



ترجمة: أحمد رمو

بول ديفيز

الدفائق الثلاثاء نيرة



دار الدين

متشورات دار علاء الدين

الدفلو
الثلاثاء خيره

بول ديفيز

الدفائف

الثلاثاء زمرة

ترجمة: أحمد رمُو



منشورات حاركل، الحسين

- الدقائق الثلاث الأخيرة
- تأليف: بول ديفيز.
- ترجمة: أحمد رمو
- الطبعة الأولى: سنة ٢٠٠١ ، عدد النسخ ١٠٠٠ نسخة
- جميع الحقوق محفوظة لدار علاء الدين
- التدقيق اللغوي: صالح جاد الله شقير.

يطلب الكتاب على العنوان التالي:

دار علاء الدين

لنشر والتوزيع والترجمة

سوريا، دمشق، ص.ب: ٣٠٩٨
هاتف: ٥٦١٧٠٧١ - فاكس: ٥٦١٣٣٤١

العنوان الأصلي للكتاب

The Last Three Minutes

تعريف بالمؤلف

حصل بول ديفيس على درجة دكتوراه في الفلسفة من الكلية الجامعية في لندن، وبعده شغل مناصب أكاديمية في كامبريدج ولندن قبل أن يُعين أستاذًا للفيزياء النظرية في نيوكاسل. هاجر إلى أستراليا عام 1990 ليصبح أستاذًا للفيزياء الرياضية في جامعة أديلايد. وأحدثت جامعته مؤخرًا وظيفة أستاذ الفلسفة الطبيعية خصوصاً من أجله. والأستاذ ديفيس معروف جيداً كمؤلف ومندبي. انعكس اهتمامه الخاص بالجوانب العلمية في العديد من كتبه، بما فيها *الله والفيزياء الحديثة* الأكثر رواجاً و *عقل الله*. وهو متزوج وله أربعة أطفال.

المقدمة

عندما كنت طالباً في مطلع السبعينات^١ ، كان هناك اهتمام شديد بمشكلة أصل الكون. فنظيرية الانفجار الكبير، التي ترقى إلى العشرينات ولم تؤخذ بجدية إلا في الخمسينات، كانت معروفة جيداً ولكنها كانت بعيدة عن أن تكون مقنعة. والنظيرية المنافسة، نظرية الحالة المستقرة، التي تخلصت من منشأ الكون جملة، كانت مازال السيناريو الأكثر عصرية في بعض الأوساط. وأعقب ذلك اكتشاف الإشعاع الخلفي للحرارة الكونية من قبل روبرت بنزياس و آرنو ديلسون في عام 1965، وتحول الموضوع. وكان هذا بالتأكيد دليلاً واضحاً على المنشأ الحراري، والعنيف، والمفاجيء للكون.

وراح الكوزمولوجيون يعملون من خلال دلالات الاكتشاف. إلى أي مدى كان الكون حاراً بعد الانفجار الكبير بـ 10¹⁰ مليون سنة؟ بسنة واحدة؟ بثانية واحدة؟ ما نوع العمليات الفيزيائية التي حدثت في ذلك الجحيم البدائي؟ أيمكن أن تكون هناك مخلفات أثرية من بداية الخلق تحتفظ ب بصمة الظروف الشديدة التي سادت آنذاك؟

أذكر أنتي حضرت محاضرة حول علم الكون في عام 1968. اختتم الأستاذ محاضرته باستعراض نظرية الانفجار الكبير على ضوء اكتشاف إشعاع الحرارة الخلفية. فروعى وهو يبتسّم: "قدم بعض النظريين وصفاً للتراكيب الكيميائية للكون يقسم على أساس عمليات غير واضحة حدثت خلال الدقائق الثلاث الأولى التي تلت الانفجار الكبير". فضحك بصخب جميع المستمعين. فقد بدت محاولة وصف حالة الكون في اللحظات التالية مباشرة لظهوره إلى الوجود من قبيل الطموح السخيف. حتى الأسقف جيمس أشر، الذي قادته دراسته لجزئيات التسلسل التاريخي التوراتي إلى التصرّح بأن الكون وُجِدَ في 23 تشرين الأول عام 4004 ق.م، لم يجازف بترتيب التسلسل الدقيق للحوادث خلال الدقائق الثلاث الأولى.

¹-عندما ترد كلمة العشرينات أو السبعينات أو الخمسينات، أو مثل ذلك، فالقصد بما في ذلك الماضي - المترجم.

ولم يمض أكثر من عقد بعد اكتشاف الإشعاع الكوني للحرارة الخلفية حتى أصبحت الدقائق الثلاث الأولى زاداً أساسياً للطلاب. فقد أصبحت الكتب المدرسية توضع حول هذه الموضوع. وفي عام 1977، نشر ستيفن فاينبرغ، عالم الفيزياء والكونولوجيا الأمريكي، كتابه الأكثر رواجاً تحت عنوان *الدقيقة الثلاث الأولى*. وقد أثبتت أنه عالمة بارزة في نشر العلم المبسط. فها هو واحد من الخبراء العالميين يزود الجمهور العام بوصف مفصل ومتقن تماماً للعمليات التي حدثت خلال دقايق فقط بعد الانفجار الكبير.

وفي حين كان الجمهور يحاول استيعاب هذه التطورات الجموجة، كان العلماء أنفسهم يواصلون عملهم. وبدأ الاهتمام يتحول مما بات يُعرف بالكون المبكر -معنى دقايق أو حوال ذلك بعد الانفجار الكبير- إلى الكون المبكر جداً -معنى جزء لامتناهي الصغر تكريباً من الثانية بعد الابتداء. ولم يمض عقد آخر أو حوله حتى كان عالم الفيزياء الرياضية، ستيفن هوكنغ، واحداً من قدرته على وصف أحد الأفكار حول التريليون تريليون التريليون الأول من الثانية، وذلك في كتابه *تاريخ موجز للزمن*. أما الضحك الذي أنهى تلك المحاضرة عام 1968 فيبدو اليوم فارغاً إلى حد ما.

في نظرية الانفجار الكبير التي ترسخت بصورة جيدة في الذاكرة الشعبية والعلمية، على حد سواء، ترکز التفكير أكثر فأكثر على مستقبل الكون. فلدينا فكرة جيدة حول كيف بدأ الكون، ولكن كيف سينتهي؟ ماذا يمكن أن نقول حول مصيره النهائي؟ هل سينتهي بانفجار أو بنشيغ-هل سينتهي فعلاً في وقت ما؟ وماذا بشرتنا نحن؟ أيمكن للإنسانية أو لاحقاؤنا، سواء كانوا آلين أو من لحم ودم، أن يعيشوا إلى الأبد؟

ومن غير الممكن أن يتخلّى المرء عن فضوله حول هذه المسائل، مع أن الهرمجدون^١
قد لا تكون على الأبواب تماماً. وكفاحنا في سبيل البقاء على سطح الأرض الكوكب، التي
تكتنفها اليوم الأزمات التي يسبّبها الإنسان، يوضع في سياق جديد مرغوب عندما نجرب
على التفكير حول بعد الكوني لوجودنا. والكتاب الذي بين أيدينا، الذي انطلق الثلاث
الأخيرة، هو قصة مستقبل الكون، كأفضل ما يمكن أن تنتبه له، على أساس أحدث الأفكار
عند بعض العلماء المعروفيين في الفيزياء والكونيات. وهو ليس رؤيا نبوية بأية حال.
والواقع، إن المستقبل يعد بإمكانية غير مسبوقة لنطْرُور التجربة وغناها. ولكن لا يمكن أن
تنتجاهل حقيقة أن ما هو ممكّن وجوده يمكن أيضاً أن يتوقف وجوده.

¹ المعركة الفاصلة بين أنصار الخير وأنصار الشر - المترجم.

هذا الكتاب مخصص للقارئ العام. ولا ضرورة لمعرفة مسابقة بالعلوم أو الرياضيات. مع ذلك، سوف تحتاج بين حين وآخر إلى مناقشة أرقام كبيرة جداً أو صغيرة جداً، وسأستخدم أحياناً لتمثيلها رموزاً رياضية مختصرة تعرف بقوى العشرة. فعلى سبيل المثال، عندما نكتب العدد مئة مليون كاملاً، نكتبه هكذا $100,000,000,000$ ، هو إجراء مرتكب إلى حد ما. فهناك، في هذا العدد، أحد عشر صفراً بعد الـ 1، وللهذا السبب يمكن أن نمثله بكتابة 10^{11} بالكلمات، عشرة إلى القوة الحادية عشرة. وبالمثل، فإن المليون هو 10^6 والتريليون هو 10^{12} ، وهلمجراً. ولكن، يجب أن نتذكر أن هذا الرمز يميل إلى إخفاء المعنى الذي تكابر فيه هذه الأعداد: 10^{12} أكبر بمائة مرة من 10^{10} ؛ إنه عدد أكبر بكثير، على الرغم من أنه يبدو قريباً منه. ويمكن أيضاً تمثيل قوى العشرة، التي تستخدم سلباً، بأعداد صغيرة جداً: الكسر واحد من مليون $1,000,000,000/1$ ، يكتب 10^{-9} عشرة إلى القوة ناقص تسعة)، لأن هناك تسعة أصفار بعد الرقم 1 في مخرج الكسر.

وأخيراً، أحب أن أحذر القارئ من أن هذا الكتاب بالضرورة نظري إلى حد بعيد. فعلى الرغم من أن معظم الأفكار التي سنعرضها تقوم على أساس فهم أفضل للعلم، فإن علم المستقبل لا يمكن أن يحتل المكانة نفسها كالمحاولات الأخرى العلمية. مع ذلك، يبقى التفكير في المصير النهائي للكون إغراء لا يمكن مقاومته. وهكذا، وضعت هذا الكتاب بروح تعتمد على البحث القائم على افتتاح العقل. إن سيناريو ولادة كون في انفجار كبير، ثم توسيعه وتبرّأه نحو حالة نهائية من التكهن الفيزيائي، أو ربما الانهيار الكارثي، ثابت علمياً إلى حد مرضٍ تقريباً. أما التأكيد من العمليات الفيزيائية المسيطرة التي يمكن أن تظهر على المقاييس الزمنية الضخمة فلن يكفي. ويحمل علماء الفلك فكرة واضحة عن المصير الشامل للنجوم العالمية، وتزداد ثقفهم في أنها يفهمون الخواص الأساسية للنجوم النبويترونية والتقويب السوداء؛ ولكن إذا كان الكون سيفي لمدة تريليونات أو أكثر من السنين، فإنه قد تحدث تأثيرات فيزيائية دقيقة تصبح في النهاية مهمة جداً، وتتصبب تخميناتنا فقط حول تلك التأثيرات.

عندما تواجهنا مشكلة فهمنا القاصر للطبيعة، فإن كل ما يمكن أن نقوم به للنظر في المصير النهائي للكون والاستدلال عليه هو أن نستخدم أفضل نظرياتنا الموجدة ونستقرئها وصولاً إلى استنتاجاتها المنطقية. وتمثل المشكلة في أنه يجب إخضاع العديد

من النظريات التي تهتم كثيراً بمصير الكون إلى اختبارات تجريبية. فعلى سبيل المثال، يؤمن النظريون بحماس بعض العمليات التي أدرسها، كإصدار موجات الجاذبية، وانحلال البروتونات، وإشعاع التقوب السوداء، ولكنها لم تلاحظ حتى الآن. وبالقدر نفسه من الجدية، ستكون هناك، بدون شك، عمليات أخرى فيزيائية لا نعرف عنها شيئاً يمكن أن تبدل، إلى حد مثير، الأفكار التي نعرضها هنا.

وتصبح هذه الشكوك أكبر أيضاً عندما ندرس التأثيرات الممكنة للحياة الذكية في الكون. هنا ندخل ميدان الخيال العلمي؛ مع ذلك، لا يمكن أن نتجاهل حقيقة أن الكائنات الحية يمكنها، خلال الآماد، أن تكيف، بدرجة مهمة، سلوك المنظومات الفيزيائية بصورة مضطربة. لقد قررت أن أدرج موضوع الحياة في الكون لأن كثيراً من القراء يربطون بقوة بين جاذبية مصير الكون واهتمامهم بمصير الكائنات الإنسانية. وعلى الرغم من ذلك، علينا أن نذكر أن العلماء لا يتمتعون بفهم حقيقي لطبيعة الوعي الإنساني، ولا للشروط الفيزيائية التي يمكن أن تتيح للنشاط الوعي الاستمرار في المستقبل البعيد للكون.

وأحب أنأشكر جون باراو، وفرانك تبلر، وجاسون تواملي، وروجر بنزوز، ودوكان ستيل على دراساتهم المفيدة حول مادة موضوع هذا الكتاب؛ ومحرر السلسلة، جيري ليونز، على قراءته النقدية للمخطوط؛ وسارة لينكوت، على عملها الرائع في المخطوطة النهائية.

الفصل الأول

يوم الحساب

التاريخ: 21 آب 2126، يوم الدينونة

المكان : الكرة الأرضية. سكان عبر الكوكب يحاولون الاختباء يائسين. بلايين الناس لا يجدون مكاناً يذهبون إليه. يهرب البعض يائساً إلى تحت سطح الأرض بحثاً عن كهوف ومداخل مناجم مهجورة، ويمتطي آخرون غواصات إلى البحر. وأخرون هائجون، وقتلة وغير مهتمين. في حين تكتفي الأكثريّة بالجلوس متجممة ذاهلة، تنتظر النهاية.

وإلى أعلى، في السماء، نقش عمود هائل من نور في نسيج السماوات. وما كان بدأ على شكل قلم رصاص رفيع من غشاوة تشع بهدوء راح ينتفخ يوماً بعد آخر ليشكل دروراً هائلاً من الغاز الذي يغلي مزبداً إلى فراغ المكان. وعند رأس ذيل بخاري تقع كتلة قائمة، مشوهة، مهدّدة. والرأس المصغر للذنب ينقبض قدرته التدميرية الهائلة. إنه يقترب من كوكب الأرض متزناً بسرعة 40,000 ميل في الساعة، أي 10 أميال كل ثانية-سترليون من أهذان الجليد والصخور مقدر لها أن تصطدم بسطح الأرض بسرعة تفوق سرعة الصوت بسبعين مرة.

ولا يسع بنى البشر سوى المراقبة والانتظار. أما العلماء فقد أوقفوا حاسيباتهم بهدوء، بعد أن كانوا هجروا مراصدتهم منذ فترة طويلة. ظاهرات لانهاية لها لكارثة ماتزال متتبسة جداً، ولكن استنتاجاتهم ستكون مفزعة جداً لو أطلقت إلى الجمهور بأية طريقة. وقد أعدَ بعض العلماء استراتيجيات مفصلة للبقاء، باستخدام معرفتهم التقنية لتحقيق أفضلية على مواطنיהם. بينما خطط آخرون لمراقبة الجائحة بأقصى دقة ممكنة، محافظين على دورهم كعلماء حقيقة حتى النهاية بالذات، ونقل المعلومات إلى كبسولات توقيت مطعومة عميقاً في التربة. للأجيال القادمة ...

لحظة الاصطدام تقترب، الملائين من الناس، في كل أنحاء العالم، يفحصون ساعاتهم بعصبية، إنها الدلائل الثلاث الأخيرة.

تنشق السماء مباشرة فوق الصفر الأرضي^{*}. فيندفع ألف ميل مكمب من الهواء. أصبح من لهب لافع أوسع من مدينة يتخذ مساراً نحو الأرض فيشقها بعد خمس عشرة ثانية. فيرتد الكوكب بقوّة تعادل قوّة عشرة آلاف زلزال. وتكتسح الموجة الصدمية للهواء المنزاح سطح الكرة الأرضية، فتسوي بالأرض كافة المبني، وتمر كل شيء في طريقها. وترتفع المنطقة المتوسطة حول مكان الاصطدام على شكل حلقة من الجبال السائلة إلى عدة أميال، كائنة أحساء الأرض على شكل فوهه بركان بعرض منه ميل. ويتوسّج جدار الصخور الذائبة نحو الخارج، فيقذف المشهد حوله كبطانية تضرّب بيته انقضها من الغبار.

وتتخر داخلاً الفوهة نفسها، ترليونات من أطنان الصخور. فيتاثر أكثرها عالياً، ويندفع بعضها خارجاً إلى الفضاء. ويتموج أيضاً جزءاً أكبر عبر نصف قارة لمطر مئات أو حتى آلاف الأميال، محظياً بعمرأ جسمياً بكل ما هو تحته. وتسقط بعض المقذوفات الذائية إلى المحيط، فترتفع موجات سامة ضخمة تتضاد إلى الاضطراب المنتشر. ويثير عمود ضخم من الحطام المغبر إلى المحيط الجوي، فيطمس الشمس عبر كامل الكوكب. هنا، يحل محل نور الشمس وهج وأمض مشؤوم لبلیون نيزك، تشوي الأرض تحتها بحرارتها اللافحة، عندما تغوص المادة المنزاحة رجوعاً من الفضاء إلى الجو

٥٦٦٤٦١

يقوم السيناريو السابق على نبوءة أن مذنب سويفت-تتل سيصطدم بالأرض في شهر آب عام 2126. فإذا حدث ذلك، فإن دمار الكرة الأرضية لاشك قائم، وبالتالي، دمار الحضارة البشرية. فعندما زارنا هذا المذنب عام 1993، أشارت الحسابات إلى أن تصادماً في عام 2126 هو احتمال واضح. ومنذ ذلك الوقت، ومراجعة الحسابات تشير، في الواقع، إلى أن المذنب سيخطيء الأرض بأسوءتين: نجاة بأعجوبة، وهكذا، يمكن أن تنفس بسهولة. ولكن الخطير لن يبتعد تماماً، لأن سويفت-تتل، أو جسماً مماثله، سيصطدم بالأرض عاجلاً أو آجلاً. فالتقديرات تشير إلى أن هناك عشرة آلاف جسم، وكل منها بقطر نصف كيلومتر أو أكثر، تتحرك على مدارات تتقاطع مع مدار الأرض. تشا هذه

*-نقطة على سطح الأرض أو الماء يحدث عندها، أو تحتها، أو فوقها انفجار القبلة الذرية-الترجم.

الأجسام الفلكية المتقطلة في حدود النظام الشمسي الخارجية الباردة. بعضها بقايا مذنبات كانت احتلتها مجالات الجاذبية في الكواكب، وأخرى جاءت من الحزام النجمي الذي يقع بين المريخ والمشتري. وعدم الاستقرار المداري هذا يسبب حركة مرور متواصلة لهذه الأجسام الصغيرة إنما المهمة إلى دخول النظام الشمسي وخارجه، مما يشكل تهديدا دائما للأرض وإخوتها من الكواكب.

كثير من هذه الأجسام قادر على إحداث خراب أكبر من كل الأسلحة النووية الموجودة في العالم مجتمعة. وإنها لمسألة وقت فقط قبل أن يصطدم أحدها بالأرض. وعندما يحدث ذلك، فإن الأخبار ستكون سيئة بالنسبة للناس. عندئذ، سيحدث انقطاع مفاجئ لا سابقة له في تاريخ نوعنا. ولكنه، بالنسبة للأرض، حدث روبياً تقريباً. فالاصطدامات المذئبة أو النجمية تحدث كل بضعة ملايين من السنين تقريباً. وسيسود الاعتقاد على نطاق واسع بأن واحدة أو أكثر من هذه الحوادث سببها انفراط الديناصورات قبل خمسة وسبعين مليون سنة. وقد يكون دورنا في المرة التالية.

يتذكر الإيمان بوقوع الهرمدون عميقاً في معظم الديانات والثقافات. فسفر الرويس يعرض رواية حية للموت والدمار الذي ينتظرنا:

"حدثت أصوات ورعد وبروق. وحدثت زلزلة عظيمة لم يحدث مثلها منذ صار الناس على الأرض زلزلة بمقدارها عظيمة هكذا ... مدن الأمم سقطت ... وكل جزيرة هربت وجبل لم توجد. وبرد عظيم نحو ثقل وزنه نزل من السماء على الناس فجذف الناس على الله من ضربة البرد لأن ضربته عظيمة جداً."

لأنك في أن هناك قدرًا كبيراً من الأشياء الخطيرة التي كان يمكن أن تحدث للأرض، ذلك الجسم الصغير الحجم في كون تنتشر فيه قوى عنيفة، ومع ذلك، فإن كوكينا يستضيف الحياة منذ أمد لا يقل عن ثلاثة بلايين^١ ونصف المليون سنة. وسر نجاحنا على سطح هذا الكوكب هو المكان، وفضاؤنا بالغ السعة، حتى أن نظامنا الشمسي

^١ 17 من رؤيا بونا اللاهوتي -المترجم.

^٢ -المليون يساوي ألف مليون في أمريكا وفرنسا، و مليون مليون في بريطانيا -المترجم.

ليس أكثر من جزيرة صغيرة جداً من النشاط في محيط من الفراغ. فلأقرب نجم إلينا (بعد الشخص) يبعد عنا أكثر من أربع سنوات ضوئية. وللتكون فكرة حول مدى تلك المسافة، يجب أن نضع في اعتبارنا أن الضوء يحتاج الثلاثة والخمسين مليون ميل من الشمس إلى كوكبنا نقط بثمان دقائق ونصف الدقيقة. وفي السنوات الأربع، يحتاج عشرين تريليوناً ميل.

الشمس نجم قزم نموذجي، يقع في منطقة نموذجية من مجرتنا، درب التبانة. وتحتوي مجرتنا على حوالي مئة بلايين نجم، تتراوح كتلتها من بضعة أجزاء بالمائة من كتلة الشمس إلى ضعف تلك الكتلة بمائة مرة. تدور هذه الأجسام ببطء، مع مقدار كبير من الغيوم الغازية والغبار وعدد غير معروف من المذنبات، والنجم الصغيرة، والكواكب، والثقوب السوداء، حول وسط المجرة. وقد تختلف هذه المجموعة الضخمة من الأجسام الانطباع بأن المجرة منظومة مزدحمة جداً، قبل أن نتعرف إلىحقيقة أن الجزء المرئي من درب التبانة يبلغ حوالي مئة ألف سنة ضوئية عرضاً. فقد تكون على شكل طبق، مع انتفاخ في الوسط؛ وبضعة أذرع حلزونية مؤلفة من غازات ونجوم منتظمة حوله. وتتوسط شمسنا في واحد من هذه الأذرع الحلزونية وتبعد حوالي ثلاثة وأربعين ألف سنة ضوئية عن الوسط.

وعلى حد معرفتنا، ليس هناك ما هو استثنائي جداً في درب التبانة. وهناك مجرة مماثلة، تدعى المرأة المسلسلة Andromeda، تبعد حوالي مليوني سنة ضوئية، باتجاه مجموعة من النجوم الثابتة تحمل ذلك الاسم. ويمكن مشاهدتها تماماً بالعين المجردة على شكل بقعة مشوّشة من النور. ويزين الكون الذي تمكن مشاهدته عدة بلايين من المجرات، بعضها حلزوني، وبعضها أهليجي، وبعضها غير منتظم. ومدى المسافة واسع. ويمكن للتلسكوبات القوية أن تصور مجرات مستقلة تبعد عدة بلايين من السنوات الضوئية. وفي بعض الحالات، يستغرق وصول ضوئها إلينا أكثر من عمر الأرض (أربعة بلايين ونصف بلايين سنة).

فضاء تمثله هذه السعة يعني أن التصادمات الكونية نادرة. وأكبر تهديد للأرض ربما يصدر من فنائنا الخلفي. فالنجم الصغيرة عادة لا تدور قريباً من الأرض؛ فهي مقيدة، إلى حد بعيد، بالحزام بين المريخ والمشتري. ولكن الكتلة الضخمة للمشتري يمكن أن

*تريليون بساوي في أمريكا 1 وإلى بعده 12 صفراء، وفي بريطانيا 1 وإلى بعده 18 صفراء - المترجم.

تشوش مدارات هذه النجوم، فترسل أحياناً واحدة منها تغوص نحو الشمس، وبالتالي، تهدد الأرض.

وتطرح المذنبات خطراً آخر. وينظر أن هذه الأجرام الرائعة تنشأ في سحابة غير مرئية تقع على بعد سنة ضوئية تقريباً من الشمس. هنا يأتي التهديد لأن المشتري يبل من النجوم العابرة. وال مجرة ليست ساكنة؛ فهي تدور ببطء، لأن نجومها تدور حول نواة مجرية. وتستغرق الشمس وحاشيتها الصغيرة من الكواكب حوالي مئة مليون سنة لإكمال دورة واحدة حول المجرة، وفي الطريق كثير من المغامرات. فالنجوم القريبة قد تختلق بسحابة المذنبات، فترتلي بعضها نحو الشمس. وعندما تغوص المذنبات عبر النظام الشمسي الداخلي، فإن الشمس تبخر بعضاً من مادتها الطيارة، وتطفئها الريح الشمسية على شكل باخرة طويلة-الذيل المذنب المعروفة. ومن النادر جداً أن يصطدم مذنب بالأرض أثناء إقامته القصيرة داخل النظام الشمسي. المذنب يسبب الضرر، ولكن النجم العابر هو الذي يجب أن يتحمل المسؤولية. ومن حسن الحظ أن المسافات الهائلة بين النجوم هي التي تزيلنا ضد الكثير جداً من هذه المواجهات.

وهنالك أجسام أخرى يمكن أيضاً أن تعبّر أثناء رحلتها حول المجرة طريق كوكينا. فتنساب ببطء سحب عملاقة من الغاز، وعلى الرغم من أنها أقل ثخانة حتى من فضاء المختبر، فإنها يمكن أن تبدل بقوة الريح الشمسية وقد تؤثر على الحرارة التي تتتفق من الشمس. وهناك أجسام أخرى، يمكن أن تترصد في أعماق المكان الشديدة السوداء، ومنها: كواكب مشتردة، نجوم نترونية، أقزام بنية اللون، تقوّب سوداء-كلها وأكثر منها يمكن أن تطبق علينا بدون أن نراها، وبدون إنذار، فتنزل الدمار بالنظام الشمسي.

أو يمكن أن يكون التهديد أكثر مكرأً. فبعض علماء الفلك يظلون أن الشمس ربما تنتهي إلى منظومة نجوم مزدوجة، بالاشتراك مع عدد كبير من النجوم الأخرى في المجرة. فإذا صح ذلك، فإن رفيقنا النجم -إله النقاء، أو نجم الموت-، معتم جداً ويعود جداً ولذلك لم يكتشف حتى الآن. ولكنه في مداره البطيء حول الشمس يمكن أن يثبت وجوده تدليلاً، عن طريق العمل دورياً على تشويش المذنبات البعيدة وإرسال بعضها نحو الأرض لإحداث سلسلة من التأثيرات المدمرة. وقد اكتشف علماء الجيولوجيا أن تممراً بيئياً واسعاً يحدث دورياً في الواقع -كل ثلثين مليون سنة تقريباً.

وعن طريق المزيد من البحث في هذا الحقل، لاحظ علماء الفلك أن كامل المجرات في حالة تصدام واضح. فما مدى احتمال أن تقوم مجرة أخرى بدمير درب التبانة؟ ففي الحركة السريعة جداً لبعض النجوم، هناك سايدل على أن درب التبانة يمكن أن يكون تعرض سابقاً لتشوиш بتصدامات مع مجرات صغيرة مجاورة. ولكن تصدام مجرتين لا يزددي بالضرورة إلى كارثة للنجوم التي تكونهما. فال مجرات معمورة بنجوم متبااعدة ولذلك يمكن أن تبتلع أحدهما الأخرى بدون تصدامات بين النجوم المستقلة.

توقع يوم الديونونة- يوم تدمير العالم المفاجيء، والمثير -يُهْرِم معظم الناس. ولكن الموت العنifer أقل تهديداً من التفسخ البطيء. وهناك طرق كثيرة يمكن أن تصبح فيها الأرض ماحلة. فالتدور البيئي البطيء، والتبدل المناخي، والتغير البسيط في المدخول الحراري القائم من الشمس- كل هذا يمكن أن يهدد راحتنا، إذا لم يهدد بقاعنا، على سطح كوكبنا البشري. ولكن هذه التبدلات ستحدث خلال آلاف أو حتى ملايين السنين، وقد تكون الإنسانية عندئذ قادرة على التغلب عليها باستخدام التكنولوجيا المتقدمة. فالبلاء التدريجي الجديد لمصر جليدي، مثلاً، لا يعني كارثة شاملة بالنسبة ل النوعنا، إذا أخذنا بعين الاعتبار الزمن المتاح لإعادة تنظيم نشاطاتنا. يمكن للمرء أن يخمن أن التكنولوجيا ستواصل تقدمها، على نحو مثير، خلال الألفيات القادمة؛ فإذا صع ذلك، فإنه سيكون مغرياً الاعتقاد بأن بني البشر، أو أحفادهم، سيحققون السيطرة على المنظومات الفيزيائية الأكبر... ويمكن أن يكونوا، في النهاية، في وضع يؤهلهم لتفادي الكوارث حتى على النطاق

هل يمكن للإنسانية، من حيث المبدأ، أن تبقى على قيد الحياة إلى الأبد؟ ربما يمكن ذلك. ولكن سوف نرى أن تحقيق الخلود لا يأتي بسهولة وقد يثبت أنه مستحيل. فالكون نفسه يخضع لقوانين فيزيائية تفرض عليه دورة حياتية خاصة به: ولادة، وتطور، وربما موت. فمسيرنا متباين، على نحو لافت منه، بمصير النجوم.

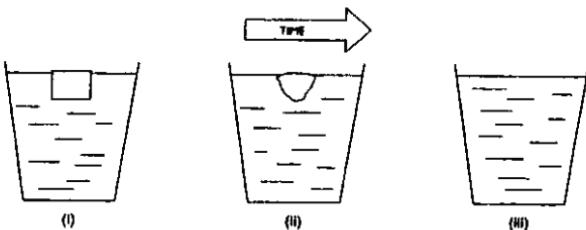
الفصل الثاني

كون يحتضر

في عام 1856، أطلق هيرمان فون هلمهولتس، عالم الفيزياء الألماني، نبوءة التي ربما كانت من أكثر النبوءات مداعاة للحزن في تاريخ العلم. فقد أعلن هيرمان أن الكون يحتضر. وقد بنى نبوءته على أساس القانون الثاني المعروف للديناميات الحرارية. وكلن هذا القانون (الذي يعرف اليوم اختصاراً باسم ‘القانون الثاني’) قد صيغ أصلاً في مطلع القرن التاسع عشر كشرح نقى إلى حد ما حول فعالية الآلات الحرارية، وسرعان ما اعترف بأهميته الكونية—حرفيأً، نتائج كونية في الحقيقة.

والقانون الثاني، في أبسط رواية له، يشرح أن الحرارة تتاسب من الحر إلى البارد. ولا شك في أن هذه خاصية مألوفة وواضحة في المنظومات الفيزيائية. ونشاهد ذلك أثاء العمل عندما نطبع وجة طعام أو نترك كوباً حاراً من القهوة ببرد: تتاسب الحرارة من منطقة الحرارة الأعلى إلى منطقة الحرارة الأدنى. ولا يعتبر هذا سراً. فالحرارة تتظلل في المادة على شكل هياج جزيئي. وفي غاز، كالهواء، تتدفع الجزيئات، بصورة فوضوية، في كل اتجاه وتتصادم. حتى في جسم صلب تتقلقل الذرات بقوة هنا وهناك. فإذا جعلنا جسمين من درجتي حرارة مختلفين يتلامسان، فإن الهياج الجزيئي الأكثر نشاطاً في الجسم الحر سرعان ما ينتشر إلى الجزيئات في الجسم الأكثر برودة.

وبما أن سريان الحرارة وحيد الاتجاه، فإن السيرورة تكون غير متوازنة في الزمن. والشرط السينمائي الذي يظهر سريان الحرارة تلقائياً من البارد إلى الحر يبدو سخيفاً كنهر يجري إلى أعلى التل أو قطرات مطر ترتفع نحو الغيوم. وهكذا يمكن أن نحدد اتجاهية أصلية لسريان الحرارة، تُمثل غالباً بسهم يتجه من الماضي إلى المستقبل. و‘سهم الزمن’ هذا يشير إلى الطبيعة اللااعكسية للسيرورات الدينامية الحرارية وبهر علماء الفيزياء على مدى مئة وخمسين سنة. (انظر الصورة 1-2).



الصورة 2-1: سهم الزمن. مكعب من الجليد الذائب يحدد اتجاهية في الزمن: تتساب الحرارة من الماء الحار إلى الجليد البارد. والصورة التي تظهر التابع (iii)، (i) سرعان ما يتم تمييزها كخدعة. ويميز هذا الانتظار عن طريق كمية تدعى الاعلاج، التي ترتفع عندما يذوب الجليد.

أدى عمل هلمهولتس، ورونولف كلاوسيوس، ولوارد كيلفن إلى معرفة أهمية كمية تدعى اعلاج لتمييز التغير اللاعکوس في الديناميات الحرارية. ففي الحالة البسيطة لجسم حار على تمسّك مع جسم بارد، يمكن تعريف الاعلاج بأنه طاقة حرارية موزعة بدرجة حرارة. ولنفكّر بكلمة بسيطة من الحرارة تتساب من الجسم الحار إلى الجسم البارد. فالجسم الحار سيتقدّم بعض الاعلاج وسيكتسب الجسم البارد بعضها. وبما أن الكمية نفسها من الطاقة الحرارية مُضمنةً عدا أن درجات الحرارة مختلفة، فإن الاعلاج الذي يكتسبه الجسم البارد سيكون أكبر من ذلك الذي يفقده الجسم الحار. وهذا، فإن الاعلاج الكلي يرتفع في كامل المنظومة-الجسم الحار زائداً الجسم البارد. وعندئذ يشرح القانون الثاني للديناميات الحرارية بأن اعلاج منظومة كهذه لا يجب أن ينخفض أبداً، ولكي ينخفض، فإن انخفاضه يعني ضمناً أن بعض الحرارة قد ذهبت، بصورة غفوية، من البارد إلى الحار.

لن تحليلاً إضافياً شاملاً يساعد على تعميم هذا القانون على كافة المنظومات المغلقة: الاعلاج لا ينخفض أبداً. فإذا تضمنت المنظومة براداً، والبراد يمكن أن ينقل الحرارة من البارد إلى الحار، فإن إجمالي اعلاج كامل المنظومة يجب أن يتضمن الطاقة المصنوفة في تشغيل البراد. وعملية الصرف ذاتها سوف تزيد الاعلاج. وتتصبّح لدينا دائماً قاعدة تقول إن الاعلاج الذي يكتسبه تشغيل البراد أكثر من تعويضات النقص في الاعلاج الذي

ينتتج من نقل الحرارة من البارد إلى الحار. وفي المنظومات الطبيعية أيضاً، كالمنظومات التي تتضمن متعضيات بيولوجية أو تشكل بثورات، فإن اعتلاج جزء من المنظومة ينخفض دائماً، ولكن هذا الانخفاض يُسَدَّ بارتفاع تعويضي للاعتلاج في جزء آخر من المنظومة. مع ذلك، فالاعتلاج لا يهبط أبداً.

إذا كان يمكن اعتبار الكون كمنظومة مغلقة، على أساس أنه لا يوجد شيء خارجه، عندئذ، يشكل القانون الثاني للديناميات الحرارية نبوءة هامة: إجمالي اعتلاج الكون لا ينخفض أبداً. وفي الواقع، إنه يواصل ارتفاعه على نحو لا يلين. ولدينا مثال جيد يقع على عتبة كوننا-الشمس، التي تصب الحرارة باستمرار إلى الأعماق الباردة في الفضاء. وتتط ama href="#">تطلق الحرارة إلى الكون، لا تعود أبداً، وهذه عملية لا عكسه إلى حد مثير.

ولنطرح السؤال بوضوح: هل يمكن لاعتلاج الكون أن يواصل ارتفاعه إلى الأبد؟ لنتصور أننا وضعنا جسمًا حاراً وجسمًا بارداً على تماس داخل حاوية مغلقة حراريًا بالحكام. ستتساب الطاقة الحرارية من الحار إلى البارد ويرتفع الاعتلاج، ولكن، في النهاية، سيتسخن الجسم البارد ويرد الجسم الحار بحيث يصل الجسمان إلى درجة الحرارة نفسها. وعند بلوغ تلك الحالة، لن يحدث انتقال إضافي للحرارة. وبذلك تصل المنظومة داخل الحاوية إلى درجة حرارة متتماثلة—حالة ثابتة لاعتلاج أعظمي يوصف بالتوازن الدينامي الحراري. ولا يتوقع حدوث تبدل إضافي، طالما بقيت المنظومة ممزوجة؛ ولكن إذا ما شوّش نظام الجسمين بطريقة ما—لتفترض، بإدخال مزيد من الحرارة من حاوية خارجية—فإن نشاطًا حراريًا إضافيًا سوف يحدث، وسيرتفع الاعتلاج إلى درجة أعظمية أعلى.

ماذا تقول لنا هذه الأفكار الأساسية للديناميات الحرارية حول التبدل الفلكي والكوزموولوجي؟ في حالة الشمس ومعظم النجوم الأخرى، يمكن أن يتواصل انصباب الحرارة على مدى بلايين عديدة من السنين، ولكن لا يعني أنه انصباب لا ينضب. فالحرارة الطبيعية في النجوم تولد لها عمليات نوية داخلاً. وكما سترى، فإن وقد الشمس سوف ينفذ في النهاية، ومالم تقع حوادث مفاجئة، فإنها سوف تبرد حتى تبلغ درجة الحرارة نفسها للقضاء المحيط.

ومع أن هيرمان فون هلمهولتس لم يكن يعرف شيئاً عن التفاعلات النووية (كان مصدر الطاقة الهائلة للشمس عامضاً في ذلك الوقت)، فإنه كان يدرك المبدأ العام القائل

إن النشاط الفيزيائي كله في الكون يميل نحو حالة نهائية من توازن دينامي حراري، أو اعتلاج أعظمي، لا يحتمل أن تحدث بعده أية قيمة أبداً. وكان الطريق الوحيد الاتجاه الذي ينحدر نحو التوازن معروفاً لدى علماء الديناميات الحرارية المبكرین تحت اسم "الموت الحراري" للكون. وكان من المسلم به أنه يمكن إعادة النشاط إلى المنظومات المستقلة عن طريق تشویشات خارجية، ولكن ليس هناك "خارج" بالتعريف بالنسبة للكون نفسه، وهكذا، لشيء يمكن أن يمنع موتاً حرارياً شاملأ. ويبدو أنه لامفر منه.

كان لاكتشاف احتضار العالم كنتيجة قاسية لقوانين الديناميات الحرارية تأثير عميق محزن على أجيال العلماء وال فلاسفة. فعلى سبيل المثال، تأثر برتراند راسل فكتب التقييم الكثيب التالي في كتابه *لماذا لا تكون مسيحيًا*:

أعمال العصور كلها، التقوى كلها، الإلهام كله، الآلق الناصع للعقلية الإنسانية كله، كل ذلك محكوم عليه بالانطفاء في موت شامل للنظام الشمسي، و ... وكامل هيكل الانجاز الإنساني لابد أن يدفن تحت أنقاض كون يباب-كل هذه المسائل، إذا لم تكن فوق مستوى الجدل، فإنهما، حتى الآن، مؤكدة جداً تقريباً حتى أنه مامن فلسفة تتذكرها ويمكنها أن تتطلع إلى البقاء. ومن داخل حرم هذه الحقائق فقط، وعلى أساس راسخ لعدم الاستسلام لليلأس فقط، يمكن، من الآن فصاعداً، بناء مسكن الروح بأمان.

واستنتج كثير من الكتاب الآخرين من القانون الثاني للديناميات الحرارية وتضمينه كوناً بمحضه أن الكون لامعنى له والوجود الإنساني عبث في النهاية. وساعد على هذا التقييم الكثيب في الفصول الأخيرة وأناقش ما إذا كان أسيء فهمه أم لا.

نبوءة الموت الحراري النهائي للكون تقول لنا شيئاً ليس فقط عن مستقبل الكون، ولكنها تتضمن شيئاً ما مهماً عن الماضي. فمن الواضح أنه إذا كان الكون في سبيله إلى الانهيار على نحو لا عكس بسرعة محدودة، فإنه لن يبقى إلى الأبد. والسبب بسيط: لو كان الكون قياماً على نحو لامتناه، لكان يجب أن يكون ميتاً الآن. فمن الواضح أن الشيء الذي ينهار بسرعة محدودة، لا يمكن أن يبقى إلى الأبد. وبمعنى آخر، يجب أن يكون العالم ظهر إلى الوجود في وقت محدود في الماضي.

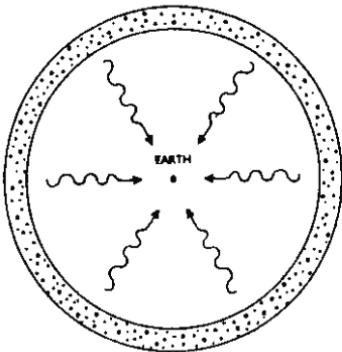
وما يسترعى الاهتمام أن هذا الاستنتاج العميق ما كان يمكن إدراكه من قبل العلماء في القرن التاسع عشر. وكان على فكرة نشوء الكون فجأة في الانفجار الكبير أن تنتظر الرصد الفلكي في عشرينات القرن التاسع عشر، ولكن نشوءاً متاهياً في لحظة ما في الماضي يبدو أنه مطروح بقوة الآن، على أساس دينمية حرارية صرفة.

ولكن، بما أن هذا الاستنتاج الواضح لم يكن قد تم التوصل إليه، فإن فلكيي القرن التاسع عشر كان قد أربكهم تالض كوزمولوجي غريب، ذلك هو تناقض أولبرز، نسبة إلى الفلكي الألماني الذي تعزى إليه صياغته، ويطرح سؤالاً بسيطاً ولكنه مهم جداً: لماذا تكون السماء مظلمة ليلاً؟

لأول وهلة، تبدو المشكلة تافهة. سماء الليل مظلمة لأن النجوم تتوضع على مسافة هائلة هنا ولها تبدو معتمة. (انظر الصورة 2-2). ولكن لنفترض أن المكان واحد له. في هذه الحالة، يمكن طبعاً أن تكون النجوم بلا حد. وهنا ينضاف عدد غير محدود من النجوم المعتمة إلى مقدار كبير من الضوء. ومن السهل حساب الضوء التراكمي للنجوم من لامحدودية نجوم لا تتغير موزعة على نحو متشابه تقريباً في كل أنحاء الفضاء. فللمعان النجوم يتضاعل مع المسافة، وفقاً لقانون التربيع العكسي. يعني هذا أن النجم يكون مضيناً بمقدار الرابع إذا تضاعفت المسافة مرتين وبمقدار التسع إذا تضاعفت ثلاث مرات، وهلمجراً. ومن ناحية أخرى، يزداد عدد النجوم كلما نظرنا إلى مسافة أبعد. وفي الواقع، تُظهر الهندسة البسيطة أن عدد النجوم على بعد مئتي سنة ضوئية هو أربعين ضعافه على بعد سنة ضوئية واحدة، مع أن العدد على بعد مئة سنة ضوئية هو تسعة ضعاف الأخير. وهكذا، يزداد عدد النجوم مع مربع المسافة، بينما يتضاعل اللمعان مع مربع المسافة. يلغى هذان التأثيران كل منهما الآخر، وتكون النتيجة أن إجمالي الضوء القائم من كل النجوم عند مسافة معروفة غير منوط بهذه المسافة. والنور الإجمالي نفسه القائم من نجوم تبعد مئتي سنة ضوئية يساوي النور القائم من نجوم تبعد مئة سنة ضوئية.

تواجهاً المشكلة عندما نضيف الضوء من كل النجوم الواقعة على كل المسافات الممكنة. فإذا لم يكن للكون حد، فإنه يبدو أن ليس هناك حد لإجمالي كمية النور التي تستقبلها الأرض. وبعيداً عن كونها مظلمة، فإن سماء الليل يجب أن تكون لامعة إلى

درجة غير محدودة!



الصورة 2-2: مفارقة أوليفرز. لنتصور كوناً لا يتغير عمره نجوم متاثرة عشوائياً بكتافة عادلة متماثلة. يمثل المثلث مجموعة مختارة من نجوم تشغل قشرة كروية رقيقة من المكان متركزة على الأرض. (النجوم خارج القشرة أهللت في الصورة). يسمم الضوء من النجوم في هذه القشرة إلى إجمالي تدفق ضوء النجوم المنصب على الأرض. وستتضاعل شدة الضوء من نجم معلوم مع مربع نصف قطر القشرة. ولكن إجمالي عدد النجوم في القشرة سيزداد بما يتاسب مع مربع نصف قطر القشرة. ولهذا، فإن هذين العاملين يبطل كل منهما العامل الآخر، ويكون إجمالي إشعاع القشرة مستقلًا عن نصف قطرها. وفي كون غير محدود ستكون هناك قشرات غير محدودة—وعلى مايدو، تدفقاً لا تهاناً من النور الذي يصل إلى الأرض.

نتحسن المشكلة إلى حد ما عندما يوجد بين الاعتبار الحجم المحدود للنجوم. فكلما كان النجم بعيداً عن الأرض، كان حجمه الظاهري أصغر. والنجم القريب يحجب نجماً أكثر بعداً إذا كان على خط النظر نفسه. وفي كون غير محدود، فإن هذا سوف يحدث كثيراً بشكل غير محدود، وإذا وضعناه في اعتبارنا، فإنه سيبدل نتيجة الحساب السابق. وبدلاً من التدفق الامحدود للنور الذي يصل إلى الأرض، فإن التدفق يكون فقط كبيراً جداً—يساوي تقريباً قرص الشمس الذي يملأ السماء، كما ينبغي أن تكون عليه الحال لسو كانت الأرض تتوضع على بعد حوالي مليون ميل من السطح الشمسي. وفي الواقع، لابد أن يكون هذا الموضع متعباً جداً، لأن الأرض عندئذ يجب أن تتبخر بسرعة تحت تأثير شدة الحرارة.

الاستنتاج القائل إن كوناً محدوداً لابد أن يكون فرناً كونيَا هو، في الواقع، عودة إلى عرض المشكلة الدينمية الحرارية التي نقشتها سابقاً. تنصب النجوم حرارة ونوراً إلى المكان، ويترافق هذا الإشعاع ببطء في الفضاء. فلو كانت النجوم مشتعلة دائماً، فإنه يبدو لأول وهلة أنه يجب أن يكون للإشعاع قوة محدودة. ولكن بعض الإشعاع، أثناء رحلته عبر المكان، سيصطدم بنجوم أخرى ويمتص من جديد. (هذا مكافئ للحظة أن النجوم القريبة تحجب النور القائم من نجوم بعيدة.) ولذلك ترتفع قوة الإشعاع إلى أن يتواتد التوازن بحيث تتواءن تماماً سرعة الإصدار وسرعة الامتصاص. هذه الحالة من التوازن الدينامي الحراري سوف تحدث عندما يبلغ الإشعاع في المكان درجة الحرارة نفسها على سطح النجوم -بضعة آلاف الدرجات. وهكذا، يمتلك الكون بإشعاع تبلغ حرارته آلاف الدرجات، وعند هذه الدرجة من الحرارة، ستتوهج سماء الليل بدلاً من ظلمتها.

اقترح هيربرت أوبيرز حلًّا لتناقضه. فعلى ضوء ملاحظته لوجود كميات كبيرة من الغبار في الكون، ارتأى أن هذه المادة تنتص معظم نور النجوم ولها تظلم السماء. ومن سوء الحظ أن فكرته كانت معيبة على الرغم من أنها مبدعة: الغبار سيسخن في النهاية ويبداً بالتوهج بالشدة نفسها كالإشعاع الذي يمتصه.

هذا حل آخر يمكن يتطلب التخلٰ عن الافتراض بأن الكون غير محدود في المدى. ولنفترض أن النجوم كثيرة ولكنها محدودة في العدد، بحيث يتتألف الكون من تجمع ضخم من نجوم يحيط بها فراغ مظلم غير محدود؛ وعندئذ، سيتدفق نور النجوم، في معظمها، إلى المكان بعيداً حيث يضيع. ولكن هذا الحل أيضاً ينطوي على عيب فائل -عيب كان، في الواقع، ملوفاً لإسحق نيوتن في القرن السابع عشر. وينتصل هذا العيب بطبيعة الجاذب: كل نجم يجب كل نجم آخر بقوة الجاذبية، ولهذا تميل كل النجوم في التجمع إلى السقوط معاً، متجمعة في مركز قوة الجاذبية. فإذا كان الكون مركزاً واحداً محدوداً، فإنه يجب، كما يبدو، أن ينهر على نفسه إلى الداخل. فكون ساكن، محدود، لاستد له، كون غير مستقر، ويُخضع لأنهيار تجاذبي.

وستعود هذه المشكلة التجاذبية إلى الظهور من جديد في مكان ثالٰ من قصتي هذه. ويلزم هنا ببساطة أن نولي اهتماماً للطريقة الذكية التي فيها حاول نيوتن أن يتفادي تلك المشكلة. فقد قال إن الكون يمكن أن ينهر إلى مركز جاذبيته، فقط في حال كان له مركز جاذبية. فإذا كان الكون لامتناهياً في المدى، ومعموراً بالنجوم على نحو متماثل، فإنه لن

يكون له مركز ولا حد. وعندئذ، سوف يجذب نجم مفترض في كل اتجاه من قبل العديد من جيرانه، كما في لعبة عملقة لشد الجبل التي فيها تشد الجبال في كل الاتجاهات. إن عمليات الشد المتعاكسة هذه تلغى كل منها الأخرى، وهكذا، يبقى النجم في مكانه.

فإذا قيلنا حل نيوتن لتناقض انهيار الكون، فإننا نكون عدنا من جديد إلى كون لامته، وإلى مشكلة تناقض أوليرز. ويتحتم علينا، كما يبدو، أن نواجه إما ذاك أو هذه. ولكن، مع مانينطوي عليه الإدراك المؤخر من فائدة، فإنه يمكن أن نجد طريقاً بين تارين. الخطأ ليس بافتراض أن الكون لامته في المكان ولكن بالافتراض أنه لامته في الزمان. نشأت مفارقة السماء المشتعلة لأن الفلكيين كانوا يفترضون أن الكون غير متغير، وأن النجوم ساكنة وتشتعل بقوة لا تضعف إلى الأبد. ولكن، أصبحنا اليوم نعرف أن كلا الافتراضين خطأ. أولاً، الكون، كما سأشرح بعد قليل، ليس ساكنًا ولكنه متسع. ثانياً، لو كانت النجوم مشتعلة دائمًا، لكان وقودها قد نفذت منذ زمن طويل. وحقيقة أنها تشتعل الآن يدل ضمناً على أن الكون ظهر إلى الوجود في زمن منتهى في الماضي.

إذا كان للكون عمر محدود، فإن تناقض أوليرز سيختفي فوراً. ولمعرفة السبب، تعالوا ندرس حالة نجم بعيد جداً. بما أن الضوء ينتقل بسرعة محدودة ($300,000$ كم/ثا، في الخواص)، فإننا لأنترى النجم كما هو اليوم بل كما كان عندما تركه الضوء. فعلينا سبيل المثال، ببعد النجم الالامع منكب الجوزاء حوالي ستمائة وخمسين سنة ضوئية، وهكذا، فإنه يبدو لنا اليوم كما كان قبل ستمائة وخمسين سنة. ولنفترض أن الكون نشأ قبل عشرة بلايين سنة، عندئذ لايمكنا أن نرى أي نجم يبعد أكثر من عشرة بلايين سنة ضوئية عن الأرض. قد يكون الكون غير محدود في المدى المكاني، ولكن إذا كان محدود العمر، فإنه لايمكنا، في أية حالة، أن نرى إلى ما بعد مسافة محدودة. وهكذا، فإن نور النجوم التراكمي من عدد غير محدود من نجوم محدودة العمر سيكون محدوداً، وربما ضئلاً إلى درجة لا يبعد بها.

وينسحب الاستنتاج نفسه على الدراسات الدينامية الحرارية. فالنجوم تستغرق زمناً هائلاً لكي تهلاً المكان بالإشعاع الحراري وتصل به إلى درجة حرارة عادية، لأن هناك الكثير من الحرير الفارغ في الكون. وببساطة، إن الزمن منذ البدء حتى الآن لم يكن كافياً لكي يصل الكون إلى توازن دينامي حراري.

وإذن، يشير الدليل المتوفر إلى كون مدى حياته محدود. فقد نشأ في زمن ما محدود في الماضي، وهو الآن ينبع بالنشاط، ولكنه ينطهر، بشكل حتى، نحو موت حراري في مرحلة ما في المستقبل. هنا، تطرح نفسها مجموعة من الأسئلة. متى ستحين النهاية؟ وهل ستكون بطيئة أم مفاجئة؟ وهل يمكن التصديق أن استنتاج الموت الحراري، كما يفهمه العلماء الآن، قد يثبت أنه خطأ في النهاية؟

الفصل الثالث

الدقائق الثلاث الأولى

علماء الكون، كالمؤرخين، يدركون أن الدليل إلى المستقبل موجود في الماضي. وكانت شرحت في الفصل السابق كيف أن قوانين الديناميات الحرارية توحى بكون محدود العمر. وهناك إجماع تقريباً في الرأي بين العلماء على أن كامل النظام الكوني نشا قبل عشرة إلى عشرين مليون سنة في الانفجار الكبير، وأن هذا الحادث وضع الكون على طريق مصيره النهائي. ويمكن جمع حفائق مهمة حول المستقبل عن طريق دراسة كيف بدأ الكون، وتحري العمليات التي حدثت في الطور البدائي.

فكرة أن الكون لم يكن موجوداً دائماً راسخة بعمق في الثقافة الغربية. فعلى الرغم من أن الفلسفية الأغريق وضعوا في اعتبارهم إمكانية أزلية الكون، فإن الديانات الغربية الرئيسية كلها تتمسك بفكرة أن الله هو الذي خلقه في لحظة معينة في الماضي.

المسألة العلمية ملزمة فيما يخص نشوء مفاجيء في الانفجار الكبير. وبما أن الدليل الأكثر صراحة من دراسة نوعية الضوء القادم من المجرات البعيدة. ففي العشرينات، لاحظ الفلكي الأمريكي إدوبن هوبيل وهو يتبع المشاهدات المتأنية لفيستو سلفر، وهو خبير بالسُّدم¹ كان يعمل في مرصد فلاوغستاف، في أريزوناـ أن لون مجرات بعيدة يبدو أكثر حمرة بقليل من مثيله في مجرات قريبة. استخدم هبل منظار ماونت ويلسون عبارة 100إنش لقياس هذا الاختلاف بدقه وخطط رسمياً بيانياً. فاكتشف أنه احمرار منهجي: كلما كانت المجرة أكثر بعضاً عننا، بدت لنا أكثر أحمراراً.

يتعلق لون الضوء بطول موجاته. ففي طيف الضوء الأبيض، يقع اللون الأزرق في نهاية موجة قصيرة واللون الأحمر في نهاية موجة طويلة. ويشير احمرار المجرات البعيدة إلى أن طول موجات ضوئها كانت قد استطالت بطريقة ما. وعن طريق التحديد الدقيق لمواقع خطوط معيبة في أطيفات مجرات كثيرة، كان هوبيل قادرًا على إثبات هذه

¹-جمع سلم، أو غيمة سديمة وهي مجموعة من النجوم البعيدة تبدو في السماء كبقعة ضوء مختمةـ المترجم.

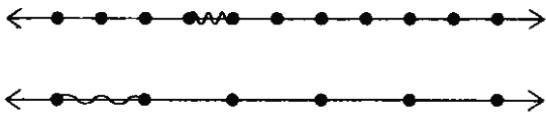
النتيجة. فاقتصر أن تمدد الموجات الضوئية يعزى إلى حقيقة أن الكون يتسع. وبهذا البيان الخطير، وضع هوبل أساس علم الكون الحديث.

إن طبيعة توسيع الكون تربك الكثيرين من الناس. فمن نقطة مشاهدة على سطح الأرض، يبدو لنا وكأن المجرات القصبة تتدفق بعيداً عنا. ولكن هذا لا يعني أن الأرض في مركز الكون؛ فنمط التوسيع واحد في كامل الكون. وكل مجرة -أو، بتعبير أكثر دقة، كل عنقود من المجرات- يبتعد عن كل عنقود آخر. والأفضل أن نتخيل هذا كتعدد أو انتفاخ للفضاء بين العناقيد مجرية أكثر منه حركة للعناقيد المجرية عبر المكان.

حقيقة أن المكان يمكن أن يتمدد تبدو مفاجئة، ولكنها فكرة مألوفة لدى العلماء منذ عام 1915، عندما نشر آينشتاين نظريته العامة في النسبية. ترى هذه النظرية أن الجاذبية هي، في الواقع، ظاهرة انحناء، أو تشوّه المكان (على نحو دقيق، الزمان المكاني). بمعنى من المعانٍ، المكان مرن، ويمكن أن يتقوس أو يتمدد بطريقة تعتمد على الخواص الجذبية للمادة فيه. وكثيراً ما تم إثبات هذه الفكرة عن طريق الملاحظة.

يمكن فهم الفكرة الأساسية لتوسيع المكان بمساعدة مثال بسيطة. لتخيل صفاً من الأزرار، يمثل عناقيد مجرية، محيطاً على جبل من المطاط (انظر الصورة 1-3). والآن، لتخيل أتنا نمط الحبل بالشد من كلا طرفيه. تتحرك كل الأزرار مبتعدة عن بعضها بعضاً. وأي زر نختار أن نتأمله، فإن الأزرار المجاورة تبدو تتحرك بعيداً عنه. على الرغم من ذلك، يبقى التوسيع في كل مكان هو نفسه: ليس هناك مركز مميز. طبعاً كان هناك زر مركزي عندما رسمت الصورة، ولكن ذلك لا ينصل بالطريقة التي تمدد فيها المنظومة. ويمكن استبعاد هذه النقطة لو كان الحبل طويلاً إلى مالا نهاية، أو مفرياً إلى دائرة.

إذا نظرنا من أي زر إلى الأزرار الأقرب، فإننا سنجدها تتراجع بسرعة تعادل نصف سرعة الأزرار التالية الأقرب إليها، وكلما كان الزر بعيداً عن الموقع الذي نراقب منه، كلما كان تراجمه أسرع. في هذا النمط من التمدد، تتناسب سرعة التراجع مع المسافة -علقة بالغة الأهمية. وعلى ضوء هذه الصورة، يمكن أن نتصور الآن موجات الضوء تنتقل بين الأزرار، أو العناقيد المجرية، في مكان متسع. فعندما يتمدد المكان، فإن الموجات تتحذو حذوه. وهذا يوضح الزححة الحمراء. واكتشف هوبل أن كمية الزححة الحمراء تتناسب مع المسافة، تماماً كما أوضحتنا في التمثيل التصويري.

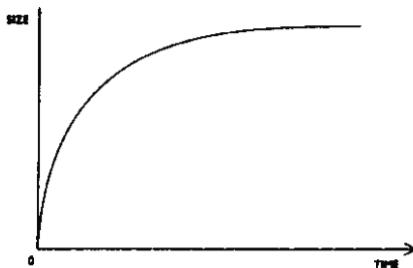


الصورة 3-1: نموذج أحادي البعد لكون يتسع. تمثل الأَرْزَارُ العَنَاقِيدُ الْمُجْرِيَّةُ، أما الخيط المرن فيمثل المكان. فعندما يتقطط الخيط، تتحرك الأَرْزَارُ متباعدةً عن بعضها. ويعمل التقطط لزيادة طول موجات الموجة التي تنتشر على امتداد الخيط. وينطبق هذا مع الزحجة الحمراء للضوء الذي اكتشفه هوبلز

إذا كان الكون يتسع، فلا بد أنه كان أكثر انضغاطاً في الماضي. وقد ساعدت ملاحظات هوبلز، واللاحظات المحسنة التي ثلتها، على قياس سرعة التوسيع. فلو قيض لنا أن نستعرض الفيلم الكوني رجوعاً إلى الماضي البعيد، لوجدنا كل المجرات تندمج مع بعضها بعضاً. ومن معرفة السرعة الحالية للتتوسيع، يمكن أن نستنتج أن هذه الحالة المندمجة يجب أن تكون حدثت قبل بلايين عديدة من السنين. ولكن، من الصعب أن يكون هذا صحيحاً، لسبعين: الأول، يصعب إجراء قياسات دقيقة، ثم إنها تخضع لعدد من الأخطاء. وعلى الرغم من أن المناظير الحديثة عملت، إلى حد كبير، على زيادة عدد المجرات التي يجري تعريتها، فإن سرعة التوسيع مازالت غير محققة في حدود عامل مناثنين، وهو موضوع جدل عنيف.

ثانياً، إن السرعة التي فيها يتعدد الكون لا تبقى ثابتة مع الزمن. ويعزى هذا إلى قوة الجاذبية، التي تعمل بين المجرات -وفي الواقع، بين كافة أشكال المادة والطاقة في الكون. تعمل الجاذبية كمكبح، يضبط اندفاع المجرات نحو الخارج. وبالتالي، تتناقص سرعة التوسيع تدريجياً مع الزمن. يتربّط على هذا أن الكون كان يتسع في الماضي بسرعة أكبر منها اليوم. فلو رسمنا مخططًا بيانيًا لحجم منطقة نموذجية من الكون بال مقابلة مع الزمن، لحصلنا على خط منحنٍ لشكل عام يظهر في الصورة 3-2. ندرك من المخطط أن الكون بدأ منضغطاً جداً وتتوسّع بصورة سريعة جداً، وكانت كثافة المادة تتضاعف

باضطراد مع الزمن في حين كان الكون يكبر. فلو تم تعقب أثر الخط المنحنى رجوعاً إلى البداية (الصفر في الصورة)، فإنه يشير إلى أن الكون نشا بحجم صفر وسرعة غير محدودة للتمدد. وبمعنى آخر، إن المادة التي تكون كل المجرات ويمكن أن نراها اليوم ظهرت من نقطة وحيدة، بسرعة انفجارية وهذا وصف مماثل لما يدعى بالانفجار الكبير.



الصورة 3-2: سرعة توسيع الكون تباطأت باضطراد مع الزمن بالطريقة التي نراها في الصورة تقريباً. في هذا النموذج البسيط، سرعة التوسيع غير محدودة عند النقطة صفر على محور الزمن. وهذه النقطة تتوافق مع الانفجار الكبير.

ولكن هل يُبرّر لنا استكمال المنحنى استقرائياً على امتداد الطريق رجوعاً إلى البداية؟ كثير من علماء الكون يظنون هذا. وعلى ضوء مانتوعلمه من أنه كان للكون بداية (الأسباب التي ناقشتها في الفصل السابق)، فلا شك في أن الانفجار الكبير يبدو وكأنه هو تلك البداية. فإذا صلح ذلك، فإن البداية عندئذٍ تعين أكثر من مجرد انفجار. ولنتذكر أن التوسيع الذي رسمناه بيانياً هنا هو توسيع المكان نفسه، ولهذا فإن الحجم صفر لا يعني فقط أن المادة انسحقت إلى كثافة لامتناهية، بل يعني أن المكان انضغط إلى لاشيء. وبمعنى آخر، إن الانفجار الكبير هو منشأ المكان إضافة إلى أنه منشأ المادة والطاقة. والأكثر

أهمية هو إدراك أنه، وفقاً لهذه الصورة، لم يكن هناك فراغ كائن من قبل وحدث فيه الانفجار الكبير.

والفكرة الأساسية نفسها تنسحب على الزمن. فالكثافة الامتناهية للمادة والانسحاق الامتناهي للمكان يعنيان أيضاً حد الزمان. والسبب هو أن الزمان وكذلك المكان تمداً بالجاذبية. وأكرر القول إن هذا الأثر هو نتيجة لنظرية أينشتاين العامة في النسبية وكانت قد اختبرت مباشرة بصورة تجريبية. فالظروف عند الانفجار الكبير تدل ضعفاً على شوبيه لامتناه للزمن، حتى أن المفهوم الحقيقي للزمان (والمكان) لا يمكن أن يمتد رجوعاً إلى أبعد من الانفجار الكبير. والاستنتاج الذي يفرض نفسه علينا، كما يبدو، هو أن الانفجار الكبير كان البداية الأساسية لكل الأشياء الفيزيائية: المكان، والزمان، والمادة، والطاقة. من الواضح أنه لامعنى لطرح السؤال (كما يفعل الكثير من الناس): ما الذي حدث قبل الانفجار الكبير، أو ما الذي سبب حدوث الانفجار؟ لأنه لم يكن هناك قبل.

وحيث لا يكون هناك زمن، لا يمكن أن يكون هناك سبب بالمعنى العادي.

لو أن نظرية الانفجار الكبير، بما تتطوّي عليه من مصامين غريبة بخصوص منشأ الكون، اعتمدت فقط على الدليل بشأن التعدد، لتخلّي عنها ربما الكثيرون من علماء الكون. ولكن دليلاً إضافياً مهمّاً في تأييد النظرية ظهر عام 1965، باكتشاف أن الكون يستخدم بإشعاع حراري. وهذا الإشعاع يأتي من الفضاء بالكثافة نفسها في كل اتجاهات السماء وراح ينتقل بدون عائق تقريباً منذ مابعد الانفجار الكبير بقليل. ويكافئ طيف الإشعاع الحراري تماماً التوهج الذي يوجد داخل فرن بلغ حالة التوازن الدينامي الحراري -شكل من الإشعاع معروف لدى الفيزيائيين تحت اسم إشعاع الجسم الأسود. وهكذا نُستدّرَج إلى استنتاج أن الكون المبكر كان في حالة التوازن هذه، في كل المناطق بدرجة حرارة عادية.

ونكشف قياسات الإشعاع الحراري الخلفي لثلك الحرارة على أنها حوالي ثلث درجات فوق الصفر المطلق (الصفر المطلق حوالي -273° مئوية)، ولكن درجة الحرارة تتغير ببطء مع الزمن. فعندما يتسع الكون، فإنه يبرد وفقاً لمعادلة بسيطة: ضاعف نصف القطر، وتهبّط درجة الحرارة بمقدار النصف. هذا التبريد يمارس التأثير نفسه كالجزحة الحمراء للضوء: الإشعاع الحراري والضوء كلاهما يتكونان من موجات كهرومغناطيسية، ويتعدد طول موجات الإشعاع الحراري أيضاً مع توسيع الكون. يتكون

الإشعاع الحراري المنخفض الدرجة من موجات أطول (في المتوسط) من الموجات التي يكونها الإشعاع الحراري العالي الدرجة. ومن جديد، نستعرض الفيلم رجوعاً، فندرك أن الكون لابد وأنه كان في الماضي أشد حرارة. وتاريخ الإشعاع بالذات يرقى إلى حوالي ثلاثة ألف سنة بعد الانفجار الكبير، عندما برد الكون إلى 4000° مئوية تقريباً. وقبل هذا الزمن، كان الغاز الابتدائي، الذي يتالف بصورة رئيسية من الهيدروجين، وهي بلازما مؤيّنة، ولذلك كان معتماً بالنسبة للإشعاع الكهرومغناطيسي. ومع هبوط درجة الحرارة، تحولت البلازما إلى غاز هيدروجين طبيعي (غير مؤيّن)، شفاف يسمح للإشعاع بالانتشار خلله بحرية.

الإشعاع الخلفي مميز ليس فقط لأن الجسم الأسود يشكل طيفه ولكن أيضاً بسبب تماثله الشديد عبر السماء. وتتفاوت درجة حرارة الإشعاع فقط بحدود جزء واحد من مئة ألف في مختلف الاتجاهات في الفضاء. يشير هذا الاستواء إلى أنه يفترض في الكون أن يكون متجانساً على نطاق واسع بدرجة مهمة، لأن أي تكثّل منهجي للمادة في منطقة واحدة من الفضاء، أو على امتداد اتجاه معين، سيظهر كاختلاف في درجات الحرارة، وبالمقابل، نحن نعرف أن الكون ليس متمائلاً تماماً. فالمادة تتكتّس إلى مجرات، وال مجرات عادة تشكّل عناقيداً. وهذه العناقيد، بدورها، تتنظم في عناقيد فائقة. وبمقاييس العديد من ملايين السنوات الضوئية، فإن الكون يكتسب نوعاً من بنية مزبدة، مع فراغات هائلة تحيط بها مساحات واسعة وخيوط رقيقة من المجرات.

التكثّل الواسع النطاق للكون يجب أن يكون نما، بطريقة ما، من حالة أولية أكثر استواءً. ومع أن عدة آليات فيزيائية قد تكون مسؤولة، إلا أن التعليل المقبول أكثر هو الجذب القالّي البطيء. فإذا كانت نظرية الانفجار الكبير صحيحة، فعلينا أن نتوقع رؤية تلليل ما بخصوص المراحل المبكرة لهذه العملية التكتالية المطبوعة في الإشعاع الحواري الخلفي للكون. في عام ١٩٩٢، كشف قمر صناعي لناسا سمى COBE (Cosmic Background Explorer) أن الإشعاع لم يكن منتظماً تماماً ولكنه يحتوي على توجّات واضحة، أو اختلافات في الشدة، من مكان إلى آخر في السماء. ويبدو أن هذه الشذوذات الطفيفة هي بدايات لطيفة لعملية تجمع عنقودي فائقة. فقد احتفظ الإشعاع بأمانة بإشارة التكثّل الابتدائي عبر الأبد، ويظهر بخلافه أن

الكون لم يكن دائماً منظماً بالطريقة المميزة التي نراها اليوم. فترافق المادة إلى مجرات ونجوم هي عملية تطورية متعددة بدأت مع الكون في حالة منتظمة تماماً تقريباً.

هناك جانب نهائى من دليل يعزز نظرية المنشا الكوني الحراري الكثيف. وعلى ضوء معرفة درجة الإشعاع الحراري اليوم، فإنه يمكن للمرء بسهولة أن يقدر أنه عند ثانية واحدة تقريباً بعد البداية، كانت الحرارة في جميع أنحاء الكون حوالي عشرة بلايين درجة. وهي درجة مرتفعة جداً حتى بالنسبة لوجود نوع ذرية مركبة. في ذلك الوقت، يجب أن تكون المادة قد تفككت إلى مكوناتها الأكثر بدائية، لتتشكل سحاباً من الجسيمات الأساسية كالبروتونات، والنيوترونات، والإلكترونات. ولكن، عندما برد السحاب، أصبحت التفاعلات النووية ممكنة. فكانت النيوترونات والبروتونات، بشكل خاص، تتمتع بحرية الالتصاق أزواجاً، وهذه الأزواج اتحدت مع بعضها بعضاً لتتشكل نوى الهليوم العنصري. وتشير الحسابات إلى أن هذا النشاط النووي تواصل على مدى ثلاثة دقائق (من هنا جاء عنوان كتاب ستيفن فاينبرغ)، وهو الزمن الذي تم خلاله تركيب ربع كتلة المادة إلى هليوم. استنفت هذه العملية، في الواقع، كل النيوترونات الموجودة. وقدر ليقنة البروتونات غير المتحدة أن تصبح نوع هيدروجينية. ولذلك تتباينا النظرية بشأن الكون يتكون من هيدروجين 75% و هليوم 25%. تتفق هذه الأرقام، إلى حد بعيد، مع قياسات هذه الأيام للكميات الكونية الغزيرة من هذه العناصر.

ربما تكون تلك التفاعلات النووية الابتدائية قد أنتجت أيضاً كميات بسيطة جداً من الديوتريوم، والهليوم-3، والليثيوم. ولكن العناصر الثقيلة أكثر، التي تشكل، في جملتها، أقل من 1% من المادة الكونية لم يجر إنتاجها في الانفجار الكبير. وبدلاً من ذلك، تشكلت فيما بعد، داخل النجوم، بطريقة سأتي على دراستها في الفصل الرابع.

فيما إذا وضعنا في اعتبارنا توسيع الكون، والإشعاع الخلفي للحرارة الكونية ، والوفرة النسبية من العناصر الكيميانية، فسيكون لدينا دليلاً قوياً يؤكد نظرية الانفجار الكبير. ومع ذلك، تبقى هناك أسئلة كثيرة بدون جواب. فعلى سبيل المثال، لماذا يتسع الكون على وجه الدقة بال معدل الذي هو عليه -معنى آخر، لماذا كان الانفجار الكبير كبيراً جداً؟ ولماذا كان الكون المبكر متماثلاً جداً، ولماذا كان التوسيع متشابهاً في كل الاتجاهات وفي كل نواحي المكان؟ وما أصل التموجات البسيطة للكثافة التي اكتشفت من قبل مسرد الخلفية الكونية-التموجات الهامة جداً لتشكيل المجرات والعنقائد المجرية؟

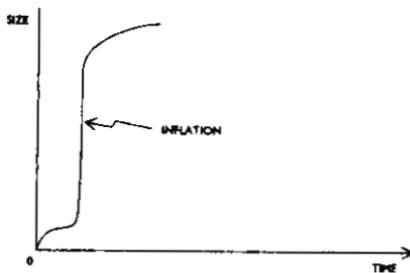
وقد تم في السنوات الأخيرة بذل جهود بطولية لمعالجة هذه المعضلات العويصة عن طريق ربط نظرية الانفجار الكبير باحدى الأفكار من علم فيزياء الجسيمات العالمية الطاقة. وينبغي أن أشدد على أن هذا "العلم الحديث للكون" يعتمد على أساس علمي أقل إحكاماً من المواضيع التي قمت بدراستها حتى الآن. عمليات الربح، بشكل خاص، تتضمن طاقات جسيمية، أكبر إلى حد بعيد، من أي من تلك التي لوحظت مباشرة، والحقيقة الكونية التي حدثت فيها هذه العمليات هي عبارة عن جزء صغير جداً من الثانية بعد الولادة الكونية. ومن المحتمل أن الظروف في ذلك الوقت كانت صارمة جداً حتى أن الدليل الوحيد الموجود هو صياغة رياضية، تستند، بصورة تامة تقريباً، فقط إلى أفكار نظرية.

التخمين الأساسي في علم الكون الحديث هو إمكانية حدوث عملية تدعى تضخم، وال فكرة الأساسية هي أنه في لحظة ما، خلال أول جزء من الثانية، قفز الكون فجأة في الحجم -انتفخ- بسبب عامل هائل. ولادراك مايستبعه هذا، نعود إلى الصورة 2-3. فالمنحنى يواصل ميله دائماً نحو الأسفل، مما يدل على أنه في حين يزداد حجم آية ناحية معلومة من الفضاء، فإنما تزداد بسرعة متباطئة. وعلى العكس، يتسارع التوسيع فعلاً أثناء التضخم. وتظهر هذه الحالة في الصورة 2-3. في البداية، يكون التوسيع بطيناً، ولكنه مع بداية التضخم، ينتعش بسرعة ويتجه الخط المنحنى صعوداً لفترة قصيرة. وأخيراً، يعود إلى ميله الطبيعي، ولكن حجم المنطقة الفراغية المرسومة، في غضون ذلك، ازداد إلى درجة هائلة (أكثر مما يظهر هنا) مقارنة بالوضع المكافئ الذي يظهر في الرسم البياني في الصورة 2-3.

لماذا ينبعي للكون أن يسلك وفقاً لهذه الطريقة الغريبة؟ لا يجب أن ننسى أن ميل الخط المنحنى نزواً يعزى إلى القوة الآسرة للجاذبية التي تقوم بدور الكابح بالنسبة للتتوسيع. ولذلك، يمكن اعتبار الميل صعوداً كنوع من قوة مضادة للجاذبية، أو دافعة، تجعل الكون يكبر حجماً على نحو متتسارع. ومع أن مقاومة الجاذبية تبدو إمكانية غريبة، فإن بعض النظريات النظرية تشير إلى أن تأثيراً كهذا يمكن أن يحدث في الظروف الشديدة لدرجة العرارة والكثافة التي سادت في الكون المبكر بالذات.

و قبل أن أدرس كيف حدث ذلك، دعوني أوضح لماذا يساعد الدور التضخيمي على حل بعض الألغاز الكونية التي أدرجت تواً. أولاً، يمكن أن يقدم التعدد المتتساعد وصفاً

مقدماً حول لماذا كان الانفجار الكبير كبيراً جداً. فالتأثير المضاد للجاذبية هو عملية عابرة، غير ثابتة—أي أن حجم الكون يكبر أستياً. ويعني هذا رياضياً أن منطقة معلومة من المكان تتضاعف في فترة ثابتة من الزمن. ولنسئم هذه الفترة تكّـة tick. وبعد تكّـتين، تتضاعف الحجم أربع مرات؛ وبعد ثلاثة تكّـات، تتضاعف ثمان مرات؛ وبعد عشر تكّـات، توسيع المنطقة أكثر من ألف ضعف. وتظهر نتيجة القياس أن معدل التوسيع عند نهاية عصر التضخم يتفق مع المعدل الملاحظ للتتوسيع اليوم. (أشرح في الفصل السادس، بمزيد من الدقة، ماقصده بهذا القول.)



الصورة 3-3: السيناريو التضخمي. في هذا السيناريو، يجتاز الكون قفزة كبيرة وفاجئة في الحجم لفترة قصيرة جداً بعد نشوئه في الانفجار. يتضاعف المدى العمودي بشدة . وبعد الدور التضخمي، يتقدم التوسيع بسرعة متطابنة، بطريقة مماثلة لما يظهر في الصورة 3-2.

والقفزة الهائلة في الحجم التي أحدها التضخم تومن أيضاً تفسيراً جاهزاً للانتظالم الكوني. ولا بد من أن تكون قد تمت تسوية أية شذوذات ابتدائية من خلال تمدد المكان، تماماً كما تختفي التجعدات من بالون بعد نفخه. ومثل ذلك، لا بد أن يكون قد تم، من خلال التضخم وبسرعة، استدراك أي اختلافات مبكرة في معدل التوسيع، لأن التضخم يعمل بنشاط في كل الاتجاهات. وأخيراً، يمكن عزو الشذوذات الطفيفة التي كشف عنها مسبر الخلوية الكونية إلى حقيقة أن التضخم قد لا يكون انتهى في اللحظة نفسها في كل

مكان (الأسباب ستدرسها بعد قليل)، وهكذا، لابد أن تكون بعض المناطق قد تضخت أكثر بقليل من مناطق أخرى، فحدثت نتيجة لذلك اختلافات طفيفة في الكثافة. دعونا نستعرض بعض الأرقام. في أبسط ترجمة لنظرية التضخم، تنتهي القوة التضخمية (المضادة للجاذبية) إلى أن تتمتع بقدرة غريبة، فتسبب مضاعفة الكون حجماً كل منه تريليون-تريليون (10^{34}) ³⁴ الجزء من الثانية تقريباً. وهذه المدة الزمنية المتناهية الصغر تقريباً هي التي سميتها تكّة. وبعد منه تكّة ليس إلا، يجب أن تكون منطقة بحجم نواة ذرية قد تضخت، من جانب آخر، إلى ما يقرب من سنة ضوئية. وببساطة، إن هذا يكفي لحل الأحجيات الكوزمولوجية السابقة.

لقد تم، عن طريق اللجوء إلى فيزياء الجسيمات دون الذرية، اكتشاف عدّة آليات ممكّنة قد تكون أدت إلى سلوكٍ تضخيمي. واستفادت هذه الآليات جميعها من مفهوم يُعرف بالفراغ الكمي. ولإدراك ما يتضمّنه هذا المفهوم، من الضروري أولاً أن نعرّف شيئاً ما عن فيزياء الكم. بدأت نظرية الكم باكتشاف حول طبيعة الإشعاع الكهرومغناطيسي، كالحرارة والضوء. فمع أن هذا الإشعاع ينتشر عبر الفضاء على شكل موجات، فإنه، رغم ذلك، يمكنه أن يسلك كما لو كان يتألّف من جسيمات. وإرسال الضوء وامتصاصه، بشكل خاص، يحدث على شكل حزم صغيرة جداً (أو كمائٌ) من الطاقة، تدعى الفوتونات. هذا المزيج الشاذ للمظاهر الموجية والجسيمية، الذي يدعى أحياناً الثانية الموجية/الجسيمية، تبيّن أنه ينطبق على كافة الكيانات الفيزيائية في النطاق السُّذري ودون الذري. وهكذا، إن الكيانات التي تعتبر، بصورة طبيعية، كجسيمات-كالإلكترونات، والبروتونات، والنيوترونات- وحتى كامل الذرات، تبدي مظاهر تشبه الموجات في ظل بعض الظروف.

في نظرية الكم مبدأ مركزى هو مبدأ الريبة قال به فيرنر هايسنبرغ. ووفقاً لهذا المبدأ، فإن الأشياء الكمية لا تنتهي بقيم محددة على نحو واضح لكل صفاتها. فعلى سبيل المثال، لا يمكن أن يكون للكترون موضع محدد وزخم محدد في الوقت نفسه. ولا يمكن أن تكون لطاقته قيمة محددة في لحظة محددة من الزمن. وما يهمنا هنا هي الريبة في قيمة الطاقة. ومع أن الطاقة محفوظة دائماً في العالم العياني للمهندس (لا يمكن خلقها أو إتلافها)، فإن هذا القانون يمكن تعطيله في حقل الكم دون الذري. الطاقة يمكن أن تتغير، بصورة تلقائية ولا يمكن التنبؤ بها، من لحظة إلى لحظة تالية. وكلما كانت الفترة الفاصلة

أقصى، ستكون التموجات الكمية العشوائية أكبر. في الواقع، لا يمكن للجسيم أن يفترض طاقة من أي مكان، طالما أنه يتوجب تسديد القرض ثوراً. وتنقضى الصيغة الرياضية الدقيقة لمبدأ الريبة عند هايسنبرغ أن يتم تسديد القرض الكبير للطاقة بسرعة كبيرة، أما القروض الأصغر فيعد فترة أطول.

تؤدي ريبة الطاقة إلى بعض النتائج الغريبة. من بينها إمكانية أن جسيماً، كالفوتون، يمكن أن يخرج إلى الوجود فجأة للاشيء، فقط ليختفي بعد ذلك بسرعة. تعيش هذه الجسيمات على طاقة مفترضة، وبالتالي على زمن مفترض. ونحن لازهاراً، لأن ظهرورها عابر فقط، ولكن مانعتبره، بصورة طبيعية، فضاء فارغاً هو، في الواقع، مكتظ بخسود من هذه الجسيمات ذات الوجود المؤقت—الفوتونات فقط، بل الإلكترونات، والبروتونات، وكل شيء آخر. ولتمييز هذه الجسيمات الموقعة من الأخرى الدائمة المألوفة أكثر، تطلق على جسيمات النوع الأول تسمية "الافتراضية" وعلى جسيمات النوع الثاني تسمية "الحقيقة".

الجسيمات الافتراضية، باستثناء طبيعتها الموقعة، مثيلة للجسيمات الحقيقة. وفي الواقع، يمكن أن يصبح الجسم الافتراضي جزيئاً حقيقياً، ولا يمكن أيضاً تمييزه من أي جسيم آخر حقيقي من النوع نفسه، إذا تم تزويديه بطاقة كافية من خارج المنظومة لكي يسدد قرض طاقة هايسنبرغ. فعلى سبيل المثال، إن الإلكترون افتراضياً يعيش نموذجاً فقط لمدة 10^{-21} ثانية. وخلال حياته القصيرة لا يبقى ساكناً ولكنه قد ينتقل مسافة 10^{-11} سم (المقارنة، حجم ذرة ما يبلغ 10^{-8} سم) قبل أن يختفي. ولكن الإلكترون الافتراضي لن يختفي في نهاية الأمر، بل يمكن أن يواصل حياته كإلكترون طبيعي كامل إذا تلقى (نقل، من حقل كهرطيسي) طاقة أثناء حياته القصيرة هذه.

وعلى الرغم من ذلك، فنحن لا يمكن أن نرى هذه الجسيمات الافتراضية. نعرف أنها موجودة "هناك فعلاً" في الفضاء الفارغ لأنها تخلف أثراً لنشاطاتها يمكن الكشف عنه. فعلى سبيل المثال، تؤثر الفوتونات الافتراضية بحيث تحدث تغييراً طفيفاً في مستويات الطاقة في الذرات. وتسبب أيضاً تغييراً طفيفاً مماثلاً في العزم المغنتيسي للإلكترونات. وقد تم قياس هذه التبدلات الزهيدة، إنما المهمة، بدقة كبيرة باستخدام التقنيات المطابقية. تتعذر الصورة البسيطة لفراغ الكمي التي وردت آنفاً عندما نضع في اعتبارنا حقيقة أن الجسيمات دون الذرية لا تنتقل عادة بحرية، بل تخضع لعدد من القوى—نمط القوة الذي

يعتمد على نمط الجسم المعنى. وتعمل هذه القوى أيضاً بين الجسيمات الافتراضية المتماثلة. إذن، يمكن أن يكون هناك أكثر من نوع لحالة الفراغ. وجود كثير من "حالات الفراغ" الممكنة ملخص مألف لفiziاء الكم-مستويات الطاقة المختلفة للذرات هي من تلك الملاحم المعروفة تماماً. فيمكن أن يوجد إلكترون يدور حول نواة ذرية في حالات معينة معروفة تماماً مع كميات محددة من الطاقة. ويدعى المستوى الأدنى حالة الخمود، وهي حالة مستقرة؛ وتدعى المستويات الأعلى الحالات المثاررة، وهي غير مستقرة. فإذا تبدل الإلكترون إلى حالة أعلى، فإنه سينتقل نزواً لأمرة أو أكثر رجوعاً إلى حالة الخمود. وتتلاشى الحالة المثاررة بعمر نصف واضح المعالم.

وتتسحب مبادئ مماثلة على الفراغ، الذي قد يحتوي على حالة مثاررة أو أكثر. تتمع هذه الحالات بكميات مختلفة جداً من الطاقة، على الرغم من أنها تبدو متماثلة في الواقع. -أي، فارغة. حالة الطاقة الأدنى، أو الخمود، تدعى أحياناً الفراغ الحقيقي، مما يعكس حقيقة أنها حالة مستقرة ويفترض أنها الحالة التي تصاهي المناطق الفارغة في الكون كما نلاحظه اليوم. ويشار إلى فراغ مثار كفراغ زائف.

يجب أن نؤكد على أن الفراغات الزائفة تبقى مجرد فكرة نظرية، وتعتمد في قسم كبير من خواصها على النظرية الخاصة التي يُحتاج بها. ولكنها تظهر، بصورة طبيعية، في معظم النظريات الحديثة التي تهدف إلى توحيد القوى الأربع الأساسية: الجاذبية والكهرومagnetية، الشكل المألف في الحياة اليومية، والقوىتين التwoyibتين القصريتي المدى المعروفتين بالقوة الضعيفة والقوة القوية. والقائمة المستخدمة لابد من أن تكون أطول: كانت الكهربائية والمغناطيسية تعتبران متميزتين. وقد بدأت عملية التوحيد في مطلع القرن التاسع عشر وتقدمت في العقود الأخيرة. وتترابط اليوم، كما نعرف، القوى الكهرومagnetية والتقوية الضعيفة لتشكل "قوى ضعيفة الكهربائية" واحدة. ويبطن كثير من علماء الفيزياء أن القوة القوية ستنتهي إلى الارتباط بالقوة الضعيفة الكهربائية ، وهو اتحاد تصفه، بشكل آخر، مايعرف بالنظريات الموحدة الكبيرة. وقد تندمج القوى الأربع في قسوة فاتقة واحدة عند مستوى ما عميق.

وتنتبأ مختلف النظريات الموحدة الكبيرة بالمرشح الذي تعلق عليه أكبر الآمال بشأن آلية تضخمية. والسمة الرئيسية لهذه النظريات هي أن الطاقة هائلة في حالات الفراغ الزائف: نعطي، يحتوي سنتيمتر مكعب واحد من الفضاء 10^{87} جول حتى أن حجماً

ذرئاً ما في حالة بهذه يحتوي 10^{26} جول. فلتقارن هذا الرقم بالرقم الزهيد 10^{18} جول أو ماقرب منه الذي تمتلكه ذرة مثارة. ولهذا فإننا نحتاج إلى قدر كبير من الطاقة لاتساع فراغ حقيقي، ولا ينفي أن نتوقع مواجهة فراغ زائف في الكون اليوم. وبالمقابل، تبدو هذه الأرقام معقولة في ظل الظروف الشديدة للانفجار الكبير.

تمارس الطاقة الهائلة المرافقة لحالات الفراغ الزائف تأثيراً تقليلاً قوياً. وهذا، كما ثبت آينشتاين، لأن للطاقة كتلة، ولذلك تمارس جذباً تقليلاً، تماماً كما تفعل المادة الطبيعية. والطاقة الهائلة للفراغ الكمي جذبية جداً: طاقة السنتمتر المكعب الواحد من الفراغ الزائف تزن 10^{67} طناً، وهو رقم أكبر من طاقة كامل الكون المنظور اليوم (حوالي 10^{50} طناً)! هذه الجاذبية الهائلة لاتساعد على إحداث تضخم، وهي عملية تحتاج إلى نوع ما من جاذبية مضادة. ولكن الطاقة الهائلة في الفراغ الزائف تترافق بما يماثلها من ضغط هائل في الفراغ الزائف، وهذا الضغط يفي بالغرض. ونحن، في الحال الطبيعية، لا نعتبر الضغط كمصدر للجاذبية، ولكنه كذلك. ومع أن الضغط يمارس قوة ميكانيكية نحو الخارج، فإنه يسبب سحبًا جذرياً نحو الداخل. وفي حالة الأجسام المتألفة، فإن التأثير الجذبي للضغط عديم القيمة مقارنة بتأثير كتلة الجسم. فعلى سبيل المثال، إن أقل من جزء من بليون من تقل جسمك على الأرض يعزى إلى الضغط الداخلي للأرض. مع ذلك، إن تأثير الضغط حقيقي، وفي منظومة حيث يصل الضغط قيماً شديدة، يمكن للتأثير الجذبي للضغط أن ينافس التأثير الجذبي للكتلة.

في حالة الفراغ الزائف، هناك طاقة هائلة وضغط هائل لدرجة يتناقضان معها على السيطرة الجذبية. ولكن الخاصية الحاسمة هي أن الضغط سلبي. فالفراغ الزائف لا يدفع، بل يمتص. والضغط السلبي يسبب تأثيراً جذرياً سلبياً-أي، مضاداً للانجداب. وهكذا، فلن الفعل الجذبي للفراغ الزائف يتضمن تناقضاً بين التأثير الجذبي الهائل لطاقته والتأثير الدفعي الهائل لضغطه السلبي. وتنتهي المناقسة بانتصار الضغط، ويكون التأثير الصافي خلق قوة دفعية كبيرة جداً يمكنها أن تعصف بالكون في جزء من ثانية. وهذا الدفع التضخيمي الهائل هو الذي يسبب تضاعف حجم الكون بسرعة كل 10^{43} ثانية.

عد الاستقرار ملازم للفراغ الزائف. وهو، بكل حالات الكم المثارة، يتوقف إلى التلاشي رجوعاً إلى حالة الخمود-الفراغ الحقيقي. وربما يفعل هذا بعد بضع تكاث. ولكونها عملية كمية، فإنها تخضع للتذبذبات حتمية غير محدودة وعشوانية سبقت دراستها

أنفًا فيما يتعلّق بمبدأ الريبة عند هايسنبرغ. ومعنى هذا أن التلاشي لن يحدث على نحو متماثل في كافة أنحاء الفضاء: ستكون هناك تذبذبات، ويرى بعض المنظريين أن هذه التذبذبات قد تكون هي مصدر تموّجات مسیر الخلقية الكونية.

عندما يتلاشى الفراغ الزائف، فإن الكون يستأنف تمدده الطبيعي المتباطن «السرعة»، وتتحرّر الطاقة التي كانت حبيسة في الفراغ الزائف، وتظهر على شكل حرارة. التمدد الهائل الذي أحدثه التضخم برد الكون إلى درجة حرارة قريبة جدًا من الصفر المطلق؛ فجأة، يسبّب انتهاء التضخم إعادة تسخينه إلى درجات هائلة تصل إلى 10^{28} . ويبقى هذا الغزان الضخم للحرارة اليوم، في شكل متضائل إلى حد كبير، كإشعاع حراري خلفي للكون. الناتج الثانوي لتحرير الطاقة الفراغية هو أن كثيراً من الجسيمات الافتراضية في الفراغ الكمي تتلقى بعضها وتترقى إلى جسيمات حقيقة. وبعد معالجة تبدلات إضافية، فإن بقية هذه الجسيمات الابتدائية تواصل توفير 10^{50} طناً من المادة التي تكوّتنا: أنت، وأنا، والمجرة، وبقية الكون الذي تمكّن مشاهدته.

إذا كان السيناريو التضخياني يسلك الطريق الصحيح—ونّاك ما يظنه الكثيرون من علماء الكون—فإن عمليات كانت اكتملت بعد انقضاء 10^{32} ثانية فقط هي التي تكون حدّت التركيب الأساسي للكون ومح兜اته الفيزيائية. واجتاز الكون بعد التضخم كثيراً من التبدلات الإضافية على المستوى دون الذري، عندما تطورت المادة البدائية إلى الجسيمات والذرارات التي تشكّل المادة الكونية في حقبتنا، ولكن المعالجة الإضافية، في معظمها، كانت قد اكتملت بعد ثلاث دقائق فقط أو حول ذلك.

ولكن، كيف ترتبط النّقائص الثلاث الأولى بالدقائق الثلاث الأخيرة؟ فـ«ما يعتمد مصدر رصاصة أطلقت باتجاه هدف ما، بشكل حاسم، على تصويب البنادق»، كذلك مصدر الكون يعتمد، إلى حد دقيق جداً، على الشروط الابتدائية. وسوف نرى كيف تعمل الطريقة التي توسيع فيها الكون من أصوله البدائية، وطبيعة المادة التي نشأت من الانفجار الكبير، لتعيين مستقبله النهائي. في بداية الكون ونهايته تداخلان بعمق.

موت النجوم

في ليل 23/24 شباط 1987، كان أيان شيلتون، عالم الفلك الكندي، يعمل في مرصد كيباناس لاس، الواقع في مرتفعات الأنديز التشيلية. وباختصار، خرج المعاون الليلي من المرصد ونظر بفتور إلى السماء المظلمة. ولكونه عليماً بأحوال السماء، فإنه سرعان ملاحظ شيئاً غير عادي. فقد شاهد نجماً عند حافة بقعة النور السديمية التي تعرف بالغيمة الماجلانية الكبيرة. لم يكن النجم لاماً على نحو استثنائي -تقريباً بحجم نجوم منطقة الجبار. والمهم، هو أن ذلك النجم لم يكن هناك في اليوم السابق.

قام المساعد بتبييه شيلتون إلى الجسم، وفي خضون ساعات، انتشرت الأنباء في كافة أنحاء العالم معلنة أن شيلتون ومساعده التشيلي اكتشفاً مستعرًا. وكانت هذه أول مرة يشاهد فيها جسم من هذا النوع بالعين المجردة منذ سجل جوهانز كيلر واحداً عام 1604. فبدأ الفلكيون حالاً في عدد من البلدان بتوجيه أجهزتهم نحو الغيمة الماجلانية الكبيرة. وفي الأشهر التالية، تم فحص سلوك المستعر 1987-A في أدق تفاصيله.

و قبل حادثة الاكتشاف المثير هذه ببعض ساعات، كان سُجّل حادث غير عادي في مكان مختلف جداً -نجم زنك كميوكا، على عمق كبير تحت الأرض في اليابان. وكان هذا الموقع مكاناً لتجربة طويلة الأمد يقوم بها فيزيائيون لهدف طموح. كانوا يهدفون إلى اختبار الاستقرار النهائي لواحدة من أكثر مكونات المادة أهمية، هي البروتونات. فالنظريات الكبيرة الموحدة التي ظهرت في السبعينيات (القرن الماضي) تنبأت بأن البروتونات قد تكون غير مستقرة إلى حد طفيف جداً، حيث تتفكك أحياناً في شكل غريب من النشاط الإشعاعي. فلو صحت ذلك، لكان له مضامين عميقة فيما يخص مصير الكون، كما سنرى فيما بعد.

ولإجراء اختبار تفكك البروتونات، ملا المجربون اليابانيون حوضاً بـألفي طن من ماء فائق النقاوة وركزوا فيه أجهزة عالية الحساسية لكشف الفوتونات. وكان عمل هذه الأجهزة يتمثل بتسجيل الوميض الذي يدل على وجود ضوء يمكن أن يعزى إلى

المنتجات العالمية السرعة لحوادث تفكك مستقلة. وكان قد تم اختيار موضع تحت الأرض لإجراء التجربة بهدف تقليل تأثيرات الإشعاع الكوني، الذي كان، لو لا هذا الإجراء، سيضر أجهزة الكشف بحوادث زائفة.

وفي 22 شباط، ومضت أجهزة الكشف في كمبيوكا مالا يقل عن إحدى عشرة مرة في عضون عدة دقائق. وخلال ذلك ، وفي الجانب الآخر من كوكب الأرض، سجل جهاز كشف آخر في منجم للملح، في أوهابيو، ثانية حوادث. وبما أن انتحار كتلة متزامنة بستة عشر بروتوناً كان غير وارد، لذلك كان يجب بإيجاد تعليل آخر لهذه الحوادث. وسرعان ما اكتشف الفيزيائيون ذلك التعليل. لابد من أن تكون معادتهم قد سجلت تدمير البروتونات بعملية أخرى، تقليدية أكثر: التصف بالنيوتريโนات Neutrinos.

والنيوترينوارات جسيمات دون ذرية ستمثل دوراً رئيسياً في فحصي، ولهاذا فهي تستحق أن نتوقف لدراستها بتفصيل أكبر. فقد طرح وجودها لأول مرة عام 1931 ولو فعانغ بولي، الفيزيائي النظري المولود في النمسا، لشرح الجانب المشكل للعملية الإشعاعية المعروفة بانحلال بيتا. وفي حادثة نموذجية لهذا التفكك، يتفكك النيوترون إلى بروتون والإلكترون، وهو جسيم مضيء نسبياً، يتطاير بطاقة مهمة. وتمثل المشكلة في أنه في كل حادثة تفكك يكون للإلكترون، كما يبدو، طاقة مختلفة، أقل إلى حد ما من إجمالي الطاقة المتاحة من تفكك النيوترون. وبما أن الطاقة الإجمالية هي نفسها في كل الحالات، فإن الطاقة النهائية تختلف، كما يبدو، عن الطاقة الأصلية. ولكن هذا لا يكفي، لأن حفظ الطاقة قانون أساسي في الفيزياء، ولهاذا رأى بولي أن الطاقة الصانعة نقلها جسيم غير مرئي. ولكن المحاولات المبكرة لاكتشاف هذه الجسيمات أخفقت، وأصبح واضحـاً أنه إذا كانت موجودة، فلاشك في أنها تتمتع بقدرة نافذة إلى حد لا يصدق. وبما أن أي نوع من جسيم مشحون كهربائياً سوف يُحتَبَل بسهولة من قبل المادة، فإن جسيم بولي يجب أن يكون محايداً كهربائياًـ ومن هنا جاء اسم "نيوترينو".

ومع أن أحداً لم يميز فعلـاً نيوتريـنو ما، فإن المنظرين كانوا قادرين على استنتاج المزيد من خواص النيوتريـنوـات. وواحدة من تلك الخواص على صلة بكتلتها.

مفهوم الكتلة مفهوم مراوغ عندما يتعلق الأمر بالجسيمات السريعة الحركة. ذلك لأن كتلة جسم ما ليست كمية ثابتة بل تعتمد على سرعة ذلك الجسم. فعلى سبيل المثال، إن كرة من الرصاص زنة 1 كغ تزن 2 كغ إذا تحركت بسرعة 260,000 كم/ثـا. والعامل

الرئيسي هنا هو سرعة الضوء. فكلما كانت سرعة الجسم أقرب إلى سرعة الضوء، أصبح أكثر ثقلًا، وهذا الارتفاع في الكتلة غير محدود. وبما أن الكتلة متغيرة على هذا النحو، فإن الفيزيائيين عندما يتحدثون عن كتلة الجسيمات دون الذرية، فإنما يشيرون إلى كتلتها في حالة السكون تقديرًا للالتباس. إذا تحرك جسم ما بسرعة قريبة من سرعة الضوء، فإن كتلته الفعلية قد تكون عدة أضعافها ساكنة: قد تصبح كتل الإلكترونات والبروتونات الدائرة داخل المسرّعات الكبيرة للجسيمات أثقل منها وقت السكون بعدهة آلاف المرات.

يأتي الدليل إلى قيمة كتلة النيوترون في حالة السكون من حقيقة أن حادث انحلال بيتا سيطلق أحياناً إلكتروناً تقريباً بكل طاقة متاحة، مما لا يترك شيئاً تقريباً للنيوترون. ومعنى هذا أن النيوترونوات يمكن أن توجد أساساً بطاقة صفر. ووفقاً لمعادلة آنشتاين الشهيرة الطاقة = الكتلة \times مربع سرعة الضوء، فإن الطاقة والكتلة متساويتان، ومكذا تدل الطاقة صفر ضمناً على الكتلة صفر. وهذا يعني أن كتلة النيوترون في حالة السكون يحتمل أن تكون صغيرة جداً، ربما صفرًا. فإذا كانت كتلة السكون صفرًا فعلاً، عندئذ سينتقل النيوترون بسرعة الضوء. وعلى أية حال، يحتمل أن نجده ينتقل بسرعة قريبة جداً إلى سرعة الضوء.

هناك خاصية إضافية تتعلق بالطريقة التي تدور ذاتياً $spin$ فيما الجسيمات دون الذرية. فقد اكتشف أن النيوترونات، والبروتونات، والإلكترونات في حالة دوران ذاتي spining دائم. وحجم هذا للدوران كمية ثابتة، هي، في الواقع، الكمية نفسها بالنسبة للجسيمات الثلاثة. والدوران الذاتي هو شكل من قوة تحرك زاوية $spin$ ، وهناك قانون لحفظ لكمية التحرك الزاوية-قانون أساسى كقانون حفظ الطاقة. وعندما يتفاكم نيوترونون ما، فإن كمية تحركه الزاوي لا بد أن تُحفظ في منتجات الانحلال. فإذا كان الدوران الذاتي للإلكترون والبروتون في الاتجاه نفسه، فإن كمية حركتهما الزاوية تجمعنان لتصبحا ضعف كمية الحركة الزاوية للنيوترون. وبال مقابل، إذا كانا يدوران باتجاهين متعاكسان، فإن كميتي حركتهما الزاوية ستلغيان بحيث تصبح المحصلة صفرًا. وفي كل الحالين، فإن مجموع كمية الحركة الزاوية للإلكترون والبروتون وحدهما لا يمكن أن يساوي كمية الحركة الزاوية للنيوترون. ولكن، عندما نضع في اعتبارنا وجود نيوترون ما، فإنه يمكن وضع الحسابات بحيث تتواءن بدقة على فرض أن للنيوترون الحركة الزاوية نفسها

الجسيمات الأخرى. وعندئذ، فإن الحركة الزاوية لاثنين من النواuges الثلاثة المنحطة يمكن أن تكون في الاتجاه نفسه، بينما تكون الحركة الزاوية للنواuges الثالث بالاتجاه المعاكس. وهكذا كان الفيزيائيون، ولم يكونوا قد اكتشفوا النيوترينو بعد، قادرین على استنتاج أنه لابد أن يكون جسيماً شحنته الكهربائية صفر، وكمية حركته الزاوية مماثلة لكمية حركة الإلكترون الزاوية، وكذلك في حالة السكون صغيرة أو غير موجودة، وتفاعلاته ضعيف مع المادة العادية بحيث لا يترك أثراً تجريباً لانتقاله. وقصارى القول، إنه شبح يدور ذاتياً. وليس هناك ما يبعث على الدهشة في أن تتقضي عشرون سنة تقريباً على حدس بولیس بوجود النيوترينوات قبل أن يتم تحديد وجودها بشكل حاسم في المختبر. لقد تم تكوينها بكميات وفيرة في مفاعلات نووية، وهي على الرغم من مراؤتها فإنه يمكن اكتشاف نوذرها العرضي.

لاشك في أن وصول قصة من النيوترينوات إلى منجم كمبوكا في الوقت نفسه الذي ظهر فيه المستسر 1987-A لم تكن مجرد صدفة، وتشبّث العلماء بتزامن الحادتين تأكيد حاسم لنظرية المستسرات: قصة النيوترينوات هي بالضبط مكان يتوقعه الفلكيون منذ زمن طويل من المستسر.

وعلى الرغم من أن كلمة 'Nova' اللاتينية تعنى 'New' أي جديد في الإنكليزية، فإن كلمة المستسر 1987-A Supernova لم تكن ولادة نجم جديد. ولكنها كانت، في الواقع، موت نجم قديم في انفجار مثير. فالسحابة الماجلانية الكبيرة، التي ظهر فيها المستسر، هي مجرة صغيرة تبعد عنا حوالي مئة وسبعين ألف سنة ضوئية. وهذه المسافة قريبة إلى درب التبانة بما يكفي لجعلها تابعاً لمجرتنا. فهي مرئية بالعين المجردة على شكل بقعة مشوша من الضوء في نصف الكرة الجنوبي، ولكن رؤية نجومها منفردة تحتاج إلى مناظير كبيرة. وبعد ساعات فقط من اكتشاف شيلتون، تمكّن الفلكيون الأستراليون من تحديد النجم الذي انفجر من بين بضعة بلايين من النجوم التي تحتويها السحابة الماجلانية الكبيرة؛ وقد حققوا مأثرتهم هذه عن طريق تحصيم لصحفات الفوتوغرافية السابقة لتلك المنطقة من السماء. كان النجم المبلي من نوع يعرف باسم سوبر جيانت الأزرق B3، وقطره أكبر من قطر الشمس بأربعين مرة تقريباً، حتى أنه يحمل اسم سانديوليك-69.

جرى تحري نظرية إمكانية انفجار النجوم لأول مرة في منتصف الخمسينات (القرن الماضي-المترجم) من قبل علماء الفيزياء الفلكية: فريد هويله، ووليم فاولر، وجيفوري ومرغريت برينديج. ولكن ندرك كيف يصل نجم إلى مثل هذا التغير العنيف، من الضروري أن نعرف شيئاً ما عن أشغاله الداخلية. النجم المعروف أكثر هو الشمس. بالاشتراك مع أكثر النجوم ، تبدو الشمس لامتحيرة؛ ولكن هذا يكذب حقيقة أنها مشتبكة في صراع لا يتوقف مع قوى التتمير. كافة النجوم كرات من الغاز ، والجانبية هي التي تحطّلها تتماسك. فلو كانت الجانبية هي القوة الوحيدة التي تعمل، لأنفجرت النجوم في الحال تحت تأثير تقلّها الهائل وتلاشت في غضون ساعات. والسبب في عدم حدوث ذلك هو أن القوة الداخلية للجانبية توازن بواسطة القوة الخارجية لضغط الغاز المنصفي في الداخل النجمي.

هناك علاقة بسيطة بين ضغط الغاز ودرجة حرارته. فعندما يتسخن غاز حجم ثابت، فإن الضغط يرتفع بصورة طبيعية بما يتناسب مع درجة الحرارة. وعلى العكس، عندما تهبط درجة الحرارة، فإن الضغط يهبط أيضاً. وبما أن الحرارة مرتفعة جداً داخل النجم -عدة ملايين من الدرجات- فإن الضغط يكون هائلاً هناك. وتنتج الحرارة من تفاعلات نووية. والتفاعل الرئيسي الذي يسيطر على الجزء الأكبر من حياة نجم ما هو تحول الهيدروجين إلى هليوم عن طريق الاندماج. يحتاج هذا التفاعل إلى درجة حرارة مرتفعة جداً للتغلب على الدفع الكهربائي الذي يعمل بين النوى. يمكن للطاقة التي تترجم عن الاندماج أن تغذى نجماً على مدى بلايين السنين، ولكن الوقود سيتلاصص عاجلاً أو آجلاً، ويبدا المفاجأة بالترنج. وعندما يحدث هذا، تنهض مساندة الضغط ويبدا النجم يخسر معركته الطويلة مع الجانبية. نجم يعيش أساساً بوقت مستلف، يتحاشى انهياراً جذرياً عن طريق ترشيد احتياطياته من الوقود. ولكن كل كيلوواط يتدفق من السطح النجمي إلى أعماق الفضاء يعمل على تسريع النهاية.

ويقدّر أن الشمس يمكن أن تشتعل على مدى عشرة بلايين سنة على الهيدروجين الذي بدأت به اليوم، في خمسة بلايين سنة تقريباً من العمر، أحرق نجمنا المحلي نصف احتياطياته تقريباً. (الاضرورة للخوف حتى الآن). وسرعة استهلاك نجم ما لوقوده النبوي يعتمد، إلى حدّ دقيق، على كتلته. فالنجوم الأقلّ تحرق وكسوداً بسرعة أكبر، ويجب أن تفعل ذلك، لأنها أكبر حجماً وأكثر لمعاناً، وبالتالي تشع كمية أكبر من الطاقة.

والقلل الإضافي يضغط الفاز إلى كثافة ودرجة حرارة أعلى، مما يزيد من سرعة تفاعل الاندماج. فعلى سبيل المثال، بن نجماً ذا عشر كتل شمسية ، سيحرق معظم هيدروجينه خلال مدة قصيرة تصل إلى عشرة ملايين سنة.

تعالوا نتابع نتائج مصرير نجم ضخم كهذا. يبدأ تكون معظم النجوم من الهيدروجين بصورة رئيسية. و ‘احتراق’ الهيدروجين يتتألف من اندماج نوعي الهيدروجين-نواة الهيدروجين بروتون واحد-لتشكيل نوع الهليوم العنصري، وتتألف كل نواة من بروتونين ونيوترونين. (التفاصيل معقدة ولا ضرورة إلى الاهتمام بها هنا). ‘احتراق’ الهيدروجين هو المصدر الأكثر فعالية للطاقة النووية، ولكنه ليس المصدر الوحيد. إذا كانت درجة الحرارة في النواة مرتفعة بما يكفي، فإن نوع الهليوم يمكن أن تندمج لتشكيل الكربون، ويؤدي المزيد من تفاعلات الاندماج إلى تشكيل الأكسجين، والنيون، وعناصر أخرى. يمكن لنجم ضخم أن يولّد درجات الحرارة الداخلية الضرورية تتجاوز مليون درجة- لتقدم هذه السلسلة من التفاعلات النووية المتتابعة، ولكن العائدات تتناقص باضطراد. فالطاقة المنطلقة تتناقص مع تشكل كل عنصر جديد. وتزايد سرعة احتراق الوقود، حتى أن تركيب النجم يتغير شهرياً، ثم يومياً، ثم كل ساعة. ويصبح داخله شيئاً بيضاء، ذات طبقات ترکب من عناصر كيمائية متتالية بسرعة أكبر جنوناً حتى الآن. وخارجياً، ينفتح النجم إلى حجم ضخم، أكبر من منظومتنا الشمسية بالكامل، ليصبح ما يطلق عليه الفلكيون سوبرجيانت الأحمر.

توصم نهاية سلسلة الاحتراق النووي بالحديد العنصري، الذي يمتلك بنية ذرية مستقرة بشكل خاص. وتركيب العناصر الآتية من الحديد بالاندماج النووي، في الواقع، يكلف طاقة أكثر مما يحرره منها، حتى أنه في الوقت الذي يصل فيه نجم إلى تركيب نواة من حديد يكون قد قضى عليه بالهلاك. وعندما تتوقف إمكانية المناطق المركزية في النجم عن إنتاج طاقة حرارية، فإن الاحتمالات تميل، بشكل مهلك، لمصلحة قوة الجاذبية. فيترنح النجم على حافة عدم الاستقرار الكارثي، وينقلب أخيراً إلى حفرة جانبية.

إن ما يحدث، ويحدث بسرعة، هو التالي: تفقد النواة الحديدية للنجم قدرتها على إنتاج حرارة عن طريق الاحتراق النووي، ولا يمكنها أن تتدنى تقلها الخاص، وتتكشم بقوة كبيرة تحت الجاذبية حتى أن الذرات نفسها تتسرع. وأخيراً، تصل إلى كثافات نووية فيها يساوي كثتبان منها ما يقرب من تريليونطن من المادة. نموذجياً، سيكون عرض النجم

المبئي في هذه المرحلة، متى كيلو متر، وستجعله صلابة المادة النوية يقفز. ويكون الجذب التفالي قوياً جداً بحيث لا يستغرق هذا الارتداد الهائل أكثر من بضعة إجزاء من ألف من الثانية. وعندما تنتشر هذه المأساة في مركز النجم، فإن الطبقات المحيطة من المادة النجمية تنهار على النواة بهزة كارثية مفاجئة. وفي طريقها نحو الداخل بسرعة عشرات آلاف الكيلومترات في الثانية، تواجه ترليونات فوق ترليونات الأطنان من المادة المتفجرة النواة المرتهنة المدمجة بدرجة عالية، والأشد صلابة من جدار من الماس. يعقب ذلك اصطدام عنف متزوج، يسبب موجة صدمية تتجه عبر النجم نحو الخارج.

ترافق موجة الصدمة ببضة هائلة لليوترونوات، التي تحررت فجأة من مناطق النجم الداخلية أثناء تحوله النwoي النهائي -تحول تسحق فيه إلكترونات وبروتونات الذرات النجمية مع بعضها لتشكيل الليوترونات. فتصبح نواة النجم، بشكل فعال، كرة عملاقة من الليوترونات. وتقوم موجة الصدمة مع الليوترونوات بنقل كمية كبيرة من الطاقة نحو الخارج عبر الطبقات المترابطة من النجم. وتمتص الطبقات الخارجية من النجم كثيراً من هذه الطاقة فتتفجر في حرقة نووية بصرراوة لا يمكن تصورها. وعلى مدى بضعة أيام، يشع النجم بكثافة عشرة بلايين من الشموس، ولكنه سرعان ما يختبو بعد بضعة أسابيع.

تظهر المستعرات مرتين أو ثلاثة خلال القرن في مجرة نموذجية كдрب التبانة، وقد دون ظهورها في التاريخ من قبل فلكيين اعتبرتهم الدهشة لرؤيتها. والمستعر الأكثـر شهرة لاحظه المراقبون الصينيون والعرب عام 1054 م في مجموعة السرطان. وبيدو

النجم المحطم اليوم كسحابة ممزقة من الغاز المتعدد تعرف باسم سديم السرطان.

إن انفجار المستعر A-1987 أضاء الكون يومياً غير منظور من الليوترونوات. كانت نبضة من قوة متزوجة. فاختُرق كل سنتيمتر مربع من الكرة الأرضية -حتى على الرغم من أنها تبعد عن الانفجار مسافة منة وسبعين ألف سنة ضوئية - بمئة مليون نيوترونيو، ولم يعرف مكانتها الهائلة أنهم أ茅روا بسرعة خاطفة بعدة ترليونات من الجسيمات من مجرة أخرى. ولكن أجهزة كشف تفكك البروتونات في كيبوكا وأوهليو أوقفت تسعه عشر من تلك الجسيمات. ولو لا هذه المعدات، لم رئت الليوترونوات بدون أن تلاحظ، كما جرى عام 1054.

ومع أن المستعر ينذر بموت النجم المعنى، فإن الانفجار يحمل جانباً خلاقاً بالنسبة له. فالتحرير الهائل للطاقة يسخن الطبقات الخارجية للنجم إلى حد فعال جداً بحيث يصبح

المزيد من تفاعلات الاندماج النووي ممكناً لفترة قصيرة من الزمن، فيمتص أكثر مما تحرر من الطاقة. وفي هذا الفرن النجمي النهائي والأشد حرارة، تتشكل العناصر الثقيلة غير الحديد، كالذهب، والرصاص، والاليورانيوم. إن هذه العناصر، مع العناصر الأخرى، كاللكربيون والأكسجين، التي كانت قد تشكلت في مرحلة مبكرة من الترتيب النووي، تُعَنَّف إلى الفضاء، لتمتزج هناك ببقايا عدد لا حصر له من المستعرات الأخرى. وخلال الآباد التالية، تُعرَف هذه العناصر الثقيلة إلى أجيال جديدة من النجوم والكواكب. ولسولاً تصنيع ونشر عناصر كهذه، لما أمكن أن تكون هناك كواكب كالكرة الأرضية. فللكربيون والأكسجين اللذان يهبان لنا الحياة، والذهب الذي نذرره في مصارفنا، وصفائح الرصاص في سقوف منازلنا، وقضبان اليورانيوم التي تستخدم وقدأً في مفاعلاتنا النووية- كلها مدينة بوجودها الأرضي لغصات الموت التي عانت منها نجوم اختفت تماماً قبل أن تظهر شمسنا إلى الوجود. وإنها لفكرة لائقة تلك التي تفيد بأن مادة أجسادنا ذاتها مؤلفة من الرماد النووي لنجوم ماتت قبل زمن طويل.

انفجار المستعر لا يدمِّر تماماً. فعلى الرغم من أن الجائحة تشتبَّه بشدة، فإن النواة المتفجرة التي قدحت الحادثة تبقى في مكانها. ولكن مصيرها أيضاً يبقى دقيقاً. فإذا كانت كتلة النواة صغيرة إلى حد ما- لنقل، ككتلة شمسية- فإنها سوف تشكّل كرة من النيوترونات بحجم مدينة صغيرة. والأكثر احتمالاً، أن يلف هذا 'النجم النيوتروني' حول نفسه مسحوراً، ربما أكثر من 1000 دوره/ثا، أو 10% من سرعة الضوء على السطح. وهو يكتسب هذا اللُّفُ الذاتي المدوخ لأن الانفجار ضخم، إلى حد هائل، الدوران البطيء نسبياً للنجم الأصلي؛ وهذا هو المبدأ نفسه الذي يسبب اللُّفُ الذاتي الأسرع في مزاج الجليد عند ضم أذرعها. وقد اكتشف الفلكيون الكثير من هذه النجوم النيوترونية السريعة الدوران. ولكن سرعة الدوران تتبايناً تدريجياً عندما يخسر الجسم الطاقة. فطلي سبيلاً المثال، تباطأ الآن النجم النيوتروني في وسط سحابة السرطان إلى 33 دوره/ثا.

وإذا كانت كتلة النواة أكبر نوعاً ما- لنقل، عدة كتل شمسية- فإنها لا يمكن أن تستقر كنجم نيوتروني. فشدة الجاذبية تكون قوية جداً إلى درجة لا يمكن معها حتى للمادة النيوترونية-أشد المواد المعروفة صلابة- أن تقاوم انضغاطاً إضافياً. وعندئذ، يتم إعداد المسار لحدث مرعب أكثر وكارثي أكثر من المستعر. فنواة النجم تواصل الانهيار، وفي أقل من 1/1000 ثا تكون تقبلاً أسود وتعجب فيه.

ينتهي النجم الضخم إذن إلى نصف نفسه إلى قطع صغيرة، مخلفاً نجماً نيوترونياً أو ثقباً أسوداً محاطاً بانتشار الغازات المتفوقة. وما من أحد يعرف عدد النجوم التي قضت نحبها حتى الآن بهذه الطريقة، ولكن درب التبانة وحده يمكن أن يحتوي على بلايين من هذه الجثث النجمية.

عندما كنت طفلاً، كان يساورني خوف رهيب من إمكانية انفجار الشمس. ولكن لاخطر في أن تصبح مستسعاً. فهي صغيرة جداً. ومصير النجوم المنيرة، بشكل عام، يكون أكل عنقاً من مصير قربانها الضخمة. أولًا، تتواصل العمليات النووية التي تنتهي الوقود بسرعة أكثر رصانة؛ ففي الواقع، يمكن لنجم قزم عند الحافة السفلية لنطاق الكتلة الجميلة أن يتألق بثبات على مدى ترillion سنة. وثانياً، لا يمكن لنجم منير أن يولد حرارة داخلية عالية بما يكفي لتركيب حديد، وبالتالي، إطلاق انفجار كارثي.

الشمس، نموذجاً، نجم ضعيف الكتلة إلى حد ما، يشتغل بثبات بواسطة ولوده من الهيدروجين ويحوّل داخليته إلى هليوم. ويستوطن الهليوم عادة في النواة المركزية التي هي خاملة بقدر ما يتعلق الأمر بالتفاعلات النووية: يحدث الاندماج على سطح النواة. ولهذا، فإن النواة بالذات غير قادرة على الإسهام إلى توليد الحرارة الهامة اللازمة لإسداد الشمس في مواجهة قوى الجذب الساحقة. ولمنع الانهيار، لابد للشمس من توسيع نشاطها النووي نحو الخارج، بحثاً عن هيدروجين جديد. وفي مغضون ذلك، تتكشم نواة الهليوم تدريجياً. ومع انتصاء الآباء ، سيتغير مظهر الشمس على نحو لا يمكن الإحساس به نتيجة للتبدلات الداخلية. فهي ستتنفس حجماً، ولكن سطحها سيردد إلى حد ما، مما يضفي عليها تمواجاً لونيّاً ضارباً إلى الحمرة. ويستمر هذا الميل حتى تتحول إلى نجم أحمر عملاق، ربما خمسة أضعاف ماهي عليه الآن. والفلكيون يعرفون العاملة الحمر، وتترفع في هذه الفئة عدة نجوم مضيئة معروفة تماماً في سماء الليل، كالدبران، والمنكب، والسماك الرامح، ويؤشر الطور العملاق الأحمر بداية النهاية لنجم صغير الكتلة.

ومع أن عملاقاً أحمر يكون بارداً نسبياً، فإن حجمه الكبير يضفي عليه سطحاً ضخماً مشعاً، مما يعني تأثيراً إجمالياً أكبر. وستواجه كواكب الشمس وقتاً عصيباً، حيث تهاجمها زيادة التدفق الحراري على مدى أربعة بلايين سنة. ستصبح الأرض، قبل ذلك بوقت طويل، غير صالحة للسكنى، فتحتفي محيطاتها، ويتشقّع غلافها الجوي. وبما أن الشمس تمدد دائماً، فإنها سوف تغمر بغالبها الناري عطارد، ثم الزهرة، وأخيراً الأرض.

وسيتحول كوكبنا إلى حمرة، تتشبث بعند بدارها حتى بعد احتراقها؛ وستكون غازات الشمس الحارة الحمراء ضعيفة جداً حتى أن الشروط ستقارب فراغاً، يمارس جنباً بسطاً على حركة الأرض.

وجودنا ذاته في الكون هو نتيجة لاستقرار استثنائي لنجم مثل الشمس، التي يمكن أن تشتعل بثبات مع تبدل طفيف على مدى بلايين السنين، وهي فترة طويلة بما يكفي لتطور الحياة وازدهارها. ولكن هذا الاستقرار سينتهي في طور العملاق الأحمر. فالمراحل المترتبة في سيرة نجم كالشمس تكون معددة، وشاذة، وعنيفة، تتراقص بتبدلاته مفاجئة نسبياً في السلوك والمظهر. والنجوم الهرمة قد تقضي ملايين السنين في حالة خفاف، أو تلقي قذائف الغاز. وقد يشتعل الهليوم في نواة النجم لتشكيل الكربون، والنتروجين، والأكسجين -وبذلك تتأمن طاقة حيوية ستساعد النجم فترة أطول. وعن طريق تنفس غلافه الخارجي إلى الفضاء، يمكن لنجم أن ي bowel مصيره إلى التفسر نزواً إلى نواة الكربون-الهيدروجين.

بعد هذه الفترة من النشاط المعقّد، تستسلم النجوم ذات الكتل الصغيرة والمتوسطة، بصورة حتمية، إلى الجاذبية وتنكمش. والانكماس لا يرحم، ويتوالى حتى ينضفط النجم إلى حجم كوكب صغير، الذي يصبح جسمًا يعرفه الفلكيون باسم القزم الأبيض. وبما أن الأقزام البيضاء صغيرة جداً، فإنها تكون معتمة جداً ، على الرغم من حقيقة أن درجات الحرارة على سطوحها يمكن أن تكون أكبر من درجة حرارة الشمس. ولا يرى أحدهما من الأرض بدون مساعدة المنظار.

وقدر شمسنا أن تصبح قرماً أبيضاً في المستقبل البعيد. وعندما تبلغ ذلك الطور، فإنها سوف تبقى حارة على مدى بلايين عديدة من السنين؛ وسيصبح حجمها الضخم مدمجاً جداً إلى حد تاحتل معه حرارتها الداخلية بفعالية أكبر من أفضل العوازل المعروفة. ولكن، بما أن الفرن النووي الداخلي ميفتقاً نهائياً، فلن تكون هناك احتياطيات من الوقود لتعويض التسرب الطبيعي للإشعاع الحراري إلى أعماق الفضاء البارد. ويبطء بالغ الشدة، سوف تبرد وتتعتم بقية القزم الذي كان مرة شمسنا الجبار، حتى تباشر تحولها النهائي، وتتصطب تدريجياً إلى كريستال ذي صلابة استثنائية. وأخيراً، تتلاشى تماماً، وتبتلعها بهدوء ظلمة الفضاء.

الفصل الخامس

حلول الظلام

يتوجه درب التبانة بضوء من منه بلون نجم، وكل واحد منها مقضى عليه بـ الموت، وفي عضون عشرة بلايين سنة، لابد أن يتحجب عن الرؤية معظم مانراء اليوم من تلك النجوم ، بعد أن يقضى نحبه من حاجته إلى الوقود ضحية للقانون الثاني من قوانين الديناميات الحرارية.

ولكن درب التبانة سيواصل توجهه بضوء النجوم، لأنه حتى عندما تموت النجوم، فإن نجوماً جديدة سوف تولد لتحمل محلها. ففي الأذرع الحلوذنية لل مجرات، كالمجرة التي تتوضع فيها شمسنا، تنضيغ السحب الغازية، وتنهار بتأثير الجاذبية، وتنطفىء، وتنتاج شللاً من الولادات النجمية. وتكتفى مجرد لمحه إلى كوكبة الجبار لتكشف عن نشاط هذه الحضانة النجمية. فالنقطة المشوشه من الضوء في وسط سيف الجبار ليست نجماً بل سديماً-سحابة ضخمة من الغاز رصعتها نجوم حديثة لامعة. وعن طريق ملاحظة الإشعاع تحت الأحمر أكثر من الضوء المرئي، لمح الفلكيون الذين كانوا يراقبون هذا السديم مؤخراً نجوماً في المراحل الأولى من التشكل، وما تزال تحيط بها ظلمة من الغاز والغبار.

وسوف يتواصل تشكل النجوم في الأذرع الحلوذنية لمجرتنا طالما كان هناك مليكفي من الغاز. ومحتوى الغاز في المجرة ابتدائي في جزء منه-مادة لم تتكثس بعد إلى نجوم-وفي جزء آخر غاز كان قدّف من نجوم في المستعرات، ورياح نجمية، و gioishanat انفجارية، وعمليات أخرى. ومن الواضح إن إعادة دوران المادة لا يمكن أن يتواصل إلى مالا نهاية. وبما أن النجوم القديمة تموت وتنهار لتصبح أقرااماً بيضاء، أو نجوماً نيوترونية، أو تقوياً سوداء، فإنها ستكون غير قادرة على تجديد الفازات بين النجوم. وستندفع المادة الابتدائية ببطء إلى نجوم، إلى أن تستقر بدورها أيضاً بصورة كلية. وبما أن نجوم الأيام الأخيرة هذه تقضي دورات حياتها وتتسوت، فإن المجرة

ستصبح بعند أكثر إعتماداً. وسيطأول أمد التلاشي التريجي، وسوف تتفاضي بلايين عديدة من السنين قبل أن تكمل أصغر وأحدث النجوم احتراقها وانكماشها إلى أفرزام بيضاء. ولكن اللول الأبدى سيحل بنهاية بطيئة معدنة.

المصير نفسه ينتظر كل المجرات الأخرى المنتشرة عبر الشقوق العميقه التي تتسع باستمرار في الفضاء. والكون، الذي يتوهج حالياً بطاقة غزيرة من القوة النووية، سوف يستنزف في النهاية هذا المصدر القييم. وسينتهي عصر النور إلى الأبد.

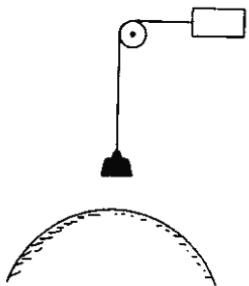
ولكن نهاية الكون لن تأتي مع خمود الضوء الكوني، لأن هناك مصدراً آخر للطاقة أكثر قوّة حتى من التفاعلات النووية. فالجانبية، وهي أضعف قوى الطبيعة في المستوى النووي، تصبح هي السائدة في النطاق الفلكي. وقد تكون لطيفة نسبياً في تأثيراتها، ولكنها، مع ذلك، مستمرة تماماً. فعلى مدى بلايين السنين، تدعم النجوم نفسها ضد وزنها الخاص عن طريق الاحتراق النووي. ولكن الجاذبية تكون طوال هذه المدة بانتظار المطالبة بها.

قوّة الجذب بين بروتونين في نواة ذرية هي فقط عشر تريليون - تريليون (10³⁷) من القوة النووية الشديدة. ولكن الجاذبية تراكمية. فكل بروتون إضافي في نجم ما يضاف إلى الوزن الإجمالي. وفي النهاية، تكون قوّة الجذب طاغية. وهذه القوّة الطاغية هي المفتاح الذي يحرر القدرة الهائلة.

مامن شيء يوضح قوّة الجاذبية بدقة أكثر من الثقب الأسود. هنا، يكون انتصار الجاذبية تاماً، حيث ينسحق نجم إلى العدم ويخلف أثراً في الزمان المكانى المحيط على شكل انحصار زمني لانهائي. هناك تجربة فكرية جذابة فيما يخص الثقوب السوداء. لنتصور أننا ألقينا جسمًا صغيراً - وزن 100 غ، مثلاً - إلى ثقب أسود من مسافة كبيرة. سيفيغ الوزن عن البصر في الثقب ويضيع بحيث لا يمكن استرجاعه. ولكنه يترك أثراً لوجوده السابق في بنية الثقب، الذي يتسع قليلاً جداً نتيجة لابتلاعه للوزن. وبالحساب يتبيّن أنه إذا ألقينا كرة من مسافة كبيرة إلى الثقب، فإن الثقب سيكتسب كمية من الكتلة تساوي الكتلة الأصلية للوزن الملقى. وما من كتلة أو طاقة ثقلت.

والأآن، تعالوا ندرس تجربة مختلفة، فيها ندلّي الوزن ببطء نحو الثقب. ويمكن القيام بذلك عن طريق ربط الوزن بخيط، يمر من فوق بكرة إلى طبلة، ثم نترك الخيط ينحل. انظروا الصورة 5-1. أفترض أن الخيط لا ينتمطط أو ينفل على أي شيء، إنه مجرد

خيال لتفادي تعقيد المناقشة). وعند تدليه الوزن، يمكن أن ينفل طالسة بتشغيل مولد كهربائي موصول إلى الطبلة، مثلاً فكلما أصبح الوزن أكثر قرباً من سطح القطب الأسود، سيكون الجذب التقليلي الذي يمارسه القطب على الوزن أكبر. وعندما ترتفع قوة النزول، فإن الوزن يؤثر أكثر فأكثر على المولد. ويكشف حساب بسيط كم من الطاقة سينقل الوزن إلى المولد عندما يصل إلى سطح القطب الأسود. في الحالة المثالية، يتبيّن أنها كامل طاقة كتلة السكون للوزن. (شرحنا سابقاً مفهوم كتلة السكون).



الصورة 5-1: في هذه التجربة الفكرية المثالية، يتداوى ببطء وزن بواسطة خيط نحو سطح قطب أسود، باستخدام مجموعة بكرة ثابتة (أداة التثبيت غير ظاهرة). وبالتالي، ينجذب القطب النازل عمله وينقل طاقة إلى الملحية. ويقارب إجمالى الطاقة المنقولة كامل طاقة كتلة الوزن في حالة السكون، عندما يقترب الوزن من سطح القطب الأسود.

لنذكر معادلة آينشتاين الطاقة - الكتلة \times مربع سرعة الضوء، التي تقول إن كتلة ما تمتلك كمية من الطاقة هي ناتج ضرب تلك الكتلة بمربع سرعة الضوء. فإذا استخدمنا أحدهم ثقباً أسود، فإنه يمكنه، من حيث المبدأ، أن يستعيد الطاقة بالكامل. وفي حالة وزن 100 غ، فإن كامل الطاقة يعني حوالي ثلاثة بلايين كيلوواط-ساعة من الطاقة الكهربائية. وبالمقارنة، عندما تحرق الشمس 100 غ من الوقود عن طريق الاندماج النووي، فإنها تحرر أقل من 1% من هذا الرقم. وهذا، يمكن، من حيث المبدأ، أن يكون الإطلاق التقليلي للطاقة أكثر قوة بمئة مرة من الاندماج الحراري النسوي الذي يزود النجوم بالطاقة.

من الضروري أن تكون الحالتان المبكرتان اللتان أتينا على وصفهما هنا غير واقعيات لبداً. ولا شك أن الأجسام تسقط باستمرار إلى تقوس سوداء، ولكنها لا تتدلى أبداً من بكرات بالطريقة الأكثر فعالية لاستخلاص الطاقة. عملياً، تصدر قيمة ما تتوسط بين الصفر و 100% من طاقة كثافة السكون. ويعتمد الجزء الحقيقي على الظروف الفيزيائية. وقد عكف علماء الفيزياء الفلكية، على مدى العقود الماضيين، على دراسة مجموعة واسعة من الأشیاء الحاسوبية والنمذج الأخرى الرياضية في محاولة لهم سلوك الغاز عندما يدور مدوماً إلى ثقب أسود وتغير كمية الطاقة المحررة ونمزجها. العمليات الفيزيائية المتضمنة معقدة جداً، مع ذلك، من الواضح أن الكميات الضخمة من الطاقة التالية يمكن أن تتدفق من هذه المنظومات.

إن مشاهدة واحدة تستحق إجراء ألف عملية حسابية، وقد قام الفلكيون ببحوث مكثفة بخصوص الأجسام التي يمكن أن تكون تقوياً سوداء في عملية التهام المادة. وعلى الرغم من أنه لم يتم حتى الآن اكتشاف تقب أسود مرشح على نحو مدقع تماماً، فإن منظومة واحدة واحدة جداً، كما يبدو، تتوضع في كوكبة الدجاجة وتعرف باسم الدجاجة X-1. ويكتشف منظار بصري نجماً كبيراً حاراً من النوع الذي يعرف باسم عملق أزرق، بسبب لونه. وتشير الدراسات المطابقية إلى أن النجم الأزرق ليس وحيداً، إنه يوادي اهتزازات إيقاعية، وهي دلالة على أن نجماً قريباً يشده بجاذبيته بصورة دورية. من الواضح أن النجم وجسماً آخر يدوران في مدار مغلق كل منهما حول الآخر. ولكن المناظير البصرية لم تكتشف علامات للرفيق: قد يكون جسماً أسود أو نجماً مدمجاً معتملاً جداً. وهذا يوحى بتقب أسود، ولكنه لا يعتبر برهاناً أبداً.

تُقْدِّرَات كثة الجسم الأسود تليلاً إضافياً. ويمكن استنتاج هذا من قوانين نيوتن، أي عندما نعرف كثة النجم العملاق الأزرق - التي يمكن أن تقدرها بسبب العلاقة الوثيقة بين كثة نجم ولوته: النجوم الورقاء حارة ولذلك تكون كبيرة الكثافة. وتشير الحسابات إلى أن للجسم المراافق غير المرئي كثة تعادل عدة شموس. ومن الواضح أنه نجم صغير عادي ومعتم، ولهذا لا بد أن يكون نجماً ضخماً منهاهأـ قد يكون قرزاً أبيضاً، أو نجماً نيوترونياً، أو ثقباً أسود. ولكن هناك أسباب فيزيائية أساسية لا يمكن معها لـهذا الجسم الدمج الضخم أن يكون قرزاً أبيضاً أو نجماً نيوترونياً. وتتمثل المشكلة بشدة بمحال الجاذبية الذي يحاول أن يسحق الجسم. ويمكن تفادي الانهيار الكامل للنجم الأسود فقط

في حال وجود نوع ما من ضغط داخلي، قوي بما يكفي لمقاومة قوة ضغط الجاذبية. ولكن إذا كان الجسم المنهاج يعاني عدة كتل شمسية، فإنه مامن قوة معروفة يمكن تقاويم تقل السحق الذي تحمله مادتها. والحقيقة أنه إذا كانت نواة النجم صلبة بما يكفي لتفادي انسحاقها، عندئذ يجب أن تتجاوز سرعة الصوت في المادة سرعة الضوء. وبما أن هذا ينافي نظرية النسبية الخاصة، فإن معظم الفيزيائيين والفلكيين يعتقدون أن تكون ثقب أسود حتى في ظل هذه الظروف.

يأتي الجزء الثابت للدليل من مشاهدة مختلفة تماماً على أن كوكبة الدجاجة X-1 تحتوي على ثقب أسود. فقد أطلقت عليها تسمية X-1 لأن المنظومة مصدر قوي لأشعة X، التي يمكن اكتشافها بواسطة أجهزة إحساس تحملها أقمار صناعية. وتقدم النماذج النظرية وصفاً مقنعاً لأشعة X هذه يقوم على افتراض أن الجسم المرافق المظلم في كوكبة الدجاجة X-1 هو ثقب أسود. ومجال الجاذبية المحسوب قوي بما يكفي لامتصاص المادة من النجم العملاق الأزرق. وعندما تُسحب الغازات المخطوفة نحو الثقب والنسيان النهائي -إن الدوران المداري للمنظومة يسبب هبوط المادة لكي تدور حول الثقب الأسود وتشكيل فرسن. وفرض من هذا النوع لا يمكن أن يكون مستقراً تماماً، لأن المادة القريبة من المركز تدور حول الثقب الأسود بسرعة أكبر من المادة القريبة من الإطار الخارجي، ويستحاحل القوى اللزجة تهدئة الدوران التفاضلي. وبالتالي، يتسرّع الغاز إلى درجة مرتفعة بما يكفي لإصدار الضوء فقط ولكن أشعة X. وقد ان

الطاقة المدارية يجعل الغاز يتحرك ببطء بصورة حلزونية إلى الثقب.

ولهذا السبب، فإن الدليل على وجود ثقب أسود في كوكبة الدجاجة X-1 يعتمد على سلسلة طويلة إلى حد ما من الاستنتاج، بما في ذلك التفاصيل العيانية والصياغة النظرية. وهذا نموذجي بالنسبة لطبيعة معظم البحث في هذه الأيام؛ فليس هناك جزء واحد من دليل ملزم، ولكن مختلف الدراسات لكوكبة الدجاجة X-1، إذا تناولناها مجتمعة، تشير بقوة إلى وجود ثقب أسود. ولا شك في أن تعليل التقويم السوداء تعليلاً متقدماً أكثر مما هو مبتكر.

يمكن أيضاً توقع تأثيرات أكثر إثارة من نشاطات تمارسها ثقوب سوداء أكبر. وفي هذه الأيام، يبدو من المحتمل أن الكثير من المجرات تحتوي في مراكزها على ثقوب سوداء فائقة الضخامة. والدليل على هذا هي سرعة الحركة التي تعرضها النجوم في هذه

النوى المجرية؛ فالنجوم تبدو وكأنها تُسحب نحو جسم قوي الجذب، مدمع بدرجة عالية. وتتراوح تقديرات كتلة هذه الأجسام المحتملة من عشرة ملايين إلى بليون كتلة شمسية؛ وهذا يعطيها شهية نهمة بخصوص أية مادة شاردة قريبة منها. وربما تقع كافة النجوم ، والكواكب ، والغازات ، والغبار ضحية لهذه الوحش. وعنف عملية السقوط لابد أن يكون ، في بعض الحالات ، كبيراً بما يكفي لتشویش كامل بنية المجرة. يعرف الفلكيون الكثير من أنواع النوى المجرية النشطة. فبعض المجرات تعرض مظهر التفجر حرفياً؛ والكثير منها مصادر فعالة للموجات اللاسلكية ، وأشعة X ، وأشكال أخرى من الطاقة. وأكثرها تمييزاً صنف من المجرات النشطة التي تنتج ثفاثات هائلة من الغاز-ثفاثات بطول آلاف أو حتى ملايين السنوات الضوئية. وتنتج بعض هذه الأجسام مذهل . فعلى سبيل المثال ، إن النجوم الزائفة Quasars البعيدة جداً -اسم مختصر لأجسام شهية بالنجوم -يمكن أن تصدر من الطاقة بمقدار ماتصدره آلاف المجرات ، حتى من منطقة صغيرة بعرض سنة ضوئية ، مما يعطيها مظهراً خارجياً كمظهر النجوم.

يظن الكثيرون من علماء الفلك أن المحرّكات المركزية لكافة هذه الأجسام المزمرة إلى حد خطير هي ثقوب سوداء ضخمة دائرة ، تقوم بعملية هضم المادة القريبة منها. وأية نجوم تقترب من ثقب أسود يتحمل أن يمزقها إرباً بجانبيه أو تتحطم نتيجة لاصطدامها بنجوم أخرى. وكما في حالة كوكبة الدجاجة X-1 ، إنما على نطاق أوسع ، ربما تشكل المادة الموزعة فرضاً من الغاز الحار يدور حول الثقب ويغوص ببطء إلى داخله. فقد أعلن في شهر مايس عام 1994 أن منظار هبل الفضائي اكتشف فرضاً من الغاز يدور بسرعة في مركز المجرة $87M$. وتشير المشاهدات بقوة إلى وجود ثقب أسود فائق الصخامة.

قد يحدث أن تجري الطاقة الغزيرة المنطلقة من قرص الغاز الذي يتندق على الثقب الأسود على طول محور دوران هذا الثقب ، فتسبب ، كما يلاحظ غالباً ، ثفاثات مزدوجة في اتجاهين متراكبين. هذه الآلية لإطلاق الطاقة ، وتشكل الثفاثات ، يتحمل أن تكون معقدة جداً ، وتتطلب قوى كهرومغناطيسية ، ولزجة وغيرها إضافة إلى الجاذبية. ويبقى الموضوع مادة للبحث المكثف ، النظري والعياني.

وماذا عن درب التبانة؟ هل يمكن أن تتمزق مجرتنا بهذه الطريقة؟ يقع مركز درب التبانة على بعد ثلاثة ألف سنة ضوئية ، في كوكبة القوس والرامي. تحجب المناطق

الداخلية سحب كبيرة من الغاز والغبار، ولكن المعدات اللاسلكية، وأشعة X، وأشعة ثاما، والأشعة تحت الحمراء ساعدت الفلكيين على تمييز وجود جسم نشط جداً ومدمج بدرجة عالية يدعى كوكبة القوس والرامي A. وعلى الرغم من أن كوكبة القوس والرامي A ليست أكبر من بضعة ملايين كيلومتر عرضاً (صغريرة بالمعايير الفلكية)، فإنها المصدر الإشعاعي الأكثر فعالية في المجرة. ويتافق موقعها مع موقع مصدر الأشعة تحت الحمراء البالغة الشدة، وقريبة أيضاً لجسم غير عادي لأشعة X. ومع أن الحالа معقدة، فإن الاحتمال يتزايد بوجود قلب أسود واحد ضخم، على الأقل، يسترصد هناك وهو المسؤول عن شيء من الظاهرة المنظورة. مع ذلك، ربما تكون كتلة القلب عشرة ملايين كتلة شمسية على الأكثر، مما يجعلها تماماً في أسفل مدى الضخامة الفانقة. وليس هناك دليل على وجود نوع من العنف في إصدار الطاقة والمادة التي تظهر في بعض النوى الأخرى المجرية، ولكن قد يكون هذا لأن القلب الأسود في طور هدوء حالياً. ويمكن أن تثور ثائرته في مرحلة ما في المستقبل - ربما إذا استقبل إمداداً أكبر من الغاز - مع أنه ربما لا يكون تزويقاً لكثير من المنظومات الأخرى المعروفة. وما تمارسه ثورة بهذه من تأثير على النجوم والكواكب في الأذرع اللولبية للمجرة غير معروفة.

يواصل قلب أسود إطلاق طاقة الكتلة الساكنة للمادة الضحيبة طالما كانت هناك مادة مجاورة له يتغذى بها. وبمرور الزمن، تلتهم التقوب السوداء المزيد والمزيد من المادة، ونتيجة لذلك، تصبح التقوب أكبر وأكثر جوحاً. وأخيراً، تستسلم حتى النجوم في المدارات البعيدة جداً حول القلب. والسبب هو ظاهرة ضعيفة جداً ومع ذلك فهي حاسمة في النهاية وتعرف بإشعاع الجذب.

بعد أن وضع آينشتاين نظريته العامة في النسبة عام 1915 بوقت قصير، اكتشف خاصية مهمة لمجال الجاذبية. فقد اكتشف، من دراساته لمعادلات نظرياته في المجالات، أنها تتباين بوجود ندببات جذب تشبه الموجات تنتشر بسرعة الضوء عبر مكان فسارغ. يذكر هذا الإشعاع الجذبي بالإشعاع الكهرومغناطيسي، كالموجات الضوئية واللاسلكية. ولكن إشعاع الجذب، مع أنه يمكن أن يحمل قدراً كبيراً من الطاقة، فإنه يختلف عن الإشعاع الكهرومغناطيسي في القوة التي يشوش بها المادة. وفي حين أنه يتم بسهولة امتصاص موجة لاسلكية من قبل بنية هشة كشبكة أسلاك، فإن تفاعل موجة الجذب ضعيف جداً حتى أنها تمر مباشرة عبر الأرض بدون أي نقص تقريباً. إذا استطاع المرء أن يصنع ليزراً

جذبياً، فإنه سيحتاج إلى حزمة شعاعية بقدرة تريليون كيلوواط لكي يغلي ماء إيريق شاي من الماء بصورة فعالة كوشيعة كيلوواط واحد كهربائية. يمكن تتبع أثر الصاعف النسبي لإشعاع الجذب إلىحقيقة أن الجاذبية هي القوة الأضعف بكثير بين القوى المعروفة في الطبيعة. فعلى سبيل المثال، ابن نسبة قوى الجذب إلى القوى الكهربائية في الذرة هي 10^{-40} تقريباً. والسبب الوحيد الذي يجعلنا نلاحظ الجاذبية هو أن تأثيراتها تراكمية، ولهذا فهي تسسيطر في أجسام كبيرة كال惑اكب.

موجات الجنب ضعيفة جداً ليس فقط بتأثيراتها ولكن في إنتاجها أيضاً. مبدئياً، يتم إنتاج الإشعاع الجنبي عندما تُشوش الكتل. فعلى سبيل المثال، تصدر عن حركة الأرض حول الشمس سلسلة متواصلة من موجات الجنب، ولكن النتاج الكلي لقدرة هذه الموجات هو ميليوواط واحد فقط! يسبب هذا الصرف للطاقة تفكك مدار الأرض، ولكن بسرعة بطيئة إلى حد مضحك: حوالي ألف/تريليون سنتيمتر في العقد.

مع ذلك، تختلف الحالة إلى حد مثير فيما يخص الأجسام الفلكية التي تتحرك بسرعة قريبة من سرعة الضوء. فهناك نوعان من الظواهر يحتمل أن تؤدي إلى تأثيرات مهمة، جذبية-إشعاعية. وأحد هذه التأثيرات هو حادث عنيف مفاجيء-مستعر، أو انهيار نجم لتشكل ثقب أسود. يؤدي حادث كهذا إلى إصدار نبضة قصيرة الأجل من الإشعاع الجنبي، تستمر ربما بضعة أجزاء من مليون من الثانية وتجرف نموذجياً 10^{44} جولاً من الطاقة. (قارن هذا بإنتاج الشمس من الحرارة الذي يبلغ 3×10^{26} جولاً تقريباً في الثانية). والظاهرة الأخرى هي حركة عالية السرعة لأجسام ضخمة في مدار حول بعضها بعضاً. فعلى سبيل المثال، ستولد مجموعة من النجوم المزدوجة المتباude على نحو متداول تتفقاً كبيراً متواصلاً من الإشعاع الجنبي. هذه العملية فعالة، خصوصاً، إذا كانت النجوم الدائنة أجساماً منهارة، كالنجوم النيوتونية أو الثقوب السوداء. هناك، في كوكبة العقاب، نجمان نيوترونيان يدوران على بعد بضعة ملايين من الكيلومترات فقط من بعضهما. ومجلاً جاذبيهما قويان جداً إلى درجة معها يكتمل كل مدار في أقل من ثمان ساعات، وهذا تحرك النجوم بجزء محسوس من سرعة الضوء. هذه الحركة السريعة غير العادية تضخم، إلى حد كبير، سرعة إصدار موجات الجنب، وتسبب تفكك المدار بمقدار سنوي يمكن قياسه (تغيير 75 ميكروثانية تقريباً في الفترة). وستزداد

سرعة الإصدار عندما تدور النجوم حلزونياً مع بعضها بعضاً، فهي مقدرة لها أن تصطدم ببعضها بعضاً بعد ثلاثة مليون سنة من الآن.

يقدر الفلكيون أن مجموعة نجوم مزدوجة من هذا النوع تلتجم مرة تقريباً كل مئة ألف سنة في كل مجرة. خلال اللحظات الأخيرة التي تسبق اصطدامها، تكون النجوم مدمنجة جداً، ومجالات جاذبيتها قوية جداً، ولذلك سوف تدور حول بعضها بعضاً آلاف المرات في الثانية، وسيزداد تواتر موجة الجذب بزفرقة مميزة. تنبأ معدلات آينشتاين بأن نتاج قوة الجذب سيكون هائلاً في الطور النهائي هذا، وسينهار المدار بسرعة. وسوف يتسمى بشده شكل النجوم تحت تأثير الدفع المتباين، حتى أنها سوف تبدو، في الوقت الذي تتلامس به، كمجموعة سيجار تدور بسرعة. والالتحام الناتج سيكون حدثاً مشوشاً، حيث يندمج النجمان لتشكيل كتلة معقدة، تتب بجنون، وتقوم أيضاً بإرسال إشعاع جذبي بغزاره حتى تستقر بشكل كروي تقريباً، ترن وتتارجع كجرس مهول بطريقة اهتزازية مميزة. وستتخرج هذه الالتحامات أيضاً كمية محددة من الإشعاع الجذبي، مستترفة الجسم من مزيد من الطاقة، حتى يبدأ ويصاب بالخمول في النهاية.

وعلى الرغم من أن سرعة فقدان الطاقة بطئية، فإن إصدار الإشعاع الجذبي يحتمل أن يمارس تأثيرات عميقة طولية الأجل على بنية الكون. ولهذا السبب، من المهم أن يحاول العلماء إثبات فكرتهم حول هذا الإشعاع عن طريق الملاحظة. تظهر الدراسات لمنظومة النجوم النيوترونية المزدوجة في كوكبة العقارب أن المدار يتفكك بدقة بالسرعة التي تنبأت بها نظرية آينشتاين. ولذلك، فإن هذه المنظومة تؤمن دليلاً مباشراً على إصدار الإشعاع الجذبي. ولكن اختباراً حاسماً أكثر يتطلب تحري هذا الإشعاع في المختبر على سطح الكره الأرضية. وقد قام كثير من مجموعات البحث بتنصيب أجهزة مصممة لتسجيل المرور السريع لصفحة من الموجات الجذبية، ولكن أيّاً من هذه المعدات، حتى الآن، لم يكن حساساً بما يكفي لاكتشاف أي شيء من هذا القبيل، ويحتمل أنه يتوجب علينا انتظار جيل جديد من المستكشفين قبل أن يصبح بالإمكان إثبات وجود الإشعاع الجذبي تماماً.

قد ينبع التحام نجمين نيوترونين إما نجماً نيوترونياً كبيراً أو ثقباً أسود. والتحام نجم نيوتروني وثقب أسود، أو التحام ثقبين أسودين، يجب أن ينبع ثقباً واحداً أسود. وهذه العملية يجب أن تترافق بفقدان طاقة موجات جذبية كما في حالة النجوم النيوترونية

المزدوجة، يتبعه رنين معقد وحركات متارجحة، تتصاول بيته تحت تأثير فقدان قدرة موجات الجذب.

من المهم العمل على استقصاء الحدود النظرية لطاقة الجذب التي يمكن استخلاصها من تقيين أسودين أثناء الالتحام. وقد وضعَت تفاصيل نظرية هذه العمليات من قبل روجر بنزروز، وستيفن هوكنغ، وبراندون كارتر، وريمو روفيني، ولاري سمار، وأخرون في مطلع السبعينيات (القرن الماضي-المترجم). فإذا كانت التقويم غير دوارة ومتماطلة في الكتلة، فإنه يمكن أن يتحرر حوالي 29% من إجمالي طاقة الكتلة في وضع السكون. ولا حاجة إلى أن تكون هذه الطاقة كلها على شكل إشعاع جبلي إذا ما عولجت التقويم السوداء بطريقة ما-بنوع ما من تقنية متقدمة مثلـ ولكن معظم الطاقة المنطلقة، في اندماج طبيعي، ستكون في هذا الشكل الذي يفتقر إلى الوضوح التام. وإذا كانت هذه التقويم تدور بالسرعة الفصوى التي تسمح بها قوانين الفيزياء (سرعة الضوء، تفريجاً) والدوران المعاكس المتندمج على امتداد محاور دورانها، فإنه يمكن أن تصدر 50% من طاقة الكتلة.

حتى هذا الجزء الضخم ليس هو الحد الأقصى النظري. ومن الممكن أن يحمل التقب الأسود شحنة كهربائية. وللتقب الأسود المشحون حقل كهربائي إضافي إلى حقل مغناطيسي، وكلاهما يمكن أن يختزلنا الطاقة. فإذا واجه تقب أسود إيجابي الشحنة تقباً أسود سلبي الشحنة، عندئذ يحدث ‘تفريغ’، فتتحرر في العملية طاقة كهرطيسية إضافية إلى طاقة جنبية.

هذا حد لهذا التفريغ، لأن تقباًأسوداًلكتلة مفترضة يمكن أن يحمل شحنة كهربائية تصل فقط إلى قيمة ما أعظمية. هذه القيمة، بالنسبة للتقب غير دوار، يحددها الاعتبار التالي. لنتصور تقيين متماطلين يحملان الشحنة نفسها. يسبب حلقلاهما الجذباني قوة جذب بينهما، في حين يسبب حلقلاهما الكهربائيان قوة دفع (متلما تدفع الشحنات). فعندما تبلغ نسبة الشحنة إلى الكتلة قيمة حرجة، فإن هاتين القوتين المتعارضتين سوف تتوازنان تماماً، ولن تكون هناك قوة صافية بين التقيين الأسودين. هذه الحالة هي التي تميز الحد لكمية الشحنة الكهربائية التي يمكن أن يحتويها تقب أسود. وقد يتسع المرء حول ما يمكن أن يحدث لو أنه حاول أن يزيد الشحنة على التقب الأسود إلى أكثر من هذه القيمة الأعظمية. هناك طريقة واحدة للقيام بهذه المحاولة هي إجبار شحنة أكبر بالالتزول

إلى التقب. سيعمل هذا الإجراء على زيادة الشحنة الكهربائية، ولكن العمل المنجز في التغلب على الشحنة الكهربائية يستخدم طاقة، وهذه الطاقة تصل إلى التقب. وبما أن للطاقة كتلة (لتذكر أن الطاقة = الكتلة \times مربع سرعة الضوء)، فإن التقب يصبح أكثر ضخامة، وبالتالي أكبر. ويُظهر حساب بسيط أن الكتلة تصعد، في هذه العملية، بأكثر من الشحنة، وبالتالي تقص نسبـة الشحنة إلى الكتلة، وتفشل محاولة التغلب على الحد.

يسهم المجال الكهربائي لتقب أسود مشحون إلى إجمالي كتلة التقب. وفي حالة تقب يحمل أقصى كتلة مسموحة، فإن المجال الكهربائي يمثل نصف الكتلة. إذا كان تقبان غير دائرين يحملان الشحنة القصوى ولكنهما متعاكسي الإشارة، فإن كلاً منها سيجذب الآخر ثالثاً وكهرطيسياً في وقت واحد. وعندما يندمجان، فلن الشحنات الكهربائية ستتعادل، ويمكن أن تُستخلص الطاقة الكهربائية. ونظرياً، يمكن أن تصل الطاقة المستخلصة إلى 50% من إجمالي طاقة الكتلة في المنظومة.

نحصل على الحد الأعلى المطلق لاستخلاص الطاقة إذا كان كلا الحقلين يدوران وشحنتاهما الكهربائيتين مختلفتين، كل منها إلى القيمة القصوى. وعندئذ، يمكن أن يتحرر ثلثا الطاقة الإجمالية للكتلة. وبطبيعة الحال، إن أهمية هذه القيم نظرية فقط، لأن التقب الأسود عملياً لا يتوقع له أن يحمل شحنة كهربائية كبيرة، ولا يحتمل أن يندمج تقبان بطريقة مثل، مالم يكونا قد أعداً لذلك من قبل مجتمع تقني متقدم. ولكن، حتى الاتساع غير الفعال لتقبين أسودين ربما يسبب، بطريقة ما، تحرير طاقة فورية، تبلغ جزءاً منها من إجمالي طاقة الكتلة للأجسام صاحبة العلاقة. ويمكن مقارنة هذه الكمية من الطاقة بتلك الكمية الزهيدة المقدرة بـ 1% من طاقة الكتلة التي تصدرها النجوم عن طريق الاتساع النووي خلال حياتها التي تستمر عدة بلايين من السنين.

تُكـنـ أهمية هذه العمليـاتـ الجنـيـةـ فيـ أنـ النـجـمـ المـحـترـقـ،ـ بـصـرـفـ النـظـرـ عـنـ الموـتـ،ـ يـنـمـعـ،ـ وـهـوـ كـجـمـرـةـ نـهـارـةـ،ـ بـإـمـكـانـيـةـ إـطـلـاقـ كـمـيـةـ مـنـ طـاقـةـ أـكـبـرـ بـكـثـيرـ مـاـ يـطـلـقـهـ،ـ وـهـوـ كـرـكـةـ مـتـوهـجـةـ مـنـ الغـازـ،ـ تـحـتـ تـأـثـيرـ عـمـلـيـاتـ نـوـوـيـةـ حـرـارـيـةـ.ـ عـنـدـماـ لـوـحـظـتـ هـذـهـ الـحـقـيقـةـ قـبـلـ عـشـرـيـنـ سـنـةـ تـقـرـيـباـ،ـ كـوـنـ الـفـيـزـيـاتـيـ جـوـنـ وـيلـرـ الـرـجـلـ الـذـيـ اـبـنـكـرـ أـصـلـاـ عـبـارـةـ تـقـبـ أسـودـ،ـ فـكـرـةـ عـنـ حـضـارـةـ اـفـتـراـضـيـةـ قـادـهاـ تـزـايـدـ حاجـاتـهاـ مـنـ طـاقـةـ إـلـىـ أـنـ تـهـجـرـ نـجـمـهاـ وـتـتـذـخـلـ مـسـكـنـاـ لـهـاـ حـولـ تـقـبـ أسـودـ دـائـرـ.ـ كـانـ يـجـريـ يومـياـ تـحـمـيلـ فـضـلـاتـ الـمـجـتمـعـ فـيـ شـاحـنـاتـ وـإـرـسـالـهـاـ نحوـ تـقـبـ عـلـىـ مـسـارـ مـنـحنـ مـحـسـوبـ بدـقـةـ.ـ وـيـتمـ تـحـرـيرـ مـحتـويـاتـ

الشاحنات قرب الثقب، بقلب الفضلات إليه، وهي وسيلة للتخلص منها إلى الأبد. تملأس المادة المساقطة، التي تنتقل على امتداد طريق دائري معاكس لحركة الثقب الزاوية، تائراً كابحاً إلى حد ما. ونتيجة لذلك، تتحرر الطاقة الدورانية للثقب، ويمكن أن تستخدمها الحضارة لتزويد صناعتها بالطاقة. ولهذا السبب، فإن هذه العملية تميز بفضيلة مزدوجة هي أنها تخلصنا تماماً من كل النفايات عن طريق تحويلها إلى طاقة صرفاً وبهذه الطريقة، يمكن للحضارة أن تحرر عند الطلب من نجم ميت إمداداً من الطاقة أكبر بكثير مما يصدره النجم في طوره المنير.

ومع أن استعمال طاقة ثقب أسود هو سيناريو من سيناريوهات الخيال علمي، فإن قدرأً كبيراً من المادة سيؤول مصيره إلى داخل الثقب الأسود بصورة طبيعية- إما كجزء من النجم الذي ينهار ليشكل ثقباً أو كحطام يبتلع أشلاء مواجهة عارضة. عندما ألقى محاضرات حول الثقوب السوداء، فإن الكثيرين من الناس يريدون دائماً أن يعرفوا ما الذي يحدث للشيء الذي يدخل أحد تلك الثقوب. ونجيب بايجاز: لانعرف. ففهمنا الراهن للثقب السوداء يقوم على أساس دراسات نظرية وصياغة رياضية. ونحن، في الواقع، لايمكنا أن نشاهد داخلاً الثقب الأسود من الخارج، وحتى لو تهيا لنا مائةً جيداً إليه (وهو أمر ليس متاحاً)، فإنه لايمكنا أبداً أن نعرف ما يجري داخله. مع ذلك، يمكن أيضاً استخدام نظرية النسبية، التي تتبعاً بوجود الثقب السوداء أولأ، للتتبُّو بما يحدث لرائد فضاء يسقط في أحد الثقوب. وما يتبع ذلك هو خلاصة لتلك الاستنتاجات النظرية.

سطح الثقب، في الواقع، ليس أكثر من تركيب رياضي-ليس هناك غشاء حقيقي، بل فقط حيز فارغ. ورائد الفضاء الذي يسقط فيه لن يلاحظ شيئاً مختلفاً على نحو خاص عندما يعبر إلى الثقب. ومع ذلك، يتمتع السطح بأهمية فيزيائية أكيدة-ومثيرة إلى حد ما- الجاذبية داخل الثقب قوية جداً حتى أنها تحبس الضوء، وتتشدّد الفوتونات الراحلة وتعيدها إليه. هذا يعني أن الضوء لايمكنه أن يفلت من الثقب، ولهذا يبدوأسوداً من الخارج. وبما أنه لايمكن لجسم أو معلومات فيزيائية أن تتنقل بسرعة أعلى من سرعة الضوء، فإنه لايمكن لشيء أن يفلت من الثقب الأسود بعد عبور هذا الحد. والحوادث التي تقع داخل الثقب تبقى إلى الأبد محجوبة عن المراقب الخارجي. ولهذا السبب، يطلق على سطح الثقب اسم ‘افق الحوادث’-لأنه يفصل الحوادث على السطح الخارجي، التي يمكن ملاحظتها من بعيد، عن تلك على السطح الداخلي، التي لايمكن مشاهدتها. ولكن النتيجة

هي فقط طريق وحيدة الاتجاه. ويمكن لرائد الفضاء داخل أفق الحوادث أن يواصل رؤية خارج الكون، مع أنه لا يمكن لأحد هناك أن يراه.

عندما يغوص رائد الفضاء إلى عمق أكبر داخل القطب، يرتفع مجال الجاذبية. ونتيجة لذلك، يتضيق الجسم. فإذا سقط رائد الفضاء بقيمته أولًا، فإن القدمين سيكونان أقرب من الرأس إلى مركز القطب، حيث تكون الجاذبية أقوى. ونتيجة لذلك، تتسحب قدمًا رائد الفضاء نزولاً بشدة أكبر، ويتمدد جسمه طولاً. وفي الوقت نفسه، ينشد الكفان نحو مركز القطب على مسالك تتجه نحو نقطة واحدة، وهكذا يكون رائد الفضاء منضغطاً بالعرض. ويشير أحياناً إلى عملية المط والانضغاط هذه بـ خيال السباغيتي.

ترى النظرية أن الجاذبية ترتفع بدون حد عند مركز القطب الأسود. ولأن مجال الجذب يتظاهر كأنهاء، أو التواء للزمان المكاني، فإن تصاعد الجاذبية يتراافق بانحساء الزمان المكاني الذي يرتفع أيضًا بدون حد معروف. ويشير علماء الرياضيات إلى هذه السمة كـ شذوذ زماني مكاني. إنه يمثل حداً، أو حافة، للمكان والزمان لا يمكن أن يتواصل من خلاله المفهوم السوي للزمان المكاني. يعتقد كثير من الفيزيائيين أن الشذوذ داخل قطب أسود يمثل بإخلاص نهاية المكان والزمان، وأن آية مادة تواجهه ستتحقق تماماً. فإذا صبح ذلك، فإنه حتى الذرات في جسم رائد الفضاء ستلتاشى إلى الشذوذ، في جزء من ألف مليون من الثانية من خيال السباغيتي الفائق.

إذا كان لقطب أسود كتلة مليون شمس—القطب الذي يقع عند مركز درب التبانة—وغير دائري، عندئذ، يكون الأمد الذي يخربه رائد الفضاء في سقوطه من أفق الحوادث إلى شذوذ الفناء سيمتد ثلاثة دقائق تقريباً. ستكون هذه الدقائق الأخيرة الثلاث متعبة جداً، فمن حيث المبدأ، إن خيال السباغيتي سيقتل الشخص العاشر الحظ قبل وصوله إلى الشذوذ بمدة طويلة. وأثناء هذا الطور النهائي، سيكون رائد الفضاء، في كل حالة، غير قادر على رؤية الشذوذ المهالك، لأن الضوء لا يمكن أن يفلت منه. إذا كان لقطب أسود الذي نحن بصددده كتلة تعادل فقط كتلة شمس واحدة، فإن نصف قطره يكون 3كم تقريباً، وتستغرق الرحلة من أفق الحوادث إلى الشذوذ فقط بضعة أجزاء من مليون من الثانية.

عندما يقترب رائد الفضاء من أفق الحوادث، فإن سرعة الحوادث في الجوار تبدو للمرأقب البعيد وكأنها أخذة في التباطؤ. وفي الواقع، يبدو وكان رائد الفضاء سيسתרفق مدة لانهائية من الزمن لكي يصل إلى الأفق. وهكذا، فإن كل مايساوي الخلود في

المناطق البعيدة من الكون يخُبِّرُه رائد الفضاء دفعة واحدة. ومن هذه الناحية، فإن التقى الأسود هو نوع من بوابة إلى نهاية الكون، زقاق كوني مسدود يمثُل مخرجاً إلى لامكان. فتقبأسود هو منطقة صغيرة من الفضاء تحتوي على نهاية الزمن. وبالقفز داخل واحد من هذه التقوب، يمكن لأولئك الذين يهتمون بنهاية الكون أن يخْبِرُوا بذلك مباشرة بأنفسهم ومع أن الجاذبية هي أضعف بكثير من كافة قوى الطبيعة، فإن عملها المخالٍ والتراتيمي يعمل لتقرير المصير النهائي ليس فقط للأجسام الفلكية المستقلة بل أيضاً للكون ككل. ويعتمد ناتج شدة هذا الجذب الكوني بدقة على إجمالي كمية المادة الموجودة لممارسة الجذب التالي. ولاكتشاف ذلك، يجب علينا أن نقوم بوزن الكون.

وزن الكون

كثيراً ما يقال إن ما يرتفع لا بد أن يهبط. فالشد الذي تمارسه الجاذبية على جسم يقتضي نحو السماء بعمل على كبح طيرانه ويجذبه لإعادته إلى الأرض. ولكن هذا لا يحدث دائماً. فإذا كانت السرعة التي يتحرك فيها الجسم كافية، فإنه يمكن أن يفلت من جاذبية الأرض تماماً ويتطاير إلى الفضاء، ولن يعود أبداً. فالصواريخ التي تطلق السفن الفضائية السيارة تنجح في الوصول إلى مثل هذه السرعة العالية.

تصل 'سرعة الإفلات' الحرجية إلى 11 كم/ثا تقريباً (25000 ميل/سا)- أكثر من سرعة الكونكورد بعشرين مرة. نحصل على هذا الرقم الحرج من كثة الأرض- أي، كمية المادة التي تحتويها- ومن نصف قطرها. وكلما كان جسم كثة مفترضة أصغر، كانت جاذبية سطحه أكبر. والإفلات من المنظومة الشمسية يعني التغلب على جاذبية الشمس؛ وتبلغ السرعة اللازمة للإفلات 618 كم/سا. والإفلات من درب التبانة يحتاج أيضاً إلى سرعة مقدارها بضع مئات الكيلومترات في الساعة. وفي الطرف الآخر، يتطلب الإفلات من جسم مدمج، كنجم نيوتروني، سرعة تصل إلى 10000 كم/ثا، أما السرعة اللازمة للإفلات من جسم أسود فتصل إلى سرعة الضوء (300,000 كم/ثا).

وماذا عن الإفلات من الكون؟ الكون، كما بینت في الفصل الثاني، ليس له حافة كما يبدو للإفلات منها، ولكن إذا ادعينا أن له مثل تلك الحافة، وأنها تقع عند الحد الذي تتوقف عنده مشاهدتنا (على بعد خمسة عشر بليون سنة ضوئية تقريباً)، عندئذ، ستكون سرعة الإفلات بحدود سرعة الضوء. هذه النتيجة بالغة الأهمية، لأن أكثر المجرات القاسية تتراجع عنا بسرعة قريبة من سرعة الضوء. فإذا وضعنا القيمة الإسمية في اعتبارنا، فإن المجرات تتطاير مبتدة، كما يبدو، بسرعة كبيرة حتى لكانها يمكن أن تفلت، فعلاً من الكون أو، على الأقل، من بعضها بعضاً ولن تهبط أبداً.

وفي الواقع الحال، يتبيّن أن توسيع الكون يسلك بطريقة تشبه، إلى حد بعيد، سلوك جسم يفلت من الأرض، حتى لو لم يكن هناك حافة واضحة. فإذا كانت سرعة التوسيع كبيرة

بما يكفي، فإن المجرات المترابطة سوف تقللت من الجاذبية التراكمية لكل مادة أخرى في الكون، وسيتواءل التوسيع إلى الأبد. وبالمقابل، إذا كانت سرعة التوسيع بطيئة جداً، فإنه سيتوقف في النهاية وسيبدأ الكون بالانقلاب. وعندئذ، ستعود المجرات إلى ‘الهيوبط’ من جديد، وستعقب ذلك الكارثة الكونية النهائية، عندما ينهاي الكون.

أي واحد من هذه السيناريوهات هو الذي سوف يحدث؟ يعتمد الجواب على مقارنة رقمين. فهناك، من ناحية، سرعة التوسيع، ومن ناحية أخرى، هناك إجمالي الجذب الناتجلي للكون في الواقع، وزن الكون. فكلما كان الجذب أقوى، وجب أن يكون توسيع الكون أكثر سرعة لكي يتغلب عليه. ويمكن للأفلاكين أن يقيسوا سرعة التوسيع مباشرة عن طريق مراقبة تأثير الزحزمة الحمراء؛ مع ذلك، يبقى شيء من الجدل قائماً بخصوص الجواب. والكمية الثانية-أي، وزن الكون-أكثر اشكالاً.

كيف يمكن للمرء أن يزن الكون؟ إنه عمل مثبط، كما يبدو؛ فمن الواضح أنه لا يمكن القيام بذلك مباشرة. وعلى الرغم من ذلك، قد نتمكن من التوصل إلى وزنه عن طريق الاستنتاج، وذلك باستخدام نظرية الجاذبية. ويمكن الحصول على الحد الأدنى بسهولة. يمكن الحصول على وزن الشمس عن طريق قياس الجذب الشاقلي الذي تمارسه على الكواكب. فنحن نعرف أن درب التبانة يحتوي على حوالي منه مليون نجم من كتلة تعادل، في المتوسط، كتلة شمسية واحدة، يؤمن هذا حداً أدنى أولياً لكتلة المجرة. ويمكننا الآن أن نحسب عدد المجرات الموجودة في الكون. ولكن لا يمكن إجراء ذلك الحساب إفرااديًّاً—هناك عدد كبير من المجرات— وإنما نقدر بعشرة بلايين مجرة. وهذا يعادل 10-²¹ كتلة شمسية، أو حوالي 10⁴⁸ طناً إجمالاً. فإذا وضعنا في اعتبارنا أن قطر هذا الحشد من المجرات يبلغ خمسة عشر مليون سنة ضوئية، فإنه يمكننا أن نحسب قيمة أصغرية لسرعة الالفات من الكون: يتبيّن أن الجواب هو حوالي 1% من سرعة الضوء. يمكن الاستنتاج أنه لو كان وزن الكون مدريناً فقط للنجوم لألفات الكون من جذبها الشاقلي، وأصل توسيعه إلى، مالا نهاية.

وبالفعل، يظن كثير من العلماء أن ذلك ماسيحدث. ولكن ماكل الفلكيين وعلماء الكون على قناعة بأن المسائل الحسابية قد أنجزت على نحو صحيح. فالملادة التي نراها هي أقل مما هي على أرض الواقع، لأنها ماكل الأجسام في الكون تضيء. فال أجسام المظلمة، كالنجوم والكواكب المعتمة، والتقوب السوداء، تقلت من ملاحظتنا على نطاق واسع.

وهنالك أيضاً كميات كبيرة من الغبار والغاز، أكثرها غير واضح. علاوة على ذلك لاشك أن الفروقات بين المجرات غير خالية تماماً من المادة: قد تكون هناك كميات كبيرة من غاز رقيق.

مع ذلك، هناك احتمال أكثر جاذبية طالما أثار فضول الفلكيين على مدى عدة سنوات. فالانفجار الكبير، الذي نشأ الكون فيه، كان مصدر كل المادة التي نراها ولكنـه أيضاً مصدر مادة كثيرة لائزها. فإذا كان الكون بدأ كسحاب حار جداً من جسيمات دون ذرية، كالإلكترونات، والبروتونات، والنيوترونات المعروفة التي تشكل المادة العادية، فلابد أيضاً وأن تكون جسيمات أخرى من كافة الأنواع تم تحديدها مؤخراً في المختبر بواسطة فيزياء الجسيمات قد تكونت بكميات وفيرة. أكثر هذه النماذج الأخرى من الجسيمات غير مستقرة إلى حد بعيد، ويجب أن تكون تفككت بسرعة، ولكن بعضها قد يكون استمر حتى الحقبة الحاضرة كأثر باق من نشأة الكون.

الأثر الرئيسي من بين تلك الآثار المهمة هي النيوترونوات، تلك الجسيمات الطيفية التي يظهر نشاطها في المستعرات (انظر الفصل الرابع). وعلى حد ما انعرف، فإن النيوترونوات لا يمكن أن تتفكك إلى أي شيء آخر. هناك ثلاثة نماذج مختلفة من النيوترونوات، وقد تكون قادرة على التحول بعضها إلى البعض الآخر، ولكنـتي سأتجاوز هذا التعقيد هنا). ولهذا السبب، فإنـنا نتوقع أن الكون يستحمل في بحر من النيوترونوات الكونية التي خلفـها الانفجار الكبير. وإذا سلمنا بأن طاقة الكون الابتدائي كانت قد توزعت ديموقراطياً بين كافة الأنواع دون الذرية، عندـئـي يمكن حساب عدد النيوترونوات الكونية التي يجب أن تكون موجودة. وبأيـ الجواب ليقول إن عددها يبلغ حوالي مليون مليون نيوترون في كل سنتيمتر مكعب من الفراغـ أو حوالي بليون نيوترونـ لكل جسيـم من المادة العـاديـةـ كانـ هذا الاستنتاج المهم يجذبني دائمـاـ. فـفي أيـ وقت معلومـ، هناك حوالي مـئةـ بـليـونـ نـيوـترـينـوـ داخلـ جـسـمـ أحـدـناـ، وـكـلـهاـ تقـرـيبـاـ منـ بـقاـياـ الانـفـجـارـ الكـبـيرـ، تـخـلـفـتـ بـدونـ تـشـوـيشـ تقـرـيبـاـ منـذـ أولـ مـيلـيـثـانـيـةـ منـ الـوـجـودـ. وبـماـ أنـ الـنيـوـترـينـوـاتـ تـتـنـقـلـ بـسـرـعـةـ الضـوءـ أوـ قـرـيبـاـ مـنـهـاـ، فإـنـهاـ تـنـدـفعـ عـبـرـ جـسـمـ أحـدـناـ بـسـرـعـةـ كـبـيرـةـ حتـىـ أنـ مـئـةـ بـليـونـ بـليـونـ مـنـهـاـ تـخـتـرـقـ هـذـاـ جـسـمـ كـلـ ثـانـيـةـ! ويـتواـصـلـ هـذـهـ الـاـنـتـهـاـكـ بـدونـ تـوقـفـ وـبـدونـ أنـ يـلـاحـظـهـ أحـدـناـ أـبـداـ، لأنـ تـفـاعـلـ الـنيـوـترـينـوـاتـ ضـعـيفـ معـ المـادـةـ العـادـيـةـ، إـلـىـ درـجـةـ يـهـمـلـ مـعـهـاـ اـحـتـمـالـ أنـ يـتـوقفـ أحـدـهاـ فـيـ جـسـمـ أحـدـناـ طـيـلةـ حـيـاتـهـ. معـ هـذـاـ، إـنـ وـجـودـ عـدـدـ كـبـيرـ جـداـ مـنـ

النيوتروينوارات التي تنتشر، كما يبدو، في كامل الأحياء الفارغة من الكون يمكن أن يكون لها نتائج عميقة بالنسبة لمصيره النهائي.

وعلى الرغم من أن تفاعل النيوتروينوارات ضعيف للغاية، فإنها تمارس قوة جذبية بالاشتراك مع كافة الجسيمات. قد لا تقوم كثيراً بدفع وجذب مهمن المادة حولها، ولكن تأثيراتها الجاذبية غير المباشرة قد تكون حاسمة عند إضافتها إلى إجمالي وزن الكون. ولذلك نعرف مدى إسهام النيوتروينوارات إلى وزن الكون، يجب أن نعرف كتلتها.

وحيثما تكون الجاذبية معينة، فإن الكتلة الحقيقة، لكتلة السكون، هي التي تؤخذ في الحسبان. وبما أن النيوتروينوارات تنتقل قريباً من سرعة الضوء، فإن كتلتها قد تكون مهمة حتى على الرغم من أن تلك الكتلة في حالة السكون قد تكون صغيرة جداً (انظر من 39). وفي الحقيقة، قد تكون كتلتها صفراء في حالة السكون وتنتقل بسرعة الضوء تماماً فإذا صاح ذلك، عندئذ يمكن تحديد كتلتها الحقيقة عن طريق الرجوع إلى طاقتها، التي يمكن استنتاجها، في حالة النيوتروينوارات الكونية التذكارية، من طاقتها المفترضة التي اكتسبتها من الانفجار الكبير. يجب تصحيح الطاقة الأصلية بواسطة عامل يضع في حسابه التأثير المنفرد لتوسيع الكون. وعند إنجاز كل هذا، يتبيّن أن النيوتروينوارات مع كتلة سكون صفر لـ تsem بدرجة مهمة إلى إجمالي وزن الكون.

وبالمقابل، لا يمكن أن نتأكد من أن كتلة النيوتروينوارات هي صفر في وضع السكون، ولا من أن للأنواع الثلاثة من النيوتروينوارات كلها الكتلة نفسها في وضع السكون. وفهمنا النظري الحالي للنيوتروينوارات لا يستبعد كتلة محدودة في وضع السكون، وبالتالي، تصبح المسألة مسألة تجربة لتحديد طبيعة الحالة. وكما ذكرت في الفصل الرابع، فإننا نعرف أنه إذا كان للنيوتروينو كتلة سكون، فمن المؤكد أنها صغيرة جداً - أصغر بكثير من كتلة السكون لأي جسم آخر معروف. ولكن كتلة السكون، حتى وإن كانت صغيرة جداً، فإنها يمكن أن تكون بالغة الأهمية بالنسبة لإجمالي وزن الكون. إنه توازن دقيق جداً. إن كتلة صغيرة بحجم $10/1000$ من كتلة الإلكترون (بخلاف ذلك، أخف جسم معروف) ستكون كافية لإحداث تأثير مثير: عندئذ، يرجح وزن النيوتروينوارات على كافة النجوم.

اكتشاف كتلة سكون بمثل هذا الصغر صعب جداً وكانت نتائج التجارب مردكة ومتنافضة. ومن الغريب أن يقدم اكتشاف النيوتروينوارات من مستعر 1978-A دليلاً مهماً. وكما ذكرت سابقاً حول أنه إذا كانت كتلة سكون النيوتروينوارات صفراء، فإنها يجب

أن تنتقل كلها بالسرعة نفسها بالضبط سرعة الضوء. ومن ناحية أخرى، إذا كانت كتلة سكون النيوتروينو صغيرة جداً لاصفراً، عندئذ، يكون ممكناً وجود مجموعة من السرعات. يحتمل أن تكون النيوتروينووات من المستسر نشيطة جداً لكي تتنقل بسرعة قريبة جداً من سرعة الضوء حتى لو لم تكن كتلة سكونها صفرأً. ولكن، بما أنها انتقلت عبر الفضاء زمناً طويلاً، فإن اختلافات طفيفة في السرعة يمكن ترجمتها إلى اختلافات يمكن قياسها في وقت الوصول إلى الأرض. ودراسة المدى الذي انتشرت إليه عبر الزمن النيوتروينووات من مستسر 1987-A، يمكن وضع حد أعلى لكتلة سكونها هو 1000/30 من كتلة الإلكترون.

ولسوء الحظ، إن الحالة أكثر تعقيداً، لأن هناك، كما نعرف، أكثر من نموذج واحد للنيوتروينووات. تشير معظم التقديرات لكتلة السكون إلى نيوتروينو افترض أصلاً من قبل بولي Pauli، ولكن منذ الكشف عنه، اكتشف نموذج ثان منه وتم الاستدلال على وجود نموذج ثالث. ويجب أن تكون الأنواع الثلاثة جميعها قد تكونت بفرازرة في الانفجار الكبير. ومن الصعب جداً وضع حدود، بصورة مباشرة، لكتلة المونجين الآخرين من النيوتروينووات. تجريبياً، يبقى مدى القيم المحتملة واسعاً جداً، ولكن التفكير السائد بين المنظرين هو أن النيوتروينووات ربما لا تستطيع على كتلة الكون. ولكن هذا الرأي يمكن أن ينعكس بسهولة على ضوء التقييمات التجريبية الحديثة لكتل النيوتروينووات.

والنيوتروينوات ليست هي الآثار الكونية الوحيدة المحتملة للدراسة عندما يتعلق الأمر بتقدير وزن الكون. يمكن أن تكون هناك جسيمات أخرى مستقرة، ضعيفة التفاعل تكونت بواسطة الانفجار الكبير، ربما ذات كتلة أكبر إلى حد ما. (إذا أصبحت كتلة السكون كبيرة جداً، فإن نتاجها يُكتب فيما يتعلق بجسيمات أخرى أصغر كتلة، لأن إنتاجها يتطلب المزيد من الطاقة). وتعرف هذه باسم الجسيمات العظيمة الكتلة الضعيفة التفاعل Weakly Interacting Massive Particles WIMPs. ولدى المنظرين قائمة تسوق لهذه الجسيمات الافتراضية، تحمل أسماء غريبة مثل: Gravitions و Photinos و Higgsinos. وما من أحد يعرف إذا كانت موجودة فعلاً، ولكن، إذا كانت موجودة، فيجب أحدها في الحسبان في تقدير وزن الكون.

ومن الجدير بالاعتبار أنه قد يكون ممكناً إجراء اختبار لتحرري وجود الجسيمات العظيمة الكتلة الضعيفة التفاعل بشكل مباشر، من الطريقة التي يفترض أن تتفاعل فيها

مع المادة العادية. ومع أنه يتوقع لهذا التفاعل أن يكون ضعيفاً جداً، فإن الكتلة الكبيرة لهذه الجسيمات تساعدها على أن تحشر قدرأً كبيراً من القوة. وقد جرى التخطيط لإجراء تجرب في منجم للملح في شمال شرق إنكلترا وتحت سد قرب سان فرنسيسكو لتمييز مرور الجسيمات العظيمة الكتلة الضعيفة التفاعل. وعلى فرض أن الكون مليء بها، فإن عدداً كبيراً منها يخترق أجسامنا (والأرض) طوال الوقت. مبدأ التجربة صعب تصوّره وغريب جداً: اكتشاف الصوت الذي يحدّثه جسم عظيم الكتلة ضعيف التفاعل عندما يصطدم بنواة ذرية.

يتألف الجهاز من بلورة من الجيرانيوم أو السليكون يحيط بها جهاز تبريد. فإذا ارتطم جسم عظيم الكتلة ضعيف التفاعل بنواة في البلورة، فإن زخمه يجعل النواة تتراجع. وهذه الصدمة المفاجئة تحدث موجة صوتية، أو اهتزازاً ضعيفاً جداً في شبكة البلورة. وعندما تنتشر الموجة، فإنها ستض محل وتحول إلى طاقة حرارية. لقد تم تصميم هذه التجربة لاكتشاف النسبة الدقيقة من الحرارة التي تترافق باضمحلال الموجة الصوتية. وبما أن البلورة تبرد إلى درجة قريبة من الصفر المطلق، فإن جهاز الكشف يكون حساساً جداً لحقن أيه طاقة حرارية.

يُخمن المنظرون أن المجرات مغمورة في حشود على شكل فقاعات من الجسيمات العظيمة الكتلة الضعيفة التفاعل البطيئة الحركة إلى حد ما، ذات كتل يمكن أن تستراوح بين 1-1000 كتلة بروتون وسرعات نموذجية تبلغ بضعة آلاف الكيلومترات في الثانية. تدور المجرة كما يدور نظامنا الشمسي، فهي تختال عبر بحر غير مرئي، وكل كيلوغرام من المادة على الأرض يمكن أن يتاثر بمقدار ألف جسم عظيم الكتلة ضعيف التفاعل كل يوم. وعلى ضوء هذه السرعة للحوادث، لابد أن يكون محتملاً اكتشاف هذه الجسيمات بصور مباشرة.

وفي حين يتواصل البحث بخصوص الجسيمات العظيمة الكتلة الضعيفة التفاعل، يواصل الفلكيون أيضاً معالجة مشكلة وزن الكون. حتى لو لم نتمكن من رؤية الجسم (أو سماعه)، فإن تأثيرات جنبه التناهلي يمكن أن تظهر. فعلى سبيل المثال، تم اكتشاف الكوكب نبتون لأن الفلكيين لاحظوا أن مدار أورانوس قد تشوش بتاثير قوة جاذبية لجسم غير معروف. وكان قد اكتُشِف أيضاً بهذه الطريقة النجم القزم الأبيض المعتم سيريوس-B، الذي يطوق النجم اللماع سيريوس. وهكذا، يستطيع الفلكيون، بمرآبة حركة أجسام

غير مرئية، أن يركبوا صورة لمادة غير مرئية. (وكلت قد بينت سابقاً كيف أن هذه التقنية أدت إلى الاشتباه بوجود ثقب أسود في كوكبة الدجاجة-X-1).

أجريت خلال العقد أو العقدين الماضيين دراسات دقيقة لطريقة تحرك النجوم في مجرتنا. فهي تدور حول مركز درب التبانة ب مدى زمني يتجاوز نموذجياً متنفس مليون سنة. والمجرة مصوّحة على شكل قرص تقريباً، مع فقاعات كبيرة من النجوم قرب المركز. وعلى هذا النحو، هناك مماثلة فجة للنظام الشمسي، الذي تدور فيه الكواكب حول الشمس؛ ولكن الكواكب الداخلية، كعطارد والزهرة، تتحرك بسرعة أكبر من الكواكب الخارجية، كأورانوس ونبتون، لأن الكواكب الداخلية تتأثر بجذب تناولي أقوى من الشمس. قد يتوقع أحدنا أن هذه القاعدة تتطبق على المجرة أيضاً: يجب أن تتحرك النجوم القريبة من محيط القرص ببطء أكبر من تلك القريبة من المركز.

ولكن المشاهدات تناقض هذا. فالنجم تتحرك بالسرعة نفسها تقريباً في كل مكان من القرص. والتعليق المعقول هو أن كثافة المجرة لا تتركز قرب الوسط بل تنتشر بالتساوي تقريباً. وحقيقة أن المجرة تبدو كما لو كانت مركزة قرب الوسط تشير إلى أن المادة المضيئة هي فقط جزء من القصة. فمن الواضح أن هناك قدرأً كبيراً من المادة المظلمة أو غير المرئية، وأكثرها في الامتدادات الخارجية للقرص، تسرّع النجوم في تلك الناحية. ويمكن أن يكون هناك أيضاً كميات أساسية من مادة فائضة فيما وراء الحافة المرئية وخارج القرص المنير تماماً، تخلف درب التبانة بهالة ضخمة غير مرئية تمتد بعيداً إلى الفراغ بين المجرات. ويُشاهد في مجرات أخرى نموذج مماثل للحركة. وتشير القياسات إلى أن مناطق مرئية من المجرات هي، في المتوسط، أضخم بعشر مرات مما يوحى لمعانها (مقارنة بالشمس)، وترتفع هذه النسبة بمقدار خمسة آلاف مرة في المناطق القاسية.

ننصل إلى النوع نفسه من الاستنتاج من دراسة حركات المجرات ضمن العنقود المجرية. ومن الواضح أنه إذا تحركت المجرة بسرعة كافية فإنها ستفلت من الجاذب التناولي للعنقود. وإذا تحركت كل المجرات في العنقود بهذه السرعة، فإن العنقود سوف يتمكك بسرعة. هناك عنقود نموذجي يتتألف من عدة مئات من المجرات يقع في كوكبة الدواية، وقد تمت دراستها بتركيز. السرعة المتوسطة لمجرات الدواية أعلى بكثير من أن تجعل العنقود يتماسك بعضه مع بعض، مالم تكن هناك كثافة أكبر مما يمكن أن تفسره

المادة المضيئه بما لا يقل عن ثلاثة مرات. وبما أن مجرة نموذجية تستغرق فقط بليون سنة أو حول ذلك لعبور عنقود الذوابة، لذلك يمكن اعتبار الوقت المنقضى حتى الآن كبيراً جداً بما يكفي لتشتت العنقود. مع ذلك، لم يحدث شيء من هذا، وتقدم بنية العنقود كل ما يختلف الانطباع بأنه مقيد بالجاذبية. ويبعد أن شكلاً من المادة المظلمة موجود بكلمات هامة، ويؤثر على حركة المجرات.

هناك اقتراح إضافي بوجود مادة غير مرئية ياتي من فحص البنية الواسعة النطاق جداً للكون-الطريقة التي تتجمع فيها العناقيد والعنائق الفائقة لل مجرات مع بعضها بعضـاً. وكما شرحت في الفصل الثالث، فإن المجرات تتوزع بطريقة تذكر بالزبد، منظومة في شعيرات أو منتشرة على شكل ملاءات ضخمة تحيط بفراغات هائلة. لا يمكن لبنيـة تكتلية، مزبدة كهذه أن تتشـأ في الوقت المتاح منذ الانفجار الكبير بدون الجذب التسالـي المضـاف لمادة غير ماضـية. ولكن المحاكاة الحاسوبـية لم تستطـع، حتى وقت وضع هذا الكتاب، إنتاج البنية المزبدة المنظورة بأي شـكل بسيـط من مادة فـائـة، وقد تـدعـو الحاجـة إلى استخدام خليـط معقد لـتشكيل تلك المادة.

تركز الاهتمام العلمي مؤخراً على جسيمات دون ذرية غريبة لترشيحها كمادة مظلمة، ولكن يمكن أن توجد أيضاً بأشكال تقليدية كوكبية الحجم أو نجوم معتمة. قد تكون حشود من هذه الأجسام المظلمة تهيم في كل مكان من حولنا ونحن سعداء لأننا لانعي الحقيقة. وقد اكتشف الفلكيون مؤخراً تقنية يمكن أن تكشف عن وجود الأجسام المظلمة التي لا تقيدها الجاذبية إلى أجسام مرئية. وتستفيد هذه التقنية من نتيجة النظرية العامة في الجاذبية لأيشتاين التي تعرف بالتعدس الثاقلي gravitational lensing.

تقوم الفكرة على أساس حقيقة أن الجاذبية يمكن أن تحدى أشعة الضوء. وكان آينشتاين قد تنبأ بأن الشعاع النجمي الذي يمر قرب الشمس سينحنى بصورة طفيفة، وبذلك يزحزح الموضع الظاهر للنجم في السماء. وعن طريق مقارنة موقع النجم عندما تكون ولا تكون الشمس بجواره، يمكن اختبار النبوة. وقد قام الفلكي البريطاني آرثر انغفون، لأول مرة عام 1919، بالمعية بآيات نظرية آينشتاين.

والعدسات أيضاً تحني الضوء، ونتيجة لذلك، يمكن أن تركز الضوء بحيث يشكل صورة. فإذا كان جسم ضخم متناسقاً بما يكفي، فإنه يمكن أن يحاكي العدسة ويركز الضوء من مصدر بعيد. **وَتُظْهِرُ الصُّورَةَ ٦-١** كيف يحدث ذلك. يسقط الضوء من

المصدر S على جسم كروي، فتحنی جانبیة الجسم الضوء حوله، وتوجهه إلى نقطة بصرية على الجانب البعيد. وتأثير الحنی يكون طفیلًا بالنسبة لمعظم الأجسام، ولكن الانحناء في سبیل الضوء، حتى لو كان طفیلًا، فإنه على المسافات الفلكیة یسبب بؤرة في النهاية. إذا أقحم الجسم نفسه بين الأرض والجسم البعید S، فإن التأثير سيظهر كصورة لـ S متألهة إلى حد كبير أو، في حالات استثنائية حيث يكون خط النظر مضبوطًا، كدائرة لامعة من ضوء یعرف بـ حلقة آینشتاين. والأكثر احتمالاً أن ینتج التعدس، بالنسبة للأجسام ذات الأشكال الأكثر تعقيداً، صوراً متعددة أكثر من صورة واحدة مركبة في بؤرة. وقد اكتشف الفلكيون عدداً من العدسات التناقلية على



الصورة 6-1: عدسة تناقلية. جانبیة جسم عظيم الكتلة (فقاعة) يعني الأشعة الضوئیة من مصدر بعيد S. في حالة مواتیة، یسبب هذا تركيز النور في بؤرة. والمشاهد عند البؤرة یرى حلقة من الضوء حول الجسم.

صعید کونی: المجرات في التراصف القريب من المثلثي بين الأرض والنجوم الزائفة القاصية تنتج صوراً عديدة لهذه النجوم الزائفة، وفي بعض الحالات أقواساً وحلقات كاملة من ضوء النجوم الزائفة.

في بحثهم عن الكواكب المظلمة والنجوم المعتمة، يبحث الفلكيون عن العلامات الدالة على التعدس الذي سيحدث إذا دخل جسم كهذا مباشرةً بين الأرض ونجم ما. سوف ترتفع صورة النجم وتختلاشى في لمعان بطريقة مميزة عندما یتحرك الجسم المظلم عبر خط النظر. ومع أن الجسم نفسه سبقى غير مرئى، فإنه یستدل على وجوده من تأثير التعدس. ويستخدم بعض الفلكيين هذه التقنية للبحث عن أجسام مظلمة في هالة درب

التبانة. ومع أن احتمال التراصف الدقيق مع نجم بعيد ضئيل إلى حد لا يصدق، فإن التعدد الشكلي يجب أن يلاحظ إذا كان هناك ما يكفي من الأجسام المظلمة. في أواخر عام 1993، أعلن طاقم أسترالي أمريكي مشترك، كان يراقب النجوم في السحابة الماجلانية الكبيرة من مرصد جبل ستروملو في نيو ساوث ويلز، عما يبدو أنه أول نموذج واضح للتعدد الشكلي بواسطة نجم قزم في هالة مجرتنا.

والثقوب السوداء أيضاً تعمل كعدسات تناقلية، وقد تم إجراء بحوث مكثفة حولها باستخدام مصادر لاسلكية خارج مجرية (تم تعديس موجات لاسلكية كالموجات الضوئية). وربما اكتُشِف عدد قليل جداً من المرشحين، مما يخلف الانطباع بأن الثقوب السوداء النجمية أو ذات الكتل المجرية لا يحتمل أن تكون مسؤولة عن المادة المظلمة.

ولكن ماكل الثقوب السوداء تظهر في المعاينة التعددية. ويمكن أن تكون الظروف القاسية التي سادت بعد الانفجار الكبير بوقت قصير قد شجعت على تشكيل ثقب سوداء مجهرية، ربما لم تكن أكبر من نواة ذرية. والكتلة في هذه الأجسام يجب أن تكون مكافئة لكتلة نجم صغير. ويمكن أن يكون مقدار كبير من الكتلة محظياً بصورة فعالة جداً في هذا الشكل، كما يجب أن يكون منتشرأً في سائر الكون. ومن المدهش أنه يمكن وضع قيود رصدية حتى على هذه الكيانات الغريبة. والسبب يتعلق بما يُدعى تأثير هوكن، الذي شرحته بصورة مناسبة في الفصل السابع. وباختصار، يحتمل أن تنفجر ثقب سوداء مجهرية في وسط وايل من الجسيمات المشحونة كهربائياً. ويحدث الانفجار بعد زمن محدد يعتمد على حجم الثقب: الثقب الأصغر تنفجر بسرعة أكبر. إن ثقباً له كتلة نجم صغير سوف ينفجر بعد عشرة بلايين سنة، هذا يعني بحدود الوقت الحاضر. تأثير واحد لأنفجار كهذا هو تكوين نبضة مفاجئة من موجات لاسلكية، هذا ما يؤكده علماء علم الفلك الإشعاعي. على الأرجح أنه لم تُكتَشَف نبضات، ولهذا يقدّر أنه لا يمكن أن يحدث أكثر من انفجار واحد كل ثلاثة ملايين سنة في كل سنة ضوئية مكعبية من الفضاء. وهذا يعني أن الثقب السوداء المجهرية لا تشكل سوى جزء ضئيل جداً من كتلة الكون.

و عموماً، تختلف تقديرات المادة المظلمة في الكون من فلكي إلى آخر. وبحتمل أن تكون المادة المظلمة أكبر من المادة المضيئة، على الأقل، بنسبة $1/10$ ، وتزد أحياناً نسبة $1/100$. وما يدعو إلى الدهشة أن الفلكيين لا يعرفون ما يترکب معظم الكون. فقد كان

يفترض لعدة طوبلة أن النجوم تشكل معظم الكون، ولكن تبين أنها لا تشكل سوى جزء بسيط تقريباً من الإجمالي.

المسألة الحاسمة، بالنسبة لعلم الكون، هي ما إذا كانت هناك مادة مظلمة تكفي لوقف توسيع الكون. تدعى الكثافة الأصغرية للمادة التي تفشل تماماً في وقف التوسيع ‘الكثافة الحرجة’، ويمكن التقدير بأن قيمتها تبلغ حوالي مئة ضعف كثافة المادة المرئية. وكمرة بهذه تبقى ممكنة، ولو بالكاد. والمأمور أن يقدم البحث عن المادة السوداء عما قريب جواباً واضحاً، سواء بالتفتي أو الإيجاب، لأن المصير النهائي للكون، على أقل تقدير، يرتبط بها.

في ظل معرفتنا الراهنة ، لا يمكننا أن نقول ما إذا كان الكون سوف يتسع إلى الأبد أم لا. وإذا كان في النهاية سيدأ بالانقلاب، فالسؤال الذي يطرح هو: متى سيحدث هذا؟ يرتبط الجواب بدقة بمقادير زيادة وزن الكون على الوزن الحرجة. فإذا كان التجاوز الوزن الحرج بنسبة 1%، فإن الكون سيدأ بالانقلاب في حوالي تريليون سنة؛ وإذا كان نسبة هذا التجاوز 10%， فإن الانقلاب سيستعجل إلى مئة مليون سنة من الآن.

في هذه الأثناء، يعتقد بعض المنظرين أنه قد يكون ممكناً تعين وزن الكون بواسطة الحساب وحده، بدون الحاجة إلى المشاهدات الصصبة. الاعتقاد بأن الكائنات البشرية يمكن أن تتتبأ بمعرفة كونية عميقه فقط من قوة الاستدلال يحدو حذو تقليد يمتد إلى قدماء فلسفية الأغريق. ففي عصر العلم، حاول عدد من علماء الكون صياغة مناهج رياضية تعطي كثافة الكون كمية ثابتة في القيمة بواسطة مجموعة ما عميقه من المبادئ. مغرياً، بوجه خاص، تلك الأنظمة التي يحدّ فيها العدد الصحيح للجسيمات في الكون بمعنى صيغة ما عديبة سحرية. ولكن هذه التأملات، على الرغم من جاذبيتها، فإنها لم ترق لأكثر العلماء. مع ذلك، شاعت في السنوات الأخيرة نظرية مقنعة أكثر تطرح نبوءة واضحة حول كثافة الكون، إنه سيناريو التضخم الذي درسناه في الفصل الثالث.

تعلق واحدة من نبوءات نظرية التضخم بكمية المادة في الكون. لنفترض أن الكون يبدأ بكتافة أكبر أو أقل بكثير من القيمة الحرجة التي يحقق عندها حدوث الانهيار. فعندما يباشر الكون الطور التضخيمي، فإن الكثافة تتغير إلى حد مثير، وفي الواقع، تتبع النظرية بأن الكثافة تقترب بسرعة من الكثافة الحرجة. وكلما كان تضخم الكون طويلاً الأمد، أصبحت الكثافة أقرب إلى الحرجة. وفي الترجمة القياسية للنظرية، يستمر التضخم

فقط أبداً قصيراً جداً، وبالتالي، مالم يكن الكون بدأ بمحجزة بالكثافة الحرجية بالضبط، لكان نشأ من الطور التضخيمي بكثافة أقرب أو أقل قليلاً من الحرج. ولكن الاقتراب من الكثافة الحرجية أثناء التضخم يحدث بسرعة أسرعية، حيث يحتمل أن تكون القيمة النهائية للكثافة قريباً جداً إلى القيمة الحرجية، حتى بالنسبة لفترات التضخيمية التي تستمر فقط جزءاً ضئيلاً جداً من الثانية. ومعنى "أسرع" هنا هو أنه مع كل تكثة إضافية تقريباً يستمر فيها التضخم، يتضاعف الزمن الذي سينقضى بين الانفجارات الكبير وبهذه التقلص. فإذا أدت قيمة مئة تكثة من التضخم إلى انكمash مئة بليون سنة فيما بعد، فإن مئة تكثة واحدة تدل على انكمash مئتي بليون سنة فيما بعد، في حين تساوي مئة تكثة عشر تكاثفات انكمash مئة تريليون سنة فيما بعد، وهلمجراً.

مامدى استمرار التضخم؟ لا أحد يعرف، ولكن لكي تفسر النظرية العديد من الأحلامي الكوزمولوجية التي وصفتها، فإنه يجب أن يدوم لعدد أصغرى من التكاثفات (مئة تكثة تقريباً، الرقم منن إلى حد ما). ولكن ليس هناك حد أعلى. فإذا تضخم الكون، عن طريق مصادفة ما استثنائية، فقط بالحد الأدنى اللازم لشرح مشاهداتنا الحالية، فإن الكثافة بعد التضخم يمكن أن تبقى ، إلى حد مهم، فوق (أو تحت) القيمة الحرجية-حالة يمكن فوّها للمشاهدات الوشيكة أن تحدد حقيقة الانكمash، أو عدمه مستقبلاً. والأكثر احتمالاً هو أن يتواصل التضخم على مدى عدد من التكاثفات أكبر من الحد الأدنى، مما يؤدي إلى كثافة قريبة جداً، في الواقع، من القيمة الحرجية. ويعنى هذا أنه إذا كان الكون سينكمش، فإنه لن ينكمش قبل مضي مدة هائلة من الزمن-عدة أضعاف العمر الحالى للكون. فإذا صر ذلك، فإن الكائنات الإنسانية لن تعرف أبداً مصير الكون الذي تقطنه.

الفصل السادس

‘إلى الأبد’ زمن طويل

اللأنهاية ليست مجرد رقم كبير جداً، وهذا هو المهم حولها. إنها تختلف نوعياً عن شيء ما لا يوصف بأكثر من أنه ضخم بشكل هائل، إلى حد لا يمكن تصوره. إذا كان الكون سيواصل توسيعه دائماً بحيث لا تكون له نهاية، فمعنى هذا أنه سوف يزداد، ولكن يزداد، يجب أن يكون له عمر زمني لأنهائي. فإذا صبح ذلك، فإن آلية عملية فيزيائية، مهما كانت بطيئة أو غير محتملة، سوف تحدث في وقت ما، تماماً كما قد يتمكن في النهاية قرداً، يبعث دائماً بالآلة كاتبة، من طبع أعمال وليم شكسبير.

تؤمن ظاهرة إصدار موجات الجذب، التي ناقشتها في الفصل الخامس، مثلاً جيداً. تضيع الطاقة على شكل إشعاع جنبي يسبب تبدلات واضحة فقط في حالة العمليات الفلكية الأكثر عنة. فإذا صدر حوالي ميليوان طوب بسبب دوران الأرض حول الشمس، يملأ مدار الأرض بطاقة ملائكة، ولكن تفريح ولو ميليوان واحد، على مدى تريليونات فوق تريليونات من السنين، سيدفع الأرض إلى التحرك حلزونياً نحو الشمس. ومن المحتمل طبعاً أن تغيرها الشمس قبل هذا بزمن طويل، ولكن النقطة الأساسية هي أن العمليات المهمة بمقاييس التوقيت البشرية قد تسيطر أخيراً، مع مثابرتها، وبالتالي تعمل على تحديد المصير النهائي للأنظمة الفيزيائية.

دعونا نتخيل حالة الكون بعد مضي وقت طويل جداً، جداً في المستقبل -في تريليون تريليون سنة، مثلاً. النجوم احترقت منذ زمن طويل؛ الكون مظلم. ولكنه ليس فارغاً. فوسط الاتساع الأسود للضوء تتربص ثقوب سوداء تدور حول نفسها، ونجوم نيوترونية تائهة، وأقزام سود-بعض أجسام كوكبية أيضاً. في هذه الحقيقة، تكون كثافة هذه الأجسام منخفضة جداً: توسيع الكون إلى عشرة آلاف تريليون حجمه اليوم.

ستمثل الجاذبية معركة غربية. يحاول الكون المتتوسيع أن يجذب كل جسم بعيداً عن جiranه، ولكن التجاذبات الثاقبة المتبادلة تقاوم هذا وتحاول تفريغ الأجسام من بعضها

بعضًا. وبالنتيجة، تبقى بعض مجموعات من الأجسام -على سبيل المثال، عنقائد المجرات، أو ما يظن أنها مجرات بعد آماد من التكس البنبوى -مقيدة تقلياً، ولكن هذه المجموعات تتجزء دائمًا بعيدًا عن المجموعات المجاورة لها. وتعتمد الحصيلة النهائية للعبة شد الجيل هذه على على مدى السرعة التي تباطأ بها سرعة التوسيع. فكلما كانت كثافة المادة في الكون أدنى، كان "تشجيع" هذه المجموعات من الأجسام أكبر على التحرر من جيرانها والانتقال بعيدًا بحرية واستقلال.

العمليات البطيئة، إنما العينية، للجاذبية تمارس سيادتها داخل نظام مقيد تقلياً. فإن سال الموجات الجذبية، على الرغم من ضعفه، يستترف، بشكل ماهر، طاقة النظام، مما يسبب موتاً حلوذنياً بطيناً. وبصورة تدريجية جداً، تقترب نجوم مينة ببطء إلى نجوم أخرى موتة أو تقوب سوداء، وتلتزم في احتفال تهكى متند لال تمام النوع لنوعه. و تستترق الموجات الجذبية ترليون ترليون سنة لكي تفسد تماماً مدار الشمس، تلك الجمرة القرمية السوداء الخامدة التي تنزلق بصمت نحو وسط المجرة، حيث ينتظراها هناك ثقب عملاق أسود لكي يتلهمها.

ولكن، ليس من المؤكد أبداً أن الشمس الخامدة ستواجه موتها النهائي بهذه الطريقة، لأنها، مع انسياقها ببطء نحو الداخل، سوف تواجه من حين لآخر نجوماً أخرى. فتتمر أحياناً قرب منظومة ثنائية-نجمان يدور أحدهما حول الآخر في عنق تجاني وثيق. وعندئذ يتم إعداد المسرح لظاهرة غريبة تعرف بـ "النقمة". فحركة جسمين في مدار حول بعضهما بعضاً يكشف عن بساطة كلاسيكية. وكانت هذه مشكلة في ذي زعيكب يدور حول الشمس-شغلت بالكيل ونيوتون وأدت إلى ولادة العلم الحديث. في وضع مثالي، وتجاهل إشعاع الجاذبية، تكون حركة الكوكب منتظمة ودورية. ومهما انتظر المرء، فإن الكوكب سيواصل دورانه بالطريقة نفسها. ولكن الوضع يختلف، إلى حد مثير، عند وجود جسم ثالث-نجم وكوكبين، مثلاً، أو ثلاثة نجوم. عندئذ، لن تكون الحركة بسيطة ودورية. فنموذج القوى المتبادلة بين الأجسام الثلاثة يتغير دائمًا بطريقة معقدة. ونتيجة لذلك، فإن طاقة المنظومة لا تقتسم بالتساوي بين الشركاء، حتى لو كانت أجساماً متماثلة. وبخلاف ذلك، وفي رقصة معقدة، يحصل جسم واحد، ثم آخر، على نصيب الأسد من الطاقة. ويمكن أن يكون سلوك المجموعة عشوائياً خلال فترات طويلة من الزمن: في الواقع، إن مشكلة الأجسام الثلاثة لديناميات الجاذبية تعتبر مثلاً جيداً لما

يعرف بالنظام الشواشي. وقد يصف أن ‘يعتصب’ جسمان، فينقلان مقداراً كبيراً من الطاقة المتاحة إلى جسم ثالث يطرد من المنظومة تماماً، كحقيقة ‘نَقْيَةٌ’. ومن هنا عبارة ‘نَقْيَةٌ الجاذبية’.

يمكن لآلية ‘النَّقْيَةِ’ أن تطرد نجوماً من عناقيد النجوم، أو حتى من المجرة بـالذات. وفي المستقبل البعيد، سوف تُقْتَلُ الأكثريَّة العظيمَ من النجوم، والكواكب الخامدة، والتقوب السوداء إلى الفراغ بين المجرات بهذه الطريقة—ربما لمواجهة مجرة أخرى تشكك، إن لم يكن للتجوال إلى الأبد في الفراغ الهائل المترسع. ولكن العملية بطينة: سيسفر اكتمال هذا الحل زماناً أكبر من العمر الحالي للكون بحوالى بليون مرة. وعلى العكس، فإن النسبة القليلة الباقية من الأجسام سوف تهاجر إلى أواسط المجرات وتندمج لتشكل تقوب سوداء عملاقة.

بيَّنت في الفصل الخامس أن لدى الفلكيين دليلاً وجيباً على وجود تقوب سوداء هائلة في مراكز المجرات، تلتهم بشرابه الغازات الدائرة وتطلق، نتيجة لذلك، كميات ضخمة من الطاقة. هذا الهوس بالتنفسية ينتظر معظم المجرات في الوقت المناسب، ويتوافق حتى تكون المادة التي تحيط بالثقب الأسود قد امتصَّت أو قُتِّلت، ربما لتتراجع أخيراً من جديد أو للتضُمُّ إلى الغازات التي تتناقص تدريجياً بين المجرات. وعندئذ، سيُبقي الثقب الأسود المنتفع ساكناً، فقط مع نجم نيوتروني متشرد بين حين وأخر أو ثقب أسود صغير يغوص فيه. ولكن هذا لن يكون نهاية تاريخ الثقب الأسود. ففي عام 1974، اكتشف ستيفن هوكتون أن التقوب السوداء ليست سوداء تماماً بعد كل شيء. بل ترسل، بدلاً من ذلك، ومضياً ضعيفاً من الإشعاع الحراري.

يمكن فهم ظاهرة هوكتون على نحو ملائم فقط بمساعدة النظرية الكمية للمجالات، وهو فرع صعب من الفيزياء كنت ألمحت إليه في سياق نظرية تضمُّن الكون. لنتذكر أن هناك مبدأ مركزاً في نظرية الكم هو مبدأ الريبة عند هايسنبرغ؛ ووفقاً لهذا المبدأ، فإن الجسيمات الكمية لا تمتلك قيمة محددة بوضوح لكل صفاتها. فعلى سبيل المثال، لا يمكن أن يملك فوتون أو إلكترون قيمة محددة لطاقته في لحظة معينة من الزمن. وفي الواقع، يمكن لجسم دون ذري أن ‘يستلف’ طاقة طالما أنه يعيد ماستلفه بسرعة.

كما ذكرت في الفصل الثالث، فإن التباس الطاقة يؤدي إلى بعض النتائج الغريبة، كالوجود العابر في المكان الفارغ ظاهرياً للجسيمات القصيرة العمر، أو الافتراضية. يقود

هذا إلى مفهوم غريب لـ 'الفراغ الكمي' - فراغ، بعيداً عن كونه فارغاً و خالماً، يعج بنشاط جسيمات افتراضية لاتهذا. ومع أن هذا النشاط لا يلاحظ عادة، إلا أنه يمكن أن يسبب نتائج فيزيائية. فتظهر واحدة من تلك النتائج عندما يتضوّش نشاط فراغي بوجود مجال تجاذب.

هناك حالة قصوى تتعلق بالجسيمات الافتراضية التي تبدو قريبة من أفق الحوادث لكنب أسود. نحن نذكر أن الجسيمات الافتراضية تعيش على الطاقة المستلفة لفترة قصيرة جداً، يتوجب بعدها إعادة السلفة واحتقاء هذه الجسيمات. وإذا تألفت الجسيمات الافتراضية، لأي سبب، تعزيزاً بالطاقة كبيراً بما يكفي من مصدر خارجي أثناء الزمان القصير المخصص، فإن السلفة يمكن أن تُسند نوبتها عنها. وعندئذ، تصبح هذه الجسيمات في حل من واجب الاختفاء من أجل تسديدها. ونتيجة لهذا الإحسان، فإن الجسيمات الافتراضية تترقى إلى جسيمات حقيقة، حيث يصبح بمقدورها أن تتمتع بوجود دائم تقوياً.

ووتفقاً لما ي قوله هوكنغ، فإن هذا الإحسان بدفع الدين هو ما يحدث قرب قبرأسود. في هذه الحالة، فإن ‘المحسن’ الذي يمد بالطاقة المطلوبة هو المجال التتالي للتقب الأسود. ويجري عقد الصفقة كما يلى: تكون الجسيمات الافتراضية عادة على شكل أزواج تتحرك في اتجاهات متعاكسة. فلنتصور زوجاً من جسيمات ظهرت حديثاً مباشرة خارج أفق الحوادث. هبّ أن حركة الجسيمات ستلتقي بأحدّها عبر الأفق إلى التقب. وسيلتقط هذا في طريقه قدرأً كبيراً من الطاقة من الجاذبية القوية للتقب. اكتشف هوكنغ أن هذه المساعدة بالطاقة تكفي لـ ‘تسديد السلفة، تماماً وترقى كلاً الجسيمين: الساقط وشريكه- مازال يقيم خارج أفق الحوادث- إلى جسمين حقيقيين. أما مصير الجسم المهجور خارج الأفق فمسألة غير مؤكدة. فهو إما أن ينتهي أيضاً إلى أن يمتصه التقب الأسود أو أن يتطاير بسرعة كبيرة ويفلت تماماً من التقب الأسود. وهكذا، يتبايناً هوكنغ بأنه يجب أن يكون هناك تتفق ثابت من هؤلاء الآباء_ يجري بعيداً إلى الفضاء من جوار التقب، مكوناً أياً عرف باشعاع هوكنغ.

يجب أن تكون ظاهرة هوكنغ أقوى بالنسبة للتقويب السوداء المجهريّة، بما أنه يمكن للألكترون الافتراضي، مثلاً، أن ينتقل بسرعة 10^{-11} سم تقريباً ضمن ظروف طبيعية قبل استرداد السلفة، فإن التقويب السوداء الأصغر من هذا فقط (حجوم نووية، تقريباً)

ستكون قادرًة بفعالية على تكوين جدول من الإلكترونات. إذا كان القب أكتر من هذا، فلن يكون الوقت كافيًّا لمعظم الإلكترونات الافتراضية لعبور الأفق قبل تسديد السلفة.

إن المسافة التي يمكن أن يجتازها جسم افتراضي متوجة بأمد حياته، الذي يملأه دوره عن طريق مبدأ ريبة هايستبرغ—حجم الطاقة المستلفة. فكلما كانت السلفة كبيرة، كانت حياة الجسم أقصر. والمكون الرئيسي لسلفة الطاقة هي طاقة كتلة الجسم في حالة السكون. وفي حالة الإلكترون ما، يجب أن تكون السلفة، على الأقل، متساوية لطاقة كتلة الإلكترون في حالة السكون. وفيما يتعلق بجسم ذي كتلة أكبر في حالة السكون—بروتون، مثلاً— يجب أن تكون السلفة أكبر وبالتالي، لأجل أقصر، وهكذا تكون المسافة التي يجتازها أقل. ولذلك، فإن إنتاج بروتونات عن طريق ظاهرة هوكنغ يحتاج إلى قب أسود أصغر حتى من قب ذي أبعد نووية. وعلى العكس، فإن الجسيمات ذات الكتلة الأدنى في حالة السكون من الإلكترونات— كالنيوتريโนرات، مثلاً، يكتنفها قب أسود أكبر من أبعد نووية. أما الفوتونات، التي كتلتها صفر في حالة السكون، فيكتنفها قب أسود أبداً كان حجمه. والقب الأسود، حتى لو كانت له كتلة شمسية واحدة، فإنه يمتنع تدفق هوكنغ للفوتونات، وربما للنيوترينورات أيضًا؛ ولكن شدة التدفق في هذه الحالات تكون ضعيفة جداً.

استخدام كلمة ‘ضعيف’ هنا ليس من قبيل المبالغة. فقد اكتشف هوكنغ أن طيف الطاقة التي ينتجهما قب أسود هو نفسه كذلك الذي يشع من جسم حار، وهكذا، فإن لغة درجة الحرارة هي الطريقة الوحيدة لشرح قوة ظاهرة هوكنغ. فبالنسبة لقب ذي حجم نووي (قطر 10^{-13} سم)، تكون درجة الحرارة عالية جداً— حوالي عشرة بلايين درجة. وعلى العكس، فإن درجة الحرارة لقب أسود يزن كتلة شمسية واحدة، بقطر يتجاوز 1 كم، تكون أقل من عشرة المليون من درجة فوق الصفر المطلق. وإن يرسل الجسم الكامل أكثر من مليون—مليون—المليون من الواط في إشعاع هوكنغ.

واحد من شذوذات ظاهرة هوكنغ هو أن درجة حرارة الإشعاع ترتفع مع انخفاض كتلة الجسم الأسود. ومعنى هذا أن درجة الحرارة في القوب الصغيرة أعلى منها في الكبيرة. عندما يشع قب أسود، فإنه يفقد طاقة وبالتالي كتلة، وللهذا، فهو يتقلص. وبالتالي، يصبح أشد حرارة ويشع بقوة أكبر، ولذلك، تزداد سرعة تقلصه. العملية غير

مستقرة أصلاً وأخيراً تولي الأدبار، وتقب أسود يصدر طاقة ويقتلك حجمه دائمًا مع ازدياد السرعة.

نتيجة ظاهرة هوكتنغ بأن كافة التقوب السوداء ستختفي ببساطة في النهاية في هبة إشعاع. وستكون اللحظات الأخيرة مثيرة، حيث تبدو كأنفجار قبلة نووية كبيرة، ومضمة قصيرة من طاقة حرارية شديدة يعقبها لاشيء. ذلك، على الأقل، ما تراه النظرية. ولكن بعض الفيزيائيين لا يسعدهم إمكانية انهيار جسم مادي لتشكيل تقب أسود، يتلاشى بدوره مختلفاً بإشعاعاً حرارياً لا غير. ويخشى هؤلاء من أن ينتهي جسمان مختلفان جداً إلى إنتاج إشعاع حراري متعالٍ، مع عدم توفر معلومات عن الجسم الأصلي البالطي على قيد الحياة. إن تأثيراً متلاشياً كهذا ينتهك كافة أنواع قوانين الحفظ المعتبرة. وهناك اقتراح بديل يرى أن اختفاء التقوب السوداء يختلف بقية صغيرة جداً تحتوي، بطريقة أو بأخرى، على كميات كبيرة من المعلومات. وأيًّا كانت الطريقة، فإن الجزء الأكبر من كتلة التقب يشع على شكل حرارة أو ضوء.

عملية هوكتنغ بطينة إلى حد لا يمكن إدراكه. جسم أسود ذو كتلة شمسية واحدة يستغرق 10^{66} سنة حتى يختفي، بينما يستغرق تقب فائق الجسامية زماناً أكبر، حوالي 10^{93} سنة. والعملية لن تخرج إلى حيز التنفيذ أيضاً قبل أن تهبط درجة الحرارة الخلفية للكون إلى أدنى من درجة حرارة التقب الأسود، وإلا كسبت الحرارة المتتدقة إلى التقب من الكون المحبيط إلى صفتها الحرارة المتتدقة خارجة من التقب عن طريق ظاهرة هوكتنغ. والآن، تكون حرارة الإشعاع الحراري الخلفي المختلف من الانفجارات الكبير بحدود ثلث درجات فوق الصفر المطلق، ويستغرق 10^{22} سنة قبل أن يبرد إلى المستوى الذي يكون عنده ضياء صاف للحرارة من التقوب السوداء ذات الكتل الشمسية. وعملية هوكتنغ ليست شيئاً يمكن لأحد أن يجلس حوله ويراقبه.

ولكن "إلى الأبد" زمن طويل، ومع التسليم بفكرة "إلى الأبد، فإن كافة التقوب السوداء-حتى الفائقة الجسامية منها-ربما ستختفي في النهاية، ويقدح موتها ومضات خاطفة من الضوء في الظلمة الحالكة لليل الكوني السرمدي، إنها نقش عابر على ضريح الوجود الزائل لbillions من الشموس المشتعلة.

فما الذي يبقى؟

ماكل المادة تسقط إلى التقوب السوداء. علينا أن نضع في حسابنا النجوم النيوترونية والأقزام السود والكواكب المفتردة التي تهيمن وحيدة على الأحياء بين المجرة الواسعة، ناهيك عن كميات هائلة من غاز وغبار لم تجتمع مع بعضها بعضاً لتشكل نجوماً، ونجومات، ومنذنات، ونيازك، وقطعاً شاذة ضخمة من صخر سبب الفوضى في منظومات النجوم. فهل تعيش هذه الأجسام إلى الأبد؟

تواجهنا هنا صعوبات نظرية. علينا أن نعرف ما إذا كانت مادة عادية-مادتك وما الذي والأرض الكوكب-مستقرة بصورة مطلقة. نجد الدليل النهائي للمستقبل في ميكانيكا الكم. ومع أن العمليات الكمية ترافق، بصورة طبيعية، منظومات ذرية دون ذرية، فإن قوانين فيزياء الكم تتطبق على كل شيء، بما في ذلك الأجسام العائمة. التأثيرات الكمية في الأجسام الكبيرة ضئيلة جداً، ولكنها، على المدى الطويل، تصبح قادرة على إحداث تغيرات رئيسية.

العلمتان المميزتان لفيزياء الكم هما الريبيه والاحتمال. ففي حقل الكم لا شيء مؤكد، باستثناء فائدة المراهنة. هذا يعني أنه إذا كانت عملية ما ممكنة بأية حال، فإنها سوف تحدث في النهاية إذا توفر لها الزمن الكافي، ولكنها قد تكون غير محتملة. يمكن أن نلاحظ هذه القاعدة في العمل في حالة النشاط الإشعاعي. نواة اليورانيوم-238 مستقرة تماماً تقريباً. ولكن هناك فرصة ضئيلة جداً لأن تطلق جسيم ألفا وتتحول إلى ثوريوم. ولتوخي الدقة، هناك بعض من احتمال ضئيل جداً في وحدة الزمن في أن نواة يورانيوم معلومة سوف تتفكك. وتستغرق عملية التفكك هذه ما يقرب من أربعة بلايين ونصف المليون سنة، ولكن، بما أن قوانين الفيزياء تحتاج إلى احتمال ثابت في وحدة الزمن، فإن أيام نواة من اليورانيوم سوف تتفكك في النهاية بالتأكيد.

يحدث الانحلال الألقي الفعال شعاعياً بسبب وجود شيء من الريبيه في موضع البروتونات والنيوترونات التي تكون نواة ذرة اليورانيوم، ولهذا، يكون هناك دائماً احتمال ضئيل جداً في أن تتوضع مجموعة من هذه الجسيمات، بصورة مؤقتة، خارج النواة، حيث تدفع بسرعة من هناك بعيداً. وبالمثل، هناك ريبة ضئيلة أيضاً، ولكنها ليست صفراء، في الموضع الدقيق لنزرة ما في مادة صلبة. فعلى سبيل المثال، تهيمن ذرة من كربون في حجر ماسي في موضع محدد تماماً في الشبكة البلورية، وستكون هذه الإقامة مستقرة للغاية في درجة الحرارة القريبة من الصفر التي يتوقع أن يكون عليها الكون في

المستقبل البعيد، ولكن ليس بصورة تامة. فهناك دائماً ظل من الريبة في موضع النزرة، يتضمن احتمالاً ضئيلاً بأن النزرة قد تفترق تقليانياً من مكانها في الشبكة وتظهر في مكان آخر. ويسبب هذه العمليات المهاجرة، لاشيء موثوق فعلاً - حتى ولا مادة صلبة كحجر الماس. وبدلأ من ذلك، فإن المادة الصلبة ظاهرياً تشبه سائلاً لزجاً للغاية، وخلال آماد هائلة يمكن أن تسيل، بسبب التأثيرات الكمية الميكانيكية. ويُخْمَن الفيزيائي النظري فريمان دايرون أنه بعد حوالي 10⁶⁵ سنة، سوف يتضاعف إلى خرزة كروية، ليس فقط كل حجر ماسي مقطوع بعناية، بل ستتشوه أيضاً كل كتلة ضخمة من صخر إلى كرة مساء.

يمكن أن تؤدي ريبة الموضع أيضاً إلى تحول نووي. فعلى سبيل المثال، تعالوا ندرس ذرتين متباورتين من الكربون في بلورة ماسية. نادرًا جدًا ماتسبب إعادة تعيين الموضع الغفوية لإحدى الذرتين ظهور نواتها، في أية لحظة، مباشرة بعد نوأة جارتها. وعندئذ، يمكن لقوى الجذب النووية أن تسبب اندماج النواتين لتشكيل نوأة مغنتزيوم. فالاندماج النووي، إذًا، لا يحتاج إلى درجات حرارة عالية جداً: الاندماج على البارد ممكن، ولكنه يستغرق مدة هائلة من الزمن. وقدر دايرون أن اندماجاً كهذا يحدث بعد 10¹⁵⁰⁰ سنة (أي، 1 متبوعاً بـألف وخمسين ألف صفر)، وستتحول المادة كلها بهذه الطريقة إلى الشكل النووي الأكثر استقراراً، الذي هو الحديد العنصري.

ولكن المادة النووية لن تعيش، بأية طريقة، هذا الأمد الطويل بسبب عمليات التحول الأكثر سرعة والتي تبقى، مع ذلك، بطينة إلى حد لا يصدق. ويفترض دايرون في تقديره أن البروتونات (والنيوترونات المرتبطة في نوى) مستقرة بشكل مطلق. وبمعنى آخر، إذا لم يسقط بروتون ما في ثقب أسود وبقي، بخلاف ذلك، ساكناً، فإنه سيقع إلى الأبد. ولكن هل يمكن التأكد من صحة هذا القول؟ عندما كنت طالباً، مakan أحد يشك في صحته. كانت البروتونات هي البالية إلى الأبد. كانوا يفترضون أنها جسيمات مستقرة تماماً. ولكن، كان هناك دائماً شك مزعج حول هذا. وتنصل المشكلة بوجود جسم يدعى بوزيترون^{*}, الذي يماثل الإلكترون باشتاء أنه، كالبروتون، إيجابي الشحنة. البوزيترونات أخف بكثير من البروتونات، وهكذا، إذا تساوت كل الظروف الأخرى، تفضل البروتونات أن تتحول إلى بوزيترونات: إنه لمبدأ فيزيائي عميق القائل إن

*-الكترون موجب-المترجم.

المنظومات الفيزيائية تسعى إلى الحالة الأدنى لطاقتها، والكتلة الصغيرة تعنى طاقة أدنى. ولليوم، لا يمكن لأحد أن يقول لماذا لا تمضي البروتونات ببساطة وتتعلّم ذلك، ولها هذا يفترض فيزيائيون ببساطة أن هناك قانوناً في الطبيعة يمنعها. حتى الآن، لم يكن هذا الموضوع مفهوماً بصورة جيدة أبداً، ولكن، ظهرت في أواخر السبعينيات صورة أكثر وضوحاً تتعلق بالطريقة التي فيها تحدث قوى نووية جسيمات لكي تحول إلى بعضها شيئاً وفقاً للآلية الكمية . أفردت أحدث النظريات مكاناً طبيعياً للقانون الذي يمنع تفكك البروتونات، ولكن معظم هذه النظريات تتباين أيضاً بأن القانون ليس فعالاً 100%. يمكن أن يكون هناك احتمال ضئيل جداً بأن يتتحول بروتون معلوم حقاً إلى بوزيترون. ونبوعة يقول إن الكتلة المتبقية تظهر جزئياً على شكل جسم متداول كهربائياً، كالبيون Pion المعروف، وجزئياً على شكل طاقة حركة (منتجات التفكك التي تكون تتحرك بسرعة عالية).

في أبسط النماذج النظرية، نجد أن تفكك البروتون يحتاج إلى زمن نسبي مقداره 10²⁸ سنة، وهو أمد أطول من العمر الحالي للكون بليون مليون سنة. ولذلك يمكن لأحدنا أن يتصور أن موضوع تفكك البروتونات سوف يبقى من قبيل الفضول الأكاديمي الصرف. مع ذلك، يجب أن نتذكر أن العملية عملية ميكانيكية-كمية، وبالتالي، فهي احتمالية متصلة في الطبيعة: 10²⁸ سنة عمر نسبي متوقع، وليس عمراً فعلياً لكل بروتون. ومع افتراض وجود ما يكفي من البروتونات، فالفرصة طيبة لأن يتفكك أحدهما تحت بصرنا بالذات. وفي الواقع، لو أعطينا 10²⁸ بروتوناً، لتوقعنا أن واحداً تفريضاً يتفكك كل سنة، و 10²⁸ بروتوناً نجدها في 10 كغ فقط من المادة.

ولكن عمراً بأمد كهذا للبروتون كان قد استبعد بالتجربة قبل شروع النظرية. مع ذلك، هناك نسخ مختلفة للنظرية تعطي أعماراً أطول 10-10³⁰ أو 10³² سنة، أو حتى أطول (تنبيعاً بعض النظريات بعمر 10⁸⁰ سنة). وتقع القيم الأدنى على حالة إمكانية الاختبار التجاري. وزمن التفكك 10³² سنة، مثلاً، يعني أن أحدنا قد يفقد بروتوناً واحداً أو اثنين من جسمه خلال حياته. ولكن كيف يمكن اكتشاف هذه الحوادث النادرة؟

كانت التقنية المختارة تقضي بجمع آلاف الأطنان من المادة ومراقبتها على مدى عدة أشهر بأجهزة كشف حساسة مولفة بحيث تقدحها منتجات حادثة من حوادث تفكك أحد البروتونات. ومن سوء الحظ أن يكون البحث عن تفكك البروتون كالبحث عن إبرة في

كبس من القش، لأن حوادث التفلك يحجبها عدد كبير جداً من حوادث مماثلة تسببها منتجات الانبعاع الكوني. فالارض تُنَفَّف باستمرار بجسيمات عالية الطاقة من الفضاء، الذي ينتج خلفية موجودة دائمًا من الحطام دون الذري. ولتحقيق هذا التداخل، يجب إجراء التجارب في أمكنة عميقه تحت الأرض.

أجريت هذه التجربة على عمق يتجاوز نصف ميل تحت الأرض، في منجم للملح قرب كييفلاند، في أوهايو. كان الجهاز يتالف من عشرة آلاف طن من ماء فائق النقائص في خزان مكعب تحيط به أجهزة كاشفة. وكان قد تم اختيار مياه شفافة لمساعدة الأجهزة الكاشفة على كشف أكبر عدد من البروتونات فوراً. وإليكم الفكرة: إذا تفكك البروتون بالطريقة التي تتوقعها النظريات الحديثة، عندئذ يُنْتَج، كما شرحت، بيونا Pion متعدلاً كهربائياً إضافة إلى بوزيترون واحد. وبدوره، يتفكك البيون بسرعة، عادة إلى فوتونين تشتيطين جداً، أو أشعة غاما. وأخيراً، تواجه هذه الأشعة نوى في الماء وتكون كل منها زوجاً مولفاً من إلكترون وبوزيترون، وهو أيضاً تشريط جداً. وفي الواقع، ستكون هذه الإلكترونات والبوزيترونات الثانوية نشطة جداً حتى أنها تنتقل بسرعة قريبة من سواعة الضوء، حتى في الماء.

ينتقل الضوء بسرعة 300000 كم/ثا في الخواص، وهذه هي السرعة النهاية التي يمكن أن ينتقل بها أي جسيم. ولكن الماء يمارس تأثيراً يخفف، إلى حد ما، سرعة الضوء إلى ما يقرب 230000 كم/ثا. ولذلك، فإن الجسيم دون الذري العالى السرعة الذي يتحرك في الماء بسرعة تقارب 300000 كم/ثا ينتقل، في الواقع، بسرعة أكبر من سرعة الضوء في الماء. عندما تطير طائرة بسرعة تتجاوز سرعة الصوت، فإنها تحدث دوياً صوتيّاً. وبالمثل، إن جسيماً مشحوناً ينتقل عبر وسط ما بسرعة أكبر من سرعة الضوء في ذلك الوسط يُحدِّث موجة صدمة كهروطيسية مميزة - تُعرف باسم إشعاع سيرنوكوف، باسم مكتشفه الروسي. ولهذا، عمل القائمون على تجربة أوهايو على نصب أجهزة كاشفة حساسة للضوء بحثاً عن ومضات سيرنوكوف. ولتمييز حوادث تفكك البروتونات من النيوترينوات الكونية والحطام الآخر دون الذري الزائف، راح القائمون على التجربة يبحثون عن بصمة مميزة - زوج متزامن ظهر ألا ظهر من نبضات ضوء سيرنوكوف، التي يصدرها زوج الإلكترونات وبوزيترونات الذي يتحرك بصورة معاكسة.

* هو ما يطلق عليه 'احتراق حاجز الصوت' - الترجم.

ومن سوء الحظ أنه بعد عدة سنوات من العمل فشلت تجربة أوهابو في إيجاد البروتون مفعى على تفكك البروتون -مع أنها، كما لاحظنا في الفصل الرابع، التقطت النيوترينوات من مستسمر A. (وكما هي حال العلم غالباً، فإن البحث عن شيء يؤدي إلى اكتشاف شيء آخر غير متوقع.) وفي الوقت الذي وضعت فيه هذا الكتاب، تمحضت تجارب أخرى عن نتائج عقيمة، مع أنها استخدمت طرقة مختلفة. ومعنى هذا أن البروتونات لا تفكك. ومن ناحية أخرى، قد يعني أنها تفكك ولكن أمد حياتها يتجاوز 10³² سنة. وقياس سرعة أدنى من هذه السرعة للتفكك هو فوق الإمكانيّة التجريبية الحالية، وربما يبقى تفكك البروتونات مجهولاً في المستقبل المنظور.

حفر البحث بخصوص تفكك البروتونات مؤلفٌ نظري حول مختلف النظريات الكبرى الموحدة، التي وضعت هدفاً لها توحيد القوة النووية القوية (القوة التي تربط البروتونات والنيوترونات مع بعضها بعضاً في النوع) مع القوة النووية الضعيفة (المسؤولة عن نشاط بيتا الإشعاعي) والقوة الكهرطيسية. يحدث تفكك البروتونات نتيجة لتمازج دقيق بين هذه القوى. ولكن، حتى لو تبيّن في النهاية خطأ هذه الفكرة للتوحيد الكبير، فإنه يبقى هناك أحتمال أن البروتونات تتفكك بطريقة أخرى -طريقة تتضمن القوة الأساسية الرابعة في الطبيعة، أي الجاذبية.

لكي ندرك كيف يمكن للجاذبية أن تسبب تفكك البروتونات، من الضروري أن نضع في اعتبارنا حقيقة أن البروتون ليس جسيماً عنصرياً حقاً وشكلاً يشبه النقطة. ولكنه، في الواقع، جسم مركب مؤلف من ثلاثة جسيمات أصغر تسمى كواركات Quarks. وفي معظم الوقت، يكون قطر البروتون حوالي $1/10$ تريليون سم، وهو متوسط المسافة بين الكواركات. ولكن الكواركات لا تبقى ساكنة بل تبدل مواضعها باستمرار داخل البروتون، بسبب الريبة الميكانيكية الكمية. وبين حين وأخر، يذنو كواركان من بعضهما بعضاً إلى حد متقابل جداً. ولكن من النادر أن تقارب الكواركات الثلاثة إلى درجة كبيرة. ومن المحتمل أن تتوصل الكواركات إلى تقارب وثيق فما بينها إلى حد تغلب فيه قوة الجاذبية بينها، المهملة تماماً في الحالة الطبيعية، على كل القوى الأخرى. فإذا حدث هذا، فإن الكواركات ستجمعن مع بعضها بعضاً لتشكل ثقباً أسود صغيراً جداً. وفي الواقع، ينهار البروتون تحت جاذبيته الخاصة عن طريق شق نفق ميكانيكي كمي. الثقب الصغير الناتج غير مزعزع إلى درجة كبيرة -لتندرك ظاهرة هوكنغ -ويتلاشى فوراً تقريباً، مكوناً

بوزيترونأً، وتقديرات مدى الحياة فيما يتعلق بتفكك البروتونات بهذه الطريقة ملتبسة جداً، وتتراوح من 10^{45} سنة إلى 10^{220} سنة، وهو رقم هائل!

إذا كانت البروتونات تفكك بعد أحد هائل، فإن النتائج ستكون عميقة بالنسبة للمستقبل البعيد للكون. فالمادة كلها ستكون غير مستقرة، وستختفي في نهاية الأمر. والجسام الصلبة، كالكواكب، التي تقاسنت السقوط إلى قلب أسود لن تبقى إلى الأبد. وبدلاً من ذلك، سوف تت弟兄 بصورة تدريجية جداً. يدل العمر 10^{32} سنة لبروتون ما ضمناً على أن الأرض فقد ترليون بروتون كل ثانية. وبهذا المعدل، سيكون كوكبنا قد تلاشى، بصورة مؤثرة، بعد 10^{33} سنة تقريباً، على فرض أن شيئاً آخر لن يدمره قبل ذلك.

ولا تستثنى النجوم النيوتونية من هذه العملية. فالنيوتونات أيضاً مركبة من ثلاثة كواركات ويمكن أن تتحول إلى جسيمات أخف بواسطة آيات تشبه تلك التي تؤدي إلى موت البروتونات. (النيوتونات المعزولة غير مستقرة في أية حالة، وتتفكك في غضون خمس عشرة دقيقة.) وعلى المنوال نفسه، تموت أيضاً النجوم القزمة البيضاء، والصخور، والغبار، والمذنبات، وسحابات الغاز الرقيقة، وكل الآثار الفلكي في حينه. والأطنان الـ 10^{48} من المادة العادية التي نشاهدها حالياً منتشرة في كافة أنحاء الكون مقدر لها أن تخفي كلها إما إلى تقويب سوداء أو من خلال تفكك نووي بطيء.

عندما تفكك البروتونات والنيوتونات، فإنها، بدون ريب، تكون منتجات تفكك، وبالتالي، لن يكون الكون بالضرورة خارجياً كلياً من المادة من أي نوع. فعلى سبيل المثال، وكما ذكرت سابقاً، يحتمل أن يتفكك البروتون إلى بوزيترون إضافة إلى بيون محابي. والبيون غير مستقر إلى حد بعيد وسرعان ما يتفكك إلى فوتونين، أو ربما إلى زوج مولف من الإلكترون وبوزيترون. وأياً كانت الحال، فإن الكون سيكتسب تدريجياً مزيداً ومزيداً من البوزيترونات نتيجة لتفكك البروتونات. يعتقد الفيزيائيون أن العدد الإجمالي للجسيمات المشحونة إيجابياً (حالياً، البروتونات بصورة رئيسية) في الكون هو ذاته كعدد الجسيمات المشحونة سلبياً (الإلكترونات بصورة رئيسية). يدل هذا ضمناً على أنه، حالما تفكك كافة البروتونات، سيكون هناك مزيج مساوٍ من الإلكترونات والبوزيترونات. وبوزيترون هو الجزيء المضاد المعروف للإلكترون، فإذا التقى بوزيترون مع الإلكترون، فإنهما سيبيد أحدهما الآخر -عملية جرت دراستها بسهولة في المختبر - فتحرر طاقة على شكل فوتونات.

وقد تم إجراء حسابات في محاولة لتحديد ما إذا كانت البوزيترونات والإلكترونات المتبقية في المستقبل البعيد للكون ستبيّد بعضها بعضاً بصورة كاملة، أو ما إذا كان ستبقى هناك دائماً بقية صغيرة. ولكن الإبادة لن تحدث بصورة مفاجئة، وما سيحدث هو التالي: في البداية، ينتظم الإلكترون وبوزيترون في نوع من ذرة مصفرة تدعى بوزيترونيوم *Positronium*، ويدور كلا الجسيمين حول مركز كتلة مشترك في رقصة موت، تربطهما جاذبية كهربائية مشتركة. وعندئذ، يتحرك الجسمان معًا بصورة حلزونية ويتشابيان. ويعتمد الزمن الذي تستغرقه هذه الحركة الحلزونية على المسافة الأولية بين الإلكترون والبوزيترون عندما تتشكل "ذرة" البوزيترونيوم. وتتفك هذه الذرة في المختبر خلال جزء صغير جداً من الثانية، ولكن في الفضاء الخارجي، ومع قليل من التشوش، يمكن أن ترتبط الإلكترونات والبوزيترونات في مدار ضخم. وتشير التقديرات إلى أن الإلكترونات والبوزيترونات تستغرق 10^{11} سنة لتشكيل البوزيترونيوم، ولكن أطراف مداراتها ، في معظم هذه الحالات، يمكن أن تكون تريليونات من السنوات الضوئية! وتتحرك الجسيمات ببطء كبير حتى أنها تستغرق مليون سنة لاجتياز سنتيمتر واحد. وتصبح الإلكترونات والبوزيترونات بطيئة جداً حتى أن زمن الحركة اللولبية يبلغ مدة مذهلة تقدر بـ 10^{16} سنة. ومع ذلك، إن المصير النهائي لذرات البوزيترونيوم هذه محظوظ من اللحظة التي تتشكل فيها.

وما يدعو إلى الاستغراب هو أنه ما كل الإلكترونات والبوزيترونات تتلاشى بالضرورة. فلطالما هي تبحث عن أرقامها المضادة، فإن كثافتها تتضامن باطراً، وذلك نتيجة للفناء وأيضاً بسبب استمرار توسيع الكون. وبمرور الزمن، تزداد شيئاً فشيئاً صعوبة تشكيل البوزيترونيوم. وهكذا، ومع أن الشالة الضئيلة من المادة البالية تتناقص أكثر فأكثر، فإنها لن تخفي، في أي وقت، بصورة كاملة تماماً. وسنجد دائماً الإلكترون أو بوزيتروناً شادداً في مكان ما، حتى وإن كان كل من هذه الجزيئات يقيم في عزلة ضمن حجم ينمو دائماً في فضاء فارغ.

يمكننا الآن أن نرسم صورة لما يمكن أن يكون عليه الكون بعد أن تكون قد اكتملت كل هذه العمليات البطيئة إلى حد لا يصدق. أولاً، ستكون هناك مادة أفلقت من الانفجار الكبير، وهي الخلفية الكونية الموجودة دائماً. وتتألف من فوتونات ونيوترونات، وربما بعض الجسيمات الأخرى المستقرة تماماً ولا نعرف عنها شيئاً حتى الآن. وسوف

تواصل طاقة هذه الجسيمات انحدارها طالما استمر الكون في توسعه، إلى أن تشكل خلفية مهملة. ستختفي المادة العادبة للكون. وتختفي كافة القنوب السوداء، وتحتول معظم كتلتها إلى فوتونات، مع أن بعضها يبقى على شكل نيوترونات، وهناك جزء ضئيل جداً، ينبعث خلال القصفة الانفجارية النهائية للقنوب السوداء، سيكون على شكل إلكترونات، وبروتونات، ونيوترونات، وجسيمات أثقل. تتفاوت بسرعة كافة الجسيمات الأثقل، وكذاك النيوترونات والبروتونات إنما ببطء أكبر، مخلفة بعض الإلكترونات التي تتضمن إلى الإلكترونات الأخرى التي هي آخر شرارة متبقية من المادة العادبة التي نراها.

وهكذا، سيكون العالم في المستقبل البعيد سحابة مخففة لايمكن تصورها من الفوتونات، والنيوترونات، وعدد متضائل من الإلكترونات والبوزيترونات، كلها تتحرك ببطء متباعدة عن بعضها أكثر فأكثر. وعلى حد معرفتنا، فإنه لن يحدث أبداً عمليات فيزيائية أساسية إضافية. ولن نقع حادثة مهمة تعطل الجدب الكثيف للكون الذي يتتابع شوطه مع أنه مازال يواجه حياة سرمدية-ربما يكون الوصف أفضل لو قلنا موتاً أبداً. هذه الصورة الكثيفة لحالة، رتيبة، باردة، مظلمة شبيهة بالعدم هي الأقرب إلى ما توصلت إليه الكوزمولوجيا الحديثة من 'موت حراري' في فيزياء القرن التاسع عشر. والزمن الذي يستغرقه الكون قبل أن ينحط إلى مثل هذه الحالة طويل جداً إلى حد يتحدى معه الخيال الإنساني. وهو، مع ذلك، مجرد جزء متناهي الصغر من الزمن الامتداهي المتاح. 'إلى الأبد' زمن طويل، كما قلنا.

ومع أن تفك الكون يحتل أمداً ضخماً أكبر من المقاييس البشرية حتى أنه، في الواقع، لا يعني شيئاً بالنسبة لنا، فإن الناس مازال يشففهم السؤال، 'ما الذي سوف يحدث لأحفادنا؟ وهل هم محكومون حتى تكون سيتوقف من حولهم ببطء، ولكن بعناد؟' ومع التسليم بالحالة غير الواعادة التي يتتبأ بها العلم بخصوص المستقبل البعيد للكون، فلن أي شكل من الحياة لابد أن يكون في نهاية الأمر محكماً بالموت، كما يبسو. ولكن ذلك الموت ليس بسيطاً.

الحياة في مر بطيء

في عام 1972، نشرت منظمة تدعى نادي روما نبوءة متشائمة حول مستقبل الإنسانية باسم *قيود على النمو* Limits to Growth. ومن بين ادعاءاتها الكثيرة حول كارثة وشيكة كانت نبوءة أن مورد العالم من الوقود الأحفوري سينضب خلال عقود قليلة جداً. فلصيب الناس بالذعر، وارتفعت أسعار النفط، وأصبح البحث عن طاقة بديلة 'موضة'. وهانحن الآن في التسعينات ولم يظهر، حتى الآن، مايدل على أن الوقود الأحفوري على وشك الاستفاذ. وبالتالي، حل الرضا محل الذعر. ومن سوء الحظ، أن حساباً بسيطاً يملي أن مورداً محدوداً لا يمكن أن يستمر إلى الأبد لكونه يستنفذ بمعدل محدود لا ينقص. فإعصار الطاقة قادم إن عاجلاً أو آجلاً. والاستنتاج نفسه يمكن أن ينسحب على سكان الكوكبة الأرضية: النمو السكاني لا يمكن أن يستمر إلى مala نهاية.

يظن بعض المتشائمين أن الازمات التي ستترجم عن نقص الطاقة وتزايد السكان سوف تقضي على البشرية مرة واحدة وإلى الأبد. مع ذلك، لا ضرورة إلى موازنة اختفاء الوقود الأحفوري باختفاء النوع البشري. فهناك، في كل مكان حولنا، مصادر واسعة للطاقة، فقط إذا توفرت لدينا الإرادة والبراعة لاستخدامها. وأكثرها أهمية ضوء الشمس الذي يحمل مايكفي من الطاقة لخدمة أغراضنا. والمشكلة الأكثر صعوبة تتمثل بالسيطرة على النمو السكاني قبل أن يتسبب لنا مجاعة جسمية. وهذا يتطلب مهارات اجتماعية، واقتصادية وسياسية أكثر منها علمية. ولكن، إذا تمكنا من التغلب على مشكلة الطاقة التي يسببها استنزاف الوقود الأحفوري، وإذا استطعنا تثبيت عدد السكان بدون صراع كارثي، وإذا استطعنا الحد من الضرر البيئي والتأثير النجمي على كوكبنا، عندئذ، أعتقد أن الإنسانية تكون في طريقها إلى الازدهار. فليس هناك قانون للطبيعة يحدد أمد حياة نوعنا.

وصفت في الفصول السابقة كيف أن تركيب الكون سيتغير خلال أمد زمنية يصعب تصورها باتجاه الانحلال عموماً نتيجة لبطء العمليات الفيزيائية. الإنسان موجود، هنا وهناك، على سطح هذا الكوكب منذ ملايين سنة (اعتماداً على تعريف الإنسان) والحضارة (بطريقة أو بأخرى) على مدى لا يقل عن بضعة آلاف سنة. ويمكن أن تبقى الأرض صالحة للسكنى على مدى بليونين أو ثلاثة بلايين سنة منذ الآن - بعد حدود من السكان، طبعاً. وهذا مدى زمني هائل جداً يجلُّ عن الوصف. فقد يبدو كبيراً جداً وكأنه لانهائي فعلاً. مع ذلك، كما قد رأينا كيف أنه حتى بليون سنة هو مجرد نبضة ضعيفة على شاشة مقارنة بالقياس الزمني للتبدل العياني، الفلكي والكوزمولوجي. ولكن قد تبقى مواطن شبيهة بالكرة الأرضية موجودة في مجرتنا إلى بليون بليون سنة.

يمكننا طبعاً أن نتخيل أحافانا، وتحت تصرفهم هذه الكمية الهائلة من الزمن، يطوروون زيارة فضائية وكل ضرب من التقنيات الرائعة. وسيكون لديهم قدر كبير من الوقت لمعادرة الأرض قبل أن تشويها الشمس إلى رقاقة من البطاطاً. ويمكنهم أن يجعلُوا في البحث عن كوكب آخر ملائم، ثم عن آخر، وهلمجراً. وعن طريق التوسيع في الفضاء، يمكن للسكان أن ينتشروا أيضاً. فهل في هذا عزاءٌ لكي نعرف أن كفاحنا في سبيل البقاء، في القرن العشرين قد لا يكون عبثاً في النهاية؟

ذكرت في الفصل الثاني أن برتراند رسل، في نوبة اكتتاب بسبب عقابيل القسانون الثاني للديناميات الحرارية، كتب بعبارات مكرورة حول عبئية الوجود الإنساني على ضوء حقيقة أن المنظومة الشمسية محكوم عليها بالموت. فقد كان يشعر أن الموت المحتم الواضح المعالم لموطتنا يجعل الحياة الإنسانية، بطريقة ما، تافهة وسخيفة. ولا شك أن هذا الاعتقاد أسمه في إلحاده. فهل كان راسل سيشعر أنه في حال أفضل لو عرف أن طاقة الجاذبية في التقوب السوداء يمكن أن تتفوق على أداء الشمس بمرات كثيرة وتندوم ترليونات من السنين بعد أن تكون المنظومة الشمسية قد تفككت؟ ربما لا. فما يدخل في الحساب ليست الديمومة الفعلية للزمن، بل فكرة أن الكون سيصبح غير صالح للسكنى عاجلاً أو آجلاً؛ وهذه الفكرة تجعل بعض الناس يشعرون أن وجودنا لامعنى له.

من وصف المستقبل البعيد للكون الذي أوردهنا في نهاية الفصل السابع، قلماً يمكن الافتراض أنه يمكن للمرء أن يتخيَّل بينة أقل اعدالاً وأكثر عوانية. مع ذلك، يجب الا

نفالي، أو نتشامم. لاشك في أن الكائنات البشرية سوف تواجه ظروفاً صعبة بخصوص كسب رزقها في كون يتألف من سحاب مخفي من الإلكترونيات والبيوزترونات، ولكن المسألة المهمة هي بالتأكيد ليست ما إذا كان نوعنا بحد ذاته خالداً ولكزماً إذا كان أحفادنا سيمكونون من البقايا. ومن غير المحتمل أن يكون أحفادنا كائنات بشرية.

ظهر النوع البشري على سطح الأرض كنتاج لتطور بيولوجي. ولكن نشاطاتنا الخاصة سرعان ما عملت على تعديل عمليات التطور. فقد تدخلنا، حتى الآن، بعمل الأصنافاء الطبيعي. وتزايد أيضاً إمكانية العمل على توجيه الظروف. وقد نتمكن عما قريب من تصميم كائنات بشرية ذات صفات وميزات جسدية موصوفة عن طريق التحكم الوراثي. وقد ستحت هذه الفرص التقنية الحيوية خلال عقود قليلة فقط من عمر المجتمع التقني. فلتتصور ما يمكن أن تنجذه خلال آلاف أو حتى ملايين السنين من عصر العلم والتكنولوجيا.

وأستطيع هذا النوع ، خلال بضعة عقود فقط، أن يترك الكوكب ويغامر إلى الفضاء القريب. وخلال أيام، يمكن لأحفادنا أن ينتشروا إلى أبعد من الأرض إلى منظومة شمسية أوسع، ثم إلى مجموعات أخرى نجمية ضمن المجرة. ويظن الكثيرون من الناس خطأً أن مشروعـاً كهذا يمكن أن يقرب الجنس البشري من الخلود. ولكن لا يمكن تفسير المسألة على هذا النحو. مع ذلك، ربما يتقدم الاستعمار بوتقة كوكبية: يغادر المستعمرون الأرض إلى كوكب ملائم يبعد سنوات ضوئية قليلة، وإذا استطاعوا أن يسافروا بسرعة قريبة من سرعة الضوء، فإن الرحلة سوف تستغرق فقط تلك السنوات القليلة. وإذا لم يتمكن أحفادنا من إحراز سرعة أكبر من 1% من سرعة الضوء-هدف متواضع بما يكفيـ فإن الرحلة ستتطلب بضعة قرون. وقد يقتضي إكمال التأسيس الفعلى لمستعمرة جديدة زيادة بضعة قرون، وهي مدة يمكن أن تدفع أحفاد المستعمرين الأصليين إلى التفكير بإرسال حملتهم الاستعمارية إلى كوكب آخر ملائم وأكثر بعداً. وبعد بضع مئات من السنين، سيكون الكوكب الثاني هذا قد استُعمِر، وهلمجرا. بهذه الطريقة استعمـر البولينزيون الجزر في المحيط الهادئ.

يستغرق الضوء فقط مئة ألف سنة تقريباً لكي يعبر المجرة، وهذا سيكون الزمن الإجمالي للرحلة، بنسبة 1% من هذه السرعة، هو عشرة ملايين سنة. فإذا استُعمِر مئة ألف كوكب على طول الطريق واستغرق تأسيس كل واحد من هذه الكواكب قرنين من

الزمن، فإن هذا لن يكون أكثر من ثلاثة أضعاف السلم الزمني للاستعمار المجري. ولكن ثلاثة مليون سنة يعتبر زمناً قصيراً جداً بالمعايير الفلكية والجيولوجية. فالشمس تستغرق حوالي مئتي مليون سنة لتدور حول المجرة مرة واحدة فقط؛ ولكن الحياة ظهرت على الأرض قبل مدة أكبر من هذه المدة بسبعين عشر مرة، وهرم الشمس سيؤثر على الأرض إلى حد خطير في غضون 2 أو 3 بلايين سنة، ولهذا سيكون التغيير الذي سوف يحدث ضئيلاً جداً خلال 30 مليون سنة. والنتيجة هي أن يمكن لأحفادنا أن يستعمروا المجرة خلال جزء بسيط من الزمن الذي تستغرقه الحياة على الأرض لكي تتطور إلى مجتمع ثقني.

أحفادنا المستعمرون هؤلاء، ماذا يشبهون؟ إذا أطلقنا عنان الخيال، فإنه يمكن أن نحدس بأن المستعمرات يمكن أن يكونوا موجهين وراثياً بحيث يتكيفون بسهولة مع الكوكب الهدف. ولنضرب لذلك مثلاً بسيطاً، إذا اكتشف كوكب شبيه بـ سالارض حول كوكبة النهر ووُجد أن جوه يحتوي فقط على 10% من الأكسجين، عندئذ، يمكن أن يجري تدبير المستعمرات بحيث يحملون مستويات أعلى من الكريات الحمر. وإذا كانت جانبية سطح الكوكب الجديد أعلى، فإنهم قد يُمنحون جسداً أكثر نشاطاً وعظاماً أكثر قوة، وهلم جرا.

والرحلة أيضاً لاتعرض أية مشكلة - حتى لو استغرق إنجازها بضعة قرون. فالسفينة الفضائية يمكن أن تبني على غرار سفينة نوح - نظام بيئي مكتمل بذاته تماماً قادر على إعالة المسافرين على مدى أجيال عديدة. أو يمكن، بدلاً من ذلك، تجميد المستعمرات في ثلاثات بدرجة صفر فهرنهايت على مدى الرحلة. وفي الواقع، يمكن أن يكون لهذا معنى أفضل إذا قلنا إنه يمكن أن ترسل سفينة فضائية صغيرة مع طاقتها ونحملها، فيما تحمل، ملايين البيوض المخصبة المجمدة. ويمكن احتضان تلك البيوض عند الوصول، وبهذا يمكن تأمين سكان جاهزين بدون مشكلات لوجستية واجتماعية من تلك التي تترتب عن نقل أعداد كبيرة من الكائنات الرائدة خلال أمد طويل.

ومن جديد، وبروح التأمل بما يمكن أن يكون كميات ممكنة هائلة مفترضة من الزمن، ليس هناك سبب يفرض أن يكون هؤلاء المستعمرون من بني البشر مظهراً أو حتى عقلياً. فإذا كان يمكن تدبير الكائنات بحيث تلبى حاجات مختلفة، عندئذ، يمكن أن تتضمن كل حملة كيانات مصممة لغرض ذات تشريح وبيولوجية ضروريين للعمل.

لن يحتاج المستعمرون حتى إلى أن يكونوا من عضيات حية، بالتعريف العادي. حيث أصبح ممكناً الآن زرع معالج مجهري من رقاقة سلوكونية إلى الكائنات البشرية. ويمكن لتطوير إضافي لهذه التقنية أن ينتج مزيجاً من أجزاء عضوية وإلكترونية اصطناعية تقوم بكلتا الوظيفتين، الفيزيولوجية والدجاجية. فعلى سبيل المثال، قد يصبح ممكناً تصميم ذاكرة تثبت بمسامير "عنمية" عوضاً عن الأدمغة البشرية، تشبه تلك الذواكر الإضافية المتوفرة حالياً للحواسيب الألكترونية. وعلى العكس، قد يثبت قريباً أن تكييف مادة عضوية لإنجاز الحساب هو أكثر فعالية من إنتاج أدوات الأجسام الصلبة للعمل. وفي الواقع، سيكون ممكناً "تنمية" مكونات حاسوبية بطريقة بيولوجية. والأكثر احتمالاً أن يتم استبدال الحواسيب الرقمية بشبكات عصبية لإنجاز الكثير من الأعمال؛ وحتى في الوقت الحاضر، تستخدم مثل هذه الشبكات بدلاً من الحواسيب الرقمية لمحاكاة العقل البشري والتسلُّط بالسلوك الاقتصادي. وقد تكون تنمية شبكة عصبية عضوية من قطع من نسيج دماغي معقوله أكثر من تصنيعها منذ البداية. وقد يكون مناسباً أيضاً تركيب مزيج تكافلي من شبكات عضوية واصطناعية. ومع تطور النانوتقنولوجيا Nanotechnology، يصبح التمييز أقل وضوحاً بين الحي وغير الحي، بين الطبيعي والاصطناعي، وبين الدماغ والحوسبة.

تنتهي هذه التأملات في الوقت الحاضر إلى عالم الخيال العلمي. فهل يمكن أن تصبح حقيقة؟ مع ذلك، هذا لا يعني أن شيئاً ما سوف يحدث لمجرد كوننا قادرين على تخيل ذلك الشيء. ولكن، يمكننا تطبيق المبدأ نفسه على العمليات التقنية كما فعلنا مع العمليات الطبيعية: إذا كانت المدة طويلة بما يكفي، فإن أي شيء يمكن أن يحدث سوف يحدث. وإذا استمر بنو البشر أو أحفادهم (قد تكون تلك "إذاً كبيرة") يتعرضون لتحفيز كافٍ، عندئذ لن يقيد التكنولوجيا سوى قوانين الفيزياء. إن تحدياً كمشروع الجينوم البشري، الذي قد يكون عملاً منطيناً بالنسبة لجيل واحد من العلماء، سيكون واضحاً بما يكفي إذا نهض به منه، أو ألف، أو مليون جيل.

دعونا نأخذ الموقف المترافق بأننا سوف نبقى على قيد الحياة ونواصل تطوير تقنيتنا نحو حدودها القصوى. فماذا يتضمن ذلك حول استكشاف الفضاء؟ إن تركيب كائنات حساسة مصممة بهدف سيهيء إمكانية إرسال وكلاء إلى مواطن معادية كلها حتى الآن

لإنجاز مهام لا يمكن تصدقها حالياً. ومع أن هذه الكائنات قد تكون نواجح نهاية لتفتية بداعها الإنسان، فإنها نفسها لن تكون إنسانية.

هل ينبغي لنا أن نحمل هماً خاصاً حول قدر هذه الكينونات الغريبة؟ قد يشعر الكثيرون من الناس بالتفزز لتوقع استبدال الجنس البشري بهذه المسوخ. فإذا كانت البشرية تتطلب من الكائنات الإنسانية أن تقتحم المجال لروبوتات Robots عضوية مدبرة وراثية، فإننا قد نؤثر الانفراط. مع ذلك، إذا كانت تحزننا أرجحية زوال الجنس البشري، فإنه يجب علينا أن نتساءل بدقة ماذا عن الكائنات الإنسانية التي ننطلي على المحافظة عليها. ليس شكنا الفيزيائي بالتأكيد. أليس عجنا فعلاً أن نعرف أنه في غضون مليون سنة من الآن، قد يصبح أحفادنا بدون أبيه؟ أو بسيقان الصدر أو رؤوس وألمعات أكبر؟ وبرغم كل شيء، لقد تغير شكنا الفيزيائي كثيراً خلال القرون القليلة الماضية وهناك اليوم اختلافات واسعة بين مختلف الجماعات العرقية.

أظن أن معظمنا سيعُدُّ، عند الحاجة، مخزوناً أكبر عن طريق ما يمكن أن يدعى بالروح الإنسانية-ثقافتنا، مجموعة قيمنا، بنيتنا العقلية المميزة، كما تمثلها إنجازاتنا الفنية، والعلمية، والفكرية. ولا شك أن هذه المسائل جديرة بالصيانة والتخليد. فإذا تمكنا من نقل إنسانيتنا الجوهرية إلى أحفادنا، أيَّاً كان شكلهم الفيزيائي، عندئذ، يمكن الوصول إلى بقاء ما هو مهم أكثر.

وتقى مسألة ما إذا كان ممكناً خلق كائنات شبيهة بالإنسان، ترحل وتنتشر عبر الكون مسألة حدسية إلى حد بعيد. وبعيداً تماماً عن أي شيء آخر، فإن الجنس البشري قد يفقد الدافع لمشروع عظيم كهذا ، أو أن تسبب كوارث أخرى اقتصادية، أو غيرها زوالنا قبل أن نغادر الكوكب بصورة جدية. وربما تكون سبقتنا كائنات من خارج نطاق الأرض واستعمرت معظم الكواكب الملازمة (من الواضح أن الأرض ليست من بينها حتى الآن). وسواء ألت هذه المهمة إلى أحفادنا أو إلى نوع غريب، فإن إمكانية الانتشار عبر الكون والسيطرة عليه بواسطة التكنولوجيا تقى فكرة جذابة، وتغري بطرح السؤال: كيف سيتعامل مثل هذا العرق المتوقع مع انهيار الكون؟

الأماد الزمنية فيما يخص انهيار الكون التي درسناها في الفصل السابع ضخمة جداً حتى أن أيام محاولة تخمين كيف سيكون شكل تلك التكنولوجيا في المستقبل البعيد اعتماداً على استقرار الميول الحاضرة ستكون عديمة الجدوى. من يمكنه أن يتصور مجتمعاً

تكنولوجيًّا عمره ترليون سنة؟ قد يبدو لنا وكان مجتمعاً كهذا يمكن أن يتحقق أي شيء. على الرغم من ذلك، إن آلية تكنولوجيا، مهما تقدمت، فإنها من المفترض أن تبقى خاضعة للقوانين الأساسية للفيزياء. فعلى سبيل المثال، إذا كانت نظرية النسبية صحيحة في استنتاجها القائل إنه مامن جسم مادي يمكن أن يتجاوز سرعة الضوء، عندئذ سوف يفشل الجهد التكنولوجي، حتى وإن كان عمره ترليون سنة، في كسر حاجز الضوء. والأكثر خطورة، هو أنه إذا كان كل نشاط مهم يقتضي، على الأقل، استهلاك بعض الطاقة، عندئذ، سوف يشكل استمرار استنزاف مصادر الطاقة الحرة المتاحة في الكون في النهاية تهديداً خطيراً للمجتمع التقني مهما كان تقدمه.

بتطبيق المبادئ الفيزيائية الأساسية على أوسع تعريف للكائنات الوعية، يمكن أن نبحث فيما إذا كان انهيار الكون في المستقبل البعيد يعرض آية عقبات أساسية حفاظ على سبيل البقاء. ولكن يمكن أن يكون أهلاً لوصف ‘واعٍ’ فإنه يجب أن يكون قادرًا على معالجة المعلومات. فالتفكير والممارسة كلامها نموذجان لنشاطات تستلزم معالجة للمعلومات. وبالتالي، ماالمطلب التي يفرضها هذا على الحالة الفيزيائية للكون؟ واحد من الملخص المميز لمعالجة المعلومات هو تبديد الطاقة. وهذا هو السبب الذي في يقضي بربط كلمة المعالج الذي أطبع عليه هذا الكتاب بالإمداد الرئيسي للكهرباء. وتعتمد كمية الطاقة المستهلكة في كل بait Bit من المعلومات على اعتبارات دينامية حرارية. فيتضاعل التبديد عندما يعمل المعالج بدرجة حرارة قريبة من درجة حرارة محبيطه. ويعمل الدماغ الإنساني ومعظم الحاسيبات على نحو غير فعال تماماً، فتبديد كميات وفيرة من الطاقة الزائدة على شكل حرارة. فعلى سبيل المثال، ينتج الدماغ جزءاً ضخماً من حرارة الجسم، وتحتاج كثير من الحاسيبات إلى مجموعة تبريد خاصة لمنعها من الانصهار. ويمكن تتبع منشاً هذه الحرارة المهدورة إلى المنطق ذاته الذي تعمل بموجبه معالجة المعلومات، والذي يحتم نبذ المعلومات. فعلى سبيل المثال، إذا أُنجزت حاسبة العملية الحسابية: $1 + 2 = 3$ ، عندئذ، يُستبدل باليمنى من معلومات الدخل (1 و 2) ببait واحد من معلومات الخرج (3). وعندما تُتجزَّر العملية الحسابية، فإن الحاسبة قد تبذ معلومات الدخل، وبالتالي، تستبدل باليمنى ببait واحد. وبالفعل، فإنها لكي تمنع مجموعات ذواكرها من الانسداد، يجب على الآلة أن تطرح هذه المعلومات غير الجوهرية في كل وقت. وعملية المحو، بالتعريف، غير عكوسية، ولذلك تقتضي زيادة في

الاعتلال Entropy . وهكذا، يبدو أن جمع ومعالجة المعلومات، على أرضيات أساسية جداً، سيسنتزف حتماً، وبصورة لاعكسية، الطاقة الموجودة ويرفع اعتلال الكون.

فكرة فريمان دايسون مليأ بالحدود التي يواجهها مجتمع الكائنات الوعائية-المقدد بالحاجة إلى تبديد الطاقة بسرعة ما، لو أنه يفكر فقط-عندما يبرد الكون نحو موت حراري. أول تقييد هو أن درجة حرارة الأحياء يجب أن تكون أعلى من درجة حرارة محطيتها، وإلا فإن الحرارة المهدورة لن تتدفق منها. ثانياً، تحدد قوانين الفيزياء السرعة التي يمكن عندها لمنظومة فيزيائية أن تشع طاقة إلى محطيتها. ومن الواضح أنه لا يمكن للأحياء أن يستغلوا لمدة طويلة إذا لم ينتجوا حرارة مهدورة بسرعة أكبر من سرعة تخلصهم منها. هذه الشروط تتضمن حداً أدنى على السرعة التي يبدد فيها الأحياء الطاقة بصورة حتمية. والشرط الأساسي هو أن يكون هناك مصدر لطاقة حرارة يزود هذا الدفق الحراري الحيوي بالوقود. وبختصار دايسون إلى أن كافة هذه المصادر مقدرة لها أن تتضاعل في المستقبل الكوني البعيد، حتى أن كافة الكائنات الوعائية ستواجه في النهاية أزمة طاقة.

والآن، هناك وسيلة لإطالة أمد الوعي. الأولى، البقاء على قيد الحياة أطول مدة ممكنة؛ والثانية، زيادة سرعة التفكير والخبرة. وقد وضع دايسون افتراضاً معقولاً هو أن الخبرة الذاتية لكائن ما بمرور الزمن تعتمد على سرعة معالجة المعلومات من قبل ذلك الكائن: كلما كانت آلية المعالجة المستخدمة أسرع، كلما ازدادت أفكار ومهارات الكائن في وحدة الزمن، وينقصي الزمن، كما يبدو، بسرعة أكبر. يستخدم هذا الافتراض بطريقة مسلية في رواية الخيال العلمي، ببيضة التنين، لمؤلفها روبرت فوروورد، التي تحكي قصة مجتمع من كائنات واعية تعيش على سطح نجم نيوتروني. وتستخدم هذه الكائنات العمليات النبوية بدلاً من الكيميائية لتعزيز وجودها. وبما أن التفاعلات النبوية أسرع بآلاف المرات من التفاعلات الكيميائية، فإن الكائنات النيوترونية تعالج المعلومات بسرعة أكبر بكثير. فالثانية الواحدة بالمقاييس الإنساني تساوي عدة سنوات عندهم. ومجتمع النجم النيوتروني بدائي تقريباً عندما يحتك لأول مرة مع بني البشر، ولكنه يتتطور بالدقة وسرعان ما يدركهم.

ومن سوء الحظ أن تبني هذه الاستراتيجية كوسيلة للبقاء في المستقبل البعيد ينطوي على جانب سلبي: كلما كانت معالجة المعلومات أسرع، كانت سرعة تبديد الطاقة أكبر

ومثل ذلك استنزاف مصادرها المتاحة. قد يظن المرء أن هذا يشكل موتاً حتمياً لأحفادنا ليأكـان الشكل الغيرياتي الذي يمكن أن يختاره. ولكن المسألة ليست بالضرورة هكـذا. فقد أظهر دايسون أنه يمكن أن تكون هناك تسوية بارعة، يقوم المجتمع بموجتها بإبطاء سرعة نشاطه تدريجياً لكي تلتاء مع تضاؤل نشاط الكونـلنـقل مثلاً، الدخول في سبات لمـدة من الزمن تزداد دائماً. وخلال كل طور منـوم، يجب أن يـسمـح للحرارة من محاولات الطور النشيط السابق بالتبدد وللطاقة المفيدة بالتركم، وذلك من أجل الاستخدام في الطور النشيط التالي.

سيمثل الزمن الذاتي الذي تخـبرـه الكائنات الحية التي تتـبنى هذه الاستراتيجية جـزـءـاً أصغر فأصغر من الزمن الحقيقي المنقضي، لأن وقت توقف المجتمع يمكن دائـماً أطـولـاً. ولكنـنى أعود إلى القول إن ”إلى الأبد“ زمن طـوـيلـ، وعلـىـنا أن نتعامل مع الحـدـودـ المـتـارـضـةـ: تمـيلـ المـوارـدـ إـلـىـ الصـفـرـ ويـمـيلـ الزـمـنـ إـلـىـ الـلاتـاهـيـ. وبينـ دـاـيـسـوـنـ، مـنـ فـحـصـ بـسيـطـ لهـذـهـ الحـدـودـ، أـنـ إـجمـالـيـ الزـمـنـ الذـاتـيـ يـمـكـنـ أـنـ يـكـونـ لـامـتـاهـيـاـ حـتـىـ وإنـ كانـ إـجمـالـيـ المـواـرـدـ مـتـاهـيـاـ. ويـسـتـشـهـدـ بـاحـصـائـيـةـ مـدـهـشـةـ: يـمـكـنـ لـمـجـتمـعـ مـنـ كـائـنـاتـ حـيـةـ بـالـمـسـتـوىـ نـفـسـهـ لـعـدـ السـكـانـ، كـالمـجـتمـعـ البـشـرـيـ الـيـوـمـ، أـنـ يـبـقـىـ إـلـىـ الأـبـدـ، حـرـفـياـ، إـذـاـ استـخدـمـ طـاقـةـ إـجمـالـيـةـ مـقـدـارـهاـ 6×10^{30} جـولـ، وـهـذـاـ الرـقـمـ يـعـادـلـ نـتـاجـ الشـمـسـ لـفـتـرـةـ ثـمـانـ ساعـاتـ فـقـطـ.

ولـكـنـ الـخـلـودـ الـحـقـيقـيـ يـنـطـلـقـ أـكـثـرـ مـنـ الـقـدـرـةـ عـلـىـ مـعـالـجـةـ كـمـيـةـ لـامـحـدـودـةـ مـنـ الـمـعـلـومـاتـ. فـإـذـاـ كـانـ عـنـدـ كـانـ ماـ عـدـ مـحـدـودـ مـنـ حـالـاتـ الـدـمـاغـ، فـإـنـهـ يـمـكـنـ أـنـ يـفـكـرـ فـقـطـ بـعـدـ مـحـدـودـ مـنـ الـأـفـكـارـ الـمـخـلـفـةـ. وـلـوـ بـقـىـ إـلـىـ الأـبـدـ، فـإـنـ هـذـاـ يـعـنيـ أـنـ الـأـفـكـارـ نـفـسـهـاـ يـجـبـ التـفـكـيرـ بـهـاـ مـرـارـاـ. وـجـودـ كـهـذـاـ يـبـدـوـ تـافـهـاـ كـوـجـودـ نـوـعـ مـحـكـومـ عـلـيـهـ بـالـهـلـكـ. وـلـلـإـلـاتـ مـنـ هـذـاـ الـزـقـاقـ الـمـسـنـدـ، يـصـبـحـ مـنـ الـضـرـوريـ بـالـنـسـبـةـ لـمـجـتمـعــأـوـ لـكـائـنـ وـحـيدـ فـاتـقــأـنـ يـوـاصـلـ النـمـاءـ بـدـوـنـ حدـ. وـهـذـاـ يـطـرـحـ تـحـديـاـ شـيـدـاـ فـيـ الـمـسـتـقـلـ الـبـعـيدـ بـالـذـلـاتـ، لـأـنـ الـمـادـةـ سـوـفـ تـبـخـرـ بـصـورـةـ أـسـرـعـ مـنـ إـمـكـانـيـةـ مـصـارـتـهـاـ كـمـادـةـ دـمـاغـيـةـ. وـرـبـماـ سـيـحـاـلـ شـخـصـ مـتـهـورـ أوـ بـارـعـ اـسـتـخـدـمـ الـبـيـوتـرـيـنـوـوـاتـ الـكـوـنـيـةـ الـمـراـوـغـةـ إـنـماـ الـمـوـجـوـدـةـ دـائـماـ لـتوـسيـعـ مـدىـ نـشـاطـهـ الـعـقـليـ.

يفـتـرـضـ دـاـيـسـوـنـ ضـمـنـاـ فـيـ مـعـظـمـ درـاسـةـ سـيـدورـ مـعـظـمـ تـفـكـيرـهـ، فـسـيـ الـوـالـقـعـ، حـولـ مـصـيرـ الـكـائـنـاتـ الـوـاعـيـةـ فـيـ الـمـسـتـقـلـ الـبـعـيدــأـنـ الـعـمـلـيـاتـ الـعـقـليـةـ لـهـذـهـ الـكـائـنـاتـ تـخـتـصـرـ

دائماً إلى نوع من عملية حوسبة رقمية. ولا شك أن حاسبة رقمية هي آلة لحالة محدودة، ولذلك تواجه حداً دقيقاً حول ما يمكن أن تجزءه. ولكن، هناك أنواع أخرى من الأجهزة، تعرف باسم الحاسوبات بالقياس. ونموذجها البسيط هو المسطرة (الحاسبة) المتنزلقة. ويمكن إجراء الحاسوبات بتعديل المسطرة باستمرار، وفي حالة مثالية، يمكن أن يكون هناك عدد لا محدود من الحالات. وبالتالي، فإن الحاسوبات بالقياس تفوت بعض تحديبات الحاسوبات الرقمية، التي يمكن أن تختزن وتعالج فقط كمية محدودة من المعلومات. إذا تم تشفير المعلومات على غرار حاسبة بالقياس -مثلاً، من خلال أوضاع أجسام مادية أو زواياها -فإن قدرة الحاسبة تبدو غير محدودة. وهذا، إذا تمكن كانون من تفوق أن يشتغل حاسبة بالقياس، فلربما يصبح بإمكانه أن يفكر ليس بعدد لا محدود من الأفكار ولكن بعدد لا محدود من مختلف أفكار.

ومن سوء الحظ أنها لا نعرف ما إذا كان الكون ككل يعمل كحاسبة بالقياس أو كحاسبة رقمية. وترى فيزياء الكم أن الكون نفسه لابد أن يكون "مكمّي" -أي، مبنية في كافة خواصه وثباتاته منفصلة أكثر منها اختلافات متواضعة. ولكن هذا مجرد حدس. كما أنها لأنفهم حقاً العلاقة بين النشاط الدماغي الفكري والفيزيائي؛ فربما لا يمكن ببساطة ربط الأفكار والخبرات بفيزياء الكم التي ندرسها هنا.

ولأنها كانت طبيعة العقل، فلا شك أن كائنات حية ستواجه، في المستقبل البعيد، الأزمة البيئية النهاية: التبديد الكوني لكافة مصادر الطاقة. ومع ذلك، يبدو أنه بـ "التقلب عليها" يمكن لتلك الكائنات أن تكتسب نوعاً من الخلود. وسيتضاءل تأثير نشاطاتها على الكون شيئاً فشيئاً في سيناريو دايسون الذي لا يكترث كثيراً لاحتاجاتها، وتبقى على مدى دهور لا تتحقق خاملة، تجتر ذكرياتها بدون أن تصيب إلهاها شيئاً، بالكاد يتذكر هدوء الظلمة في كون محضر. وعن طريق تنظيم حاذق، يبقى بإمكان تلك الكائنات أن تفك بعدد غير محدود من الأفكار وتخير عدداً غير محدود من التجارب. فإلى ماذا يمكن أن تنتفع أكثر من ذلك؟

موت حرارة الكون هي الأسطورة الأكثر استمرارية بين أساطير عصرنا. وقد رأينا كيف أن راسل وأخرين اهتموا بانحطاط الكون الذي يبدو حتمياً كما تنبأ به القانون الثاني للديناميات الحرارية لتأييد فلسفة الإلحاد، والعدمية، واليأس. ومع تحسن فهمنا لعلم الكون،

* أي، موجود بشكل مضاعفات لكم ثابت-الترجم.

أصبح بإمكاننا أن نرسم صورة مختلفة إلى حد ما. فالكون قد يتوقف، ولكنه لن ينتهي. ويصبح القانون الثاني للديناميات الحرارية طبعاً، ولكنه لن يحول بالضرورة دون الخلود التافقي.

في الواقع، قد لا تكون الأمور بمثل تلك الحالة من السوء التي يصفها سيناريو دايسون. كنت، حتى الآن، أفترض أن الكون يبقى منتظمًا تقريباً عندما يتسع ويهرب، ولكن هذا الافتراض قد لا يكون صحيحاً. فالجانبية هي مصدر العديد من اضطرابات التوازن الكوني، والانتظام الكوني الواسع النطاق الذي نشهده اليوم يمكن أن يحل محله تنظيم أكثر تعقداً في المستقبل البعيد. فعلى سبيل المثال، يمكن أن تتضخم الاختلافات الطفيفة في سرعة التوسيع في مختلف الاتجاهات. وقد تجتمع الثقوب السوداء الضخمة مع بعضها بعضاً عندما يتغلب جنبيها المتبدال على التأثير المشتت للتلوسيع الكوني. ستؤدي هذه الحالة إلى منافسة غريبة: لنذكر أنه كلما كان الثقب الأسود أصغر، كانت حرارته أشد وتبخره أسرع. فإذا التحم ثقبان، فإن الثقب النهائي سيكون أكبر، وبالتالي أكثر برودة، وتلتقي عملية التبخر عقبة رئيسية. والسؤال الرئيسي، فيما يتعلق بالمستقبل البعيد للكون، هو ما إذا كانت سرعة اندماج الثقوب السوداء كافية لمحاراة سرعة التبخُر. فإذا كانت كذلك، عندئذ، ستكون هناك دائماً ثقب سوداء يمكن أن تؤمن، بواسطة الطاقة التي تحملها من أشعة هوكنغ، مصدراً من الطاقة المقيدة لمجتمع خبير تقنياً، ربما يلغى الحاجة للإسبابات. تشير الحسابات التي أجرتها الفيزيائيان دون بيج وراندول مالك-كي إلى أن هذه المنافسة مسألة على كف عفريت وتعتمد، بشكل حاسم، على السرعة الدقيقة التي بها يتواصل انخفاض توسيع الكون؛ وفي بعض النماذج، التحام الثقوب السوداء هو الذي يفوز في الواقع.

أهملت رواية دايسون أيضاً احتمال أن يقوم أحفادنا أنفسهم بمحاولة تعديل النظام الواسع النطاق للكون بحيث يحافظون على طول أعمارهم. لقد درس عالما الفيزياء الفلكية جون باراو وفرانك تيلر الوسائل التي بها يمكن لمجتمع متقدم تقنياً أن يدخل بعض التعديلات الطفيفة على حركات النجوم لتدير تنظيم تجاذبي خاص لمصلحتهم. فعلى سبيل المثال، يمكن استخدام أسلحة نووية لتشويش مدار أحد الكويكبات-مثلاً، تكفي بحيث يتلقى دفعه من كوكب ما ويمضي ليصطدم بالشمس. يعمل زخم ذلك الاستخدام على تغيير مدار الشمس في المجرة بصورة طفيفة جداً. ومع أن التأثير بسيط، إلا أنه

تراكمي: كلما كان انتقال الشمس أبعد، كان الانزياح المتحقق أكبر. وعلى مدى كثير من السنوات الضوئية، يمكن للزحمة أن تسبب اختلافاً خطيراً إذا اقتربت الشمس من نجم آخر، حيث تتبدل مجرد مواجهة ضئيلة إلى مواجهة تعدل بشكل عنيف مسار الشمس عبر المجرة. وعن طريق معالجة عدد من النجوم بهذه الطريقة، يمكن تكوين عناقيد الأجرام الفلكية واستخدامها لفائدة المجتمع. وبما أن هذه التأثيرات تتضخم وتتراكم، فإنه لا حدود لحجم المنظومات التي يمكن التحكم بها بهذه الطريقة—وكزة صغيرة هنا وأخرى هناك. ومع مزيد من البعد الزمني—لاشك في أنه سيكون تحت تصرف أحفادنا—وقد يكفي تحريرك حتى جميع المجرات.

هذه الهندسة الكونية المترافقه لابد أن تتنافس مع الحوادث الطبيعية العشوائية التي فيها تتدفع النجوم وال مجرات خارج العناقيد المقيدة تقلياً، كما وصفنا في الفصل السابع. وقد وجد باراو و تيلر أن إعادة تنظيم مجرة عن طريق معالجة كويكبية يستغرق 10^{22} سنة. ومن سوء الحظ أن التمزق الطبيعي يحدث في حوالي 10^{19} سنة، وهكذا، فإن المعركة محسومة، كما يبدو، لمصلحة الطبيعة. ومن الناحية المقابلة، فإن أحفادنا قد يتوصلون إلى التحكم بأجسام أكبر بكثير من الكويكبات. تعتمد سرعة التشتت الطبيعي أيضاً على السرعات المدارية للأجرام. وعند الحديث عن كامل المجرات، فإن هذه السرعات تهبط مع توسيع الكون، والسرعات الأكبر بطننا أيضاً تجعل المعالجة الاصطناعية أكثر بطئاً، ولكن التأثيرين لا ينفصان بالسرعة نفسها. وبمرور الزمن، يبدو أن سرعة التمزق الطبيعي يمكن أن تهبط إلى أقل من السرعة التي فيها يمكن لجماعة من المهندسين إغاثة تنظيم الكون. يطرح هذا إمكانية مهمة هي أنه، بمرور الزمن، يمكن للكائنات العاقلة أن تحقق المزيد والمزيد من التحكم بكون تعاني موارده الكثيرة من مزيد ومزيد من التقص، حتى تسيطر التقنية على كل شيء في الطبيعة ويختفي التمييز بين الطبيعي والاصطناعي.

الافتراض الرئيسي لتحليل دايسون هو أن تلك العمليات الفكرية تبدد طاقة بصورة حتمية. ولا ريب في أن العمليات الفكرية الإنسانية تستهلك طاقة وبقي الافتراض قائماً حتى الوقت الحاضر بأن أي شكل لمعالجة المعلومات لابد له من أن يدفع ثمناً بينما حرارياً أصغرياً. ومن المدهش ألا يكون هذا صحيحاً تماماً. فقد أثبت عالما الحاسوبات تشارلز بنت و رولف لاندواور، من مؤسسة الصواريخ البالستية العابرة للقارات، أن

الحساب العكوس ممكن من حيث المبدأ. هذا يعني أن بعض المنظومات الفيزيائية يمكن أن تعالج المعلومات بدون تبديد (ما يزال هذا مجرد افتراض). يمكن للمرء أن يتخيّل منظومة تفكّر بعد غير محدود من الأفكار بدون الحاجة إلى أي نوع من الإمداد بالطاقة، وليس واضحًا ما إذا كانت منظومة كهذه قادرة على جمع المعلومات إضافة إلى معالجتها، لأن أي اكتساب لمعلومات غير تافهة من البيئة يتطلب، كما يبدو، تبديداً للطاقة بشكل أو باخر، وإن يكن لمجرد تمييز الإشارة من التشویش. ولذلك، فإن هذا الكائن غير الملهاج قد لا يدرك العالم من حوله، ولكنه يمكن أن يتذكر الكون الذي كان. وربما يمكنه أن يطّلب أفضلاً.

استحوذت صورة كون يحتضر على تفكير العلماء على مدى قرن من الزمن، والافتراض بأننا نعيش في كون ينحط باضطراد من خلال التبnipr الاعتلجي هو جزء من فولكلور الثقافة العلمية. ولكن مامدى ثبوت هذا الافتراض؟ وهل يمكن أن تتأكد من أن كافة العمليات الفيزيائية تؤدي حتماً إلى شواش وانحلال؟

وماذا عن علم الأحياء الذي تلمح إليه الطريقة الدفاعية جداً التي يستخدمها بعض علماء الأحياء للدفاع عن التطور الدارويني؟ وأظن أن رد فعلهم ينشأ من تناقض مزعج لعملية بنائية بشكل واضح تدبرها قوى فيزيائية يفترض أن تكون تدميرية فسي أذني مستوى لها. ربما بدأت الحياة على سطح الأرض على شكل نوع ما من طين بدائي، والغلاف الحيوي اليوم نظام بيئي غني ومعد، إنه شبكة من المتعضيات المعقّدة بشكل متقدّن والمتنوّعة إلى درجة رفيعة في تفاعل دقيق. ومع أن البيولوجيين يرفضون، ربما خوفاً من معنى ضمني لغرض ديني، أي دليل على التقدم المنهجي في التطور، فإنه بات واضحاً للعلماء ولغير العلماء، على حد سواء، أن شيئاً ما قد تقدم، في اتجاه واحد تقريباً، منذ نشأت الحياة على سطح الأرض. وتمثل المشكلة في أن نميز أن التقدم أكثر حدة. وعلى وجه التحديد، ما الذي تقدم؟

تركزت المناقشات السابقة بخصوص البقى على الكفاح بين المعلومات (أو النظام) والاعتلالـ وبالاعتلال دائمـاً يتحقق الانتصارـ ولكن هل المعلومات بحد ذاتها هي الكمية التي يجب أن نهتم بها؟ ومع ذلكـ إن الخوض منهجاً خلـ الأفكار مثيرـ كقراءة دليلـ الهاتفـ ولا ريبـ في أن المهمـ هو نوعـية الخبرـةـ أوـ على نحوـ أكثرـ تعميـماًـ نوعـية المعلوماتـ التي تجمـعـ ويستفادـ منهاـ.

بدأ الكون، على حد مانعرف، في حالة ساكنة تقريباً. وبمرور الزمن، نشا الغنى والتنوع في المنظومات الفيزيائية التي نراها اليوم. فتاريخ الكون إذاً هو تاريخ تطور التعقيد المنظم. يبدو هذا كمفارة. كنت قد بدأت روايتي بوصف كيف أن القانون الثاني للديناميات الحرارية يقول لنا إن الكون يحتضر، متزلاً بعناد من حالة أولية لاعتلاج ضعيف إلى حالة نهائية لاعتلاج أعظمى وتوقعات صفر. وبالتالي، هل تتحسن الأحوال أو تسوء؟

في الواقع، ليس هناك تنافق، لأن التعقيد المنظم يختلف عن الاعتلاج. فالاعتلاج، أو الاضطراب، هو سلبية المعلومات، أو النظام: كلما كانت المعلومات التي تعالجها أكثر - أي، أن نوّل المزيد من النظام - كان الثنن الاعتلجي الذي تدفعه أكبر: والنظام هنا يسبب الاضطراب في مكان آخر. هذا هو القانون الثاني؛ الاعتلاج هو الرابح دائمأً. ولكن التنظيم والتعقيد ليسا مجرد نظام ومعلومات، بل يشيران إلى نماذج معينة من النظام والمعلومات. فنحن نميز اختلافاً هاماً بين الجرثوم والبكتيريا، مثلاً. كلاهما منظم، إنما بطريقة مختلفة. فنسق بلوري يمثل انتظاماً منظماً بدقة - جعل إلى حد صارخ ولكنه ممل أساساً. وعلى العكس، إن التعبوية المنظمة بدقة لجرثوم ما ممتهنة جداً.

تبدو هذه كاجتهادات ذاتية، ولكن يمكن تثبيتها بالرياضيات. وفي السنوات الأخيرة طرق حقل كامل جديد للبحث وضع هدفاً له تكريم Quantification هذه المفاهيم على اعتبارها تعقيداً منظماً، ويسعى لترسيخ مبادئ عامة للتنظيم توازي القوانين الموجدة للفيزياء. وما يزال الموضوع في المهد، ولكنه يتحدى، في الوقت الحاضر، كثيراً من الافتراضات التقليدية حول النظام والشواش.

اقررت، في كتابي *التصميم الكوني*، أن نوعاً من "قانون التعقيد المتزايد" يعمل في الكون بموازاة القانون الثاني للديناميات الحرارية. وليس هناك تضارب بين هذين القانونين. فمن حيث المبدأ، إن زيادة في التعقيد التنظيمي لمنظومة فيزيائية يزيد الاعتلاج. في التطور البيولوجي، مثلاً، ينشأ متعرضًّا جيداً أكثر تعقيداً فقط بعد حدوث عدد كبير من العمليات التدميرية، الفيزيائية والبيولوجية (الموت المبتسر للطواويف السينية التكيف، مثلاً). حتى تشكيل كسفة ثلاثية يسبب هرداً للحرارة وهذا بدوره يزيد اعتلالج الكون. ولكن التناوب غير مباشر، كما ذكرت، لأن التنظيم ليس نقيس الاعتلاج.

شجعني، إلى حد كبير، أن أكتشف أن العديد من الباحثين الآخرين قد توصلوا إلى استنتاجات مماثلة، وبذلك محلولات لصياغة ‘قانون ثانٍ’ للتعقيد. ومع أن قانون التعقيد منسجم مع القانون الثاني للدينيميات الحرارية، فإنه يقدم رواية مختلفة للتبدل الكوني، حيث يصف ارتفاع الكون (البحوث التي ألمحت إليها جعلته صارماً بمعنى ما) من بدايات ساكنة إلى حد كبير إلى حالات هي دائمًا أكثر تعقيداً ودقة.

في إطار نهاية الكون، ينطوي وجود قانون للتعقيد المتزايد على مغزىً عميق. فإذا لم يكن التعقيد المنظم نقوضاً للاعتلال، عندئذٍ لا يحتاج المخزون المحدود من الطاقة المثلية في الكون إلى وضع باوند واحد على مستوى التعقيد. والثنين الاعتلاجي المدفوع لتحسين التعقيد قد يكون عرضياً إلى حد بعيد—أكثر منه أساسياً، كما هي الحال مع مجرد التنظيم أو معالجة المعلومات. فإذا صح ذلك، فإنه قد يصبح بإمكان أحفادنا بلوغ حالات من التعقيد التنظيمي أكبر من أي وقت مضى بدون تبديد الموارد المتضائلة. ومع أنهم قد تقديم كمية المعلومات التي يعالجونها، إلا أنه قد لا يكون هناك حد لغنى وجودة نشاطاتهم العقلية والفيزيائية. حاولت، في هذا الفصل والفصل السابق، أن أقدم لمحه تكون يتباطأ ولكن ربما لن يخلو من الطاقة تماماً، ولا من مخلوقات الخيال العلمي التي تحتال على العيش بوجود شذوذات تتكدس دائمًا ضدها، وتتجرب عيوبيتها ضد المنطق العيني للقانون الثاني للدينيميات الحرارية. إن صورة كفاحها اليائس إنما ليس العيب بالضرورة في سبيل البقاء يبعث البهجة في نفوس بعض القراء والكتاب في نفوس آخرين. أما أنا، فمشاعري خليط من بهجة وكآبة.

ولكن التخمين بالكامل قائم على افتراض أن الكون سيواصل توسيعه إلى الأبد. وكنـا رأينا كيف أن هذا مصير واحد فقط محتمل للكون. فإذا تباطأ التوسيع بسرعة كافية، فإن الكون قد يتوقف يوماً ما عن التوسيع ويبدأ بالانكماش نحو الانسحاق الكبير. وأيأمل في البقاء سيكون عندئذ؟!

الفصل التاسع

الحياة في ممر سريع

ما من مقدار من العيقرية الإنسانية أو الغربية يمكن أن يطيل الحياة إلى الأبد مالم يكن هناك ‘أبد’. وإذا كان أمد وجود الكون متناهياً فقط ، فإنه لا يمكن تفادي المهمّجتون^{*}. شرحت في الفصل السادس كيف أن المصير النهائي للكون يتوقف على وزنه الإجمالي. وتشير المشاهدات إلى أن وزن الكون يقع على الخط الحرج الفاصل بين التوسيع السرمدي والانهيار النهائي. فإذا كان الكون سيدأ بالانكماش أخيراً، فإن خبرة أيام كائنات واعية ستختلف، في الواقع، كثيراً عن الوصف الذي قدمناه في الفصل السابق.

المراحل الأولى من الانكمash الكوني لن تكون مهدّة على الإطلاق. فالكون سيدأ انهياره نحو الداخل ببطء شديد، كالكرة التي تصل إلى أوج مسارها. تعالوا نتصور لحظة أنه تم الوصول إلى النقطة العليا في زمن قدره مئة بلايين سنة: آنذاك سيكون هناك مقدار كبير من النجوم التي ماتزال تحرق، وسيكون بمقدور أحفادنا متابعة حركات المجرات بمناظير بصرية-يراقبون العناقيد المجرية وهي تتباطأ تدريجياً في انسحابها ثم تبدأ بالتراجع نحو بعضها البعض. والمجرات التي نراها اليوم ستكون، في تلك الوقت، أبعد بأربع مرات. وبما أن الكون سيكون أكبر عمراً، فإنه سيكون بإمكان الفلكيين أن يروا إلى بعد يتجاوز مازراه اليوم بعشر مرات، وبالتالي، فإنهم سيمكنون من رؤية كون يشتمل على مجرات أكثر بكثير منها في الكون الذي يمكننا أن نراه في حقبتنا الكونية.

حقيقة أن الضوء يستغرق عدة بلايين من السنين لاجتياز الكون تعني أن كل الفلكيين بعد مئة بلايين سنة من الآن لن يروا الانكمash لمدة طويلة جداً من الزمن. وسوف يلاحظون أولاً أن المجرات القريبة نسبياً تقترب غالباً أكثر مما تتراجع، ولكن الضوء من المجرات البعيدة سيحتفظ بظاهر طيف الرزححة الحمراء. ولن يظهر تدفق منهجه قبل مرور عشرات البلايين من السنين. وببساطة أكبر، سيكون ممكناً تمييز التبدل الدقيق في

* المعركة التي ستحرجي بين قوى الخير وقوى الشر أو مكانها-المترجم.

درجة حرارة الإشعاع الخلفي للحرارة الكونية. ولنتذكر أن الإشعاع الخلفي هو من بقايا الانفجار الكبير وتصل حرارته اليوم إلى حوالي ثلث درجات فوق الصفر المطلق، أو 3° كلفن. ويبعد مع تعدد الكون. وستهبط حرارته، في مئة مليون سنة، إلى حوالي 1° كلفن. وسوف تستقر درجة الحرارة عند أعلى نقطة للتتوسيع، وحالما يبدأ الانكماش، فإنها سوف تبدأ بالارتفاع من جديد، رجوعاً إلى 3° كلفن عندما يتقلص الكون إلى كثافته اليوم. وسوف يستغرق هذا مئة مليون سنة أخرى: نشوء الكون وانهياره متماضلاً تقريباً في الزمن.

لابنهار الكون ببساطة بين عشية وضحاها. في الواقع، سيمكن أحفادنا من كسب عيشهم على مدى عشرات البليونين من السنين، حتى بعد أن يبدأ الانكماش. ولكن الحالة لن تكون مشرقة تماماً، إذا حدث التحول بعد أمد أطول بكثير - تريليون تريليون سنة، مثلًا. في هذه الحالة، ستكون النجوم قد احترقت قبل بلوغ النقطة العليا، وسيواجه السكان الباقون على قيد الحياة جميعهم العديد من المشكلات نفسها التي تواجه في كون يتسع دائماً.

عندما يحدث التحول، كما قيس في سنوات منذ الآن، سيعود الكون من جديد، بعد العدد نفسه من السنوات، إلى حجمه الحالي. مع أن مظهره سيكون مختلفاً جداً. حتى مع التحول في مئة مليون سنة، سيكون هناك عدد أكبر من الثقوب السوداء وعدد أقل من النجوم مما هي عليه الحال اليوم. وتكون الكواكب الصالحة لسكنى أعلى قيمة.

في الوقت الذي يعود فيه الكون إلى حجمه الحالي، ستكون سرعة انكماسه كبيرة، وتشطر أبعاده نصفاً في حوالي ثلاثة بلايين ونصف البليون سنة ويتسع طوال الوقت. ولكن اللهو يبدأ فعلاً بعد هذه المرحلة بحوالي عشرة بلايين سنة، عندما يشكل الارتفاع في درجة حرارة الإشعاع الخلفي للحرارة الكونية تهديداً خطيراً. وفي الوقت الذي ترتفع في درجة الحرارة إلى 300° كلفن، فإن كوكباً كـ الأرض سيجرد نفسه بصعوبة من الحرارة. سيبدأ بالتسخن بشكل لا يلين. فتسخُّب، أولًا، كافة الطبقات أو الأنهر الجليدية، وبعدئذ، تبدأ المحيطات بالتبخر.

وبعدأربعين مليون سنة، ستصل درجة حرارة الإشعاع الخلفي إلى معدل درجة حرارة الأرض اليوم. وعندئذ، ستكون الكواكب الشبيهة بالأرض قاحلة تماماً. طبعاً، ستكون الأرض قد واجهت قبلاً مصيرأً كهذا، لأن الشمس ستكون توسيعت لتصبح

عملاً أَحْمَرَ، وَلَكِنْ أَهْفَادُنَا الْآن لَا يَجِدُونَ مَكَانًا أَخْرَى يَذْهَبُونَ إِلَيْهِ، لَوْسَ هَنَّاكَ مِنْ مَلْجَأٍ آمِنٍ. فَالإِشعاعُ الْحَرَارِيُّ يَمْلأُ الْكُونَ، وَسَتَكُونُ حَرَارَةُ كَامِلِ الْفَضَاءِ 30° مَوْنِيَّةً وَتَرْتَسِعُ بِاِبْطَارَادٍ. وَسَيَلَاحِظُ كَافَةُ الْفَلَكِيِّينَ الَّذِينَ كَانُوا قَدْ تَكَيَّفُوا مَعَ الظَّرُوفَ الْمُتَقَدِّمةِ، أَوْ كَوْنُوا نَظَمَةً بَيْئِنَةً مُبَرِّدَةً لِتَأْخِيرِ عَمَلِيَّةِ طَبْخِهِمْ، أَنَّ الْكُونَ يَنْهَا الرَّأْيَ الْآن بِسَرْعَةِ مَحْمُومَةٍ، مَشْطَرِأً حَجَماً إِلَى نَصْفِينَ كُلِّ بَضْعِةِ مَلِيَّينِ مِنِ السَّنِينِ. وَكَافَةُ الْمَجَرَاتِ الَّتِي مَا زَالَتْ مَوْجَدَةً لَمْ يَعِدْ بِالْإِمْكَانِ تَمْيِيزُهَا، لِأَنَّهَا تَكُونُ قَدْ اِنْدَمَجَتِ الْآن. وَمَعَ ذَلِكَ، سَيَكُونُ مَازَالَ هَنَّاكَ قَدْرٌ كَبِيرٌ مِنَ الْفَضَاءِ الْفَارِغِ: الْاِصْطِدامُ بَيْنِ نَجُومِ مَسْتَقْلَةٍ سَيَكُونُ نَادِراً.

عندما يقترب الكون من طوره النهائي ستزداد ظروفه تشابهاً مع الظروف التي سادت بعد الانفجار الكبير بفترة قصيرة. فقد أنجز الفلكي مارتن ريس دراسة لأنهيار الكون أساساً بالإيمان بالآخرويات. واستطاع، بتطبيق المبادئ الفيزيائية العامة، أن يركب صورة للمراحل النهائية للأنهيار. في نهاية الأمر، سيصبح الإشعاع الحساري للكون شديداً جداً إلى الحد الذي تتوجه معه سماء الليل بحمرة باهنة. سيحول الكون نفسه ببطء إلى فرن كوني يشمل كل شيء، فيشوي كافة أشكال الحياة الهشة حينما اختبأت، ويزيل الأغلفة الكوكبية. وبصورة تدريجية، يتتحول التوهج الأحمر إلى أصفر، فأبيض، حتى يهدد الإشعاع الحراري العنيف الذي ي bum الكون وجود النجوم بالذات. وبما أن النجوم لن تستطيع أن تشع حرارتها إلى الخارج، فإنها سوف تشكل حرارة داخلية ثم تنفجر. وسيمتهن الفضاء بغاز حار-بلازما-يتوجه بقوّة وتزايد حرارته بمرور الوقت.

عندما تتزايد سرعة التغير، تصبح الظروف أكثر قسوة. فيبدأ الكون بالتبديل بشكل محسوس بعده زمني يصل فقط إلى مئة ألف سنة، فالبُلْفَ، فمئة، مساراً عَنْ نحو كارثة شاملة. ترتفع درجة الحرارة إلى ملايين، فبليين الدرجات. فتتضخط المادة التي تتسلل مناطق واسعة من الفراغ اليوم إلى حجوم صغيرة جداً. وتشغل كثلة المجرة فراغاً لا يتجاوز عرضه بضم سنوات ضوئية. لقد حانت الدقائق الثلاث الأخيرة.

تصبح درجة الحرارة، في آخر الأمر، كبيرة جداً إلى حد تتفق معه حتى النسو
الذرية. وتتفاكم المادة إلى سحاب منتظم من جسيمات أولية. عمل الانفجار الكبير، وعمل
أجيال من النجوم في تكوين عناصر كيميائية ثقيلة، لم ينجز في وقت أقل من الوقت الذي
 تستغرقه قراءة هذه الصفحة. فالنوى الذرية-بني مستقرة كان يمكن أن تصمد على مدى
تربليونات من السنين-تحطم بصورة لا ع可وسية. وكافة البنى الأخرى، باستثناء التقويب

السوداء، كانت قد سُقِّطَتْ، منذ زمن طويٍل، إلى اللاوجود. ويتمتع الكون الآن ببساطة أنيقة ولكنها مشوّمة. ولم يتبقَّ أمام الحياة سوى ثوانٍ. عندما يتتسارع انهيار الكون ويتسارع، ترتفع درجة الحرارة بدون حد معروف، لسرعة التصاعد. فتتضيق المادة بقوة كبيرة إلى درجة تختفي معها البروتونات والنويوترونات المستقلة من الوجود؛ ولا يبقى سوى سحاب الموت. ويستمر تسارع الانهيار.

هنا، يتم إعداد المسرح لكارثة الكونية النهائية، التي ستنزل بعد بضعة أجزاء من مليون من الثانية. تبدأ التقوّب السوداء بالاندماج مع بعضها بعضاً، وأجزاؤها الداخلية تختلف قليلاً عن حالة الانهيار العام للكون نفسه. فهي الآن مجرد نواحٍ زمانية مكانية وصلت إلى النهاية مبكرة قليلاً والتحتم بواسطة بقية الكون.

في اللحظات الأخيرة، تسيطر قوة الجاذبية بصورة شاملة، فتسحق، بدون رحمة، المادة والمكان. وتزداد باستمرار سرعة انحناء الزمان المكاني. فتتضيق التواحي الأكبر والأكبر للمكان إلى حجوم أصغر وأصغر. ووفقاً للنظرية التقليدية، يصبح الانفجار الداخلي قوي إلى مالا نهاية، فيتحقق المادة تماماً من الوجود ويزيل كل شيء فيزيائي، بما في ذلك المكان والزمان بالذات، عند شنوذ زماني مكاني.

هذه هي النهاية.

‘الانسحاق الكبير’، كما نفهمه، ليس فقط نهاية المادة. إنه نهاية كل شيء. وبما أن الزمن نفسه يتوقف عند الانسحاق الكبير، فإنه لا يعني أن نسأل عما يحدث بعد ذلك، تماماً كما هو بدون معنى سؤالنا عما حدث قبل الانفجار الكبير. ليس هناك ‘بعد’ إطلاقاً بالنسبة لأي شيء يحدث – لأن من حتى بالنسبة للفعالية ولا مكان للفراغ. كون يأتي من عدم في الانفجار الكبير سوف يتلاشى إلى عدم في الانسحاق الكبير، وبعض من العدد الضخم المجيد غير المحدود من سنوات وجوده لا يشكّل ولو ذكرى.

أينبغي لنا أن نكتب لمثل هذا التوقع؟ أيهما أكثر سوءاً: كون يتتكّس بيته ويتوسّع إلى الأبد نحو حالة من الفراغ المظلم، أو كون ينتحر داخلياً إلى نسيان محموم؟ وأي أمل في الخلود الآن، في كون قادر له أن يستنقذ زمنه؟

الحياة في المستقبل البعيد في مجاز إلى الانسحاق الكبير يائسة أيضاً أكثر منها في كون يتتوسّع دائماً. والمشكلة الآن لا تتمثل بفقدان الطاقة بل بوجود المزيد منها. ولكن قد

تتضىء بلايين أو ترليونات السنين قبل أن يستعد أحفادنا للمرحلة النهائية. وخلال هذا الزمن، يمكن أن توسع الحياة إلى كل مكان في الكون. وفي أبسط نموذج لكون انهيار، فإن الحجم الإجمالي للمكان محدود في الواقع. يحدث هذا لأن المكان يعني ويمكن أن يتصل بنفسه في المكان الثلاثي الأبعاد لسطح الكرة. ولهذا، يمكن تصوّر أن الكائنات العاقلة يمكن أن تنتشر في كل مكان من الكون وتسيطر عليه، وبالتالي، تتخذ مواضع لها لمواجهة الانسحاق الكبير بكلة الوسائل الممكنة المتاحة لهم.

في بادئ الأمر، يصعب أن ندرك لماذا يجب أن يزعجوا أنفسهم. فمع التسليم بأن الوجود بعد الانسحاق الكبير أمر مستحيل، فما الهدف من إطالة أمد الكرب لفترة قصيرة فقط؟ فالإبادة سيان، سواء كانت قبل النهاية بعشرة ملايين أو ملايين سنة في كون عمره ترليونات السنين. ولكن، يجب ألا ننسى أن ذلك الزمن نسيبي. والزمن الذاتي لأحفادنا سوف يعتمد على سرعة استقلابهم ومعالجتهم للمعلومات. ومن جديد نقول: إذا افترضنا أنه سيكون لديهم المزيد من الوقت لتكييف شكلهم الفيزيائي، فإنهم قد يتمكنوا من تحويل مجاز الجحيم إلى نموذج للخلود.

يعني ارتفاع درجات الحرارة أن الجسيمات تتحرك بسرعة أكبر والعمليات الفيزيائية تحدث بصورة أسرع. ولننذكر أن الشرط الأساسي للكائن الوعي هو أن يكون قادرًا على معالجة المعلومات. وفي كون تتصاعد درجة حرارته، سوف تتتسارع فيه أيضًا معالجة المعلومات. والكائن الذي يستخدم العمليات الدينامية الحرارية عند بليون درجة، سيبدو له زوال الكون على بعد سنوات فقط. لا حاجة للخوف من انتهاء الزمن إذا كان يمكن للزمن المتبقى أن يمتد إلى مala نهاية في عقول المراقبين. مثلاً يتتسارع انهيار الكون نحو الانسحاق النهائي، كذلك يمكن، من حيث المبدأ، أن توسع بسرعة أكبر من أي وقت الخبرات الذاتية للمراقبين، بما يلائم الاندفاع إلى المعركة الفاصلة مع تصاعد سرعة التفكير. ومع التسليم بكلية الموارد، فإن هذه الكائنات ستكون ببساطة قادرة على انتقام الوقت.

قد يتتساع أحدهم بما إذا كان يمكن للكائن متتفوق يقوم بتبطيط انهيار الكون في لحظاته الأخيرة أن يحمل عدداً غير محدود من الأفكار والخبرات المميزة في الزمن المحدود المتاح. وقد قام بدراسة هذه المسألة جون باراو وفرانك تبلر. ويعتمد الجواب، بصورة حاسمة، على التفاصيل الفيزيائية للمراحل النهائية. فعلى سبيل المثال، إذا بقى الكون

منتظماً في التراكم إلى الشذوذ النهائي، عندئذ، تنشأ مشكلة رئيسية. وأياً كانت سرعة التفكير، فإن سرعة الضوء تبقى ثابتة، ويمكن للضوء أن يجتاز مسافة الصهايا ثانية ضوئية واحدة في الثانية. وبما أن سرعة الضوء تحدد السرعة النهائية التي يمكن أن ينتشر بها أي تأثير فيزيائي، فإنه ينبع عن ذلك أنه لن يحدث اتصال بين نواحي الكون أكثر من فاصل ثانية ضوئية واحدة خلال الثانية النهائية. (هذا نموذج آخر لافق الحوادث، مماثل للنموذج الذي يمنع المعلومات من الخروج من الثقب الأسود). عندما تقترب النهاية، فإن النواحي القابلة للاتصال وأعداد الجسيمات التي تحتويها تتكمش قوب الصفر. ولكن يقوم جهاز ما بمعالجة المعلومات ، فإن كافة أجزائه يجب أن تكون على اتصال. ومن الواضح أن السرعة النهائية للضوء تعمل على تحديد حجم أي 'دماع' يمكن أن يوجد عندما تقترب النهاية، وهذه بدورها يمكن أن تحدد عدد الحالات المميرة- وبالتالي الأفكار- التي يحملها هذا الدماع.

ولتفادي هذا التقييد، يصبح من الضروري، بالنسبة للمراحل النهائية للانهيار الكوني، أن تتحرف عن الانتظام في الواقع، إن هذا الاحتمال مر جح جداً. وتشير البحوث الرياضية المكتبة للانهيار التقليدي إلى أنه عندما ينفجر الكون، فإن سرعة الانهيار سوف تتفاوت في مختلف الاتجاهات. ومن الغريب أن مادة الكون ليست هي التي تتكمش في اتجاه بسرعة أكبر منها في اتجاه آخر. وما يحدث هو أن الذبذبات تبدأ، بحيث يتغير اتجاه سرعة الانهيار على تبديله. وفي الواقع، إن الكون يسير متزناً في طريقه نحو الاندثار في دورات تزداد عدداً وتعقيداً باضطراد. يظن باراو وتيلر أن هذه الذبذبات المعقّدة تسبب اختفاء أفق الحوادث أولاً في هذا الاتجاه ثم في ذاك الاتجاه، مما يساعد على استمرار التماس بين كافة نواحي الفضاء. إن أي دماع خارق يجب أن يكون حاد الذكاء ويحول الاتصالات من اتجاه إلى آخر عندما تسبب الذبذبات انهياراً أكثر سرعة في اتجاه ثم في اتجاه آخر. فإذا استطاع الكائن مجازة ذلك، فإن الذبذبات نفسها يمكن أن تؤمن الطاقة الضرورية لتشغيل العمليات الفكرية. علاوة على ذلك، يبدو أن هناك في النماذج الرياضية البسيطة عدداً لا متناهياً من الذبذبات في أمد متناه ينقضي في الانسحاق الكبير. ومن هنا، يوفر هذا للकائن المتفوق، حسب الفرضية، وقتاً ذاتياً لا متناهياً لمعالجة مقدار لامتناه من المعلومات. وهكذا، فإن العالم العقلي قد لا ينتهي أبداً، مع أن العالم الفيزيائي ينتهي إلى توقف مفاجيء في الانسحاق الكبير.

ما الذي يمكن أن يفعله دماغ يتمتع بقدرة غير محدودة؟ لن يكون قادرًا فقط، كما يقول تيلر، على التفكير بكلفة نواحي وجوده الخاص وجود الكون الذي أحده به، ولكن يمكنه، بما يتمتع به من قدرة غير محدودة لمعالجة المعلومات، أن يواصل محاكاة العالم الخيالية في الاستغرق في نشاط محموم لواقع افتراضي. ولن يكون هناك حد لعدد الأشكال الممكنة التي يمكن تذويتها بهذه الطريقة. والدفائق الثلاث الأخيرة لن تمت وحدها إلى الأبدية ولكنها ستسمح بالامتداد أيضًا ل الواقع المحاكى لعدد لا ينتهي من النشاط الكوني.

ومن سوء الحظ أن هذه التأملات (الجامعة إلى حد ما) تعتمد على نماذج فيزيائية خاصة جدًا، وقد يثبت في النهاية أنها غير واقعية إجمالاً. وتجاهل أيضًا التأثيرات الكمية التي ربما تسود في المراحل النهاية للانهيار التالى-تأثيرات قد تضع حدًا نهائياً لسعة معالجة المعلومات. فإذا صح ذلك، فإننا نأمل أن يتوصل الكائن أو الحاسب الكوني الخارق، على الأقل، إلى فهم الوجود بما يكفي في الوقت المتاح لترويض نفسه على القبول بفنايته.

الفصل العاشر

موت مفاجئٍ^٦

و

ولادة جديدة

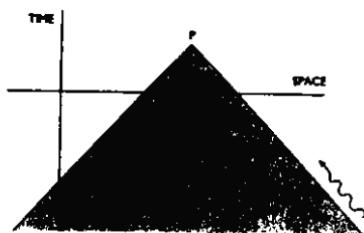
افتراضت، حتى الآن، أن نهاية الكون، سواء بانفجار أو نشيج (أو بمعنى أكثر دقة، بانسحاق أو تجمد شديد)، تبدأ في المستقبل البعيد جداً، وربما الامتدادي. إذا انهار الكون، فإنه سيكون لدى أحفادنا إنذار أمده عدة بلايين من السنين بالانسحاق القادم. ويبقى هناك إنذار يتمتع بامكانية إخطارية أكبر.

نکما بينت سابقاً، عندما يُنعم الفلكيون النظر إلى السماء، فإنهم لا يرون الكون في حالته الحاضرة، التي تبدو كقطعة فوتونغرافية لحظية. وبسبب الزمن الذي يستغرقه الضوء للوصول إلينا من المناطق البعيدة، فإننا نرى أي جسم معلوم في الفضاء كما كان عندما صدر الضوء عنه. والتلسكوب هو أيضاً تايمسكوب. فكلما كان موقع الجسم بعيداً، كانت الصورة التي نراها اليوم أبعد زمنياً في الماضي. كون الفلكيين، في الواقع، شريحة معكوسة عبر الزمان والمكان، تُعرف تقنياً بـ 'مخروط الضوء الماضي'، (انظر الصورة 10-11).

وفقاً لنظرية النسبية، فإنه لا يمكن لمعلومات أو تأثير فيزيائي أن ينتقل بسرعة أكبر من سرعة الضوء. ولهذا، فإن مخروط الضوء الماضي لا يسم فقط حد كل معرفة حول الكون ولكن كل الحوادث التي يمكن أن تؤثر علينا في هذه اللحظة. ويترتب على ذلك أن التأثير الفيزيائي الذي يطالنا بسرعة الضوء فإنه يطالنا بدون تحذير مهما كان. وإذا كانت كارثة ما تقود طريقنا إلى مخروط الضوء الماضي، فإنه لن يكون هناك تنبيه بالهلاك. ونعرف به لأول مرة عندما ينزل بنا.

ونقدم مثلاً افتراضياً بسيطاً: لو قرر للشمس أن تتفجر الآن، فإننا لن ندرك الحقيقة إلى بعد ثمان دقائق ونصف الدقيقة، وهو الزمن الذي يستغرقه الضوء لكي يصل إلينا

من الشمس. وبالمثل، يمكن أيضاً أن يكون انفجراً قريباً، كمستعر ما-حادثة يمكن أن تغطى الأرض بإشعاع مهلك -ولكننا لن ندرك الحقيقة إلا بعد بضع سنوات إضافية في حين تنتقل الأنبياء السينية عبر المجرة بسرعة الضوء. وعلى الرغم من أن الكون قد يبدو هادئاً تماماً في هذه اللحظة، فإنه لا يمكننا أن نتأكد من أن شيئاً ما مخيفاً حقاً لم يحدث للتو.



الصورة 10-1: إن فلكياً ينظر إلى الكون من نقطة خاصة مثل P في المكان والزمان -التي يمكن أن تكون هنا و الآن، مثلاً- يراه، في الواقع، كما كان في الماضي، لا كما هو الآن. فالمعلومات التي تصل إلى P تنتقل على طول 'مخروط الضوء الماضي' عبر P، المعلمة بالخطين المائلين. هذه هي مسارات الإشارات الضوئية التي تجمع لتلتقي على الأرض من مناطق قاصية من الكون في الماضي. وبما أنه لا توجد معلومات أو تأثير فيزيائي يمكن أن ينتقل بسرعة أكبر من سرعة الضوء، لذلك يمكن للمراقب لحظة التصوير أن يعرف فقط عن التأثيرات أو الحوادث التي تحدث في المناطق المظللة. إن حادثة بنوية خارج مخروط الضوء الماضي يمكن أن ترسل تأثيرات كارثية (خطاً توجياً) تundo بأقصى سرعة نحو الأرض، ولكن، من حسن الحظ، أن المراقب لن يعي تلك قبل وصول ذلك التأثير.

يورث العنف المفاجيء في الكون ضرراً محدوداً بالموقع الكوني القريب. فمسوت النجوم أو غوص المادة إلى ثقب أسود يوقع الفوضى في الكواكب والنجوم القريبة، ربما على مسافة بضع سنوات ضوئية. ويبدو أن معظم الانفجارات المثيرة هي عبارة عن حوادث تنزل بنوى بعض المجرات. وكما وصفت سابقاً، فإن نفاثات ضخمة من المادة

لأنه أحياناً بسرعة تعادل جزءاً كبيراً من سرعة الضوء، وتُطلق أيضاً كميات مذهلة من الإشعاع. وهذا عنف على نطاق مجرئ.

ولكن ماذا عن حوائط نسب تتمرر الكون؟ هل يمكن أن يحدث اضطراب عنيف يتمرر الكون تماماً بضربة واحدة في عمر النصف، إذا جاز التعبير؟ يمكن حقاً للتأثيرات البغيضة لكارثة كونية قدحـت سابقاً أن تجرف حتى الآن مخروط ضوئنا الماضي نحو كوتـا المشـة في المـكان والـزمان؟

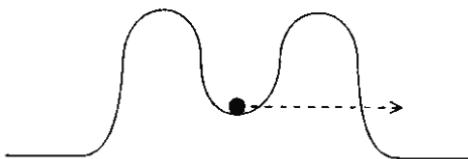
في عام 1980، نشر الفيزيـانيـان سـيدـنيـ كـولـمانـ وـ فـرانـكـ دـوـ لوـسـياـ بـحـثـاً رـائـعاً تحت عنوان غير مزعـجـ 'تأثيرـاتـ الجـانـبـيـةـ عـلـىـ التـضـاؤـلـ الـخـواـنـيـ وـمـنـهـ'ـ فيـ مجلـةـ فـايـزـيـكـالـ رـيفـيوـ دـيـ.ـ والـخـواـءـ الـذـيـ أـشـارـاـ إـلـيـهـ لـيـسـ مـجـرـدـ مـكـانـ فـارـغـ وـلـكـنـ حـالـةـ خـواـنـيـةـ مـنـ فـيـزـيـاءـ الـكـمـ.ـ وـكـنـتـ قـدـ بـيـئـتـ فـيـ الفـصـلـ الثـالـثـ أـنـ مـاـيـدـوـ لـنـاـ كـفـرـاغـ إـنـماـ يـضـطـرـبـ،ـ فـيـ الـوـاقـعـ،ـ بـنـشـاطـ كـمـيـ سـرـيعـ الزـوـالـ،ـ كـمـاـ فـيـ ظـهـورـ جـسـيمـاتـ طـفـيـلـةـ اـفـتـارـاضـيـةـ وـتـخـفـيـ منـ جـدـيدـ بـعـثـ عـشـوـانـيـ.ـ وـلـتـذـكـرـ أـنـ هـذـهـ الـحـالـةـ الـخـواـنـيـةـ قـدـ لـاـتـكـونـ فـرـيـدةـ؛ـ وـيـمـكـنـ أـنـ يـكـونـ هـنـاكـ عـدـدـ مـنـهـاـ،ـ وـكـلـهاـ تـبـدوـ فـارـغـةـ وـلـكـنـهاـ تـتـمـتـعـ بـمـسـتـوـيـاتـ مـخـتـلـفةـ مـنـ النـشـاطـ الـكـمـيـ وـطـاقـاتـ مـرـافـقـةـ مـخـتـلـفةـ.

حالـاتـ الطـالـةـ العـلـيـاـ تـمـيلـ إـلـىـ التـضـاؤـلـ إـلـىـ حالـاتـ طـاـقةـ أـصـفـرـ،ـ إـنـهـ مـبـداـ مـثـبـتـ تـامـاـ مـنـ مـبـادـيـءـ فـيـزـيـاءـ الـكـمـ.ـ فـطـىـ سـبـيلـ المـثالـ،ـ إـنـ ذـرـةـ يـمـكـنـ أـنـ تـوـجـدـ فـيـ سـلـسلـةـ مـنـ الـحـالـاتـ الـمـتـارـةـ كـلـ مـنـهـاـ غـيرـ مـسـتـقـرـ،ـ وـتـحـاـولـ أـنـ تـضـمـحلـ إـلـىـ طـاـقةـ أـصـفـرـ،ـ أـوـ حـالـةـ 'ـمـهـودـ'ـ،ـ وـهـيـ حـالـةـ مـسـتـقـرـةـ.ـ وـبـالـمـقـلـ،ـ يـحـاـولـ خـواـءـ مـنـارـ أـنـ يـضـمـحلـ إـلـىـ طـاـقةـ أـصـفـرـ،ـ أـوـ خـواـءـ 'ـحـقـيقـيـ'ـ.ـ يـقـومـ سـينـارـيوـ الـكـونـ التـضـخـميـ عـلـىـ أـسـاسـ نـظـرـيـةـ تـقـوـلـ إـنـ الـكـونـ الـبـكـرـ جـداـ كـانـ فـيـ حـالـةـ خـواـءـ مـنـارـةـ،ـ أـوـ 'ـزـانـفـةـ'ـ،ـ تـضـخـمـ خـلـالـهـاـ مـسـعـورـاـ،ـ وـلـكـنـ تـلـكـ الـحـالـةـ اـضـمـحلـتـ بـعـدـ وـقـتـ قـصـيرـ إـلـىـ خـواـءـ حـقـيقـيـ وـتـوقـفـ التـضـخـمـ.

الافتراض المأثور هو أن الحالة الحاضرة للكون تماـلـ الخـواـءـ الـحـقـيقـيـ،ـ أـيـ أـنـ مـكـانـ فـارـغاـ فـيـ حـقـبـتـاـ هوـ خـواـءـ بـأـدـنـىـ طـاـقةـ مـمـكـنةـ.ـ وـلـكـنـ،ـ هلـ يـمـكـنـ التـأـكـدـ مـنـ ذـلـكـ؟ـ قـامـ كـولـمانـ وـ دـوـ لـوـسـياـ بـدـرـاسـةـ الـإـمـكـانـيـةـ الـمـغـيـفـةـ حـولـ أـنـ الخـواـءـ الـحـالـيـ لـيـسـ هـوـ الخـواـءـ الـحـقـيقـيـ بلـ مـجـرـدـ خـواـءـ زـانـفـةـ،ـ شـبـهـ مـسـتـقـرـ،ـ طـوـيلـ الـأـمـدـ يـهـدـهـنـاـ إـلـىـ إـحـسـاسـ زـانـفـ بالـأـمـنـ لـأـنـهـ اـسـتـمـرـ بـضـعـةـ بـلـيـنـ سـنـةـ.ـ وـنـحنـ نـعـرـفـ الـكـثـيرـ مـنـ الـمـنـظـومـاتـ الـكـمـيـةـ،ـ كـتـوـيـ الـبـيـوـرـانـيـوـمـ،ـ الـتـيـ تـصـلـ أـعـمـارـ النـصـفـ فـيـهـاـ إـلـىـ بـلـيـنـ السـنـينـ.ـ وـهـلـ نـفـتـرـضـ أـنـ الخـواـءـ

الحالى يقع ضمن هذا الصنف؟ ‘تضاؤل’ الخواص الذى أتبنا على ذكره فى عنوان بحث كولمان و دو لوسيا يشير إلى إمكانية كارثية هي أن الخواص الحالى قد ينهار فجأة ويلاقي بالكون أيضاً إلى حالة دنيا من الطاقة، مع ما يراقبها من نتائج أليمة بالنسبة لنا (وفوق ذلك ، لكل شيء آخر).

ظاهرة التنفيق الكمى Quantum tunnelling هي الدليل إلى فرضية كولمان ، و دو لوسيا. ويمكن توضيح ذلك على أفضل وجه بحالة بسيطة لجسم كمى يحتفل حالئ قوة. لنفترض أن الجسم يستقر في واد صغير تحيط به ثلاثة من كلا جانبيه، كما نرى في الصورة 10-2. وهي ليست تلاؤ حقيقية، طبعاً، ويمكن أن تكون مجالات لقوة كهربائية أو نووية، مثلاً. في غياب الطاقة اللازمة لسلق الثنين (أو التغلب على قوة الحال)، سيفى الجسم، كما يبدو، مُحتَلّاً إلى الأبد. ولكن، لنذكر أن كافة الجسيمات الكمية تخضع لمبدأ الريبة عند هايستبرغ، ذلك المبدأ الذي يجيز استعارة الطاقة لأمد بسيطة. وهذا يتبع إمكانية مثيرة للاهتمام. فإذا استطاع الجسم أن يستاف ما يكفى من الطاقة لكي يصل إلى قمة التل ويعبر إلى الجهة الأخرى قبل أن يسدّد ما يستلفه ، فإنه يمكن أن يفلت من البتر.



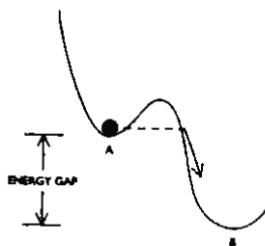
الصورة 10-2. الظاهرة التنفيقية: إذا احتُل جسم كمى في واد بين ثنتين، فهناك احتمال لإمكانية إفلاته، وذلك عن طريق استلاف الطاقة والوثب فوق التل. وفي الواقع، يلاحظ حفر نفق عبر الحال. تحدث حالة معروفة عندما تقوم جسيمات ألفا في نوعى بعض العناصر بحفر نفق عبر حائل قوى نووية والهروب بعيداً، وهي ظاهرة تعرف بنشاط ألفا الإشعاعي. في هذا المثال، ينجم ‘التل’ عن قوى نووية وكهربائية، والصورة المرسومة هنا تخطيطية فقط.

إمكانية أن يقوم جسم كمي بحفر نفق إلى خارج بنر كهذا يعتمد، إلى حد دقيق جداً، على ارتفاع وعرض الحال. نكلاً كان الحال أعلى، كان على الجسم أن يستلف كمية أكبر من الطاقة لكي يصل إلى القمة، وكذلك، ووفقاً لمبدأ الريبة، يجب أن يكون أمد السلفة أقصر. ومن هنا، يمكن حفر أنفاق عبر الحواجز العالية فقط إذا كانت رقيقة، مما يساعد الجسم على عبورها بسرعة كافية لتسديد السلفة في وقتها. ولهذا السبب، فإن الظاهرة النافية لاتلاحظ في الحياة اليومية: الحال العيانية عالية وعريضة جداً مما لايسعح بحفر أنفاق مهمة. من حيث المبدأ، يمكن لكان بشرى أن يمشي عبر جدار آجري، ولكن احتمال التنفيذ الكمي لهذه المعجزة ضئيل جداً. مع ذلك، إن التنفيذ شائع جداً في النطاق الذري؛ فعلى سبيل المثال، إنها الآلية التي بها يحدث نشاط ألفاً الإشعاعي. تستثمر الظاهرة النافية أيضاً في أشباه المؤصلات والأجهزة الإلكترونية، كالمجهر الإلكتروني للغرس بالتنفيذ.

فيما يتعلق بمشكلة التضاؤل المحتمل للخوااء الحالي، يظن كولمان و دو لوسيان أن مجالات الكم التي تشكل الخوااء يمكن أن تكون موضوعاً لمنظار قوى (مجاري)، كما يظهر في الصورة 10-3. حالة الخوائية الحالية تمثل أسفل الوادي A. ولكن الخوااء الحقيقي يماثل أسفل الوادي B، الذي هو أكثر اختصاصاً من A. يميل الخوااء إلى التضاؤل من حالة الطاقة الأعلى A إلى حالة الطاقة الأدنى B، ولكن "النل" أو مجال القوة، الذي يفصل بينهما، يمنعه من ذلك. ومع أن النل يعيق التضاؤل، إلا أنه لا يمنعه كلياً، بسبب الظاهرة النافية: يمكن للمنظومة أن تشق نفكاً من الوادي A إلى الوادي B. إذا كانت هذه النظرية صحيحة، فإن الكون يعيش على الطاقة المستفة، معلقاً في الوادي A، مع فرصة متاحة دائمةً لشق نفق إلى الوادي B في لحظة اختيارية.

استطاع كولمان و دو لوسيان أن يصوغوا التضاؤل رياضياً-لاكتشاف الطريقة التي بما تحدث الظاهرة. واكتشفاً أن التضاؤل سيبدأ في موضع عشوائي في الفراغ، على شكل فقاعة ضئيلة من خواء حقيقي يحيط بها خواء زائف غير مستقر. وحالما تتشكل فقاعة الخواء الحقيقي، فإنها ستتوسع بسرعة إلى الحد الذي يقربها سريعاً من سرعة الضوء، فتبتعد منطقة أوسع وأوسع من الخواء الزائف وتحوله فوراً إلى خواء حقيقي. والطالع المختلفة بين الحالتين-التي يمكن أن تكون لها أهمية كبيرة كنا أتينا على دراستها في

الفصل الثالث- تتركز في جدار الفقاعة، التي تتدفع عبر الكون منذرة بالدمار لكل شيء في طريقها.



الصورة 10-3. حالات فراغ زائف و حقيقي: قد يكون الوضع أن حالة الكم الحالية لمكان فارغ A ليست هي حالة الطاقة الأدنى، ولكنها، مع ذلك، شبه مستقرة عن طريق مماثلتها لنوع من وادٍ عالي الارتفاع. إذاً، سيكون هناك احتمال بسيط لحالات تتضاعل عن طريق ظاهرة النفقة إلى الحالة الأساسية B المستقرة فعلاً. الانقلاب بين هاتين الحالتين، الذي يحدث عن طريق تكون الفقاعة، سيحرر كمية كبيرة من العلاقة.

سوف نعرف، لأول مرة، بوجود فقاعة خواص حقيقى عندما يصل الجدار ويتبدل التركيب الكوني لعالمنا فجأة. ولكن يكون أمامنا إنذار أمنه ولو ثلاث دقائق. وبصورة فورية، سوف تبدل، بشكل عنيف، طبيعة الجسيمات دون الذرية وتفاعلاتها؛ فالبليروتونات، مثلاً، قد تفكك مباشرة، وهي حالة تتبع في المادة فجأة. وما يبقى، سيجد نفسه داخل فقاعة الخواص الحقيقى- حالة تختلف كثيراً عما شاهده في هذه اللحظة. والاختلاف الأكثر أهمية يتعلق بالجاذبية. فقد اكتشف كولمان و دو لوسيان أن طاقة الخواص الحقيقى وضخته سوف يشكلان مجالاً للجاذبية قوياً جداً إلى درجة تهار معها المنطقة التي تطوقها الفقاعة، حتى عندما يتسع جدارها، في أقل من أجزاء من مليون من الثانية. لادهور معتدل نحو انسحاق كبير في هذه المرة؛ وبسلاً من ذلك، فإنه مفاجئٌ لكل شيء، عندما تنفجر الفقاعة داخلياً إلى شنود زماني مكاني. وباختصار، إنه

انسحاق فوري. ‘هذا مثبط’، يعقب المؤلفان، في تصريح بارع لا يعبر عن كل الحقيقة، ويوافقان:

احتمال أننا نعيش في خواطير لا يدعونا إلى البهجة أبداً بحيث يدفع المرء إلى التفكير فيه. فتضاؤل الخواطير كارتة بيئية نهائية؛ ... بعد تضاؤل الخواطير يصبح مستحيلاً ليس فقط الحياة كما نعرفها، بل أيضاً الكيماء كما نعرفها. ولكن يمكن للمرء دائماً أن يستعد لهؤلاء روادياً من إمكانية أنه ربما، في مجرى الزمن، يبقى الخواطير الجديد، إن لم تكن الحياة كما نعرفها، فعلى الأقل بعض البنية القادر على معرفة البهجة. ولكن هذه الإمكانية مستبعدة اليوم.

أصبحت العقابات المرعبة لتضاؤل الفراغ موضوعاً لمناقشات واسعة بين الفيزيائيين والفلكيين بعد نشر بحث كولمان و دو لوسيا. وفي دراسة متابعة نشرت في مجلة ناتشر، توصل الكوزمولوجي ميشيل تيرنر والفيزيائي فرانك فيلتسيك إلى الرواية التالية: ‘من وجهة نظر الفيزياء المجرية، يمكن أن نتصور تماماً أن خواطيرنا شبه مستقر ... بدون إنذار، يمكن لفجاعة خواطير حقيقية أن تتناثر في مكان ما في الكون وتتحرك نحو الخارج بسرعة الضوء.’

بعد ظهور بحث تيرنر و فيلتسيك بفترة قصيرة، خرج علينا هت ومارتن ريس، يكتبان أيضاً في مجلة ناتشر، بشبّح مرعب هو أن علماء فيزياء الجسيمات أنفسهم قد يقدّحون، عن غير قصد، فجاعة خواطير تتمزج الكون! وما يقلّ هو أن الانفجار العالى الطاقة بالذات للجسيمات دون الذريّة يمكن أن يوجد ظروفاً لحظية فقط، في ناحية صغيرة جداً من الفضاء - تتعلّم على تشجيع تضاؤل الخواطير. وعندما يحدث التحول، حتى على نطاق مجرّي، فإن الفجاعة المشكّلة حديثاً لن تتوقف عن الانتفاح بسرعة إلى نسب فلكية. فهل يجب أن نفرض حظراً على الجيل التالي من مسارات الجسيمات؟ رحب هت و ريس بهذا التضمّن، وأشارا إلى أن الأشعة الكونية تحقق طاقة أعلى مما يمكن أن تولده في المسارات الكونية، وأن هذه الأشعة تصطدم بسطح النوى في جو الأرض منذ بلايين السنين دون أن تندفع تضاؤلاً خواطيرياً. ومن ناحية أخرى، قد نتمكن، مع إجراء تحسين في قدرة المسارات، من إحداث اصطدامات أكثر شدة من أي من تلك التي تحدثها تأثيرات الأشعة الكونية على الأرض. ولكن المسألة الحقيقة ليست

والمفارقة هي أن تشكّل الفقاعة الخواصيّة-الظاهرة نفسها التي تهدّد وجود الكون - يمكن أن يثبت، في إطار مختلف قليلاً، أنه الخلاص الوحيد المحتمل لسكانه. والطريقة الوحيدة الموثوقة للإنفلات من موت الكون تكون بإنشاء كون جديد والهرب إليه. يمكن أن يبدو هذا وكأنه آخر كلمة في مضمارية خيالية، ولكن، كثيراً ما توقشت 'الأكون' الأطفال، في السنوات الأخيرة، والبرهان على وجودها لا يخلو من الجدية.

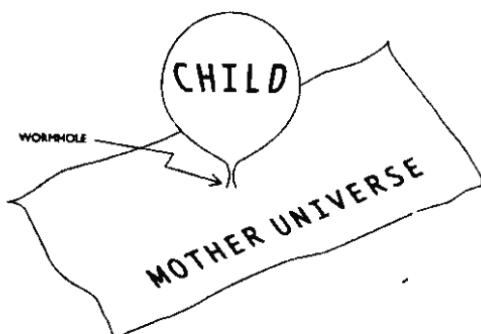
طرحت هذا الموضوع أصلاً مجموعة من العلماء اليابانيين عام 1981. وكان هؤلاء قد درسوا نموذجاً رياضياً بسيطاً لسلوك فقاعة صغيرة لخواء زائف يحيط به خواء حقيقي - حالة على عكس الحالة التي نقاشناها تواً. والنبوءة هي أن الخواء الزائف سوف يتضخم بالطريقة التي وصفناها في الفصل الثالث، ويتسع بسرعة إلى كون ضخم في انفجار كبير. في بادئ الأمر، يبدو أن تضخم فقاعة القراع الزائف لابد وأن تدفع جدار الفقاعة إلى التوسيع بحيث تكبر منطقة الخواء الزائف على حساب منطقة الخواء الحقيقي. ولكن هذا ينافي التوقع الذي يفيد بأن الخواء الحقيقي ذا الطاقة الأدنى هو الذي يجب أن يحل محل الخواء الزائف ذي الطاقة الأعلى وليس العكس.

ومن الغريب أن الناظر، من فراغ حقيقى إلى ناحية الفضاء الذى تشغله فقاعة الخواص الزائف، لا يرى تضخمها. وتبعد، في الواقع، أكثر شيئاً بقبب أسود. (فهي تشبه الـ تارديس، وهي آلة توقيت الدكتور هو، التي تبدو أكبر في الداخل مما هي في الخارج.) فالناظر إلى الكون من داخل فقاعة الخواص الزائف سوف يراه ينفتح إلى نسب هائلة، بينما تبدو الفقاعة مدمجة للناظر إليها من الخارج.

هناك طريقة واحدة لتصور هذه الحالة المميزة هي مقارنتها بملاءة من المطاط تتقرّح عند نقطة ما وتنتفخ على شكل بالون (انظر الصورة 10-4). يشكّل البالون نوعاً من كون طفل يتصل بالكون الأم بواسطة حبل سري، أو "ثقب دودي". يبدو حلقوم هذا الثقب، من الكون الأم، ثقباً أسود. هذا الشكل غير مستقر؛ فالثقب الأسود يتلاشى، بسوغة

عن طريق ظاهرة هوكنغ، وبختفي من الكون الأم بصورة كلية. ونتيجة لذلك، يتضيق الثقب الدودي، ويصبح الكون الطفل، الذي انفصل الآن من الكون الأم، كوناً جديداً ومستقلاً لحسابه الخاص. ويتطور الكون الطفل بعد تبرعه من الأم بالطريقة نفسها التي بها نما كوننا: فترة قصيرة من التضخم تبعها التباطؤ المألف للسرعة. يدل النموذج ضمناً على أن كوننا قد يكون نشاً بهذه الطريقة -كتناج لكون آخر.

قام لأنان غوث، الذي وضع نظرية التضخم، بالاشتراك مع زملائه بتقصي ما إذا كان السيناريو السابق يهيء إمكانية غريبة لإنشاء كون جديد في المختبر. وعلى نقیض الحاله المروعة لتضاؤل الخواص الزائف إلى فقاعة خواص حقيقي، فإن تكون فقاعة خواص زائف يحيط بها فراغ حقيقي لا يهدد وجود الكون. ومع أنه يمكن لاختبار فعلًا أن يقترح انفجاراً كبيراً، إلا أن الانفجار سيكون محدوداً كلباً داخل ثقب أسود صغير جداً، يتلاشى بسرعة. يكون الكون الجديد فضاءً الخاص به، ولن يتلاشى شيئاً من فضائنا.



الصورة 10-4. فقاعة فراغ من الكون الأم تتangkan لتشكل كوناً طفلاً، يتصل بالأم بواسطة ثقب دودي سري. من وجة نظر الكون الأم، تظهر فوهة الثقب الدودي كأنها ثقب أسود. وعندما يتلاشى الثقب الأسود، فإن حلمون الثقب الدودي يتضيق، فينفصل الكون الطفل، ليقود وجوداً مستقلاً ككون قائم بذاته.

مع أن الفكرة تبقى حدسيّة إلى حد كبير وتقوم برمتها على أساس توظير رياضي، فإن بعض الدراسات ترى أن إنشاء كون جديد بهذه الطريقة قد يكون ممكناً عن طريق

تركيز كميات كبيرة من الطاقة بطريقة مخططة بعناية. في المستقبل البعيد جداً، عندما يصبح كوننا غير صالح للسكنى أو يقترب من الانسحاق الكبير، فإن أحفادنا قد يقررون مغادرته إلى الأبد عن طريق المباشرة بعملية البرعمة ثم الزحف عبر التقب السودي السري إلى الباب المجاور للكون قبل أن يتضيق ذرورة الهجرة. مامن أحد يحمل أية فكرة حول كيف، أو ما إذا كان، يمكن لهذه الكائنات الجريئة أن تحقق هذه المأثرة. فالرحلة عبر تقب دودي ستكون، على الأقل، متعة جداً، مالم يكن التقب الأسود الذي سيدخلون إليه واسعاً جداً.

٥٦٦٤٩١

إذا تجاوزنا هذه المسائل العملية، فإن احتتمال وجود كون طفل بالذات يتتيح إمكانية خلود حقيقي ليس لأحفادنا فقط ولكن للأكوان أيضاً. وأكثر من التفكير بحياة الكون ومولته، يجب أن نفكر، بدلاً من ذلك، بعائلة الأكوان التي تتكاثر إلى مala نهاية، وكل منها يلد أجيلاً جديدة من الأكوان، ربما في فيلقه. مع هذه الخصوبة الكونية، فإن حشد الأكوان -أو الميتافيرس Metaverse، كما يجب أن يدعى فعلًا- قد لا تكون له بداية أو نهاية. فكل كون لوحده ستكون له ولادة، وتطور، وموت بالطريقة التي وصفناها في الفصول السابقة، ولكن المجموعة ككل ستبقى إلى الأبد.

يطرح هذا السيناريو مسألة ما إذا كان إنشاء كوننا مسألة طبيعية (شابه للولادة الطبيعية) أو نتيجة لمعالجة مدروسة ("طفل أنبوب اختبار"). ويمكن أن تخيل أن جماعة من الكائنات في الكون الأم متقدمة وغيرية بما يكفي ليس لتؤمن طريق للنجاة في سبيل بقائهم وإنما لمجرد إدامة إمكانية وجود الحياة في مكان ما، مفترضين أن كونهم الخاص محكوم بالموت. وهذا ينفي الحاجة إلى معالجة الحواجز المئالية التي تعرّض أية محاولة لبناء تقب دودي يمكن عبوره إلى كون طفل.

أما إلى أي مدى سيحصل الكون الطفل السمة الوراثية لأمه، فمسألة غير واضحة. فالفيزيائيون، حتى الآن، لا يدركون لماذا تحمل مختلف القوى في الطبيعة وجزيئات المادة الخواص التي هي عليها. فمن جهة، قد تكون هذه الخواص جزءاً من قوانين الطبيعة، صلحت مرة وكل شيء في أي كون. ومن جهة أخرى، قد تكون بعض الخواص نتيجة لحوادث التطور. فعلى سبيل المثال، قد يكون هناك عدد من حالات الخواص الحقيقية، وكلها تحمل طاقة-متماطلة أو تقريباً متماطلة. وقد يحدث، عندما يتلاشى الخواص الزائفة في نهاية الطور التضخمى، أن ينقط عشوائياً وببساطة واحدة من بين

كثير من الحالات الخواصي المحتملة. وبقدر ما تكون فiziاء الكون معنوية، فإن اختيار حالة الخواص سوف يملي كثيراً من خواص الجسيمات والقوى التي تعمل بينها، ويمكن أن تعلق حتى عدد الأبعاد الحيزية. ولهذا، يمكن أن تكون خواص كون طفل مختلفة كلّاً عن خواص أمه. وربما ستكون الحياة ممكنة فقط في عدد صغير من هذه الذرية، حيث تشبه الفiziاء فيها فiziاء كوننا إلى حد كبير. أو ربما يكون هناك نوع من مبدأ وراثي يضمن أن ترث الأشكال الأطفال بأمانة صفات أمهاها الأشكال، باستثناء الطفرة الشاذة. يرى الفiziائي لي سمولين أنه يمكن أن يكون هناك أيضاً نمط من التطور الدارويني يعمل بين الأشكال الذي يعمل مباشرة على تشجيع نشوء حياة ووعي. وما يثير الانتباه أيضاً هو احتمال أن تكون الأشكال نشأت عن طريق معالجة موجهة بالعقل في كون أم ومنحت بروية الخواص الضرورية لتوليد حياة ووعي.

أي من هذه الأفكار لا يرقى إلى أكثر من حدس جامع، مع ذلك، مازال موضوع الكوزمولوجيا علماً مبتدئاً. ولكن التأملات الخيالية التي درسناها آنفاً تفيد كثرياق التكهنات الكثيرة التي ظهرت في الفصول السابقة. فهي تلمح إلى إمكانية أنه حتى أحفادنا يجب أن يواجهوا يوماً الدقائق الثلاث الأخيرة، أي أن نوعاً من الكائنات الوعية سيكون دائماً موجوداً في مكان ما.

عوالم بلا نهاية

الأفكار التي درسناها في نهاية الفصل السابق ليست الاحتمالات الوحيدة التي خضعت للنقاش في البحث عن طريقة لتفادي موت الكون. فعندما ألقى محاضرة حول نهاية الكون، يسألني البعض عادة عن النموذج الدوري. وإليكم الفكرة: يتسع الكون إلى حجم أقصى، ثم يتقلص إلى انسحاق كبير، ولكن، بدلاً من أن يزيل نفسه كلياً، فإنه “يشب” ويركب متن دورة أخرى من التوسيع والتقلص (انظر الصورة 11-11). ويمكن أن تتواصل هذه العملية إلى الأبد، وهي حالة لا يكون للكون فيها بداية أو نهاية، على الرغم من أن كل دورة مستقلة تتسق ببداية ونهاية مميزة يتغيران. إنها نظرية تروق، بشكل خاص، للناس الذين تأثروا بالميتمولوجيا الهندوسية والبوذية، التي تصور، على نحو بارز، دورات الولادة والموت، أي الإبداع والتدمر.



الصورة 11-11: نموذج كون دوري. ينبع الكون في الحجم بطريقة دورية بين حالات كثيفة جداً وحالات متوضعة. تبدأ كل دورة بانفجار كبير وتنتهي بانسحاق كبير، وتكون متتالية تدريجياً في الزمن.

لقد أجملت سيناريوهين علميين مختلفين جداً لنهاية الكون. وكل منهما مزعج بطريقته الخاصة. فتوقع أن يزيل الكون نفسه كلياً في انسحاق كبير أمر مرعب، مع ذلك، إن هذا الحادث يمكن أن يترصد في المستقبل البعيد. ومن ناحية أخرى، إن كوناً

يدوم زمناً لامتناهياً في حالة فراغ كثيب بعد أمد من النشاط الرائع يسب اكتتاباً عميقاً في النفس. وحقيقة أن كل نموذج ربما يوهل الكائنات المتفوقة لإحراز قدرة لامحدودة في معالجة المعلومات قد تبدو عزاء بارداً بالنسبة لبني الإنسان المتخمسين، من أمثلنا.

تكمن جانبية النموذج الدوري في أنه يقادى شبح الفناء التام، بدون أن يستبدل بسرمدية الانحلال والبلل. وللتقدى عبئية تكرار لانهائي، يجب أن تكون الدورات مختلفة إلى حد ما عن بعضها بعضأ. وفي نسخة شائعة للنظرية، تشا كل دورة جديدة كالعنقاء من ميّة عنيفة لسابقها. فنطّور، من هذه الحالة البدائية، منظومات وبنى جديدة و تستكشف جيّتها الخاصة الأنثقة قبل أن يمسح اللوح مرة أخرى بانسحاق كبير تالٍ.

على الرغم مما يبدو من جانبية هذه النظرية، فإنها، لسوء الحظ، تعاني من مشكلات فيزيائية خطيرة. واحدة منها هي تحديد عملية معقوله تسمح لكون ينهار أن يثبت بكثافة عالية جداً بدلاً من أن يمحق نفسه في انسحاق كبير. ويجب أن يكون هناك نوع من قوة مضادة للجانبية تصبح كبيرة إلى حد ساحق في المراحل الأخيرة للانهيار لكي تعكس زخم الانفجار وتقاوم قوة السحق المرعبة للجانبية. لا نعرف قوة كهذه في الوقت الحاضر، وفي حال وجودها، فإن خواصها لابد أن تكون غريبة جداً.

قد يذكر القارئ أن هذه القوة المنفرة المقنطرة على وجه الدقة افترضتها نظرية التضخم في الانفجار الكبير. مع ذلك، يجب أن ننتصر أن حالة الخواء المثار التي تولّد القوة التضخمية غير مستقرة إلى حد بعيد، وسرعان ماتتلاشي. ومع أنه يمكن تخيل أن الكون الوليد، البسيط، الصغير جداً يجب أن يكون نشائفي مثل هذه الحالة غير المستقرة، فإن الافتراض بأن كوناً يتقلص من حالة عيائية معقدة يمكن أن يحتال لاستعادة الحالة الخواصية المثارة في كل مكان مسألة مختلفة تماماً. هذه الحالة تشبه موازنة قلم رصاص على رأسه. فالقلم سرعان ماينقلب؛ وذلك سهل. وأصعب منه إبقاء القلم على رأسه من جديد.

حتى على فرض أنه يمكن تطبيق هذه المشكلات بطريقة ما، فإن فكرة الكون الدوري ستبقى متراقة بصعوبات خطيرة. وقد درسنا واحدة من تلك الصعوبات في الفصل الثاني. تتعرض المنظومات إلى عمليات لاعكسه تتقدم بسرعة محدودة تعامل إلى الاقتراب من حالتها النهائية بعد فترة زمنية محدودة. هذه هو المبدأ الذي أدى إلى نهاية الموت الحراري الشامل في القرن العشرين. ولكن إدخال الدورات الكونية لم

يتغلب على هذه الصعوبة. يمكن مقارنة الكون بساعة تتوقف بيته. فهو في النهاية سيتوقف حتماً مالم يتم، بطريقة ما، تعبئة الزنبرك.^{*} ولكن ما الآلية التي يمكن أن تعبره من جديد زنبرك الساعة الكونية بدون أن تخضع نفسها للتغيير لا عروس؟
 يبدو طور انهايار الكون، لأول وهلة، كمكس للعمليات الفيزيائية التي حدثت في طور التوسيع. تتشد المجرات المتناثرة إلى بعضها ببعض، ويتسخن الإشعاع الخلفي البارد من جديد، ومرة أخرى، تتفاكم العناصر المركبة إلى سحاب كثيف من جسيمات عنصرية. حالـة الكون مباشرة قبل الانسحاق الكبير تشبه، إلى حد كبير، حالـته بعد الانفجار الكبير مباشرة. ولكن انتطاع التمايل سطحي فقط. ونتوصل إلى دليل من حقيقة أن الفلكيين الذين يعيشون في زمن الانعكاس سيستمرون، عندما ينقلب التوسيع إلى تقلص، في رؤية المجرات البعيدة تتراجع عدة بلايين من السنين. ويبدو لهم الكون كأنه مازال يتـوسـع، على الرغم من أنه يتـقلـصـ في الواقع. تعزـىـ هذه الصورةـ الخادعةـ إلىـ التـباطـؤـ فيـ الـظـهـورـ الذيـ تـسبـبـ السـرـعةـ المـحـودـةـ لـلـضـوءـ.

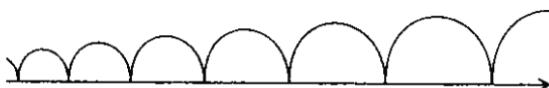
في الثلاثينيات أظهر الكوزموولوجي ريتشارد تولمان كيف يخرب هذا التـباطـؤـ التـسلـلـ الظاهريـ لـلـكونـ الدـوريـ. والـسـبـبـ بـسـيـطـ. يـبـدـأـ الكـونـ بـقـدرـ وـافـرـ منـ الإـشـعـاعـ الحراريـ المـتـخـلـفـ منـ الانـفـجـارـ الكـبـيرـ. وبـمـرـورـ الزـمـنـ، يـزـيدـ ضـوءـ النـجـومـ هـذـاـ الإـشـعـاعـ، حتىـ أـنـهـ بـعـدـ بـضـعـةـ بـلـايـينـ مـنـ السـنـينـ سـيـكـونـ هـذـاـ مـنـ الطـاـقةـ فـيـ ضـوءـ النـجـومـ المـتـراـكـمـ الذـيـ يـغـزوـ القـضـاءـ بـقـدرـ مـاـيـوجـدـ فـيـ الـحرـارـةـ الـخـلـفـيـةـ. هـذـاـ يـعـنـيـ أـنـ الكـونـ يـقـرـبـ مـنـ الانـسـحـاقـ الكـبـيرـ، ولـهـذاـ، عـنـدـماـ يـتـقـلـصـ الكـونـ فـيـ النـهاـيـةـ إـلـىـ الكـثـافـةـ نـفـسـهاـ التـسـيـ هوـ عـلـيـهاـ الـيـوـمـ، فـإـنـهـ سـيـكـونـ أـعـلـىـ حرـارـةـ إـلـىـ حدـ ماـ.

محـتوـيـ مـادـةـ الكـونـ هوـ الذـيـ يـدـفعـ ثـمـنـ الطـاـقةـ الـحرـارـيـةـ الإـضـافـيـةـ، وـذـلـكـ بـوـاسـطـةـ معـادـلـةـ آـيـشتـاـينـ طـاـلةـ =ـ كـتـلـةـ ×ـ مـرـبـعـ سـرـعـةـ الضـوءـ. وـيـتـمـ دـاـخـلـ النـجـومـ الـقـسـىـ تـنـتـجـ الطـاـقةـ الـحرـارـيـةـ مـعـالـجـةـ عـنـاصـرـ الضـوءـ، كـالـهـيـدـرـوـجـينـ، إـلـىـ عـنـاصـرـ ثـقـلـةـ كـالـحـدـيدـ. فـنـوـاـةـ الـحـدـيدـ تـحـتـيـ، بـصـورـةـ طـبـيعـيـةـ، ستـةـ وـعـشـرـينـ بـرـوتـونـاـ وـثـلـاثـينـ نـيـوـتـروـنـاـ، وـلـكـنـهاـ لـيـسـ كـذـاكـ. فـنـوـاـةـ الـمـتـجـمـعـةـ أـخـفـ بـحـوـالـيـ 1%ـ مـنـ مـجـمـوعـ كـتلـةـ

*- كتابة عن الشحن بالطاقة- المترجم.

الجسيمات المستقلة. والكتلة 'الضائعة' تسرّها طاقة الربط الكبيرة التي تنتجهما القوة التنجووية الضخمة؛ وتُعرّر الكتلة الممثّلة بهذه الطاقة لدفع ثمن ضوء النجوم.

ونتيجة كلّ هذا هي نقل صافٍ للطاقة من المادة إلى الإشعاع. ولهذا تأثير مهم على الطريقة التي يتخلص فيها الكون، لأنّ الجذب القاتلي للإشعاع يختلف تماماً عن الجذب القاتلي عن مادة لها طاقة الكتلة نفسها. أظهر تولمان أن الإشعاع الإضافي في طور التخلص يسبب انهيار الكون بسرعة أكبر. وإذا لُدّر، بوسيلة ما، للكون أن يظهر، عندهُ سينبقى متوسعاً بسرعة كبيرة أيضاً. وبمعنى آخر، سيتوسّع الكون إلى حجم أكبر مع كل دورة جديدة، وبالتالي، ستتصبّح الدورات تدريجياً أكبر وأطول (انظر الصورة 11-2).



الصورة 11-2: عمليات عكوسه تجعل الدورات الكوزمولوجية تتمّ وتنمو، وبالتالي، تخرب الدوروية الحقيقة.

النمو اللاعکوس للدورات الكونية ليس سراً. فهو مثل لنتائج لامفر منها للقانون الثاني للديناميات الحرارية. فنراكم الإشعاع يمثل نمو الاعتلاء، الذي ينظام تناهياً على شكل دورات أكبر وأكبر. ولكنه يضع نهاية لفكرة الدوروية الحقيقة: من الواضح أن الكون يتتطور بمرور الزمن. فتتعاقب الدورات باتجاه العاضي على نحو متصل إلى بداية معدّة ومشوّشة، أما الدورات المستقبلية فتوسّع بدون قيد، إلى أن تصبح طويلاً جداً حتى أنه لا يمكن، في أغلب الأحوال، تمييز دورة معلومة من سيناريو نماذج التوسّع الدائم.

منذ عمل تولمان، كان بمقدور الكوزمولوجيين تحديد عمليات أخرى فيزيائية تدحض تماثيل طوري التوسّع والتخلص في كل دورة. والمثال على ذلك هو تشكّل القوب

السوداء. ففي الصورة النموذجية يبدأ الكون بدون تقوب سوداء، ولكن، بمرور الزمن، يسبب انهيار النجوم والعمليات الأخرى تشكُّل تقوب سوداء. ويظهر المزيد والمزيد من هذه التقوب مع تطور المجرات. وخلال المراحل الأخيرة من الانهيار، سيعمل الانضغاط على تشجيع تكون المزيد من التقوب. ويمكن أن تندمج بعض التقوب السوداء فتشكل تقوياً أكبر. ولذلك يكون التنظيم التقالي للكون قرب الانسحاق الكبير أكثر تعقيداً بكثير - في الواقع، أكثر تقوياً على نحو مميز - مما كان عليه قرب الانفجار الكبير. فإذا كان على الكون أن يثبت، فإن الدورة التالية سوف تبدأ بتقوب سوداء أكثر بكثير من الدورة الحالية.

ويبدو أنه لاختصار من نتيجة أن أي كون دوري يسمح بانتشار تنسٍ ومنظومات فيزيائية من دورة إلى دورة تالية لن يتفادى التأثيرات الانحلالية للقانون الثاني للديناميات الحرارية. وسيقى هناك موت حراري. هناك طريقة واحدة لتفادى هذه النتيجة الكثيرة هي افتراض أن الشروط الفيزيائية في الوثبة شديدة جداً إلى درجة لا يمكن معها لمعلومات حول الدورات السابقة أن تصل إلى التالية. فقد دُمرت كافة الأجسام الفيزيائية السابقة، ومحقت جميع التأثيرات. وفي الواقع، يولد الكون من جديد من نقطة البدء، بكل مافي هذه العبارة من معنى.

مع ذلك، يصعب أن تدرك مدى الجاذبية التي تتمتع بها هذه النماذج. فإذا انفصلت كل دورة فيزيائياً عن الدورات الأخرى، فما معنى القول إن الدورات تعقب بعضها بعضاً، أو تمثل الكون نفسه الصامد بطريقة ما؟ الدورات تميز بفعالية أكوناً منفصلة، ويمكن القول أيضاً إنها توجد متوازية بدلاً من متسللة. تذكر هذه الحالة بعقيدة التنااسخ، التي بموجتها لا يحمل الشخص الذي يولد مرة أخرى ذاكرة لأساليب الحياة السابقة. فبأي معنى يمكن لأحدنا أن يقول إن الشخص نفسه تجسد من جديد؟

وهناك احتمال آخر هو أن القانون الثاني للديناميات الحرارية يُخرق بطريقة ما، إلى الحد الذي معه "تعد تعينة الساعة". ماذا لو لم يحدث الخراب الذي يسميه القانون الثاني؟ دعونا نضرب مثلاً بسيطاً للقانون الثاني أثناء تأثيره: ليكن تبخر العطر من زجاجة. عكس الأقدار بالنسبة للعطر استلزم مؤامرة جباره للتنظيم، أعيد فيها كل جزء من العطر في أنحاء الغرفة إلى الزجاجة. يجب تمثيل "الفيلم" بالعكس. نحن

نكتب التمييز بين الماضي والمستقبل - سهم الزمن - من القانون الثاني للديناميات الحرارية. ولهذا، فإن خرق هذا القانون يعادل عكس الزمن.

لاريب في أن الافتراض أن الزمن ينعكس ببساطة عندما تسمع فرقعة القدر المشووم ليس أكثر من محاولة تافهة إلى حد ما للتخلص من الموت الكوني. عندما يصبح التقدم شاقاً، ماعلينا سوى أن نحول الفيلم الكوني الكبير باتجاه عكسي! وعلى الرغم من ذلك، فقد استساغ الفكرة بعض الكوزمولوجيين. ففي الستينيات، رأى عالم الفيزياء الفلكية توماس غولد أن الزمن يمكن أن يجري إلى الوراء في طور التقلص لكون يتخلص من جديد. ويشير إلى أن هذا الانعكاس يتضمن وظائف دماغية لأية كائنات موجودة في حدود ذلك الزمن، وهكذا، تعمل عكس إحساسها الذاتي بالزمن. ولذلك، لن يرى السكان في طور التقلص كل شيء حولهم 'يجري إلى الوراء' ولكنهم سيخبرون مجرى الحوادث إلى أمام بالطريقة نفسها التي نخبرها نحن. سيدركون، مثلاً، أن الكون يتتوسيع لا يتقلص. ومن خلال أعينهم، فإن طورنا الكوني هو **الذى كان يتخلص وعملياتنا الدماغية هي التي كانت تجري نحو الوراء**.

في الثمانينيات، عبّث ستيفن هوكنغ أيضاً بفكرة كون عاكس للزمن فترة من الزمن، وقد تخلى عنها في نهاية الأمر معترفاً بأنها كانت خطيئة كبيرة بالنسبة له. ظن هوكنغ في البداية أن تطبيق ميكانيكا الكم على كون دورى يشترط تماثلاً زمنياً مفصلاً. ولكن، تبيئ أن هذا ليس صحيحاً - على الأقل، في الصياغة التقليدية لميكانيكا الكم. ومؤخراً، درس الفيزيائيان موري جلــمان و جيمس هارتله تعديلاً لقوانين ميكانيكا الكم، يتم فيه ببساطة فرض تماثل الزمن، ثم سألاً ما إذا كان لهذه الحالة الراهنة أي نتائج منظورة في حقبتنا الكونية. وحتى الآن، لم يجد هذا السؤال جواباً.

القترح الفيزيائي الروسي أندريه لنده طريقة مختلفة جداً لتفادي موت الكون. وتقوم نكرته على أساس تطوير نظرية تضم الكون التي أتبنا على دراستها في الفصل الثالث. يفترض، في السيناريو الأصل للكون التضخيمي، أن حالة الكم للكون البكر جداً كانت تماثل خواصاً مثاباً، خواص مارس تأثيراً دافعاً مؤقتاً لتوسيع فائق السرعة. ورأى لنده، عام 1983، أن حالة الكم للكون البكر، بدلاً من ذلك، قد تختلف من مكان إلى آخر بطريقة شواشية: طاقة خفيفة هنا، مثاره باعتدال هناك، مثاره جداً في بعض المناطق. كان التضخم يحدث حيث تكون الحالة مثارة. علاوة على ذلك، أظهرت

حسابات لنده المتعلقة بسلوك حالة الكم بوضوح أن الحالات العالية الإثارة تتضخم بسرعة أكبر وتتلاشى ببطء أكبر، وبالتالي، كلما كان إثارة الحالة أعلى في منطقة خاصة من الفضاء، كان تتضخم الكون أكبر في تلك المنطقة. وسيبدو واضحًا، بعد فترة قصيرة جداً من الزمن، أن المناطق في الفضاء التي صدف أن كانت فيها الطاقة أكبر، والتضخم أسرع، قد انفتحت أكثر من سواها وشغلت حصة الأسد من كامل الفضاء. يشبه لنده الحالة بالتطور الدارويني، أو بالاقتصاديات. على الرغم من أن تبدلاً كهذا ناجحاً لحالة مثارة جداً يعني استلاف كمية كبيرة من الطاقة، فإنه سرعان ما يكافأ بنمو هائل في حجم تلك المنطقة. وهكذا، وبسبب ارتفاع قيمة السلفة، تسيطر بسرعة المناطق الفائقة للتضخم.

ونتيجة للتضخم الشواشي، ينقسم الكون إلى عنقود من أكوناً صغيرة، أو فقاعات، يتضخم بعضها مهووساً، وبعضها الآخر لا يتضخم إطلاقاً. وبما أن طاقة الإثارة في بعض المناطق -بساطة، نتيجة للتبدل العشوائية- ستكون كبيرة جداً، فإنها سوف تتضخم إلى حد أكبر مما تفترضه النظرية الأصل. ولكن، بما أن هذه المناطق هي، على وجه الدقة، مناطق التضخم الأكبر، فإن نقطة يتم اختيارها عشوائياً في الكون بعد التضخم يتحمل جداً أن تتوضع في مثل هذه المنطقة التي تتضخم بدرجة عالية. وهكذا، يتحمل جداً أن تكون في موقع في الفضاء يقع في عمق منطقة فائقة للتضخم. ويحسب لنده أن هذه 'الفقاعات الكبيرة' يمكن أن تتضخم بعامل 10^8 إلى 10^{10} ، أي 1 متربعاً بمئة مليون صفر!

ملكيتنا الضخمة الخاصة هذه ستكون واحدة فقط بين عدد لامتناه من الفقاعات التي تتضخم بدرجة عالية، ولهذا سيبقى مظهر الكون، على نطاق هائل من حجمه، شواشياً إلى أبعد حد. وضمن فقاعتنا -التي تمتد إلى مابعد الكون المنظور حالياً بمسافة كبيرة إلى حد مذهل- تتوزع المادة والطاقة بانتظام تقريباً، ولكن بعد فقاعتنا تقع فقاعات أخرى، إضافة إلى مناطق ماتزال قيد تضخم. والتضخم، في الواقع، لا يتوقف أبداً في نموذج لنده: فهناك دائماً مناطق في الفضاء يحدث فيها تضخم، حيث تتشكل فقاعات جديدة حتى عندما تتضمن فقاعات أخرى دورات حياتها وتموت. وهكذا، فهذا شكل لكون أبيدي، يشبه نظرية الأطفال الأكون التي أتبنا على دراستها في الفصل السابق، حيث

هذا ينبع دائم للحياة، والأمل والأكون. فلأنها لانتاج الأكون الفقائق عن طريق التضخم—وربما لابدية له أيضًا، على الرغم من وجود بعض الخلاف حول هذه المسألة. فهل يقدم وجود فقاعات أخرى حل السلام لأحفادنا؟ وهل يمكنهم تفادي موت الكون—أو، بصور أكثر دقة، موت الفقاعات—عن طريق الانتقال إلى فقاعة أخرى أصغر سنًا في الوقت المناسب؟ عالج لهذه المسألة بدقة في مقال ضخم عن ‘الحرارة بعد التضخم’، نشر في مجلة رسائل الفيزياء عام 1989. فقد كتب، ‘هذه النتائج تدل ضمناً على أن الحياة في كون تضخمى لن تختفى أبداً’. وأضاف، ‘من سوء الحظ، أن هذه النتيجة لا تعنى أبداً أن المرأة يمكن أن يكون مثالاً جيداً حول مستقبل الجنس البشري’. ويشير إلى أن آية ملكية، أو فقاعة خاصة، سوف تصبح ببطء غير صالحة للسكنى، ويستنتج، ‘الاستراتيجية الوحيدة الممكنة للبقاء التي يمكن أن تدركها في هذه اللحظة هو الرحيل من الأموال القديمة إلى أملاك جديدة’.

والمسألة التي ترتبط العزم في نسخة لنظرية التضخم هو الحجم **المهائل** للفقاعة الموزجية. فيحسب أن أقرب فقاعة بعد فقاعتنا يمكن أن تكون بعيدة جداً إلى حد يتطلب التعبير عن تلك المسافة بـ 1 يتبعه عدد من ملايين الأصفار—رقم كبير جدًا يحتاج، لكي يكتب كاملاً، إلى موسوعة خاصة به! وحتى بسرعة قريبة من سرعة الضوء، فإن الوصول إلى فقاعة أخرى يستغرق عدداً مماثلاً من السنين، مالم يخالفنا حظ طيب استثنائي فيكون موقعنا قريباً من حالة فقاعتنا. ويشير لينده إلى أنه حتى تحقيق هذا الحدث السعيد ممكن فقط إذا واصل الكون توسيعه بطريقة يمكن التبرُّؤ منها. والتأثير الفيزيائي الضئيل إلى حد بعيد جداً—تأثير غير واضح تماماً في الحقبة الحاضرة—يمكن أن يحدد، في النهاية، الطريقة التي بها يتسع الكون عندما تخفَّف إلى ما لا نهاية المادة والإشعاع اللذان يسودان في الوقت الحاضر. فعلى سبيل المثال، قد يكون بقى أثر ضعيف جداً من القوة التضخمية التي تعمّرها تماماً في الوقت الحاضر تأثيرات الجاذبية للمادة ولكنها ستتصبح محسوسة في النهاية، إذا وضعنا في اعتبارنا المقدار **المهائل** من الزمن الذي تحتاجه الكائنات للإفلات من فقاعتنا. في تلك الحالة، بيدأ الكون، بعد أمد طويل بما يكفي، بالتضخم من جديد—ليس بطريقة الانفجار الكبير المعمورة ولكن ببطء كبير جداً، بنوع من المحاكاة الباهنة للانفجار الكبير. ولكن هذا الآتين الواهن يتواصل إلى الأبد، على الرغم من ضعفه. ومع أن سرعة نمو الكون ستكون بطيئة جداً، فإن

هناك نتائج فيزيائية حاسمة بأية حال لحقيقة أنه يستعمل نموه. والنتيجة هي تكون أفق حوادث يشبه تقريباً تقنياً أسود وفعال تماماً كشرك. وأية كانتات على قيد الحياة ستذهب عميقاً، بشكل يائس، في فقاعتنا، لأنها كلما أسرعت نحو حالة الفقاعة، ستتراجع هذه بسرعة أكبر، نتيجة لتجدد التضخم. مع أن حساب لنده خيالي، فإنه يوضح بدقة أن المصير النهائي للجنس البشري أو لأحفادنا قد يتوقف على التأثيرات الفيزيائية الطفيفة جداً إلى الحد الذي لايمكنا معه أن نكتشفها قبل أن تبدأ بالظهور كوزمولوجياً.

كوزمولوجية لندة، في بعض جوانبها، تذكر بنظرية حالة استقرار الكون، التي شاعت في الخمسينات ومطلع السبعينات وما تزال الاقتراح الأبسط والأكثر إغراء لتقادي نهاية الكون. تفترض نظرية حالة الاستقرار، في نسختها الأصلية التي عرضها هيرمان بوندي وتوماس غولد، أن الكون يبقى دائماً على نطاق واسع بدون تغيير. ولذلك، ليست له بداية أو نهاية. وعندما يتسع ، تكون باستقرار مادة جديدة تماماً الفجوات وتحتفظ بكثافة إجمالية ثابتة. ومصير أيّة مجرة معلومة شبيه بما وصفته بالفصلوا السابقة: ولادة، وتطور، وموت. ولكن مزيداً من المجرات يتشكل دائماً، من المادة المتكونة حديثاً، التي لا تتضمن. ولذلك، يبدو المظهر العام للكون ككل متماثلاً من حقبة إلى الحقبة التالية، والعدد الإجمالي نفسه من المجرات في حجم مفترض من الفراغ، الذي يتألف من مزيج من مختلف العصور.

٥٦٦٤٩١

مفهوم كون حالة الاستقرار يلغى ، في المقام الأول، الحاجة إلى توضيح كيف نشا الكون من عدم، ويوحد مجموعة متنوعة عن طريق التغير التطوري مع الخلود الكوني. ويمضي، في الواقع، إلى أبعد من هذا عندما يضفي على الكون شباباً أبداً، لأنه على الرغم من موت المجرات المستقلة ببطء، فإن الكون ككل لا يهرم أبداً. ولن يكبح أحفادنا أبداً في سبيل البحث هنا وهناك دائماً عن مزيد من الإمدادات المراوغة من الطاقة، لأن المادة الجديدة توفرها مجاناً. فما على السكان سوى أن ينتقلوا إلى مجرة أصغر سناً عندما ينفذ الوقود من مجرة عجوز. ويمكن أن يتواصل هذا إلى مala نهاية، بالمستوى نفسه من النشاط، والتتوّع، والفعالية التي تبقى إلى الأبد.

ولكن، هناك بعض الشروط الفيزيائية الضرورية لنجاح النظرية. فالكون يتضاعف حجماً كل بضعة بلايين سنة، بسبب التوسيع. ولكن يحتفظ بكثافة ثابتة يحتاج إلى تكوين ١٠ طناً أو حول ذلك من المادة الجديدة خلال تلك الفترة. يبدو هذا الرقم كبيراً، ولكنه،

في المتوسط، يعادل ظهور ذرة واحدة فقط كل قرن في ناحية من فراغ بحجم حضيرة طائر. ولا يحتمل أن نلاحظ نحن ظاهرة كهذه. وهناك مشكلة إضافية خطيرة تتصال بطبيعة العملية الفيزيائية المسؤولة عن تكوين المادة في هذه النظرية. فنحن بحاجة إلى معرفة ليس أللها من ألين تأثر الطاقة التي تموّن الكتلة الإضافية، وكيف نجح خزانها الخارق هذا في أن يستعصي على النضوب. عالج هذه المشكلة فرد هويله، الذي طور، مع مساعدته في المختبر جياتن ترايلير، نظرية حالة الاستقرار بتفصيل واسع. فقد افترحا نموذجاً جديداً للمجال-مجال الخلق-لتزويد بالطاقة. وقد افترض أن الطاقة سلبية في مجال الخلق نفسه. وظهور كل جسيم جديد من المادة مع كتلة كان له تأثير في توزيع كمية من الطاقة (الكتلة × مربع سرعة الضوء) إلى مجال الخلق.

ومع أن مجال الخلق وفر حلّاً تقنياً لمشكلة الخلق، إلا أنه ترك كثيراً من المسائل بدون توضيح. ويبدو أيضاً أنه خاص إلى حد ما، لأن هذا الحل الغامض لم يتضاهر بشيء آخر. والأكثر خطورة، هو أن الدليل القائم على المشاهدة بدأ في الستينات (القرن الماضي) يتعاظم ضد نظرية حالة الاستقرار، وخاصةً بعد اكتشاف الإشعاع الكوني للحرارة الخلفية. وتتجدد هذه الخلفية تفسيراً جاهزاً لها هو أنها بقية من الانفجار الكبير، ولكن يصعب تعليلها، بصورة مقنعة، في نموذج حالة الاستقرار. يضاف إلى ذلك أن معاينة المجرات وال مجرات الإشعاعية في أعماق السماء أظهرت دليلاً لابس فيه على أن الكون يتتطور على نطاق واسع. وعندما تُصبح ذلك، تخلى هويله وزملاؤه عن النسخة البسيطة لنظرية حالة الاستقرار، على الرغم من أن أشكالاً مختلفة أكثر تعقيداً كانت تظهر، على نحو متقطع، بين حين وأخر.

وبصرف النظر تماماً عن المشكلات الفيزيائية والرصدية، فإن نظرية حالة الاستقرار تطرح بعض الصعوبات الفلسفية الغربية. فعلى سبيل المثال، إذا تهيا لأحادانا وقتاً وموارد غير محدودة، فلا يمكن أن تكون هناك حدود لتطورهم التقني. وسوف يتمتعون بحرية الانتشار عبر الكون، ويفرضون سيطرتهم على حجوم أكبر من الفراغ. وهذا، فإن التقنية ستتششر، بصورة أساسية، في المستقبل البعيد جداً إلى جزء كبير من الكون. ولكن بالفرضية، فإن الطبيعة الضخمة للكون يفترض لا تتبدل بمرور الزمن، وبالتالي، يتلزمـنا افتراض حالة الاستقرار بأن نستنتج أن الكون الذي نراه اليوم كانت قد جرت تفاصـته سابقاً. وبما أن الظروف الفيزيائية في كونـ الحالـة المستقرـة هي عموماً

نفسها في كل الحقب، فإن الكائنات العاقلة لابد وأن تتشا في كل الحقب أيضاً. وبما أن هذه الحالة الراهنة قد وُجِّهَتْ لكامل الأبدية، فإنه يجب أن تكون هناك جماعات من الكائنات التي عاشت هنا وهناك، بصورة اعتباطية، لزمن طويلاً وانتشرت لتشمل، بصورة اعتباطية أيضاً، حجماً كبيراً من الفراغ بما في ذلك المنطقة من الكون التي نشغلها نحن نشرت التقنية فيها. لا يمكن التخلص من هذا الاستنتاج بافتراض أن الكائنات العاقلة عموماً لم تكن لديها رغبة لاستعمار الكون. ولكن يكون هذا الافتراض صحيحاً، لابد أن يكون نشوء جماعة واحدة من مثل هذه الجماعات قد استغرق زمناً طويلاً في الماضي. وهي حالة أخرى لأحتجاجة قديمة تقول إنه في كون لامتناه، فإن أي شيء حتى لو كان محتملاً حدوثه في المستقبل البعيد، لابد أن يحدث يوماً ما، ويحدث كثيراً بشكل غير محدود. وإذا تعقبنا المنطق إلى استنتاجه المرير، فإن نظرية الحال المستقرة تتبايناً بأن عمليات الكون تماثل النشاطات التقنية لسكانه، وما ندعوه طبيعة هو، في الواقع، نشاط كائن متعدد، أو جماعة من الكائنات الفائقة. يبدو هذا كنسخة لصانع الكون المادي عند أفلاتطون (إله يعلم ضمن قيود قوانين فيزيائية موضوعة سابقاً)، ومن اللات أن دفاع هويله عن كائن متعدد كهذا كان واضحاً في نظرياته الكزموЛОجية الأخيرة.

إن آية دراسة نهاية الكون تواجهنا بأسئلة حول الفرض. وكانت ذكرت سابقاً أن توقيع احتضار الكون أقىع برتراند راسل بالعبثية المطلقة للوجود. وهي ذكرة عاطفية ردّ صداتها في السنوات الأخيرة ستيفن فاينبرغ، الذي بلغ كتابه *ال دقائق الثلاث الأولى* الأوج باستنتاجه الصارخ: 'كلما بدت لنا إمكانية فهم الكون أكبر، فإنه سوف يبدو أيضاً أكثر تفاهة'، وقد بينت أن الخوف الأصلي من موت حراري بطيء للكون ربما كان مبالغًا فيه، وقد يكون خطأ، مع أن موتاً مفاجئاً بانسحاق كبير يبقى احتمالاً قائمًا. ولذكرت بنشاطات الكائنات المتعددة التي يمكن أن تتحقق أهدافاً خارقة، فيزيائية وفكريّة، ضد الشذوذات. وقد أثبتت أيضاً نظرة مستعجلة على إمكانية أن تكون الأفكار لاتعتبر بحدود، حتى وإن كان الكون يعترف بذلك الحدود.

ولكن، هل تعمل هذه السيناريوهات البديلة على تلطيف إحساناً بالقلق؟ علق صديق لي مرة، وكانت له وجهة نظر، بأنه لا يهم كثيراً بما سمعه عن الجنّة. ولا يغيره إطلاقاً توقع الحياة الأبدية في حالة من التوازن الرفيع. ويفضل الموت وانتهاء كل شيء

على مواجهة السالم في حياة أبدية. إذا كان الخلود يعني أن يكون المرء مقيداً بالكار تذكر مرة بعد أخرى إلى الأبد، فإنه سيكون خلوداً تافهاً فعلاً. ولكن إذا كان مترافقاً بالتقدم، عندئذ، يمكننا أن نتخيل العيش في حالة من الجدّة السرمدية، دائمًا نتعلم أو نفعل شيئاً جديداً ومثيراً. والمزعج هو، لماذا؟ فعندما تباشر الكائنات البشرية مشروعًا لغرض ما، فإنه إنما تفكّر بهدف معين. وإذا لم يتحقق الهدف، فإن المشروع يكون قد أخفق (مع أن التجربة قد لا تكون بالضرورة عديمة القيمة). ومن جهة أخرى، إذا تحقق الهدف، فإن المشروع يكون قد اكتمل، وعندئذ، سيتوقف النشاط. فهل يمكن أن تكون هناك غاية حقيقة في مشروع لن يكتمل أبداً؟ وهل يمكن أن يكون اللوجود معنى إذا كان يتتألف من رحلة لا تنتهي نحو غاية لن يتم بلوغها أبداً؟

إذا كان هناك غرض للكون، وحقق ذلك الغرض، عندئذ يجب أن ينتهي، لأن استمرار وجوده سيكون بدون مبرر وتافهاً. وعلى العكس، إذا استمر الكون إلى الأبد، فإنه يصعب أن تخيل أن هناك أي غرض نهائي له. وهذا، قد يكون الموت الكوني هو الثمن الذي يجب دفعه لقاء نجاح الكون. وربما يكون أقصى مانقطع إليه هو أن يصبح ذلك الغرض معروفاً لأحفادنا قبل أن تنتهي الدفائق الثلاث الأخيرة.

محتويات الكتاب

3		تعريف بالمؤلف
4		المقدمة
8	يوم الحساب	الفصل الأول
14	كون يحضر	الفصل الثاني
23	الدقائق الثلاث الأولى	الفصل الثالث
37	موت النجوم	الفصل الرابع
47	حلول الظلام	الفصل الخامس
61	وزن الكون	الفصل السادس
73	"إلى الأبد" زمن طويل	الفصل السابع
87	الحياة في مرر بطيء	الفصل الثامن
102	الحياة في مرر سريع	الفصل التاسع
109	موت مفاجئ - ولادة ثانية	الفصل العاشر
120	عوالم بلا نهاية؟	الفصل الحادي عشر

من منشورات دار علاء الدين

أسرار الكون	•
لجنة الترجمة	
الدقائق الثلاث الأخيرة	•
بول ديفيز	
الله والعقل والكون	•
بول ديفيز	
أطلس العمليات الجراحية	•
فائز طريف ^ي عدنان جمجمو	
أشف نفسك ذاتياً	•
لويزا خي	
الكسوف والخسوف	•
أحمد بسام حاتم	
قدرة العقل	•
جي米 سكوت	
الأسس العصبية للمعالجة الانعكاسية	•
د. سعد الله يوسف إبراهيم	
نقاط المعالجة الانعكاسية	•
د. سعد الله يوسف إبراهيم	
مبادئ المعالجة الانعكاسية	•
د. سعد الله يوسف إبراهيم	
الحياة الجديدة (الحمل، الولادة..)	•
ديفيد هارفي	
الحياة بعد الحياة	•
رياموند ماودي	
مرجع الفحوص التشخيصية والمخبرية	•
عبد الباري السعدو	
الاستنساخ	•
تأليف: مرتا س. نيوسباوم ترجمة: أحمد رمو	

في نظرية الانفجار الكبير التي ترسخت بصورة جيدة في الذاكرة الشعبية والعلمية على حد سواء، ترکز التفكير أكثر فأكثر على مستقبل الكون، فلدينا فكرة جيدة حول كيف بدأ الكون، ولكن كيف سينتهي؟ ماذا يمكن أن نقول حول مصيره النهائي؟ هل سينتهي بانفجار أو بتشييع، هل سينتهي فعلاً في وقت ما؟ وماذا بشرتنا نحن؟ أيمكن للإنسانية أو لأحفادنا سواء كانوا آلين أو من لحم ودم، أن يعيشوا إلى الأبد؟ من غير الممكن أن تتجلى المرء عن فضوله حول هذه المسائل، وكفاحنا في سبيل البقاء على سطح الأرض الكوكب، التي تكتنفها اليوم الأزمات التي يسببها الإنسان، يوضع في سياق جديد مرغوب عندما نخبر على التفكير حول البعد الكوني لوجودنا

والكتاب الذي بين يدي القارئ، الدلائل الثلاث الأخيرة، هو قصة مستقبل الكون، كفضل ما يمكن أن يتتبأ به العالم الفيزيائي بول ديفيز على أساس أحدث الأفكار عند بعض العلماء المعروفين في الفيزياء والكونيات. وهو ليس رؤيانيّة بالية حال. والواقع، أن المستقبل يعد بإمكانية غير مسبوقة لتطور التجربة وغناها. ولكن لا يمكن أن تتجاهل حقيقة أن ما هو مكن وجوده يمكن أيضاً أن يتوقف وجوده. وتتجدر الإشارة إلى أن هذا الكتاب نظري إلى حد بعيد، فعلى الرغم من أن معظم الأفكار التي سيعرضها المؤلف تقوم على أساس فهم أفضل للعلم، فإن علم المستقبل لا يمكن أن يحتل المكانة نفسها كالمحاولات الأخرى العلمية. مع ذلك، يبقى التفكير في المصير النهائي للكون إغراء لا يمكن مقاومته.