

الحتمية والإرادة الحرة بين العلم والدين

(5-5)

د. جواد بشارة

تعقب الطاقة المظلمة:

هل يمكننا إذن تخيل أجهزة تجريبية قادرة على تقييد نماذج الطاقة المظلمة المختلفة بشكل أفضل؟ يتميز هذا النهج بالضغط السلبي. هذا الأخير يعادل في الواقع التوتر، تمامًا مثل الأشياء المرنة والينابيع وألواح المطاط، عند الضغط عليها، يتم توجيه ضغط سلبي إلى الداخل.

يظهر أنه عندما يكون الضغط أقل من ثلث كثافة الطاقة، فإن قوة الجاذبية تتغير وتصبح منفرة. المعلمة الرئيسية هي معادلة الحالة، والتي تشرح العلاقة بين ضغط p للطاقة المظلمة وكثافة طاقتها ρ في الشكل $p = w \rho c^2$ ، حيث w هي معلمة اعتمادًا على طبيعة الطاقة. للحصول على طاقة طاردة، يجب أن يكون w سالبًا وأقل من $-1/3$.

كما شهد لوميتير Lemaître في عام 1934، فإن الثابت الكوني أو الفراغ الكمي يتميز بأن $w = -1$ ، وبالتالي فهو طارد للمادة بشدة. الأشكال الأخرى للطاقة المظلمة، مثل النماذج المثالية، لها قيم تتراوح بين -1 و $-1/3$. يتميز الشكل الأكثر تطرفًا للطاقة البغيضة، المسمى "طاقة الأشباح" بـ $w < -1$. تسمح المرونة النظرية أيضًا لمعادلة الحالة بالتغير بشكل تعسفي بمرور الوقت.

وضع علماء الفلك برامج رصد طموحة قد تقيّد القيم المحتملة لـ w ، وبذلك نماذج الطاقة المظلمة المختلفة. القيمة الحقيقية للثابت الكوني أمر في غاية الأهمية بالنسبة لعلم الكونيات لأن المستقبل الطويل جدًا لكوننا يعتمد بالكامل عليه. إذا تبين أن المعلمة w قريبة جدًا من -1 ، فإن نظرية النسبية العامة وثابتها الكوني ستأخذ في الاعتبار معدل تمدد الكون ووجود الطاقة المظلمة. من ناحية أخرى، فإن قيمة مختلفة بشكل كبير قد تعني إما وجود شكل آخر من أشكال الطاقة المظلمة أو الحاجة إلى مراجعة نظرية النسبية العامة ... يعتمد تطور الكون بشكل أساسي على الكثافة الكلية للمادة والطاقة التي يحتويها. عندما يقوم علماء الفيزياء الفلكية بجرد جميع أشكال المادة والطاقة، فإنهم يواجهون عددًا من المضاعفات. هيمنت أشكال مختلفة من الطاقة بدورها على مسار التطور الكوني وفرضت ديناميكياتها، أي الاختلاف مع مرور الوقت لعامل المقياس المكاني R ، يمكننا على سبيل المثال تحديد نصف قطر الكون المرئي. هناك أربع مراحل. الأولى، التي ما زالت افتراضية، هي الفترة القصيرة للغاية للتضخم، حيث كان من الممكن أن يتوسع R بشكل كبير. خلال هذه الفترة تم إنشاء المادة. في المرحلة الثانية، سيطر الإشعاع، ولكن مع انخفاض كثافة الطاقة مع $R - 4$ بينما زادت R ، تم استبدالها في المرحلة الثالثة بالمادة التي تنخفض كثافتها فقط مثل $R - 3$. ولأسباب مماثلة، كانت الطاقة المظلمة في المرحلة الرابعة تستغرق أكثر من 7 مليار سنة وتهيمن على الكون الحالي. بات تأثيرها الأهم هو تسريع التوسع، ولكن بسرعة أقل من خلال التضخم. لا أحد يعرف إلى أين سيقودنا ذلك، لأننا لا نعرف طبيعتها الحقيقية أو ماهيتها ولا نعرف قانون الاختلاف مع مرور الوقت. ومع ذلك، يمكن تحديد ثلاثة سيناريوهات.

ستسيطر الطاقة المظلمة المستمرة بشكل متزايد على توازن الطاقة في الكون، وسيستمر التوسع الملحوظ في الفضاء في التسارع حتى يصبح أسياً. ستتكرر الهياكل غير المتصلة بالفعل بالجاذبية وستنتقل أجزائها بعيداً عن بعضها البعض بسرعات واضحة أكبر من سرعة الضوء. سوف يمنعا التسارع في نهاية المطاف من مراقبة أجزاء كبيرة من الكون هي مرئية اليوم. ومع ذلك، ستبقى الهياكل المرتبطة بالجاذبية، مثل المجرات والأنظمة الكوكبية، كذلك. لذا فإن النظام الشمسي أو مجرة درب التبانة سيظلان في الأساس كما هما الآن، في حين يبدو أن بقية محتويات الكون تفر منا. هذا السيناريو المسمى التجلد الكبير "Big Chill" أو الكون الجليدي هو الأكثر معقولة أو احتمالية في الوضع الراهن لمعرفتنا ومعلوماتنا العلمية.

مع تناقص كثافة الطاقة المظلمة في المستقبل (هذا هو النموذج المثالي)، يمكن أن تصبح المادة مهيمنة مرة أخرى. سوف ينمو الأفق الكوني، ويكشف عن جزء أكبر من الكون. سوف تسود الثقالة الجاذبة مرة أخرى ولن يتوقف التوسع عن التسارع فحسب، بل سينعكس وسيقتلص الكون ككل ليختفي في "أزمة كبيرة"، الانكماش الكبير يمكن أن يحدث بعد 18 مليار سنة.

إذا زادت الطاقة المظلمة بمرور الوقت، أو إذا كانت تهيمن عليها طاقة الأشباح البغيضة للغاية، فسوف تنتسح المساحة بمعدل متزايد باستمرار، وسيتم تسريع نفسها. في هذه الحالة، ستكون النتيجة "Big Rip" التمزق الكبير، والذي سيحدث عندما يصبح التسارع لانهائي بعد وقت محدود. كل المادة في الكون، حتى الذرات، سوف تتمزق بسبب تمدد الفضاء. وفقاً لأقصى سيناريو، سيحدث هذا الحدث في "بالكاد" بعد 22 مليار سنة. أولاً، سيتم فصل المجرات عن بعضها البعض وستذوب العناقيد. قبل حوالي 60 مليون سنة من التمزق الكبير، ستكون الجاذبية أضعف من أن تحافظ على تماسك مجرتنا، التي ستنتشر؛ قبل ثلاثة أشهر، سيتمزق النظام الشمسي. في الدقائق الأخيرة، سيتم تمزيق النجوم والكواكب، وقبل 10-19 ثانية، سيتم تدمير الذرات والأنوية نفسها، تاركةً الكون فارغاً بدون بنية.

هل نحن إزاء نهاية علم الكونيات التقليدي وبدء علم كونيات ثوري جديد؟ هذا مايعتقده الكثير من العلماء.

نهاية علم الكونيات:

إن تمدد الكون يمحو وراءه آثار الانفجار العظيم، لدرجة أن علماء الكونيات في المستقبل البعيد سيشكلون رؤية لتاريخ كوني مختلف تماماً عن تاريخنا.

قبل 100 عام، كانت مقالة " من أجل العلم «حول تاريخ الكون وبنيته خاطئة تماماً. في عام 1911، اعتقد العلماء أن مجرتنا تتكون من الكون بأكمله أي هي الكون. لقد رأوا ذلك على أنه "الكون - الجزيرة"، مجموعة من النجوم المعزولة محاطة بفراغ لانهائي. نحن نعلم اليوم أن مجرة درب التبانة ليست سوى واحدة من 400 مليار أخرى في الكون المرئي. في عام 1911، تصورنا الكون الأبدي والثابت. لم يشك أحد في أنه ولد من بقعة كبيرة كثيفة وساخنة، الانفجار الكبير، وتوسعت منذ ذلك الحين. لم تكن لدينا فكرة أن العناصر الكيميائية تم تصنيعها خلال اللحظات الأولى بعد الانفجار العظيم، ثم في قلب النجوم. إن توسع الفضاء وانحنائه المحتمل بسبب وجود المادة لم يحدث في أذهان الفيزيائيين. كان لا بد من اكتشاف الإشعاع الأحفوري المنتشر، وهو صورة شبحية للحظات الخلق الأخيرة، لانتظار تطوير تقنيات راديو مصممة ليس لاستكشاف ضخامة المكان والزمان، ولكن للهاتف.

لقد تغيرت بعض مجالات المعرفة البشرية في القرن بقدر تغير علم الكونيات، وقد غيّر هذا التطور رؤيتنا للعالم بشكل عميق. ولكن هل يجب أن تعكس علوم المستقبل دائماً معرفة تجريبية أكثر مما كانت عليه في

الماضي؟ في المقاييس الزمنية الكونية، قد يكون الجواب لا. نحن نعيش بلا شك في الحقبة الوحيدة في التاريخ الكوني عندما نتمكن من اكتساب فهم دقيق للكون.

لقد كان اكتشافاً ساحقاً، تم إجراؤه قبل أكثر من عشر سنوات، أثار تفكيرنا. أظهر فريقان منفصلان من علماء الفلك أنه على مدى الخمسة مليارات سنة الماضية، تسارع توسع الكون، الذي كان يعتقد أنه موحد، في الواقع. سيكون مصدر هذا التسارع في التوسع شكلاً جديداً من الطاقة ذات طبيعة غير معروفة، والتي تتصرف على عكس الجاذبية: الطاقة المظلمة (انظر الطاقة المظلمة وبدائلها، بقلم G.Börner ، الصفحة 100). يشير معدل تسارع التوسع الكوني إلى أن الفراغ الكوني يحتوي على طاقة أكثر بثلاث مرات تقريباً من جميع الهياكل والمجرات والعناقيد والمجموعات الفائقة للمجرات، بما في ذلك المادة المظلمة. ومن المفارقات أن ألبرت أينشتاين افترض أولاً وجود هذا الشكل من الطاقة بإضافة مصطلح في معادلاته للسماح للكون بأن يكون ساكناً وهو: الثابت الكوني.

الطاقة المظلمة لها تأثير كبير على مستقبل الكون. مع غلين ستاركمان من جامعة كيس ويسترن ريزيرف في كليفلاند بولاية أوهايو، اكتشف أحد العلماء وهو لورنس كراوس (L.Krauss) آثارها وتأثيرها على مصير الحياة في الكون. التكهّن ليست جيد. يصبح الكون المتوسع والمتسارع في توسعه، عاجلاً أم آجلاً غير مضياف للغاية: على الرغم من أن الحد الذي لا يمكن لأي إشعاع أو مادة أن يصل إلينا - الحد المسمى "أفق الحدث" - يتراجع بمرور الوقت، فإنه ينمو بسرعة أقل من الكون الذي لا يتمدد. يعني هذا الاكتشاف أن الكون المرصود لا يحتوي إلا على كمية محدودة من المعلومات، وبالتالي فإن معالجة المعلومات (والحياة) لا يمكن أن تستمر إلى ما لا نهاية.

قبل وقت طويل من هذا القيد من حيث المعلومات يشكل مشكلة، فكل المواد المتوسعة في الكون قد تم سحبها إلى ما وراء أفق الحدث. تمت دراسة هذه العملية من قبل أبراهام لوب وكينيتارو ناجامين من جامعة هارفارد بواسطة عملية محاكاة حاسوبية. لقد أظهروا أن المجموعة المحلية من المجرات (درب التبانة وأندروميда وسلسلة من المجرات القزمة) ستندمج في النهاية وتشكل مجموعة ضخمة من النجوم. ستختفي كل المجرات الأخرى في طي النسيان خارج أفق الأحداث. ستستغرق هذه العملية حوالي 100 مليار سنة، والتي قد تبدو لفترة طويلة، ولكنها قصيرة جداً مقارنة بالخلود! كون يتجاوز إلى حد كبير أفقنا.

ما الذي يمكن لأحفادنا البعيدين - أو كائنات أخرى - الذين سيعيشون في هذه الكتلة الفائقة أن يفهموا من تاريخ الكون؟ للإجابة على هذا السؤال، دعونا نعود إلى أسس فهمنا الحالي للكون. الركيزة الأولى هي نظرية النسبية العامة لأينشتاين. لما يقرب من 300 عام، كانت نظرية نيوتن للجاذبية الكونية بمثابة الأساس لكل علم الفلك تقريباً. تصف وتتنبأ بحركة الأجسام من مقياسنا إلى المجرات، ولكنها لم تعد كافية لوصف الكون على نطاق واسع جداً. عالجت نظرية النسبية العامة هذا التحدي. بعد وقت قصير من نشر أينشتاين في عام 1916 لمعادلات النسبية العامة، حل الفيزيائي الهولندي ويليم دي سيتر المعادلات لنموذج مبسط للكون، يدمج الثابت الكوني. بدا أن أعماله تعيد إنتاج رؤية الكون المهيمن في ذلك الوقت: جزيرة - مجرة مغمورة في فراغ ثابت كبير.

أدرك علماء الكون بسرعة أن هذا الجمود كان تفسيراً خاطئاً. في الواقع، كان عالم دي سيتر De Sitter يتوسع باستمرار. كما أظهر الراهب والعالم البلجيكي جورج لوميتير Georges Lemaître لاحقاً، فإن معادلات أينشتاين تتنبأ بعدم وجود الكون الثابت والمتجانس اللانهائي. مثل هذا الكون يجب أن يتوسع أو يتقلص. من هذه الملاحظة ولدت نظرية الانفجار الكبير، كما صرنا نسميها لاحقاً.

الركيزة الثانية أقيمت في 1920، عندما سلط علماء الفلك الضوء على توسع الكون. أول من لاحظ مثل هذه التأثيرات كان فيستو سليفر Vesto Slipher. قام هذا الفلكي الأمريكي بقياس سرعة حركة المجرات القريبة من خلال فحص طيفها الضوئي. مثلما تصبح صفارات الإنذار تقترب أكثر حدة، فإن الضوء المنبعث من النجوم التي تقترب من الأرض يقصر طوله الموجي. وبالتالي يتم تحويله إلى اللون الأزرق. على العكس من ذلك، تمدد موجات الضوء من الأجسام التي تتحرك بعيداً، وبالتالي تتحول نحو الأحمر. من خلال قياس تحول مماثل في الضوء المنبعث من المجرات البعيدة، تمكن سليفر Slipher من تحديد أن كل هذه المجرات تقريباً تتحرك بعيداً (لقول الحقيقة، في ذلك الوقت، كان من غير الواضح ما إذا كانت هذه البقع الضبابية من الضوء مجموعات من النجوم المستقلة أو غيوم بسيطة من الغاز تقع في مجرتنا). بدا أننا في مركز حركة توسع عالمية.

لا يُعزى اكتشاف توسع الكون بشكل عام إلى سليفر، ولكن إلى عالم الفلك الأمريكي إدوين هابل. لم يحدد هابل سرعات المجرات القريبة فحسب، بل حدد أيضاً مسافاتهما. استنتج استنتاجين بيرران سمعته السيئة. أولاً، أظهر هابل أن هذه المجرات بعيدة جداً بحيث يجب أن تكون مجموعات مستقلة من النجوم، تشبه مجرتنا. ثم اكتشف علاقة بسيطة بين مسافة المجرات وسرعة هروبها: وتناسب هذه السرعة بشكل مباشر مع بعدها. مجرة واحدة ضعف ما تتحرك أخرى مرتين بسرعة. تشير هذه العلاقة بين المسافة والسرعة إلى أن الكون يتوسع (في الواقع، في سياق النسبية العامة، لا ينتج الانزياح الأحمر من سرعة التنقل الفعلي للمجرات، ولكن من التوسع من المساحة التي تحملها). الأركان الأربعة للانفجار الكبير:

تم تحسين قياسات هابل منذ ذلك الحين، مؤخراً من خلال ملاحظة المستعرات العظمية البعيدة، مما أدى إلى اكتشاف أن التوسع يتسارع (وبالتالي فإن علاقة تناسب هذه لم تكن دائماً ثابتة بمرور الوقت).

الركيزة الثالثة للنموذج الكوني هي الخلفية الكونية الإشعاعية الميكروية المنتشرة، وهو إشعاع ضعيف بالميكروويف اكتشف بالصدفة عام 1964 من قبل الفيزيائيين أرنو بينزياس وروبرت ويلسون من مختبرات بيل، أثناء دراسة مصادر التداخل الراديوي. تم تحديد هذا الإشعاع بسرعة على أنه من بقايا أقدم ضوء منبعث في تاريخ الكون. لقد كان تأكيداً على أن الكون مر في مرحلة كثيفة وساخنة وأنه قد برد وخفف منذ ذلك الحين.

الركن الأخير من الانفجار الكبير هو تركيب النوى البدائي. كان الكون البدائي، الحار جداً والكثيف جداً، في ظروف مثالية لحدوث الاندماج النووي. عندما كانت درجة حرارة الكون تتراوح بين مليار وعشرة مليارات درجة، يمكن أن تندمج أخف النوى الذرية لتشكيل نوى أثقل. هذا التوليف من النوى الذرية يمكن أن يعمل فقط لبضع دقائق، قبل أن تصبح درجة حرارة الكون منخفضة للغاية. اقتصر التخليق النووي على العناصر الأخف. تم إنتاج معظم الهليوم في الكون في ذلك الوقت من نوى الهيدروجين (البروتونات)، تماماً مثل الديوتريوم، أو الهيدروجين الثقيل. تتوافق قياسات نسب الهيليوم والديوتريوم مع تنبؤات نموذج التخليق النووي. هذا يدعم النظرية ويجعل من الممكن تحديد وفرة البروتونات والنيوترونات في الكون بدقة.

التوسع يحو مساراته خلفه:

هل أعمدة المراقبة هذه خالدة؟ وبعبارة أخرى، ماذا سيرى علماء الفلك في المستقبل عندما يمسحون السماء في 100 مليار سنة؟ بالعين المجردة، سيرون نفس الشيء تقريباً مثل اليوم: نجوم مجرتنا.

ستستهلك أكبر النجوم - ألمعها - كل وقودها النووي، لكن مجموعة من النجوم الأصغر ستستمر في إضاءة سماء الليل. سيظهر الفرق الكبير من خلال المقاريب القادرة على الكشف عن المجرات خارج مجرتنا: لن يروا أيًا منها! ستكون المجرات المجاورة قد اندمجت مع درب التبانة لتشكل مجرة ضخمة واحدة، وستختفي جميع المجرات الأخرى تقريبًا، بعد أن تجاوزت أفق الأحداث. لن يكون هذا الاختفاء مفاجئًا، بل تدريجيًا، بسبب النمو التدريجي للتحول الأحمر.

عندما تصبح جميع الأجسام الأخرى في الكون غير مرئية تمامًا من مجرتنا، لن يعيد أحد اكتشاف توسع الكون. ستختفي كل المادة في الكون الآخذ في الاتساع خلف الأفق، وكل ما سيبقى مرئيًا سينتمي إلى مجموعة ضخمة من النجوم المرتبطة بالجاذبية. بالنسبة لهؤلاء الفلكيين في المستقبل، سيبدو الكون المرئي بشكل مدهش مثل كون - الجزيرة في أوائل القرن العشرين: مجموعة كبيرة واحدة من النجوم، ثابتة وأبدية، محاطة بمساحة فارغة.

تظهر تجربتنا الخاصة أنه حتى مع المعلومات، يصعب تطوير نموذج كوني جيد. بين عامي 1940 ومنتصف الستينيات، على سبيل المثال، عندما اعتمد صرح علم الكونيات في الرصد فقط على اكتشاف توسع الكون، تمسك بعض الفلكيين بفكرة الكون الأبدي في اقتراح نموذج الكون الثابت وكان آينشتاين موافقًا على ذلك. في هذا السيناريو، يتم إنشاء المادة مع توسع الكون، بحيث، بشكل عام، لا تتغير كثافته بمرور الوقت. أثبتت هذه الفكرة أنها طريق مسدود، لكنها توضح أن المفاهيم الخاطئة يمكن أن تتطور في غياب بيانات الرصد المناسبة.

ما هو الدليل الآخر على الانفجار الكبير الذي سيحصل عليه علماء الفلك في المستقبل؟ هل ستسمح لهم الخلفية الكونية الميكروية باستكشاف ديناميكيات الكون؟ للأسف لا. مع توسع الكون، تمتد أطوال موجات الإشعاع المنتشر ويخفف الإشعاع. عندما يبلغ عمر الكون 100 مليار سنة، فإن متوسط طول الموجة للخلفية المنتشرة سيكون بترتيب متر - وهو ما يتوافق مع موجات الراديو بدلاً من الموجات الميكروية - وستكون شدته 1000 مليار مرات أقل. سيكون من الصعب للغاية اكتشافه. ستكون خلفية إشعاعية منتشرة لا يمكن ملاحظتها أو رصدها في المستقبل البعيد، ستصبح خلفية الميكروويف الكونية غير قابلة للرصد. في مجرتنا، تمتلئ المساحة بين النجوم بالغاز المتأين. لا يمكن أن تمر الموجات الراديوية منخفضة التردد عبر هذا الغاز: فهي تنعكس أو تمتص (بنفس الطريقة التي تنعكس في بعض الأحيان على الأرض بواسطة الأيونوسفير - بين 60 و 800 كيلومتر فوق مستوى سطح البحر)، مما يسمح لاستقبال البث الإذاعي بالتضخيم البعيد بعيداً عن مصادره).

لا يمكن لجميع موجات الراديو بترددات أقل من كيلوهرتز واحد - أو ما يعادل أكثر من 300 كيلومتر - دخول مجرتنا. علم الفلك الراديوي تحت الكيلو هرتز يغدو من المستحيل داخل مجرتنا. في الوقت الذي يبلغ فيه الكون حوالي 25 مرة من عمره الحالي، سيكون طول الموجة للخلفية المنتشرة قد تجاوز 300 كيلومتر. هذا الإشعاع غير قابل للكشف لسكان مجرتنا. وقبل ذلك، فإن التفاوتات الصغيرة في درجة الحرارة في الإشعاع المنتشر، والتي وفرت معلومات مهمة لعلماء الكونيات، سوف تكون ضعيفة للغاية بحيث لا يمكن دراستها.

ستخضع مراقبة المجرات البعيدة لنفس القيود. سوف تجعل الأطوال الموجية المتزايدة للإشعاع المنبعث من هذه المجرات من الصعب ملاحظتها وستجعلها تختفي تدريجيًا. سيصبح تحولهم إلى الأحمر بلا حدود مع اقترابهم من الأفق. حسب حساب لورنس كراوس Krauss.L و ج ستاركمان G. Starkman أنه

سي تجاوز 5000 لجميع المجرات في غضون 100 مليار سنة (في الوقت الحالي، فإن المجرة البعيدة المعروفة لديها انزياح أحمر يبلغ حوالي ثمانية، والقاع الانتشار الكوني، من حوالي 1100). في غضون 10000 مليار سنة، سيصل التحول الأحمر لهذه المجرات إلى قيمة لا تحصى وهي 10^{53} ! في ذلك الوقت، سيتم تحويل الأشعة الكونية الأكثر نشاطاً إلى اللون الأحمر بحيث يكون طول موجتها أكبر من حجم الكون المرئي.

سوف تغرق العناصر البدائية في الكتلة. هل يمكن لعلماء الكون في المستقبل البعيد اكتساب المعرفة عن الانفجار العظيم بملاحظة وفرة العناصر الكيميائية المختلفة؟ مرة أخرى ، على الأرجح لا. تستند صورة التخليق النووي البدائي الذي رسمناه إلى حقيقة أن نسبة الديوتريوم والهيليوم في الكون لم تتغير كثيراً منذ إنتاجها، قبل 13.8 مليار سنة. على سبيل المثال، يمثل الهيليوم الذي يتم إنتاجه أثناء عملية تصنيع النوى البدائية 24 في المائة من الكتلة الكلية للمادة. على الرغم من أن النجوم تنتج الهيليوم داخلها من خلال تفاعلات الاندماج النووي، إلا أنها لم تغير هذه النسبة بأكثر من نسبة مئوية قليلة منذ ذلك الحين. اقترح فريد آدمز وغريغوري لافلين من جامعة ميشيغان في آن أربور أن هذا الكسر قد يرتفع إلى 60 في المائة بعد عدة أجيال من النجوم. في المستقبل البعيد، سيغرق الهيليوم البدائي بعد ذلك في الهيليوم الذي تنتجه الأجيال المتتالية من النجوم.

حاليا، العلامة الأكثر موثوقية لدراسة التخليق النووي هي الديوتريوم. تأتي القياسات الأكثر دقة لوفرة الديوتريوم البدائي من مراقبة السحب الهيدروجينية المضاء بواسطة النجوم الزائفة، ومصادر مشرقة وبعيدة للغاية، والتي سيتم تغذيتها من خلال الثقوب السوداء الهائلة. ومع ذلك، في المستقبل البعيد، ستكون هذه السحب الهيدروجينية، مثل الكوازارات، قد انتقلت إلى الجانب الآخر من أفق الحدث، أي إلى ما وراء الأفق الكوني، وبالتالي ستضيع وتغدو غير قابلة للقياس. يمكن ملاحظة الديوتريوم المجري فقط. ومع ذلك، تدمر النجوم الديوتريوم خلال دورة حياتها، لذلك لن تبقى سوى نسبة صغيرة. بالإضافة إلى ذلك، حتى لو لاحظ علماء الفلك في المستقبل الديوتريوم، فلن يربطوه بالضرورة مع الانفجار الكبير: التفاعلات النووية التي تنطوي على جزيئات حيوية كونية، يشتهب اليوم بأنها مصدر محتمل لجزء صغير من لاحظ الديوتريوم، ربما سيشكل أصلاً أكثر احتمالاً أو مقبولة. بالتأكيد، في المستقبل، لن تمثل وفرة العناصر الخفيفة دليلاً مباشراً على الانفجار الكبير، ولكن بفضل هذا، ستختلف كوزمولوجيا المستقبل عن علم الكونيات منذ قرن على نقطة واحدة على الأقل: سيتمكن الفلكيون والفيزيائيون النوويون من استنتاج أن النجوم تحصل على طاقتها من التفاعلات النووية. وحتى إذا تخيلوا - خطأ - أن كل الهليوم المرصود هو نتاج أجيال سابقة من النجوم، فيمكنهم استنتاج حد أعلى لعمر الكون. وهكذا يمكن لعلماء المستقبل أن يستنتجوا أن الكون ليس أبدياً. لكن الأنساب من المادة سيظل محاطاً بالغموض.

ماذا عن الفكرة الكامنة وراء هذه المقالة، التي تنتبأ بها نظرية النسبية العامة لأينشتاين بأن الكون يتوسع؟ يجب أن يتمكن رجال المستقبل البعيد، مثلنا، من اكتشاف نظرية النسبية العامة من القياسات الدقيقة لظواهر الجاذبية التي تحدث في نظام النجوم الخاص بهم. لكن استخدام هذه النظرية لبناء نموذج كوني يعتمد على مراقبة الهياكل العظيمة للكون.

بدون التجانس، من المستحيل تطبيق النسبية العامة:

تنتبأ نظرية أينشتاين بتوسع الكون فقط على افتراض أنه متجانس على نطاق واسع - وهي فرضية يعارضها البعض أيضاً (انظر علم الكونيات غير المتجانسة، بقلم T. Clifton و P. Ferreira، الصفحة

(106). على أي حال، بالنسبة لأحفادنا البعيدين، سيبدو الكون غير متجانس! كما ذكرنا، سيشبه كون جزيرة دي سيتر De Sitter المعزولة. ستتهار هذه المجرة في النهاية إلى ثقب أسود. سيكون هذا مصير الكون المرئي.

ألن يكون هناك طريقة لنسلنا لنرى توسع الكون؟ في الواقع، لا يزال هناك تأثير خفي للنسبية العامة يمكن أن يخون هذا التوسع: يجب أن ينبثق أفق الحدث عن إشعاع يتوافق مع درجة حرارة منخفضة بشكل غير عادي، حوالي 10-30 كلفن. حتى لو اكتشف الفلكيون المستقبلون هذا الإشعاع، فمن المحتمل أن يعزوه إلى مصدر محلي آخر للضوء. يمكن للمراقبين الطموحين أيضًا إرسال مجسات خارج مجرتنا واستخدامها كنقاط مرجعية للكشف عن التوسع الكوني. يبدو أن وجود فكرة مسبقة غير مرجح بالفعل، ولكن وضعها موضع التنفيذ أمر غير واقعي: ستستغرق المسابير مليارات السنين، على الأقل، للوصول إلى مسافة بحيث يؤثر التوسع بشكل كبير على سرعتها. بالإضافة إلى ذلك، نظرًا للمسافة، سيحتاج المسبار إلى طاقة مماثلة لطاقة النجم لإبلاغ نتائجها.

وبالتالي، فإن مراقبي المستقبل سوف يتنبأون بلا شك بأن مصير الكون سينتهي في شكل انهيار محلي - أو "أزمة كبيرة"، بدلاً من التوسع إلى الأبد تحت تأثير الثابت الكوني. بدلاً من الموت بلطف، سيموت كونهم المحدود مثلما يحدث مع تحطم الطائرة.

تقودنا هذه الانعكاسات إلى استنتاج غريب للغاية: قد تكون نافذة الوقت التي يمكن خلالها للمراقبين الأذكى تخمين الطبيعة الحقيقية لكوننا الأخذ في التوسع محدودة. إذا استمرت الحضارات المستقبلية في الوصول إلى أرشيفاتها التاريخية القديمة، فقد تكون هذه المقالة جزءًا منها. أنهم يعتقدون أنها قصة أخرى. أما بالنسبة للحضارات التي لا تحتوي على مثل هذه المحفوظات، فسيُحکم عليها بالبقاء في جهل الانفجار الكبير إلى الأبد.

ولكن ما الذي يجعل الكون الحالي خاصًا جدًا؟ اقترح العديد من العلماء أن حقيقة وجود الحياة تساعد على الفرز بين الأكوان الممكنة والقضاء على تلك التي لا تتوافق مع وجودنا. يفسر هذا "المبدأ الإنساني الأنثروبي" المصادفة الزمنية التي نوقشت هنا (انظر كون آخر ممكن؟، بقلم أ. ريازويلو، الصفحة 114). ومع ذلك، نقترح تفسيرًا مختلفًا.

من ناحية، من المحتمل ألا تكون هذه هي المرة الأولى التي يتعذر فيها الوصول إلى المعلومات حول الكون من خلال التوسع المتسارع. إذا حدثت فترة وجيزة من التوسع المتسارع، أو التضخم، في الكون البدائي، كما يعتقد اليوم، فإن جميع الأنماط والهياكل المتعلقة بالمادة والطاقة الموجودة تقريبًا كانت لا رجعة فيها تمحى في الكون المرئي الحالي. في الواقع، كان أحد الدوافع الأولية لنماذج التضخم هو التخلص من الشذوذ الكوني، مثل الأقطاب الأحادية المغناطيسية، التي ربما كانت موجودة بكثرة في الماضي.

من ناحية أخرى، على الرغم من أننا محظوظون للعيش في عصر تؤدي فيه الملاحظات والمشاهدة والرصد بشكل طبيعي إلى نظرية الانفجار الكبير، فإن جوانب أخرى من الكون ربما أصبحت غير قابلة للرصد اليوم. ماذا فقدنا بالفعل؟ لا يوجد ما يقال أننا لن نكتشف يومًا ما - هذه الرؤية المتفائلة، لأننا أيضًا لم نتمكن من تحقيقها أبدًا - أن فهمنا الكامل للكون على ما يبدو يترك شيئًا مطلوبًا أو مرغوبًا.

هل تعلم؟

أدى تعاقب أجيال من النجوم إلى زيادة التعقيد الكيميائي للكون تدريجيًا. كانت النجوم الأولى تتكون من الهيدروجين والهيليوم، وهما العنصران المهيمنان في الكون. من خلال الاندماج النووي لأجيال من النجوم، يسمح اندماج الهيدروجين في ذرات أثقل (وجود أكثر من بروتونين في نواتهم) ما أدى إلى ظهور ذرات الكربون أو النيتروجين أو الأكسجين أو ذرات السيليكون.