

الحتمية والإرادة الحرة بين العلم والدين (5-2)

د. جواد بشارة

هل توسع الكون متسق حقاً؟

أحد أعمدة نموذج الانفجار الكبير هو أنه، وعلى نطاق واسع، يتمتع الكون بنفس الخصائص وفي جميع الاتجاهات. هناك تحليل حديث ينعش الجدل حول صلاية هذه الفرضية. في نموذج الانفجار العظيم، قام علماء الكون بافتراضين أساسيين: الكون متجانس ومتساوي الخواص على نطاق واسع. وهذا يعني أن منطقتين من الكون يتم التقاطهما عشوائياً متكافئان في النطاق الكوني وأن الكون يبدو متشابهاً بغض النظر عن الاتجاه الذي يتم مشاهدته فيه. علاوة على ذلك، فإن هذه الأفكار الطبيعية مدعومة بشكل جيد إلى حد ما بالملاحظات والمشاهدات الرصدية. ومع ذلك، لا يخلو نموذج الانفجار الكبير من العيوب، وقد اقترح الباحثون في بعض الأحيان إلغاء أحد هذين الافتراضين أو كليهما. في العمل الأخير، درس كونستانتينوس ميغكاس من جامعة بون وزملاؤه مجموعات المجرات باستخدام البيانات التي جمعتها تلسكوبات الفضاء شاندرا التابعة لناسا وXMM-Newton من وكالة الفضاء الأوروبية. وقد لاحظوا دلائل تقوض من خواص الكون.

عندما ننظر إلى سماء الليل الصافية، نرى أن النجوم ليست موزعة بالتساوي في السماء، خاصةً بسبب وجود درب التبانة الذي نراه عند الحافة. ولكن ماذا عن نطاق أوسع؟ إذا نظرنا إلى توزيع المجرات، يمكننا أن نرى أنها متجمعة في مجموعات حشود وعناقيد. لذلك هناك مناطق غنية بالمواد وأخرى فارغة تقريباً. ولكن على نطاق أكبر، على المقاييس الكونية، يبدو الكون، من ناحية أخرى، متجانساً ومتناحياً، يشبه إلى حد ما عندما ينتقل المرء بعيداً عن طاولة التنقيط وتندمج كل نقطة من الألوان في صورة عامة موحدة. التجانس والتوازي من المبادئ الأساسية والضرورية لنموذج الانفجار الكبير. يجعل عمل هذه الافتراضات من الممكن استخدام وصف رياضي بسيط إلى حد ما غني بالتناظر (في هذه الحالة مقياس فريدمان-لوميتر-روبرتسون-ووكر). تم بناء نموذج الانفجار الكبير على التنبؤات النظرية لألكسندر فريدمان وجورج لوميتر في سياق النسبية العامة والملاحظات الأولى لإدوين هابل. أظهر هذا العمل أن الكون يتوسع. ولد الكون من حالة كثيفة جداً وساخنة جداً توسعت منذ ذلك الحين. غالباً ما تكون الصورة المستخدمة لتوضيح هذا التوسع هي صورة كعكة العنب المخبوزة. عندما تنتفخ العجينة المتجانسة، تتحرك حبيبات الزبيب بعيداً عن بعضها بنفس المعدل. لا توجد منطقة رائعة أكثر من أي منطقة أخرى في العجين (إذا تجاهلنا حواف القالب!)، وفي المتوسط، حول أي نقطة في العجين، تكون جميع الاتجاهات متساوية. هذه هي الطريقة التي تبتعد بها مجرات الكون عن بعضها البعض ليس بسبب سرعتها الخاصة، ولكن من خلال التمدد البسيط للفضاء الذي يفصل بينها. نحن نتحدث عن سرعة الركود.

تم إثراء هذه الرؤية في عام 1998. من خلال دراسة انفجارات معينة للنجوم سوبرنوفات أو المستعر الكبير من النوع Ia-supernovæ، التي قام بها فريق سول بيرلموتر Saul Perlmutter، من ناحية، وفريق آدم رايز Adam Riess وبريان شميت Brian Schmidt من ناحية أخرى، أظهرت أن تمدد الكون يتسارع منذ حوالي 7 مليار سنة. كان لهذه النتيجة تأثير مدوي - حصل علماء الفيزياء الفلكية الثلاثة على

جائزة نوبل في الفيزياء في عام 2011 - لأن علماء الكون في ذلك الوقت اعتقدوا أن التوسع يجب أن يتباطأ تحت تأثير قوة الجاذبية للمادة الواردة في الكون. المرصود كان انتفاخ الكعكة، بدلاً من انكماشها في نهاية الخبز، وبصورة أسرع فأُسرع! ولتفسير هذا التوسع المتسارع للكون، افترض علماء الفيزياء أنه يحتوي على كمية كبيرة من "الطاقة المظلمة". الطبيعة الدقيقة أو الماهية الحقيقية لهذه الأخيرة غير معروفة وموضوع بحث مكثف لأنها ماتزال تشكل لغزاً كونياً.

إن نموذج الانفجار العظيم الذي تم تعديله بإضافة الطاقة المظلمة أو المعتمدة لم يشك في تجانس الكون وتمثاله: يبدو التوسع المتسارع متطابقاً في جميع الاتجاهات. يبدو أن حملات المراقبة المنهجية للسماء التي جعلت من الممكن تحليل الهياكل الرئيسية للكون وتوزيع المادة، تؤكد هذه الفرضيات على أكبر المقاييس.

دحض التجانس:

ومع ذلك، في بداية العقد الأول من القرن الحادي والعشرين، اقترح توماس بوخيرت، في مدرسة ليون للدراسات العليا *École normale supérieure de Lyon*، فكرة جريئة. إذا أخذنا في الاعتبار عدم الخطية لمعادلات النسبية العامة، يمكن أن يكون للتغايرات في حجم المجرات وعناوين المجرات تأثير على سلوك الكون، ولا سيما على سرعته، وعلى توسعه. من الصعب جداً إجراء هذه الحسابات. ومع ذلك، تشير بعض النتائج الجزئية إلى أن ما يسمى بتأثير "التغذية المرتدة" يمكن أن يجعل من الضروري إضافة طاقة مظلمة! من المتوقع أن يقدم التلسكوب الفضائي إقليدس المستقبلي معلومات قيمة بخصوص هذا التأثير في مجال علم الكونيات غير المتجانسة.

يبرز هذا النهج أن الكون المتجانس فقط على نطاق واسع جداً يتصرف بشكل مختلف عن الكون المتجانس تمامًا. لذلك يبدو من المعقول أن نسأل ما إذا كان الكون متجانساً حقاً على أكبر المقاييس. يستكشف بعض علماء الكون هذا المسار على سبيل المثال بافتراض أن مجرة درب التبانة ستكون مغمورة في "فقاعة هابل"، وهي منطقة شاسعة يبلغ قطرها عدة مئات الملايين من السنوات الضوئية حيث متوسط الكثافة أقل مما في الخارج. تشرح هذه الفرضية ببساطة الانطباع بأن تمدد الكون يتسارع.

إذا لم يكن الكون متجانساً كما اعتقدنا، فسيكون له تأثير على فرضية تساوي الخواص. أرادت عدة فرق اختبار هذا الأخير. ولكن إذا بدا أن بعض الأعمال تؤكد الخواص، فإن البعض الآخر لا يؤكد بالإيجاب. على سبيل المثال، كتقريب أول، فإن الخلفية الكونية الميكروية، والإشعاع الأحفوري المنبعث منها، عندما كان عمر الكون 380,000 سنة فقط، متطابقة في جميع اتجاهات السماء، مع درجة حرارة 2.7 كلفن. ومع ذلك، تظهر الخلفية المنتشرة تقلبات صغيرة (حوالي 10-5 درجات) حول متوسط درجة الحرارة. هذه التقلبات غنية بالمعلومات. وهي مرتبطة بالموجات الصوتية التي تنتشر في البلازما التي تملأ الكون في وقت انبعاث الإشعاع. تأتي فوتونات الميكروويف الكونية الخلفية الأكثر دفئاً قليلاً من مناطق أكثر كثافة قليلاً، والعكس صحيح. وقد وضعت الأقمار الصناعية أو التلسكوبات الفضائية دبليو ماب WMAP ثم بلانك Planck خريطة دقيقة لهذه التقلبات. كان توزيعها بشكل جيد نسبياً في السماء، كما أن توزيعها الإحصائي مفهوم جيداً إلى حد ما. ومع ذلك، فإن منطقة كبيرة بشكل استثنائي من هذه الخريطة، في اتجاه كوكبة Eridan، في نصف الكرة الجنوبي، تكون باردة بشكل غير عادي. سينتج عن وجود منطقة كبيرة جداً فقيرة في المواد. تشير هذه الملاحظة إلى أن التوازي قد لا يتم ملاحظته حتى على أكبر المقاييس.

وهناك دراسات مستفيضة لنتائج تلسكوب الفضائي بلانك لاستكشاف بدايات الكون المرئي من خلال دراسة وتحليل دقيق للخلفية الكونية للميكروويف والتي هي أداة قوية للغاية لفحص خصائص الكون. ولكن من الصعب للغاية استخراج المعلومات التي تعتمد على اتجاهات محددة، كما أنها تعتمد بشكل حاسم على معايير النموذج الكوني المستخدم. قام علماء الفيزياء الفلكية أيضاً بفحص تساوي خواص الكون باستخدام المستعرات العظمى لاختبار ما إذا كانت العلاقة بين المسافة وسرعة الركود في المجرات هي نفسها في جميع الاتجاهات. لكن الاستنتاجات ليست واضحة: بعض الفرق البحثية تلاحظ انحرافاً عن الخواص، والبعض الآخر لا يلاحظ ذلك. ينبغي القيام بقياس درجة حرارة مجموعات المجرات لمعرفة المزيد، لذلك اقترح كونستانتينوس ميغكاس وتوماس ريبيريتش من جامعة بون في 2018 تقنية جديدة مستقلة تماماً. كانوا مهتمين بالغاز الساخن في عناقيد المجرات. تكمن الفكرة في استخدام العلاقة بين درجة حرارة مجموعة من المجرات وإشراقها بالأشعة السينية، وصيغة بسيطة إلى حد ما تربط هاتين الكميتين. ميزة هذا النهج هو أنه يمكن تحديد درجة الحرارة بشكل مستقل عن أي فرضية كونية، على عكس السطوع. لذلك من الممكن استغلال العلاقة التي تربط بين الكميتين لمعرفة ما إذا كانت متطابقة في جميع اتجاهات السماء. قام كونستانتينوس ميغكاس ، وتوماس ريبيريتش وزملاؤهم بتنفيذ هذه الفكرة من خلال كتالوغ يضم 313 مجموعة من المجرات (237 تم تحليلها بواسطة Chandra و 76 بواسطة XMM-Newton). ووجدوا أن النتيجة تعتمد بشدة على اتجاه السماء المرصود! وبعبارة أخرى، في منطقة معينة من السماء، تبدو العناقيد المجرية باهتة أكثر مما يجب أن تعتمد على درجة حرارتها.

اعتبرت هذه التدابير مع ذلك حساسة. وقال فلوريان باكود من جامعة بون، الذي شارك في الدراسة: "إن درجة الحرارة التي يتم قياسها بواسطة التحليل الطيفي بالأشعة السينية تعتمد على تكوين الغاز (المعدني)". تؤثر هذه التركيبة على الانبعاث الكلي للكتلة، ولكن لا يمكن تقييدها تماماً بالملاحظات. لذلك استخدمنا الافتراضات التي يمكن أن تؤثر على النتائج. لكن من غير المحتمل أن تختلف الانحرافات عن هذه الافتراضات بشكل منهجي من منطقة كبيرة من السماء إلى أخرى، "حسب هذا العالم الفيزيائي الفلكي.

العامل الحساس الثاني الذي يجب أخذه في الاعتبار هو امتصاص الأشعة السينية المنبعثة من مجموعات المجرات بواسطة الوسط النجمي عندما تعبر درب التبانة. يقول فلوريان باكود: "لذلك يجب علينا تصحيح هذا الامتصاص". ولهذا، نستخدم كثافة الهيدروجين كمتبع (لأنه سهل القياس)، بينما الامتصاص يأتي عملياً من العناصر الأثقل (الذرات الثقيلة و "الغبار"). يمكن أن يؤدي خطأ في نمذجة امتصاص المجرة إلى تأثير متباين خادع. أشار آدم ريس، عالم الفيزياء الفلكية في جامعة جونز هوبكنز، إلى أن المنطقة المحددة التي حددها كونستانتينوس ميغكاس قريبة من أكثر المناطق غموضاً في مجرة درب التبانة. ومع ذلك، تجدر الإشارة إلى أن مستوى المجرة يغطي ما يقرب من ثلث السماء، وبالتالي ليس من المستغرب أن يقع اتجاه عشوائي مسبقاً بالقرب من مستوى المجرة. إن اتجاه الجاذب العظيم (الذي يتم توجيه مجموعات المجرات المحلية نحوه، وبسبب الهياكل الضخمة جداً في اتجاه الكتلة الشاذلة الفائقة) قريب أيضاً من ذروة إشارة فريق كونستانتينوس ميغكاس. سيكون هذا متسقاً إذا افترضنا أن الهياكل المحلية الكبيرة هي أصل هذا التباين.

للتأكد من حقيقة التأثير الذي لاحظوه، حلل فلوريان باكود وزملاؤه كتالوجاً أكبر من المجموعات (تم النظر في 842 بنية). وكان الاستنتاج: استمرت المنطقة غير الطبيعية. ستسهل رؤية البيانات من القمر الصناعي اقليدس Euclid المستقبلي، ولكن أيضاً من إي روزيتا EROSITA، مرصد الأشعة السينية،

والذي يعمل منذ بضعة أشهر. ولكن إذا تم تأكيد تباين الخواص، فإن النتيجة المباشرة هي أنه لا بد من أخذها بعين الاعتبار في دراسة مجموعات المجرات تحت طائلة ارتكاب أخطاء التفسير. يبقى أن نفهم مصدر هذا التباين. يستشهد الباحثون بتفسيرين محتملين، أحدهما يتعلق بالحركات المناسبة للمجموعات والآخر بطبيعة الطاقة المظلمة المسؤولة عن التوسع المتسارع للكون.

محليًا، لا تتحرك المجرات بالضرورة بعيدًا عن بعضها بعد توسع الكون. في الواقع، ترتبط المجرات المجاورة بالجاذبية، والتي يمكن أن تبطئ سرعة النزوح، أو حتى تقربها. هذه هي حالة مجرة المرأة المتسلسلة أندروميديا، التي ستصطدم بدرب التبانة بعد أربع مليارات سنة. وفقًا لعلماء الفلك الذين يدرسون هذه الظواهر، يجب أن ننظر إلى المجرات التي تتجاوز 850 مليون سنة ضوئية حتى نتمكن من تجاهل تفاعلات الجاذبية التي تشوه قياسات سرعة التوسع الكوني.

ولكن على نطاق مجموعات المجرات - في دراسة فلوريان باكود وزملائه، فإن المسافات التي تم النظر فيها هي في حدود 2 مليار سنة ضوئية (بعضها يصل إلى ما يقرب من 5 مليارات سنوات ضوئية) -، يجب أن تهيم الديناميكيات الكونية إلى حد كبير. الاحتمال الآخر هو طبيعة الطاقة المظلمة. ربما سلوكها ليس هو نفسه في كل مكان في الكون. عندما أكثر كثافة في مناطق معينة، فإنه سيسرع التوسع هناك. ما يعادل عجينة حيث يتم خلط الخميرة بشكل غير صحيح وسيتضخم جزء من الكعكة بشكل أسرع من الآخر ...

أزمة هابل المستمرة الكونية:

كانت سرعة تمدد الكون موضوعًا لمقاييسين بنتائج غير متوافقة. والثالث زاد من تعقيد الوضع. تبدو كل منها موثوقة. أين الخطأ؟

وبحلول نهاية القرن العشرين، شعر علماء الكون أنهم بنوا نموذجًا شبه كامل لوصف الكون. بالتأكيد، بقيت بعض الألغاز. بالطبع، استدعى النموذج المفاهيم التي لا يزال يتعين دراستها بالتفصيل. ولكن بشكل عام، يبدو أن هذا الإطار يقدم كلاً متيناً ومتناسكاً: سيحتوي الكون على حوالي ثلثي "الطاقة المظلمة" (ذات طبيعة لا تزال غير معروفة، ولكن من شأنها أن تفسر التوسع المتسارع للكون)، ربع "المادة المظلمة" (غير معروفة أيضاً في الطبيعة، ولكنها تفسر تطور الهياكل الكونية مثل المجرات وعناقيد المجرات)، و 4 إلى 5٪ من المادة "العادية" (التي تتكون الكائنات الحية منها، كائنات مثلنا ومثل الكواكب والنجوم وما إلى ذلك). هل تميل جميع الملاحظات إلى تأكيد هذه الرؤية للعالم. كلها؟ كلا...

كان هناك اختلاف في السنوات الأخيرة، بين نتائج طريقتين مختلفتين لقياس سرعة تمدد الكون، وهي معلمة تسمى "ثابت هابل" وتشير إلى H_0 . المقاربات التي تبدأ من الملاحظات في الكون الحالي والعودة بالزمن إلى الأعمار البعيدة تعطي بعض القيمة؛ والتقنيات بخصوص الكون الفتى للعودة اليوم، تعطي قيم أخرى. هناك فرق صغير، ولكن لا يمكن التوفيق بينها.

للهولة الأولى، يبدو الفرق بين القيمتين ضئيلاً: 67.4 و 74.0 كيلومترًا على التوالي لكل ميغابارسيك (1 ميغابارسيك يقابل 3.26 مليون سنة ضوئية). هذا يعني أنه في كل اتجاه، على مسافة 1 ميغا باسكار، يمتد الكون حوالي 70 كيلومترًا في الثانية. بالمقارنة مع مقاييس الزمكان للكون، تصبح الفجوة بين القياسين ذات أهمية كونية حاسمة. بفضل هذه المعلمة، استنتج علماء الكون تطور الكون إلى الماضي واستنتاج عمره، حوالي 13.8 مليار سنة. يستخدمونه أيضًا لإبراز أنفسهم في المستقبل وتحديد متى ستصبح

المساحة بين المجرات شاسعة لدرجة أن الكون حول المنطقة المجاورة مباشرة لدرب التبانة سيبدو فارغاً تماماً. ويأمل الباحثون أيضاً، من خلال قياس دقيق لثابت هابل، لتوضيح طبيعة الطاقة المظلمة.

على الرغم من جهود العلماء، تستمر الاستراتيجيتان لقياس ثابت هابل في تقديم قيم مختلفة. هذا ليس من غير المألوف في العلم. ولكن بشكل عام، يكفي التحليل الدقيق لإزالة التعارضات. على مدى السنوات العشر الماضية، افترض علماء الكون أن الشيء نفسه ينطبق على ثابت هابل. لكن الخلاف استمر، وقبل كل شيء ازداد سوءاً. وقد عززت الإجراءات المتتالية من قبل كل منهما فقط الفجوة بين النتيجتين. ما هو أكثر من ذلك، أن الفرق البحثية الأخرى التي اتبعت مناهج مستقلة قد عقدت الوضع. اليوم، يتفق علماء الكونيات على نقطة واحدة وهي: لدينا مشكلة! أين تم إخفاء الخطأ؟ هل انزلق في مكان ما في التدابير أو في تفسيرهم؟ يعمل الباحثون على ذلك، لكن هذه المسارات تبدو غير مرجحة. هذا يترك خياراً أخيراً واحداً، تماماً كما هو غير مرجح ولكن يتم النظر فيه بشكل متزايد: سيقع الخطأ في النموذج القياسي أو المعياري لعلم الكونيات.

بالنسبة لكثير من تاريخ البشرية، كانت "دراسة" أصول العالم مسألة خرافات وأساطير، مثل "في البداية كان الكون مستنداً على ظهر سلحفاة الخ...". لم يكن حتى عام 1925 وارداً إدراج هذه الأسئلة الأساسية والجوهرية العظيمة عن الأصل والمآل في عالم البحث التجريبي. أن العالم الفلكي الأمريكي إدوين هابل قد حل للتو لغزاً عمره قرون حول طبيعة البقع الضبابية في السماء - والتي أطلق عليها علماء الفلك السدم. هل كانت هذه السدم غيوم الغاز بين النجوم؟ أم كانت هذه السدم نوعاً من "الكون- الجزيرة"، وراء النجوم؟ بفضل ملاحظاته، أظهر هابل أن إحدى السدم أبعد بكثير من النجوم المرئية: نحن نعيش في عالم جزيرة، والمقصود بها مجرة درب التبانة، والسديم المعني هو مجرة مجاورة، مجرة أندروميدا. استمر هابل في إزعاج النظرة العالمية لمعاصريه. من خلال تحليل الضوء القادم من العديد من هذه السدم الشهيرة، وجد أن طيفها الكهرومغناطيسي امتد إلى أطوال موجية طويلة. نتحدث عن التحول الأحمر (اللون المقابل لأطول الأطوال الموجية في الطيف المرئي). يتم تفسير هذه الظاهرة من خلال تأثير دوبلر: يتم تحويل الموجات المنبعثة من مصدر في التردد (أو طول الموجة) عندما يتحرك هذا المصدر بالنسبة للمراقب. وبالتالي، تشير نتيجة هابل إلى أن السدم كانت تتحرك بعيداً عن الأرض وبعيداً عن درب التبانة. في عام 1927، لاحظ الفيزيائي البلجيكي والراهب الكنسي جورج لوميتر أنه إذا كان الكون يتوسع، فيجب ملاحظة أنه كلما زادت مسافة المجرة، كلما كان التحول نحو الأحمر من الضوء أمراً مهماً. وبالتالي، كلما كانت أبعد، كلما ابتعدت المجرات بسرعة أكبر. في عام 1929، من خلال تراكم المزيد من الحسابات والقياسات، توصل هابل إلى نفس النتيجة: الكون يتوسع.

تساءل الفيزيائيون على الفور عما سيحدث إذا عدنا بالزمن ونظرنا للوراء إلى هذا التوسع. ستقترب المجرات من بعضها البعض، وستشكل حالة كثيفة جداً سميت بالفراة الكونية حيث سيولد الكون. بسرعة كبيرة، اقترح بعض المنظرين أن هذه الفراة كانت ستميز ولادة المكان والزمان، وهي ظاهرة ستأخذ فيما بعد اسم الانفجار العظيم. كان الهدف من هذا الاسم في البداية أن يكون انتقاصاً، لأن الفكرة بدت خيالية جداً. لعدة عقود، في غياب أدلة تجريبية، لم يتمكن الفيزيائيون من دعم هذه النظرية بقوة.

تغير الوضع في عام 1965 عندما وجه أرنو بنزياس Penzias وروبرت ويلسون من مختبرات بيل، هوائي الراديو الخاص بهم إلى السماء. لقد التقطوا إشعاعاً متجانساً من جميع الاتجاهات. ولكن منذ عام 1948، اعتبر الفيزيائيون مثل ألف ألف وروبرت هيرمان وآخرون أنه إذا كان الكون قد خرج من حالة

بدائية كثيفة وساخنة جداً، لكان قد تبرد أثناء توسعه وكان سينبعث ضوءاً مميزاً في شبابه. لقد حسبوا نظرياً أن درجة الحرارة المرتبطة بهذا الإشعاع ستكون بضع درجات فوق الصفر المطلق. ومع ذلك، مع قياس حوالي 3 كلفن، قدم بنزياس وويلسون أدلة كافية لإقناع علماء الكونيات وإيجاد توافق حول نموذج الانفجار الكبير.

في عام 1970، نشر عالم الفلك آلان سانديج ، أحد أقارب هابل ، مقالاً في مجلة الفيزياء اليوم كان له تأثير عميق على أبحاث علم الكونيات وكان بعنوان "علم الكونيات: البحث عن رقمين". الرقم الأول هو معدل التوسع الحالي للكون. الثاني، تسارع التوسع. في ذلك الوقت، كان يعتقد أن سرعة التمدد يجب أن تنخفض، والكون ممتلئ بالمادة التي تعمل بشكل جاذب على نفسها والتي تشكل بالتالي مكابح للتمدد. لذلك كنا نتحدث أكثر عن معلمة التباطؤ. تم قياس الرقم الثاني أولاً. في أواخر الثمانينيات، شرع فريقان في تقديره باستخدام نفس الأدوات، ولكن بشكل مستقل: النوع السوبرنوفات نوع Ia، $Ia \text{ supernovae}$ ، النجوم الضخمة التي تنفجر في نهاية حياتها والتي يعتقد علماء الفيزياء الفلكية أنها تستخدم "الشموع" أساسية". المبدأ هو نفسه عندما نعتبر لمبة 60 واط، والتي تبدو أقل سطوعاً إذا نظرنا إليها من مسافة أبعد: إذا علمنا أن المصباح لديه قوة 60 واط، فإننا قادرون على تحديد بعدها عن لمعائها الواضح.

إضاءة بالشموع القياسية:

يعرف علماء الكونيات كيفية تحديد السطوع الداخلي للنوع المستعر الأعظم من النوع Ia (ما يعادل "60 وات") وبالتالي يمكنهم استخدامها لقياس المسافات الكونية. ولكن إذا كانت سرعة التوسع قد انخفضت بمرور الوقت، كما اعتقد الفلكيون، فعند مسافات بعيدة، سيكون المستعر الأعظم أقل بعداً وبالتالي يكون أكثر إشراقاً مما لو كان الكون قد تضخم بمعدل ثابت. ومع ذلك، وجد الفريقان العكس: كانت المستعرات الأعظم البعيدة أقل سطوعاً مما كان متوقعاً، وبالتالي كانت أبعد من المتوقع. في عام 1998، خلص الباحثون إلى أن توسع الكون يتسارع. مصدر هذا التسارع هو ما نسميه "الطاقة المظلمة" (أو "السوداء أو المعتمنة") ، وهو مصطلح عام ومؤقت حتى نحدد طبيعته الحقيقية.

تم تقدير ثابت هابل، وهو أول رقم رملي قدمه سانديج Sandage، بدقة جيدة بعد ذلك بوقت قصير. وعلى مدى عدة عقود، كانت هذه المعلمة مصدر جدل ساخن بين علماء الفلك. زعم سانديج نفسه أن ثابت هابل H_0 ستبلغ قيمته حوالي 50 كيلومتراً في الثانية لكل ميغابارسيك ، وهي قيمة ستجعل عمر الكون حوالي 20 مليار سنة. انحنى الفلكيون الآخرون أكثر نحو ثابت هابل بالقرب من 100 كيلومتر في الثانية ولكل ميغا باسكار ، أي عصر كوني يقارب 10 مليار سنة. مثل هذا الاختلاف كان محرجاً. كان لابد من تقليل عدم اليقين هذا.

في عام 2001، استخدمت ويندي فريدمان من جامعة شيكاغو وزملاؤها تلسكوب هابل الفضائي لإجراء أول قياس موثوق لثابت هابل. في هذا المشروع، كانت الشموع القياسية عبارة عن نجوم سيفيد cepheid متغيرة، وهي نجوم يزداد سطوعها وينقص مع فترة تتعلق بإشراقها المطلق. بإيجاد قيمة وسيطة تبلغ 72 ± 8 كيلومتر في الثانية لكل ميغا باسكار، قرر هذا الفريق هذه القيمة التقديرية الوسطية في منتصف النقاش ووافق عليها الجميع.

بقي للحصول على قياس أكثر دقة. أطلق آدم ريس، الذي شارك في عام 2011 جائزة نوبل في الفيزياء لدوره في اكتشاف التوسع المتسارع للكون في عام 1998، مشروعاً فلكياً بحثاً جديداً، SH0ES

(Supernovæ، H0، لمعادلة الطاقة المظلمة). استخدم هذا الفريق كلاً من السيفيد ونوع المستعر الأعظم من النوع Ia (بعض من أبعد مسافة تمت ملاحظتها على الإطلاق) كشموع قياسية. في عام 2005، حصل الفريق على نتيجة أولية بلغت 73 ± 4 ، وهي نتيجة قريبة جداً من تلك التي حصل عليها الفريق في عام 2001، ولكن مع انخفاض مجال الخطأ. منذ ذلك الحين، أصدر تعاون SH0ES العديد من التحديثات، مما أدى إلى تحسين أوجه عدم اليقين. أحدثها، في عام 2019، أبلغ عن ثابت هابل البالغ 74.03 ± 1.42 كيلومترًا في الثانية لكل ميغابكسل.

في الطريقة التي اتبعها آدم ريس وآخرون، نبدأ بقياسات على الأجسام القريبة ونستخدم هذه البيانات لمعايرة الشموع القياسية أبعد وأبعد. كما استخدم الباحثون النهج العكسي على مدار العشرين عامًا الماضية. يبدأون من الكون الصغير ويعودون إلى اليوم. نقطة انطلاقهم ليست سوى الخلفية الإشعاعية الميكروية الكونية التي لاحظها ويلسون وبيبنزياس لأول مرة في عام 1965. إشعاع الخلفية انبعث من الكون عندما كان عمره 379000 سنة فقط. في ذلك الوقت، أصبحت بلازما البروتونات والإلكترونات الحرة التي تملأ الكون باردة بما يكفي لتشكيل ذرات الهيدروجين المحايدة هناك. ثم أصبحت البلازما شفافة، مما سمح للفوتونات بالسفر عبر الكون والوصول إلينا بعد 13.8 مليار سنة. في حين لاحظ ويلسون وبيبنزياس إشعاعاً موحداً لدرجة الحرارة في جميع اتجاهات السماء، توقع المنظرون أنه باستخدام أدوات أكثر حساسية، سيكتشف الباحثون تقلبات درجة الحرارة. هذه تتوافق مع الكثافات الزائدة في البلازما البدائية، التي ولدت هياكل الكون: المجرات وعناقيد المجرات والمجموعات الفائقة للمجرات.

في عام 1992، اكتشف المسبار الفضائي الأول Cobe المخصص للبحث في خلفية الميكروية الإشعاعية الكونية، Cobe (مستكشف الخلفية الكونية)، هذه التقلبات في درجة الحرارة لأول مرة. ثم، في عام 2003، قام مسبار ويلكنسون (WMAP) بدراسة الأشعة الخلفية الميكروية المنتشرة بتحسين الدقة. تمكن الباحثون بعد ذلك من تحليل الخصائص الإحصائية لهذه التقلبات وتحديد الظروف السائدة في البلازما البدائية. حددوا، على وجه الخصوص، حجم الموجات الصوتية التي انتشرت هناك والتي تسببت في مناطق الكثافة الزائدة. من خلال معرفة "سرعة الصوت"، حدد علماء الكون مقياساً مرجعياً بفضل "البقع" في الخلفية المنتشرة. ثم تم استخدام هذا المقياس المعياري لقياس توسع ونمو الهياكل الكبيرة حتى الآن. وتعطي هذه المقاييس معدل تمدد الكون الحالي، ثابت هابل. في عام 2003، قام تلسكوب WMAP الفضائي بقياسها الأول H0، 72 ± 5 كم في الثانية لكل ميغا بارس. في أحسن الأحوال! كانت هذه القيمة متسقة مع قيمة تلسكوب هابل، مع ميزة شريط خطأ أصغر. لكن القياسات المتتالية لـ WMAP كشفت عن اتجاه نزولي مؤسف (70 في عام 2011). لم تكن هذه مشكلة بعد: لا تزال أوجه عدم اليقين في SH0ES و WMAP متداخلة حول 72 كم في الثانية لكل ميغا.

بدأت الأزمة:

ولكن في عام 2013، تم تقليل مجالات الخطأ بشكل أكبر ولم تكد تلامس: كانت نتيجة SH0ES 74 ± 2 و WMAP 70 ± 2 . لم يكن المناخ قلقاً بعد، والطريقتين لا تزالان متوافقتين مع قيمة حوالي 72. مع تحسين أساليب وتقنيات التحليل، توقعنا أن نرى القيم تتقارب. بعد ذلك، في عام 2014، أعلن خليفة WMAP الأكثر تطوراً، وهو مرصد أو تلسكوب Planck بلانك الفضائي، عن أول تقدير لثابت هابل: 67.4 ± 1.4 . لم تعد هناك شكوك متداخلة، بل كانت الفجوة واضحة. وأكدت نتائج بلانك التالية هذه النتيجة فقط. الأسوأ من ذلك، انخفض مجال الخطأ إلى 1، ثم في عام 2018 كان 0.5 فقط. في

المصطلحات العلمية، نتحدث عن "التوتر" لوصف هذا النوع من الحالات حيث لا يمكن التوفيق بين إجراءين. مؤتمر تحت التوتر: كان عنوان مؤتمر في معهد كافلي للفيزياء النظرية في سانتا باربارا، كاليفورنيا، في صيف عام 2019: "التوترات بين الكون الفتي والكون الحالي". كان آدم ريس أول من قدم نتائج. في نهاية محاضرتة، لجأ إلى ديفيد غروس، المتخصص في فيزياء الجسيمات وأيضاً الفائز بجائزة نوبل، إلى السجال وسأله عن رأيه: "هل لدينا توتر أم أن لدينا مشكلة؟" رد ديفيد غروس بحذر أولاً على أن الفروق الدقيقة "تعسفية" بعض الشيء، قبل أن يضيف: "نعم، أعتقد أنه يمكننا التحدث عن مشكلة". بعد عشرين دقيقة، بعد جلسة الأسئلة والأجوبة، قام بتعديل ملاحظته: "في فيزياء الجسيمات، لم نكن نتحدث عن التوتر أو المشكلة، بل عن أزمة. واختتم آدم ريس المناقشة بهذه الكلمات: "زملائي، نحن في أزمة."

هل تنشأ المشكلة من بناء "مقياس المسافة الكونية" من الشموع القياسية؟ مثل هذا السلم الذي يمتد أكثر فأكثر إلى ، قوي مثل كل خطوة من خطواته، الشموع القياسية. ليس من المستحيل إخفاء الأخطاء في هذا النهج.

خلال المؤتمر في معهد كافلي، نوقشت هذه النقطة باستفاضة. وخلال المؤتمر أيضاً، نشرت ويندي فريدمان وفريقها نتيجة مختلفة تماماً عن نتائج SHOES باستخدام نوع آخر من الشموع القياسية: بعض النجوم الحمراء العملاقة. تتوهج هذه الأشياء أكثر وأكثر حتى تصل إلى الذروة عندما يبدأ هليوم قلبهم في الاندماج. يمكن استخدام "وميض الهيليوم" المشترك بين جميع عملاقة الأحمر كشعلة قياسية. مع هذا النهج، وصل فريق شيكاغو إلى قيمة في منتصف الطريق بين الفاصل الزمني الذي حددته الأزمة الحالية: 69 ± 0.8 كيلومتر في الثانية ولكل ميغا بارس (قيمة لا تقدم استعادة الشكوك، لا مع SHOES ولا مع Planck).

فكرة ويندي فريدمان Wendy Freedman هي أن السيفيد cepheids ليست شموعاً قياسية موثوقة جداً. توجد هذه النجوم في مناطق كثيفة في النجوم وغالباً غنية بالغبار. ومع ذلك، فإن الأخير، من خلال حجب جزء من ضوء النجوم، يعطي الانطباع بأنهم بعيدون أكثر مما هم عليه بالفعل. على العكس من ذلك، فإن العملاقة الحمراء هم نجوم قديمة تم العثور عليها إلى حد ما في ضواحي المجرة، في مناطق منخفضة الغبار.

بالنسبة لبعض المتخصصين في نهج المقياس عن بعد، كان تاريخ نشر مقال ويندي فريدمان بمثابة استفزاز، لأنه لم يمنحهم الوقت لتحليل الطريقة لتقديم إجابة مفصلة خلال المؤتمر.

جاء هذا الرد بعد ثلاثة أسابيع. الطريقة التي يستخدمها فريق Wendy's Freedman "تشكل شمعة قياسية واحدة لقياس المسافات خارج المجرة"، يبدأ مؤلفو المقالة بطريقة دبلوماسية للغاية قبل معالجة تحليل الأخطاء المنهجية بقوة. من وجهة نظرهم، كانت نتيجة ويندي فريدمان ملطخة بعدم اليقين. على وجه الخصوص، قام علماء الفلك بمعايرة عمالقتهم الأحمر في سحابة ماجلان Magellanic الكبيرة، وهي مجرة صغيرة معروفة ببعدها ولكنها متربة للغاية. من خلال إعادة تفسير البيانات عن العملاقة الحمراء، وجد آدم ريس وزملاؤه اتفاقاً جيداً مع بياناتهم الخاصة: لقد استنتجوا إن ثابت هابل يساوي 72.4 ± 1.9 كم في الثانية ولكل ميغا.

بالنسبة إلى Wendy Freedman، كان إعادة تفسير أسلوبها غير دقيق. مع فريقها، أخذت بعين الاعتبار آراء النقاد. وفي فبراير 2020، نشر هؤلاء الباحثون نتائج جديدة باستخدام أيضاً معايير العملاقة الحمراء في مجرتين أخريين، IC 1613 و Little Magellanic Cloud كلود ما جلان الصغيرة، التي ليست مترتبة للغاية ولكن مسافاتهما أقل شهرة. تحقق فريق ويندي فريدمان Wendy Freedman من أنهم قادرون على حساب تأثير الغبار بشكل صحيح ولديهم نتائج متسقة. ولكن بدلاً من الاقتراب من قيمة SH0ES، تنحرف قيمتها الجديدة لثابت هابل بشكل أكبر: 69.6 ± 1.9 كيلومتر في الثانية ولكل ميغا باسكار، على مرمى حجر من القيمة المعطاة بواسطة بلانك. يواصل آدم ريس وزملاؤه استكشاف الطريقة.

هذه التبادلات، التي تكون أحياناً متحركة، بين علماء الفلك الذين يعتمدون على الشموع القياسية، يؤكد فيزيائيوا الجسيمات على فكرة أن المشكلة تنشأ في عدم اليقين في بناء المقياس الكوني للمسافات. ولكن كيف يمكن للمرء أن يؤكد أن تحليلات الخلفية الميكروية الكونية خالية من الأخطاء؟ يعتقد عدد قليل من علماء الفلك أن المشكلة تكمن في بيانات بلانك. يعتقد الفيزيائيون أيضاً أنهم وصلوا إلى الحد الأقصى للحساسية لمرصد الفضاء التي تدرس خلفية الميكروويف الكونية. والقياسات المستقلة عن الخلفية المنتشرة - باستخدام تلسكوب القطب الجنوبي (SPT) على سبيل المثال - والتي تؤكد متانة هذه القياسات. يستخدم الباحثون مجموعة متنوعة من الأساليب لتقدير معدل التوسع الحالي للكون. يستخدم علماء الكونيات الخلفية الميكروية الكونية أو التذبذبات الصوتية للباريونات (باللون الأزرق)؛ كما يستخدم الفلكيون الشموع القياسية ومؤشرات المسافة. تعتمد التقنيات المستقلة الأخرى على الكوازارات أو على موجات الجاذبية. لذلك، إذا لم يكن مصدر التوتر في ملاحظات الكون الصغير أو الحالي، فإن علماء الكون ليس لديهم حل آخر سوى النظر إلى المسار الثالث، وهو مسار "جديد مادياً، أي قوى، أو ظواهر يخرج تفسيرها عن فهمنا الحالي للعالم. بدأ علماء الكونيات في التفكير في أفكار جذرية مفادها أن النموذج القياسي لعلم الكونيات ليس شاملاً كما اعتقدوا.

قد لا يكون نموذج علم الكونيات القياسي شاملاً كما كان يعتقد سابقاً يعتبر بمثابة نصف لأساس القياس في النموذج المعياري لعلم الكونيات. أحد العناصر التي يمكن أن تلعب في فهمنا للتوسع الكوني هو عدم اليقين بشأن محتوى الجسيمات للكون. بالنسبة لبعض العلماء، تذكرنا هذه الفكرة بـ "مشكلة النيوتريو الشمسي"، وهو شجار استمر عدة عقود على النيوتريوهات الإلكترونية، وهي جسيمات تنبعث من الشمس على وجه الخصوص. قام المنظرون بحساب تدفق معين من النيوتريو، وسجلت الكاشفات آخر. اشتبه الفيزيائيون في أن هذه أخطاء منهجية في الملاحظات. شكك علماء الفلك في النظرية التي تصف عمليات إنتاج النيوتريو في قلب الشمس. كما هو الحال مع ثابت هابل، يبدو أنه لا يوجد حل يظهر على أي من الجانبين. حتى نهاية الألفية اكتشف الباحثون أن للنيوتريونات كتلة. من خلال أخذ هذه النتيجة في الاعتبار، فهم الفيزيائيون أن النيوتريونات "تتأرجح" من هوية إلى أخرى: يتم تحويل النيوتريوهات الإلكترونية دورياً إلى أنواع أخرى من النيوتريونات التي لا تكون الكاشفات حساسة لها ولم تستطع رصدها. وفي تعديل مماثل، على سبيل المثال، مجموعة جديدة من النيوتريونات الموجودة في الكون الصغير، والتي من شأنها تعديل توزيع الطاقة والكتل في البلازما البدائية، سيصحح قيمة ثابت هابل.

مسار آخر يتعلق بالطاقة المظلمة. في النموذج القياسي لعلم الكون، تعتبر كثافة الطاقة المظلمة ثابتة. ولكن هذا ليس صحيحاً بالضرورة. منذ ذلك الحين، قد يختلف تأثير هذا الشكل من الطاقة على تمدد الكون

بمرور الوقت. وهي فكرة غير معقولة، لأن علماء الكون لا يعرفون الطبيعة الدقيقة لهذا المكون من الكون. لنترقب البيانات القادمة.

سيحصل الفلكيون على بيانات من مرصد غايا الفضائي التابع لوكالة الفضاء الأوروبية خلال العامين المقبلين. يقيس مسافة أكثر من مليار نجم في درب التبانة بدقة لم يسبق لها مثيل. هذا سيثبت أن الباحثين يستخدمون القيم الصحيحة لمعايرة المستوى الأول من تركيبهم الكوني. إذا لم يكن الأمر كذلك، فستكون المشكلة هي وجود خطأ منهجي. وفي الوقت نفسه، يواصل المنظرون العمل على امتدادات جديدة لنموذج الانفجار الكبير Big Bang، على الرغم من عدم وجود أي نموذج منافس حتى الآن صمد للتدقيق بشكل أفضل من الإصدار القياسي.

لا يزال النموذج القياسي لعلم الكونيات أحد أعظم نجاحات العلم الحديث. في خمسين عامًا، تطور هذا الإطار، بدءًا من أفكار مضاربة غامضة لإعطاء أفكار معينة تقريبًا. قد لا تكون شاملة كما اعتقد علماء الكون قبل بضع سنوات فقط، ولكن لا يزال هناك مثال جيد لكيفية عمل العلم: يحصل الباحثون على نتائج يتقنون بها، ويبحثون عن نتائج جديدة المسارات ومتابعة كل فكرة للمضي قدما.

Magellanic الكبيرة هي مجرة قزمة مجاورة لدرب التبانة معروفة بعدها بدقة. يستخدم علماء الفلك النجوم الحمراء والسفيدية هناك لمعايرة شموعهم القياسية.