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 الانفجار الكبير، 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 الإغريق وضعوا في اعتبارهم إمكانية أزلية الكون، فإن الديانات الرئيسية كلها تتمسك بفكرة أن الله هو الذي خلق الكون في لحظة معينة في الماضي.

المسألة العلمية ملزمة فيما يخص نشوء مفاجئ في الانفجار الكبير. ويأتي الدليل الأكثر صراحة من دراسة نوعية الضوء القادم من المجرات البعيدة. ففي العشرينيات، لاحظ الفلكي الأمريكي إدوين هابل - وهو يتابع المشاهدات المتأنية لفيستو سليفر، وهو خبير بالسُّدَم(*) كان يعمل في مرصد فلاغستاف، في أريزونا - أن لون مجرات بعيدة يبدو أكثر حمرة بقليل من مثيله في مجرات قريبة. استخدم هابل منظار ماونت 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.

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

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 هابل قادراً على إثبات هذه النتيجة. فاقترح أن تمدد الموجات الضوئية يعزى إلى حقيقة أن الكون يتوسع. وبهذا البيان الخطير، وضع هابل أساس علم الكون الحديث.

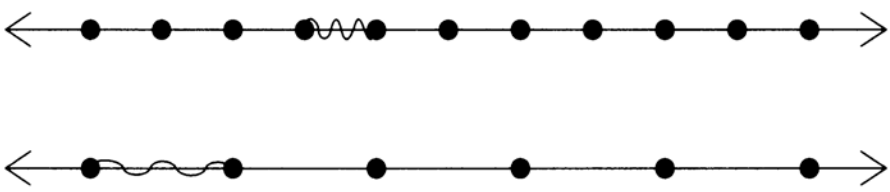
إن طبيعة توسع الكون تربك الكثيرين من الناس. فمن نقطة مشاهدة على سطح الأرض، يبدو لنا وكأن المجرات القاصية تندفع بعيداً عنا. ولكن هذا لا يعني أن الأرض في مركز الكون؛ فنمط التوسع واحد في كامل الكون. وكل مجرة - أو، بتعبير أكثر دقة، كل عنقود من المجرات - يبتعد عن كل عنقود آخر. والأفضل أن نتخيل هذا كتمدد أو 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 أينشتاين 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 ما تم 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 لا يتصل بالطريقة التي تتمدد فيها المنظومة. ويمكن استبعاد هذه النقطة لو كان الحبل طويلاً إلى ما لا نهاية، أو مغلقاً إلى دائرة.

3- الدقائق الثلاث الأولى

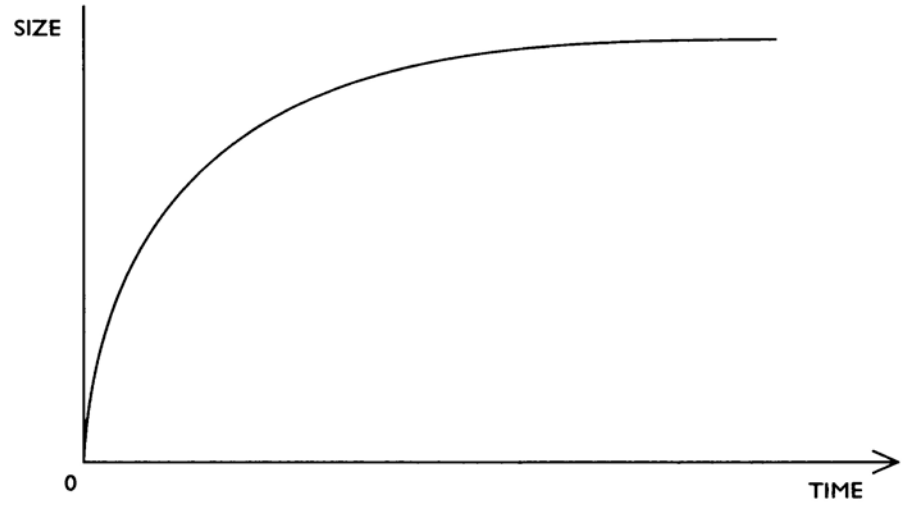
إذا نظرنا من أي زر إلى الأزرار الأقرب، فإننا سنجدها تتراجع بسرعة تعادل نصف سرعة الأزرار التالية الأقرب إليها، وكلما كان الزر بعيداً عن الموقع الذي نراقب منه، كان تراجعه أسرع. في هذا النمط من التمدد، تتناسب سرعة التراجع مع المسافة - علاقة بالغة الأهمية. وعلى ضوء هذه الصورة، يمكن أن نتصور الآن موجات الضوء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



الصورة 3-1: نموذج أحادي البعد لكون يتوسع. تمثل الأزرار العناقيد المجرّيَّة، 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 هابل.

إذا كان الكون يتوسع، فلا بد أنه كان أكثر انضغاطاً في الماضي. وقد ساعدت ملاحظات هابل، 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 ما تزال غير محققة في حدود عامل من اثنين، وهو موضوع جدل عنيف.

ثانياً، إن السرعة التي يتمدد فيها الكون لا تبقى ثابتة مع الزمن. ويعزى هذا إلى قوة الجاذبية، التي تعمل بين المجرات - وفي الواقع، بين كافة أشكال المادة والطاقة في الكون. تعمل الجاذبية كمكبح، يضبط اندفاع المجرات نحو الخارج. وبالتالي، تتناقص سرعة 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 باطراد 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 تكوِّن كل المجرات، ويمكن أن نراها اليوم، ظهرت من نقطة وحيدة، بسرعة انفجارية! وهذا وصف مُمثل 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.

3- الدقائق الثلاث الأولى

ولكن هل يُبرَّر لنا استكمال المنحنى استقرائياً على امتداد الطريق رجوعاً إلى البداية؟ كثير من علماء الكون يظنون هذا. وعلى ضوء ما نتوقعه 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 لا يعني فقط أن المادة انسحقت إلى كثافة لامتناهية، بل يعني أن المكان انضغط إلى لا شيء. 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 يعيِّنان أيضاً حد الزمان. والسبب هو أن الزمان وكذلك المكان تمددا بالجاذبية. وأكرر القول إن هذا الأثر هو نتيجة لنظرية أينشتاين 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) لا يمكن أن يمتد رجوعاً إلى أبعد من الانفجار الكبير. والاستنتاج الذي يفرض نفسه علينا، كما يبدو، هو أن الانفجار الكبير كان البداية الأساسية لكل الأشياء الفيزيائية: المكان، والزمان، والمادة، والطاقة. من الواضح أنه لا معنى لطرح السؤال (كما يفعل الكثير من الناس): ما الذي حدث قبل الانفجار الكبير، أو ما الذي سبب حدوث الانفجار؟ لأنه لم يكن هناك "قبل". وحيث لا يكون هناك زمن، لا يمكن أن يكون هناك سبب بالمعنى العادي.

لو أن نظرية الانفجار الكبير، بما 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 من دون عائق تقريباً منذ ما بعد الانفجار الكبير بقليل. ويكافئ 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°م)، 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 لا بد وأنه كان في الماضي أشد حرارة. وتاريخ الإشعاع بالذات يرقى إلى حوالي ثلاثمئة ألف سنة بعد الانفجار الكبير، عندما برد الكون إلى 4000°م 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 مؤَيَّن)، شفاف يسمح للإشعاع بالانتشار خلاله بحرية.

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

3- الدقائق الثلاث الأولى

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 الحراري الخلفي للكون. في عام 1922، كشف قمر صناعي لناسا NASA سمي COBE (Cosmic Background Explorer)، أي مسبر الخلفية الكونية، أن الإشعاع لم يكن منتظماً تماماً 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 عنقوديّ فائقة. فقد احتفظ الإشعاع بأمانة بإشارة التكتل الابتدائي عبر الآباد، ويُظهِر بجلاء أن الكون لم يكن دائماً منظماً بالطريقة المميزة التي نراها اليوم. فتراكم المادة إلى مجرات ونجوم هي عملية تطورية ممتدة بدأت مع الكون في حالة منتظمة تماماً تقريباً.

هناك جانب نهائي من دليل يعزز نظرية المنشأ الكوني الحراري الكثيف. وعلى ضوء معرفة درجة الإشعاع الحراري اليوم، فإنه يمكن للمرء بسهولة أن يقدِّر أنه عند 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 الوقت، يجب أن تكون المادة قد تفككت إلى مكوناتها الأكثر بدائية، لتشكل سحاباً من الجسيمات الأساسية كالبروتونات، والنيوترونات، والإلكترونات. ولكن، عندما برد السحاب، أصبحت التفاعلات النووية ممكنة. فكانت النيوترونات والبروتونات، بشكل خاص، تتمتع بحرية الالتصاق أزواجاً، وهذه الأزواج اتحدت مع بعضها بعضاً لتشكل نوى الهليوم العنصري. وتشير الحسابات إلى أن هذا النشاط النووي تواصل على مدى ثلاث دقائق (من هنا جاء عنوان كتاب ستيفن واينبرغ)، وهو الزمن الذي تم خلاله تركيب ربع كتلة المادة إلى هليوم. استنفدت هذه العملية، في الواقع، كل النيوترونات الموجودة. وقُدِّر لبقية البروتونات غير المتحدة أن تصبح نوى هيدروجينية. ولذلك تتنبأ النظرية بأن الكون يتكون من هيدروجين (75%) وهليوم (25%). تتفق هذه الأرقام، إلى حد بعيد، مع قياسات هذه الأيام للكميات الكونية الغزيرة من هذه العناصر.

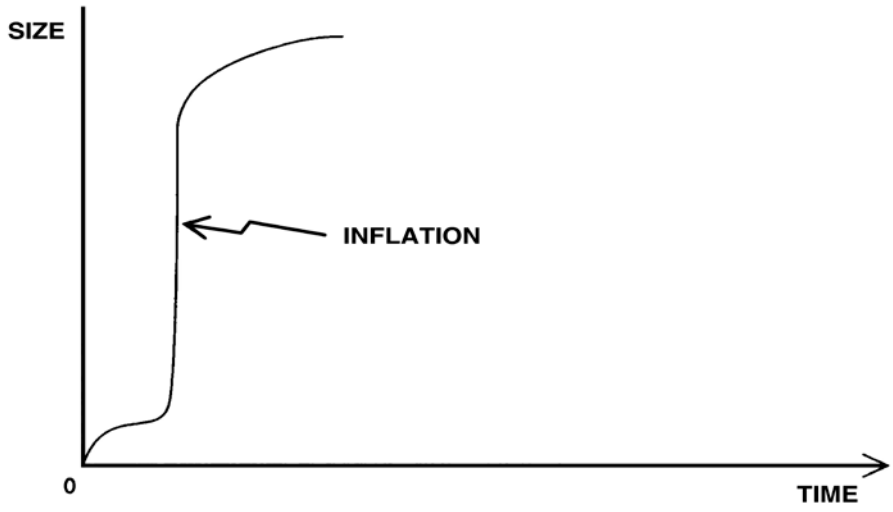
ربما تكون تلك التفاعلات النووية الابتدائية قد أنتجت أيضاً كميات بسيطة جداً من الديوتريوم، والهليوم-3، والليثيوم. ولكن العناصر الثقيلة أكثر، التي تشكل، في جملتها، أقل من 1% من المادة الكونية لم يجر إنتاجها في الانفجار الكبير. وبدلاً من ذلك، تشكلت فيما بعد، داخل النجوم، بطريقة سآتي على دراستها في الفصل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

فإذا وضعنا في اعتبارنا توسع الكون، والإشعاع الخلفي للحرارة الكونية، والوفرة النسبية من العناصر الكيميائية، فسيكون لدينا دليل قوي يؤيد نظرية الانفجار الكبير. ومع ذلك، تبقى هناك أسئلة كثيرة من دون جواب. فعلى سبيل المثال، لماذا يتوسع الكون على وجه الدقة بالمعدل الذي هو عليه؟ - بمعنى آخر، لماذا كان الانفجار الكبير كبيراً جداً؟ ولماذا كان الكون المبكر متماثلاً جداً؟ ولماذا كان التوسع متشابهاً في كل الاتجاهات وفي كل نواحي المكان؟ وما أصل التموجات البسيطة للكثافة التي اكتشفت من قبل مسبر الخلفية الكونية - التموجات المهمة جداً لتشكيل المجرات والعناقيد المجرّيَّة؟

وقد تم في السنوات الأخيرة بذل جهود بطولية لمعالجة هذه المعضلات العويصة عن طريق ربط نظرية الانفجار الكبير بأحدث الأفكار 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 ما يستتبعه 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 المكافئ الذي يظهر في الرسم البياني في الصورة 3-2.



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.

لماذا ينبغي على الكون أن يتصرف بهذه الطريقة الغريبة؟ لا يجب 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 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 أُسِّيّاً. ويعني هذا رياضياً أن منطقة معلومة من المكان تتضاعف في فترة ثابتة من الزمن. ولْنُسَمِّ هذه الفترة «تكَّة» tick. وبعد تكَّتين، تضاعف الحجم أربع مرات؛ وبعد ثلاث تكَّات، تضاعف ثمان مرات؛ وبعد عشر تكَّات، 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، ما أقصده بهذا القول).

والقفزة الهائلة في الحجم التي أحدثها التضخم تؤمِّن 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، لا بد 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 لا يكون انتهى في اللحظة نفسها في كل مكان (لأسباب سندرسها بعد قليل)، وهكذا، لا بد 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 ما يقرب 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 ما يتضمنه 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 -كالإلكترونات، والبروتونات، والنيوترونات - وحتى كامل الذرات، تبدي مظاهر تشبه الموجات في ظل بعض الظروف.

في نظرية الكم مبدأ مركزي هو مبدأ الريبة قال به فيرنر هايزنبرغ. ووفقاً لهذا المبدأ، فإن الأشياء الكمية لا تتمتع بقيم محددة على نحو واضح لكل صفاتها. فعلى سبيل المثال، لا يمكن أن يكون لإلكترون موضع محدد وزخم محدد في الوقت نفسه. ولا يمكن أن تكون لطاقته قيمة محددة في لحظة محددة من الزمن. وما يهمنا هنا هي الريبة في قيمة الطاقة. ومع أن الطاقة محفوظة دائماً في العالم العياني للمهندس (لا يمكن خلقها أو إتلافها)، فإن هذا القانون يمكن تعطيله في حقل الكم دون الذري. الطاقة يمكن أن تتغير، بصورة تلقائية ولا يمكن التنبؤ بها، من لحظة إلى لحظة تالية. وكلما كانت الفترة الفاصلة أقصر، ستكون التموجات الكمية العشوائية أكبر. في الواقع، لا يمكن للجسيم أن يقترض طاقة من أي مكان، طالما أنه يتوجب تسديد القرض فوراً. وتقتضي الصيغة الرياضية الدقيقة لمبدأ الريبة عند هايزنبرغ أن يتم تسديد القرض الكبير للطاقة بسرعة كبيرة، أما القروض الأصغر فبعد مدة أطول.

تؤدي ريبة الطاقة إلى بعض النتائج الغريبة. من بينها إمكانية أن جسيماً، كالفوتون، يمكن أن يخرج إلى الوجود فجأة للاشيء، فقط ليختفي بعد ذلك بسرعة. تعيش هذه الجسيمات على طاقة مقترضة، وبالتالي على زمن مقترض. ونحن لا نراها، لأن ظهورها عابر فقط، ولكن ما نعتبره، بصورة طبيعية، فضاء فارغاً هو، في الواقع، مكتظ بحشود من هذه الجسيمات ذات الوجود المؤقت - لا الفوتونات فقط، بل

الإلكترونات، والبروتونات، وكل شيء آخر. ولتمييز هذه الجسيمات الموقتة من الأخرى الدائمة المألوفة أكثر، يُطلق 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 هايزنبرغ. فعلى سبيل المثال، إن إلكتروناً افتراضياً يعيش نموذجياً فقط لمدة 10^{-21} ثانية. وخلال حياته القصيرة لا يبقى 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 لا يمكننا 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 لا تنتقل 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 مبادئ 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 لا بد من أن تكون أطول: كانت الكهربية والمغنطيسية تعتبران متميزتين. وقد بدأت عملية التوحيد في مطلع القرن التاسع عشر وتقدمت في العقود الأخيرة. وتترابط اليوم، كما نعرف، القوى الكهرطيسية والنووية الضعيفة لتشكل «قوة كهروضعيفة» واحدة. ويظن كثير من علماء الفيزياء أن القوة القوية ستنتهي إلى الارتباط بالقوة الكهروضعيفة، وهو اتحاد يمكن وصفه، بشكل أو بآخر، بما يعرف 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 ذرِّياً ما في حالة كهذه يحتوي 10^{26} جول. فلنقارن هذا الرقم بالرقم الزهيد 10^{-18} جول أو ما يقرب 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 أينشتاين، 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 لا تساعد 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، لا نعتبر 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 لا يدفع، 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 رجوعاً إلى حالة الخمود - الفراغ الحقيقي. وربما يفعل هذا بعد بضع تكّات. ولكونها عملية كمية، فإنها تخضع لتذبذبات حتمية غير محدودة وعشوائية سبقت دراستها آنفاً فيما يتعلق بمبدأ الريبة عند هايزنبرغ. 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.

3- الدقائق الثلاث الأولى

عندما يتلاشى الفراغ الزائف، فإن الكون يستأنف تمدده الطبيعي المتباطئ 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 تُكوِّننا: أنت، وأنا، والمجرة، وبقية الكون الذي تمكن مشاهدته.

إذا كان السيناريو التضخمي يسلك الطريق الصحيح - وذلك ما يظنه 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.