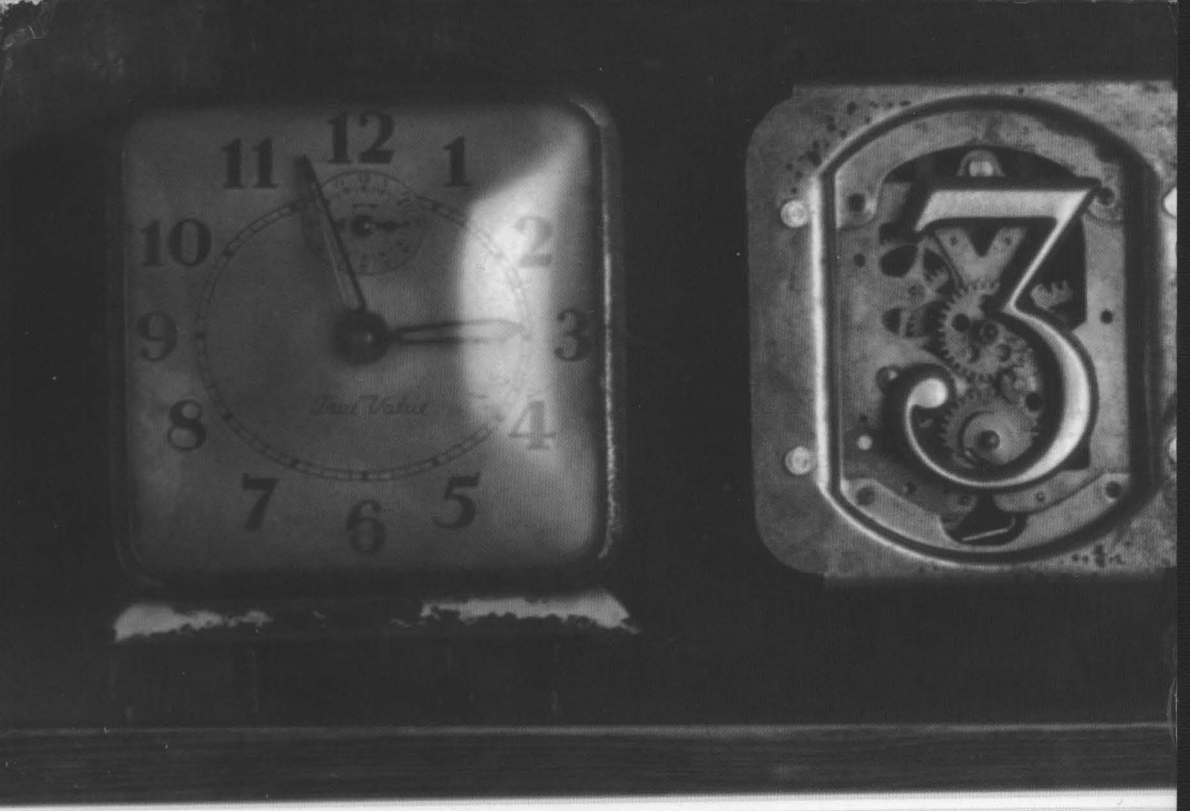


ل ديفيز

ترجمة: أحمد رمو

# الدقائق الثلاث الأخيرة

دار علاء الدين

منشورات دار علاء الدين

www.al-maktabeh.com
مكتبة المهتدين

# الدقائق الثلاث الأخيرة

بـــول ديفـــيز

# الدقـــائق الثـــلاث الأخـــيرة

ترجمـــة: أحمـــد رمُـــو

منشورات دار علاء الدين

- **الدقائق الثلاث الأخيرة**
- **تأليف:** بول ديفيز.
- **ترجمة :**أحمد رمُو
- **الطبعة الأولى:** سنة ٢٠٠١ ، عدد النسخ ١٠٠٠ نسخة


- **جميع الحقوق محفوظة لدار علاء الدين**


- **التدقيق اللغوي: صالح جادالله شقير.**

**يطلب الكتاب على العنوان التالي:**

دار علاء الدين

للنشر والتوزيع والترجمة

سوريا، دمشق، ص.ب: ٣٠٥٩٨

هاتف: ٥٦١٧٠٧١ ـ فاكس: ٥٦١٣٢٤١

العنوان الأصلي للكتاب

# The Last Three Minutes

www.
al-maktabeh
.com
مكتبة
المهتدين

# تعريف بالمؤلف

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

# المقدمـــــــــــة

عندما كنت طالباً في مطلع الستينات[1] ، كان هناك اهتمام شديد بمشكلة أصل الكـــون. فنظرية الانفجار الكبير، التي ترقى إلى العشرينات ولم تؤخذ بجدية إلا في الخمســـينات، كانت معروفة جيداً ولكنها كانت بعيدة عن أن تكون مقنعة. والنظرية المنافسة، نظريـــة الحالة المستقرة، التي تخلصت من منشأ الكون جملة، كانت ماتزال الســـيناريو الأكـــثر عصرية في بعض الأوساط. وأعقب ذلك اكتشاف الإشعاع الخلفي للحرارة الكونية مـــن قبل روبرت بنزياس و آرنو ويلسون في عام 1965، وتحول الموضـــوع. وكـــان هـــذا بالتأكيد دليلاً واضحاً على المنشأ الحار، والعنيف، والمفاجيء للكون.

وراح الكوزمولوجيون يعملون من خلال دلالات الاكتشاف. إلى أي مدى كان الكـــون حاراً بعد الانفجار الكبير بمليون سنة؟ بسنة واحدة؟ بثانيـــة واحـــدة؟ مـــانوع العمليـــات الفيزيائية التي حدثت في ذلك الجحيم البدائي؟ أيمكن أن تكون هناك مخلفات أثرية مـــن بداية الخلق تحتفظ ببصمة الظروف الشديدة التي سادت آنذاك؟

أذكر أنني حضرت محاضرة حول علم الكون فـــي عـــام 1968. اختتـــم الأستاذ محاضرته باستعراض نظرية الانفجار الكبير على ضـــوء اكتشـــاف إشـــعاع الحـــرارة الخلفية. فروى وهو يبتسم: " قدم بعض النظريين وصفاً للتركيب الكيميائي للكون يقـــوم على أساس عمليات غير واضحة حدثت خلال الدقائق الثلاث الأولى التي تلت الانفجـــار الكبير." فضحك بصخب جميع المستمعين. فقد بدت محاولة وصف حالـــة الكـــون فـــي اللحظات التالية مباشرة لظهوره إلى الوجود من قبيل الطموح السخيف. حتـــى الأســـقف جيمس أشر، الذي قادته دراسته لجزئيات التسلسل التاريخي التوراتي إلى التصريح بـــأن الكون وُجِد في 23 تشرين الأول عام 4004 ق.م، لم يجازف بترتيب التسلســـل الدقيـــق للحوادث خلال الدقائق الثلاث الأولى.

---

[1]–عندما ترد كلمة العشرينات أو الستينات أو الخمسينات، أو مثل ذلك، فالمقصود بها القرن 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 والكوزمولوجيا الأمريكي، كتابه الأكثر رواجاً تحت عنوان *الدقائق الثلاث الأولى*. وقد أثبت أنه علامة بارزة في نشر العلم المبسط. فهاهو واحد من الخبراء العالميين يزود الجمهور العام بوصف مفصل ومقنع تماماً للعمليات التي حدثت خلال دقائق فقط بعد الانفجار الكبير.

وفي حين كان الجمهور يحاول استيعاب هذه التطورات الجموحة، كان العلماء أنفسهم يواصلون عملهم. وبدأ الاهتمام يتحول مما بات يُعرَف بالكون المبكر-بمعنى دقائق أو حول ذلك بعد الانفجار الكبير-إلى الكون المبكر جداً-بمعنى جزء لامتناهي الصغر تقريباً من الثانية بعد الابتداء. ولم يمض عقد آخر أو حوله حتى كان عالم الفيزياء الرياضية، ستيفن هوكنغ، واثقاً من قدرته على وصف أحدث الأفكار حول الترليون ترليون الترليون 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، تركز 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 بنشيج-هل سينتهي فعلاً في وقت ما؟ وماذا بشأننا نحن؟ أيمكن للإنسانية أو لأحفادنا، سواء كانوا آليين أو من لحم ودم، أن يعيشوا إلى الأبد؟

ومن غير الممكن أن يتخلى المرء عن فضوله حول هذه المسائل، مع أن الهرمجدُّون[1] قد لاتكون على الأبواب تماماً. وكفاحنا في سبيل البقاء على سطح الأرض الكوكب، التي تكتنفها اليوم الأزمات التي يسببها الإنسان، يوضع في سياق جديد مرغوب عندما نُجبَر على التفكير حول البعد الكوني لوجودنا. والكتاب الذي بين أيدينا، *الدقائق الثلاث الأخيرة*، هو قصة مستقبل الكون، كأفضل مايمكن أن نتنبأ به، على أساس أحدث الأفكار عند بعض العلماء المعروفين في الفيزياء والكونيات. وهو ليس رؤيا نبوئية بأية حال. والواقع، إن المستقبل يعد بإمكانية غير مسبوقة لتطور التجربة وغناها. ولكن لايمكن أن نتجاهل حقيقة أن ماهو ممكن وجوده يمكن أيضاً أن يتوقف وجوده.

---

[1]-المعركة الفاصلة بين أنصار الخير وأنصار الشر-المترجم.

هذا الكتاب مخصص للقارىء العـــام. ولا ضـــرورة لمعرفـــة مســـبقة بـــالعلوم أو الرياضيات. مع ذلك، سوف أحتاج بين حين وآخر إلى مناقشة أرقـــام كبـــيرة جـــداً أو صغيرة جداً، وسأستخدم أحياناً لتمثيلها رموزاً رياضية مختصرة تعرف بقوى العشـــرة. فعلى سبيل المثال، عندما نكتب العدد مئة بليون كاملاً، نكتبه هكذا 100,000,000,000، هو إجراء مربك إلى حد ما. فهناك، في هذا العدد، أحد عشر صفراً بعد الـ 1، ولـــهذا السبب يمكن أن نمثله بكتابة $10^{11}$–بالكلمات، عشرة إلى القوة الحادية عشرة. وبـــالمثل، فإن المليون هو $10^{6}$ و الترليون هو $10^{12}$، وهلمجرا. ولكن، يجب أن نتذكـــر أن هـــذا الرمز يميل إلى إخفاء المعدل الذي تكبر فيه هذه الأعداد: $10^{12}$ أكبر بمئـــة مـــرة مـــن $10^{10}$؛ إنه عدد أكبر بكثير، على الرغم من أنه يبدو قريباً منه. ويمكن أيضاً تمثيل قـــوى العشرة، التي تســـتخدم ســـلباً، بـــأعداد صغـــيرة جـــداً: الكســـر واحـــد مـــن بليـــون 1,000,000,000/1، يكتب $10^{-9}$ عشرة إلى القوة ناقص تســـعة)، لأن هنـــاك تســـعة أصفار بعد الرقم 1 في مخرج الكسر.

وأخيراً، أحب أن أحذر القارىء من أن هذا الكتاب بالضرورة نظري إلى حد بعيـــد. فعلى الرغم من أن معظم الأفكار التي سنعرضها تقوم على أساس فهم أفضل للعلم، فـــإن علم المستقبل لايمكن أن يحتل المكانة نفسها كالمحاولات الأخرى العلمية. مع ذلك، يبقـــى التفكير في المصير النهائي للكون إغراء لايمكن مقاومته. وهكذا، وضعت هـــذا الكتـــاب بروح تعتمد على البحث القائم على انفتاح العقل. إن سيناريو ولادة كون في انفجار كبير، ثم توسعه وتبرُّده نحو حالة نهائية من التنكس الفيزيائي، أو ربما الانهيار الكارثي، ثـــابت علمياً إلى حد مُرضٍ تقريباً. أما التأكد من العمليات الفيزيائية المسيطرة التـــي يمكـــن أن تظهر على المقاييس الزمنية الضخمة المستخدمة فأدنى بكثير. ويحمل علماء الفلك فكـــرة واضحة عن المصير الشامل للنجوم العادية، وتزداد ثقتهم في أنهم يفـــهمون الخـــواص الأساسية للنجوم النيوترونية والثقوب السوداء؛ ولكن إذا كـــان الكـــون ســـيبقى لعـــدة ترليونات أو أكثر من السنين، فإنه قد تحدث تأثيرات فيزيائية دقيقة تصبح فـــي النهايـــة مهمة جداً، وتنصب تخميناتنا فقط حول تلك التأثيرات.

عندما تواجهنا مشكلة فهمنا القاصر للطبيعة، فإن كل مايمكن أن نقوم به للنظـــر فـــي المصير النهائي للكون والاستدلال عليه هو أن نســـتخدم أفضـــل نظرياتنـــا الموجـــودة ونستقرئها وصولاً إلى استنتاجاتها المنطقية. وتتمثل المشكلة في أنه يجب إخضاع العديـــد

من النظريات التي تهتم كثيراً بمصير الكون إلى اختبارات تجريبية. فعلى سبيل المثال، يؤمن النظريون بحماس ببعض العمليات التي أدرسها، كإصدار موجات الجاذبية، وانحلال البروتونات، وإشعاع الثقوب السوداء، ولكنها لم تُلاحظ حتى الآن. وبالقدر نفسه من الجدية، ستكون هناك، بدون شك، عمليات أخرى فيزيائية لانعرف 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، لايمكن أن نتجاهل حقيقة أن الكائنات الحية يمكنها، خلال الآماد، أن تكيف، بدرجة مهمة، سلوك المنظومات الفيزيائية بصورة مضطردة. 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 نتذكر أن العلماء لايتمتعون بفهم حقيقي لطبيعة الوعي الإنساني، ولا للشروط الفيزيائية التي يمكن أن تتيح للنشاط الواعي الاستمرار في المستقبل البعيد للكون.

وأحب أن أشكر جون باراو، وفرانك تبلر، وجاسون تواملي، وروجر بنروز، ودوكان ستيل على دراساتهم المفيدة حول مادة موضوع هذا الكتاب؛ ومحرر السلسلة، جيري ليونز، على قراءته النقدية للمخطوط؛ وسارة ليبنكوت، علىعملها الرائع في المخطوطة النهائية.

www.al-maktabeh.com
مكتبة المهتدين

# الفصل الأول

## يوم الحســـــاب

التاريخ: 21 آب 2126. يوم الدينونة

المكان : الكرة الأرضية. سكان عبر الكوكب يحاولون الاختباء يائسين. بلايين النـاس لايجدون مكاناً يذهبون إليه. يهرب البعض يائساً إلى تحت ســـطح الأرض بحثـاً عـن كهوف ومداخل مناجم مهجورة، ويمتطي آخرون غواصـــات إلـــى البحـــر. وآخـــرون هائجون، وقتلة وغير مهتمين. في حين تكتفي الأكثرية بالجلوس متجهمة ذاهلة، تنتظـــر النهاية.

وإلى أعلى، في السماء، نُقِش عمود هائل من نور في نسيج السماوات. وما كان بـــدأ على شكل قلم رصاص رفيع من غشاوة تشع بهدوء راح ينتفخ يوماً بعد آخـــر ليشـــكل دردوراً هائلاً من الغاز الذي يغلي مزبداً إلى فراغ المكان. وعند رأس ذيل بخاري تقـــع كتلة قاتمة، مشوهة، مهدِّدَة. والرأس المصغر للمذنب يناقض قدرته التدميرية الهائلة. إنـــه يقترب من كوكب الأرض مترنحاً بسرعة 40,000 ميل في الساعة، أي 10 أميال كـــل ثانية–ترليون من أطنان الجليد والصخور مقدر لها أن تصطدم بسطح الأرض بســـرعة تفوق سرعة الصوت بسبعين مرة.

ولا يسع بنى البشر سوى المراقبة والانتظار. أما العلماء فقد أوقفوا حاسباتهم بـــهدوء، بعد أن كانوا هجروا مراصدهم منذ فترة طويلة. تظاهرات لانهاية لها لكارثـــة مـــاتزال ملتبسة جداً، ولكن استنتاجاتهم ستكون مفزعة جداً لو أطلقت إلى الجمهور بأية طريقـــة. وقد أعدَّ بعض العلماء استراتيجيات مفصلة للبقاء، باستخدام معرفتـــهم التقنيـــة لتحقيـــق أفضلية على مواطنيهم. بينما خطط آخرون لمراقبة الجائحة بأقصى دقة ممكنة، محافظين على دورهم كعلماء حقيقيين حتى النهاية بالذات، ونقل المعلومات إلى كبسولات توقيـــت مطمورة عميقاً في التربة. للأجيال القادمة ...

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

تنشق السماء مباشرة فوق الصفر الأرضي*. فيندفع ألف ميل مكعب من الهواء. إصبع من لهب لافح أوسع من مدينة يتخذ مساراً نحو الأرض فيشقها بعد خمس عشرة ثانية. فيرتعد الكوكب بقوة تعادل قوة عشرة آلاف زلزال. وتكتسح الموجة الصدمية للهواء المنزاح سطح الكرة الأرضية، فتسوي بالأرض كافة المباني، وتدمر كل شيء في طريقها. وترتفع المنطقة المنبسطة حول مكان الاصطدام على شكل حلقة من الجبال السائلة إلى عدة أميال، كاشفة أحشاء الأرض على شكل فوهة بركان بعرض مئة ميل. ويتموج جدار الصخور الذائبة نحو الخارج، فيقذف المشهد حوله كبطانية تُضرَب ببطء لنفضها من الغبار.

وتتبخر داخل الفوهة نفسها، ترليونات من أطنان الصخور. فيتناثر أكثرها عالياً، ويندفع بعضها خارجاً إلى الفضاء. ويتموج أيضاً جزء أكبر عبر نصف قارة ليمطر مئات أوحتى آلاف الأميال، محدثاً دماراً جسيماً بكل ماهو تحته. وتسقط بعض المقذوفات الذائبة إلى المحيط، فترتفع موجات سنامية ضخمة تتضاف إلى الاضطراب المنتشر. ويثور عمود ضخم من الحطام المغبرّ إلى المحيط الجوي، فيطمس الشمس عبر كامل الكوكب. هنا، يحل محل نور الشمس وهج وامض مشؤوم لبليون نيزك، تشوي الأرض تحتها بحرارتها اللافحة، عندما تغوص المادة المنزاحة رجوعاً من الفضاء إلى الجو المحيط.

٥٦٦٤٢١

يقوم السيناريو السابق على نبوءة أن مذنب سويفت-تَتْل سيصطدم بالأرض في شهر آب عام 2126. فإذا حدث ذلك، فإن دمار الكرة الأرضية لاشك قادم، 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 سيخطىء الأرض بأسبوعين: نجاة بأعجوبة، وهكذا، يمكن أن نتنفس بسهولة. ولكن الخطر لن يبتعد تماماً، لأن سويفت-تتل، أو جسماً مثله، سيصطدم بالأرض عاجلاً أو آجلاً. فالتقديرات تشير إلى أن هناك عشرة آلاف جسم، وكل منها بقطر نصف كيلومتر أو أكثر، تتحرك على مدارت تتقاطع مع مدار الأرض. تنشأ هذه

---

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

الأجسام الفلكية المتطفلة في حدود النظام الشمسي الخارجية الباردة. بعضها بقايا مذنبات كانت احتبلتها 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 المهلكة إلى داخل 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 الأخبارستكون سيئة بالنسبة للناس. عند ئذ، سيحدث انقطاع مفاجيء لاسابقة له في تاريخ نوعنا. ولكنه، بالنسبة للأرض، حدث روتيني تقريبا. فالاصطدامات المذنبية أو النجمية تحدث كل بضعة ملايين من السنين تقريبا. ويسود الاعتقاد على نطاق واسع بأن واحدة أو أكثر من هذه الحوادث سببت انقراض الديناصورات قبل خمسة وستين مليون سنة. وقد يكون دورنا في المرة التالية.

يتجذر الإيمان بوقوع الهرمجدون عميقا في معظم الديانات والثقافات. فسفر الرؤيا يعرض رواية حية للموت والدمار الذي ينتظرنا:

> "فحدثت أصوات ورعود وبروق. وحدثت زلزلة عظيمة لم يحدث مثلها منذ صار الناس على الأرض زلزلة بمقدارها عظيمة هكذا ... مدن الأمم سقطت ... وكل جزيرة هربت وجبال لم توجد. وبرد عظيم نحو ثقل وزنه نزل من السماء على الناس فجدف الناس على الله من ضربة البرد لأن ضربته عظيمة جدا."*

لاشك في أن هناك قدرا كبيرا من الأشياء الخطيرة التي كان يمكن أن تحدث للأرض، ذلك الجسم الصغير الحجم في كون تنتشر فيه قوى عنيفة، ومع ذلك، فإن كوكبنا يستضيف الحياة منذ أمد لايقل عن ثلاثة بلايين** ونصف البليون سنة. وسر نجاحنا على سطح هذا الكوكب هو المكان، وفضاؤنا بالغ السعة، حتى أن نظامنا الشمسي

---

*17/16 من رؤيا يوحنا اللاهوتي-المترجم.

**-البليون يساوي ألف مليون في أمريكا وفرنسا، ومليون مليون في بريطانيا-المترجم.

ليس أكثر من جزيرة صغيرة جداً من النشاط في محيط من الفراغ. فأقرب نجم إلينا (بعد الشمس) يبعد عنا أكثر من أربع سنوات ضوئية. ولتكوين فكرة حول مدى تلك المسافة، يجب أن نضع في اعتبارنا أن الضوء يجتاز الثلاثة والتسعين مليون ميل من الشمس إلى كوكبنا فقط بثمان دقائق ونصف الدقيقة. وفي السنوات الأربع، يجتاز عشرين ترليون* ميل.

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

وعلى حد معرفتنا، ليس هناك ماهو 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 مشوشة من النور. ويزين الكون الذي تمكن مشاهدته عدة بلايين من المجرات، بعضها حلزوني، وبعضها أهليلجي، 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 البليون سنة).

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

---

*الترليون يساوي في أمريكا 1 وإلى يمينه 12 صفراً، وفي بريطانيا 1 وإلى يمينه 18 صفراً-المترجم.

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

وتطرح المذنبات خطراً آخر. ويُظَن أن هذه الأجرام الرائعة تنشأ في سحابة غير مرئية تقع على بعد سنة ضوئية تقريباً من الشمس. هنا يأتي التهديد لامن المشتري بل من النجوم العابرة. والمجرة ليست ساكنة؛ فهي تدور ببطء، لأن نجومها تدور حول نواة مجرِّيَّة. وتستغرق الشمس وحاشيتها الصغيرة من الكواكب حوالي مئة مليون سنة لإكمال دورة واحدة حول المجرة، وفي الطريق كثير من المغامرات. فالنجوم القريبة قد تحتك بسحابة المذنبات، فتزيح 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 المذنبي المعروف. ومن النادر جداً أن يصطدم مذنب بالأرض أثناء إقامته القصيرة داخل النظام الشمسي. المذنب يسبب الخراب، ولكن النجم العابر هوالذي يجب أن يتحمل المسؤولية. ومن حسن الحظ أن المسافات الهائلة بين النجوم هي التي تعزلنا ضد الكثير جداً من هذه المواجهات.

وهناك أجسام أخرى يمكن أيضاً أن تعبر أثناء رحلتها حول المجرة طريق كوكبنا. فتتساق ببطء سحب عملاقة من الغاز، وعلى الرغم من أنها أقل ثخانة حتى من فضاء المختبر، فإنها يمكن أن تبدل بقوة الريح الشمسية وقد تؤثر علىالحرارة التي تتدفق من الشمس. وهناك أجسام أخرى، يمكن أن تترصد في أعماق المكان الشديدة السواد، ومنها: كواكب متشردة، نجوم نترونية، أقزام بنية اللون، ثقوب سوداء–كلها وأكثر منها يمكن أن تطبق علينا بدون أن نراها، وبدون إنذار، فتنزل الدمار بالنظام الشمسي.

أو يمكن أن يكون التهديد أكثر مكراً. فبعض علماء الفلك يظنون أن الشمس ربما تنتمي إلى منظومة نجوم مزدوجة، بالاشتراك مع عدد كبير من النجوم الأخرى في المجرة. فإذا صح ذلك، فإن رفيقنا النجم –إله النقمة، أو نجم الموت–، معتم جداً وبعيد جداً ولذلك لم يُكتشَف حتى الآن. ولكنه في مداره البطيء حول الشمس يمكن أن يثبت وجوده تقالياً، عن طريق العمل دورياً على تشويش المذنبات البعيدة وإرسال بعضها نحو الأرض لإحداث سلسلة من التأثيرات المدمرة. وقد اكتشف علماء الجيولوجيا أن تدميراً بيئياً واسعاً يحدث دورياً في الواقع –كل ثلاثين مليون سنة تقريباً.

وعن طريق المزيد من البحث في هذا الحقل، لاحظ علماء الفلك أن كامل المجـــرات في حالة تصادم واضح. فما مدى احتمال أن تقوم مجرة أخرى بتدمير درب التبانة؟ ففـي الحركة السريعة جداً لبعض النجوم، هناك سايدل على أن درب التبانة يمكـــن أن يكـون تعرض سابقاً لتشويش بتصادمات مع مجرات صغيرة مجاورة. ولكن تصـــادم مجرتيـــن لايؤدي بالضرورة إلى كارثة للنجوم التي تكونهما. فالمجرات معمورة بنجـــوم متبـــاعدة ولذلك يمكن أن تبتلع إحداها الأخرى بدون تصادمات بين النجوم المستقلة.

توقع يوم الدينونة-يوم تدمير العالم المفاجيء، والمثير -يبهر معظم النـــاس. ولكـــن الموت العنيف أقل تهديداً من التفسخ البطيء. وهناك طرق كثيرة يمكن أن تصبح فيـــها الأرض ماحلة. فالتدهور البيئي البطيء، والتبدل المناخي، والتغير البسيط في المدخـــول الحراري القادم من الشمس-كل هذا يمكن أن يهدد راحتنا، إذا لم يهدد بقاءنا، على سـطح كوكبنا الهش. ولكن هذه التبدلات ستحدث خلال آلاف أو حتى ملايين السنين، وقد تكـون الإنسانية عندئذ قادرة على التغلب عليها باستخدام التكنولوجيا المتقدمة. فالبدء التدريجـــي الجديد لعصر جليدي، مثلاً، لايعني كارثة شاملة بالنسبة لنوعنا، إذا أخذنا بعين الاعتبـــار الزمن المتاح لإعادة تنظيم نشاطاتنا. يمكن للمرء أن يخمـــن أن التكنولوجيـــا ســـتواصل تقدمها، على نحو مثير، خلال الألفيات القادمة؛ فإذا صح ذلـــك، فإنـــه ســـيكون مغريـــاً الاعتقاد بأن بني البشر، أو أحفادهم، سيحققون السيطرة على المنظومات الفيزيائية الأكبر ... ويمكن أن يكونوا، في النهاية، في وضع يؤهلهم لتفادي الكوارث حتى على النطـــاق الفلكي.

هل يمكن للإنسانية، من حيث المبدأ، أن تبقى على قيد الحياة إلى الأبد؟ ربما يمكـــن ذلك. ولكن سوف نرى أن تحقيق الخلود لايأتي بسهولة وقد يثبت أنه مستحيل. فـــالكون نفسه يخضع لقوانين فيزيائية تفرض عليه دورة حياتية خاصة به: ولادة، وتطور، وربمـا موت. فمصيرنا متشابك، على نحو لافكاك منه، بمصير النجوم.

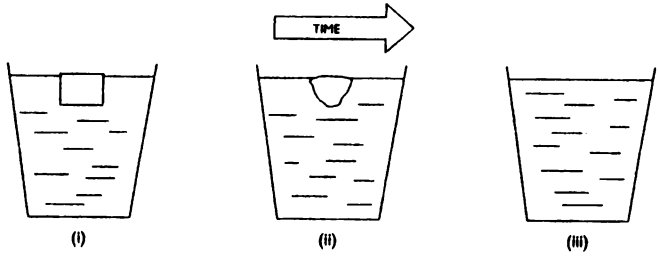
# الفصل الثاني

## كـــون يـــحتضر

في عام 1856، أطلق هيرمان فون هِلمْهولتس، عالم الفيزياء الألماني، نبوءته التـــي ربما كانت من أكثر النبوءات مدعاة للحزن في تاريخ العلم. فقد أعلن هيرمان أن الكـون يحتضر. وقد بنى نبوءته على أساس القانون الثاني المعروف للدينميات الحرارية. وكـان هذا القانون (الذي يعرف اليوم اختصاراً باسم 'القانون الثاني') قد صيغ أصلاً في مطلع القرن التاسع عشر كشرح تقني إلى حد ما حول فعاليـــة الآلات الحراريـــة، وســـرعان مااعتُرِف بأهميتة الكونية-حرفياً، نتائج كونية في الحقيقة.

والقانون الثاني، في أبسط رواية له، يشرح أن الحرارة تنساب من الحار إلى البـــارد. ولا شك في أن هذه خاصية مألوفة وواضحة في المنظومات الفيزيائية. ونشاهد ذلك أثناء العمل عندما نطبخ وجبة طعام أو نترك كوباً حاراً من القهوة يبرد: تنساب الحرارة مـــن منطقة الحرارة الأعلى إلى منطقة الحرارة الأدنى. ولا يعتبر هذا سراً. فالحرارة تتظـلهر في المادة على شكل هياج جزيئي. وفي غاز، كالـــهواء، تندفـــع الجزيئـــات، بصـــورة فوضوية، في كل اتجاه وتتصادم. حتى في جسم صلب تتقلقل الذرات بقوة هنا وهنـــاك. فإذا جعلنا جسمين من درجتي حرارة مختلفين يتلامسان، فإن الهياج الجزيئـــي الأكـــثر نشاطاً في الجسم الحار سرعان ماينتشر إلى الجزيئات في الجسم الأكثر برودة.

وبما أن سريان الحرارة وحيد الاتجاه، فإن السيرورة تكون غير متوازنة في الزمـــن. والشريط السينمائي الذي يظهر سريان الحرارة تلقائياً من البارد إلى الحار يبدو ســـخيفاً كنهر يجري إلى أعلى التل أو قطرات مطر ترتفع نحو الغيوم. وهكذا يمكـــن أن نحـــدد اتجاهية أصلية لسريان الحرارة، تُمَثَّل غالباً بسهم يتجه من المـــاضي إلـــى المستقبل. و'سهم الزمن' هذا يشير إلى الطبيعة اللاعكوسة للسيرورات الدينمية الحراريـــة وبـــهر علماء الفيزياء على مدى مئة وخمسين سنة. (انظر الصورة 2-1).




الصورة 2-1: سهم الزمن. مكعب من الجليد الذائب يحدد اتجاهية في الزمن: تنساب الحرارة من الماء الحار إلى الجليد البارد. والصورة التي تُظهِر التتابع (iii)، (ii)، (i) سرعان مايتم تمييزها كخدعة. ويُمَيَّز هذا اللاتناظر عن طريق كمية تدعى الاعتلاج، التي ترتفع عندما يذوب الجليد.

أدى عمل هِلمْهولتس، ورودولف كلاوسيوس، ولورد كيلفن إلى معرفة أهمية كمية تدعى اعتلاج لتميز التغيير اللاعكوس في الديناميات الحرارية. ففي الحالة البسيطة لجسم حار على تماس مع جسم بارد، يمكن تعريف الاعتلاج بأنه طاقة حرارية موزعة بدرجة حرارة. ولنفكر بكمية بسيطة من الحرارة تنساب من الجسم الحار إلى الجسم البارد. فالجسم الحار سيفقد بعض الاعتلاج وسيكسب الجسم البارد بعضها. وبما أن الكمية نفسها من الطاقة الحرارية مُتَضَمَّنَة عدا أن درجات الحرارة مختلفة، فإن الاعتلاج الذي يكتسبه الجسم البارد سيكون أكبر من ذلك الذي يفقده الجسم الحار. وهكذا، فإن الاعتلاج الكلي يرتفع في كامل المنظومة-الجسم الحار زائداً الجسم البارد. وعندئذٍ يُشرَح القانون الثاني للديناميات الحرارية بأن اعتلاج منظومة كهذه لايجب أن ينخفض أبداً، ولكي ينخفض، فإن انخفاضه يعني ضمناً أن بعض الحرارة قد ذهبت، بصورة عفوية، من البارد إلى الحار.

إن تحليلاً إضافياً شاملاً يساعد على تعميم هذا القانون على كافة المنظومات المغلقة: الاعتلاج لاينخفض أبداً. فإذا تضمنت المنظومة براداً، والبراد يمكن أن ينقل الحرارة من البارد إلى الحار، فإن إجمالي اعتلاج كامل المنظومة يجب أن يتضمن الطاقة المصروفة في تشغيل البراد. وعملية الصرف ذاتها سوف تزيد الاعتلاج. وتصبح لدينا دائماً قاعدة تقول إن الاعتلاج الذي يكوّنه تشغيل البراد أكثر من تعويضات النقص في الاعتلاج الذي

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

إذا كان يمكن اعتبار الكون كمنظومة مغلقة، على أساس أنه لايوجد شيء خارجه، عندئذٍ، يشكل القانون الثاني للدينميات الحرارية نبوءة هامة: إجمالي اعتلاج الكون لاينقص أبداً. وفي الواقع، إنه يواصل ارتفاعه على نحو لايلين. ولدينا مثال جيد يقع على عتبة كوننا–الشمس، التي تصب الحرارة باستمرار إلى الأعماق الباردة في الفضاء. وتنطلق الحرارة إلى الكون، لالتعود أبداً؛ وهذه عملية لاعكوسة إلى حد مثير.

ولنطرح السؤال بوضوح: هل يمكن لاعتلاج الكون أن يواصل ارتفاعه إلى الأبد؟ لنتصور أننا وضعنا جسماً جاراً وجسماً بارداً على تماس داخل حاوية مغلقة حرارياً بإحكام. ستنساب الطاقة الحرارية من الحار إلى البارد ويرتفع الاعتلاج، ولكن، في النهاية، سيتسخن الجسم البارد ويبرد 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 متماثلة–حالة ثابتة لاعتلاج أعظمي يوصف بالتوازن الدينمي الحراري. ولا يُتَوَقَّع حدوث تبدل إضافي، طالما بقيت المنظومة معزولة؛ ولكن إذا ماشُوِّش نظام الجسمين بطريقة ما–لنفترض، بإدخال مزيد من الحرارة من حاوية خارجية–فإن نشاطاً حرارياً إضافياً سوف يحدث، وسيرتفع الاعتلاج إلى درجة أعظمية أعلى.

ماذا تقول لنا هذه الأفكار الأساسية للدينميات الحرارية حول التبدل الفلكي والكوزمولوجي؟ في حالة الشمس ومعظم النجوم الأخرى، يمكن أن يتواصل انصباب الحرارة على مدى بلايين عديدة من السنين، ولكن لايعني أنه انصباب لاينضب. فالحرارة الطبيعية في النجوم تولدها عمليات نووية داخلها. وكما سنرى، فإن وقود الشمس سوف ينفذ في النهاية، ومالم تقع حوادث مفاجئة، فإنها سوف تبرد حتى تبلغ درجة الحرارة نفسها للفضاء المحيط.

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

إن النشاط الفيزيائي كله في الكون يميل نحو حالة نهائية من توازن دينمي حـــراري، أو اعتلاج أعظمي، لايحتمل أن تحدث بعده أية قيمة أبداً. وكان الطريق الوحيد الاتجاه الذي ينحدر نحو التوازن معروفاً لدى علماء الدينميات الحرارية المبكرين تحت اسم "المـــوت الحراري" للكون. وكان من المسلم به أنه يمكن إعادة النشاط إلى المنظومات المستقلة عن طريق تشويشات خارجية، ولكن ليس هناك "خارج" بالتعريف بالنســـبة للكـــون نفســـه، وهكذا، لاشيء يمكن أن يمنع موتاً حرارياً شاملاً. ويبدو أنه لامفر منه.

كان لاكتشاف احتضار العالم كنتيجة قاسية لقوانين الدينميات الحرارية تأثير عميـــق محزن على أجيال العلماء والفلاسفة. فعلى سبيل المثال، تأثر برتراند راسل فكتب التقييم الكئيب التالي في كتابه *لماذا لاأكون مسيحياً*:

> أعمال العصور كلها، التقوى كلها، الإلهام كله، الألق الناصع للعبقريـــة الإنسانية كله، كل ذلك محكوم عليه بالانطفاء في مـــوت شـــامل للنظـــام الشمسي، و ... وكامل هيكل الإنجاز الإنساني لابد أن يدفن تحت أنقـــاض كون يباب–كل هذه المسائل، إذا لم تكن فوق مستوى الجدل، فإنها، حتـــى الآن، مؤكدة جداً تقريباً حتى أنه مامن فلسفة تنكرها ويمكنها أن تتطلع إلى البقاء. ومن داخل حرم هذه الحقائق فقط، وعلـــى أســـاس راســـخ لعـــدم الاستسلام لليأس فقط، يمكن، من الآن فصاعداً، بناء مسكن الروح بأمل.

واستنتج كثير من الكتاب الآخرين من القانون الثاني للدينميات الحرارية وتضمينه كوناً يحتضر أن الكون لامعنى له والوجود الإنساني عبث في النهاية. وسأعود إلى هذا التقييم الكئيب في الفصول الأخيرة وأناقش ما إذا كان أسيء فهمه أم لا.

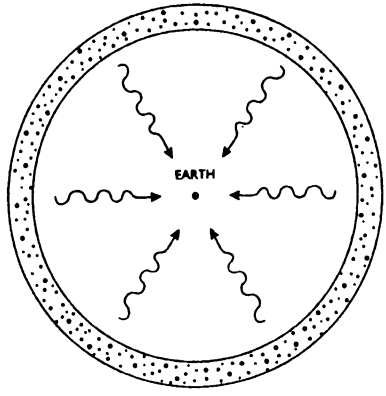
نبوءة الموت الحراري النهائي للكون تقول لنا شيئاً ليس فقط عن مســـتقبل الكـــون، ولكنها تتضمن شيئاً ما مهماً عن الماضي. فمن الواضح أنه إذا كان الكون في سبيله إلـــى الانهيار على نحو لاعكوس بسرعة محدودة، فإنه لن يبقى إلى الأبد. والسبب بسيط: لـــو كان الكون قديماً على نحو لامتناه، لكان يجب أن يكون ميتـــاً الآن. فمـــن الواضـــح أن الشيء الذي ينهار بسرعة محدودة، لايمكن أن يبقى إلى الأبد. وبمعنى آخر، يجـــب أن يكون العالم ظهر إلى الوجود في وقت محدود في الماضي.

وما يسترعي الاهتمام أن هذا الاستنتاج العميق ماكان 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 متناهياً في لحظة ما في الماضي يبدو أنه مطروح بقوة الآن، على أسس دينمية حرارية صرفة.

ولكن، بما أن هذا الاستنتاج الواضح لم يكن قد تم التوصل إليه، فإن فلكيي القرن التاسع عشر كان قد أربكهم تناقض 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. فسماء الليل مظلمة لأن النجوم تتوضع على مسافة هائلة منا ولهذا تبدو معتمة. (انظر الصورة 2-2). ولكن لنفترض أن المكان لاحد 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 لاتتغير موزعة على نحو متشابه تقريباً في كل أنحاء الفضاء. فلمعان النجوم يتضاءل مع المسافة، وفقاً لقانون التربيع العكسي. يعني هذا أن النجم يكون مضيئاً بمقدار الربع أذا تضاعفت المسافة مرتين وبمقدار التسع إذا تضاعفت ثلاث مرات، وهلمجرا. ومن ناحية أخرى، يزداد عدد النجوم كلما نظرنا إلى مسافة أبعد. وفي الواقع، تُظهِر الهندسة البسيطة أن عدد النجوم على بعد مئتي سنة ضوئية هو أربعة أضعافه على بعد سنة ضوئية واحدة، مع أن العدد على بعد مئة سنة ضوئية هو تسعة أضعاف الأخير. وهكذا، يزداد عدد النجوم مع مربع المسافة، بينما يتضاءل اللمعان مع مربع المسافة. يلغي هذان التأثيران كل منهما الآخر، وتكون النتيجة أن إجمالي الضوء القادم من كل النجوم عند مسافة معلومة غير منوط بهذه المسافة. والنور الإجمالي نفسه القادم من نجوم تبعد مئتي سنة ضوئية يساوي النور القادم من نجوم تبعد مئة سنة ضوئية.

تواجهنا 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 أولبرز. لنتصور كوناً لايتغير تعمره نجوم متناثرة عشوائياً بكثافة عادية متماثلة. يمثل المشهد مجموعة مختارة من نجوم تشغل قشرة كروية رقيقة من المكان متركزة على الأرض. (النجوم خارج القشرة أُهمِلَت في الصورة). يسهم 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 يتناسب مع مربع نصف قطر القشرة. ولهذا، فإن هذين العاملين يبطل كل منهماً العامل الآخر، ويكون إجمالي إشعاع القشرة مستقلاً عن نصف قطرها. وفي كون غير محدود ستكون هناك قشرات غير محدودة-وعلى مايبدو، تدفقاً لانهائياً من النور الذي يصل إلى الأرض.

تتحسن المشكلة إلى حد ما عندما يؤخذ بعين 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 اللامحدود للنور الذي يصل إلى الأرض، فإن التدفق يكون فقط كبيراً جداً-يساوي تقريباً قرص الشمس الذي يملأ السماء، كما ينبغي أن تكون عليه الحال لو كانت الأرض تتوضع على بعد حوالي مليون ميل من السطح الشمسي. وفي الواقع، لابد أن يكون هذا الموضع متعباً جداً؛ لأن الأرض عندئذٍ يجب أن تتبخر بسرعة تحت تأثير شدة الحرارة.

الاستنتاج القائل إن كوناً محدوداً لابد أن يكون فرناً كونياً هو، في الواقع، عودة إلى عرض المشكلة الدينمية الحرارية التي ناقشتها سابقاً. تصب النجوم حرارة ونوراً إلى المكان، ويتراكم 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 ويُمتَّص من جديد. (هذا مكافىء لملاحظة أن النجوم القريبة تحجب النور القادم من نجوم بعيدة.) ولذلك ترتفع قوة الإشعاع إلى أن يتوطد التوازن بحيث تتوازن تماماً سرعة الإصدار وسرعة الامتصاص. هذه الحالة من التوازن الدينمي الحراري سوف تحدث عندما يبلغ الإشعاع في المكان درجة الحرارة نفسها على سطح النجوم–بضعة آلاف الدرجات. وهكذا، يمتلىء الكون بإشعاع تبلغ حرارته آلاف الدرجات، وعند هذه الدرجة من الحرارة، ستتوهج سماء الليل بدلاً من ظلمتها.

اقترح هينرخ أولبرز حلاً لتناقضه. فعلى ضوء ملاحظته لوجود كميات كبيرة من الغبار في الكون، ارتأى أن هذه المادة تمتص معظم نور النجوم ولهذا تظلم السماء. ومن سوء الحظ أن فكرته كانت معيبة على الرغم من أنها مبدعة: الغبار سيتسخن في النهاية ويبدأ بالتوهج بالشدة نفسها كالإشعاع الذي يمتصه.

هناك حل آخر ممكن يتطلب التخلي عن الافتراض بأن الكون غير محدود في المدى. ولنفترض أن النجوم كثيرة ولكنها محدودة في العدد، بحيث يتألف الكون من تجمع ضخم من نجوم يحيط بها فراغ مظلم غير محدود؛ وعندئذٍ، سيتدفق نور النجوم، في معظمه، إلى المكان بعيداً حيث يضيع. ولكن هذا الحل أيضاً ينطوي على عيب قاتل–عيب كان، في الواقع، مألوفاً لإسحق نيوتن في القرن السابع عشر. ويتصل هذا العيب بطبيعة الجذب: كل نجم يجذب كل نجم آخر بقوة الجاذبية، ولهذا تميل كل النجوم في التجمع إلى السقوط معاً، متجمعة في مركز قوة الجاذبية. فإذا كان للكون مركز وحد محدودين، فإنه يجب، كما يبدو، أن ينهار على نفسه إلى الداخل. فكون ساكن، محدود، لاسند له، كون غير مستقر، ويخضع لانهيار تجاذبي.

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

يكون له مركز ولا حد. وعندئذٍ، سوف يُجذَب نجم مفترض في كل اتجاه من قبل العديد من جيرانه، كما في لعبة عملاقة لشد الحبل التي فيها تُشَد الحبال في كل الاتجاهات. إن عمليات الشد المتعاكسة هذه تلغي كل منها الأخرى، وهكذا، يبقى النجم في مكانه.

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

إذا كان للكون عمر محدود، فإن تناقض أولبرز سيختفي فوراً. ولمعرفة السبب، تعالوا ندرس حالة نجم بعيد جداً. بما أن الضوء ينتقل بسرعة محدودة (300,000 كم/ثا، في الخواء)، فإننا لانرى النجم كما هو اليوم بل كما كان عندما تركه الضوء. فعلى سبيل المثال، يبعد النجم اللامع منكب الجوزاء حوالي ستمئة وخمسين سنة ضوئية، وهكذا، فإنه يبدو لنا اليوم كما كان قبل ستمئة وخمسين سنة. ولنفرض أن الكون نشأ قبل عشرة بلايين سنة، عندئذٍ لايمكننا 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 لايمكننا، في أية حالة، أن نرى إلى مابعد مسافة محدودة. وهكذا، فإن نور النجوم التراكمي من عدد غير محدود من نجوم محدودة العمر سيكون محدوداً، وربما ضئيلاً إلى درجة لايعتد بها.

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

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

www.al-maktabeh.com
مكتبة المهتدين

# الفصل الثالث

## الدقائق الثلاث الأولى

علماء الكون، كالمؤرخين، يدركون أن الدليل إلى المستقبل موجود في الماضي. وكنت شرحت في الفصل السابق كيف أن قوانين الديناميات الحرارية توحي بكون محدود العمر. وهناك إجماع تقريباً في الرأي بين العلماء على أن كامل النظام الكوني نشأ قبل عشرة إلى عشرين بليون سنة في الانفجارالكبير، وأن هذا الحادث وضع الكون على طريق مصيره النهائي. ويمكن جمع حقائق 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 الفلاسفة 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. ويأتي الدليل الأكثر صراحة من دراسة نوعية الضوء القادم من المجرات البعيدة. ففي العشرينات، لاحظ الفلكي الأمريكي إدوين هوبل-وهو يتابع المشاهدات المتأنية لفيستو سليفر، وهو خبير بالسُّدَم[1] كان يعمل في مرصد فلاغستاف، في أريزونا-أن لون مجرات بعيدة يبدو أكثر حمرة بقليل من مثيله في مجرات قريبة. استخدم هَبّل منظار ماوند ويلسون عيار 100 إنش لقياس هذا الاحمرار بدقة وخطط رسماً بيانياً. فاكتشف أنه احمرار منهجي: كلما كانت المجرة أكثر بعداً عنا، بدت لنا أكثر احمراراً.

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 لمواضع خطوط مميزة في أطياف مجرات كثيرة، كان هوبل قادراً على إثبات هذه

---

[1]-جمع سديم، أو غيمة سديمية وهي مجموعة من النجوم البعيدة تبدو في السماء كبقعة ضوء معتمة-المترجم.

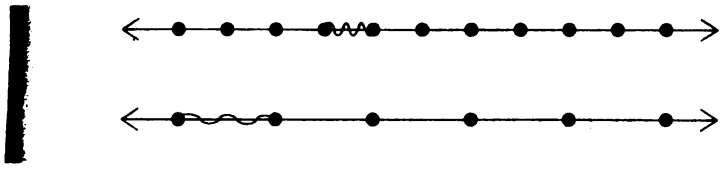
النتيجة. فاقترح أن تمدد الموجات الضوئية يعزى إلى حقيقة أن الكون يتوسع. وبهذا البيان الخطير، وضع هوبل أساس علم الكون الحديث.

إن طبيعة توسع الكون تربك الكثيرين من الناس. فمن نقطة مشاهدة على سطح الأرض، يبدو لنا وكأن المجرات القصية تندفع بعيداً عنا. ولكن هذا لايعني أن الأرض في مركز الكون؛ فنمط التوسع واحد في كامل الكون. وكل مجرة-أو، بتعبير أكثر دقة، كل عنقود من المجرات-يبتعد عن كل عنقود آخر. والأفضل أن نتخيل هذا كتمدد أو انتفاخ للفضاء بين العناقيد المجرّيَّة أكثر منه حركة للعناقيد المجرّيَّة 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، تظاهرة انحناء، أو تشوه المكان (على نحو دقيق، الزمان المكاني). بمعنى من المعاني، المكان مرن، ويمكن أن يتقوس أو يتمدد بطريقة تعتمد على الخواص الجذبية للمادة فيه. وكثيراً ماتم إثبات هذه الفكرة عن طريق الملاحظة.

يمكن فهم الفكرة الأساسية لتوسع المكان بمساعدة مماثلة بسيطة. لنتخيل صفاً من الأزرار، يمثل عناقيد مجرّيَّة، مخيطاً على حبل من المطاط (انظر الصورة 3-1). والآن، لنتخيل أننا 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 التوسع في كل مكان هو نفسه: ليس هناك مركز مميز. طبعاً، كان هناك زر مركزي عندما رسمت الصورة، ولكن ذلك لايتصل بالطريقة التي تتمدد فيها المنظومة. ويمكن استبعاد هذه النقطة لو كان الحبل طويلاً إلى مالا نهاية، أو مغلقاً 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 تراجعه أسرع. في هذا النمط من التمدد، تتناسب سرعة التراجع مع المسافة-علاقة بالغة الأهمية. وعلى ضوء هذه الصورة، يمكن أن نتصور الآن موجات الضوء تنتقل بين الأزرار، أو العناقيد المجرّيَّة، في مكان متوسع. فعندما يتمدد المكان، فإن الموجات تحذو حذوه. وهذا يوضح الزحزحة الحمراء. واكتشف هوبلز أن كمية الزحزحة الحمراء تتناسب مع المسافة، تماماً كما أوضحنا في التمثيل التصويري.

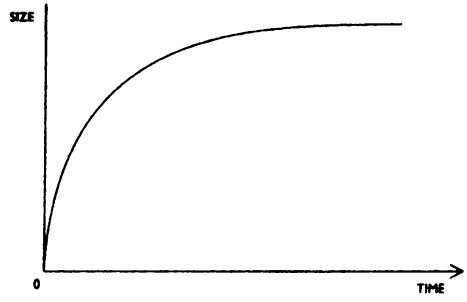


الصورة 3-1: نموذج أحادي البعد لكون يتوسع. تمثل الأزرار العناقيد المجرّيّة، أما الخيط المرن فيمثل المكان. فعندما يتمطط الخيط، تتحرك الأزرار متباعدة عن بعضها. ويعمل التمطط لزيادة طول موجات الموجة التي تنتشر على امتداد الخيط. ويتطابق هذا مع الزحزحة الحمراء للضوء الذي اكتشفه هوبلز

إذا كان الكون يتوسع، فلا بد أنه كان أكثر انضغاطاً في الماضي. وقد ساعدت ملاحظات هوبلز، والملاحظات المحسنة التي تلتها، على قياس سرعة التوسع. فلو قيض لنا أن نستعرض الفيلم الكوني رجوعاً إلى الماضي البعيد، لوجدنا كل المجرات تندمج مع بعضها بعضاً. ومن معرفة السرعة الحالية للتوسع، يمكن أن نستنتج أن هذه الحالة المندمجة يجب أن تكون حدثت قبل بلايين عديدة من السنين. ولكن، من الصعب أن يكون هذا صحيحاً، لسببين: 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 تحريها، فإن سرعة التوسع ماتزال غير محققة في حدود عامل من اثنين، وهو موضوع جدل عنيف.

ثانياً، إن السرعة التي فيها يتمدد الكون لاتبقى 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 أندفاع المجرات نحو الخارج. وبالتالي، تتناقص سرعة التوسع تدريجياً مع الزمن. يترتب على هذا أن الكون كان يتوسع في الماضي بسرعة أكبر منها اليوم. فلو رسمنا مخططاً بيانياً لحجم منطقة نموذجية من الكون بالمقابلة مع الزمن، لحصلنا على خط منحنٍ لشكل عام يظهر في الصورة 3-2. ندرك من المخطط أن الكون بدأ منضغطاً جداً وتوسع بصورة سريعة جداً، وكانت كثافة المادة تتضاءل

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




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

ولكن هل يُبرَّر لنا استكمال المنحنى استقرائياً على امتداد الطريق رجوعاً إلى البداية؟ كثير من علماء الكون يظنون هذا. وعلى ضوء مانتوقعه من أنه كان للكون بداية (للأسباب التي ناقشتها في الفصل السابق)، فلا شك في أن الانفجار الكبير يبدو وكأنه هو تلك البداية. فإذا صح ذلك، فإن البداية عندئذٍ تعيّن أكثر من مجرد انفجار. ولنتذكر أن التوسع الذي رسمناه بيانياً هنا هو توسع المكان نفسه، ولهذا فإن الحجم صفر لايعني 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 اللامتناهية للمادة والانسحاق اللامتناهي للمكان يعيّنان أيضاً حد الزمان. والسبب هو أن الزمان وكذلك المكان تمددا بالجاذبية. وأكرر القول إن هذا الأثر هو نتيجة لنظرية آينشتاين العامة في النسبية وكانت قد اختبرت مباشرة بصورة تجريبية. فالظروف عند الانفجار الكبير تدل ضمناً على تشويه لامتناه للزمن، حتى أن المفهوم الحقيقي للزمان (والمكان) لايمكن 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): ماالذي حدث قبل الانفجار الكبير، أو ماالذي سبب حدوث الانفجار؟ لأنه لم يكن هناك "قبل." وحيث لايكون هناك زمن، لايمكن أن يكون هناك سبب بالمعنى العادي.

لو أن نظرية الانفجار الكبير، بما تنطوي عليه من مضامين غريبة بخصوص منشأ الكون، اعتمدت فقط على الدليل بشأن التمدد، لتخلى عنها ربما الكثيرون من علماء الكون. ولكن دليلاً إضافياً مهماً في تأييد النظرية ظهر عام 1965، باكتشاف أن الكون يستحم بإشعاع حراري. وهذا الإشعاع يأتينا من الفضاء بالكثافة نفسها في كل اتجاهات السماء وراح ينتقل بدون عائق تقريباً منذ مابعد الانفجار الكبير بقليل. ويكافىء طيف الإشعاع الحراري تماماً التوهج الذي يوجد داخل فرن بلغ حالة التوازن الدينمي الحراري–شكل من الإشعاع معروف لدى الفيزيائيين تحت اسم إشعاع الجسم الأسود. وهكذا نُستدرَج إلى استنتاج أن الكون المبكر كان في حالة التوازن هذه، في كل المناطق بدرجة حرارة عادية.

وتكشف قياسات الإشعاع الحراري الخلفي لتلك الحرارة على أنها حوالي ثلاث درجات فوق الصفر المطلق (الصفر المطلق حوالي –273° مئوية)، ولكن درجة الحرارة تتغير ببطء مع الزمن. فعندما يتوسع الكون، فإنه يبرد وفقاً لمعادلة بسيطة: ضاعف نصف القطر، وتهبط درجة الحرارة بمقدار النصف. هذا التبريد يمارس التأثير نفسه كالزحزحة الحمراء للضوء: الإشعاع الحراري والضوء كلاهما يتكونان من موجات كهرطيسية، ويتمدد طول موجات الإشعاع الحراري أيضاً مع توسع 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 ثلاثمئة ألف سنة بعد الانفجار الكبير، عندما برد الكون إلى 4000 مئوية تقريباً. وقبل هذا الزمن، كان الغاز الابتدائي، الذي يتألف بصورة رئيسية من الهيدروجين، وهي بلازما مُؤَيَّنَة، ولذلك كان معتماً بالنسبة للإشعاع الكهرطيسي. ومع هبوط درجة الحرارة، تحولت البلازما إلى غاز هيدروجين طبيعي (غير مؤيَّن)، شفاف يسمح للإشعاع بالانتشار خلاله بحرية.

الإشعاع الخلفي مميز ليس فقط لأن الجسم الأسود يشكل طيفه ولكن أيضا 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 متجانسا على نطاق واسع بدرجة مهمة، لأن أي تكتل منهجي للمادة في منطقة واحدة من الفضاء، أو على امتداد اتجاه معين، سيظهر كاختلاف في درجات الحرارة. وبالمقابل، نحن نعرف أن الكون ليس متماثلا تماما. فالمادة تتكدس إلى مجرات، والمجرات عادة تشكل عناقيدا. وهذه العناقيد، بدورها، تنتظم في عناقيد فائقة. وبمقياس العديد من ملايين السنوات الضوئية، فإن الكون يكتسب نوعا من بنية مزبدة، مع فراغات هائلة تحيط بها مساحات واسعة وخيوط رقيقة من المجرات.

التكتل الواسع النطاق للكون يجب أن يكون نما، بطريقة ما، من حالة أولية أكثر استواء. ومع أن عدة آليات فيزيائية قد تكون مسؤولة، إلا أن التعليل المقبول أكثر هو الجذب الثقالي البطيء. فإذا كانت نظرية الانفجار الكبير صحيحة، فعلينا أن نتوقع رؤية دليل ما بخصوص المراحل المبكرة لهذه العملية التكتلية المطبوعة في الإشعاع الحواري الخلفي للكون. في عام ١٩٩٢، كشف قمر صناعي لناسا NASA سمي COBE (Cosmic Background Explorer، أي مسبر الخلفية الكونية) أن الإشعاع لم يكن منتظما تماما ولكنه يحتوي على تموجات 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 التكتل الابتدائي عبر الآباد، ويظهر بجلاء أن

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

هناك جانب نهائي من دليل يعزز نظرية المنشأ الكوني الحـــراري الكثيـــف. وعلـــى ضوء معرفة درجة الإشعاع الحراري اليوم، فإنه يمكن للمرء بسهولة أن يقدّر أنه عنـــد ثانية واحدة تقريباً بعد البداية، كانت الحرارة في جميع أنحاء الكون حوالي عشرة بلايين درجة. وهي درجة مرتفعة جداً حتى بالنسبة لوجود نوى ذرية مركبة. في ذلك الوقـــت، يجب أن تكون المادة قد تفككت إلى مكوناتها الأكثر بدائية، لتشكل سحاباً من الجســـيمات الأساسية كالبروتونات، والنيوترونات، والإلكترونات. ولكـــن، عندمـــا بـــرد الســـحاب، أصبحت التفاعلات النووية ممكنة. فكانت النيوترونات والبروتونات، بشكل خاص، تتمتع بحرية الالتصاق أزواجاً، وهذه الأزواج اتحدت مع بعضها بعضاً لتشكل نـــوى الـــهليوم العنصري. وتشير الحسابات إلى أن هذا النشاط النووي تواصل على مدى ثلاث دقـــائق (من هنا جاء عنوان كتاب ستيفن فاينبرغ)، وهو الزمن الذي تم خلاله تركيب ربع كتلـــة المادة إلى هليوم. استنفذت هذه العملية، في الواقع، كل النيوترونات الموجودة. وقُدّر لبقية البروتونات غير المتحدة أن تصبح نوى هيدروجينية. ولذلك تتنبأ النظرية بـــأن الكـــون يتكون من هيدروجين 75% و هليوم 25%. تتفق هذه الأرقام، إلى حد بعيد، مع قياســـات هذه الأيام للكميات الكونية الغزيرة من هذه العناصر.

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

فإذا وضعنا في اعتبارنا توسع الكون، والإشعاع الخلفي للحرارة الكونية ، والوفـــرة النسبية من العناصر الكيميائية، فسيكون لدينا دليل قوي يؤيد نظرية الانفجار الكبير. ومع ذلك، تبقى هناك أسئلة كثير بدون جواب. فعلى سبيل المثال، لماذا يتوسع الكـــون علـــى وجه الدقة بالمعدل الذي هو عليه-بمعنى آخر، لماذا كان الانفجار الكبير كبـــيراً جـــداً؟ ولماذا كان الكون المبكر متماثلاً جداً، ولماذا كان التوسع متشابهاً في كل الاتجاهات وفـــي كل نواحي المكان؟ وما أصل التموجات البسيطة للكثافة التي اكتشفت مـــن قبـــل مســـبر الخلفية الكونية-التموجات الهامة جداً لتشكيل المجرات والعناقيد المجرّيّة؟

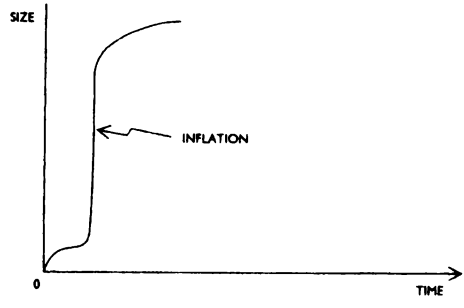
وقد تم في السنوات الأخيرة بذل جهود بطولية لمعالجة هذه المعضلات العويصة عن طريق ربط نظرية الانفجار الكبير بأحدث ألأفكار من علم فيزياء الجسيمات العالية الطاقة. وينبغي أن أشدد على أن هذا "العلم الحديث للكون" يعتمد على أساس علمي أقل إحكاماً من المواضيع التي قمت بدراستها حتى الآن. عمليات الربح، بشكل خاص، تتضمن طاقات جسيمية، أكبر إلى حد بعيد، من أي من تلك التي لوحظت مباشرة، والحقبة 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. والفكرة الأساسية هي أنه في لحظة ما، خلال أول جزء من الثانية، قفز الكون فجأة في الحجم–انتفخ–بسبب عامل هائل. ولإدراك مايستتبعه هذا، نعود إلى الصورة 3–2. فالمنحنى يواصل ميله دائماً نحو الأسفل، مما يدل على أنه في حين يزداد حجم أية ناحية معلومة من الفضاء، فإنما تزداد بسرعة متباطئة. وعلى العكس، يتسارع التوسع فعلاً أثناء التضخم. وتظهر هذه الحالة في الصورة 3–3. في البداية، يكون التوسع بطيئاً، ولكنه مع بداية التضخم، ينتعش بسرعة ويتجه الخط المنحني 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 المكافىء الذي يظهر في الرسم البياني في الصورة 3–2.

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

وقبل أن أدرس كيف حدث ذلك، دعوني أوضح لماذا يساعد الدور التضخمي على حل بعض الألغاز الكونية التي أُدرجَت تواً. أولاً، يمكن أن يقدم التمدد المتصاعد وصفاً

مقنعاً حول لماذا كان الانفجار الكبير كبيراً جداً. فالتأثير المضاد للجاذبية هو عملية عابرة، غير ثابتة-أي أن حجم الكون يكبر أُسّياً. ويعني هذا رياضياً أن منطقة معلومة من المكان تتضاعف في فترة ثابتة من الزمن. ولْنُسَمِّ هذه الفترة تكّة tick. وبعد تكّتين، تضاعف الحجم أربع مرات؛ وبعد ثلاث تكّات، تضاعف ثمان مرات؛ وبعد عشر تكّات، توسعت المنطقة أكثر من ألف ضعف. وتظهر نتيجة القياس أن معدل التوسع عند نهاية عصر التضخم يتفق مع المعدل الملحوظ للتوسع اليوم. (سأشرح في الفصل السادس، بمزيد من الدقة، ماأقصده بهذا القول.)




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

والقفزة الهائلة في الحجم التي أحدثها التضخم تؤمّن أيضاً تفسيراً جاهزاً للانتظام 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، لابد أن يكون قد تم، من خلال التضخم وبسرعة، استدراك أية اختلافات مبكرة في معدل التوسع، لأن التضخم يعمل بنشاط في كل الاتجاهات. وأخيراً، يمكن عزو الشذوذات الطفيفة التي كشف عنها مسبر الخلفية الكونية إلى حقيقة أن التضخم قد لايكون انتهى في اللحظة نفسها في كل

مكان (لأسباب سندرسها بعد قليل)، وهكذا، لابد أن تكون بعض المناطق قد تضخمت 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 مئة ترليون-ترليون-ترليون ($10^{-34}$) الجزء من الثانية تقريباً. وهذه المدة الزمنية المتناهية الصغر تقريباً هي التي سميتها تكة. وبعد مئة تكة ليس إلا، يجب أن تكون منطقة بحجم نواة ذرية قد تضخمت، من جانب لآخر، إلى مايقرب من سنة ضوئية. وببساطة، إن هذا يكفي لحل الأحجيات الكوزمولوجية السابقة.

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

في نظرية الكم مبدأ مركزي هو مبدأ الريبة قال به فيرنر هايسنبرغ. ووفقاً لهذا المبدأ، فإن الأشياء الكمية لاتتمتع بقيم محددة على نحو واضح لكل صفاتها. فعلى سبيل المثال، لايمكن أن يكون لألكترون 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 (لايمكن 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

أقصر، ستكون التموجات الكمية العشوائية أكبر. في الواقع، لايمكن للجسيم أن يقترض طاقة من أي مكان، طالما أنه يتوجب تسديد القرض فوراً. وتقتضي الصيغة الرياضية الدقيقة لمبدأ الريبة عند هايسنبرغ أن يتم تسديد القرض الكبير للطاقة بسرعة كبيرة، أما القروض الأصغر فبعد فترة أطول.

تؤدي ريبة الطاقة إلى بعض النتائج الغريبة. من بينها إمكانية أن جسيماً، كـالفوتون، يمكن أن يخرج إلى الوجود فجأة للاشيء، فقط ليختفي بعد ذلك بسرعة. تعيش هذه الجسيمات على طاقة مقترضة، وبالتالي على زمن مقترض. ونحن لانراها، لأن ظهورها عابر فقط، ولكن مانعتبره، بصورة طبيعية، فضاء فارغاً هو، في الواقع، مكتظ بحشود من هذه الجسيمات ذات الوجود المؤقت-لاالفوتونات فقط، بل الإلكترونات، والبروتونات، وكل شيء آخر. ولتمييز هذه الجسيمات الموقتة من الأخرى الدائمة المألوفة أكثر، تُطلق على جسيمات النوع الأول تسمية "الافتراضية" وعلى جسيمات النوع الثاني تسمية "الحقيقية."

الجسيمات الافتراضية، باستثناء طبيعتها الموقتة، مثيلة للجسيمات الحقيقية. وفي واقع الأمر، يمكن أن يصبح الجسيم الافتراضي جزيئاً حقيقياً، ولا يمكن أيضاً تمييزه من أي جسيم آخر حقيقي من النوع نفسه، إذا تم تزويده بطاقة كافية من خارج المنظومة لكي يسدد قرض طاقة هايسنبرغ. فعلى سبيل المثال، إن إلكتروناً افتراضياً يعيش نموذجياً فقط لمدة $10^{-21}$ ثانية. وخلال حياته القصيرة لايبقى ساكناً ولكنه قد ينتقل مسافة $10^{-11}$ سم (للمقارنة، 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 ( لنقل، من حقل كهرطيسي) طاقة أثناء حياته القصيرة هذه.

وعلى الرغم من ذلك، فنحن لايمكن أن نرى هذه الجسيمات الافتراضية. نعرف أنها موجودة "هناك فعلاً" في الفضاء الفارغ لأنها تخلّف أثراً لنشاطاتها يمكن الكشف عنه. فعلى سبيل المثال، تؤثر الفوتونات الافتراضية بحيث تُحدث تغييراً طفيفاً في مستويات الطاقة في الذرات. وتسبب أيضاً تغييراً طفيفاً مماثلاً في العزم المغنطيسي للإلكترونات. وقد تم قياس هذه التبدلات الزهيدة، إنما المهمة، بدقة كبيرة باستخدام التقنيات المطيافية.

تتعدل الصورة البسيطة للفراغ الكمي التي وردت آنفاً عندما نضع في اعتبارنا حقيقة أن الجسيمات دون الذرية لاتنتقل عادة بحرية، بل تخضع لعدد من القوى-نمط القوة الذي

يعتمد على نمط الجسيم المعني. وتعمل هذه القوى أيضاً بين الجسيمات الافتراضية المتماثلة. إذن، يمكن أن يكون هناك أكثر من نوع لحالة الفراغ. ووجود كثير من "حالات الفراغ" الممكنة ملمح مألوف لفيزياء الكم-مستويات الطاقة المختلفة للذرات هي من تلك الملامح 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 المُثارة، وهي غير مستقرة. فإذا تبدل إلكترون إلى حالة أعلى، فإنه سينتقل نزولاً مرة أو أكثر رجوعاً إلى حالة الخمود. وتتلاشى الحالة المثارة بعمر نصف واضح المعالم.

وتنسحب مبادىء مماثلة على الفراغ، الذي قد يحتوي على حالة مثارة أو أكثر. تتمتع 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 تضاهي 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 يُحتَج بها. ولكنها تظهر، بصورة طبيعية، في معظم النظريات الحديثة التي تهدف إلى توحيد القوى الأربع الأساسية: الجاذبية والكهرطيسية، الشكل المألوف في الحياة اليومية، والقوتين النوويتين القصيرتي المدى المعروفتين بالقوة الضعيفة والقوة القوية. والقائمة المستخدمة لابد من أن تكون أطول: كانت الكهربية والمغنطيسية تعتبران متميزيتين. وقد بدأت عملية التوحيد في مطلع القرن التاسع عشر وتقدمت في العقود الأخيرة. وتترابط اليوم، كما نعرف، القوى الكهرطيسية والنووية الضعيفة لتشكل "قوة ضعيفة الكهربية " واحدة. ويظن كثير من علماء الفيزياء أن القوة القوية ستنتهي إلى الارتباط بالقوة الضعيفة الكهربية ، وهو اتحاد تصفه، بشكل أو آخر، مايعرف بالنظريات الموحدة الكبيرة. وقد تندمج القوى الأربع في قوة فائقة واحدة عند مستوى ما عميق.

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

ذرّياً ما في حالة كهذه يحتوي $10^{26}$ جول. فلنقارن هذا الرقم بالرقم الزهيد $10^{-18}$ جول أو مايقرب منه الذي تمتلكه ذرة مثارة. ولهذا فإننا نحتاج إلى قدر كبير من الطاقة لإثارة فراغ حقيقي، ولا ينبغي أن نتوقع مواجهة فراغ زائف في الكون اليوم. وبالمقابل، تبدو هذا الأرقام معقولة في ظل الظروف الشديدة للانفجار الكبير.

تمارس الطاقة الهائلة المرافقة لحالات الفراغ الزائف تأثيراً ثقالياً قوياً. وهذا، كما أثبت آينشتاين، لأن للطاقة كتلة، ولذلك تمارس جذباً ثقالياً، تماماً كما تفعل المادة الطبيعية. والطاقة الهائلة للفراغ الكمي جذبية جداً: طاقة السنتيمتر 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 الحالة الطبيعية، لانعتبر الضغط كمصدر للجاذبية، ولكنه كذلك. ومع أن الضغط يمارس قوة ميكانيكية نحو الخارج، فإنه يسبب سحباً جذبياً نحو الداخل. وفي حالة الأجسام المألوفة، فإن التأثير الجذبي للضغط عديم القيمة مقارنة بتأثير كتلة الجسم. فعلى سبيل المثال، إن أقل من جزء من بليون من ثقل 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 يتنافسان معها على السيطرة الجذبية. ولكن الخاصية الحاسمة هي أن الضغط سلبي. فالفراغ الزائف لايدفع، بل يمتص. والضغط السلبي يسبب تأثيراً جذبياً سلبياً-أي، مضاداً للانجذاب. وهكذا، فإن الفعل الجذبي للفراغ الزائف يتضمن تنافساً بين التأثير الجذبي الهائل لطاقته والتأثير الدفعي الهائل لضغطه السلبي. وتنتهي المنافسة بانتصار الضغط، ويكون التأثير الصافي خلق قوة دفعية كبيرة جداً يمكنها أن تعصف بالكون في جزء من ثانية. وهذا الدفع التضخمي الهائل هو الذي يسبب تضاعف حجم الكون بسرعة كل $10^{-43}$ ثانية.

عدم الاستقرار ملازم للفراغ الزائف. وهو، ككل حالات الكم المثارة، يتوق إلى التلاشي رجوعا إلى حالة الخمود-الفراغ الحقيقي. وربما يفعل هذا بعد بضع تكات. ولكونها عملية كمية، فإنها تخضع لتذبذبات حتمية غير محدودة وعشوائية سبقت دراستها

آنفاً فيما يتعلق بمبدأ الريبة عند هايسنبرغ. ومعنى هذا أن التلاشي لن يحدث على نحو متماثل في كافة أنحاء الفضاء: ستكون هناك تذبذبات. ويرى بعض المنظرين أن هذه التذبذبات قد تكون هي مصدر تموجات مسبر الخلفية الكونية.

عندما يتلاشى الفراغ الزائف، فإن الكون يستأنف تمدده الطبيعي المتباطىء السرعة. وتتحرر الطاقة التي كانت حبيسة في الفراغ الزائف، وتظهر على شكل حرارة. التمدد الهائل الذي أحدثه التضخم برّد الكون إلى درجة حرارة قريبة جداً من الصفر المطلق؛ وفجأة، يسبب انتهاء التضخم إعادة تسخينه إلى درجات هائلة تصل إلى $10^{28}$. ويبقى هذا الخزان 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 حقيقية. وبعد معالجة وتبدلات إضافية، فإن بقية هذه الجسيمات الابتدائية تواصل توفير $10^{50}$ طناً من المادة التي تُكوّننا: أنت، وأنا، والمجرة، وبقية الكون الذي تمكن مشاهدته.

إذا كان السيناريو التضخمي يسلك الطريق الصحيح–وذلك مايظنه الكثيرون من علماء الكون–فإن عمليات كانت اكتملت بعد انقضاء $10^{32}$ ثانية فقط هي التي تكون حددت التركيب الأساسي للكون ومحتوياته الفيزيائية. واجتاز الكون بعد التضخم كثيراً من التبدلات الإضافية على المستوى دون الذري، عندما تطورت المادة البدائية إلى الجسيمات والذرات التي تشكل المادة الكونية في حقبتنا، ولكن المعالجة الإضافية، في معظمها، كانت قد اكتملت بعد ثلاث دقائق فقط أو حول ذلك.

ولكن، كيف ترتبط الدقائق الثلاث الأولى بالدقائق الثلاث الأخيرة؟ فكما يعتمد مصير رصاصة أُطلقَت باتجاه هدف ما، بشكل حاسم، على تصويب البندقية، كذلك مصير الكون يعتمد، إلى حد دقيق جداً، على الشروط الابتدائية. وسوف نرى كيف تعمل الطريقة التي توسع فيها الكون من أصوله البدائية، وطبيعة المادة التي نشأت من الانفجار الكبير، لتعيين مستقبله النهائي. فبداية الكون ونهايته تتداخلان بعمق.

# الفصل الرابع

## موت النجوم

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

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

وقبل حادثة الاكتشاف المثير هذه ببضع ساعات، كان سُجّل حادث غير عادي في مكان مختلف جداً-منجم 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 السبعينات (القرن الماضي) تنبأت بأن البروتونات قد تكون غير مستقرة إلى حد طفيف جداً، حيث تتفكك أحياناً في شكل غريب من النشاط الإشعاعي. فلو صح ذلك، لكان له مضامين عميقة فيما يخص مصير الكون، كما سنرى فيما بعد.

ولإجراء اختبار تفكك البروتونات، ملأ المجربون اليابانيون حوضاً بألفي 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 العالية السرعة لحوادث تفكك مستقلة. وكان قد تم اختيار موضع تحت الأرض لإجراء التجربة بهدف تقليص تأثيرات الإشعاع الكوني، الذي كان، لولا هـذا الإجـراء، سيغمر أجهزة الكشف بحوادث زائفة.

وفي 22 شباط، ومضت أجهزة الكشف في كميوكا مالا يقل عن إحدى عشرة مرة في غضون عدة دقائق. وخلال ذلك ، وفي الجانب الآخر من كوكب الأرض، سجل جـهاز كشف آخر في منجم للملح، في أوهايو، ثمانية حوادث. وبما أن انتحار كتلـة متزامنـة بتسعة عشر بروتوناً كان غير وارد، لذلك كان يجب إيجاد تعليل آخر لـهذه الحـوادث. وسرعان ماكتشف الفيزيائيون ذلك التعليل. لابد من أن تكون معداتهم قد سجلت تدمـير البروتونات بعملية أخرى، تقليدية أكثر: القصف بالنيوترينووات Neutrinos.

والنيوترينووات جسيمات دون ذرية ستمثل دوراً رئيسياً في قصتـي، ولـهذا فـهي تستحق أن نتوقف لدراستها بتفصيل أكبر. فقد طرح وجودهـا لأول مـرة عـام 1931 وولفغانغ بولي، الفيزيائي النظري المولود في النمسا، لشرح الجانب المشـكل للعمليـة الإشعاعية المعروفة بانحلال بيتا. وفي حادثة نموذجية لهذا التفكك، يتفكك النيوترون إلـى بروتون وإلكترون. والإلكترون، وهو جسيم مضيء نسبياً، يتطاير بطاقة مهمة. وتتمثـل 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 نفسـها في كل الحالات، فإن الطاقة النهائية تختلف، كما يبدو، عن الطاقة الأصلية. ولكـن هـذا لايكفي، لأن حفظ الطاقة قانون أساسي في الفيزياء، ولهذا رأى بولي أن الطاقة الضائعـة نقلها جسيم غير مرئي. ولكن المحاولات المبكرة لاكتشاف هـذه الجسـيمات أخفقـت، وأصبح واضحاً أنه إذا كانت موجودة، فلا شك في أنها تتمتع بقـدرة نـافذة إلـى حـد لايصدق. وبما أن أي نوع من جسيم مشحون كهربائياً سوف يُحتَبَل بسهولة مـن قبـل المادة، فإن جسيم بولي يجب أن يكون محايداً كهربائياً–ومن هنا جاء اسم "نيوترينو."

ومع أن أحداً لم يميز فعلاً نيوترينو ما، فإن المنظرين كانوا قادرين علـى اسـتنتاج المزيد من خواص النيوترينووات. وواحدة من تلك الخواص على صلة بكتلتها.

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

الرئيسي هنا هو سرعة الضوء. فكلما كانت سرعة الجسم أقرب إلى سرعة الضوء، أصبح أكثر ثقلاً، 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 تفادياً للالتباس. إذا تحرك جسيم 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 بعدة آلاف المرات.٠

يأتي الدليل إلى قيمة كتلة النيوترون في حالة السكون من حقيقة أن حادث انحلال بيتا سيطلق أحياناً إلكتروناً تقريباً بكل طاقة متاحة، مما لايترك شيئاً تقريباً للنيوترينو. ومعنى هذا أن النيوترينووات يمكن أن توجد أساساً بطاقة صفر. ووفقاً لمعادلة آنشتاين الشهيرة الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء، فإن الطاقة والكتلة متساويتان، وهكذا تدل الطاقة صفر ضمناً على الكتلة صفر. وهذا يعني أن كتلة النيوترينو في حالة السكون يحتمل أن تكون صغيرة جداً، ربما صفراً. فإذا كانت كتلة السكون صفراً فعلاً، عندئذٍ سينتقل النيوترينو بسرعة الضوء. وعلى أية حال، يحتمل أن نجده ينتقل بسرعة قريبة جداً إلى سرعة الضوء.

هناك خاصية إضافية تتعلق بالطريقة التي تدور ذاتياً spin فيها الجسيمات دون الذرية. فقد اكتشف أن النيوترونات، والبروتونات، والإلكترونات في حالة دوران ذاتي spining دائم. وحجم هذا الدوران كمية ثابتة، هي، في الواقع، الكمية نفسها بالنسبة للجسيمات الثلاثة. والدوران الذاتي هو شكل من قوة تحرك زاويّة spin، وهناك قانون لحفظ لكمية التحرك الزاويّة–قانون أساسي كقانون حفظ الطاقة. وعندما يتفكك نيوترون ما، فإن كمية تحركه الزاوي لابد أن تُحفَظ في منتجات الانحلال. فإذا كان الدوران الذاتي للإلكترون والبروتون في الاتجاه نفسه، فإن كمية حركتهما الزاوية تجتمعان لتصبحا ضعف كمية الحركة الزاوية للنيوترون. وبالمقابل، إذا كانا يدوران باتجاهين متعاكسين، فإن كميتي حركتهما الزاوية ستُلغيان بحيث تصبح المحصلة صفراً. وفي كلا الحالين، فإن مجموع كمية الحركة الزاوية للإلكترون والبروتون وحدهما لايمكن أن يساوي كمية الحركة الزاوية للنيوترون. ولكن، عندما نضع في اعتبارنا وجود نيوترينو ما، فإنه يمكن وضع الحسابات بحيث تتوازن بدقة على فرض أن للنيوترينو الحركة الزاوية نفسها

كالجسيمات الأخرى. وعندئذٍ، فإن الحركة الزاوية لاثنين من النواتج الثلاثة المنحلة يمكن أن تكون في الاتجاه نفسه، بينما تكون الحركة الزاوية للناتج الثالث بالاتجاه المعاكس.

وهكذا كان الفيزيائيون، ولم يكونوا قد اكتشفوا النيوترينو بعد، قادرين على استنتاج أنه لابد أن يكون جسيماً شحنته الكهربائية صفر، وكمية حركته الزاوية مماثلة لكمية حركة الإلكترون الزاوية، وكتلته في حالة السكون صغيرة أو غير موجودة، وتفاعله ضعيف مع المادة العادية بحيث لايترك أثراً تقريباً لانتقاله. وقصارى القول، إنه شبح يدور ذاتياً. وليس هناك مايبعث على الدهشة في أن تنقضي عشرون سنة تقريباً على حدس بولي بوجود النيوترينووات قبل أن يتم تحديد وجودها بشكل حاسم في المختبر. لقد تم تكوينها بكميات وفيرة في مفاعلات نووية، وهي على الرغم من مراوغتها فإنه يمكن اكتشاف نموذجها العرضي.

لاشك في أن وصول قصفة من النيوترينووات إلى منجم كميوكا في الوقت نفسه الذي ظهر فيه المستسعر A-1987 لم تكن مجرد صدفة، وتشبث العلماء بتزامن الحادثتين كتأكيد حاسم لنظرية المستسعرات: قصفة النيوترينووات هي بالضبط ماكان يتوقعه الفلكيون منذ زمن طويل من المستسعر.

وعلى الرغم من أن كلمة 'Nova' اللاتينية تعني 'New' أي جديد في الإنكليزية، فإن كلمة المستسعر A-1987 Supernova لم تكن ولادة لنجم جديد. ولكنها كانت، في الواقع، موت لنجم قديم في انفجار مثير. فالسحابة الماجلانية الكبيرة، التي ظهر فيها المستسعر، 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 مشوشة 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 تفحصهم للصحائف الفوتوغرافية السابقة لتلك المنطقة من السماء. كان النجم المبتلى من نوع يعرف باسم سوبر جيانت الأزرق B3، وقطره أكبر من قطر الشمس بأربعين مرة تقريباً، حتى أنه يحمل اسم ساندويليك-69 202.

جرى تحري نظرية إمكانية انفجار النجوم لأول مرة في منتصف الخمسينات (القرن الماضي-المترجم) من قبل علماء الفيزياء الفلكية: فْرِدّ هويله، ووليم فاولر، وجيوفري ومرغريت بَرْبِدج. ولكي 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 لامتغيرة؛ ولكن هذا يكذب حقيقة أنها مشتبكة في صراع لايتوقف مع قوى التدمير. كافة النجوم كرات من الغاز، والجاذبية هي التي تجعلها تتماسك. فلو كانت الجاذبية هي القوة الوحيدة التي تعمل، لانفجرت النجوم في الحال تحت تاثير ثقلها الهائل وتلاشت في غضون ساعات. والسبب في عدم حدوث ذلك هو أن القوة الداخلية للجاذبية تتوازن بواسطة القوة الخارجية لضغط الغاز المنضغط 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 تنجم عن الاندماج أن تغذي نجماً على مدى بلايين السنين، ولكن الوقود سيتناقص عاجلاً أو آجلاً، ويبدأ المفاعل بالترنح. وعندما يحدث هذا، تتهدد مساندة الضغط ويبدأ النجم يخسر معركته الطويلة مع الجاذبية. نجم يعيش أساساً بوقت مستلف، يتحاشى انهياراً جذبياً عن طريق ترشيد احتياطياته من الوقود. ولكن كل كيلوواط يتدفق من السطح النجمي إلى أعماق الفضاء يعمل على تسريع النهاية.

ويُقدَّر 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. (لاضرورة للخوف حتى الآن.) وسرعة استهلاك نجم ما لوقوده النووي يعتمد، إلى حد دقيق، على كتلته. فالنجوم الأثقل تحرق وقوداً بسرعة أكبر، ويجب أن تفعل ذلك، لأنها أكبر حجماً وأكثر لمعاناً، وبالتالي تشع كمية أكبر من الطاقة.

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

تعالوا نتابع مصير نجم ضخم كهذا. يبدأ تكوُّن معظم النجوم من الهيدروجين بصورة رئيسية. و'احتراق' الهيدروجين يتألف من اندماج نوى الهيدروجين-نواة الهيدروجين بروتون واحد-لتشكيل نوى الهليوم العنصري، وتتألف كل نواة من بروتونيين ونيوترونيين. (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 نوى الهليوم يمكن أن تندمج لتشكيل الكربون، ويؤدي المزيد من تفاعلات الاندماج إلى تشكيل الأكسجين، والنيون، وعناصر أخرى. يمكن لنجم ضخم أن يولِّد درجات الحرارة الداخلية الضرورية-تتجاوز بليون درجة- لتقدم هذه السلسلة من التفاعلات النووية المتتابعة، ولكن العائدات تتناقص باضطراد. فالطاقة المنطلقة تتناقص مع تشكل كل عنصر جديد. وتتزايد سرعة احتراق الوقود، حتى أن تركيب النجم يتغير شهرياً، ثم يومياً، ثم كل ساعة. ويصبح داخله شبيهاً ببصلة، ذات طبقات تركبت من عناصر كيميائية متتالية بسرعة أكثر جنوناً حتى الآن. وخارجياً، ينتفخ النجم إلى حجم ضخم، أكبر من منظومتنا الشمسية بالكامل، ليصبح مايطلق عليه الفلكيون سوبرجيانت الأحمر.

توسَم نهاية سلسلة الاحتراق النووي بالحديد العنصري، الذي يمتلك بنية ذرية مستقرة بشكل خاص. وتركيب العناصر الأثقل 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 قُضي 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 جاذبيته.

إن مايحدث، ويحدث بسرعة، هو التالي: تفقد النواة الحديدية للنجم قدرتها على إنتاج حرارة عن طريق الاحتراق النووي، ولا يمكنها أن تغذي ثقلها الخاص، وتنكمش بقوة كبيرة تحت الجاذبية حتى أن الذرات نفسها تنسحق. وأخيراً، تصل إلى كثافات نووية فيها يساوي كشتبان منها مايقرب من ترليون طن من المادة. نموذجياً، سيكون عرض النجم

المبتلى في هذه المرحلة، مئتي كيلو متر، وستجعله صلابة المادة النووية يقفز. ويكـــون الجذب الثقالي قوياً جداً بحيث لايستغرق هذا الارتداد الهائل أكثر من بضعة إجزاء مـــن ألف من الثانية. وعندما تنتشر هذه المأساة في مركز النجم، فإن الطبقات المحيطـــة مـــن المادة النجمية تنهار على النواة بهزة كارثية مفاجئة. وفي طريقها نحو الداخـــل بســـرعة عشرات آلاف الكيلومترات في الثانية، تواجه ترليونات فوق ترليونات الأطنان من المادة المتفجرة النواة المرتدة المُدمجة بدرجة عالية، والأشد صلابة من جدار من الماس. يعقب ذلك اصطدام عنيف مترنح، يسبب موجة صدمية تتجه عبر النجم نحو الخارج.

ترافق موجة الصدمة نبضة هائلة للنيوترينووات، التي تحررت فجأة من مناطق النجم الداخلية أثناء تحوله النووي النهائي-تحول تنسحق فيه إلكترونات وبروتونـــات الـــذرات النجمية مع بعضها لتشكيل النيوترونات. فتصبح نواة النجم، بشكل فعال، كرة عملاقة من النيوترونات. وتقوم موجة الصدمة مع النيوترينووات بنقل كمية كبيرة من الطاقـــة نحـــو الخارج عبر الطبقات المتراكبة من النجم. وتمتص الطبقات الخارجية من النجم كثيراً من هذه الطاقة فتنفجر في محرقة نووية بضراوة لايمكن تصورها. وعلى مدى بضعة أيـــام، يشع النجم بكثافة عشرة بلاين من الشموس، ولكنه سرعان مايخبو بعد بضعة أسابيع.

تظهر المستسعرات مرتين أو ثلاثاً خلال القرن في مجرة نموذجية كدرب التبانة، وقد دُوِّن ظهورها في التاريخ من قبل فلكيين اعترتهم الدهشة لرؤيتها. والمستســـعر الأكـــثر شهرة لاحظه المراقبون الصينيون والعرب عام 1054 م في مجموعة السرطان. ويبـــدو النجم المحطم اليوم كسحابة ممزقة من الغاز المتمدد تعرف باسم سديم السرطان.

إن انفجار المستســـعر A-1987 أضـــاء الكـــون بوميـــض غـــير منظـــور مـــن النيوترينووات. كانت نبضة من قوة مترنحة. فاختُرِق كل سنتيمتر مربـــع مـــن الكـــرة الأرضية-حتى على الرغم من أنها تبعد عن الانفجار مسافة مئة وســـبعين ألـــف ســـنة ضوئية-بمئة بليون نيوترينو، ولم يعرف سكانها الهائنون أنهم أُمطِروا بســـرعة خاطفـــة بعدة ترليونات من الجسيمات من مجرة أخرى. ولكن أجهزة كشف تفكك البروتونات فـــي كميوكا وأوهايو أوقفت تسعة عشر من تلك الجسيمات. ولولا هـــذه المعـــدات، لمـــرَّت النيوترينووات بدون أن تُلاحَظ، كما جرى عام 1054.

ومع أن المستسعر ينذر بموت النجم المعني، فإن الانفجار يحمل جانباً خلاقاً بالنســـبة 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، واليورانيوم. إن هذه العناصر، مع العناصر الأخف، كالكربون والأكسجين، التي كانت قد تشكلت في مراحل مبكرة من التركيب النووي، تُقذَف إلى الفضاء، لتمتزج هناك ببقايا عدد لاحصر له من المستسعرات الأخرى. وخلال الآباد التالية، تُغرَف هذه العناصر الثقيلة إلى أجيال جديدة من النجوم والكواكب. ولولا تصنيع ونشر عناصر كهذه، لما أمكن أن تكون هناك كواكب كالكرة الأرضية. فالكربون والأكسجين اللذان يهبان لنا الحياة، والذهب الذي ندخره في مصارفنا، وصفائح الرصاص في سقوف منازلنا، وقضبان اليورانيوم التي تستخدم وقوداً في مفاعلاتنا النووية-كلها مدينة بوجودها الأرضي لغصات الموت التي عانت منها نجوم اختفت تماماً قبل أن تظهر شمسنا إلى الوجود. وإنها لفكرة لافتة تلك التي تفيد بأن مادة أجسادنا ذاتها مؤلفة من الرماد النووي لنجوم ماتت قبل زمن طويل.

انفجار المستسعر لايدمره تماماً. فعلى الرغم من أن الجائحة تشتت معظم المادة، 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 تشكل كرة من النيوترونات بحجم مدينة صغيرة. والأكثر احتمالاً، أن يلف هذا 'النجم النيوتروني' حول نفسه مسعوراً، ربما أكثر من 1000 دورة/ثا، أو 10% من سرعة الضوء على السطح. وهو يكتسب هذا اللف الذاتي المدوخ لأن الانفجار ضخَّم، إلى حد هائل، الدوران البطيء نسبياً للنجم الأصلي؛ وهذا هو المبدأ نفسه الذي يسبب اللف الذاتي الأسرع في مزالج الجليد عند ضم أذرعها. وقد اكتشف الفلكيون الكثير من هذه النجوم النيوترونية السريعة الدوران. ولكن سرعة الدوران تتباطأ تدريجياً عندما يخسر الجسم الطاقة. فعلى سبيل المثال، تباطأ الآن النجم النيوتروني في وسط سحابة السرطان إلى 33 دورة/ثا.

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

ينتهي النجم الضخم إذن إلى نسف نفسه إلى قطع صغيرة، مخلفاً نجماً نيوترونياً أو ثقباً أسوداً محاطاً بانتشار الغازات المقذوفة. 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 مستسعراً. فهي صغيرة جداً. ومصير النجوم المنيرة، بشكل عام، يكون أقل عنفاً من مصير قريباتها الضخمة. أولاً، تتواصل العمليات النووية التي تلتهم الوقود بسرعة أكثر رصانة؛ ففي الواقع، يمكن لنجم قزم عند الحافة السفلى لنطاق الكتلة النجمية أن يتألق بثبات على مدى ترليون سنة. وثانياً، لايمكن لنجم منير أن يولد حرارة داخلية عالية بما يكفي لتركيب حديد، وبالتالي، إطلاق انفجار كارثي.

الشمس، نموذجياً، نجم ضعيف الكتلة إلى حد ما، يشتعل بثبات بواسطة وقوده من الهيدروجين ويحوّل داخليته إلى هليوم. ويستوطن الهليوم عادة في النواة المركزية التي هي خاملة بقدر مايتعلق الأمر بالتفاعلات النووية: يحدث الاندماج على سطح النواة. ولهذا، فإن النواة بالذات غير قادرة على الإسهام إلى توليد الحرارة الهامة اللازمة لإسناد الشمس في مواجهة قوى الجذب الساحقة. ولمنع الانهيار، لابد للشمس من توسيع نشاطها النووي نحو الخارج، بحثاً عن هيدروجين جديد. وفي غضون ذلك، تنكمش نواة الهليوم تدريجياً. ومع انقضاء الآباد ، سيتغير مظهر الشمس على نحو لايمكن الإحساس به نتيجة للتبدلات الداخلية. فهي ستنتفخ حجماً، ولكن سطحها سيبرد إلى حد ما، مما يضفي عليها تموجاً لونياً ضارباً إلى الحمرة. ويستمر هذا الميل حتى تتحول إلى نجم أحمر عملاق، ربما خمسة أضعاف ماهي عليه الآن. والفلكيون يعرفون العمالقة الحمر، وتقع في هذه الفئة عدة نجوم مضيئة معروفة تماماً في سماء الليل، كالدبران، والمَنكِب، والسماك الرامح. ويؤشّر 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 تألقاً 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، فتختفي محيطاتها، ويتشقق غلافها الجوي. وبما أن الشمس تتمدد دائماً، فإنها سوف تغمر بغلافها الناري عطارد، ثم الزهرة، وأخيراً الأرض.

وسيتحول كوكبنا إلى جمرة، تتشبث بعناد بمدارها حتى بعد احتراقها؛ وستكون غـــازات الشمس الحارة الحمراء ضعيفة جداً حتى أن الشروط ستقارب فراغاً، يمارس جذباً بسيطاً على حركة الأرض.

وجودنا ذاته في الكون هو نتيجة لاستقرار استثنائي لنجوم مثل الشمس، التي يمكـــن أن تشتعل بثبات مع تبدل طفيف على مدى بلايين السنين، وهي فترة طويلة بمـــا يكفـــي لتطور الحياة وازدهارها. ولكن هذا الاستقرار سينتهي فـــي طـــور العمـــلاق الأحمـــر. فالمراحل المتعاقبة في سيرة نجم كالشمس تكون معقدة، وشاذة، وعنيفة، تترافق بتبـــدلات مفاجئة نسبياً في السلوك والمظهر. والنجوم الهرمة قد تقضي ملايين السنين فـــي حالـــة خفقان، أو تلقي قذائف الغاز. وقد يشتعل الهليوم في نـــواة النجـــم لتشـــكيل الكربـــون، والنتروجين، والأكسجين-وبذلك تتأمن طاقة حيوية ستساعد النجم فـــترة أطـــول. وعـــن طريق تنفيس غلافه الخارجي إلى الفضاء، يمكن لنجم أن يؤول مصيره إلى التقشر نزولاً إلى نواة الكربون-الهيدروجين.

بعد هذه الفترة من النشاط المعقد، تستسلم النجوم ذات الكتل الصغـــيرة والمتوســـطة، بصورة حتمية، إلى الجاذبية وتنكمش. والانكماش لايرحم، ويتواصل حتى ينضغط النجـم إلى حجم كوكب صغير، الذي يصبح جسماً يعرفه الفلكيون باسم القزم الأبيض. وبمـــا أن الأقزام البيضاء صغيرة جداً، فإنها تكون معتمة جداً ، على الرغم من حقيقة أن درجـــات الحرارة على سطوحها يمكن أن تكون أكبر من درجة حرارة الشمس. ولا يرى أحدهـــا من الأرض بدون مساعدة المنظار.

وقدر شمسنا أن تصبح قزماً أبيض في المستقبل البعيد. وعندما تبلغ ذلك الطور، فإنها سوف تبقى حارة على مدى بلايين عديدة من السنين؛ وسيصبح حجمها الضخم مدمجـــاً جداً إلى حد تحتبل معه حرارتها الداخلية بفعالية أكبر من أفضـــل العـــوازل المعروفـــة. ولكن، بما أن الفرن النووي الداخلي سيغلق نهائياً، فلن تكون هناك احتياطيات من الوقـود لتعويض التسرب البطيء للإشعاع الحراري إلى أعماق الفضاء البـــارد. وببـــطء بـــالغ الشدة، سوف تبرد وتعتم بقية القزم الذي كان مرة شمسنا الجبارة، حتى تباشـــر تحولـــها النهائي، وتتصلب تدريجياً إلى كريستال ذي صلابة استثنائية. وأخيراً، تتلاشـــى تمامـــاً، وتبتلعها بهدوء ظلمة الفضاء.

# الفصل الخامس

## حلول الظلام

يتوهج درب التبانة بضوء من مئة بليون نجم، وكل واحد منها مقضي عليه بـ الموت. وفي غضون عشرة بلايين سنة، لابد أن يحتجب عن الرؤية معظم مانراه اليوم من تلك النجوم ، بعد أن يقضي نحبه من حاجته إلى الوقود ضحية للقانون الثاني من قوانين الدينميات الحرارية.

ولكن درب التبانة سيواصل توهجه بضوء النجوم، لأنه حتى عندما تموت النجوم، فإن نجوماً جديدة سوف تولد لتحل محلها. ففي الأذرع الحلزونية للمجرات، كالمجرة التي تتموضع فيها شمسنا، تنضغط السحب الغازية، وتنهار بتأثير الجاذبية، وتتشظى، وتنتج شلالاً من الولادات النجمية. وتكفي مجرد لمحة إلى كوكبة الجبار لتكشف عن نشاط هذه الحضانة النجمية. فالنقطة المشوشة 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 الحلزونية لمجرتنا طالما كان هناك مايكفي من الغاز. ومحتوى الغاز في المجرة ابتدائي في جزء منه–مادة لم تتكدس بعد إلى نجوم–وفي جزء آخر غاز كان قُذف من نجوم في المستعرات، ورياح نجمية، وجيشانات انفجارية، وعمليات أخرى. ومن الواضح إن إعادة دوران المادة لايمكن أن يتواصل إلى مالا نهاية. وبما أن النجوم القديمة تموت وتنهار لتصبح أقزاماً بيضاء، أو نجوماً نيوترونية، أو ثقوباً سوداء، فإنها ستكون غير قادرة على تجديد الغازات بين النجوم. وستندمج المادة الابتدائية ببطء إلى نجوم، إلى أن تُستنزَف بدورها أيضاً بصورة كلية. وبما أن نجوم الأيام الأخيرة هذه تقضي دورات حياتها وتموت، فإن المجرة

ستصبح بعناد أكثر إعتاماً. وسيتطاول أمد التلاشي التدريجي. وسوف تنقضي بلايين عديدة من السنين قبل أن تكمل أصغر وأحدث النجوم احتراقها وانكماشها إلى أقزام بيضاء. ولكن الليل الأبدي سيحل بنهاية بطيئة معذبة.

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

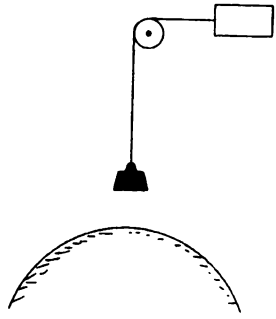
ولكن نهاية الكون لن تأتي مع خمود الضوء الكوني، لأن هناك مصدراً آخر للطاقة أكثر قوة حتى من التفاعلات النووية. فالجاذبية، وهي أضعف قوى الطبيعة في المستوى النووي، تصبح هي السائدة في النطاق الفلكي. وقد تكون لطيفة نسبياً في تأثيراتها، ولكنها، مع ذلك، مستمرة تماماً. فعلى مدى بلايين السنين، تدعم النجوم نفسها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

قوة الجذب بين بروتونين في نواة ذرية هي فقط عشر-ترليون-ترليون-ترليون-الترليون ($10^{-37}$) من القوة النووية الشديدة. ولكن الجاذبية تراكمية. فكل بروتون إضافي في نجم ما يضاف إلى الوزن الإجمالي. وفي النهاية، تكون قوة الجذب طاغية. وهذه القوة الطاغية هي المفتاح الذي يحرر القدرة الهائلة.

مامن شيء يوضح قوة الجاذبية بدقة أكثر من الثقب الأسود. هنا، يكون انتصار الجاذبية تاماً، حيث ينسحق نجم إلى العدم ويخلف أثراً في الزمان المكاني المحيط على شكل انحناء زمني لانهائي. هناك تجربة فكرية جذابة فيما يخص الثقوب السوداء. لنتصور أننا ألقينا جسماً صغيراً-وزن 100 غ، مثلاً-إلى ثقب أسود من مسافة كبيرة. سيغيب الوزن عن البصر في الثقب ويضيع بحيث لايمكن استرجاعه. ولكنه يترك أثراً لوجوده السابق في بنية الثقب، الذي يتوسع قليلاً جداً نتيجة لابتلاعه للوزن. وبالحساب يتبين 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 تفلت.

والآن، 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 لايتمطط أو يثقل على أي شيء، إنه مجرد

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



الصورة 5–1: في هذه التجربة الفكرية المثالية، يتدلى ببطء وزن بواسطة خيط نحو سطح ثقب أسود، باستخدام مجموعة بكرة ثابتة (أداة التثبيت غير ظاهرة). وبالنتيجة، ينجز الثقل النازل عمله وينقل طاقة إلى العلبة. ويقارب إجمالي الطاقة المنقولة كامل طاقة كتلة الوزن في حالة السكون، عندما يقترب الوزن من سطح الثقب الأسود.

لنتذكر معادلة آينشتاين الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء، التي تقول إن كتلة ما تمتلك كمية من الطاقة هي ناتج ضرب تلك الكتلة بمربع سرعة الضوء. فإذا استخدم 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. وهكذا، يمكن، من حيث المبدأ، أن يكون الإطلاق الثقالي للطاقة أكثر قوة بمئة مرة من الاندماج الحراري النووي الذي يزود النجوم بالطاقة.

من البديهي أن تكون الحالتان المبتكرتان اللتان أتينا على وصفهما هنا غير واقعيتين أبداً. ولا شك أن الأجسام تسقط باستمرار إلى ثقوب سوداء، ولكنها لاتتدلى أبداً من بكرات بالطريقة الأكثر فعالية لاستخلاص الطاقة. عملياً، تصدر قيمة ما تتوسط بين الصفر و 100% من طاقة كتلة السكون. ويعتمد الجزء الحقيقي على الظروف الفيزيائية. وقد عكف علماء الفيزياء الفلكية، على مدى العقدين الماضيين، على دراسة مجموعة واسعة من الأشباه الحاسوبية والنماذج الأخرى الرياضية في محاولة لفهم سلوك الغاز عندما يدور مدوِّماً إلى ثقب أسود ولتقدير كمية الطاقة المحررة ونموذجها. العمليات الفيزيائية المتضمنة معقدة جداً؛ مع ذلك، من الواضح أن الكميات الضخمة من الطاقة الثقالية 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 ثقوباً سوداء في عملية التهام المادة. وعلى الرغم من أنه لم يتم حتى الآن اكتشاف ثقب أسود مرشح على نحو مقنع تماماً، فإن منظومة واحدة واعدة جداً، كما يبدو، تتوضع في كوكبة الدجاجة وتعرف باسم الدجاجة X-1. ويكشف منظار بصري نجماً كبيراً حاراً من النوع الذي يعرف باسم عملاق أزرق، بسبب لونه. وتشير الدراسات المطيافية إلى أن النجم الأزرق ليس وحيداً؛ إنه يؤدي 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 علامة للرفيق: قد يكون جسماً أسود أو نجماً مدمجاً معتماً جداً. وهذا يوحي بثقب أسود، ولكنه لايعتبر برهاناً أبداً.

تقدم تقديرات كتلة الجسم الأسود دليلاً إضافياً. ويمكن استنتاج هذا من قوانين نيوتن، أي عندما نعرف كتلة النجم العملاق الأزرق-التي يمكن أن نقدرها بسبب العلاقة الوثيقة بين كتلة نجم ولونه: النجوم الزرقاء حارة ولذلك تكون كبيرة الكتلة. وتشير الحسابات إلى أن للجسم المرافق غير المرئي كتلة تعادل عدة شموس. ومن الواضح أنه نجم صغير عادي ومعتم، ولهذا لابد أن يكون نجماً ضخماً منهاراً- قد يكون قزماً أبيض، أو نجماً نيوترونياً، أو ثقباً أسود. ولكن هناك أسباب فيزيائية أساسية لايمكن معها لهذا الجسم المدمج الضخم أن يكون قزماً أبيض أو نجماً نيوترونياً. وتتصل المشكلة بشدة بمجال الجاذبية الذي يحاول أن يسحق الجسم. ويمكن تفادي الانهيار الكامل للثقب الأسود فقط

في حال وجود نوع ما من ضغط داخلي، قوي بما يكفي لمقاومة قوة ضغط الجاذبية. ولكن إذا كان الجسم المنهار يعادل عدة كتل شمسية، فإنه مامن قوة معروفة يمكن تقاوم ثقل السحق الذي تحمله مادتها. والحقيقة أنه إذا كانت نواة النجم صلبة بما يكفي لتفادي انسحاقها، عندئذٍ يجب أن تتجاوز سرعة الصوت في المادة سرعة الضوء. وبما أن هذا يناقض نظرية النسبية الخاصة، فإن معظم الفيزيائين والفلكيين يعتقدون أن تكوُّن ثقب أسود حتمي 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 تُسحَب الغازات المخطوفة نحو الثقب-والنسيان النهائي-فإن الدوران المداري للمنظومة يسبب هبوط المادة لكي تدور حول الثقب الأسود وتشكيل قرص. وقرص من هذا النوع لايمكن أن يكون مستقراً تماماً، لأن المادة القريبة من المركز تدور حول الثقب الأسود بسرعة أكبر من المادة القريبة من الإطار الخارجي، وستحاول القوى اللزجة تهدئة الدوران التفاضلي. وبالنتيجة، يتسخن الغاز إلى درجة مرتفعة بما يكفي لإصدار الضوء فقط ولكن أشعة X. وفقدان 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 الثقوب السوداء تعليل متقن 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 المجرّيَّة؛ فالنجوم تبدو وكأنها تُسحَب نحو جسم قوي الجذب، مدمج 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 الوحوش. وعنف عملية السقوط لابد أن يكون، في بعض الحالات، كبيراً بما يكفي لتشويش كامل بنية المجرة. يعرف الفلكيون الكثير من أنواع النوى المجرّيَّة النشيطة. فبعض المجرات تعرض مظهر التفجر حرفياً؛ والكثير منها مصادر فعالة للموجات اللاسلكية، وأشعة X، وأشكال أخرى من الطاقة. وأكثرها تمييزاً صنف من المجرات النشيطة التي تنتج نفثات هائلة من الغاز–نفثات بطول آلاف أو حتى ملايين السنوات الضوئية. ونتاج بعض هذه الأجسام مذهل. فعلى سبيل المثال، إن النجوم الزائفة Quasaras البعيدة جداً–اسم مختصر 'لأجسام شبيهة بالنجوم'–يمكن أن تُصدِر 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 المحركات المركزية لكافة هذه الأجسام الممزقة إلى حد خطير هي ثقوب سوداء ضخمة دائرة، تقوم بعملية هضم المادة القريبة منها. وأية نجوم تقترب من ثقب أسود يحتمل أن يمزقها إرباً بجاذبيته أو تتحطم نتيجة لاصطدامها بنجوم أخرى. وكما في حالة كوكبة الدجاجة X–1، إنما على نطاق أوسع، ربما تشكل المادة الموزعة قرصاً من الغاز الحار يدور حول الثقب ويغوص ببطء إلى داخله. فقد أُعلِن في شهر مايس عام 1994 أن منظار هَبّل الفضائي اكتشف قرصاً من الغاز يدور بسرعة في مركز المجرة M87. وتشير المشاهدات بقوة إلى وجود ثقب أسود فائق الضخامة.

قد يحدث أن تجري الطاقة الغزيرة المنطلقة من قرص الغاز الذي يتدفق على الثقب الأسود على طول محور دوران هذا الثقب، فتسبب، كما يُلاحَظ غالباً، نفثات مزدوجة في اتجاهين متعاكسين. هذه الآلية لإطلاق الطاقة، وتَشكُّل النفثات، يحتمل أن تكون معقدة جداً، وتتطلب قوى كهرطيسية، 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 ثلاثين ألف سنة ضوئية، في كوكبة القوس والرامي. تحجب المناطق

الداخلية سحب كبيرة من الغاز والغبار، ولكن المعدات اللاسلكية، وأشعة X، وأشعة غاما، والأشعة تحت الحمراء ساعدت الفلكيين على تمييز وجود جسم نشيط جدا ومدمج بدرجة عالية يدعى كوكبة القوس والرامي $A^*$. وعلى الرغم من أن كوكبة القوس والرامي $A^*$ ليست أكبر من بضعة بلايين كيلومتر عرضا (صغيرة بالمعايير الفلكية)، فإنها المصدر الإشعاعي الأكثر فعالية في المجرة. ويتوافق موقعها مع موقع مصدر للأشعة تحت الحمراء البالغة الشدة، وقريبة أيضا لجسم غير عادي لأشعة X. ومع أن الحالة معقدة، فإن الاحتمال يتزايد بوجود ثقب أسود واحد ضخم، على الأقل، يترصد هناك وهو المسؤول عن شيء من الظاهرة المنظورة. مع ذلك، ربما تكون كتلة الثقب عشرة ملايين كتلة شمسية على الأكثر، مما يجعلها تماما في أسفل مدى الضخامة الفائقة. وليس هناك دليل على وجود نوع من العنف في إصدار الطاقة والمادة التي تظهر في بعض النوى الأخرى المجرية، ولكن قد يكون هذا لأن الثقب الأسود في طور هدوء حاليا. ويمكن أن تثور ثائرته في مرحلة ما في المستقبل–ربما إذا استقبل إمدادا أكبر من الغاز–مع أنه ربما لايكون تمزيقيا ككثير من المنظومات الأخرى المعروفة. وما تمارسه ثورة كهذه من تأثير على النجوم والكواكب في الأذرع اللولبية للمجرة غير معروف.

يواصل ثقب أسود إطلاق طاقة الكتلة الساكنة للمادة الضحية طالما كانت هناك مادة مجاورة له يتغذى بها. وبمرور الزمن، تلتهم الثقوب السوداء المزيد والمزيد من المادة، ونتيجة لذلك، تصبح الثقوب أكبر وأكثر جوعا. وأخيرا، تستسلم حتى النجوم في المدارات البعيدة جدا حول الثقب. والسبب هو ظاهرة ضعيفة جدا ومع ذلك فهي حاسمة في النهاية وتعرف بإشعاع الجذب.

بعد أن وضع آينشتاين نظريته العامة في النسبية عام 1915 بوقت قصير، اكتشف خاصية مهمة لمجال الجاذبية. فقد اكتشف، من دراساته لمعادلات نظرياته في المجالات، أنها تتنبأ بوجود ذبذبات جذب تشبه الموجات تنتشر بسرعة الضوء عبر مكان فارغ. يذكر هذا الإشعاع الجذبي بالإشعاع الكهرطيسي، كالموجات الضوئية واللاسلكية. ولكن إشعاع الجذب، مع أنه يمكن أن يحمل قدرا كبيرا من الطاقة، فإنه يختلف عن الإشعاع الكهرطيسي 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 جدا حتى أنها تمر مباشرة عبر الأرض بدون أي نقص تقريبا. إذا استطاع المرء أن يصنع ليزراً

جذبياً، فإنه سيحتاج إلى حزمة شعاعية بقدرة ترليون كيلوواط لكي يغلي مـــلء إبريـــق شاي من الماء بصورة فعالة كوشيعة كيلوواط واحد كهربائية. يمكن تتبع أثـــر الضعـــف النسبي لإشعاع الجذب إلى حقيقة أن الجاذبية هي القوة الأضعـــف بكثـــير بيـــن القـــوى المعروفة في الطبيعة. فعلى سبيل المثال، إن نسبة قوى الجذب إلى القوى الكهربائية فـــي الذرة هي $10^{-40}$ تقريباً. والسبب الوحيد الذي يجعلنا نلاحظ الجاذبية هـــو أن تأثيراتـــها تراكمية، ولهذا فهي تسيطر في أجسام كبيرة كالكواكب.

موجات الجذب ضعيفة جداً ليس فقط بتأثيراتها ولكن في إنتاجها أيضاً. مبدئيـــاً، يتـــم إنتاج الإشعاع الجذبي عندما تُشوَّش الكتل. فعلى سبيل المثال، تصدر عن حركـــة الأرض حول الشمس سلسلة متواصلة من موجات الجذب، ولكن النتاج الكلي لقدرة هذه الموجات هو ميليواط واحد فقط! يسبب هذا الصرف للطاقة تفكك مدار الأرض، ولكـــن بســـرعة بطيئة إلى حد مضحك: حوالي ألف/ترليون سنتيمتر في العقد.

مع ذلك، تختلف الحالة إلى حد مثير فيما يخص الأجسام الفلكية التي تتحرك بســـرعة قريبة من سرعة الضوء. فهناك نوعان من الظواهر يحتمل أن تؤدي إلى تأثيرات مهمـــة، جذبية–إشعاعية. وأحد هذه التأثيرات هو حادث عنيف مفاجيء–مستسعر، أو انهيار نجـــم لتشكيل ثقب أسود. يؤدي حادث كهذا إلى إصدار نبضة قصيرة الأجـــل مـــن الإشـــعاع الجذبي، تستمر ربما بضعة أجزاء من مليون من الثانية وتجرف نموذجيا $10^{44}$ جـــولاً من الطاقة. (قارن هذا بإنتاج الشمس من الحرارة الذي يبلغ $3\times10^{26}$ جولاً تقريباً فـــي الثانية.) والظاهرة الأخرى هي حركة عالية السرعة لأجسام ضخمة فـــي مـــدار حـــول بعضها بعضاً. فعلى سبيل المثال، ستولِّد مجموعة من النجوم المزدوجة المتباعدة علـــى نحو متعادل تدفقاً كبيراً متواصلاً من الإشعاع الجذبي. هذه العملية فعالة، خصوصـــاً، إذا كانت النجوم الدائرة أجساماً منهارة، كالنجوم النيوترونية أو الثقوب السوداء. هناك، فـــي كوكبة العقاب، نجمان نيوترونيان يدوران على بعد بضعة ملايين من الكيلومترات فقـــط من بعضهما. ومجالا جاذبيتهما قويان جداً إلى درجة معها يكتمل كل مدار في أقل مـــن ثمان ساعات، وهكذا تتحرك النجوم بجزء محسوس من سرعة الضوء. هـــذه الحركـــة السريعة غير العادية تضخم، إلى حد كبير، سرعة إصدار موجات الجذب، وتسبب تفكك المدار بمقدار سنوي يمكن قياسه (تغيير 75 ميكروثانية تقريباً فـــي الفـــترة). وســـتزداد

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

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

وعلى الرغم من أن سرعة فقدان الطاقة بطيئة، فإن إصدار الإشعاع الجذبي يحتمل أن يمارس تأثيرات عميقة طويلة 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 العقاب أن المدار يتفكك بدقة بالسرعة التي تنبأت بها نظرية آينشتاين. ولذلك، فإن هذه المنظومة تؤمّن دليلاً مباشراً على إصدار الإشعاع الجذبي. ولكن اختباراً حاسماً أكثر يتطلب تحري هذا الإشعاع في المختبر على سطح الكرة الأرضية. وقد قام كثير من مجموعات البحث بنصب أجهزة مصممة لتسجيل المرور السريع لعصفة من الموجات الجذبية، ولكن أياً 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 ينتج التحام نجمين نيوترونيين إما نجماً نيوترونياً كبيراً أو ثقباً أسود. والتحام نجم نيوتروني وثقب أسود، أو التحام ثقبين أسودين، يجب أن يُنتِج ثقباً واحداً أسود. وهذه العملية يجب أن تترافق بفقدان طاقة موجات جذبية كما في حالة النجوم النيوترونية

المزدوجة، يتبعه رنين معقد وحركات متأرجحة، تتضاءل ببطء تحت تأثير فقدان قـــدرة موجات الجذب.

من المهم العمل على استقصاء الحدود النظرية لطاقة الجذب التي يمكن اســـتخلاصها من ثقبين أسودين أثناء الالتحام. وقد وُضِعَت تفاصيل نظرية هذه العمليات من قبل روجر بنروز، وستيفن هوكنغ، وبراندون كارتر، وريمو روفيني، ولاري سمار، وآخرون فـــي مطلع السبعينات (القرن الماضي-المترجم). فإذا كانت الثقوب غير دوّارة ومتماثلة فـــي 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 جذبـــي إذا مـــاعولجت الثقـــوب السوداء بطريقة ما-بنوع ما من تقنية متقدمة مثلاً-ولكن معظم الطاقـــة المنطلقـــة، فـــي اندماج طبيعي، ستكون في هذا الشكل الذي يفتقر إلى الوضوح التام. وإذا كـــانت هـــذه الثقوب تدور بالسرعة القصوى التي تسمح بها قوانين الفيزياء (بسرعة الضوء، تقريبـــاً) والدوران المعاكس المندمج على امتداد محاور دورانها، فإنه يمكن أن تصدر 50% مـــن طاقة الكتلة.

حتى هذا الجزء الضخم ليس هو الحد الأقصى النظري. ومن الممكن أن يحمل الثقـب الأسود شحنة كهربائية. وللثقب الأسود المشحون حقل كـــهربائي إضافـــة إلـــى حقـــل مغنطيسي، وكلاهما يمكن أن يختزنا الطاقة. فإذا واجه ثقب أسود إيجابي الشـــحنة ثقبـــاً أسود سلبي الشحنة، عندئذٍ يحدث 'تفريغ،' فتتحرر في العملية طاقة كهرطيسية إضافـــة إلى طاقة جذبية.

هناك حد لهذا التفريغ، لأن ثقباً أسوداً لكتلة مفترضة يمكن أن يحمل شحنة كهربائيـــة تصل فقط إلى قيمة ما أعظمية. هذه القيمة، بالنسبة لثقب غير دوّار، يحددهـــا الاعتبـــار التالي. لنتصور ثقبين متماثلين يحملان الشحنة نفسها. يسبب حقلاهما الجذبيان قوة جـذب بينهما، في حين يسبب حقلاهما الكهربائيان قوة دفع (مثلما تدفع الشحنات). فعندما تبلـــغ نسبة الشحنة إلى الكتلة قيمة حرجة، فإن هاتين القوتين المتعارضتين ســـوف تتوازنـــان تماماً، ولن تكون هناك قوة صافية بين الثقبين الأسودين. هذه الحالة هي التي تميز الحـــد لكمية الشحنة الكهربائية التي يمكن أن يحتويها ثقب أسود. وقد يتســـاءل المـــرء حـــول مايمكن أن يحدث لو أنه حاول أن يزيد الشحنة على الثقب الأسود إلى أكثر مـــن هـــذه القيمة الأعظمية. هناك طريقة واحدة للقيام بهذه المحاولة هي إجبار شحنة أكبر بـــالنزول

إلى الثقب. سيعمل هذا الإجراء على زيادة الشحنة الكهربائية، ولكن العمل المنجز في التغلب على الشحنة الكهربائية يستخدم طاقة، وهذه الطاقة تصل إلى الثقب. وبما أن للطاقة كتلة (لنتذكر أن الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء)، فإن الثقب يصبح أكثر ضخامة، وبالتالي أكبر. ويُظهِر حساب بسيط أن الكتلة تصعد، في هذه العملية، بأكثر من الشحنة، وبالتالي تنقص نسبة الشحنة إلى الكتلة، وتفشل محاولة التغلب على الحد.

يسهم المجال الكهربائي لثقب أسود مشحون إلى إجمالي كتلة الثقب. وفي حالة ثقب يحمل أقصى كتلة مسموحة، فإن المجال الكهربائي يمثل نصف الكتلة. إذا كان ثقبان غير دائرين يحملان الشحنة القصوى ولكنهما *متعاكسي* الإشارة، فإن كلاً منهما سيجذب الآخر ثقالياً وكهرطيسياً في وقت واحد. وعندما يندمجان، فإن الشحنات الكهربائية ستتعادل، ويمكن أن تُستخلَص 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 منهما إلى القيمة القصوى. وعندئذٍ، يمكن أن يتحرر ثلثا الطاقة الإجمالية للكتلة. وبطبيعة الحال، إن أهمية هذه القيم نظرية فقط، لأن الثقب الأسود عملياً لايُتوقَّع له أن يحمل شحنة كهربائية كبيرة، ولا يحتمل أن يندمج ثقبان بطريقة مثلى، مالم يكونا قد أعِدَّا لذلك من قبل مجتمع تقني متقدم. ولكن، حتى الالتحام غير الفعال لثقبين أسودين ربما يسبب، بطريقة ما، تحرير طاقة فورية، تبلغ جزءاً مهماً 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 الالتحام النووي خلال حياتها التي تستمر عدة بلايين من السنين.

تكمن أهمية هذه العمليات الجذبية في أن النجم المحترق، بصرف النظر عن الموت، يتمتع، وهو كجمرة منهارة، بإمكانية إطلاق كمية من الطاقة أكبر بكثير مما يطلقه، وهو ككرة متوهجة من الغاز، تحت تأثير عمليات نووية حرارية. عندما لوحظت هذه الحقيقة قبل عشرين سنة تقريباً، كوَّن الفيزيائي جون ويلر–الرجل الذي ابتكر أصلاً عبارة 'ثقب أسود'–فكرة عن حضارة افتراضية قادها تزايد حاجاتها من الطاقة إلى أن تهجر نجمها وتتخذ مسكناً لها حول ثقب أسود دائر. كان يجري يومياً تحميل فضلات المجتمع في شاحنات وإرسالها نحو الثقب على مسار منحن محسوب بدقة. ويتم تحرير محتويات

الشاحنات قرب الثقب، بقلب الفضلات إليه، وهي وسيلة للتخلص منها إلى الأبد. تمارس المادة الساقطة، التي تنتقل على امتداد طريق دائر معاكس لحركة الثقب الزاوية، تأثيراً كابحاً إلى حد ما. ونتيجة لذلك، تتحرر الطاقة الدورانية للثقب، ويمكن أن تستخدمها الحضارة لتزويد صناعتها بالطاقة. ولهذا السبب، فإن هذه العملية تتميز بفضيلة مزدوجة هي أنها تخلصنا تماماً من كل النفايات عن طريق تحويلها إلى طاقة صرف! 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 قدراً كبيراً من المادة سيؤول مصيره إلى داخل الثقب الأسود بصورة طبيعية- إما كجزء من النجم الذي ينهار ليشكل ثقباً أو كحطام يُبتلَع أثناء مواجهة عارضة. عندما ألقي محاضرات حول الثقوب السوداء، فإن الكثيرين من الناس يريدون دائماً أن يعرفوا ماالذي يحدث للشيء الذي يدخل أحد تلك الثقوب. ونجيب بإيجاز: لانعرف. ففهمنا الراهن للثقوب السوداء يقوم على أساس دراسات نظرية وصياغة رياضية. ونحن، في الواقع، لايمكننا أن نشاهد داخل الثقب الأسود من الخارج، وحتى لو تهيأ لنا مأتىً جيداً إليه (وهو أمر ليس متاحاً)، فإنه لايمكننا أبداً أن نعرف مايجري داخله. مع ذلك، يمكن أيضاً استخدام نظرية النسبية، التي تتنبأ بوجود الثقوب السوداء أولاً، للتنبؤ 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 تحتبل الضوء، وتشد الفوتونات الراحلة وتعيدها إليه. هذا يعني أن الضوء لايمكنه أن يفلت من الثقب، ولهذا يبدو أسوداً من الخارج. وبما أنه لايمكن لجسم أو معلومات فيزيائية أن تنتقل 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، يُطلَق على سطح الثقب اسم 'أفق 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 لايمكن لأحد هناك أن يراه.

عندما يغوص رائد الفضاء إلى عمق أكبر داخل الثقب، يرتفع مجال الجاذبية. ونتيجة لذلك، يتشوه الجسم. فإذا سقط رائد الفضاء بقدميه أولاً، فإن القدمين سيكونان أقرب من الرأس إلى مركز الثقب، حيث تكون الجاذبية أقوى. ونتيجة لذلك، تنسحب قدما رائد الفضاء نزولاً بشدة أكبر، ويتمطط جسمه طولاً. وفي الوقت نفسه، ينشد الكتفان نحو مركز الثقب على مسالك تتجه نحو نقطة واحدة، وهكذا يكون رائد الفضاء منضغطاً بالعرض. ويشار أحياناً إلى عملية المط والانضغاط هذه بـ خيال السباغيتي.

ترى النظرية أن الجاذبية ترتفع بدون حد عند مركز الثقب الأسود. ولأن مجال الجذب يتظاهر كانحناء، أو التواء للزمان المكاني، فإن تصاعد الجاذبية يترافق بانحناء الزمان المكاني الذي يرتفع أيضاً بدون حد معروف. ويشير علماء الرياضيات إلى هذه السمة كـ شذوذ زماني مكاني. إنه يمثل حداً، أو حافة، للمكان والزمان لايمكن أن يتواصل من خلاله المفهوم السوي للزمان المكاني. يعتقد كثير من الفيزيائيين أن الشذوذ داخل ثقب أسود يمثل بإخلاص نهاية المكان والزمان، وأن أية مادة تواجهه ستمحى تماماً. فإذا صح ذلك، فإنه حتى الذرات في جسم رائد الفضاء ستتلاشى إلى الشذوذ، في جزء من ألف مليون من الثانية من خيال السباغيتي الفائق.

إذا كان لثقب أسود كتلة مليون شمس-كالثقب الذي يقع عند مركز درب التبانة-وغير دائر، عندئذٍ، يكون الأمد الذي يخبُرُه رائد الفضاء في سقوطه من أفق الحوادث إلى شذوذ الفناء سيمتد ثلاث دقائق تقريباً. ستكون هذه الدقائق الأخيرة الثلاث متعبة جداً؛ فمن حيث المبدأ، إن خيال السباغيتي سيقتل الشخص العاثر الحظ قبل وصوله إلى الشذوذ بمدة طويلة. وأثناء هذا الطور النهائي، سيكون رائد الفضاء، في كل حالة، غير قادر على رؤية الشذوذ المهلك، لأن الضوء لايمكن أن يفلت منه. إذا كان للثقب الأسود الذي نحن بصدده 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 للمراقب البعيد وكأنها آخذة في التباطؤ. وفي الواقع، يبدو وكأن رائد الفضاء سيستغرق مدة لانهائية من الزمن لكي يصل إلى الأفق. وهكذا، فإن كل مايساوي الخلود في

المناطق البعيدة من الكون يخبُره رائد الفضاء دفعة واحدة. ومن هذه الناحية، فإن الثقب الأسود هو نوع من بوابة إلى نهاية الكون، زقاق كوني مسدود يمثل مخرجاً إلى لامكان. فثقب أسود هو منطقة صغيرة من الفضاء تحتوي على نهاية الزمن. وبالقفز داخل واحد من هذه الثقوب، يمكن لأولئك الذين يهتمون بنهاية الكون أن يخبُروا ذلك مباشرة بأنفسهم

ومع أن الجاذبية هي أضعف بكثير من كافة قوى الطبيعة، فإن عملها المخاتل والتراكمي يعمل لتقرير المصير النهائي ليس فقط للأجسام الفلكية المستقلة بل أيضاً لكامل الكون. وشدة الجذب بالذات التيَ تسحق نجماً تؤثر على نطاق أكبر بكثير على الكون ككل. ويعتمد ناتج شدة هذا الجذب الكوني بدقة على إجمالي كمية المادة الموجودة لممارسة الجذب الثقالي. ولاكتشاف ذلك، يجب علينا أن نقوم بوزن الكون.

# الفصل السادس

## وزن الكون

كثيراً مايقال إن مايرتفع لابد أن يهبط. فالشد الذي تمارسه الجاذبية على جسم يُقذَف نحو السماء يعمل على كبح طيرانه ويجذبه لإعادته إلى الأرض. ولكن هذا لايحدث 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 تُطلِق السفن الفضائية السيارة تنجح في الوصول إلى مثل هذه السرعة العالية.

تصل 'سرعة الإفلات' الحرجة إلى 11كم/ثا تقريباً (25000 ميل/سا)-أكثر من سرعة الكونكورد بعشرين مرة. نحصل على هذا الرقم الحرج من كتلة الأرض-أي، كمية المادة التي تحتويها-ومن نصف قطرها. وكلما كان جسم كتلة 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 (300,000كم/ثا).

وماذا عن الإفلات من الكون؟ الكون، كما بينت 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 مشاهداتنا (على بعد خمسة عشر بليون سنة ضوئية تقريباً)، عندئذٍ، ستكون سرعة الإفلات بحدود سرعة الضوء. هذه النتيجة بالغة الأهمية، لأن أكثر المجرات القاصية تتراجع عنا بسرعة قريبة من سرعة الضوء. فإذا وضعنا القيمة الإسمية في اعتبارنا، فإن المجرات تتطاير مبتعدة، كما يبدو، بسرعة كبيرة حتى لكأنها يمكن أن 'تفلت، فعلاً من الكون أو، على الأقل، ، من بعضها بعضاً ولن تهبط أبداً.

وفي واقع الحال، يتبين أن توسع الكون يسلك بطريقة تشبه، إلى حد بعيد، سلوك جسم يُقذَف من الأرض، حتى لو لم يكن هناك حافة واضحة. فإذا كانت سرعة التوسع كبيرة

بما يكفي، فإن المجرات المتراجعة سوف تفلت من الجاذبية التراكمية لكل مادة أخرى في الكون، وسيتواصل التوسع إلى الأبد. وبالمقابل، إذا كانت سرعة التوسع بطيئة جداً، فإنه سيتوقف في النهاية وسيبدأ الكون بالتقلص. وعندئذٍ، ستعود المجرات إلى 'الهبوط' من جديد، وستعقب ذلك الكارثة الكونية النهائية، عندما ينهار الكون.

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

كيف يمكن للمرء أن يزن الكون؟ إنه عمل مثبط، كما يبدو؛ فمن الواضح أنه لايمكن 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 التثاقلي الذي تمارسه علىالكواكب. فنحن نعرف أن درب التبانة يحتوي على حوالي مئة بليون نجم من كتلة تعادل، في المتوسط، كتلة شمسية واحدة، يؤمّن هذا حداً أدنى أولياً لكتلة المجرة. ويمكننا الآن أن نحصي عدد المجرات الموجودة في الكون. ولكن لايمكن إجراء ذلك الحساب إفرادياً–هناك عدد كبير من المجرات–وإنما تقدر بعشرة بلاين مجرة. وهذا يعادل $10^{21}$ كتلة شمسية، أو حوالي $10^{48}$ طناً إجمالاً. فإذا وضعنا في اعتبارنا أن قطر هذا الحشد من المجرات يبلغ خمسة عشر بليون سنة ضوئية، فإنه يمكننا أن نحسب قيمة أصغرية لسرعة الإفلات من الكون: يتبين أن الجواب هو حوالي 1% من سرعة الضوء. يمكن الاستنتاج أنه لو كان وزن الكون مديناً فقط للنجوم لأفلت الكون من جذبها التثاقلي وواصل توسعه إلى مالا نهاية.

وبالفعل، يظن كثير من العلماء أن ذلك ماسيحدث. ولكن ماكل الفلكيين وعلماء الكون على قناعة بأن المسائل الحسابية قد أُنجزَت على نحو صحيح. فالمادة التي نراها هي أقل مما هي على أرض الواقع، لأنه ماكل الأجسام في الكون تضيء. فالأجسام المظلمة، كالنجوم والكواكب المعتمة، والثقوب السوداء، تفلت من ملاحظتنا على نطاق واسع.

وهناك أيضاً كميات كبيرة من الغبار والغاز، أكثرها غير واضح. علاوة على ذلك، لاشك أن الفراغات 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 ولكنه أيضاً مصدر مادة كثيرة لانراها. 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 تكوَّنت 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 النيوترينووات، تلك الجسيمات الطيفية التي يظهر نشاطها في المستسعرات (انظر الفصل الرابع). وعلى حد مانعرف، فإن النيوترينووات لايمكن أن تتفكك إلى أي شيء آخر. هناك ثلاثة نماذج مختلفة من النيوترينووات، وقد تكون قادرة على التحول بعضها إلى البعض الآخر، ولكنني سأتجاوز هذا التعقيد هنا). ولهذا السبب، فإننا نتوقع أن الكون يستحم في بحر من النيوترينووات الكونية التي خلَّفها الانفجار الكبير. وإذا سلَّمنا بأن طاقة الكون الابتدائي كانت قد توزعت ديموقراطياً بين كافة الأنواع دون الذرية، عندئذٍ يمكن حساب عدد النيوترينووات الكونية التي يجب أن تكون موجودة. ويأتي الجواب ليقول إن عددها يبلغ حوالي مليون نيوترينو في كل سنتيمتر مكعب من الفراغ–أو حوالي بليون نيوترينو لكل جسيم من المادة العا دية

كان هذا الاستنتاج المهم يجذبني دائماً. ففي أي وقت معلوم، هناك حوالي مئة بليون نيوترينو داخل جسم أحدنا، وكلها تقريباً من بقايا الانفجار الكبير، تخلفت بدون تشويش تقريباً منذ أول ميلّيثانية من الوجود. وبما أن النيوترينووات تنتقل بسرعة الضوء أو قريباً منها، فإنها تندفع عبر جسم أحدنا بسرعة كبيرة حتى أن مئة بليون بليون منها تخترق هذا الجسم كل ثانية! ويتواصل هذه الانتهاك بدون توقف وبدون أن يلاحظه أحدنا أبداً، لأن تفاعل النيوترينووات ضعيف مع المادة العادية، إلى درجة يُهمَل معها احتمال أن يتوقف أحدها في جسم أحدنا طيلة حياته. مع هذا، إن وجود عدد كبير جداً من

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

وعلى الرغم من أن تفاعل النيوترينووات ضعيف للغاية، فإنها تمارس قـــوة جذبيـــة بالاشتراك مع كافة الجسيمات. قد لاتقوم كثيراً بدفع وجذب مهمين للمادة حولها، ولكـــن تأثيراتها الجذبية غير المباشرة قد تكون حاسمة عند إضافتها إلى إجمـــالي وزن الكـــون. ولكي نعرف مدى إسهام النيوترينووات إلى وزن الكون، يجب أن نعرف كتلتها.

وحيثما تكون الجاذبية معنية، فإن الكتلة الحقيقية، لاكتلة السكون، هي التي تؤخذ فـــي الحسبان. وبما أن النيوترينووات تنتقل قريباً من سرعة الضوء، فإن كتلتها قد تكون مهمة حتى على الرغم من أن تلك الكتلة في حالة السكون قد تكون صغيرة جـــداً (انظـــر ص 39). وفي الحقيقة، قد تكون كتلتها صفراً في حالة السكون وتنتقل بسرعة الضوء تمامـــاً. فإذا صح ذلك، عندئذٍ يمكن تحديد كتلتها الحقيقية عن طريق الرجوع إلى طاقتها، التـــي يمكن استنتاجها، في حالة النيوترينووات الكونية التذكارية، من طاقتها المفترضـــة التـــي اكتسبتها من الانفجار الكبير. يجب تصحيح الطاقة الأصلية بواسطة عـــامل يضـــع فـــي حسابه التأثير المنهِك لتوسع الكون. وعند إنجاز كل هذا، يتبين أن النيوترينووات مع كتلة سكون صفر لن تسهم بدرجة مهمة إلى إجمالي وزن الكون.

وبالمقابل، لايمكن أن نتأكد من أن كتلة النيوترينووات هي صفر في وضع الســـكون، ولا من أن للأنواع الثلاثة من النيوترينووات كلها الكتلة نفسها في وضع السكون. وفهمنا النظري الحالي للنيوترينووات لايستبعد كتلة محدودة في وضع السكون، وبالتالي، تصبـــح المسألة مسألة تجربة لتحديد طبيعة الحالة. وكما ذكرت في الفصل الرابع، فإننا نعـــرف أنه إذا كان للنيوترينو كتلة سكون، فمن المؤكد أنها صغيرة جداً-أصغر بكثير من كتلـــة السكون لأي جسيم 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 كتلـــة صغيرة بحجم 1000/10 من كتلة الإلكترون (بخلاف ذلك، أخـــف جســـيم معـــروف) ستكون كافية لإحداث تأثير مثير: عندئذٍ، يرجح وزن النيوترينووات على كافة النجوم.

اكتشاف كتلـــة سكون بمثل هذا الصغر صعب جداً وكانت نتائج التجارب مربكة ومتناقضة. ومُن الغريب أن يقدم اكتشاف النيوترينووات من مستسعر A-1978 دليـــلاً مهماً. وكما ذكرت سابقاً حول أنه إذا كانت كتلة سكون النيوترينووات صفراً، فإنها يجب

أن تنتقل كلها بالسرعة نفسها بالضبط–سرعة الضوء. ومن ناحية أخرى، إذا كانت كتلة سكون النيوترينو صغيرة جداً لاصفراً، عندئذٍ، يكون ممكناً وجود مجموعة من السرعات. يحتمل أن تكون النيوترينووات من المستسعر نشيطة جداً لكي تنتقل بسرعة قريبة جداً من سرعة الضوء حتى لو لم تكن كتلة سكونها صفراً. ولكن، بما أنها انتقلت عبر الفضاء زمناً طويلاً، فإن اختلافات طفيفة في السرعة يمكن ترجمتها إلى اختلافات يمكن قياسها في وقت الوصول إلى الأرض. وبدراسة المدى الذي انتشرت إليه عبر الزمن النيوترينووات من مستسعر A–1987، 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 للنيوترينووات. تشير معظم التقديرات لكتلة السكون إلى نيوترينو افتُرِض أصلاً من قبل بولي Pauli، ولكن منذ الكشف عنه، اكتُشِف نموذج ثان منه وتم الاستدلال على وجود نموذج ثالث. ويجب أن تكون الأنواع الثلاثة جميعها قد تكونت بغزارة في الانفجار الكبير. ومن الصعب جداً وضع حدود، بصورة مباشرة، لكتلة النموذجين الآخرين من النيوترينووات. تجريبياً، يبقى مدى القيم المحتملة واسعاً جداً، ولكن التفكير السائد بين المنظِّرين هو أن النيوترينووات ربما لاتسيطر على كتلة الكون. ولكن هذا الرأي يمكن أن ينعكس بسهولة على ضوء التقييمات التجريبية الحديثة لكتل النيوترينووات.

والنيوترينووات 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 يُكبَت فيما يتعلق بجسيمات أخرى أصغر كتلة، لأن إنتاجها يتطلب المزيد من الطاقة.) وتعرف هذه باسم الجسيمات العظيمة الكتلة الضعيفة التفاعل Weakly Interacting Massive Particles ويشار إليها اختصاراً بالأحرف WIMPs. ولدى المنظِّرين قائمة تسوُّق لهذه الجسيمات الافتراضية، تحمل أسماء غريبة مثل: Gravitions و Higgsinos و Photinos. وما من أحد يعرف إذا كانت موجودة فعلاً، ولكن، إذا كانت موجودة، فيجب أخذها في الحسبان في تقدير وزن الكون.

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

مع المادة العادية. ومع أنه يُتوقَّع لهذا التفاعل أن يكون ضعيفاً جداً، فإن الكتلة الكبيرة لهذه الجسيمات تساعدها على أن تحشر قدراً كبيراً من القوة. وقد جرى التخطيط لإجراء تجارب في منجم للملح في شمال شرق انكلترا 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 تصوره وغريب جداً: اكتشاف الصوت الذي يُحدِثه جسيم عظيم الكتلة ضعيف التفاعل عندما يصطدم بنواة ذرية.

يتألف الجهاز من بلّورة من الجيرانيوم أو السليكون يحيط بها جهاز تبريد. فإذا ارتطم جسيم عظيم الكتلة ضعيف التفاعل بنواة في البلّورة، فإن زخمه يجعل النواة تتراجع. وهذه الصدمة المفاجئة تُحدِث موجة صوتية، أو اهتزازاً ضعيفاً جداً في شبكية البلّورة. وعندما تنتشر الموجة، فإنها ستضمحل وتتحول إلى طاقة حرارية. لقد تم تصميم هذه التجربة لاكتشاف النبضة الدقيقة من الحرارة التي تترافق باضمحلال الموجة الصوتية. وبما أن البلّورة تبرد إلى درجة قريبة من الصفر المطلق، فإن جهاز الكشف يكون حساساً جداً لحقن أية طاقة حرارية.

يخمن المنظِّرون أن المجرات مغمورة في حشود على شكل فقاعات من الجسيمات العظيمة الكتلة الضعيفة التفاعل البطيئة الحركة إلى حد ما، ذات كتل يمكن أن تتراوح 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 يتناثر بمقدار ألف جسيم 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. فحتى لو لم نتمكن من رؤية الجسم (أو سماعه)، فإن تأثيرات جذبه التثاقلي يمكن أن تظهر. فعلى سبيل المثال، تم اكتشاف الكوكب نبتون لأن الفلكيين لاحظوا أن مدار أورانوس قد تشوش بتأثير قوة جذبية لجسم غير معروف. وكان قد اكتُشِف أيضاً بهذه الطريقة النجم القزم الأبيض المعتم سيريوس–B، الذي يطوق النجم اللامع سيريوس.وهكذا، يستطيع الفلكيون، بمراقبة حركة أجسام

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

أُجريَت خلال العقد أو العقدين الماضيين دراسات دقيقة لطريقة تحرك النجوم في مجرتنا. فهي تدور حول مركز درب التبانة بمدى زمني يتجاوز نموذجياً مئتي مليون سنة. والمجرة مصوغة 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 تثاقلي أقوى من الشمس. قد يتوقع أحدنا أن هذه القاعدة تنطبق على المجرة أيضاً: يجب أن تتحرك النجوم القريبة من محيط القرص ببطء أكبر من تلك القريبة من المركز.

ولكن المشاهدات تناقض هذا. فالنجوم تتحرك بالسرعة نفسها تقريباً في كل مكان من القرص. والتعليل المعقول هو أن كتلة المجرة لاتتركز 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 قدراً 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 قاتمة فيما وراء الحافة المرئية وخارج القرص المنير تماماً، تغلف درب التبانة بهالة ضخمة غير مرئية تمتد بعيداً إلى الفراغ بين المجرات. ويُشاهَد في مجرات أخرى نموذج مماثل للحركة. وتشير القياسات إلى أن مناطق مرئية من المجرات هي، في المتوسط، أضخم بعشر مرات مما يوحي لمعانها (مقارنة بالشمس)، وترتفع هذه النسبة بمقدار خمسة آلاف مرة في المناطق القاصية.

نتوصل إلى النوع نفسه من الاستنتاج من دراسة حركات المجرات ضمن العناقيد المجرّية. ومن الواضح أنه إذا تحركت المجرة بسرعة كافية فإنها ستفلت من الجذب التثاقلي للعنقود. وإذا تحركت كل المجرات في العنقود بهذه السرعة، فإن العنقود سوف يتفكك بسرعة. هناك عنقود نموذجي يتألف من عدة مئات من المجرات يقع في كوكبة الذؤابة، وقد تمت دراستها بتركيز. السرعة المتوسطة لمجرات الذؤابة أعلى بكثير من أن تجعل العنقود يتماسك بعضه مع بعض، مالم تكن هناك كتلة أكبر مما يمكن أن تفسره

المادة المضيئة بما لايقل عن ثلاثمئة مرة. وبما أن مجرة نموذجية تستغرق فقط بليون سنة أو حول ذلك لعبور عنقود الذؤابة، لذلك يمكن اعتبار الوقت المنقضي حتى الآن كبيراً جداً بما يكفي لتشتت العنقود. مع ذلك، لم يحدث شيء من هذا، وتقدم بنية العنقود كل مايخلّف الانطباع بأنه مقيد بالجاذبية. ويبدو أن شكلاً من المادة المظلمة موجود بكميات هامة، ويؤثر على حركة المجرات.

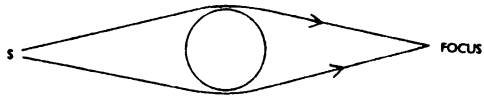
هناك اقتراح إضافي بوجود مادة غير مرئية يأتي من فحص البنية الواسعة النطاق جداً للكون–الطريقة التي تتجمع فيها العناقيد والعناقيد الفائقة للمجرات مع بعضها بعضاً. وكما شرحت في الفصل الثالث، فإن المجرات تتوزع بطريقة تذكر بالزبد، منظومة في شعيرات أو منتشرة على شكل ملاءات ضخمة تحيط بفراغات هائلة. لايمكن لبنية تكتلية، مزبدة كهذه أن تنشأ في الوقت المتاح منذ الانفجار الكبير بدون الجذب التثاقلي المضاف لمادة غير مضيئة. ولكن المحاكاة الحاسوبية لم تستطع، حتى وقت وضع هذا الكتاب، إنتاج البنية المزبدة المنظورة بأي شكل بسيط من مادة قاتمة، وقد تدعو الحاجة إلى استخدام خليط معقد لتشكيل 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 لاتقيدها الجاذبية إلى أجسام مرئية. وتستفيد هذه التقنية من نتيجة النظرية العامة في الجاذبية لآينشتاين التي تُعرَف بالتعدس التثاقلي gravitational lensing.

تقوم الفكرة على أساس حقيقة أن الجاذبية يمكن أن تحني أشعة الضوء. وكان آينشتاين قد تنبأ بأن الشعاع النجمي الذي يمر قرب الشمس سينحني بصورة طفيفة، وبذلك يزحزح الموقع الظاهر للنجم في السماء. وعن طريق مقارنة موقع النجم عندما تكون ولا تكون الشمس بجواره، يمكن اختبار النبوءة. وقد قام الفلكي البريطاني آرثر إدِنْغتون، لأول مرة عام 1919، بألمعية بإثبات 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. وتُظهِر الصورة 6-1 كيف يحدث ذلك. يسقط الضوء من

المصدر S على جسم كروي، فتحني جاذبية الجسم الضوء حوله، وتوجهه إلى نقطة بؤرية على الجانب البعيد. وتأثير الحني يكون طفيفاً بالنسبة لمعظم الأجسام، ولكن الانحناء في سبيل الضوء، حتى لو كان طفيفاً، فإنه على المسافات الفلكية يسبب بؤرة في النهاية. إذا أقحم الجسم نفسه بين الأرض والجسم البعيد S، فإن التأثير سيظهر كصورة لـ S متألقة إلى حد كبير أو، في حالات استثنائية حيث يكون خط النظر مضبوطاً، كدائرة لامعة من ضوء يُعرَف بـ حلقة آينشتاين. والأكثر احتمالاً أن ينتج التعدس، بالنسبة للأجسام ذات الأشكال الأكثر تعقيداً، صوراً متعددة أكثر من صورة واحدة مركزة في بؤرة. وقد اكتشف الفلكيون عدداً من العدسات التثاقلية على




الصورة 6-1: عدسة تثاقلية. جاذبية جسم عظيم الكتلة (فقاعة) يحني الأشعة الضوئية من مصدر بعيد S. في حالة مواتية، يسبب هذا تركيز النور في بؤرة. والمشاهد عند البؤرة يرى حلقة من الضوء حول الجسم.

صعيد كوني: المجرات في التراصف القريب من المثالي 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 مباشرة بين الأرض ونجم ما. سوف ترتفع صورة النجم وتتلاشى في لمعان بطريقة مميزة عندما يتحرك الجسم المظلم عبر خط النظر. ومع أن الجسم نفسه سيبقى غير مرئي، فإنه يُستدَل 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 لايُصدَّق، فإن التعدس التثاقلي يجب أن يلاحظ إذا كان هناك مايكفي 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 للتعدس التثاقلي بواسطة نجم قزم في هالة مجرتنا.

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

ولكن ماكل الثقوب السوداء تظهر في المعاينة التعدسية. ويمكن أن تكون الظروف القاسية التي سادت بعد الانفجار الكبير بوقت قصير قد شجعت على تشكيل ثقوب 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 محجوباً بصورة فعالة جداً في هذا الشكل، كما يجب أن يكون منتشراً في سائر الكون. ومن المدهش أنه يمكن وضع قيود رصدية حتى على هذه الكيانات الغريبة. والسبب يتعلق بما يُدعى تأثير هوكنغ، الذي شرحته بصورة مناسبة في الفصل السابع. وباختصار، يحتمل أن تنفجر ثقوب سوداء مجهرية في وسط وابل من الجسيمات المشحونة كهربائياً. ويحدث الانفجار بعد زمن محدد يعتمد على حجم الثقب: الثقوب الأصغر تنفجر بسرعة أكبر. إن ثقباً له كتلة نجم صغير سوف ينفجر بعد عشرة بلايين سنة، هذا يعني بحدود الوقت الحاضر. تأثير واحد لانفجار كهذا هو تكوين نبضة مفاجئة من موجات لاسلكية، هذا مايؤكده علماء علم الفلك الإشعاعي. على الأرجح أنه لم تُكتَشَف نبضات، ولهذا يُقدَّر أنه لايمكن أن يحدث أكثر من انفجار واحد كل ثلاثة ملايين سنة في كل سنة ضوئية مكعبة من الفضاء. وهذا يعني أن الثقوب السوداء المجهرية لاتشكل سوى جزء ضئيل جداً من كتلة الكون.

وعموماً، تختلف تقديرات المادة المظلمة في الكون من فلكي إلى آخر. ويحتمل أن تكون المادة المظلمة أكبر من المادة المضيئة، على الأقل، بنسبة 1/10، وترد أحياناً نسبة 1/100. وما يدعو إلى الدهشة أن الفلكيين لايعرفون ممايتركب معظم الكون. فقد كان

يُفترَض لمدة طويلة أن النجوم تشكل معظم الكون، ولكن تبيَن أنها لاتشكل سوى جـــزء بسيط تقريباً من الإجمالي.

المسألة الحاسمة، بالنسبة لعلم الكون، هي ماإذا كانت هناك مادة مظلمة تكفي لوقـــف توسع الكون. تُدعى الكثافة الأصغرية للمادة التي تفشل تماماً في وقف التوسع 'الكثافـــة الحرجة.' ويمكن التقدير بأن قيمتها تبلغ حوالي مئة ضعف كثافة المادة المرئية. وكميـــة كهذه تبقى ممكنة، ولو بالكاد. والمأمول أن يقدم البحث عن المادة السوداء عمـــا قريـــب جواباً واضحاً، سواء بالنفي أو الإيجاب، لأن المصير النهائي للكون، على أقـــل تقديـــر، يرتبط بها.

في ظل معرفتنا الراهنة ، لايمكننا أن نقول ماإذا كان الكون سوف يتوسع إلى الأبد أم لا. وإذا كان في النهاية سيبدأ بالتقلص، فالسؤال الذي يُطرَح هو: متى ســـيحدث هـــذا؟ يرتبط الجواب بدقة بمقدار زيادة وزن الكون على الوزن الحرج. فإذا كان يتجـــاوز الوزن الحرج بنسبة 1%، فإن الكون سيبدأ بالتقلص في حوالي ترليون سنة؛ وإذا كـــان نسبة هذا التجاوز 10%، فإن التقلص سيستعجل إلى مئة بليون سنة من الآن.

في هذه الأثناء، يعتقد بعض المنظرين أنه قد يكون ممكناً تعيين وزن الكون بواســـطة الحساب وحده، بدون الحاجة إلى المشاهدات الصعبة. الاعتقاد بأن الكائنات البشرية يمكن أن تتنبأ بمعرفة كونية عميقة فقط من قوة الاستدلال يحذو حذو تقليد يمتـــد إلـــى قدمـــاء فلاسفة الأغريق. ففي عصر العلم، حاول عدد من علماء الكون صياغة مناهج رياضيـــة تعطي كتلة الكون ككمية ثابتة في القيمة بواسطة مجموعة ما عميقـــة مـــن المبـــادىء. مغرية، بوجه خاص، تلك الأنظمة التي يُحدَّد فيها العدد الصحيح للجسيمات فـــي الكـــون بمعنى صيغة ما عددية سحرية. ولكن هذه التأملات، على الرغم من جاذبيتها، فإنها لـــم ترق لأكثر العلماء. مع ذلك، شاعت في السنوات الأخيرة نظرية مقنعة أكثر تطرح نبوءة واضحة حول كتلة الكون، إنه سيناريو التضخم الذي درسناه في الفصل الثالث.

تتعلق واحدة من نبوءات نظرية التضخم بكمية المادة في الكون. لنفترض أن الكـــون يبدأ بكتلة كثافتها أكبر أو أقل بكثير من القيمة الحرجة التي يخفق عندها حدوث الانهيار. فعندما يباشر الكون الطور التضخمي، فإن الكثافة تتغير إلى حد مثير، وفي الواقع، تتنبـــأ النظرية بأن الكثافة تقترب بسرعة من الكثافة الحرجة. وكلما كان تضخم الكون طويـــل الأمد، أصبحت الكثافة أقرب إلى الحرج. وفي الترجمة القياسية للنظرية، يستمر التضخم

فقط أمداً قصيراً جداً، وبالتالي، مالم يكن الكون بدأ بمعجزة بالكثافة الحرجة بالضبط، لكان نشأ من الطور التضخمي بكثافة أقرب أو أقل قليلاً من الحرج.

ولكن الاقتراب من الكثافة الحرجة أثناء التضخم يحدث بسرعة أُسِّيَّة، حيث يُحتَمَل أن تكون القيمة النهائية للكثافة قريبة جداً إلى القيمة الحرجة، حتى بالنسبة للفترات التضخمية التي تستمر فقط جزءاً ضئيلاً جدا من الثانية. ومعنى 'أسِّيّ' هنا هو أنه مع كل تكة إضافية تقريباً يستمر فيها التضخم، يتضاعف الزمن الذي سينقضي بين الانفجار الكبير وبدء التقلص. فإذا أدت قيمة مئة تكة من التضخم إلى انكماش مئة بليون سنة فيما بعد، فإن مئة تكة وتكة واحدة تدل على انكماش مئتي بليون سنة فيما بعد، في حين تساوي مئة تكة وعشر تكّات انكماش مئة ترليون سنة فيما بعد، وهلمجرا.

مامدى استمرار التضخم؟ لاأحد يعرف، ولكن لكي تفسر النظرية العديد من الأحلجي الكوزمولوجية التي وصفتها، فإنه يجب أن يدوم لعدد أصغري من التكات (مئة تكة تقريباً؛ الرقم مرن 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 الحرجة–حالة يمكن فيها للمشاهدات الوشيكة أن تحدد حقبة الانكماش، أو عدمه مستقبلاً. والأكثر احتمالاً هو أن يتواصل التضخم على مدى عدد من التكات أكبر من الحد الأدنى، مما يؤدي إلى كثافة قريبة جداً، في الواقع، من القيمة الحرجة. ويعني هذا أنه إذا كان الكون سينكمش، فإنه لن ينكمش قبل مضي مدة هائلة من الزمن–عدة أضعاف العمر الحالي للكون. فإذا صح ذلك، فإن الكائنات الإنسانية لن تعرف *أبداً* مصير الكون الذي تقطنه.

# الفصل السابع

## 'إلى الأبد' زمن طويل

اللانهاية ليست مجرد رقم كبير جداً، وهذا هو المهم حولها. إنها تختلف نوعياً عن شيء ما لايوصف بأكثر من أنه ضخم بشكل هائل، إلى حد لايمكن تصوره. إذا كان الكون سيواصل توسعه دائماً بحيث لاتكون له نهاية، فمعنى هذا أنه سوف يؤبّد، ولكي يؤبّد، يجب أن يكون له عمر زمني لانهائي. فإذا صح ذلك، فإن أية عملية فيزيائية، مهما كانت بطيئة أو غير محتملة، سوف تحدث في وقت ما، تماماً كما قد يتمكن في النهاية قرد، يعبث دائماً بآلة كاتبة، من طبع أعمال وليم شكسبير.

تؤمّن ظاهرة إصدار موجات الجذب، التي ناقشتها في الفصل الخامس، مثالاً جيداً. تضيع الطاقة على شكل إشعاع جذبي يسبب تبدلات واضحة فقط في حالة العمليات الفلكية الأكثر عنفاً. فإصدار حوالي ميلّيواط بسبب دوران الأرض حول الشمس، يمارس تأثيراً متناهياً في الصغر على حركة الأرض. ولكن تفريغ ولو ميلّيواط واحد، على مدى ترليونات فوق ترليونات من السنين، سيدفع الأرض إلى التحرك حلزونياً نحو الشمس. ومن المحتمل طبعاً أن تغمرها الشمس قبل هذا بزمن طويل، ولكن النقطة الأساسية هي أن العمليات المهملة بمقاييس التوقيت البشرية قد تسيطر أخيراً، مع مثابرتها، وبالتالي تعمل على تحديد المصير النهائي للأنظمة الفيزيائية.

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

ستمثل الجاذبية معركة غريبة. يحاول الكون المتوسع أن يجذب كل جسم بعيداً عن جيرانه، ولكن التجاذبات الثاقلية المتبادلة تقاوم هذا وتحاول تقريب الأجسام من بعضها

بعضاً. وبالنتيجة، تبقى بعض مجموعات من الأجسام–على سبيل المثال، عناقيد المجرات، أو مايُظَن أنها مجرات بعد آماد من التنكس البنيوي–مقيدة ثقالياً، ولكن هذه المجموعات تنجرف دائماً بعيداً عن المجموعات المجاورة لها. وتعتمد الحصيلة النهائية للعبة شد الحبل هذه على على مدى السرعة التي تتباطأ بها سرعة التوسع. فكلما كانت كثافة المادة في الكون أدنى، كان 'تشجيع' هذه المجموعات من الأجسام أكبر على التحرر من جيرانها والانتقال بعيداً بحرية واستقلال.

العمليات البطيئة، إنما العنيدة، للجاذبية تمارس سيادتها داخل نظام مقيد ثقالياً. فإرسال الموجات الجذبية، على الرغم من ضعفه، يستنزف، بشكل ماكر، طاقة النظام، مما يسبب موتاً حلزونياً بطيئاً. وبصورة تدريجية جداً، تقترب نجوم ميتة ببطء إلى نجوم أخرى ميتة أو ثقوب سوداء، وتلتحم في احتفال تهتكي ممتد لالتهام النوع لنوعه. وتستغرق الموجات الجذبية ترليون ترليون سنة لكي تفسد تماماً مدار الشمس، تلك الجمرة القزمية السوداء الخامدة التي تنزلق بصمت نحو وسط المجرة، حيث ينتظرها هناك ثقب عملاق أسود لكي يلتهمها.

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. فتمر أحياناً قرب منظومة ثنائية–نجمان يدور أحدهما حول الآخر في عناق تجاذبي وثيق. وعندئذٍ يتم إعداد المسرح لظاهرة غريبة تعرف بـ 'النقَّيْقَة'. فحركة جسمين في مدارحول بعضهما بعضاً يكشف عن بساطة كلاسيكية. وكانت هذه مشكلة–في زي كوكب يدور حول الشمس–شغلت بال كِبلر ونيوتن 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. عندئذٍ، لن تكون الحركة بسيطة ودورية. فنموذج القوى المتبادلة بين الأجسام الثلاثة يتغير دائماً بطريقة معقدة. ونتيجة لذلك، فإن طاقة المنظومة لاتُقتَسَم بالتساوي بين الشركاء، حتى لو كانت أجساماً متماثلة. وبدلاً من 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 لدينميات الجاذبية تعتبر مثالاً جيداً لما

يعرف بالنظام الشواشي. وقد يصدف أن 'يعتصب' جسمان، فينقلان مقداراً كبيراً من الطاقة المتاحة إلى جسم ثالث يُطرَد من المنظومة تماماً، كقذيفة 'نقَّيقَة'. ومن هنا عبارة 'نقَّيقَة الجاذبية.'

يمكن لآلية 'النقيفة' أن تطرد نجوماً من عناقيد النجوم، أو حتى من المجرة بالذات. وفي المستقبل البعيد، سوف تُقذَف الأكثرية العظمى من النجوم، والكواكب الخامدة، والثقوب السوداء إلى الفراغ بين المجرات بهذه الطريقة-ربما لمواجهة مجرة أخرى تتفكك، إن لم يكن للتجوال إلى الأبد في الفراغ الهائل المتوسع. ولكن العملية بطيئة: سيستغرق اكتمال هذا الحل زمناً أكبر من العمر الحالي للكون بحوالي بليون مرة. وعلى العكس، فإن النسبة القليلة الباقية من الأجسام سوف تهاجر إلى أواسط المجرات وتندمج لتشكيل ثقوب سوداء عملاقة.

بيَّنت في الفصل الخامس أن لدى الفلكيين دليلاً وجيهاً على وجود ثقوب سوداء هائلة في مراكز المجرات، تلتهم بشراهة الغازات الدائرة وتطلق، نتيجة لذلك، كميات ضخمة من الطاقة. هذا الهوس بالتغذية ينتظر معظم المجرات في الوقت المناسب، ويتواصل حتى تكون المادة التي تحيط بالثقب الأسود قد امتُصَّت أو قُذِفَت، ربما لتتراجع أخيراً من جديد أو لتنضم إلى الغازات التي تتناقص تدريجياً بين المجرات. وعندئذٍ، سيبقى الثقب الأسود المنتفخ ساكناً، فقط مع نجم نيوتروني متشرد بين حين وآخر أو ثقب أسود صغير يغوص فيه. ولكن هذا لن يكون نهاية تاريخ الثقب الأسود. ففي عام 1974، اكتشف ستيفن هوكنغ أن الثقوب السوداء ليست سوداء تماماً بعد كل شيء. بل ترسل، بدلاً من ذلك، وميضاً ضعيفاً من الإشعاع الحراري.

يمكن فهم ظاهرة هوكنغ على نحو ملائم فقط بمساعدة النظرية الكمية للمجالات، وهو فرع صعب من الفيزياء كنت ألمحت إليه في سياق نظرية تضخم الكون. لنتذكر أن هناك مبدأ مركزياً في نظرية الكم هو مبدأ الريبة عند هايسنبرغ؛ ووفقاً لهذا المبدأ، فإن الجسيمات الكمية لاتمتلك قيماً محددة بوضوح لكل صفاتها. فعلى سبيل المثال، لايمكن أن يملك فوتون أو إلكترون قيمة محددة لطاقته في لحظة معينة من الزمن. وفي الواقع، يمكن لجسيم 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 وخـاملاً، يعـج بنشاط جسيمات افتراضية لاتهدأ. ومع أن هذا النشاط لايُلاحَظ عادة، إلا أنـه يمكـن أن يسبب نتائج فيزيائية. فتظهر واحدة من تلك النتائج عندما يتشوش نشاط فراغي بوجـود مجال تجاذبي.

هناك حالة قصوى تتعلق بالجسيمات الافتراضية التي تبدو قريبة من أفق الحـوادث لثقب أسود. نحن نذكر أن الجسيمات الافتراضية تعيش على الطاقة المستلفة لفترة قصيرة جداً، يتوجب بعدها 'إعادة' السلفة واختفاء هـذه الجسـيمات. وإذا تلقّـت الجسـيمات الافتراضية، لأي سبب، تعزيزاً بالطاقة كبيراً بما يكفي من مصدر خارجي أثناء الزمـن القصير المخصص، فإن السلفة يمكن أن تُسدَّد نيابة عنها. وعندئذٍ، تصبح هذه الجسيمات في حل من واجب الاختفاء من أجل تسديدها. ونتيجة لهذا الإحسـان، فـإن الجسـيمات الافتراضية تترقى إلى جسيمات حقيقية، حيث يصبح بمقدورها أن تتمتع بوجـود دائـم تقريباً.

ووفقاً لما يقوله هوكنغ، فإن هذا الإحسان بدفع الدين هو مايحدث قرب ثقب أسود. في هذه الحالة، فإن 'المحسن' الذي يمد بالطاقة المطلوبة هو المجال التثاقلي للثقب الأسـود. ويجري عقد الصفقة كما يلي: تتكون الجسيمات الافتراضية عـادة علـى شـكل أزواج تتحرك في اتجاهات متعاكسة. فلنتصور زوجاً من جسيمات ظهرت حديثاً مباشرة خـارج أفق الحوادث. هَبْ أن حركة الجسيمات ستلقي بأحدها عبر الأفق إلى الثقب. وسـيلتقط هذا في طريقه قدراً كبيراً من الطاقة من الجاذبية القوية للثقب. اكتشف هوكنغ أن هـذه المساعدة بالطاقة تكفي لـ 'تسديد السلفة، تماماً وترقّي كلا الجسيمين: الساقط وشـريكه- مازال يقيم خارج أفق الحوادث- إلى جسيمين حقيقيين. أما مصـير الجسـيم المـهجور خارج الأفق فمسألة غير مؤكدة. فهو إما أن ينتهي أيضاً إلى أن يمتصه الثقب الأسـود أو أن يتطاير بسرعة كبيرة ويفلت تماماً من الثقب الأسود. وهكذا، يتنبأ هوكنغ بأنه يجب أن يكون هناك تدفق ثابت من هؤلاء الآبقين يجري بعيداً إلى الفضاء من جوار الثقب، مكوّناً مايعرف بإشعاع هوكنغ.

يجب أن تكون ظاهرة هوكنغ أقوى بالنسبة للثقوب السوداء المجهرية. بما أنه يمكـن للإلكترون الافتراضي، مثلاً، أن ينتقل بسرعة $10^{-11}$ سم تقريباً ضمن ظروف طبيعيـة قبل استرداد السلفة، فإن الثقوب السوداء الأصغر من هذا فقط (حجوم نوويـة، تقريبـاً)

ستكون قادرة بفعالية على تكوين جدول من الإلكترونات. إذا كان الثقب أكبر من هـــذا، فلن يكون الوقت كافياً لمعظم الإلكترونات الافتراضية لعبور الأفق قبل تسديد السلفة.

إن المسافة التي يمكن أن يجتازها جسيم افتراضي منوطة بأمد حياته، الـــذي يمليـــه بدوره –عن طريق مبدأ ريبة هايسنبرغ–حجم الطاقة المستلفة. فكلما كانت السلفة كبـيرة، كانت حياة الجسيم أقصر. والمكوّن الرئيسي لسلفة الطاقة هي طاقة كتلة الجسيم في حالة السكون. وفي حالة إلكترون ما، يجب أن تكون السلفة، على الأقل، مساوية لطاقة كتلـــة الإلكترون في حالة السكون. وفيما يتعلق بجسيم ذي كتلة أكبر في حالة السكون–بروتون، مثلاً–يجب أن تكون السلفة أكبر وبالتالي، لأجل أقصر، وهكـــذا تكـــون المســـافة التـــي يجتازها أقل. ولذلك، فإن إنتاج بروتونات عن طريق ظاهرة هوكنغ يحتاج إلى ثقب أسود أصغر حتى من ثقب ذي أبعاد نووية. وعلى العكس، فإن الجسيمات ذات الكتلة الأدنـــى في حالة السكون من الإلكترونات –كالنيوترينووات، مثلاً، يكوّنها ثقب أسود أكـــبر مـــن أبعاد نووية. أما الفوتونات، التي كتلتها صفر في حالة السكون، فيكوّنها ثقب أســـود أيـــاً كان حجمه. والثقب الأسود، حتى لو كانت له كتلة شمسية واحدة، فإنه يمتلك تدفق هوكنغ للفوتونات، وربما للنيوترونات أيضاً؛ ولكن شدة التدفق في هذه الحالات تكـــون ضعيفـــة جداً.

استخدام كلمة 'ضعيف' هنا ليس من قبيل المبالغة. فقد اكتشـــف هوكنـــغ أن طيـــف الطاقة التي ينتجها ثقب أسود هو نفسه كذاك الذي يشع من جسم حار، وهكذا، فإن لغـــة درجة الحرارة هي الطريقة الوحيدة لشرح قوة ظاهرة هوكنغ. فبالنسبة لثقب ذي حجـــم نووي (قطر $10^{-13}$ سم)، تكون درجة الحرارة عالية جداً–حوالي عشرة بلايين درجـــة. وعلى العكس، فإن درجة الحرارة لثقب أسود يزن كتلة شمسية واحدة، بقطر يتجاوز 1 كم، تكون أقل من عُشْر المليون من درجة فوق الصفر المطلق. ولن 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 انخفـــاض كتلة الجسم الأسود. ومعنى هذا أن درجة الحرارة في الثقوب الصغيرة أعلى منـــها فـــي الكبيرة. عندما يشع ثقب أسود، فإنه يفقد طاقة وبالتالي كتلـــة، ولـــهذا، فـــهو يتقلـــص. وبالنتيجة، يصبح أشد حرارة ويشع بقوة أكبر، ولذلك، تزداد سرعة تقلصه. العملية غـــير

مستقرة أصلاً وأخيراً تولي الأدبار، وثقب أسود يُصدِر طاقة ويتقلص حجمه دائماً مع ازدياد السرعة.

تتنبأ ظاهرة هوكنغ بأن كافة الثقوب السوداء ستختفي ببساطة في النهاية في هبة إشعاع. وستكون اللحظات الأخيرة مثيرة، حيث تبدو كانفجار قنبلة نووية كبيرة، ومضة قصيرة من طاقة حرارية شديدة يعقبها–لاشيء. ذلك، على الأقل، ماتراه النظرية. ولكن بعض الفيزيائيين لاتسعدهم إمكانية انهيار جسم مادي لتشكيل ثقب أسود، يتلاشى بدوره مخلّفاً إشعاعاً حرارياً لاغير. ويخشى هؤلاء من أن ينتهي جسمان مختلفان جداً إلى إنتاج إشعاع حراري متماثل، مع عدم توفر معلومات عن الجسم الأصلي الباقي على قيد الحياة. إن تأثيراً متلاشياً كهذا ينتهك كافة أنواع قوانين الحفظ المعتبرة. وهناك اقتراح بديل يرى أن اختفاء الثقوب السوداء يُخلِّف بقية صغيرة جداً تحتوي، بطريقة أو بأخرى، على كميات كبيرة من المعلومات. وأياً كانت الطريقة، فإن الجزء الأكبر من كتلة الثقب يشع على شكل حرارة أو ضوء.

عملية هوكنغ بطيئة إلى حد لايمكن إدراكه. فجسم أسود ذو كتلة شمسية واحدة يستغرق $10^{66}$ سنة حتى يختفي، بينما يستغرق ثقب فائق الجسامة زمناً أكبر، حوالي $10^{93}$ سنة. والعملية لن تخرج إلى حيز التنفيذ أيضاً قبل أن تهبط درجة الحرارة الخلفية للكون إلى أدنى من درجة حراة الثقب الأسود، وإلا كسبت الحرارة المتدفقة إلى الثقب من الكون المحيط إلى صفها الحرارة المتدفقة خارجة من الثقب عن طريق ظاهرة هوكنغ. والآن، تكون حرارة الإشعاع الحراري الخلفي المتخلف من الانفجار الكبير بحدود ثلاث درجات فوق الصفر المطلق، ويستغرق $10^{22}$ سنة قبل أن يبرد إلى المستوى الذي يكون عنده ضياع صاف للحرارة من الثقوب السوداء ذات الكتل الشمسية. وعملية هوكنغ ليست شيئاً يمكن لأحد أن يجلس حوله ويراقبه.

ولكن 'إلى الأبد' زمن طويل، ومع التسليم بفكرة 'إلى الأبد، فإن كافة الثقوب السوداء–حتى الفائقة الجسامة منها–ربما ستختفي في النهاية، ويقدح موتها ومضات خاطفة من الضوء في الظلمة الحالكة للّيل الكوني السرمدي، إنها نقش عابر على ضريح الوجود الزائل لبليون من الشموس المشتعلة.

فماالذي يبقى؟

ماكل المادة تسقط إلى الثقوب السوداء. وعلينا أن نضع في حسابنا النجوم النيوترونية والأقزام السود والكواكب المتشردة التي تهيم وحيدة إلى الأحياز بين المجرّيّة الواسعة، ناهيك عن كميات هزيلة من غاز وغبار لم تجتمع مع بعضها بعضاً لتشكل نجوماً، ونجيمات، ومذنبات، ونيازك، وقطعاً شاذة ضخمة من صخر سبب الفوضى في منظومات النجوم. فهل تعيش هذه الأجسام إلى الأبد؟

تواجهنا هنا صعوبات نظرية. علينا أن نعرف ماإذا كانت مادة عادية-مادتك ومادتي والأرض الكوكب-مستقرة بصورة مطلقة. نجد الدليل النهائي للمستقبل في ميكانيكا الكم. ومع أن العمليات الكمية ترافق، بصورة طبيعية، منظومات ذرية ودون ذرية، فإن قوانين فيزياء الكم تنطبق على كل شيء، بما في ذلك الأجسام العيانية. التأثيرات الكمية في الأجسام الكبيرة ضئيلة جداً، ولكنها، على المدى الطويل، تصبح قادرة على إحداث تغييرات رئيسية.

العلامتان المميزتان لفيزياء الكم هما الريبة والاحتمال. ففي حقل الكم لاشيء 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. فنواة 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 مايقرب من أربعة بلايين ونصف البليون سنة، ولكن، بما أن قوانين الفيزياء تحتاج إلى احتمال ثابت في وحدة الزمن، فإن أية نواة من اليورانيوم سوف تتفكك في النهاية بالتأكيد.

يحدث الانحلال الألفي الفعال شعاعياً بسبب وجود شيء من الريبة في موضع البروتونات والنيوترونات التي تكوّن نواة ذرة اليورانيوم، ولهذا، يكون هناك دائماً احتمال ضئيل جداً في أن تتوضع مجموعة من هذه الجسيمات، بصورة موقتة، خارج النواة، حيث تُدفَع بسرعة من هناك بعيداً. وبالمثل، هناك ريبة ضئيلة أيضاً، ولكنها ليست صفراً، في الموضع الدقيق لذرة ما في مادة صلبة. فعلى سبيل المثال، تقيم ذرة من كربون في حجر ماسي في موضع محدد تماماً في الشبكة البلّورية، وستكون هذه الإقامة مستقرة للغاية في درجة الحرارة القريبة من الصفر التي يُتَوقع أن يكون عليها الكون في

المستقبل البعيد، ولكن ليس بصورة تامة. فهناك دائماً ظل من الريبة في موضع الـــذرة، يتضمن احتمالاً ضئيلاً بأن الذرة قد تقفز تلقائياً من مكانها في الشبكة وتظهر في مكـــان آخر. وبسبب هذه العمليات المهاجرة، لاشيء موثوق فعلاً-حتى ولا مادة صلبة كحجـــر الماس. وبدلاً من ذلك، فإن المادة الصلبة ظاهرياً تشبه سائلاً لزجاً للغاية، وخلال آمـــاد هائلة يمكن أن تسيل، بسبب التأثيرات الكمية الميكانيكية. ويخمّـــن الفيزيـــائي النظـــري فريمان دايسون أنه بعد حوالي $10^{65}$ سنة، سوف يتضاءل إلى خرزة كروية، ليس فقـــط كل حجر ماسي مقطوع بعناية، بل ستتشوه أيضاً كل كتلة ضخمة من صخر إلـــى كـــرة ملساء.

يمكن أن تؤدي ريبة الموضع أيضاً إلى تحول نووي. فعلى سبيل المثال، تعالوا ندرس ذرتين متجاورتين من الكربون في بلّورة ماسية. نادراً جداً ماتسبب إعادة تعيين الموضـــع العفوية لإحدى الذرتين ظهور نواتها، في أية لحظة، مباشرة بعد نواة جارتها. وعندئـــذٍ، يمكن لقوى الجذب النووية أن تسبب اندماج النواتين لتشكيل نواة مغـــنزيوم. فالاندمـــاج النووي، إذاً، لايحتاج إلى درجات حرارة عالية جداً: الاندماج على البارد ممكن، ولكنـــه يستغرق مدة هائلة من الزمن. وقدر دايسون أن اندماجاً كهذا يحدث بعـــد $10^{1500}$ ســـنة (أي، 1 متبوعاً بألف وخمسمئة صفر!)، وستتحول المادة كلها بهذه الطريقة إلى الشـــكل النووي الأكثر استقراراً، الذي هو الحديد العنصري.

ولكن المادة النووية لن تعيش، بأية طريقة، هذا الأمد الطويل بسبب عمليات التحـــول الأكثر سرعة والتي تبقى، مع ذلك، بطيئة إلى حد لايُصدَّق. ويَفترِض دايسون في تقديره أن البروتونات ( والنيوترونات المرتبطة في نوى) مستقرة *بشكل مطلق*. وبمعنى آخـــر، إذا لم يسقط بروتون ما في ثقب أسود وبقي، بخلاف ذلك، ساكناً، فإنه سيبقى إلى الأبـــد. ولكن هل يمكن التأكد من صحة هذا القول؟ عندما كنت طالباً، ماكان أحـــد يشـــك فـــي صحته. كانت البروتونات هي الباقية إلى الأبد. كانوا يفترضون أنها جسيمات مســـتقرة تماماً. ولكن، كان هناك دائماً شك مزعج حول هذا. وتتصل المشكلة بوجود جسيم يدعـــى بوزيترون* Positron، الذي يماثل الإلكترون باستثناء أنه، كالبروتون، إيجابي الشـــحنة. البوزيترونات أخف بكثير من البروتونات، وهكذا، إذا تساوت كل الظـــروف الأخـــرى، تفضل البروتونات أن تتحول إلى بوزيترونات: إنه لمبـــدأ فيزيـــائي عميـــق القـــائل إن

---

*-إلكترون موجب-المترجم.

المنظومات الفيزيائية تسعى إلى الحالة الأدنى لطاقتها، والكتلة الصغيرة تعني طاقة أدنى. واليوم، لايمكن لأحد أن يقول لماذا لاتمضي البروتونات ببساطة وتفعل ذلك، ولهذا، يفترض فيزيائيون ببساطة أن هناك قانوناً في الطبيعة يمنعها. حتى الآن، لم يكن هذا الموضوع مفهوماً بصورة جيدة أبداً، ولكن، ظهرت في أواخر السبعينات صورة أكثر وضوحاً تتعلق بالطريقة التي فيها تحث قوى نووية جسيمات لكي تتحول إلى بعضها بعضاً وفقاً للآلية الكمية . أفردت أحدث النظريات مكاناً طبيعياً للقانون الذي يمنع تفكك البروتونات، ولكن معظم هذه النظريات تتنبأ أيضاً بأن القانون ليس فعالاً 100%. يمكن أن يكون هناك احتمال ضئيل جداً بأن يتحول بروتون معلوم حقاً إلى بوزيترون. ونبوءة تقول إن الكتلة المتبقية تظهر جزئياً على شكل جسيم متعادل كهربائياً، كالبيون Pion المعروف، وجزئياً على شكل طاقة حركة (منتجات التفكك التي تتكون تتحرك بسرعة عالية).

في أبسط النماذج النظرية، نجد أن تفكك البروتون يحتاج إلى زمن نسبي مقداره $10^{28}$ سنة، وهو أمد أطول من العمر الحالي للكون ببليون بليون مرة. 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 متأصلة في الطبيعة: $10^{28}$ سنة عمر نسبي متوقع، وليس عمراً فعلياً لكل بروتون. ومع افتراض وجود مايكفي من البروتونات، فالفرصة طيبة لأن يتفكك أحدها تحت بصرنا بالذات. وفي الواقع، لو أُعطينا $10^{28}$ بروتوناً، لتوقعنا أن واحداً تقريباً يتفكك كل سنة، و $10^{28}$ بروتوناً نجدها في 10 كغ فقط من المادة.

ولكن عمراً بأمد كهذا للبروتون كان قد استُبعِد بالتجربة قبل شيوع النظرية. مع ذلك، هناك نسخ مختلفة للنظرية تعطي أعماراً أطول-$10^{30}$ أو $10^{32}$ سنة، أو حتى أطول (تتنبأ بعض النظريات بعمر $10^{80}$ سنة). وتقع القيم الأدنى على حافة إمكانية الاختبار التجريبي. وزمن التفكك $10^{32}$ 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 مُؤلَّفة بحيث تقدحها منتجات حادثة من حوادث تفكك أحد البروتونات. ومن سوء الحظ أن يكون البحث عن تفكك البروتون كالبحث عن إبرة في

كدس من القش، لأن حوادث التفكك يحجبها عدد كبير جداً من حوادث مماثلة تسببها منتجات الإشعاع الكوني. فالأرض تُقذَف باستمرار بجسيمات عالية الطاقة من الفضاء، الذي ينتج خلفية موجودة دائماً من الحطام دون الذري. ولتخفيف هذا التداخل، يجب إجراء التجارب في أمكنة عميقة تحت الأرض.

أُجريَت هذه التجربة على عمق يتجاوز نصف ميل تحت الأرض، في منجم للملح قرب كيفلاند، في أوهايو. كان الجهاز يتألف من عشرة آلاف طن من ماء فائق النقاء 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، عندئذٍ يُنتِج، كما شرحت، بيوناً Pion متعادلاً كهربائياً إضافة إلى بوزيترون واحد. وبدوره، يتفكك البيون بسرعة، عادة إلى فوتونيْن نشيطين جداً، أو أشعة غاما. وأخيراً، تواجه هذه الأشعة نُوىً في الماء وتكوّن كل منها زوجاً مؤلفاً من إلكترون وبوزيترون، وهو أيضاً نشيط جداً. وفي الواقع، ستكون هذه الإلكترونات والبوزيترونات الثانوية نشيطة جداً حتى أنها تنتقل بسرعة قريبة من سرعة الضوء، حتى في الماء.

ينتقل الضوء بسرعة 300000 كم/ثا في الخواء، وهذه هي السرعة النهائية التي يمكن أن ينتقل بها أي جسيم. ولكن الماء يمارس تأثيراً يخفف، إلى حد ما، سرعة الضوء إلى مايقرب 230000 كم/ثا. ولذلك، فإن الجسيم دون الذري العالي 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 تُحدِث دوياً صوتياً*. وبالمثل، إن جسيماً مشحوناً ينتقل عبر وسط ما بسرعة أكبر من سرعة الضوء في ذلك الوسط يُحدِث موجة صدمة كهرطيسية مميزة–تعرف باسم إشعاع سرينكوف، باسم مكتشفه الروسي. ولهذا، عمل القائمون على تجربة أوهايو على نصب أجهزة كاشفة حساسة للضوء بحثاً عن ومضات سيرِنْكوف. ولتمييز حوادث تفكك البروتونات من النيوترينووات الكونية والحطام الآخر دون الذري الزائف، راح القائمون على التجربة يبحثون عن بصمة مميزة–زوج متزامن ظَهراً لظهر من نبضات ضوء سيرِنكوف، التي يصدرها زوج الإلكترون بوزيترون الذي يتحرك بصورة معاكسة.

---

*–هو مايُطلَق عليه 'اختراق حاجز الصوت'–المترجم.

ومن سوء الحظ أنه بعد عدة سنوات من العمل فشلت تجربة أوهايو في إيجاد دليل مقنع على تفكك البروتون–مع أنها، كما لاحظنا في الفصل الرابع، التقطت النيوترينووات من مستسعر A 1987. (وكما هي حال العلم غالباً، فإن البحث عن شيء يؤدي إلى اكتشاف شيء آخر غير متوقع.) وفي الوقت الذي وضعت فيه هذا الكتاب، تمخضت تجارب أخرى عن نتائج عقيمة، مع أنها استخدمت طرقاً مختلفة. ومعنى هذا أن البروتونات لاتتفكك. ومن ناحية أخرى، قد يعني أنها تتفكك ولكن أمد حياتها يتجاوز $10^{32}$ سنة. وقياس سرعة أدنى من هذه السرعة للتفكك هو فوق الإمكانية التجريبية الحالية، وربما يبقى تفكك البروتونات مجهولاً في المستقبل المنظور.

حفز البحث بخصوص تفكك البروتونات مؤلَّفٌ نظري حول مختلف النظريات الكبرى الموحدة، التي وضعت هدفاً لها توحيد القوة النووية القوية (القوة التي تربط البروتونات والنيوترونات مع بعضها بعضاً في النوى) مع القوة النووية الضعيفة (المسؤولة عن نشاط بيتا الإشعاعي) والقوة الكهرطيسية. يحدث تفكك البروتونات نتيجة لتمازج دقيق بين هذه القوى. ولكن، حتى لو تبيَّن 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 10/1 ترليون سم، وهو متوسط المسافة بين الكواركات. ولكن الكواركات لاتبقى ساكنة بل تبدل مواضعها باستمرار داخل البروتون، بسبب الريبة الميكانيكية الكمية. فبين حين وآخر، يدنو كواركان من بعضهما بعضاً إلى حد متقارب جداً. ولكن من النادر أن تتقارب الكواركات الثلاثة إلى درجة كبيرة. ومن المحتمل أن تتوصل الكواركات إلى تقارب وثيق فيما بينها إلى حد تتغلب فيه قوة الجاذبية بينها، المهملة تماماً في الحالة الطبيعية، على كل القوى الأخرى. فإذا حدث هذا، فإن الكواركات ستجتمع 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–لنتذكر ظاهرة هوكنغ–ويتلاشى فوراً تقريباً، مكوِّناً

بوزيتروناً. 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 تتفكك بعد أمد هائل، فإن النتائج ستكون عميقة بالنسبة للمستقبل البعيد للكون. فالمادة كلها ستكون غير مستقرة، وستختفي في نهاية الأمر. والأجسام الصلبة، كالكواكب، التي تفادت السقوط إلى ثقب أسود لن تبقى إلى الأبد. وبدلاً من ذلك، سوف تتبخر بصورة تدريجية جداً. يدل العمر $10^{32}$ سنة لبروتون ما ضمناً على أن الأرض تفقد 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 النيوترونية من هذه العملية. فالنيوترونات أيضاً مركبة من ثلاثة كواركات ويمكن أن تتحول إلى جسيمات أخف بواسطة آليات تشبه تلك التي تؤدي إلى موت البروتونات. (النيوترونات 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 الأثاث الآخر الفلكي في حينه. والأطنان الـ $10^{48}$ من المادة العادية التي نشاهدها حالياً منتشرة في كافة أنحاء الكون مقدر لها أن تختفي كلها إما إلى ثقوب سوداء أو من خلال تفكك نووي بطيء.

عندما تتفكك البروتونات والنيوترونات، فإنها، بدون ريب، تكوّن منتجات تفكك، وبالتالي، لن يكون الكون بالضرورة خاوياً كلياً من المادة من أي نوع. فعلى سبيل المثال، وكما ذكرت سابقاً، يحتمل أن يتفكك البروتون إلى بوزيترون إضافة إلى بيون محايد. والبيون غير مستقر إلى حد بعيد وسرعان مايتفكك إلى فوتونين، أو ربما إلى زوج مؤلف من إلكترون وبوزيترون. وأياً كانت الحالة، 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 تتفكك كافة البروتونات، سيكون هناك مزيج مساو من الإلكترونات والبوزيترونات. والبوزيترون هو الجزيء المضاد المعروف للإلكترون، فإذا التقى بوزيترون مع إلكترون، فإنهما سيبيد أحدهما الآخر–عملية جرت دراستها بسهولة في المختبر–فتتحرر طاقة على شكل فوتونات.

وقد تم إجراء حسابات في محاولة لتحديد ماإذا كانت البوزيترونات والإلكترونات المتبقية في المستقبل البعيد للكون ستبيد بعضها بعضاً بصورة كاملة، أو ماإذا كان ستبقى هناك دائماً بقية صغيرة. ولكن الإبادة لن تحدث بصورة مفاجئة. وما سيحدث هو التالي: في البداية، ينتظم إلكترون وبزيترون في نوع من ذرة مصغرة تدعى بوزيترونيوم Positronium، ويدور كلا الجسيمين حول مركز كتلة مشترك في رقصة موت، تربطهما جاذبية كهربائية مشتركة. وعندئذٍ، يتحرك الجسيمان معاً بصورة حلزونية ويتلاشيان. ويعتمد الزمن الذي تستغرقة هذه الحركة الحلزونية على المسافة الأولية بين الإلكترون والبوزيترون عندما تتشكل 'ذرة' البوزيترونيوم. وتتفكك 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 $10^{71}$ سنة لتشكيل البوزيترونيوم، ولكن أقطار مداراتها ، في معظم هذه الحالات، يمكن أن تكون ترليونات 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 $10^{116}$ سنة. ومع ذلك، إن المصير النهائي لذرات البوزيترونيوم هذه محتوم من اللحظة التي تتشكل فيها.

وما يدعو إلى الاستغراب هو أنه ماكل الإلكترونات والبوزيترونات تتلاشى بالضرورة. فلطالما هي تبحث عن أرقامها المضادة، فإن كثافتها تتضاءل باطِّراد، وذلك نتيجة للفناء وأيضاً بسبب استمرار توسع الكون. وبمرور الزمن، تتزايد شيئاً فشيئاً صعوبة تشكُّل البوزيترونيوم. وهكذا، ومع أن الثمالة الضئيلة من المادة الباقية تتناقص أكثر فأكثر، فإنها لن تختفي، في أي وقت، بصورة كاملة تماماً. وسنجد دائماً إلكتروناً أو بوزيتروناً شاذاً 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 لايصدق. أولاً، ستكون هناك مادة أفلتت 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 العادية للكون. وتتبخر كافة الثقوب السوداء. وتتحول معظم كتلتها إلى فوتونات، مع أن بعضها يبقى على شكل نيوترونات، وهناك جزء ضئيل جداً، ينبعث خلال القصفة الانفجارية النهائية للثقوب السوداء، سيكون على شكل إلكترونات، وبروتونات، ونيوترونات، وجسيمات أثقل. تتفكك بسرعة كافة الجسيمات الأثقل، وكذلك النيوترونات والبروتونات إنما ببطء أكبر، مخلفة بعض الإلكترونات التي تنضم إلى الإلكترونات الأخرى التي هي آخر ثمالة متبقية من المادة العادية 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 تحدث أبداً عمليات فيزيائية أساسية إضافية. ولن تقع حادثة مهمة تعطل الجدب الكئيب للكون الذي يتابع شوطه مع أنه مازال يواجه حياة سرمدية–ربما يكون الوصف أفضل لو قلنا موتاً أبدياً.

هذه الصورة الكئيبة لحالة، رتيبة، باردة، مظلمة شبيهة بالعدم هي الأقرب إلى ماتوصلت 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 اللامتناهي المتاح. 'إلى الأبد' زمن طويل، كما قلنا.

ومع أن تفكك الكون يحتل أمداً ضخماً أكبر من المقاييس البشرية حتى أنه، في الواقع، لايعني شيئاً بالنسبة لنا، فإن الناس مازال يشغفهم السؤال، 'ماالذي سوف يحدث لأحفادنا؟ وهل هم محكومون حتماً بكون سيتوقف من حولهم ببطء، ولكن بعناد؟' ومع التسليم بالحالة غير الواعدة التي يتنبأ بها العلم بخصوص المستقبل البعيد للكون، فإن أي شكل من الحياة لابد أن يكون في نهاية الأمر محكوماً بالموت، كما يبدو. ولكن ذلك الموت ليس بسيطاً.

# الفصل الثامن

## الحياة في ممر 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. فأصيب 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 الاستنفاذ. وبالنتيجة، حل الرضا محل الذعر. ومن سوء الحظ، أن حساباً بسيطاً يملي أن مورداً محدوداً لايمكن أن يستمر إلى الأبد لكونه يُستنفَذ بمعدل محدود لاينقص. فإعسار الطاقة قادم إن عاجلاً أو آجلاً. والاستنتاج نفسه يمكن أن ينسحب على سكان الكرة الأرضية: النمو السكاني لايمكن أن يستمر إلى مالا نهاية.

يظن بعض المتشائمين أن الأزمات التي ستنجم عن نقص الطاقة وتزايد السكان سوف تقضي على البشرية مرة واحدة وإلى الأبد. مع ذلك، لاضرورة 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 يتسببِ لنا بمجاعة جسيمة. 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 الحدَّ من الضرر البيئي والتأثير النجمي على كوكبنا، عندئذٍ، 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 آماد زمنية يصعب تصورها-باتجاه الانحلال عموماً-نتيجة لبطء العمليات الفيزيائية. الإنسان موجود، هنا وهناك، على سطح هذا الكوكب منذ مالايقل عن خمسة ملايين سنة (اعتماداً على تعريف الإنسان) والحضارة (بطريقة أو بأخرى) على مدى لايقل عن بضعة آلاف سنة. ويمكن أن تبقى الأرض صالحة للسكنى على مدى بليونين أو ثلاثة بلايين سنة منذ الآن- بعدد محدود من السكان، طبعاً. وهذا مدى زمني هائل جداً يجلُّ عن الوصف. فقد يبدو كبيراً جداً وكأنه لانهائي فعلاً. مع ذلك، كنا قد رأينا كيف أنه حتى بليون سنة هو مجرد نبضة ضعيفة على شاشة مقارنة بالمقياس الزمني للتبدل العياني، الفلكي والكوزمولوجي. ولكن قد تبقى مواطن شبيهة بالكرة الأرضية موجودة في مجرتنا إلى *بليون* بليون سنة.

يمكننا طبعاً أن نتخيل أحفادنا، وتحت تصرفهم هذه الكمية الهائلة من الزمن، يطورون ريادة فضائية وكل ضرب من التقنيات الرائعة. وسيكون لديهم قدر كبير من الوقت لمغادرة الأرض قبل أن تشويها الشمس إلى رقاقة من البطاطا. ويمكنهم أن يجدُّوا في البحث عن كوكب آخر ملائم، ثم عن آخر، وهلمجرا. وعن طريق التوسع في الفضاء، يمكن للسكان أن ينتشروا أيضاً. فهل في هذا عزاء-لكي نعرف أن كفاحنا في سبيل البقاء في القرن العشرين قد لايكون عبثاً في النهاية؟

ذكرت في الفصل الثاني أن برتراند رسل، في نوبة اكتئاب بسبب عقابيل القانون الثاني للديناميات الحرارية، كتب بعبارات مكروبة حول عبثية الوجود الإنساني على ضوء حقيقة أن المنظومة الشمسية محكوم عليها بالموت. فقد كان يشعر أن الموت المحتم الواضح المعالم لموطننا يجعل الحياة الإنسانية، بطريقة ما، تافهة وسخيفة. ولا شك أن هذا الاعتقاد أسهم في إلحاده. فهل كان راسل سيشعر أنه في حال أفضل لو عرف أن طاقة الجاذبية في الثقوب السوداء يمكن أن تتفوق على أداء الشمس بمرات كثيرة وتدوم 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 أوردناه في نهاية الفصل السابع، قلما يمكن الافتراض أنه يمكن للمرء أن يتخيل بيئة أقل اعتدالاً وأكثر عدوانية. مع ذلك، يجب ألا

نغالي، أو نتشاءم. لاشك في أن الكائنات البشرية سوف تواجه ظروفاً صعبة بخصوص كسب رزقها في كون يتألف من سحاب مخفف من الإلكترونات والبوزترونات، ولكن المسألة المهمة هي بالتأكيد ليست ماإذا كان نوعنا بحد ذاته خالداً ولكزما إذاكان أحفادنا سيتمكنون من البقيا. ومن غير المحتمل أن يكون أحفادنا كائنات بشرية.

ظهر النوع البشري على سطح الأرض كناتج لتطور بيولوجي. ولكن نشاطاتنا الخاصة سرعان ماعملت على تعديل عمليات التطور. فقد تدخلنا، حتى الآن، بعمل الاصطفاء الطبيعي. وتتزايد أيضاً إمكانية العمل على توجيه الطفرات. وقد نتمكن عما قريب من تصميم كائنات بشرية ذات صفات وميزات جسدية موصوفة عن طريق التحكم الوراثي. وقد سنحت هذه الفرص التقنية الحيوية خلال عقود قليلة فقط من عمر المجتمع التقني. فلنتصور مايمكن أن ننجزه خلال آلاف أو حتى ملايين السنين من عصر العلم والتكنولوجيا.

واستطاع هذا النوع ، خلال بضعة عقود فقط، أن يترك الكوكب ويغامر إلى الفضاء القريب. وخلال آماد، يمكن لأحفادنا أن ينتشروا إلى أبعد من الأرض إلى منظومة شمسية أوسع، ثم إلى مجموعات أخرى نجمية ضمن المجرة. ويظن الكثيرون من الناس خطأ أن مشروعاً كهذا يمكن أن يقرّب الجنس البشري من الخلود. ولكن لايمكن تفسير المسألة على هذا النحو. مع ذلك، ربما يتقدم الاستعمار بوثبة 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 يكفي-فإن الرحلة ستتطلب بضعة قرون. وقد يقتضي إكمال التأسيس الفعلي 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 استعمر البولينيزيون الجزر في المحيط الهادي.

يستغرق الضوء فقط مئة ألف سنة تقريباً لكي يعبر المجرة، وهكذا 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 المجرّي. ولكن ثلاثين 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 بسبعة عشر مرة. وهرم الشمس سيؤثر على الأرض إلى حد خطير في غضون 2 أو 3 بليون 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 تقني.

أحفادنا المستعمرون هؤلاء، ماذا يشبهون؟ إذا أطلقنا عنان الخيال، فإنه يمكن أن نحدس بأن المستعمرين يمكن أن يكونوا موجَّهين وراثياً بحيث يتكيفون بسهولة مع الكوكب الهدف. ولنضرب لذلك مثلاً بسيطاً، إذا اكتُشِف كوكب شبيه بالأرض حول كوكبة النهر ووُجِد أن جوه يحتوي فقط على 10% من الأكسجين، عندئذٍ، يمكن أن يجري تدبير المستعمرين بحيث يحملون مستويات أعلى من الكريات الحمر. وإذا كانت جاذبية سطح الكوكب الجديد أعلى، فإنهم قد يُمنَحون جسداً أكثر نشاطاً وعظاماً أكثر قوة، وهلم جرا.

والرحلة أيضاً لاتعرض أية مشكلة-حتى لو استغرق إنجازها بضعة قرون. فالسفينة الفضائية يمكن أن تبنى على غرار سفينة نوح-نظام بيئي مكتف بذاته تماماً قادر على إعالة المسافرين على مدى أجيال عديدة. أو يمكن، بدلاً من ذلك، تجميد المستعمرين في ثلاجات بدرجة صفر فهرنهايت على مدى الرحلة. وفي الواقع، يمكن أن يكون لهذا معنى أفضل إذا قلنا إنه يمكن أن نرسل سفينة فضائية صغيرة مع طاقمها 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 تنتج عن نقل أعداد كبيرة من الكائنات الراشدة 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 تلبي حاجات مختلفة، عندئذٍ، يمكن أن تتضمن كل حملة كيانات مصممة لغرض ذات تشريح وسيكولوجية ضروريين للعمل.

لن يحتاج المستعمرون حتى إلى أن يكونوا متعضيات حية، بالتعريف العادي. حيث أصبح ممكناً الآن زرع معالج مجهري من رقاقة سليكونية إلى الكائنات البشرية. ويمكن لتطوير إضافي لهذه التقنية أن ينتج مزيجاً من أجزاء عضوية وإلكترونية اصطناعية تقوم بكلتا الوظيفتين، الفيزيولوجية والدماغية. فعلى سبيل المثال، قد يصبح ممكناً تصميم ذاكرة "تُثَبَّت بمسامير" عوضاً عن الأدمغة البشرية، تشبه تلك الذواكر الإضافية المتوفرة حالياً للحاسبات 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 الحاسبات الرقمية بشبكات عصبية لإنجاز الكثير من الأعمال؛ وحتى في الوقت الحاضر، تستخدم مثل هذه الشبكات بدلاً من الحاسبات الرقمية لمحاكاة العقل البشري والتنبؤ بالسلوك الاقتصادي. وقد تكون تنمية شبكة عصبية عضوية من قطع من نسيج دماغي معقولة أكثر من تصنيعها منذ البداية. وقد يكون مناسباً أيضاً تركيب مزيج تكافلي من شبكات عضوية واصطناعية. ومع تطور النانوتكنولوجيا Nanotechnology، يصبح التمييز أقل وضوحاً بين الحي وغير الحي، بين الطبيعي والاصطناعي، بين الدماغ والحاسبة.

تنتمي هذه التأملات في الوقت الحاضر إلى عالم الخيال العلمي. فهل يمكن أن تصبح حقيقة؟ مع ذلك، هذا لايعني 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 'إذا' كبيرة) يتعرضون لتحفيز كافٍ، عندئذٍ لن يقيد التكنولوجيا سوى قوانين الفيزياء. إن تحدياً كمشروع الجينوم البشري، الذي قد يكون عملاً مثبطاً بالنسبة لجيل واحد من العلماء، سيكون واضحاً بما يكفي إذا نهض به مئة، أو ألف، أو مليون جيل.

دعونا نأخذ الموقف المتفائل 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 كلياً حتى الآن

لإنجاز مهمات لايمكن تصديقها حالياً. ومع أن هذه الكائنات قد تكون نواتج نهائية لتقنية بدأها الإنسان، فإنها نفسها لن تكون إنسانية.

هل ينبغي لنا أن نحمل هماً خاصاً حول قدر هذه الكينونات الغريبة؟ قد يشعر الكثيرون من الناس بالتقزز لتوقع استبدال الجنس البشري بهذه المسوخ. فإذا كانت البقيا تتطلب من الكائنات الإنسانية أن تفسح المجال لروبوتات Robots عضوية مدبرة وراثياً، فإننا قد نؤثر الانقراض. مع ذلك، إذا كانت تحزننا أرجحية زوال الجنس البشري، فإنه يجب علينا أن نتساءل بدقة ماذا عن الكائنات الإنسانية التي نتطلع إلى المحافظة عليها. ليس شكلنا الفيزيائي بالتأكيد. أيزعجنا فعلاً أن نعرف أنه في غضون مليون سنة من الآن، قد يصبح أحفادنا بدون أباخس؟ أو بسيقان أقصر أو رؤوس وأدمغة أكبر؟ وبرغم كل شيء، لقد تغير شكلنا الفيزيائي كثيراً خلال القرون القليلة الماضية وهناك اليوم اختلافات واسعة بين مختلف الجماعات العرقية.

أظن أن معظمنا سيُعِدُّ، عند الحاجة، مخزوناً أكبر عن طريق ما يمكن أن يُدعى 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، أياً كان شكلهم الفيزيائي، عندئذٍ، يمكن الوصول إلى بقاء ماهو مهم أكثر.

وتبقى مسألة ماإذا 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 أقتصادية، أو غيرها زوالنا قبل أن نغادر الكوكب بصورة جدية. وربما تكون سبقتنا كائنات من خارج نطاق الأرض واستعمرت معظم الكواكب الملائمة (من الواضح أن الأرض ليست من بينها حتى الآن). وسواء آلت هذه المهمة إلى أحفادنا أو إلى نوع غريب، فإن إمكانية الانتشار عبر الكون والسيطرة عليه بواسطة التكنولوجيا تبقى فكرة جذابة، وتغري بطرح السؤال: كيف سيتعامل مثل هذا العرق المتفوق مع انهيار الكون؟

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

تكنولوجياً عمره ترليون سنة؟ قد يبدو لنا وكأن مجتمعاً كهذا يمكن أن يحقق أي شـــيء. علىالرغم من ذلك، إن أية تكنولوجيا، مهما تقدمت، فإنها من المفترض أن تبقى خاضعة للقوانين الأساسية للفيزياء. فعلى سبيل المثال، إذا كانت نظرية النســـبية صحيحـــة فـــي استنتاجها القائل إنه مامن جسم مادي يمكن أن يتجاوز سرعة الضوء، عندئذٍ سوف يفشل الجهد التكنولوجي، حتى وإن كان عمره ترليون سنة، في كسر حاجز الضوء. والأكـــثر خطورة، هو أنه إذا كان كل نشاط مهم يقتضي، على الأقل، اســـتهلاك بعـــض الطاقـــة، عندئذٍ، سوف يشكل استمرار استنزاف مصادر الطاقة الحرة المتاحة في الكون في النهاية تهديداً خطيراً للمجتمع التقني مهما كان تقدمه.

بتطبيق المبادىء الفيزيائية الأساسية على أوسع تعريف للكائنات الواعية، يمكـــن أن نبحث فيما إذا كان انهيار الكون في المستقبل البعيد يعرض أية عقبات أساسية حقاً فـــي سبيل البقاء. ولكي يكون كائن أهلاً لوصف 'واعٍ' فإنه يجب أن يكـــون قـــادراً علـــى معالجة المعلومات. فالتفكير والممارسة كلاهما نموذجـــان لنشـــاطات تســـتلزم معالجـــة للمعلومات. وبالتالي، ماالمطالب التي يفرضها هذا على الحالة الفيزيائية للكون؟

واحد من الملامح المميزة لمعالجة المعلومات هو تبديد الطاقة. وهذا هو السبب الـــذي يقضي بربط كلمة المعالِج الذي أطبع عليه هذا الكتاب بالإمداد الرئيسي للكهرباء. وتعتمد كمية الطاقة المستهلكة في كل بايت Bit من المعلومات على اعتبارات دينمية حراريـــة. فيتضاءل التبديد عندما يعمل المعالج بدرجة حرارة قريبة من درجة حـــرارة محيطـــه. ويعمل الدماغ الإنساني ومعظم الحاسبات على نحو غير فعال تماماً، فتتبدد كميات وفـيرة من الطاقة الزائدة على شكل حرارة. فعلى سبيل المثال، ينتج الدماغ جزءاً ضخمـــاً مـــن حرارة الجسم، وتحتاج كثير من الحاسبات إلى مجموعة تـــبريد خاصـــة لمنعـــها مـــن الانصهار. ويمكن تتبع منشأ هذه الحرارة المهدورة إلى المنطق ذاته الذي تعمل بموجبـــه معالجة المعلومات، والذي يحتم نبذ المعلومات. فعلى سبيل المثال، إذا أنجـــزت حاســـبة العملية الحسابية: 1 + 2 = 3، عندئذٍ، يُستبدَل بايتيْن من معلومات الدخل (1 و 2) ببايت واحد من معلومات الخرج (3). وعندما تُنجَز العملية الحسابية، فإن الحاســـبة قـــد تنبـــذ معلومات الدخل، وبالتالي، تستبدل بايتين ببايت واحـــد. وبـــالفعل، فإنـــها لكـــي تمنـــع مجموعات ذواكرها من الانسداد، يجب على الآلة أن تطـــرح هـــذه المعلومـــات غـــير الجوهرية في كل وقت. وعملية المحو، بالتعريف، غير عكوسة، ولذلك تقتضي زيادة في

الاعتلاج Entropy. وهكذا، يبدو أن جمع ومعالجة المعلومات، على أرضيات أساسية جداً، سيستنزف حتماً، وبصورة لاعكوسة، الطاقة الموجودة ويرفع اعتلاج الكون.

فكر فريمان دايسون ملياً بالحدود التي يواجهها مجتمع الكائنات الواعية-المقيد 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 محيطها، وإلا فإن الحرارة المهدورة لن تتدفق منها. ثانياً، تحدد قوانين الفيزياء السرعة التي يمكن عندها لمنظومة فيزيائية أن تشع طاقة إلى محيطها. ومن الواضح أنه لايمكن للأحياء أن يشتغلوا لمدة طويلة إذا لم ينتجوا حرارة مهدورة بسرعة أكبر من سرعة تخلصهم منها.هذه الشروط تضع حداً أدنى على السرعة التي يبدد فيها الأحياء الطاقة بصورة حتمية. والشرط الأساسي هو أن يكون هناك مصدر لطاقة حرة يزود هذا الدفق الحراري الحيوي بالوقود. ويخلص دايسون إلى أن كافة هذه المصادر مقدر لها أن تتضاءل في المستقبل الكوني البعيد، حتى أن كافة الكائنات الواعية ستواجه في النهاية أزمة طاقة.

والآن، هناك وسيلتان 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 ومعارف الكائن في وحدة الزمن، وينقضي الزمن، كما يبدو، بسرعة أكبر. يستخدم هذا الافتراض بطريقة مسلية في رواية الخيال العلمي، *بيضة التنين*، لمؤلفها روبرت فوروورد، التي تحكي قصة مجتمع من كائنات واعية تعيش على سطح نجم نيوتروني. وتستخدم هذه الكائنات العمليات النووية بدلاً من الكيميائية لتعزيز وجودها. وبما أن التفاعلات النووية أسرع بآلاف المرات من التفاعلات الكيميائية، فإن الكائنات النيوترونية تعالج المعلومات بسرعة أكبر بكثير. فالثانية الواحدة بالمقياس الإنساني تساوي عدة سنوات عندهم. ومجتمع النجم النيوتروني بدائي تقريباً عندما يحتك لأول مرة مع بني البشر، ولكنه يتطور بالدقيقة وسرعان مايدركهم.

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 أياً كان الشكل الفيزيائي الذي يمكن أن يختاروه. ولكن المسألة ليست بالضرورة هكذا. فقد أظهر دايسون أنه يمكن أن تكون هناك تسوية بارعة، يقوم المجتمع بموجبها بإبطاء سرعة نشاطه تدريجياً لكي تتلاءم مع تضاؤل نشاط الكون-لنقل مثلاً، الدخول في سبات لمُدَدٍ من الزمن تزداد دائماً. وخلال كل طور منوّم، يجب أن يُسمَح للحرارة من محاولات الطور النشيط السابق بالتبدد وللطاقة المفيدة بالتراكم، وذلك من أجل الاستخدام في الطور النشيط التالي.

سيمثل الزمن الذاتي الذي تخبُرُه الكائنات الحية التي تتبنى هذه الاستراتيجية جزءاً أصغر فأصغر من الزمن الحقيقي المنقضي، لأن وقت توقف المجتمع يكون دائماً أطول. ولكنني أعود إلى القول إن 'إلى الأبد' زمن طويل، وعلينا أن نتعامل مع الحدود المتعارضة: تميل الموارد إلى الصفر ويميل الزمن إلى اللاتناهي. وبيّن دايسون، من فحص بسيط لهذه الحدود، أن إجمالي الزمن الذاتي يمكن أن يكون لامتناهياً حتى وإن كان إجمالي الموارد متناهياً. ويستشهد بإحصائية مدهشة: يمكن لمجتمع من كائنات حية بالمستوى نفسه لعدد السكان، كالمجتمع البشري اليوم، أن يبقى إلى الأبد، حرفياً، إذا استخدم طاقة إجمالية مقدارها $6 \times 10^{30}$ جول، وهذا الرقم يعادل نتاج الشمس لفترة ثمان ساعات فقط.

ولكن الخلود الحقيقي يتطلب أكثر من القدرة على معالجة كمية لامحدودة من المعلومات. فإذا كان عند كائن ما عدد محدود من حالات الدماغ، فإنه يمكن أن يفكر فقط بعدد محدود من الأفكار المختلفة. ولو بقي إلى الأبد، فإن هذا يعني أن الأفكار نفسها يجب التفكير بها مراراً. وجود كهذا يبدو تافهاً كوجود نوع محكوم عليه بالهلاك. وللإفلات من هذا الزقاق المسدود، يصبح من الضروري بالنسبة للمجتمع-أو لكائن وحيد فائق-أن يواصل النماء بدون حد. وهذا يطرح تحدياً شديداً في المستقبل البعيد بالذات، لأن المادة سوف تتبخر بصورة أسرع من إمكانية مصادرتها كمادة دماغية. وربما سيحاول شخص متهور أو بارع استخدام النيوترينووات الكونية المراوغة إنما الموجودة دائماً لتوسيع مدى نشاطه العقلي.

يفترض دايسون ضمناً في معظم دراسة -يدور معظم تفكيره، في الواقع، حول مصير الكائنات الواعية في المستقبل البعيد-أن العمليات العقلية لهذه الكائنات تُختَصَر

دائماً إلى نوع من عملية حوسبة رقمية. ولا شك أن حاسبة رقمية هي آلة لحالة محدودة، ولذلك تواجه حداً دقيقاً حول مايمكن أن تنجزه. ولكن، هناك أنواع أخرى من الأجـــهزة، تعرف باسم الحاسبات بالقياس. ونموذجها البسيط هو المســـطرة (الحاســبة) المنزلقــة. ويمكن إجراء الحسابات بتعديل المسطرة باستمرار، وفي حالة مثالية، يمكـــن أن يكـــون هناك عدد لامحدود من الحالات. وبالتالي، فإن الحاسبات بالقياس تفوّت بعض تحديدات الحاسبات الرقمية، التي يمكن أن تختزن وتعالج فقط كمية محدودة من المعلومات. إذا تـم تشفير المعلومات على غرار حاسبة بالقياس-مثلاً، من خلال أوضاع أجســـام ماديـــة أو زواياها -فإن قدرة الحاسبة تبدو غير محدودة. وهكذا، إذا تمكن كائن متفوق أن يشـــتغل كحاسبة بالقياس، فلربما يصبح بإمكانه أن يفكر ليس بعدد لامحدود من الأفكار ولكن بعدد لامحدود من مختلف أفكار.

ومن سوء الحظ أننا لانعرف ماإذا كان الكون ككل يعمل كحاسبة بالقياس أو كحاســبة رقمية. وترى فيزياء الكمّ أن الكون نفسه لابد أن يكون 'مُكَمّىً'*-أي، مبيتة فـــي كافـــة خواصه وثبات منفصلة أكثر منها اختلافات متواصلة. ولكن هذا مجرد حدس. كما أننـــا لانفهم حقاً العلاقة بين النشاط الدماغي الفكري والفيزيائي؛ فربما لايمكن ببســـاطة ربـــط الأفكار والخبرات بفيزياء الكم التي ندرسها هنا.

وأياً كانت طبيعة العقل، فلا شك أن كائنات حية ستواجه، في المستقبل البعيد، الأزمـــة البيئية النهائية: التبديد الكوني لكافة مصادر الطاقة. ومع ذلـــك، يبـــدو أنـــه بـــــ 'التغلب عليها' يمكن لتلك الكائنات أن تكتسب نوعاً مـــن الخلـــود. وســـيتضاءل تـــأثير نشاطاتها على الكون شيئاً فشيئاً في سيناريو دايسون الذي لايكـــترث كثـــيراً لحاجاتـــها، وتبقى على مدى دهور لاتحصى خاملة، تجتر ذكرياتها بدون أن تضيـــف إليـــها شـــيئاً، بالكاد يتعكر هدوء الظلمة في كون محتضر. وعن طريق تنظيم حاذق، يبقى بإمكان تلـــك الكائنات أن تفكر بعدد غير محدود من الأفكار وتخبُر عدداً غير محدود من التجـــارب. فإلى ماذا يمكن أن نتطلع أكثر من ذلك؟

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

---

*-أي، موجود بشكل مضاعفات لكم ثابت-المترجم.

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

في الواقع، قد لاتكون الأمور بمثل تلك الحالة من السوء التي يصفها سيناريو دايسون. كنت، حتى الآن، أفترض أن الكون يبقى منتظماً تقريباً عندما يتوسع ويبرد، ولكن هذا الافتراض قد لايكون صحيحاً. فالجاذبية هي مصدر العديد من اضطرابات التوازن الكوني، والانتظام الكوني الواسع النطاق الذي نشهده اليوم يمكن أن يحل محله تنظيم أكثر تعقيداً في المستقبل البعيد. فعلى سبيل المثال، يمكن أن تتضخم الاختلافات الطفيفة في سرعة التوسع في مختلف الاتجاهات. وقد تتجمع الثقوب السوداء الضخمة مع بعضها بعضاً عندما يتغلب جذبها المتبادل على التأثير المشتت للتوسع الكوني. ستؤدي هذه الحالة إلى منافسة غريبة: لنتذكر أنه كلما كان الثقب الأسود أصغر، كانت حرارته أشد وتبخره أسرع. فإذا التحم ثقبان، فإن الثقب النهائي سيكون أكبر، وبالتالي أكثر برودة، وتلاقي عملية التبخر عقبة رئيسية. والسؤال الرئيسي، فيما يتعلق بالمستقبل البعيد للكون، هو ماإذا كانت سرعة اندماج الثقوب السوداء كافية لمجاراة سرعة التبخر. فإذا كانت كذلك، عندئذٍ، ستكون هناك دائماً ثقوب سوداء يمكن أن تؤمّن، بواسطة الطاقة التي تحملها من أشعة هوكنغ، مصدراً من الطاقة المفيدة لمجتمع خبير تقنياً، ربما يلغي الحاجة للإسبات. تشير الحسابات التي أجراها الفيزيائيان دون بيج وراندول ماك-كي إلى أن هذه المنافسة مسألة على كف عفريت وتعتمد، بشكل حاسم، على السرعة الدقيقة التي بها يتواصل انخفاض توسع 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 تبلر الوسائل التي بها يمكن لمجتمع متقدم تقنياً أن يُدخِلَ بعض التعديلات الطفيفة على حركات النجوم لتدبير تنظيم تجاذبي خاص لمصلحتهم. فعلى سبيل المثال، يمكن استخدام أسلحة نووية لتشويش مدار أحد الكويكبات-مثلاً، تكفي بحيث يتلقى دفعة من كوكب ما ويمضي ليصطدم بالشمس. يعمل زخم ذلك الاصطدام 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 للزحزحة أن تسبب اختلافاً خطيراً إذا اقتربت الشمس من نجم آخر، حيث تتبدل مجرد مواجهة ضئيلة إلى مواجهة تعدّل بشكل عنيف مسار الشمس عبر المجرة. وعن طريق معالجة عدد من النجوم بهذه الطريقة، يمكن تكوين عناقيد الأجسام الفلكية واستخدامها لفائدة المجتمع. وبما أن هذه التأثيرات تتضخم وتتراكم، فإنه لاحدود 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 وقتٌ كافٍ-يمكن تحريك حتى جميع المجرات.

هذه الهندسة الكونية المتكلفة لابد أن تتنافس مع الحوادث الطبيعية العشوائية التي فيها تندفع النجوم والمجرات خارج العناقيد المقيدة ثقالياً، كما وصفنا في الفصل السابع. وقد وجد باراو و تبلر 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 للأجسام. وعند الحديث عن كامل المجرات، فإن هذه السرعات تهبط مع توسع الكون. والسرعات الأكثر بطئاً أيضاً تجعل المعالجة الاصطناعة أكثر بطئاً، ولكن التأثيرين لاينقصان بالسرعة نفسها. وبمرور الزمن، يبدو أن سرعة التمزق الطبيعي يمكن أن تهبط إلى أقل من السرعة التي فيها يمكن لجماعة من المهندسين إعادة 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 النقص، 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 دينمياً حرارياً أصغرياً. ومن المدهش ألا يكون هذا صحيحاً تماماً. فقد أثبت عالما الحاسبات تشارلز بِنِت و رولف لانداوَر، 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 (مايزال هذا مجرد افتراض ). يمكن للمرء أن يتخيل منظومة تفكر بعدد غير محدود من الأفكار بدون الحاجة إلى أي نوع من الإمداد بالطاقة! وليس واضحاً ماإذا 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 بآخر، وإن يكن لمجرد تمييز الإشارة من التشويش. ولذلك، فإن هذا الكائن غير الملحاح قد لايدرك العالم من حوله. ولكنه يمكن أن يتذكر الكون الذي كان. وربما يمكنه أن يحلم أيضاً.

استحوذت صورة كون يحتضر على تفكير العلماء على مدى قرن من الزمن. والافتراض بأننا نعيش في كون ينحط باضطراد من خلال التبذير الاعتلاجي هو جزء من فولكلور الثقافة العلمية. ولكن مامدى ثبوت هذا الافتراض؟ وهل يمكن أن نتأكد 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 الداروينى؟ وأظن أن رد فعلهم ينشأ من تناقض مزعج لعملية بنائية بشكل واضح تديرها قوى فيزيائية يفترض أن تكون تدميرية في أدنى مستوى لها. ربما بدأت الحياة على سطح الأرض على شكل نوع ما من طين بدائي. والغلاف الحيوي اليوم نظام بيئي غني ومعقد، إنه شبكة من المتعضيات المعقدة بشكل متقن والمتنوعة إلى درجة رفيعة في تفاعل دقيق. ومع أن البيولوجيين يرفضون، ربما خوفاً من معنى ضمني لغرض ديني، أي دليل علىالتقدم 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. وتتمثل المشكلة في أن نميز أن التقدم أكثر حدة. وعلى وجه الدقة، ما الذي تقدم؟

تركزت المناقشات السابقة بخصوص البقيا على الكفاح بين المعلومات (أو النظام) والاعتلاج-وبالاعتلاج دائماً يتحقق الانتصار. ولكن هل المعلومات بحد ذاتها هي الكمية التي يجب أن نهتم بها؟ ومع ذلك، إن الخوض منهجياً خلال الأفكار مثير كقراءة دليل الهاتف. ولا ريب في أن المهم هو نوعية الخبرة-أو، على نحو أكثر تعميماً، نوعية المعلومات التي تُجمَع ويستفاد منها.

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

في الواقع، ليس هناك تناقض، لأن التعقيد المنظم يختلف عن الاعتلاج. فالاعتلاج، أو الاضطراب، هو سلبية المعلومات، أو النظام: كلما كانت المعلومات التي نعالجها أكثر- أي، أن نولّد المزيد من النظام-كان الثمن الاعتلاجي الذي ندفعه أكبر: والنظام هنا يسبب الاضطراب في مكان آخر. هذا هو القانون الثاني؛ الاعتلاج هو الرابح دائماً. ولكن التنظيم والتعقيد ليسا مجرد نظام ومعلومات. بل يشيران إلى نماذج معينة من النظام والمعلومات. فنحن نميز اختلافاً هاماً بين الجرثوم والبلّورة، مثلاً. كلاهما منظم، إنما بطريقة مختلفة. فنسق بلّوري يمثل انتظاماً منظماً بدقة-جميل إلى حد صارخ ولكنه ممل أساساً. وعلى العكس، إن التعضية المنظمة بدقة لجرثوم ما ممتعة جداً.

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

اقترحت، في كتابي *التصميم الكوني*، أن نوعاً من 'قانون التعقيد المتزايد' يعمل في الكون بموازاة القانون الثاني للدينميات الحرارية. وليس هناك تضارب بين هذين القانونين. فمن حيث المبدأ، إن زيادة في التعقيد التنظيمي لمنظومة فيزيائية يزيد الاعتلاج. في التطور البيولوجي، مثلاً، ينشأ متعضٍّ جديد أكثر تعقيداً فقط بعد حدوث عدد كبير من العمليات التدميرية، الفيزيائية والبيولوجية (الموت المبتسر للطوافر السيئة التكيف، مثلاً). حتى تشكيل كسفة ثلجية يسبب هدراً للحرارة وهذا بدوره يزيد اعتلاج الكون. ولكن التناوب غير مباشر، كما ذكرت، لأن التنظيم ليس نقيض الاعتلاج.

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

في إطار نهاية الكون، ينطوي وجود قانون للتعقيد المتزايد على مغزىً عميق. فإذا لم يكن التعقيد المنظم نقيضاً للاعتلاج، عندئذٍ لايحتاج المخزون المحدود من الطاقة السلبية في الكون إلى وضع باوند واحد على مستوى التعقيد. والثمن 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 تقيدهم كمية المعلومات التي يعالجونها، إلا أنه قد لايكون هناك حد لغنى وجودة نشاطاتهم العقلية والفيزيائية. حاولت، في هذا الفصل والفصل السابق، أن أقدم لمحة لكون يتباطأ ولكن ربما لن يخلو من الطاقة تماماً، ولا من مخلوقات الخيال العلمي التي تحتال على العيش بوجود شذوذات تتكدس دائماً ضدها، وتجرب عبقريتها ضد المنطق العنيد للقانون الثاني للديناميات الحرارية. إن صورة كفاحها اليائس إنما ليس العبثي بالضرورة في سبيل البقاء يبعث البهجة في نفوس بعض القراء والكآبة في نفوس آخرين. أما أنا، فمشاعري خليط من بهجة وكآبة.

ولكن التخمين بالكامل قائم على افتراض أن الكون سيواصل توسعه إلى الأبد. وكنا رأينا كيف أن هذا مصير واحد فقط محتمل للكون. فإذا تباطأ التوسع بسرعة كافية، فإن الكون قد يتوقف يوماً ما عن التوسع ويبدأ بالانكماش نحو الانسحاق الكبير. وأي أمل في البقاء سيكون عندئذٍ؟!

# الفصل التاسع

## الحياة في ممر سريع

مامن مقدار من العبقرية الإنسانية أو الغريبة يمكن أن يطيل الحياة إلى الأبد مالم يكن هناك 'أبد.' وإذا كان أمد وجود الكون متناهياً فقط ، فإنه لايمكن تفادي الهَرْمَجَدّون*. 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 التوسع السرمدي والانهيار النهائي. فإذا كان الكون سيبدأ بالانكماش أخيراً، فإن خبرة أية كائنات واعية ستختلف، في الواقع، كثيراً عن الوصف الذي قدمناه في الفصل السابق.

المراحل الأولى من الانكماش الكوني لن تكون مهدِّدة على الإطلاق. فالكون سيبدأ انهياره نحو الداخل ببطء شديد، كالكرة التي تصل إلى أوج مسارها. تعالوا نتصور لحظة أنه تم الوصول إلى النقطة العليا في زمن قدره مئة بليون سنة: آنئذٍ سيكون هناك مقدار كبير من النجوم التي ماتزال تحترق، وسيكون بمقدور أحفادنا متابعة حركات المجرات بمناظير بصرية-يراقبون العناقيد المجرّيّة وهي تتباطأ تدريجياً في انسحابها ثم تبدأ بالتراجع نحو بعضها بعضاً. والمجرات التي نراها اليوم ستكون، في ذلك الوقت، أبعد بأربع مرات. وبما أن الكون سيكون أكبر عمراً، فإنه سيكون بإمكان الفلكيين أن يروا إلى بعد يتجاوز مانراه اليوم بعشر مرات، وبالتالي، فإنهم سيتمكنون 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 بليون سنة من الآن لن يروا الانكماش لمدة طويلة جداً من الزمن. وسوف يلاحظون أولاً أن المجرات القريبة نسبياً تقترب غالباً أكثر مما تتراجع، ولكن الضوء من المجرات البعيدة سيحتفظ بمظهر طيف الزحزحة الحمراء. ولن يظهر تدفق منهجي قبل مرور عشرات البلايين من السنين. وبسهولة أكبر، سيكون ممكناً تمييز التبدل الدقيق في

---

* -المعركة التي ستجري 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 ثلاث درجات فوق الصفر المطلق، أو $3^0$ كلفن. ويبرد مع تمدد الكون. وستهبط حرارته، في مئة بليون سنة، إلى حوالي $1^0$ كلفن. وسوف تستقر درجة الحرارة عند أعلى نقطة للتوسع، وحالما يبدأ الانكماش، فإنها سوف تبدأ بالارتفاع من جديد، رجوعاً إلى $3^0$ كلفن عندما يتقلص الكون إلى كثافته اليوم. وسوف يستغرق هذا مئة بليون سنة أخرى: نشوء الكون وانهياره متماثلان تقريباً في الزمن.

لاينهار الكون ببساطة بين عشية وضحاها. في الواقع، سيتمكن أحفادنا من كسب عيشهم على مدى عشرات البلايين من السنين، حتى بعد أن يبدأ الانكماش. ولكن الحالة لن تكون مشرقة تماماً، إذا حدث التحول بعد أمد أطول بكثير–ترليون ترليون سنة، مثلاً. في هذه الحالة، ستكون النجوم قد احترقت قبل بلوغ النقطة العليا، وسيواجه السكان الباقون على قيد الحياة جميعهم العديد من المشكلات نفسها التي تُواجَه في كون يتوسع 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 بليون سنة، سيكون هناك عدد أكبر من الثقوب السوداء وعدد أقل من النجوم مما هي عليه الحال اليوم. وستكون الكواكب الصالحة للسكنى أعلى قيمة.

في الوقت الذي يعود فيه الكون إلى حجمه الحالي، ستكون سرعة انكماشه كبيرة، وتنشطر أبعاده نصفياً في حوالي ثلاثة بلايين ونصف البليون سنة وينسارع 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 $300^0$ كلفن، فإن كوكباً كالأرض سيجرد نفسه بصعوبة من الحرارة. سيبدأ بالتسخن بشكل لايلين. فتذوب، أولاً، كافة الطبقات أو الأنهار الجليدية، وبعدئذٍ، تبدأ المحيطات بالتبخر.

وبعد أربعين مليون سنة، ستصل درجة حرارة الإشعاع الخلفي إلى معدل درجة حرارة الأرض اليوم. وعندئذٍ، ستكون الكواكب الشبيهة بالأرض قاحلة تماماً. طبعاً، ستكون الأرض قد واجهت قبلاً مصيراً كهذا، لأن الشمس ستكون توسعت لتصبح

عملاقاً أحمر، ولكن أحفادنا الآن لايجدون مكاناً آخر يذهبون إليه، ليس هناك من ملجأ آمن. فالإشعاع الحراري يملأ الكون. وستكون حرارة كامل الفضاء 30° مئوية وترتفع باضطراد. وسيلاحظ كافة الفلكيين الذين كانوا قد تكيفوا مع الظروف المتّقدة، أو كوّنوا أنظمة بيئية مبرّدة لتأخير عملية طبخهم، أن الكون ينهار الآن بسرعة محمومة، منشطراً حجماً إلى نصفين كل بضعة ملايين من السنين. وكافة المجرات التي مازالت موجودة لم يعد بالإمكان تمييزها، لأنها تكون قد اندمجت الآن. ومع ذلك، سيكون مازال هناك قدر كبير من الفضاء الفارغ: الاصطدام بين نجوم مستقلة سيكون نادراً.

عندما يقترب الكون من طوره النهائي ستزداد ظروفه تشابهاً مع الظروف التي سادت بعد الانفجار الكبير بفترة قصيرة. فقد أنجز الفلكي مارتن ريس دراسة لانهيار الكون أساسها الإيمان بالأُخرويات. واستطاع، بتطبيق المبادىء الفيزيائية العامة، أن يركّب صورة للمراحل النهائية للانهيار. في نهاية الأمر، سيصبح الإشعاع الحراري للكون شديداً جداً إلى الحد الذي تتوهج معه سماء الليل بحمرة باهتة. سيحوّل الكون نفسه ببطء إلى فرن كوني يشمل كل شيء، فيشوي كافة أشكال الحياة الهشة حيثما اختبأت، ويزيل الأغلفة الكوكبية. وبصورة تدريجية، يتحول التوهج الأحمر إلى أصفر، فأبيض، حتى يهدد الإشعاعُ الحراري العنيف الذي يحمم الكون وجودَ النجوم بالذات. وبما أن النجوم لن تستطيع أن تشع حرارتها إلى الخارج، فإنا سوف تشكل حرارة داخلية ثم تنفجر. وسيمتلىء الفضاء بغاز حار-بلازما-يتوهج بقوة وتتزايد حرارته بمرور الوقت.

عندما تتزايد سرعة التغيير، تصبح الظروف أكثر قسوة. فيبدأ الكون بالتبدل بشكل محسوس بمدى زمني يصل فقط إلى مئة ألف سنة، فألفٍ، فمئة، متسارعاً نحو كارثة شاملة. ترتفع درجة الحرارة إلى ملايين، فبلايين الدرجات. فتنضغط المادة التي تشغل مناطق واسعة من الفراغ اليوم إلى حجوم صغيرة جداً. وتشغل كتلة المجرة فراغاً لايتجاوز عرضه بضع سنوات ضوئية. لقد حانت الدقائق الثلاث الأخيرة.

تصبح درجة الحرارة، في آخر الأمر، كبيرة جداً إلى حد تتفتت معه حتى النوى الذرية. وتتفكك المادة إلى سحاب منتظم من جسيمات أولية. عمل الانفجار الكبير، وعمل أجيال من النجوم في تكوين عناصر كيميائية ثقيلة، لم يُنجَز في وقت أقل من الوقت الذي تستغرقه قراءة هذه الصفحة. فالنوى الذرية-بنىً مستقرة كان يمكن أن تصمد على مدى ترليونات من السنين-تتحطم بصورة لاعكوسة. وكافة البنى الأخرى، باستثناء الثقوب

السوداء، كانت قد سُفِعَت، منذ زمن طويل، إلى اللاوجود. ويتمتع الكون الآن ببساطة أنيقة ولكنها مشؤومة. ولم يتبق أمام الحياة سوى ثوانٍ.

عندما يتسارع انهيار الكون ويتسارع، ترتفع درجة الحرارة بدون حد معروف، لسرعة التصاعد. فتنضغط المادة بقوة كبيرة إلى درجة تختفي معها البروتونات والنيوترونات المستقلة من الوجود؛ ولا يبقى سوى سحاب الموت. ويستمر تسارع الانهيار.

هنا، يتم إعداد المسرح للكارثة الكونية النهائية، التي ستنزل بعد بضعة أجزاء من مليون من الثانية. تبدأ الثقوب 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 والتحمت بواسطة بقية الكون.

في اللحظات الأخيرة، تسيطر قوة الجاذبية بصورة شاملة، فتسحق، بدون رحمة، المادة والمكان. وتزداد باستمرار سرعة انحناء الزمان المكاني. فتنضغط النواحي الأكبر والأكبر للمكان إلى حجوم أصغر وأصغر. ووفقاً للنظرية التقليدية، يصبح الانفجار الداخلي قوي إلى مالا نهاية، فيمحق المادة تماماً من الوجود ويزيل كل شيء فيزيائي، بما في ذلك المكان والزمان بالذات، عند شذوذ 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 لامعنى أن نسأل عما يحدث بعد ذلك، تماماً كما هو بدون معنى سؤالنا عما حدث قبل الانفجار الكبير. ليس هناك 'بَعْد' إطلاقاً بالنسبة لأي شيء يحدث–لازمن حتى بالنسبة للافعالية 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 لايشكل ولو ذكرى.

أينبغي لنا أن نكتئب لمثل هذا التوقع؟ أيهما أكثر سوءاً: كون يتنكس ببطء ويتوسع إلى الأبد نحو حالة من الفراغ المظلم، أو كون ينفجر داخلياً إلى نسيان محموم؟ وأي أمل في الخلود الآن، في كون قُدِّر له أن يُستنفَذ زمنه؟

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

تنقضي بلايين أو تريليونات السنين قبل أن يستعد أحفادنا للمحرقة النهائية. وخلال هـــذا الزمن، يمكن أن تتوسع الحياة إلى كل مكان في الكون. وفي أبسط نموذج لكون ينـــهار، فإن الحجم الإجمالي للمكان محدود في الواقع. يحدث هذا لأن المكان ينحني ويمكـــن أن يتصل بنفسه في المكافئ الثلاثي الأبعاد لسطح الكرة. ولهذا، يمكن تصوُّر أن الكائنـــات العاقلة يمكن أن تنتشر في كل مكان من الكون وتسيطر عليه، وبالتالي، تتخذ مواضع لـها لمواجهة الانسحاق الكبير بكافة الوسائل الممكنة المتاحة لهم.

في بادىء الأمر، يصعب أن ندرك لماذا يجب أن يزعجوا أنفسهم. فمع التسليم بـــأن الوجود بعد الانسحاق الكبير أمر مستحيل، فما الهدف من إطالة أمد الكرب لفترة قصـيرة فقط؟ فالإبادة سيان، سواء كانت قبل النهاية بعشرة ملايين أو مليون سنة في كون عمـــره تريليونات السنين. ولكن، يجب ألا ننسى أن ذلك الزمن نسبي. والزمن الذاتـــي لأحفادنـــا سوف يعتمد على سرعة استقلابهم ومعالجتهم للمعلومات. ومن جديد نقول: إذا افترضنـــا أنه سيكون لديهم المزيد من الوقت لتكييف شكلهم الفيزيائي، فإنهم قد يتمكنوا من تحويـــل مجاز الجحيم إلى نموذج للخلود.

يعني ارتفاع درجات الحرارة أن الجسيمات تتحرك بسرعة أكبر والعمليات الفيزيائيـــة تحدث بصورة أسرع. ولنتذكر أن الشرط الأساسي للكائن الواعي هو أن يكـــون قـــادراً على معالجة المعلومات. وفي كون تتصاعد درجة حرارته، سوف تتسارع فيـــه أيضـــاً معالجة المعلومات. والكائن الذي يستخدم العمليات الدينمية الحرارية عند بليون درجـــة، سيبدو له زوال الكون على بعد سنوات فقط. لا حاجة للخوف من انتهاء الزمن إذا كـــان يمكن للزمن المتبقي أن يمتد إلى مالا نهاية في عقول المراقبين. مثلما يتســـارع انـــهيار الكون نحو الانسحاق النهائي، كذلك يمكن، من حيث المبدأ، أن تتوسع بسرعة أكبر مـــن أي وقت الخبرات الذاتية للمراقبين، بما يلائم الاندفاع إلى المعركة الفاصلة مع تصـــاعد سرعة التفكير. ومع التسليم بكفاية الموارد، فإن هذه الكائنات ستكون ببساطة قادرة علـــى ابتياع الوقت.

قد يتساءل أحدهم عما إذا كان يمكن لكائن متفوق يقوم بتثبيط انهيار الكون في لحظاته الأخيرة أن يحمل عدداً غير محدود من الأفكار والخبرات المميزة في الزمـــن المحـــدود المتاح. وقد قام بدراسة هذه المسألة جون باراو وفرانك تبلر. ويعتمد الجواب، بصـــورة حاسمة، على التفاصيل الفيزيائية للمراحل النهائية. فعلى سبيل المثال، إذا بقـــي الكـــون

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

ولتفادي هذا التقييد، يصبح من الضروري، بالنسبة للمراحل النهائية للانهيار الكوني، أن تنحرف عن الانتظام-في الواقع، إن هذا الاحتمال مرجح جداً. وتشير البحوث الرياضية المكثفة للانهيار الثقالي إلى أنه عندما ينفجر الكون، فإن سرعة الانهيار سوف تتفاوت في مختلف الاتجاهات. ومن الغريب أن مادة الكون ليست هي التي تنكمش في اتجاه بسرعة أكبر منها في اتجاه آخر. وما يحدث هو أن الذبذبات تبدأ، بحيث يثابر اتجاه سرعة الانهيار على تبدله. وفي الواقع، إن الكون يسير مترنحاً في طريقه نحو الاندثار في دورات تزداد عنفاً وتعقيداً باضطراد. يظن باراو وتبلر أن هذه الذبذبات المعقدة تسبب اختفاء أفق الحوادث أولاً في هذا الاتجاه ثم في ذاك الاتجاه، مما يساعد على استمرار التماس بين كافة نواحي الفضاء. إن أي دماغ 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 مجاراة ذلك، فإن الذبذبات نفسها يمكن أن تؤمّن الطاقة الضرورية لتشغيل العمليات الفكرية. علاوة على ذلك، يبدو أن هناك في النماذج الرياضية البسيطة عدداً لامتناهياً من الذبذبات في أمد متناه ينقضي في الانسحاق الكبير. ومن هنا، يوفر هذا للكائن المتفوق، حسب الفرضية، وقتاً ذاتياً لامتناهياً لمعالجة مقدار لامتناه من المعلومات. وهكذا، فإن العالم العقلي قد لاينتهي أبداً، مع أن العالم الفيزيائي ينتهي إلى توقف مفاجيء في الانسحاق الكبير.

ماالذي يمكن أن يفعله دماغ يتمتع بقدرة غير محدودة؟ لن يكون قادراً فقط، كما يقول تبلر، على التفكير بكافة نواحي وجوده الخاص ووجود الكون الذي أحدق به، ولكن يمكنه، بما يتمتع به من قدرة غير محدودة لمعالجة المعلومات، أن يواصل محاكاة العوالم الخيالية في الاستغراق في نشاط محموم لواقع افتراضي. ولن يكون هناك حد لعدد الأكوان الممكنة التي يمكن تذويتها بهذه الطريقة. والدقائق الثلاث الأخيرة لن تمتد وحدها إلى الأبدية ولكنها ستسمح بالامتداد أيضاً للواقع المحاكى لعدد لانهائي من النشاط الكوني.

ومن سوء الحظ أن هذه التأملات (الجامحة إلى حد ما) تعتمد على نماذج فيزيائية خاصة جداً، وقد يثبت في النهاية أنها غير واقعية إجمالاً. وتتجاهل أيضاً التأثيرات الكمية التي ربما تسود في المراحل النهائية للانهيار الثقالي-تأثيرات قد تضع حداً نهائياً لسوعة 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 بفنائيته.

# الفصل العاشر

## موت مفاجىء
## و
## ولادة جديـــــدة

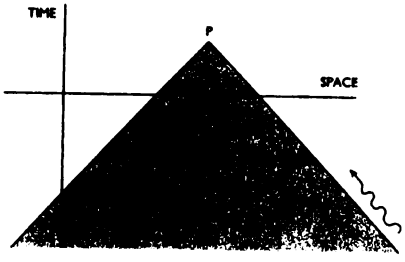
افترضت، حتى الآن، أن نهاية الكون، سواء بانفجار أو نشيج (أو بمعنى أكثر دقـــة، بانسحاق أو تجمد شديد)، تبدأ في المستقبل البعيد جداً، وربمـــا اللامتنـــاهي. إذا انـــهار الكون، فإنه سيكون لدى أحفادنا إنذار أمده عدة بلايين من الســـنين بالانســـحاق القـــادم. ويبقى هناك إنذار يتمتع بإمكانية إخطارية أكبر.

فكما بينت سابقاً، عندما يُنعِم الفلكيون النظر إلى السماء، فإنهم لايرون الكـــون فـــي حالته الحاضرة، التي تبدو كلقطة فوتوغرافية لحظية. وبسبب الزمـــن الـــذي يســـتغرقه الضوء للوصول إلينا من المناطق البعيدة، فإننا نرى أي جسم معلوم في الفضـــاء كمـــا كان عندما صدر الضوء عنه. والتلسكوب هو أيضاً تايمسكوب. فكلما كان موقع الجســـم بعيداً، كانت الصورة التي نراها اليوم أبعد زمنياً في الماضي. كَوْن الفلكيين، في الواقـــع، شريحة معكوسة عبر الزمان والمكان، ، تُعرَف تقنياً بـــ 'مخروط الضـــوء المـــاضي،' (انظر الصورة 10–1).

وفقاً لنظرية النسبية، فإنه لايمكن لمعلومات أو تأثير فيزيائي أن ينتقل بسرعة أكـــبر من سرعة الضوء. ولهذا، فإن مخروط الضوء الماضي لايسم فقط حد كل معرفة حـــول الكون ولكن كل الحوادث التي يمكن أن تؤثر علينا في هذه اللحظة. ويترتب على ذلـــك أن التأثير الفيزيائي الذي يطالنا بسرعة الضوء فإنما يطالنا بدون تحذير مهما كـــان. وإذا كانت كارثة ما تقود طريقنا إلى مخروط الضوء الماضي، فإنه لن يكـــون هنـــاك نذيـــر بالهلاك. ونعرف به لأول مرة عندما ينزل بنا.

ونقدم مثلاً افتراضياً بسيطاً: لو قَدّر للشمس أن تنفجر الآن، فإننا لن نـــدرك الحقيقـــة إلى بعد ثمان دقائق ونصف الدقيقة، وهو الزمن الذي يستغرقه الضوء لكي يصـــل إلينـــا

من الشمس. وبالمثل، يمكن أيضاً أن يكون انفجر تواً نجم قريب، كمستسعر ما-حادثة يمكن أن تمطر الأرض بإشعاع مهلك-ولكننا لن ندرك الحقيقة إلا بعد بضع سنوات إضافية في حين تنتقل الأنباء السيئة عبر المجرة بسرعة الضوء. وعلى الرغم من أن الكون قد يبدو هادئاً تماماً في هذه اللحظة، فإنه لايمكننا 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، لاكما هو الآن. فالمعلومات التي تصل إلى P تنتقل على طول 'مخروط الضوء الماضي' عبر P، المعلَّمة بالخطين المائلين. هذه هي مسارات الإشارات الضوئية التي تتجمع لتلقي على الأرض من مناطق قاصية من الكون في الماضي. وبما أنه لاتوجد 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 نبوئية خارج مخروط الضوء الماضي يمكن أن ترسل تأثيرات كارثية (خطاً تموجياً) تعدو بأقصى سرعة نحو الأرض، ولكن، من حسن الحظ، أن المراقب لن يعي ذلك قبل وصول ذلك التأثير.

يورِّث العنف المفاجيء في الكون ضرراً محدوداً بالموقع الكوني القريب. فموت النجوم أو غوص المادة إلى ثقب أسود يوقع الفوضي 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 نفثات ضخمة من المادة

نذَف أحياناً بسرعة تعادل جزءاً كبيراً من سرعة الضوء، وتُطلَق أيضاً كميات مذهلة من الإشعاع. وهذا عنف على نطاق مجرّيّ.

ولكن ماذا عن حوادث نسب تدمير الكون؟ هل يمكن أن يحدث اضطراب عنيف يدمر الكون تماماً بضربة واحدة–في عمر النصف، إذا جاز التعبير؟ أيمكن حقاً للتأثيرات البغيضة لكارثة كونية قُدحَت سابقاً أن تجرف حتى الآن مخروط ضوئنا الماضي نحو كوتنا الهشة في المكان والزمان؟

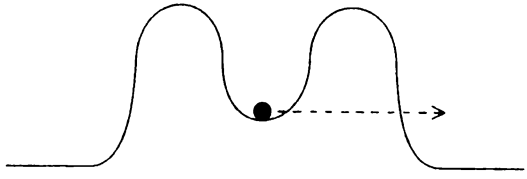
في عام 1980، نشر الفيزيائيان سيدني كولمان و فرانك دو لوسيا بحثاً رائعاً تحت عنوان غير مزعج 'تأثيرات الجاذبية على التضاؤل الخوائي ومنه' في مجلة *فايزيكال ريفيو دي*. والخواء الذي أشارا إليه ليس مجرد مكان فارغ ولكنه حالة خوائية من فيزياء الكم. وكنت قد بيَّنت في الفصل الثالث أن مايبدو لنا كفراغ إنما يضطرب، في الواقع، بنشاط كمي سريع الزوال، كما في ظهور جسيمات طيفية افتراضية وتختفي من جديد بعبث عشوائي. ولنتذكر أن هذه الحالة الخوائية قد لاتكون فريدة؛ ويمكن أن يكون هناك العديد منها، وكلها تبدو فارغة ولكنها تتمتع بمستويات مختلفة من النشاط الكمي وطاقات مرافقة مختلفة.

حالات الطاقة العليا تميل إلى التضاؤل إلى حالات طاقة أصغر، إنه مبدأ مثبت تماماً من مبادىء فيزياء الكم. فعلى سبيل المثال، إن ذرة يمكن أن توجد في سلسلة من الحالات المُثارة كل منها غير مستقر، وتحاول أن تضمحل إلى طاقة أصغر، أو حالة 'همود،' وهي حالة مستقرة. وبالمثل، يحاول خواء مُثار أن يضمحل إلى طاقة أصغر، أو خواء 'حقيقي.' يقوم سيناريو الكون التضخمي على أساس نظرية تقول إن الكون المبكر جداً كان في حالة خواء مُثارة، أو 'زائفة،' تضخم خلالها مسعوراً، ولكن تلك الحالة اضمحلت بعد وقت قصير إلى خواء حقيقي وتوقف التضخم.

الافتراض المألوف هو أن الحالة الحاضرة للكون تماثل الخواء الحقيقي؛ أي أن مكاناً فارغاً في حقيبتنا هو خواء بأدنى طاقة ممكنة. ولكن، هل يمكن التأكد من ذلك؟ قام كولمان و دو لوسيا بدراسة الإمكانية المخيفة حول أن الخواء الحالي ليس هو الخواء الحقيقي بل مجرد خواء زائف، شبه مستقر، طويل الأمد يهدهدنا إلى إحساس زائف بالأمن لأنه استمر بضعة بلايين سنة. ونحن نعرف الكثير من المنظومات الكمية، كنوى اليورانيوم، التي تصل أعمار النصف فيها إلى بلاين السنين. وهل نفترض أن الخواء

الحالي يقع ضمن هذا الصنف؟ 'تضاؤل' الخواء الذي أتينا على ذكره في عنوان بحث كولمان و دو لوسيا يشير إلى إمكانية كارثية هي أن الخواء الحالي قد ينهار فجأة ويلقي بالكون أيضاً إلى حالة دنيا من الطاقة، مع مايرافقها من نتائج أليمة بالنسبة لنا (وفوق ذلك ، لكل شيء آخر).

ظاهرة التنفيق الكمي Quantum tunnelling هي الدليل إلى فرضية كولمان ، و دو لوسيا. ويمكن توضيح ذلك على أفضل وجه بحالة بسيطة لجسيم كمي يحتبله حائل قوة. لنفترض أن الجسيم يستقر في واد صغير تحيط به تلّتان من كلا جانبيه، كما نرى في الصورة 10-2. وهي ليست تلالاً حقيقية، طبعاً؛ ويمكن أن تكون مجالات لقوة كهربائية أو نووية، مثلاً. في غياب الطاقة اللازمة لتسلق التلتين (أو التغلب على قوة الحائل)، سيبقى الجسيم، كما يبدو، مُحتبَلاً إلى الأبد. ولكن، لنتذكر أن كافة الجسيمات الكمية تخضع لمبدأ الريبة عند هايسنبرغ، ذلك المبدأ الذي يجيز استعارة الطاقة لآماد بسيطة. وهذا يتيح إمكانية مثيرة للاهتمام. فإذا استطاع الجسيم أن يستلف مايكفي من الطاقة لكي يصل إلى قمة التل ويعبر إلى الجهة الأخرى قبل أن يسدد ماستلفه ، فإنه يمكن أن يفلت من البئر.



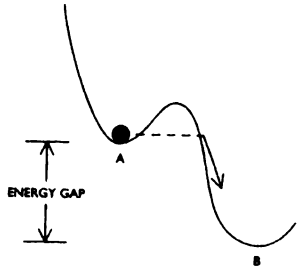
الصورة 10-2. الظاهرة النفقية: إذا احتُبِل جسيم كمي في واد بين تلّتين، فهناك احتمال لإمكانية إفلاته، وذلك عن طريق استلاف الطاقة والوثب فوق التل. وفي الواقع، يلاحظ حفر نفق عبر الحائل. تحدث حالة معروفة عندما تقوم جسيمات ألفا في نوى بعض العناصر بحفر نفق عبر حائل قوة نووية والهرب بعيداً، وهي ظاهرة تعرف بنشاط ألفا الإشعاعي. في هذا المثال، ينجم 'التل' عن قوى نووية وكهربائية، والصورة المرسومة هنا تخطيطية فقط.

إمكانية أن يقوم جسيم كمي بحفر نفق إلى خارج بئر كهذا يعتمد، إلى حد دقيق جداً، على ارتفاع وعرض الحائل. فكلما كان الحائل أعلى، كان على الجسيم 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 الجسيم على عبورها بسرعة كافية لتسديد السلفة في وقتها. ولهذا السبب، فإن الظاهرة النفقية لاتُلاحظ في الحياة اليومية: الحوائل العيانية عالية وعريضة جداً مما لايسمح بحفر أنفاق مهمة. من حيث المبدأ، يمكن لكائن بشري أن يمشي عبر جدار آجري، ولكن احتمال التنفيق الكمي لهذه المعجزة ضئيل جداً. مع ذلك، إن التنفيق شائع جداً في النطاق الذري؛ فعلى سبيل المثال، إنها الآلية التي بها يحدث نشاط ألفا الإشعاعي. تُستثمَر الظاهرة النفقية أيضاً في أشباه المُوَصِّلات والأجهزة الإلكترونية، كالمجهر الإلكتروني للتفرس بالتنفيق.

فيما يتعلق بمشكلة التضاؤل المحتمل للخواء الحالي، يظن كولمان و دو لوسيا أن مجالات الكم التي تشكل الخواء يمكن أن تكون موضوعاً لمنظر قوىً (مجازي) ، كما يظهر في الصورة 10-3. الحالة الخوائية الحالية تماثل أسفل الوادي A. ولكن الخواء الحقيقي يماثل أسفل الوادي B، الذي هو أكثر انخفاضاً من A. يميل الخواء إلى التضاؤل من حالة الطاقة الأعلى A إلى حالة الطاقة الأدنى B، ولكن 'التل،' أو مجال القوة، الذي يفصل بينهما، يمنعه من ذلك. ومع أن التل يعوق التضاؤل، إلا أنه لايمنعه كلياً، بسبب الظاهرة النفقية: يمكن للمنظومة أن تشق نفقاً من الوادي A إلى الوادي B. إذا كانت هذه النظرية صحيحة، فإن الكون يعيش على الطاقة المستلفة، معلقاً في الوادي A، مع فرصة متاحة دائماً لشق نفق إلى الوادي B في لحظة اختيارية.

استطاع كولمان و دو لوسيا أن يصوغا التضاؤل رياضياً-لاكتشاف الطريقة التي بها تحدث الظاهرة. واكتشفا 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، فتبتلع منطقة أوسع وأوسع من الخواء الزائف وتحوله فوراً إلى خواء حقيقي. والطاقة المختلفة بين الحالتين-التي يمكن أن تكون لها أهمية كبيرة كنا أتينا على دراستها في

الفصل الثالث–تتركز في جدار الفقاعة، التي تندفع عبر الكون منذرة بالدمار لكل شـــيء في طريقها.




الصورة 10–3. حالات فراغ زائف وحقيقي: قد يكون الوضع أن حالة الكم الحالية لمكـــان 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 لحالة تتضاءل عن طريـــق الظـــاهرة النفقية إلى الحالة الأساسية B المستقرة فعلاً. الانتقال بين هاتين الحالتين، الـــذي يحـــدث عـــن طريق تكوُّن الفقاعة، سيحرر كمية كبيرة من الطاقة.

سوف نعرف، لأول مرة، بوجود فقاعة خواء حقيقي عندما يصـــل الجـــدار ويتبـــدل التركيب الكوني لعالمنا فجأة. ولكن يكون أمامنا إنذار أمده ولو ثلاث دقـــائق. وبصـــورة فورية، سوف تتبدل، بشـــكل عنيـــف، طبيعـــة الجســـيمات دون الذريـــة وتفاعلاتـــها؛ فالبروتونات، مثلاً، قد تتفكك مباشرة، وهي حالة تتبخر فيها المادة فجـــأة. ومـــا يبقـــى، سيجد نفسه داخل فقاعة الخواء الحقيقي–حالة تختلف كثيراً عما نشاهده في هذه اللحظـــة. والاختلاف الأكثر أهمية يتعلق بالجاذبية. فقد اكتشف كولمـــان و دو لوســـيا أن طاقـــة الخواء الحقيقي وضغطه سوف يشكلان مجالاً للجاذبية قوياً جداً إلى درجة تنهار معـــها المنطقة التي تطوقها الفقاعة، حتى عندما يتوسع جدارها، في أقل من أجزاء من مليـــون من الثانية. لاتدهور معتدل نحو انسحاق كبير في هذه المرة؛ وبـــدلاً مـــن ذلـــك، فنـــاء مفاجيء لكل شيء، عندما تنفجر الفقاعة داخلياً إلى شذوذ زماني مكاني. وباختصار، إنـــه

انسحاق فوري. 'هذا مثبط،' يعقب المؤلفان، في تصريح بارع لايعبر عن كل الحقيقة، ويواصلان:

> احتمال أننا نعيش في خواء زائف لايدعو إلى البهجة أبدا بحيث يدفع المرء إلى التفكير فيه. فتضاؤل الخواء كارثة بيئية نهائية؛ ... بعد تضاؤل الخواء يصبح مستحيلا ليس فقط الحياة كما نعرفها، بل أيضا الكيمياء كما نعرفها. ولكن يمكن للمرء دائما أن يستمد هدوءا رواقيا من إمكانية أنه ربما، في مجرى الزمن، يبقى الخواء الجديد، إن لم تكن الحياة كما نعرفها، فعلى الأقل بعض البنى القادرة على معرفة البهجة. ولكن هذه الإمكانية مستبعدة اليوم.

أصبحت العقابيل المرعبة لتضاؤل الفراغ موضوعا لنقاش واسع 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 الرؤيا التالية: 'من وجهة نظر الفيزياء المجهرية، يمكن أن نتصور تماما أن خواءنا شبه مستقر ... بدون إنذار، يمكن لفقاعة خواء حقيقي أن تتنوى في مكان ما في الكون وتتحرك نحو الخارج بسرعة الضوء.'

بعد ظهور بحث تيرنر و فيلتسيك بفترة قصيرة، خرج إلينا بيت هت ومارتن ريس، يكتبان أيضا في مجلة *ناتشر*، بشبح مرعب هو أن علماء فيزياء الجسيمات أنفسهم قد يقدحون، عن غير قصد، فقاعة خوائية تدمر الكون! وما يقلق هو أن الانفجار العالي الطاقة بالذات للجسيمات دون الذرية يمكن أن يوجد ظروفا–لحظية فقط، في ناحية صغيرة جدا من الفضاء–تعمل على تشجيع تضاؤل الخواء. وعندما يحدث التحول، حتى على نطاق مجهري، فإن الفقاعة المتشكلة حديثا لن تتوقف عن الانتفاخ بسرعة إلى نسب فلكية. فهل يجب أن نفرض حظرا على الجيل التالي من مسارعات الجسيمات؟ رحب هت و ريس بهذا التطمين، وأشارا إلى أن الأشعة الكونية تحقق طاقة أعلى مما يمكن أن نولده في المسارعات الجزيئية، وأن هذه الأشعة تصطدم بسطح النوى في جو الأرض منذ بلايين السنين دون أن تقدح تضاؤلا خوائيا. ومن ناحية أخرى، قد نتمكن، مع إجراء تحسين في قدرة المسارعات، من إحداث اصطدامات أكثر شدة من أي من تلك التي تحدثها تأثيرات الأشعة الكونية على الأرض. ولكن المسألة الحقيقية ليست

ماإذا كان يمكن أن تتكون الفقاعة على الأرض ولكن ماإذا كانت قد تكونت في مكان ما في الكون الذي يمكن رؤيته في وقت ما منذ الانفجار الكبير. وقد ذكر هَتّ و رِيس أنه في مناسبات نادرة جداً سيتعرض شعاعان كونيان إلى اصطدامين رأسيين، بطاقة أعلى ببليون مرة من الطاقة الممكنة في المسارعات الموجودة. وهكذا، فإننا لن نحتاج إلى سلطة تنظيمية بعد ذلك.

والمفارقة هي أن تشكُّل الفقاعة الخوائية-الظاهرة نفسها التي تهدد وجود الكون - يمكن أن يثبت، في إطار مختلف قليلاً، أنه الخلاص الوحيد المحتمل لسكانه. والطريقة الوحيدة الموثوقة للإفلات من موت الكون تكون بإنشاء كون جديد والهرب إليه. يمكن أن يبدو هذا وكأنه آخر كلمة في مضاربة خيالية، ولكن، كثيراً مانوقشت 'الأكوان الأطفال' في السنوات الأخيرة، والبرهان على وجودها لايخلو من الجدية.

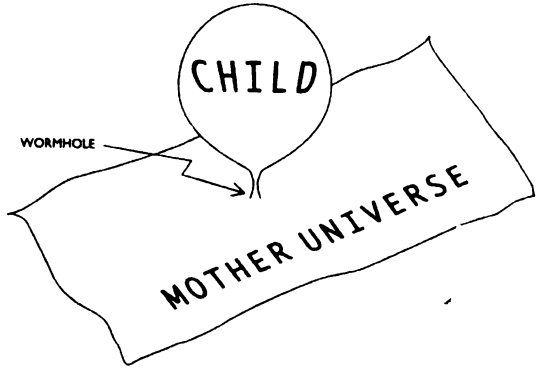
طرحت هذا الموضوع أصلاً مجموعة من العلماء اليابانيين عام 1981. وكان هؤلاء قد درسوا نموذجاً رياضياً بسيطاً لسلوك فقاعة صغيرة لخواء زائف يحيط به خواء حقيقي-حالة على عكس الحالة التي ناقشناها تواً. والنبوءة هي أن الخواء الزائف سوف يتضخم بالطريقة التي وصفناها في الفصل الثالث، ويتوسع بسرعة إلى كون ضخم في انفجار كبير. في بادىء الأمر، يبدو أن تضخم فقاعة الفراغ الزائف لابد وأن تدفع جدار الفقاعة إلى التوسع بحيث تكبر منطقة الخواء الزائف على حساب منطقة الخواء الحقيقي. ولكن هذا يناقض 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 حقيقي إلى ناحية الفضاء الذي تشغله فقاعة الخواء الزائف، لايرى تضخمها. وتبدو، في الواقع، أكثر شبهاً بثقب أسود. (في هذا تشبه الـ تارديس، وهي آلة توقيت الدكتور هُو، التي تبدو أكبر في الداخل مما هي في الخارج.) فالناظر إلى الكون من داخل فقاعة الخواء الزائف سوف يراه ينتفخ إلى نسب هائلة، بينما تبدو الفقاعة مدمجة للناظر إليها من الخارج.

هناك طريقة واحدة لتصور هذه الحالة المميزة هي مقارنتها بملاءة من المطاط تتقرح عند نقطة ما وتنتفخ على شكل بالون (انظر الصورة 10-4). يشكل 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 بسرعة

عن طريق ظاهرة هوكنغ، ويختفي 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 تبرعمه من الأم بالطريقة نفسها التي بها نما كوننا: فترة قصيرة من التضخم تبعها التباطؤ المألوف للسرعة. يدل النموذج ضمناً على أن كوننا قد يكون نشأ بهذه الطريقة-كنتاج لكون آخر.

قام ألان غُوث، الذي وضع نظرية التضخم، بالاشتراك مع زملائه بتقصي ما إذا كان السيناريو السابق يهيء إمكانية غريبة لإنشاء كون جديد في المختبر. وعلى نقيض الحالة المروعة لتضاؤل الخواء الزائف إلى فقاعة خواء حقيقي، فإن تكوين فقاعة خواء زائف يحيط بها فراغ حقيقي لايهدد وجود الكون. ومع أنه يمكن للاختبار فعلاً أن يقدح انفجاراً كبيراً، إلا أن الانفجار سيكون محدوداً كلياً داخل ثقب أسود صغير جداً، يتلاشى بسرعة. يكوّن الكون الجديد فضاءه الخاص به، ولن يلتهم شيئاً من فضائنا.




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

مع أن الفكرة تبقى حدسية إلى حد كبير وتقوم برمتها على أساس تنظير 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 الثقب الدودي السري إلى الباب المجاور للكون قبل أن يتضيق-ذروة الهجرة. مامن أحد يحمل أية فكرة حول كيف، أو ماإذا كان، يمكن لهذه الكائنات الجريئة أن تحقق هذه المأثرة. فالرحلة عبر ثقب دودي ستكون، على الأقل، متعبة جداً، مالم يكن الثقب الأسود الذي سيدخلون إليه واسعاً جداً. ٥٦٦٤٢١

إذا تجاوزنا هذه المسائل العملية، فإن احتمال وجود كون طفل بالذات يتيح إمكانية خلود حقيقي-ليس لأحفادنا فقط ولكن للأكوان أيضاً. وأكثر من التفكير بحياة الكون وموته، يجب أن نفكر، بدلاً من ذلك، بعائلة الأكوان التي تتكاثر إلى مالا نهاية، وكل منها يَلِد أجيالاً جديدة من الأكوان، ربما في فيالقه. مع هذه الخصوبة الكونية، فإن حشد الأكوان-أو الميتافيرس Metaverse، كما يجب أن يدعى فعلاً-قد لاتكون 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 ماإذا كان إنشاء كوننا مسألة طبيعية (مشابه للولادة الطبيعية) أو نتيجة لمعالجة مدروسة ('طفل أنبوب اختبار'). ويمكن أن نتخيل أن جماعة من الكائنات في الكون الأم متقدمة وغيرية بما يكفي ليس لتأمين 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 الهائلة التي تعترض أية محاولة لبناء ثقب دودي يمكن عبوره إلى كون طفل.

أما إلى أي مدى سيحمل الكون الطفل السمة الوراثية لأمه، فمسألة غير واضحة. فالفيزيائيون، حتى الآن، لايدركون لماذا تحمل مختلف القوى في الطبيعة وجسيمات المادة الخواص التي هي عليها. فمن جهة، قد تكون هذه الخواص جزءاً من قوانين الطبيعة، صلحت مرة ولكل شيء في أي كون. ومن جهة أخرى، قد تكون بعض الخواص نتيجة لحوادث التطور. فعلى سبيل المثال، قد يكون هناك عدد من حالات خواء حقيقي، وكلها تحمل طاقة متماثلة أو تقريباً متماثلة. وقد يحدث، عندما يتلاشى الخواء الزائف في نهاية الطور التضخمي، أن يلتقط عشوائياً وببساطة واحدة من بين

كثير من الحالات الخوائية المحتملة. وبقدر ماتكون فيزياء الكون معنيـــة، فـــإن اختيـــار حالة الخواء سوف يملي كثيراً من خواص الجسيمات والقوى التي تعمل بينها، ويمكـــن أن تملي حتى عدد الأبعاد الحيّزيّة. ولهذا، يمكن أن تكون خواص كون طفل مختلفة كليـاً عن خواص أمه. وربما ستكون الحياة ممكنة فقط في عدد صغير من هذه الذرية، حيـث تشبه الفيزياء فيها فيزياء كوننا إلى حد كبير. أو ربما يكون هناك نوع من مبدأ وراثـــي يضمن أن ترث الأكوان الأطفال بأمانة صفات أمهاتها الأكوان، باستثناء الطفرة الشـــاذة. يرى الفيزيائي لي سمولين أنه يمكن أن يكون هناك أيضاً نمط من التطـــور الداروينـــي يعمل بين الأكوان الذي يعمل مباشرة على تشجيع نشوء حياة ووعي. وما يثير الانتبـــاه أيضاً هو احتمال أن تكون الأكوان نشأت عن طريق معالجة موجهة بالعقل في كـــون أم ومنحت بروية الخواص الضرورية لتوليد حياة ووعي.

أي من هذه الأفكار لايرقى إلى أكثر من حدس جامح، مع ذلك، مـــايزال موضـــوع الكوزمولوجيا علماً مبتدئاً. ولكن التأملات الخيالية التي درســـناها آنفـــاً تفيـــد كتريـــاق للتكهنات الكئيبة التي ظهرت في الفصول السابقة. فهي تلمح إلـــى إمكانيـــة أنـــه حتـــى أحفادنا يجب أن يواجهوا يوماً الدقائق الثلاث الأخيرة، أي أن نوعاً من الكائنات الواعيـــة سيكون دائماً موجوداً في مكان ما.

# الفصل الحادي عشر

## عوالم بلا نهايـــــــــة

الأفكار التي درسناها في نهاية الفصل السابق ليســـت الاحتمـــالات الوحيـــدة التـــي خضعت للنقاش في البحث عن طريقة لتفادي موت الكون. فعندما ألقي محاضرة حـــول نهاية الكون، يسألني البعض عادة عن النموذج الدوري. وإليكم الفكرة: يتوسع الكون إلـــى حجم أقصى، ثم يتقلص إلى انسحاق كبير، ولكن، بدلاً من أن يزيل نفســـه كليـــاً، فإنـــه 'يثب' ويركب متن دورة أخرى من التوسع والتقلص (انظر الصورة 11-1). ويمكـــن أن تتواصل هذه العملية إلى الأبد، وهي حالة لايكون للكون فيها بداية أو نهاية، على الرغـــم من أن كل دورة مستقلة تتسم ببداية ونهاية مميزيتين. إنها نظرية تروق، بشكل خـــاص، للناس الذين تأثروا بالميثولوجيا الهندوسية والبوذية، التي تصـــور، علـــى نحـــو بـــارز، دورات الولادة والموت، أي الإبداع والتدمير.

الصورة 11-1: نموذج كون دوري. ينبض الكون في الحجم بطريقة دورية بيـــن حـــالات كثيفة جداً وحالات متوسعة. تبدأ كل دورة بانفجار كبير وتنتهي بانسحاق كبير، وتكون متماثلـــة تقريباً في الزمن.

.....

لقد أجملت سيناريوهين علميين مختلفين جداً لنهاية الكـــون. وكـــل منـــهما مزعـــج بطريقته الخاصة. فتوقع أن يزيل الكون نفسه كلياً في انسحاق كبير أمر مرعـــب، مـــع ذلك، إن هذا الحادث يمكن أن يترصد في المستقبل البعيد. ومن ناحية أخرى، إن كونـــاً

يدوم زمناً لامتناهياً في حالة فراغ كئيب بعد أمد من النشاط الرائع يسب اكتئاباً عميقاً في النفس. وحقيقة أن كل نموذج ربما يؤهل الكائنات المتفوقة لإحراز قدرة لامحدودة في معالجة المعلومات قد تبدو عزاء بارداً بالنسبة لبني الإنسان المتحمسين، من أمثالنا.

تكمن جاذبية النموذج الدوري في أنه يتفادى شبح الفناء التام، بدون أن يستبدله بسرمدية الانحلال والبِلى. ولتفادي عبثية تكرار لانهائي، يجب أن تكون الدورات مختلفة إلى حد ما عن بعضها بعضاً. وفي نسخة شائعة للنظرية، تنشأ كل دورة جديدة كالعنقاء من ميتة عنيفة لسابقتها. فتُطوَر، من هذه الحالة البدائية، منظومات وبنىً جديدة وتستكشف جِدَّتها الخاصة الأنيقة قبل أن يُمسَح اللوح مرة أخرى بانسحاق كبير تالٍ.

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

قد يذكر القارىء أن هذه القوة المنفِّرة المقتدرة على وجه الدقة افترضتها نظرية التضخم في الانفجار الكبير. مع ذلك، يجب أن نتذكر أن حالة الخواء المثار التي تولِّد القوة التضخمية غير مستقرة إلى حد بعيد، وسرعان ماتتلاشى. ومع أنه يمكن تخيل أن الكون الوليد، البسيط، الصغير جداً يجب أن يكون نشأ في مثل هذه الحالة غير المستقرة، فإن الافتراض بأن كوناً يتقلص من حالة عيانية معقدة يمكن أن يحتال لاستعادة الحالة الخوائية المثارة في كل مكان مسألة مختلفة تماماً. هذه الحالة تشبه موازنة قلم رصاص على رأسه. فالقلم سرعان ماينقلب؛ وذلك سهل. وأصعب منه إلقاء القلم على رأسه من جديد.

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

يتغلب على هذه الصعوبة. يمكن مقارنة الكون بساعة تتوقف ببطء. فهو في النهاية سيتوقف حتما مالم يتم، بطريقة ما، 'تعبئة الزنبرك.'* ولكن ماالآلية التي يمكن أن تعبىء من جديد زنبرك الساعة الكونية بدون أن تخضع نفسها لتغيير لاعكوس؟

يبدو طور انهيار الكون، لأول وهلة، كعكس للعمليات الفيزيائية التي حدثت في طور التوسع. تنشد المجرات المتناثرة إلى بعضها بعضا، ويتسخن الإشعاع الخلفي البارد من جديد، ومرة أخرى، تتفكك العناصر المركبة إلى سحاب كثيف من جسيمات عنصرية. فحالة الكون مباشرة قبل الانسحاق الكبير تشبه، إلى حد كبير، حالته بعد الانفجار الكبير مباشرة. ولكن انطباع التماثل سطحي فقط. ونتوصل إلى دليل من حقيقة أن الفلكيين الذين يعيشون في زمن الانعكاس سيستمرون، عندما ينقلب التوسع إلى تقلص، في رؤية المجرات البعيدة تتراجع عدة بلايين من السنين. ويبدو لهم الكون كأنه مايزال يتوسع، على الرغم من أنه يتقلص في الواقع. تعزى هذه الصورة الخادعة إلى التباطؤ في الظهور الذي تسببه السرعة المحودة للضوء.

في الثلاثينات أظهر الكوزمولوجي ريتشارد تولمان كيف يخرب هذا التباطوء التماثل الظاهري للكون الدوري. والسبب بسيط. يبدأ الكون بقدر وافر من الإشعاع الحراري المتخلف من الانفجارالكبير. وبمرور الزمن، يزيد ضوء النجوم هذا الإشعاع، حتى أنه بعد بضعة بلايين من السنين سيكون هناك من الطاقة في ضوء النجوم المتراكم الذي يغزو الفضاء بقدر مايوجد في الحرارة الخلفية. هذا يعني أن الكون يقترب من الانسحاق الكبير بطاقة إشعاعية تنتشر في كل مكان منه أكبر بكثير مما كانت عليه الحال مباشرة بعد الانفجارالكبير، ولهذا، عندما يتقلص الكون في النهاية إلى الكثافة نفسها التي هو عليها اليوم، فإنه سيكون أعلى حرارة إلى حد ما.

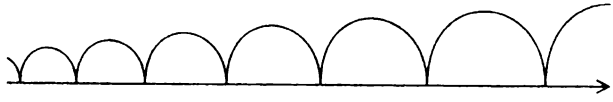
محتوى مادة الكون هو الذي يدفع ثمن الطاقة الحرارية الإضافية، وذلك بواسطة معادلة آينشتاين طاقة = كتلة × مربع سرعة الضوء. ويتم داخل النجوم التي تنتج الطاقة الحرارية معالجة عناصر الضوء، كالهيدروجين، إلى عناصر ثقيلة كالحديد. فنواة الحديد تحتوي، بصورة طبيعية، ستة وعشرين بروتونا وثلاثين نيوترونا. ولذلك، يمكن الافتراض أن كتلة نواة كهذه يجب أن تتكون من ستة وعشرين بروتونا وثلاثين نيوترونا، ولكنها ليست كذلك. فالنواة المتجمعة أخف بحوالي 1% من مجموع كتل

---

* -كناية عن الشحن بالطاقة-المترجم.

الجسيمات المستقلة. والكتلة 'الضائعة' تفسرها طاقة الربط الكبيرة التي تنتجها القوة النووية الضخمة؛ وتُحرَّر الكتلة الممثلة بهذه الطاقة لدفع ثمن ضوء النجوم.

ونتيجة كل هذا هي نقل صافٍ للطاقة من المادة إلى الإشعاع. ولهذا تأثير مهم على الطريقة التي يتقلص فيها الكون، لأن الجذب الثقالي للإشعاع يختلف تماماً عن الجذب الثقالي عن مادة لها طاقة الكتلة نفسها. أظهر تولمان أن الإشعاع الإضافي في طور التقلص يسبب انهيار الكون بسرعة أكبر. وإذا قُدِّر، بوسيلة ما، للكون أن يظهر، عندئذٍ سينبثق متوسعاً بسرعة كبيرة أيضاً. وبمعنى آخر، سيتوسع الكون إلى حجم أكبر مع كل دورة جديدة، وبالتالي، ستصبح الدورات تدريجياً أكبر وأطول (انظر الصورة 11-2).



الصورة 11-2: عمليات عكوسة تجعل الدورات الكوزمولوجية تتمو وتتمو، وبالتالي، تخرب الدوروية الحقيقية.

النمو اللاعكوس للدورات الكونية ليس سراً. فهو مثال لنتائج لامفر منها للقانون الثاني للدينميات الحرارية. فتراكم الإشعاع يمثل نمو الاعتلاج، الذي يتظاهر ثقالياً على شكل دورات أكبر وأكبر. ولكنه يضع نهاية لفكرة الدوروية الحقيقية: من الواضح أن الكون يتطور بمرور الزمن. فتتعاقب الدورات باتجاه الماضي على نحو متصل إلى بداية معقدة ومشوشة، أما الدورات المستقبلية فتتوسع بدون قيد، إلى أن تصبح طويلة جداً حتى أنه لايمكن، في أغلب الأحوال، تمييز دورة معلومة من سيناريو نماذج التوسع الدائم.

منذ عمل تولمان، كان بمقدور الكوزمولولجيين تحديد عمليات أخرى فيزيائية تدحض تماثل طوري التوسع والتقلص في كل دورة. والمثال على ذلك هو تشكُّل الثقوب

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

ويبدو أنه لاخلاص من نتيجة أن أي كون دوري يسمح بانتشار بُنىً ومنظومات فيزيائية من دورة إلى دورة تالية لن يتفادى التأثيرات الانحلالية للقانون الثاني للدينميات الحرارية. وسيبقى هناك موت حراري. هناك طريقة واحدة لتفادي هذه النتيجة الكئيبة هي افتراض أن الشروط الفيزيائية في الوثبة شديدة جداً إلى درجة لايمكن معها لمعلومات حول الدورات السابقة أن تصل إلى التالية. فقد دُمِّرَت كافة الأجسام الفيزيائية السابقة، ومُحِقَت جميع التأثيرات. وفي الواقع، يولد الكون من جديد من نقطة البدء، بكل مافي هذه العبارة من معنى.

مع ذلك، يصعب أن ندرك 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 أكواناً منفصلة، ويمكن القول أيضاً إنها توجد متوازية بدلا من متسلسلة. تذكر هذه الحالة بعقيدة التناسخ، التي بموجبها لايحمل 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 للدينميات الحرارية يُخرَق بطريقة ما، إلى الحد الذي معه 'تعاد تعبئة الساعة.' ماذا لو لم يحدث الخراب الذي يسببه القانون الثاني؟ دعونا نضرب مثالاً بسيطاً للقانون الثاني أثناء تأثيره: ليكن تبخر العطر من زجاجة. عكس الأقدار بالنسبة للعطر استلزم مؤامرة جبارة للتنظيم، أعيد فيها كل جزيء من العطر في أنحاء الغرفة إلى الزجاجة. يجب تمثيل 'الفيلم' بالعكس. نحن

نكتسب التمييز ين 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 تُسمَع قرقعة القدر المشؤوم ليس أكثر من محاولة تافهة إلى حد ما للتملص 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 الستينات، رأى عالم الفيزياء الفلكية توماس غولد أن الزمن يمكن أن يجري إلى الوراء في طور التقلص لكون يتقلص من جديد. ويشير إلى أن هذا الانعكاس يتضمن وظائف دماغية لأية كائنات موجودة في حدود ذلك الزمن، وهكذا، تعمل لعكس إحساسها الذاتي بالزمن. ولذلك، لن يرى السكان في طور التقلص كل شيء حولهم 'يجري إلى الوراء' ولكنهم سيَخبُرون مجرى الحوادث إلى أمام بالطريقة نفسها التي نخبرها نحن. سيدركون، مثلاً، أن الكون يتوسع، لايتقلص. ومن خلال أعينهم، فإن طورنا الكوني هو الذي كان يتقلص وعملياتنا الدماغية هي التي كانت تجري نحو الوراء.

في الثمانينات، عبث 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 دوري يشترط تماثلاً زمنياً مفصلاً. ولكن، تبيَّن أن هذا ليس صحيحاً-على الأقل، في الصياغة القياسية لميكانيكا الكم. ومؤخراً، درس الفيزيائيان موراي جلّ-مان و جيمس هارتله تعديلاً لقوانين ميكانيكا الكم، يتم فيه ببساطة *فرض* تماثل الزمن، ثم سألا ماإذا كان لهذه الحالة الراهنة أي نتائج منظورة في حقبتنا الكونية. وحتى الآن، لم يجد هذا السؤال جواباً.

اقترح الفيزيائي الروسي أندريه لنده طريقة مختلفة جداً لتفادي موت الكون. وتقوم فكرته على أساس تطوير نظرية تضخم الكون التي أتينا على دراستها في الفصل الثالث. يُفترَض، في السيناريو الأصل للكون التضخمي، أن حالة الكم للكون المبكر جداً كانت تماثل خواء خاصاً مثاراً، خواء مارس تأثيراً دافعاً موقتاً لتوسع فائق السرعة. ورأى لنده، عام 1983، أن حالة الكم للكون المبكر، بدلاً من ذلك، قد تختلف من مكان إلى آخر بطريقة شواشية: طاقة خفيفة هنا، مثارة باعتدال هناك، مثارة 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 تضخم الكون أكبر في تلك المنطقة. وسيبدو واضحاً، بعد فترة قصيرة جداً من الزمن، أن المناطق في الفضاء التي صدف أن كانت فيها الطاقة أكبر، والتضخم أسرع، قد انتفخت أكثر من سواها وشغلت حصة الأسد من كامل الفضاء. يشبّه لنده الحالة بالتطور الداروينى، أو بالاقتصاديات. على الرغم من أن تبدلاً كمياً ناجحاً لحالة مثارة جداً يعني استلاف كمية كبيرة من الطاقة، فإنه سرعان مايُكافأ بنمو هائل في حجم تلك المنطقة. وهكذا، وبسبب أرتفاع قيمة السلفة، تسيطر بسرعة المناطق الفائقة التضخم.

ونتيجةً للتضخم الشواشي، ينقسم الكون إلى عنقود من أكوان مصغرة، أو فقاعات، يتضخم بعضها مهووساً، وبعضها الآخر لايتضخم إطلاقاً. وبما أن طاقة الإثارة في بعض المناطق-ببساطة، نتيجة للتبدلات 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 التضخمي يحتمل جداً أن تتوضّع في مثل هذه المنطقة التي تضخمت بدرجة عالية. وهكذا، يحتمل جداً أن نكون في موقع في الفضاء يقع في عمق منطقة فائقة التضخم. ويحسب لنده أن هذه 'الفقاعات الكبيرة' يمكن أن تتضخم بعامل 10 إلى قوة $10^{8}$ ، أي 1 متبوعاً بمئة مليون صفر!

ملكيتنا الضخمة الخاصة هذه ستكون واحدة فقط بين عدد لامتناه من الفقاعات التي تضخمت 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، لايتوقف أبداً في نموذج لنده: فهناك دائماً مناطق في الفضاء يحدث فيها تضخم، حيث تتشكل فقاعات جديدة حتى عندما تقضي فقاعات أخرى دورات حياتها وتموت. وهكذا، فهذا شكل لكون أبدي، يشبه نظرية الأطفال الأكوان التي أتينا على دراستها في الفصل السابق، حيث

هناك ينبوع دائم للحياة، والأمل والأكوان. فلا نهاية لإنتاج الأكوان الفقاقيع عن طريق التضخم-وربما لابداية له أيضاً، على الرغم من وجود بعض الخلاف حول هذه المسألة.

فهل يقدم وجود فقاعات أخرى حبل السلامة لأحفادنا؟ وهل يمكنهم تفادي موت الكون-أو، بصور أكثر دقة، موت الفقاعات-عن طريق الانتقال إلى فقاعة أخرى أصغر سناً في الوقت المناسب؟ عالج لنده هذه المسألة بدقة في مقال ضخم عن 'الحياة بعد التضخم،' نشر في مجلة رسائل الفيزياء عام 1989. فقد كتب، 'هذه النتائج تدل ضمناً على أن الحياة في كون تضخمي لن تختفي أبداً.' وأضاف، 'من سوء الحظ، أن هذه النتيجة لاتعني آلياً أن المرء يمكن أن يكون متفائلاً جداً حول مستقبل الجنس البشري.' ويشير إلى أن أية ملكية، أو فقاعة خاصة، سوف تصبح ببطء غير صالحة للسكنى، ويستنتج، 'الاستراتيجية الوحيدة الممكنة للبقاء التي يمكن أن ندركها في هذه اللحظة هو الرحيل من الأملاك القديمة إلى أملاك جديدة.'

والمسألة التي تثبط العزم في نسخة لنده لنظرية التضخم هو الحجم الهائل للفقاعة النموذجية. 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 جداً يحتاج، لكي يُكتَب كاملاً، إلى موسوعة خاصة به! وحتى بسرعة قريبة من سرعة الضوء، فإن الوصول إلى فقاعة أخرى يستسغرق عدداً مماثلاً من السنين، مالم يحالفنا حظ طيب استثنائي فيكون موقعنا قريباً من حافة فقاعتنا. ويشير لينده إلى أنه حتى تحقيق هذا الحدث السعيد ممكن فقط إذا واصل الكون توسعه بطريقة يمكن التنبؤ بها. والتأثير الفيزيائي الضئيل إلى حد بعيد جداً-تأثير غير واضح تماماً في الحقبة الحاضرة-يمكن أن يحدد، في النهاية، الطريقة التي بها يتوسع الكون عندما تُخفَّف إلى مالا نهاية المادة والإشعاع اللذان يسودان في الوقت الحاضر. فعلى سبيل المثال، قد يكون بقي أثر ضعيف جداً من القوة التضخمية التي تغمرها تماماً في الوقت الحاضر تأثيرات الجاذبية للمادة ولكنها ستصبح محسوسة في النهاية، إذا وضعنا في اعتبارنا المقدار الهائل من الزمن الذي تحتاجه الكائنات للإفلات من فقاعتنا. في تلك الحالة، يبدأ الكون، بعد أمد طويل بما يكفي، بالتضخم من جديد-ليس بطريقة الانفجار الكبير المسعورة ولكن ببطء كبير جداً، بنوع من المحاكاة الباهتة للانفجار الكبير. ولكن هذا الأنين 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 يستعجل نموه. والنتيجة هي تكوين أفق حوادث يشبه تقريباً ثقباً أسود وفعال تماماً كشرك. وأية كائنات على قيد الحياة ستدفن عميقاً، بشكل يائس، في فقاعتنا، لأنها كلما أسرعت نحو حافة الفقاعة، ستتراجع هذه بسرعة أكبر، نتيجة لتجدد التضخم. مع أن أن حساب لنده خيالي، فإنه يوضح بدقة أن المصير النهائي للجنس البشري أو لأحفادنا قد يتوقف على التأثيرات الفيزيائية الطفيفة جداً إلى الحد الذي لايمكننا معه أن نكتشفها قبل أن تبدأ بالتظاهر كوزمولوجياً.

كوزمولوجية لندة، في بعض جوانبها، تذكر بنظرية حالة استقرار الكون، التي شاعت في الخمسينات ومطلع الستينات وما تزال الاقتراح الأبسط والأكثر إغراء لتفادي 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 يتوسع ، تتكون باستمرار مادة جديدة تملأ الفجوات وتحتفظ بكثافة إجمالية ثابتة. ومصير أية مجرة معلومة شبيه بما وصفته بالفصول السابقة: ولادة، وتطور، وموت. ولكن مزيداً من المجرات يتشكل دائماً، من المادة المتكونة حديثاً، التي لاتنضب. 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. ٥٦٦٤٢١

مفهوم كون حالة الاستقرار يلغي ، في المقام الأول، الحاجة إلى توضيح كيف نشأ الكون من عدم، ويوحد مجموعة منوعة عن طريق التغير التطوري مع الخلود الكوني. ويمضي، في الواقع، إلى أبعد من هذا عندما يضفي على الكون شباباً أبدياً، لأنه على الرغم من موت المجرات المستقلة ببطء، فإن الكون ككل لايهرم أبداً. ولن يكدح 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 ينفد الوقود من مجرة عجوز. ويمكن أن يتواصل هذا إلى مالا نهاية، بالمستوى نفسه من النشاط، والتنوع، والفعالية التي تبقى إلى الأبد.

ولكن، هناك بعض الشروط الفيزيائية الضرورية لنجاح النظرية. فالكون يتضاعف حجماً كل بضعة بلايين سنة، بسبب التوسع. ولكي يحتفظ بكثافة ثابتة يحتاج إلى تكوين $10^{50}$ 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 حظيرة طائرة. ولا يحتمل أن نلاحظ نحن ظاهرة كهذه. وهناك مشكلة إضافية خطيرة تتصل بطبيعة العملية الفيزيائية المسؤولة عن تكوين المادة في هذه النظرية. فنحن بحاجة إلى معرفة ليس أقلها من أين تأتي الطاقة التي تموّن الكتلة الإضافية، وكيف نجح خزانها الخارق هذا في أن يستعصي على النضوب. عالج هذه المشكلة فرْدِ هويله، الذي طور، مع مساعده في المختبر جيانت نَرْليكَر، نظرية حالة الاستقرار بتفصيل واسع. فقد اقترحا نموذجاً جديداً للمجال-مجال الخلق-للتزويد بالطاقة. وقد افتُرِض 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 حلاً تقنياً لمشكلة الخلق، إلا أنه ترك كثيراً من المسائل بدون توضيح. ويبدو أيضاً أنه خاص إلى حد ما، لأن هذا الحقل الغامض لم يتظاهر بشيء آخر. والأكثر خطورة، هو أن الدليل القائم على المشاهدة بدأ في الستينات (القرن الماضي) يتعاظم ضد نظرية حالة الاستقرار، وخصوصاً بعد اكتشاف الإشعاع الكوني للحرارة الخلفية. وتجد 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 والمجرات الإشعاعية في أعماق السماء أظهرت دليلاً لالبس فيه على أن الكون يتطور على نطاق واسع. وعندما أتضح 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 وآخر.

وبصرف النظر تماماً عن المشكلات الفيزيائية والرصدية، فإن نظرية حالة الاستقرار تطرح بعض الصعوبات الفلسفية الغريبة. فعلى سبيل المثال، إذا تهيأ لأحفادنا 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. وهكذا، فإن التقنية ستنتشر، بصورة أساسية، في المستقبل البعيد جداً إلى جزء كبير من الكون. ولكن بالفرضية، فإن الطبيعة الضخمة للكون يُفترَض ألا تتبدل بمرور الزمن، وبالتالي، يُلزِمُنا افتراض حالة الاستقرار بأن نستنتج أن الكون الذي نراه اليوم كانت قد جرت تقانته سابقاً. وبما أن الظروف الفيزيائية في كون الحالة المستقرة هي عموماً

نفسها في كل الحقب، فإن الكائنات العاقلة لابد وأن تنشأ في كل الحقب أيضاً. وبما أن هذه الحالة الراهنة قد وُجدَت لكامل الأبدية، فإنه يجب أن تكون هناك جماعات من الكائنات التي عاشت هنا وهناك، بصورة اعتباطية، لزمن طويل وانتشرت لتشغل، بصورة اعتباطية أيضاً، حجماً كبيراً من الفراغ–بما في ذلك المنطقة من الكون التي نشغلها نحن–نشرت التقنية فيها. لايمكن التملص من هذا الاستنتاج بافتراض أن الكائنات العاقلة عموماً لم تكن لديها رغبة لاستعمار الكون. ولكي يكون هذا الافتراض صحيحاً، لابد أن يكون نشوء جماعة واحدة من مثل هذه الجماعات قد استغرق زمناً طويلاً في الماضي. وهي حالة أخرى لأحجية 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 الحالة المستقرة تتنبأ بأن عمليات الكون تماثل النشاطات التقنية لسكانه, وما ندعوه طبيعة هو، في الواقع، نشاط كائن متفوق، أو جماعة من الكائنات الفائقة. يبدو هذا كنسخة لصانع الكون المادي عند أفلاطون (إله يعمل ضمن قيود قوانين فيزيائية موضوعة سابقاً)، ومن اللافت أن دفاع هويله عن كائن متفوق كهذا كان واضحاً في نظرياته الكوزمولوجية الأخيرة.

إن أية دراسة لنهاية الكون تواجهنا بأسئلة حول الغرض. وكنت ذكرت سابقاً أن توقع احتضار الكون أقنع برتراند راسل بالعبثية المطلقة للوجود. وهي فكرة عاطفية ردد صداها في السنوات الأخيرة ستيفن فاينبرغ، الذي بلغ كتابه *الدقائق 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 مبالغاً فيه، وقد يكون خطأ، مع أن موتاً مفاجئاً بانسحاق كبير يبقى احتمالاً قائما. وفكرت بنشاطات الكائنات المتفوقة التي يمكن أن تحقق أهدافاً خارقة، فيزيائية وفكرية، ضد الشذوذات. وقد ألقيت أيضاً نظرة مستعجلة على إمكانية أن تكون الأفكار لاتعترف بحدود، حتى وإن كان الكون يعترف بتلك الحدود.

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

على مواجهة السأم في حياة أبدية. إذا كان الخلود يعني أن يكون المـــرء مقيـــداً بأفكـــار تتكرر مرة بعد أخرى إلى الأبد، فإنه سيكون خلوداً تافهاً فعلاً. ولكن إذا كـــان مترافقـــاً بالتقدم، عندئذٍ، يمكننا أن نتخيل العيش في حالة من الجِدَّة السرمدية، دائماً نتعلم أو نفعـــل شيئاً جديداً ومثيراً. والمزعج هو، لماذا؟ فعندما تباشر الكائنات البشرية مشروعاً لغـــرض ما، فإنه إنما تفكر بهدف معين. وإذا لم يتحقق الهدف، فإن المشروع يكون قـــد أخفـــق (مع أن التجربة قد لاتكون بالضرورة عديمة القيمة). ومـــن جهـــة أخـــرى، إذا تحقـــق الهدف، فإن المشروع يكون قد اكتمل، وعندئذٍ، سيتوقف النشاط. فهل يمكـــن أن تكـــون هناك غاية حقيقية في مشروع لن يكتمل أبداً؟ وهل يمكن أن يكون للوجود معنى إذا كـــان يتألف من رحلة لاتنتهي نحو غاية لن يتم بلوغها أبداً؟

إذا كان هناك غرض للكون، وحقق ذلك الغرض، عندئـــذٍ يجـــب أن ينتـــهي، لأن استمرار وجوده سيكون بدون مبرر وتافهاً. وعلى العكس، إذا استمر الكون إلى الأبـــد، فإنه يصعب أن نتخيل أن هناك أي غرض نهائي له. وهكذا، قد يكون الموت الكوني هـــو الثمن الذي يجب دفعه لقاء نجاح الكون. وربما يكون أقصى مانتطلع إليه هو أن يصبـــح ذلك الغرض معروفاً لأحفادنا قبل أن تنتهي الدقائق الثلاث الأخيرة.

# محتويات الكتاب


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

# من منشورات دار علاء الدين

- **أسرار الكون**
.....لجنة الترجمة

- **الدقائق الثلاث الأخيرة**
..... بول ديفيز

- **الله والعقل والكون**
..... بول ديفيز

- **أطلس العمليات الجراحية**
..... فائز طريفي،عدنان جمجوم

- **اشف نفسك ذاتياً**
.....لويزا خي

- **الكسوف والخسوف**
.....أحمد بسام حاتم

- **قوة العقل**
..... جيمي سكوت

- **الأسس العصبية للمعالجة الانعكاسية**
..... د. سعدالله يوسف إبراهيم

- **نقاط المعالجة الانعكاسية**
..... د. سعدالله يوسف إبراهيم

- **مبادئ المعالجة الانعكاسية**
..... د. سعد الله يوسف إبراهيم

- **الحياة الجديدة (الحمل، الولادة..)**
..... ديفيد هارفي

- **الحياة بعد الحياة**
..... ريامواند ماودي

- **مرجع الفحوص التشخيصية والمخبرية**
.....عبد الباري السعدو

- **الاستنساخ**
.....تأليف: مرتا س. نيوسباوم ترجمة: أحمد رمو