة لهوكينج مبنية على النسبية العامة الكلاسيكية. ونحن الآن نضع في الحسبان العمليات الكمية ومن ثمّ نتوصل إلى نتيجة أدق.

[←138]

إلى جانب قذف العملات، يمكنك أيضاً تبديل مواضعها، لكنّ بهدف توضيح الفكرة الأساسية يمكننا التغاضي عن هذا التعقيد دون ضرر.

[←139]
كي نكون أكثر تحديدًا بقليل، إنه العدد الأدنى من أسئلة نعم/ لا التي تحدد إجاباتها على نحو متفرد الخصائص فائقة الصغر للمنظومة.

[←140]

وجد هوكينج أن الإنتروبيا هي مساحة أفق الحدث معبر عنها بوحدات بلانك، مقسومة على أربعة.

[←141]

بالنسبة لكل الأفكار التي سنصفها في هذا الفصل، لا تزال قضية التركيب فائق الصغر للثقب الأسود غير معروفة بعد. وكما ذكرت في الفصل الرابع ففي عام 1996 اكتشف أندرو سترومينجر وكومرون فافا أننا لو خفضنا (رياضيًّا) شدة الجاذبية رياضيًّا، حينها فسوف تتحول الثقوب السوداء إلى مجموعات محددة من الأوتار والأغشية. وعن طريق إحصاء الترتيبات المحتملة لهذه المكونات استرد سترومينجر وفافا، بأوضح صورة تحققت على الإطلاق، معادلة إنتروبيا الثقوب السوداء الشهيرة لهوكينج. لكنّ رغم هذا فلم يستطيعا وصف هذه المكونات حين تكون شدة الجاذبية قوية، أي حين تتشكل الثقوب السوداء بالفعل. وقد اقترح باحثون آخرون، مثل سمير ماثور وعدد من معاونيه، أفكارًا أخرى، مثل احتمالية أن تكون الثقوب السوداء ما نطلق عليه «كرات الزغب»، أي عبارة عن كومات من الأوتار المهتزة المنشورة في أرجاء المنطقة الموجود بها الثقب الأسود. تظل هذه الأفكار غير مكتملة. وتقدم النتائج التي سنناقشها في موضع لاحق من هذا الفصل (في القسم المعنون «نظرية الأوتار والمبدأ الهولوجرافي») بعضًا من أوضح المفاهيم المتعلقة بهذه القضية.

[←142]

لو كنت مهتمًّا بمعرفة القصة الكاملة، أرشح لك بقوة كتاب ليونارد سكيند الممتاز The Black Hole Wars «حروب الثقوب السوداء».

[←143]

على نحو أدق، من الممكن إلغاء الجاذبية في منطقة من الفضاء عن طريق الدخول في حالة من السقوط الحر. يعتمد حجم المنطقة على النطاقات التي يتباين عبرها مجال الجاذبية. فإذا كانَ مجال الجاذبية يتباين عبر نطاقات كبيرة وحسب (أي إذا كانَ مجال الجاذبية متجانسًا أو شبه متجانس)، حينها فإن سقوطك الحر سوف يلغي تأثير الجاذبية عبر منطقة كبير من الفضاء. لكنّ لو كانَ مجال الجاذبية يتباين عبر نطاقات مسافة صغيرة - نطاق جسدك مثلًا - حينها ربما تلغي تأثير الجاذبية عندَ قدميك لكنك ستظل تشعر به مع ذَلكَ عندَ رأسك. يصير هذا واضحًا لاحقا في سقوطك لأن مجال الجاذبية يصير أقوى كلما اقتربت من نقطة تفرد الثقب الأسود، إذ تزداد قوته بحدة كلما قلت المسافة التي تفصلك عن نقطة التفرد. ويعني التغير السريع أنّه ما من سبيل إلى إلغاء تأثيرات نقطة التفرد، والتي سوف تسبب استطالة جسدك حتّى نقطة انهياره، نظرًا لأن قوة الجذب عندَ قدميك، لو قفزت بقدميك أولًا، ستكون أعظم بكثير منها عندَ رأسك.

[←144]

سيلاحظ القارئ العليم بالثقوب السوداء أنّه حتّى من دون الاعتبارات الكمية التي أدت إلى إشعاع هوكينج، فإن المنظورين سيختلفان في ما يتعلق بمعدل انقضاء الزمن. ومع ذَلكَ فإشعاع هوكينج يجعل التباين أكثر وضوحاً.

[←145]

هذه المناقشة توضح الاكتشاف الذي تحقق عام 1976 على يد ويليام أورو، والذي يربط حركة الفرد بالجسيمات التي يواجهها. فقد وجد أونرو أنك لو تحركت حركة متسارعة داخل منطقة من الفضاء الخاوي فسوف تواجه تيارًا من الجسيمات عندَ درجة حرارة تحددها حركتك. تقضي النسبية العامة بتحديد معدل تسارع الفرد عن طريق مقارنته بمعيار يحدده راصدون يسقطون سقوطًا حرًّا (انظر الفصل الثالث من كتاب «نسيج الكون»). ومن ثمّ فإن الراصد البعيد الذي ليس في حالة سقوط حر سيرى إشعاعًا يخرج من الثقب الأسود، بينما الراصد الموجود في حالة سقوط حر لن يراه.

[←146]

يتكون ثقب أسود لو أن الكتلة M الموجودة داخل كرة نصف قطرها R تجاوزت $\mathbf{c^2R/2G}$ ، حيث c هي سرعة الضوء و G ثابت نيوتن.

[←147]

في الحقيقة، بينما تنهار المادة تحت وطأة وزنها ويتكون ثقب أسود، فإن أفق الحدث سيوجد عمومًا داخل حدود المنطقة التي كنا نناقشها. يعني هذا أننا لم نصل بعد إلى الحد الأقصى للإنتروبيا التي تحويها المنطقة ذاتها. ومن الممكن علاج هذا الأمر بسهولة بأن نلقي المزيد من المادة داخل الثقب الأسود، بحيث نسبب تضخم أفق الحدث وصولًا إلى الحدود الأصلية للمنطقة. وبما أن الإنتروبيا سوف تزداد مجددًا في أثناء هذه العملية الأكثر تعقيدًا، فإن إنتروبيا المادة التي ألقيناها داخل المنطقة ستكون أقل من تلك الخاصة بالثقب الأسود الذي يملأ المنطقة، أي مساحة سطح المنطقة معبر عنها بوحدات بلانك.

[←148]

كتاب جيرارد تى هوفت (Dimensional Reduction in Quantum Gravity)
In Salam Festschrift 1993 (River Edge, N.J.: World Scientific, 1993) Pp.284-96
(QCD161:C512:1993)) من تحرير إيه آلى وجيه إيليس وإس رادجابار-دايمي

[←149]

ناقشنا من قبل أن الضوء «المُنهَك» أو «المُستنفَد» هو الضوء الذي استطال طوله الموجي (أزيح إزاحة حمراء) وانخفضت تردده الاهتزازي نتيجة بذل الطاقة وهو يشق طريقه خارجًا من ثقب أسود (أو مبتعدًا عن أي مصدر للجاذبية). ومثل عمليات الدوران المألوفة أكثر (دوران الأرض حول الشمس، دوران الأرض حول محورها، إلخ)، فإن اهتزازات الضوء يمكن استخدامها في تحديد الزمن المنقضي وفي الواقع، يستخدم العلماء حاليًا اهتزازات الضوء المنبعث من ذرات السيزيوم 133 المستثارة من أجل تحديد الثواني. ومن ثمّ فإن التردد الاهتزازي الأبطأ للضوء المُنهَك يعني ضمنًا أن انقضاء الزمن بالقرب من الثقب الأسود - كما يراه راصد بعيد - أبطأ أيضًا.

[←150]

في غالبية الاكتشافات العلمية المهمة، تعتمد النتيجة الأبرز على مجموعة من الأعمال السابقة. وهذا هو الحال هنا. فبالإضافة إلى تي هوفت وسَسكيند ومالداسينا، تتضمن قائمة العلماء الذين ساعدوا في إنارة الطريق نحو هذه النتيجة وتطوير تبعاتها كلًّا من ستيف جوبسر وجو بولشينسكي وألكسندر بولياكوف وأشوك سين وآندي سترومينجر وكومرون فافا وإدوارد ويتن وكثيرون غيرهم.

وللقارئ ذي الميول الرياضية نقول إنّ الصياغة الأدق لنتيجة مالداسينا هي كالتالي:

افترض أن N هي عدد الأغشية الثلاثية الموجودة في حزمة الأغشية، وأن g هي قيمة ثابت الاقتران في نظرية الأوتار من النوع الثاني (ب). حين يكون gN عددًا صغيرًا، أقل كثيرًا من الواحد، توصف العمليات الفيزيائية بشكل وافٍ عن طريق الأوتار منخفضة الطاقة التي تتحرك داخل حزمة الأغشية. وبالتبعية فإن هذه الأوتار توصَف بشكل وافٍ عن طريق نظرية المجال الكمي فائقة التناظر ثابتة الزوايا. لكنّ حين يكون gN عددًا كبيرًا، تصير نظرية المجال هذه ذات ثابت اقتران كبير، وهذا يجعل المعالجة التحليلية لها أصعب. ومع ذَلكَ ففي هذه المنظومة تتمثل النتيجة التي توصل إليها مالداسينا في أن بوسعنا استخدام توصيف الأوتار المتحركة في هندسة الأفق القريب لحزمة الأوتار، وهي $AdS_5 \times S^5$ (فضاء دي سيتر المضاد خماسي الزمكان خماسي الكرات). يتحدد نصف قطر هذه الفضاءات عن طريق gN (وتحديدًا، يتناسب نصف القطر طرديًّا مع $(gN)^{1/4}$ ، ومن ثمّ ففي حالة قيم gN الكبيرة، يكون انحناء $AdS_5 \times S^5$ صغيرًا، وهو ما يضمن أن حسابات نظرية الأوتار من الممكن إجراؤها (وتحديدًا، خضعت الحسابات لتقريب جيد بواسطة الحسابات المُجراة في أحد التعديلات المعينة لجاذبية آينشتاين). ومن ثمّ، بينما تتغير gN من قيم صغيرة إلى كبيرة، تتغير الفيزياء الموصوفة بواسطة نظرية المجال الكمي فائقة التناظر ثابتة الزوايا رباعية الأبعاد إلى تلك الموصوفة بواسطة نظرية أوتار ذات عشرة أبعاد في فضاء دي سيتر المضاد خماسي الزمكان خماسي الكرات، $AdS_5 \times S^5$ وهذا يُسمّى توافق AdS/CFT (فضاء دي سيتر المضاد/ نظرية المجال ثابتة الزوايا).

[←151]

ثمة قصة ذات صلة لم أحكِها في هذا الفصل، وهي تتعلق بالجدل الدائر منذ وقت طويل حول ما إذا كانت الثقوب السوداء تتطلب تعديلًا لميكانيكا الكم؛ بمعنى ما إذا كانَ ابتلاع المعلومات يعيق قدرة الثقوب السوداء على تطوير موجات احتمالية في المستقبل. ويمكن تلخيص الموقف في عبارة واحدة حين نقول إنّ النتائج التي توصل إليها ويتن، عن طريق إثبات وجود تكافؤ بين ثقب أسود وموقف فيزيائي لا يدمِّر المعلومات (نظرية مجال كمى ساخن)، قدمت دليلًا حاسمًا على أن كل المعلومات التي تسقط داخل الثقب الأسود تصير في نهاية المطاف متاحة للعالم الخارجي. ومن ثمّ لا تحتاج ميكانيكا الكم أي تعديل. وهذا التطبيق لاكتشاف مالداسينا يثبت أيضا أن نظرية الحد الخارجي تقدم وصفًا كاملًا للمعلومات (الإنتروبيا) المخزنة على سطح الثقب الأسود.

[←152]

رغم أن الإثبات الكامل لحجة مالداسينا يظل بعيدًا عن المتناول، ففي السنوات الأخيرة صارت الصلة بين وصف الحيز الداخلي والحد الخارجي مفهومة على نحو متزايد. على سبيل المثال جرى تحديد طبقة من الحسابات تتصف نتائجها بالدقة في أي قيمة لثابت الاقتران. ومن ثَمّ فمن الممكن تتبُّع هذه النتائج من القيم الصغيرة إلى الكبيرة، وهذا يوفر لنا نافذة على عملية «التحول» التي وفقها يتغير التوصيف الفيزيائي من منظور الحيز الداخلي إلى توصيف من منظور الحد الخارجي، والعكس بالعكس. وقدْ بينت هذه الحسابات، مثلًا، كيف أن بإمكان سلاسل من الجسيمات المتفاعلة الآتية من الحد الخارجي أن تتحول إلى أوتار في الحيز الداخلي؛ وهي مرحلة وسيطة مقُنعة للغاية بين التوصيفين.

[←153]

على نحو أدق، هذه صورة مغايرة للنتيجة التي توصل إليها مالداسينا، وقدْ عُدِّلَت بحيث إنّ نظرية المجال الكمي على الحد الخارجي لا تكون تلك التي ظهرت في الأصل من واقع دراساته، وإنما تشبه عن كثب الديناميكا اللونية الكمية. وهذا التغيير يستتبع أيضًا تعديلات موازية في نظرية الحيز الداخلي. وتحديدًا، وسيرًا على خطى ويتن، فإن درجة الحرارة المرتفعة لنظرية الحد الخارجي تُتَرجَم إلى ثقب أسود في التوصيف الداخلي. وبالتبعية فإن القاموس الذي يترجم بين هذين التوصيفين يبين أن الحسابات الصعبة للزوجة بلازما الكواركات والجلونات تُتَرجَم إلى استجابة أفق حدث الثقب الأسود لتشوهات معينة؛ وهي عملية حسابية فنية لكنّ من الممكن إجراؤها.

[←154]

ظهر نهج آخر لتقديم وصف كامل لنظرية الأوتار من الأعمال السابقة في حقبة تسمى نظرية المصفوفة، Matrix theory (وهذا معنى آخر محتمل للحرف M في «النظرية إم»)، والتي طورها توم بانكس وويلي فيشلر وستيف شينكر وليونارد سَسكيند.

[←155]

العدد الذي اقتبستُه، 10^{55}جرام، يخص محتويات الكون القابل للرصد اليوم، لكنّ في أزمنة سابقة كانت درجة حرارة هذه المكونات أكبر ومن ثمّ فقد كانت تحتوي على طاقة أعلى. والعدد 10^{56} جرامٍ يعد تقديرًا أفضل لما يُمكن حشده داخل ذرة ضئيلة كي تلخص تطور كوننا مما كانَ عليه حين كانَ يبلغ من العمر ثانية واحدة تقريباً.

[←156]

ربما تظن أن بسبب ضرورة أن تكون سرعتك أقل من سرعة الضوء، فستكون طاقة الحركة الخاصة بك محدودة كذلك. غير أن الحال ليس كذلك. فبينما تقترب سرعتك من سرعة الضوء تزداد طاقتك أكثر وأكثر، ووفق النسبية العامة ليس لهذه الزيادة حدود.

ورياضيًّا، المعادلة الخاصة بالطاقة هي $E = mc^2/\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ حيث c سرعة الضوء و v سرعتك. وكما ترى فبينما تقترب v من c ، تزداد الطاقة E زيادة كبيرة. لاحظ أيضًا أن هذه المناقشة تكون من منظور شخص يشاهدك وأنت تسقط، مثلاً شخص ساكن على سطح كوكب الأرض. أما من منظورك أنت فبينما تسقط سقوطًا حرًّا ستكون ساكنا بينما كل المادة المحيطة بك ستكتسب سرعة متزايدة.

[←157]

في ضوء فهمنا الحالي توجد مرونة كبيرة في مثل هذه التقديرات. فالعدد «10 جرامات» يأتي من الاعتبار التالي: نطاق الطاقة حدث عند التضخم يُعتَقَد أنه يساوي نحو 10^{-5} مرة قدر نطاق طاقة بلانك، وهذا الأخير يساوي 10^{19}مرة قدر الطاقة المكافئة لكتلة البروتون. (لو حدث التضخم عندَ نطاقات طاقة مرتفعة، تقترح النماذج أن الأدلّة على وجود موجات جاذبية أُنتجَت في مرحلة الكون المبكر ينبغي أن تكون قد رُصدَت بالفعل). وبالتعبير عن الأمر بوحدات مألوفة أكثر، فإن نطاق بلانك يساوي نحو جرام (وهو مقدار صغير بالمعايير المعتادة غير أنه شديد الضخامة وفق مقياس فيزياء الجسيمات الأساسية، الذي تحمل فيه الجسيمات المنفردة هذه الطاقات). ومن ثمّ فإن كثافة طاقة مجال التضخم ستساوي نحو 10^{-5}جرام محتشدة داخل كل حيز مكعب يساوي بُعده الخطي نحو 10^{5}مرة قدر طول بلانك (كما تذكر، من واقع عدم اليقين الكمي، فإن الطاقات تتناسب عكسيًّا مع نطاقات الأطوال)، وهو ما يعادل نحو 10^{-28}سنتيمتر. ومن ثمّ فإن الكتلة - الطاقة الإجمالية التي يحملها مجال التضخم هذا في حيز يبلغ طول ضلعه 10^{-26}سنتيمتر هي : 10^{-5}جرام / (10^{-28}سنتميتر)3 x (10^{-26}سنتيمتر)3، وهو ما يعادل نحو 10 جرامات. ربما يذكر قراء كتاب «نسيج الكون» أنني استخدمتُ هناك قيمة مختلفة قليلًا عن ذلك. ويأتي الاختلاف نتيجة افتراض أن نطاق طاقة التضخم كانَ أعلى قليلًا.

[←158]

من قبيل المفارقة أن أحد تفسيرات عدم العثور على الأقطاب المغناطيسية الأحادية (رغم أن كثيراً من مناهج النظريات الموحدة تتنبأ بوجودها) هو أن عددها غير ملحوظ بفعل التمدد السريع للفضاء، والذي يحدث وفق علم الكونيات التضخمي. والاقتراح المقدم الآن يتمثل في أن الأقطاب المغناطيسية الأحادية ربما تلعب هي نفسها دورا في إطلاق حقب تضخمية مستقبلية.

[←159]

انظرْ كتاب هانز مورافيك

(Robot: Mere machine to Transcendent Mind (New York: Oxford University Press, 2000

وانظر أيضًا كتاب راي كورزويل

(The Singularity Is Near: when humans Transcend Biology (New York: Penguin, 2006

[←160]

شخصية روبوت من عالم حرب النجوم (المترجم).

[←161]

لعبتان افتراضيتان أُطلقتا على الإنترنت تحاكيان الحياة التي نعيشها على كوكب الأرض (المترجم).

[←162]

لوسي هو الاسم الشائع لحفرية تمثل بقايا هيكل عظمي لأنثى من نوع أوسترالوبيثيكوس أفارنيسيس، عاشت وماتت قبل 3.2 مليون سنة، وعثر عليها في إثيوبيا عام 1974. أما آردي فهو الاسم الشائع لحفرية تمثل بقايا هيكل عظمي لأنثى من نوع أرديبيثيكوس راميدوس، وقدَّرَ العلماء أنها تعود إلى4.4 مليون سنة خلت، وعُثر عليها في إثيوبيا عام 1994(المترجم).

[←163]

ثمة ثغرة أخرى تنشأ عن تجسيد لمشكلة القياس التي واجهناها في الفصل السابع. فإذا كانَ عدد الأكوان الحقيقية (غير الافتراضية) لا نهائي (أي إذا كنا جزءًا من الكون المتعدد المنسوج مثلًا)، عندئذٍ توجد مجموعة لا نهائية من العوالم الشبيهة بعالمنا والتي يدير فيها أحفادنا عمليات محاكاة، تنتج عددًا لا نهائيًّا من العوالم المُحاكاة. ورغم أنّه سيبدو أن عدد العوالم المحاكاة سيفوق كثيرًا عدد العوالم الحقيقية، فقد رأينا في الفصل السابع أن مقارنة الأعداد اللانهائية أمر محفوف بالخطر.

[←164]

انظرْ، على سبيل المثال، مقال روبين هانسون بعنوان «كيف نعيش داخل محاكاة»
(Journal of Evolution and Technology 7, no.1 (2006

[←165]

أي نظرية تسمح بوجود عدد متناهي وحسب من الحالات المتمايزة داخل حيز مكاني متناهٍ (بما يتفق، مثلًا، مع حدود الإنتروبيا التي ناقشناها في الفصل السابق) لا يزال بوسعها الاستعانة بكميات متواصلة كجزء من صيغتها الكمية: فبإمكان قيمة موجة الاحتمالية أن تتباين على نحو متصل حتّى حين يكون ثمة عدد متناهٍ وحسب من النتائج المختلفة ممكنًا.

[←166]

تذهب فرضية تشرش-تورينج إلى أن أي حاسب آلي ينتمي إلى النوعية المسماة «حسابات توزيع العامة» بمقدوره محاكاة أفعال حاسب آخر، ولذا فمن المنطقي تمامًا لأي حاسب موجود داخل المحاكاة – ومن ثم فهو نفسه نتاج محاكاة قام بها حاسب أب يدير العالم المُحاكي كله – أن يؤدى مهام مكافئة لتلك التي يؤديها الحاسب الأب.

[←167]

طور الفيلسوف ديفيد لويس فكرة مشابهة عن طريق ما سمَّاه «الواقعية الشكلية». انظرْ

(On the Plurality of Worlds (Malden, Mass.: Wiley-Blackwell, 2001

ومع ذَلكَ فإن دافع لويس في تقديم كل الأكوان المحتملة يختلف عن دافع نوزيك؛ إذ كانَ لويس يريد سياقًا يُمكن فيه بيان صحة عبارات مخالفة للحقائق (مثل القول: «لو كانَ هتلر قد كسب الحرب لكان العالم كلّه اليوم مختلف»)

[←168]

يسمح بورخيس بوجود كتب تحوي كل تتابعات الحروف الممكنة، من دون اعتبار للمعنى.

[←169]

عبر جون بارو عن نقطة مشابهة في كتابه (Pi in the Sky (New York: Little, Brown, 1992

[←170]

كما أوضحت في هوامش الفصل السابع فإن حجم هذه اللانهائية يتجاوز حجم المجموعة اللانهائية للأعداد الكاملة 1، 2، 3... إلخ.

[←171]

حين ناقشنا الكون المتعدد المنسوج (الفصل الثاني)، شدد على أن فيزياء الكم تضمن لنا أنّه في أي منطقة متناهية من المكان يوجد فقط عدد مختلف متناو للطرق التي تستطيع بها المادة تنظيم نفسها. ومع هذا فإن الصيغة الرياضية الميكانيكا الكم تتضمن سمات متصلة ومن ثمّ يمكنها أن تتخذ قيما عديدة لا نهائية. وهذه السمات هي الأشياء التي نعجز عن رصدها مباشرة (مثل ارتفاع موجة الاحتمالية في أي نقطة بعينها)، ولا توجد الاحتمالات العديدة المتناهية إلا في ما يخص النتائج المنفصلة التي تستطيع تستطيع القياسات الحصول عليها.

[←172]

هذه إحدى صور معضلة «حلاق إشبيلية» الشهيرة، والتي فيها يحلق هذا الحلاق ذقن لكل من لا يحلق ذقنه بنفسه. والسؤال هو: من الذي يحلق للحلاق ذقنه؟ (يُفترض دائمًا أن الحلاق رجل، وذلك لتفادي الإجابة السهلة التي تقول إن الحلاق امرأة ومن ثَمّ فلا تحتاج إلى حلاقة ذقنها.) دعني أشدد على أن هذا المثال مقصود منه تقديم لمحة بديهية عن الكيفية التي يُمكن للحاسب أن «يَعْلَق» بها، لكن لا يجب التفكير فيه كمثال حرفي لدالة غير قابلة للحساب.

[←173]

يذكر شميدهوبر أن ثمة استراتيجية فعالة تتمثل في جعل الحاسبات تطوَّر كون مُحاكي مع مرور الزمن بطريقة «معاشقة»: إذ يجري تحديث الكون الأول في خطوات زمنية غير متعاقبة على الحاسب الأول وذلك بالتناوب مع عملية تحديث الكون الثاني، ثمّ يجري تحديث الكون الثالث في كل خطوة زمنية للكونين السابقين، وهكذا دواليك. وسريعًا ستمضي عملية تطور كل كون قابل للحساب عبر عدد شديد الضخامة من الخطوات الزمنية.

[←174]

ذكر ماكس تجمارك أن أي محاكاة بالكامل، من بدايتها إلى نهايتها، ما هي إلا مجموعة من العلاقات الرياضية. ومن ثمّ فإذا آمنا أن الرياضيات كلها حقيقية، ستكون هذه المجموعة كذلك هي أيضاً. وبالتبعية، لا توجد حاجة من هذا المنظور لتشغيل أي محاكاة حاسوبية، نظرًا لأن العلاقات الرياضية التي ستنتجها كل محاكاة حقيقية بالفعل. لاحظ أيضاً أن التركيز على تطوير أي محاكاة مع مرور الزمن أمر تحفه قيود كثيرة، رغم كونه بديهيًا. إنّ قابلية أي كون للحساب ينبغي تقييمها عن طريق دراسة قابلية الحساب الخاصة بالعلاقات الرياضية التي تحدد تاريخه بالكامل، وما إذا كانت هذه العلاقات تصف تجلي المحاكاة مع مرور الوقت أم لا.

[←175]

من الممكن لمناقشة أدق للدوال القابلة للحساب وغير القابلة للحساب أن تتضمن كذلك الدوال القابلة للحساب بشكل محدود. وهذه هي الدوال التي تكون لها خوارزميات متناهية العدد تقيمها في حدود دقة أعلى. على سبيل المثال هذا هو الحال عندَ إنتاج الأرقام الخاصة بـ Ψ : فباستطاعة الحاسب أن يُنتج كل رقم متعاقب في Ψ رغم أنّه لن يصل مطلقًا إلى نهاية عملية الحساب. ومن ثمّ فرغم أن Ψ غير قابلة للحساب بالمعنى المحدد للكلمة، فإنها قابلة للحساب بشكل محدود. و مع ذلك فالأعداد الحقيقية تختلف عن Ψ . فهي ليست غير قابلة للحساب فقط، وإنما غير قابلة للحساب بشكل محدود أيضًا.

حين نتدبر عمليات المحاكاة «الناجحة»، علينا تضمين تلك المبنية على دوال قابلة للحساب بشكل محدود. ومن الناحية النظرية، بالإمكان توليد واقع مُقنع بواسطة المُخرَج الجزئي لحاسب يقوم بتقييم دوال قابلة للحساب بشكل محدود.

كي تصير قوانين الفيزياء قابلة للحساب، أو حتّى قابلة للحساب بشكل محدود، يجب التخلي عن الاعتماد التقليدي على الأعداد الحقيقية. وهذا من شأنه ألاّ ينطبق فقط على المكان والزمن، اللذان يوصفان في المعتاد باستخدام إحداثيات يُمكن أن تتراوح قيمها على امتداد الأعداد الحقيقية، وإنما أيضًا في كل المكونات الأخرى التي تستخدمها القوانين. فشدة المجال الكهرومغناطيسي، مثلًا، يُمكن أن تتفاوت عبر عدد من الأعداد الحقيقية، لكنّ فقط عبر مجموعة محددة من القيم. ويسري الأمر عينه على احتمالية وجود أحد الإلكترونات في هذا الموضع أو ذاك. وقدْ أكد شميدهوبر على أن كل الحسابات التي أجراها الفيزيائيون على الإطلاق تضمنت استخدام رموز محددة (مكتوبة على الورق أو السبورات أو كمدخلات حاسوبية). ومن ثمّ فرغم أن هذا الجزء من البحث العلمي نُظر إليه على الدوام بوصفه يقوم على الأعداد الحقيقية، فهو من الناحية العملية ليس كذلك. والأمر عينه ينطبق على كل الكميات التي قيست على الإطلاق. فلا يتمتع أي جهاز بدقة لا نهائية، ومن ثمّ فدائمًا ما تتضمن قياساتنا مُخرجات عددية متمايزة. بهذا المعنى، من الممكن النظر إلى كل نجاحات الفيزياء باعتبارها نجاحات للنموذج الإرشادي العددي. وربما، إذًا، تكون القوانين الحقيقية ذاتها في واقع الأمر قابلة للحساب (أو قابلة للحساب بشكل محدود).

ثمة منظورات متباينة لاحتمالية «الفيزياء الرقمية». انظرْ، على سبيل المثال، كتاب ستيفن وولفرام

III.: Wolfram Media Programming the Universe (New A New Kind of Science (Champaign, (York: Alfred 2002

وكتاب سيث لويد (A. Knopf 2006,).

يؤمن عالم الرياضيات روجر بنروز بأن العقل البشري مبني على عمليات غير قابلة للحساب ومن ثمّ فإن الكون الذي نقطنه يجب أن يتضمن دوال رياضية غير قابلة للحساب. ومن هذا المنظور فإن كوننا لا يقع ضمن النموذج الإرشادي الرقمي. انظرْ علي سبيل المثال،

,The Emperor 's New Mind (New Shadows of the Mind (New York: Oxford University Press .(New York: Oxford University Press,1994) , 1989)

[←176]

لاحظ، كما ذكرنا في الفصل السابع، أن الدحض الرصدي المُحكَم للتضخم من شأنه أن يتطلب التزام النظرية بإجراء مقارنة الطبقات اللانهائية من الأكوان، وهو أمر لم تحققه بعد. ومع ذَلكَ يتفق معظم الممارسين على أنّه لو كانت بيانات إشعاع الخلفية الميكروني تبدو مختلفة، مثلاً، عما هو مبين في الشكل 4-3، فإن ثقتهم في التضخم سوف تنهار، رغم أنه وفقًا لهذه النظرية توجد فقاعات كونية داخل الكون المتعدد التضخمي يمكن أن تكون فيها هذه البيانات مقبولة.

[←177]

ستيفن وابنبرج

(P.131. 1973 The First Three Minutes (New York :Basic Books,