وزن الكون

كثيراً ما يقال إن ما يرتفع لا بد أن يهبط. فالشد الذي تمارسه الجاذبية على جسم يُقذَف نحو السماء يعمل على كبح طيرانه ويجذبه لإعادته إلى الأرض. ولكن هذا لا يحدث دائماً. فإذا كانت السرعة التي يتحرك فيها الجسم كافية، ، فإنه يمكن أن يفلت من جاذبية الأرض تماماً ويتطاير إلى الفضاء، ولن يعود أبداً. فالصواريخ التي 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 (300,000 كم/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 لا يمكن القيام بذلك مباشرة. وعلى الرغم من ذلك، قد نتمكن من التوصل إلى وزنه عن طريق الاستنتاج، وذلك باستخدام نظرية الجاذبية. ويمكن الحصول على الحد الأدنى بسهولة. يمكن الحصول على وزن الشمس عن طريق قياس الجذب التثاقلي الذي تمارسه على الكواكب. فنحن نعرف أن درب التبانة يحتوي على حوالي مئة بليون نجم من كتلة تعادل، في المتوسط، كتلة شمسية واحدة، يؤمِّن هذا حداً أدنى أولياً لكتلة المجرة. ويمكننا الآن أن نحصي عدد المجرات الموجودة في الكون. ولكن لا يمكن 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

6- وزن الكون

1% من سرعة الضوء. يمكن الاستنتاج أنه لو كان وزن الكون مديناً فقط للنجوم لأفلت الكون من جذبها التثاقلي وواصل توسعه إلى ما لا نهاية.

وبالفعل، يظن كثير من العلماء أن ذلك هو ما سوف يحدث. ولكن ليس كل الفلكيين وعلماء الكون على قناعة بأن المسائل الحسابية قد أُنجزَت على نحو صحيح. فالمادة التي نراها أقل مما هي عليه على أرض الواقع، لأنه ليست كل 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، لا شك 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 مواد كثيرة لا نراها. فإذا كان الكون بدأ كسحاب حار جداً من جسيمات دون ذرية، كالإلكترونات، والبروتونات، والنيوترونات المعروفة التي تشكل المادة العادية، فلا بد 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 النيوترينوات، تلك الجسيمات الطيفية التي يظهر نشاطها في المستعرات (انظر الفصل الرابع). وعلى حد ما نعرف، فإن النيوترينوات لا يمكن أن تتفكك إلى أي شيء آخر. هناك ثلاثة نماذج مختلفة من النيوترينوات، وقد تكون قادرة على التحول بعضها إلى البعض الآخر، ولكنني سأتجاوز هذا التعقيد هنا. ولهذا السبب، فإننا نتوقع أن الكون يستحم في بحر من النيوترينوات الكونية التي خلَّفها الانفجار الكبير. وإذا سلَّمنا بأن طاقة الكون الابتدائي كانت قد توزعت ديمقراطياً بين كافة الأنواع دون الذرية، عندئذٍ يمكن حساب عدد النيوترينوات 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 العادية.

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 من دون تشويش تقريباً منذ أول /ميلّي ثانية/ من الوجود. وبما أن النيوترينوات 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 من دون توقف ومن دون أن يلاحظه أحدنا أبداً، لأن تفاعل النيوترينوات 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 النيوترينوات التي تنتشر، كما يبدو، في كامل الأحياز الفارغة من الكون يمكن أن يكون لها نتائج عميقة بالنسبة لمصيره النهائي.

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

وحيثما تكون الجاذبية معنية، فإن الكتلة الحقيقية، لا كتلة السكون، هي التي تؤخذ في الحسبان. وبما أن النيوترينوات تنتقل قريباً من سرعة الضوء، فإن كتلتها قد تكون مهمة حتى على الرغم من أن تلك الكتلة في حالة السكون قد تكون صغيرة جداً. وفي الحقيقة، قد تكون كتلتها صفراً في حالة السكون وتنتقل بسرعة الضوء تماماً. فإذا صح ذلك، عندئذٍ يمكن تحديد كتلتها الحقيقية عن طريق الرجوع إلى طاقتها، التي يمكن استنتاجها، في حالة النيوترينوات الكونية التذكارية، من طاقتها المفترضة التي اكتسبتها من الانفجار الكبير. يجب تصحيح الطاقة الأصلية بواسطة عامل يضع في حسابه التأثير المنهك لتوسع الكون. وعند إنجاز كل هذا، يتبين أن النيوترينوات مع كتلة سكون صفر لن تسهم بدرجة مهمة إلى إجمالي وزن الكون.

وبالمقابل، لا يمكن أن نتأكد من أن كتلة النيوترينوات هي صفر في وضع السكون، ولا من أن للأنواع الثلاثة من النيوترينوات كلها الكتلة نفسها في وضع

6- وزن الكون

السكون. وفهمنا النظري الحالي للنيوترينوات لا يستبعد كتلة محدودة في وضع السكون، وبالتالي، تصبح المسألة مسألة تجربة لتحديد طبيعة الحالة. وكما ذكرت في الفصل الرابع، فإننا نعرف أنه إذا كان للنيوترينو كتلة سكون، فمن المؤكد أنها صغيرة جداً - أصغر بكثير من كتلة 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 كتلة صغيرة بحجم 1000/10 من كتلة الإلكترون (بخلاف ذلك، أخف جسيم معروف) ستكون كافية لإحداث تأثير مثير: عندئذٍ، يرجح وزن النيوترينوات على كافة النجوم.

اكتشاف كتلة سكون بمثل هذا الصغر صعب جداً وكانت نتائج التجارب مربكة ومتناقضة. ومن الغريب أن يقدم اكتشاف النيوترينوات من المستعر الأعظم A-1978 دليلاً مهماً. وكما ذكرت سابقاً حول أنه إذا كانت كتلة سكون النيوترينوات صفراً، فإنها يجب أن تنتقل كلها بالسرعة نفسها بالضبط - سرعة الضوء. ومن ناحية أخرى، إذا كانت كتلة سكون النيوترينو صغيرة جداً لا صفراً، عندئذٍ، يكون ممكناً وجود مجموعة من السرعات. يحتمل أن تكون النيوترينوات من المستعر 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 النيوترينوات من المستعر الأعظم 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 للنيوترينوات. تشير معظم التقديرات لكتلة السكون إلى نيوترينو افتُرِض أصلاً من قبل باولي 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 النيوترينوات. تجريبياً، يبقى مدى القيم المحتملة واسعاً جداً، ولكن التفكير السائد بين المنظّرين هو أن النيوترينوات ربما لا تسيطر على كتلة الكون.

ولكن هذا الرأي يمكن أن ينعكس بسهولة على ضوء التقييمات التجريبية الحديثة لكتل النيوترينوات.

والنيوترينوات 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 المنظّرين قائمة تسوّق 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 يُتوَقَّع 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 إنكلترا وتحت سد قرب سان فرنسيسكو لتمييز مرور الجسيمات العظيمة الكتلة الضعيفة التفاعل. وعلى فرض أن الكون مليء بها، فإن عدداً كبيراً منها يخترق أجسامنا (والأرض) طوال الوقت. مبدأ التجربة صعب تصوره وغريب جداً: اكتشاف الصوت الذي يُحدِثه جسيم عظيم الكتلة ضعيف التفاعل عندما يصطدم بنواة ذرية.

يتألف الجهاز من بلّورة من الجرمانيوم 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 المنظّرون 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، لا بد 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 لا تتركز قرب الوسط، بل تنتشر بالتساوي تقريباً. وحقيقة أن المجرة تبدو كما لو كانت مركزة قرب الوسط تشير إلى أن المادة المضيئة هي فقط جزء من القصة. فمن الواضح أن هناك قدراً كبيراً من المادة المظلمة أو غير المرئية، وأكثرها في الامتدادات الخارجية للقرص، تسرِّع 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 المجرِّية. 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، ما لم تكن هناك كتلة أكبر مما يمكن أن تفسره المادة المضيئة بما لا يقل 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 ما يخلِّف الانطباع بأنه مقيد بالجاذبية. ويبدو أن شكلاً من المادة المظلمة موجود بكميات مهمة، 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.

6- وزن الكون

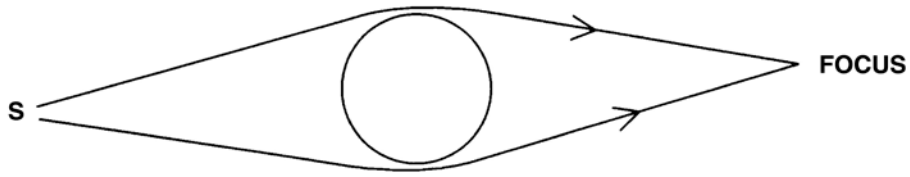
لا يمكن لبنية تكتلية، مزبدة كهذه أن تنشأ في الوقت المتاح منذ الانفجار الكبير من دون الجذب التثاقلي المضاف لمادة غير مضيئة. ولكن المحاكاة الحاسوبية لم تستطع، حتى وقت وضع هذا الكتاب، إنتاج البنية المزبدة المنظورة بأي شكل بسيط من مادة قاتمة، وقد تدعو الحاجة إلى استخدام خليط معقد لتشكيل تلك المادة.

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 لا نعي الحقيقة. وقد اكتشف الفلكيون مؤخراً تقنية يمكن أن تكشف عن وجود الأجسام المظلمة التي لا تقيدها الجاذبية إلى أجسام مرئية. وتستفيد هذه التقنية من نتيجة النظرية العامة في الجاذبية لأينشتاين التي تُعرَف بالتعدس التثاقلي gravitational lensing.

تقوم الفكرة على أساس حقيقة أن الجاذبية يمكن أن تحني أشعة الضوء. وكان أينشتاين 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 أينشتاين.

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 أينشتاين. 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 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.



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.

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 لا يُصدَّق، فإن التعدس التثاقلي يجب أن يلاحظ إذا كان هناك ما يكفي من الأجسام المظلمة. في أواخر عام 1993، أعلن طاقم أسترالي أمريكي مشترك، كان يراقب النجوم في السحابة الماجلانية الكبيرة من مرصد جبل ستروملو في نيو ساوث ويلز، عما يبدو أنه أول نموذج واضح للتعدس التثاقلي بواسطة نجم قزم في هالة مجرتنا.

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

6- وزن الكون

ولكن ما كل 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 هوكينغ، 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 ما يؤكده علماء علم الفلك الإشعاعي. على الأرجح أنه لم تُكتَشَف نبضات، ولهذا يُقدَّر أنه لا يمكن أن يحدث أكثر من انفجار واحد كل ثلاثة ملايين سنة في كل سنة ضوئية مكعبة من الفضاء. وهذا يعني أن الثقوب السوداء المجهرية لا تشكل 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 لا يعرفون مم يتركب معظم الكون. فقد كان يُفترَض لمدة طويلة أن النجوم تشكل معظم الكون، ولكن تبيَن أنها لا تشكل سوى جزء بسيط تقريباً من الإجمالي.

المسألة الحاسمة، بالنسبة لعلم الكون، هي ما إذا كانت هناك مادة مظلمة تكفي لوقف توسع الكون. تُدعى الكثافة الأصغرية للمادة التي تفشل تماماً في وقف التوسع «الكثافة الحرجة». ويمكن التقدير بأن قيمتها تبلغ حوالي مئة ضعف كثافة المادة المرئية. وكمية كهذه تبقى ممكنة، ولو بالكاد. والمأمول أن يقدم البحث عن المادة السوداء عما قريب جواباً واضحاً، سواء بالنفي أو الإيجاب، لأن المصير النهائي للكون، على أقل تقدير، يرتبط بها.

الدقائق الثلاث الأخيرة

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

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

تتعلق واحدة من نبوءات نظرية التضخم بكمية المادة في الكون. لنفترض أن الكون 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، تتنبأ النظرية بأن الكثافة تقترب بسرعة من الكثافة الحرجة. وكلما كان تضخم الكون طويل الأمد، أصبحت الكثافة أقرب إلى الحرج. وفي الترجمة القياسية للنظرية، يستمر التضخم فقط أمداً قصيراً جداً، وبالتالي، ما لم 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 جداً من الثانية. ومعنى «أسِّيّ» هنا هو

6- وزن الكون

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، وهلم جرا.

ما مدى استمرار التضخم؟ لا أحد يعرف، ولكن لكي تفسر النظرية العديد من الأحاجي 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 صدفة 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.