الكون البدئي 1-2

الدعوة لعلم الفلك والكونيات البديل

د. جواد بشارة

للعلم خصائص نظرية وتجريبية تميزه عن المناهج الأخرى في العالم ... دون أن يتعارض معها بالضرورة! لكن في الحقيقة، هل الفيزياء الفلكية وعلم الكونيات علميتان حقًا؟ قضيتهم تستحق التفكير.

ما هي العملية العلمية؟

فيما يتعلق بأصل (أو أصول) العالم، لا يحتكر العلماء التفكير أو الأفكار الجيدة؛ يمكن لأي مجموعة بشرية أو حركة ثقافية أن يكون لها مفاهيمها الخاصة. ولكن ما هو التمييز (الفروق) بين الرأي، والمعتقد، والأسطورة، والخرافة، والعقيدة، والسياق الثقافي، والتفكير الفلسفي، والتفكير العلمي الاستنتاجي؟ ما الذي يجلبه المنهج العلمي عندما يكون موضوع الدراسة هو كوننا، دون إمكانية تغييره؟

مسألة أصل الكون وماهيته:

المحتوى الكوني (النجوم والمجرات ...) لا يزال رائعًا. والسؤال "من أين أتينا؟" يمكن مقاربته علميًا، ولكن أيضًا فنيًا وفلسفيًا وثيولوجيًا ... يختلف النهج العلمي عن المنهج الآخر، خاصة الثيولوجي، لأنه يحاول الإجابة بطريقة قابلة للدحض على السؤال "كيف حدث ذلك؟»، ولكن في أي حال من الأحوال بخصوص سؤال "لماذا حدث هذا؟»، ففيه إشارة إلى البحث المحتمل عن المعنى. وبالتالي، فإن الفصل بين كيف ولماذا واضح، ويبقى الجميع أحرارًا في التذرع بالسبب أثناء سماع الكيفية.

من خلال النهج العلمي، لا نفهم إلا قليل القليل وأفضل الأفضل (مع الهزات أو العدادات أو التسويف) القوانين الأساسية للكون والظواهر الفيزيائية المطروحة؛ نحن لا نتظاهر بالإجابة "هل للحياة معنى؟" أو "هل من الأخلاقي أن تقتل أو تساعد جارك؟". مثل هذه الأسئلة المشروعة، التي لا يعالجها العلم، يمكن التعامل معها بالفلسفة أو الدين. سنرى أنه لا يوجد تناقض بين هذه الأساليب المختلفة من حيث المبدأ.

لفهم الكيفية، يسعى العلم إلى ذلك، أي إلى تطوير النظريات على أساس المبادئ الأساسية والتنبؤ بالظواهر؛ ثم تتم مقارنة التنبؤات النظرية بالقياسات. وعندما يكون هذا جزء فرعي من نظرية أكبر، نستخدم مصطلح نموذج. إذا تم تحليلها في إطار نظرية أو نموذج، فإن القياسات تجعل من الممكن (أو غير الممكن) تأكيدها، أو إنشاء اتفاق بدرجة ثقة قابلة للقياس الكمومي.

لاحظ أنني أستخدم مصطلح "اتفاقية" وليس "تأكيد". في الواقع، من الصعب (إن لم يكن من المستحيل) تأكيد نظرية ما: لسنا متأكدين أبدًا من أن القياسات الجديدة لن تتعارض معها. في بعض الأحيان تتنبأ عدة نماذج بظواهر مماثلة قابلة للقياس؛ سيتم فصلهم فقط من خلال تدابير أكثر حساسية. من ناحية أخرى، يمكننا التحديد الكمومي، والتوافق بين القياسات والنظرية: كلما زادت القياسات المستقلة التي تتوافق مع التوقعات، زاد دعم النظرية وقبولها كنموذج. على العكس من ذلك، فإن قياسًا مؤكدًا وجد نفسه في خلاف صارخ مع التنبؤ النظري يكفي لإبطال النظرية والإطاحة بها.

في الممارسة العملية، فإن الوضع أكثر دقة. درجة الثقة في القياسات، أو الاتفاق مع النموذج، هي موضع نقاش وليس من الممكن دائما الوصول إلى استنتاج. وبالتالي، فإن القياسات الكونية الحديثة تختلف قليلاً - نستخدم المصطلح "التوتر" عندما يكون الخلاف صغيراً ولكن لا يستهان به - مع "النموذج القياسي أو المعياري" لعلم الكونيات. من خلال حساب احتمال انحراف القياسات عن النظرية، نجد 1٪: إنه بعيد الاحتمال، ولكنه ليس مستحيلًا إحصائيًا، بعيدًا عن ذلك. ماذا نستنتج؟ س: النظرية خاطئة عندما تتنبأ بأن القياسات يمكن أن توفر هذه القيم (حتى لو كان الاحتمال منخفضًا)؟ هل تم تأكيد النظرية بقياس التوتر ولكن مع ذلك مقبول؟ في هذه الحالة، سيكون من الضروري على الأرجح إجراء قياسات مستقلة أخرى، لمعرفة ما إذا كان هذا التوتر مستمرًا ويزيد أو ينحسر.

لذلك فإن النظريات قابلة للدحض: البيانات الجديدة (أو البيانات القديمة المفهومة بشكل أفضل أو المعاد تحليلها) تجعلها تتطور. أما التجارب والقياسات فيجب أن تكون قابلة للتكاثر.1 يحدث أن يتم نشر قياسات استثنائية، ولكن لم يتم تأكيدها بشكل مستقل من قبل فرق أخرى 2 بتحليل نفس البيانات أو إجراء قياسات أخرى ...

تدين العملية العلمية الحديثة بالكثير إلى أسلاف القرن السابع عشر، مثل ديكارت وغاليليو. يستدعي الأمر عنصرين أساسيين: الوجود (وجود (وقابلية تفنيد) نظرية تنبؤية قائمة على المبادئ الأساسية وإمكانية تكرار القياسات. تتم إضافة عناصر أخرى إليها، مثل إمكانية تغيير المعلمات والإعدادات التجريبية، لمعرفة كيف تتصرف الظاهرة فيما يتعلق بالتنبؤات. هذا المخطط (الشاعري إلى حد ما) مشوه في الممارسة اليومية. في بعض الأحيان تكون الملاحظة متقدمة على النظرية: لا تتلقى الظواهر تفسيرًا متماسكًا تمامًا، مثل المادة السوداء أو المظلمة أو سائل الطاقة المظلمة. في كثير من الأحيان، تتقدم النظرية على الملاحظات: من خلال هذه، نحاول اكتشاف الإشارات التي تم توقعها بالفعل، أحيانًا لمدة 100 عام، على سبيل المثال موجات الجاذبية أو الموجات الثقالية، التي، أو الحصول على صورة حقيقية لبيئة الثقب الأسود.

لكن الفيزياء الفلكية (دراسة فيزيائية لقوانين ومحتويات الكون) وعلم الكونيات (دراسة الكون

ككل، من وجهة نظر مادية) تشترك مع العلوم الطبيعية في حقيقة أنها كذلك، من المستحيل تغيير المعلمات والاعدادات والبيانات والقيم لمراقبة النتيجة. كيف يمكننا تغيير معلمات المجرة الأولية أو النجم الأولي أو الكواكب الأولية (مثل كتلتها أو تكوينها) لدراسة تكوينها، ثم مقارنتها بما نعرفه (من خلال الملاحظة والنظرية)؟ وبالمثل، في علوم المناخ أو البيئة أو الجيوفيزياء، حيث تكون المقاييس الزمنية أطول بكثير من حياة الإنسان (ولكنها أقصر بكثير من الفترات الفلكية!)، يكاد يكون من المستحيل تغيير الشروط الأولية أو لتغيير المعلمات (إلا في حالة المحاكاة العددية). هل هو حقًا علم، إذا كنا بالكاد نستطيع التجربة؟

الفيزياء الفلكية وعلم الكونيات: هل هي علوم؟

يمكن تعريف الفيزياء الفلكية على النحو التالي: "العلم الذي يدرس التركيب والتطور والقوانين الفيزيائية الأساسية التي تحكم المقاييس التي تنتقل من النظام الشمسي إلى الكون كله". لذلك فهو مرتبط ارتباطًا وثيقًا بعلم الكونيات (دراسة الكون على نطاق واسع) وعلوم الكواكب والنجوم والمجرات، ويدعو إلى العديد من "الواجهات" مع الرياضيات والفيزياء النظرية والفيزياء دون الذرية (النووية والجسيمات)، الفروع الأخرى للفيزياء (البلازما، السوائل، المواد الصلبة، تفاعل المادة مع الإشعاع ...)، الكيمياء، الجيولوجيا،

حتى علم الأحياء وعلوم الكمبيوتر (البيانات الضخمة، التعلم العميق والتفاعل البشري) الآلات والكنولوجيا). ناهيك عن تقنيات القياس، بما في ذلك البحث عن أجهزة الكشف أو إدارة نظم المعلومات، وكذلك العلوم الهندسية، على الأرض وفي الفضاء، وحتى الإدارة!

لقد رأينا أن الفيزياء الفلكية وعلم الكونيات يشتركان في جوانب معينة من العلوم الطبيعية مع علوم المناخ والجيوفيزياء: فهما يدرسان (أساسًا) الظواهر الطبيعية، التي تتطور على مدى فترات زمنية طويلة فيما يتعلق بحياة الإنسان. ليس من المستغرب أن تكون موضوعات البحث هذه تجري في المركز الوطني للبحث العلمي في فرنسا (CNRS)، المجمع في معهد واحد، المعهد الوطني لعلوم الكون (INSU) ، مع روابط عديدة مع معاهد أخرى مثل المعهد الوطني للفيزياء النووية وفيزياء الجسيمات (IN2P3) والمعهد الوطني للفيزياء (INP). غالبًا ما يتم إجراء هذا البحث في شراكة متساوية مع مؤسسات ذات هيكل مماثل، مثل الجامعات أو اللجنة الفرنسية للطاقة الذرية والطاقات البديلة لتطوير المشاريع الفضائية، بدعم من وكالة الفضاء الفرنسية، المركز الوطني لدراسات الفضاء (CNES).

كيفية دراسة الظواهر التي تحدث في نطاق مقاييس طويلة من الزمان والمكان، دون التمكن من تجربة الظروف الأولية أو المعايير المختلفة؟ كيف تتعامل مع كون واحد ومتى لا يمكنك إنشاء نجم بنفسك؟ هل نهج الفيزياء الفلكية علمي؟ الجواب (الإيجابي) لن يفاجئ القارئ، لكن يجب أن يكون له ما يبرره. تتطلب دراسة هذه الظواهر الطويلة والبعيدة - الكون ومكوناته يتطلب - إطارًا نظريًا. لذلك فهي مسألة وجود نظرية متماسكة، أو التي يستدعي وجودها، وإجراء تنبؤات قابلة للاختبار من خلال الملاحظات. هذه الحالة - ضرورية ولكنها ليست كافية - تم التحقق منها جيدًا في الفيزياء الفلكية.

لأننا لا نستطيع إجراء التجارب مباشرة (على سبيل المثال فيما يتعلق بتكوين النجوم)، من الضروري أيضًا استدعاء مبادئ أو افتراضات معينة، كما تفعل العلوم الأخرى. لنبدأ بمبدأ العملانيةergodicité . يمكن ذكره بعدة أشكال. الشيء الذي يثير اهتمامنا هو ما يلي: العملية الـ ergodique تكون إذا كان النظام المادي، الذي يُترك لنفسه لفترة كافية، يستكشف بالكامل "مساحة الطور"، أي مجموعة القيم والمعلمات والاعدادات الممكنة. هذا يعني أنه إذا لم نتمكن من تجربة وتغيير المعايير بأنفسنا، فإن "كل الاحتمالات موجودة في الطبيعة". من الناحية المفاهيمية، نستبدل التجارب المباشرة ... بملاحظة العديد من الإدراكات والانجازات: أخيرًا، الكون هو الذي يختبر لنا بدلا منا! مع الأخذ في الاعتبار المبدأ الكوني، يقول بشكل أساسي أنه لا يوجد شيء مثل مكان متميز في الكون. وهذا يعني أن الظروف (الديناميكية أو غير ذلك) السائدة هناك من الناحية الإحصائية هي نفسها في كل مكان، مع العلم أن قوانين الفيزياء هي نفسها أيضًا في كل مكان. صيغة أخرى: هناك مقياس للحجم (يقدر بعدة مئات من الميغا فرسخ mégaparsecs) يمكننا بعده اعتبار الكون متجانسًا تمامًا. لاحظ أن صحة هذا المبدأ لا تزال تثير الجدل.

بشكل عام، يتكون النهج العلمي من تراكم مجموعة متنوعة من الملاحظات (ربما يكون لكل منها تحيزات أو قيود)، لدراستها بشكل منهجي و "لفهمها"، للإجابة على سؤال أو التحقق من صحة التنبؤ النظري. فيما يلي بعض الأمثلة والأمثلة المضادة. مثال رقم 1: التنبؤ بسعر سوق الأسهم. عندما أناقش السؤال "هل الفيزياء الفلكية علم؟" مع طلابي، قدموا العديد من الحجج الصحيحة: "العلم يصنع تنبؤات"، "نحن نلاحظ ونحلل ونتوقع"، إلخ. أشرح لهم أن هذه الحجج ضرورية ولكنها غير كافية، مع الأخذ في الاعتبار التنبؤ بالأسعار في الأسواق المالية: إنها ليست مسألة علمية، مثله في ذلك مثل علم التنجيم 4 •

المراقبة والتنبؤ لا يكفيان لتشكيل علم. المنجم ومسوق سوق الأسهم أو المعلق الرياضي، بلا شك وبحسن نية، يراقبون بياناتهم المفضلة ويتنبؤون بما يمكنهم أو يريدون. لكن تنبؤاتهم لا تستند إلى أي نظرية مثبتة - التي كان من الممكن أن تظهر صحتها - وتم تزويدها بمعايير كمية دقيقة. لا يتم دعم هذه التنبؤات من قبل أي مجموعة نظرية أو تجريبية من المقاييس التي اجتازت اختبارات موضوعية. (ملاحظة: يوجد بالفعل علم اقتصادي، غير مستثنى من الخلافات، يأخذ في الاعتبار البعد الإنساني والاجتماعي أثناء استدعاء التحليل العقلاني، مقارنة بالمفاهيم النظرية واستخدام النماذج.) قد يكون لدى هؤلاء الممارسين بعض المهنة وعلم النفس والخبرة لتشعر بالأشياء، لكن نهجهم ليس علميًا: ماذا عن العالمية والموضوعية وقابلية التفنيد والتكاثر وخصائص العملية العلمية؟

مثال 2: التنبؤ بالطقس:

النموذج الأولي للنهج العلمي، الذي يتم طرحه في بعض الأحيان للتساؤل (على سبيل المثال، إذا انتهى توقع هطول الأمطار في شمس مشعة، ولكن دعونا نواجه الأمر أن هذا لم يعد يحدث بعد الآن)، فإن توقعات الأرصاد الجوية لها قواعد نظرية وتجريبية صلبة في الفيزياء (خاصة الديناميكا الحرارية)، علم المناخ، الجيوفيزياء، علم المحيطات. مع زيادة قوة أجهزة الكمبيوتر وتوافر بيانات أكثر دقة، يتم تنقيح النماذج بانتظام، وأصبح العلماء على دراية بالاستقرار والشكوك في الحلول والتنبؤات، التي أصبحت الآن موثوقة للغاية على مدار خمسة أيام أو أكثر. يبقى تحدٍ آخر: توصيل هذه المعلومات (وشكوكها) للجمهور!

إذا تركنا الأرصاد الجوية لنقترب من المناخ، الذي يتعلق بالمقاييس الزمنية الطويلة جدًا، أن نموذج مناخ الأرض يستخدم أيضًا لكواكب المريخ والزهرة، والكوكب القزم بلوتو والأقمار تيتان وتريتون. نقوم بتعديل قيم متغيرات عددية مختلفة اعتمادًا على النجم المدروس، لحساب جاذبيته وضغطه وتكوين الغلاف الجوي، إلخ. يسعى الزملاء الآن إلى تطبيق هذا النوع من النماذج على الكواكب العملاقة، وحتى الكواكب الخارجية، أي خارج منظومتنا الشمسية (التي تدور حول نجوم أخرى)! كل هذه الدراسات تشارك في التحسين المستمر للنموذج، وتجد تطبيقاتها على الأرض.

مثال رقم 3: أنظمة الكواكب، قبل عام 1995 وبعده، حتى اكتشاف أول كوكب خارجي حول النجم بيجاسي Pegasi 51 (من مرصد Haute Provencé ، الحائز على جائزة نوبل في الفيزياء لعام 2019) ، اعتبر الباحثون نظامنا الشمسي - كواكب غازية عملاقة تقع بعيدًا عن النجم ، تكون الكواكب الصخرية أحيانًا قريبة جدًا منه – مثل "نموذجي". وكان الذهول لدى الراصدين: أظهر اكتشاف هذا الكوكب الخارجي أن كوكبًا ضخمًا (مثل كوكب المشتري) يمكن أن يكون قريبًا جدًا من نجمه لدرجة أنه يدور حوله، ما يزيد قليلاً عن 4 أيام! كان لابد من مراجعة النظرية بالكامل، والتي اعتبرت من المستحيل بقاء كوكب عملاق في هذه المنطقة الكونية. تم إجراء هذه المراجعة وحققت بعض النجاح: تم تحديد أكثر من 4000 كوكب خارجي و"مسموح" من الناحية النظرية. من خلال دمج التفاصيل الجديدة والخواص الدقيقة للفيزياء المعروفة بالفعل، وصلنا إلى مفهوم هجرة الكواكب العملاقة. تتشكل دائمًا بعيدًا عن النجم، ولكنها تهاجر تدريجياً إلى مناطق أقرب، دون أن تتبخر. كان من المفهوم أيضًا أن "كوكب المشتري الساخن" (فئة الكواكب الخارجية العملاقة القريبة من نجومها) هي الأكثر سهولة في الاكتشاف: تفضيلات "انحياز الاختيار" الملاحظة (الدراسة الإحصائية سيكون لها تحيز في الاختيار إذا كانت العينة المستخدمة لا تمثل المجموعة المراد دراستها، بسبب اختيار معين). تعمل أدوات وأجهزة جديدة على خفض عتبة

الكشف عن الكواكب الخارجية (نكتشف كواكب أخف وزناً)، بهدف الكشف عن "الكواكب الخارجية" (ذات الكتل المشابهة لكوكبنا). استنتاج شخصي: الكون أصلي أكثر مما نتخيل! يجب تذكرها أيضًا في علم الكونيات.

وظيفتي: قاتل النماذج ...

عندما يُسألون عن طبيعة عمل عالم الفيزياء فلكية، الجواب أحيانًا هو: " قاتل النماذج، وخاصة نماذجه هو أسوة بنماذج الآخرين!" أعتقد أن هذا يلخص نشاطه جيدًا، على الرغم من الزاج الهادئ للغاية الذي يتحلى به العالم عادة، بعيدًا عن صورة القتلة و "منظفي مسرح الجريمة" في السينما.

القياسات التي نأخذها حول الخصائص العالمية للمجرات أو الهياكل البعيدة، تهدف إلى الاستجابة لمشكلة علمية من خلال مواجهة التنبؤات، والتي هنا تعني النماذج. لذلك من الطبيعي تطوير هذه النماذج، بحيث تتوافق بشكل أفضل مع البيانات. يتضمن هذا "قتل" نماذج معينة، أو بالأحرى إظهار أنها لا تتناسب مع الملاحظات. ماذا يمكن أن يحدث للنماذج التي عرضها فريقي العلني، لكنني أعتقد أنهم يقاومون أيضًا (أو بشكل سيئ، في هذه الحالة) مثل النماذج الأخرى ... الشيء الرئيسي هو أن مقارنة النماذج، أكثر أو أقل حسماً من أجل بقائهم، وتعزيز معرفتنا.

1 نهج المراقبة la démarche observationnelle

يتألف من مقارنة التوقعات النظرية والقياسات، التي من المفترض أن تكون عديدة بما يكفي لتغطية مساحة المعلمات والمعايير المعنية بشكل جيد. وهذا يطرح مشكلة في بعض الأحيان: في علم الكونيات، لدينا كون واحد فقط وهذا القيد أساسي بالنسبة لبعض الدراسات. في المقابل، أدى اكتشاف الآلاف من الكواكب الخارجية إلى إصلاح علوم الكواكب، والتي يجب أن تكون قد فسرت تنوع الأنظمة المرصودة.

نهج المحاكاة الرقمية قريب جدا. بدءًا من المبادئ الفيزيائية، وأحيانًا من النماذج المبسطة، يتم إنشاء عمليات المحاكاة، مقارنة بالبيانات المتاحة والتنبؤات النظرية. أحيانًا نجرب في المختبر على أنظمة (سوائل، بلازما ...) لها خصائص الظواهر الفيزيائية الفلكية.

وبالتالي، فإن ثراء هذه الأساليب يأتي من مقارنة القياسات بالتنبؤات، وإمكانياتها ذهابًا وإيابًا. دعونا نلخص الخطوات المثالية.

1) تحديد مشكلة علمية واضحة، نحن نركز على موضوع معين.

2) تحديد الملاحظات التي تتكيف مع هذه المشكلة، نحن نقرر ما هو الأفضل لملاحظته ورصده لتحقيق الأهداف المحددة. غالبًا ما توجد عدة حلول.

3) تطوير إستراتيجية مراقبة لجمع المعلومات المفقودة المحددة في الفقر الثانية نظرًا لأنه قد يكون هناك العديد من الملاحظات ذات الصلة، فمن الممكن وجود استراتيجيات مختلفة.

4) حملة المراقبة. نقود الحملة على الأرض أو في الفضاء، مع وجود مخاطر محتملة. إذا لاحظنا مجموعة من المجرات، وكان جزء بسيط فقط من الوقت المتوقع صالحًا للاستخدام، فماذا نفعل؟ راقب أهدافًا قليلة، بالحساسية الصحيحة؟ أو جميع الأهداف بحساسية أقل ومخاطرة عدم القدرة على التوصل إلى

نتيجة بشأن القضية؟ غالبًا ما يظهر هذا النوع من الأسئلة أثناء الحملة أو بمحاذاتها، عندما تتخذ لجان تخصيص وقت التلسكوب خياراتها (الطلبات أكبر من 3 إلى 20 مرة من الوقت المتاح).

5) معالجة البيانات، ربما بصورة تلقائية أو آلية.

يتم إجراء المعالجة بواسطة متخصصين في الأداة المستخدمة، غالبًا مع سلسلة من برامج الكمبيوتر تسمى "خط انابيب". يتكون من تصحيح البيانات الأولية للتأثيرات في تدهور الإشارة (بسبب الأجهزة)، ومن ثم القيام بمعايرتها. عندئذ تصبح لدينا بيانات خاصة بالاستخدام العلمي.

6) تحليل البيانات للغرض المحدد في النقاط 1 و2، تحليل الإشارة الفلكية هو بلا شك الخطوة الأكثر دقة: هذه الإشارة تشوبها الضوضاء وحساسة لإخراجها. أين الإشارة والضجيج؟ نقاش ضخم! هذا هو التعريف الذي يناسبني بشكل أفضل: في سياق معين، الإشارة هي المعلومات المطلوبة بينما الضوضاء هي أي معلومات أو عملية غير مرغوب فيها.

هنا مثال معبر. مدرس يعطي درسا أمام عشرات الطلاب. اثنان منهم يناقشان أمسيتهما في الليلة السابقة (موقف خيالي بالطبع!): تحكي A قصتها لـ B التي تستمع إليها. لذلك تتلقى B إشارتين: قصة A وصوت المعلم، تصل موجتان صوتيتان متميزتان إلى أذنها. الفيزياء لا تميز الأنف والحنجرة إعادة الإشارة والضوضاء، فقط السياق هو الذي يحدد أيهما أو الآخر. إذا كان B جادًا أو مركّزًا، فسوف يأخذ قصة A للتشويش وصوت المعلم للإشارة المضطربة. ولكن إذا كان في مزاج مرح، فسيعتبر صوت المعلم ضوضاء، وإشارة الاهتمام هي

صوت A. يمكن أن تكون الضوضاء عشوائية (على سبيل المثال: ضوضاء حرارية) أو نظامية أو منظمة (الصوت الذي لا يهم). اعتمادًا على الاهتمام العلمي، يمكن أن تؤدي الحالة المادية إلى العديد من التحليلات. مثال فيزياء فلكية: بيانات من القمر الصناعي بلانك، تحتوي على إشارة من مجرتنا، ولكن أيضًا من المجرات البعيدة والخلفية الكونية. سنقوم بتحليل هذه البيانات بشكل مختلف، اعتمادًا على ما إذا كنا مهتمين بالانبعاث الخلفي للخلفية الكونية أو الانبعاث الأمامي للمجرة وليس للخلفية الكونية.

7) التفسير العلمي: تفسير القياسات مهمة صعبة. تمت مقارنة المعلومات ذات الصلة، المستخرجة خلال الخطوة السادسة، بالنماذج والتدابير الأخرى الموجودة، لاستخلاص استنتاجات حول الاستجواب الأصلي.

8) الاستنتاجات والتغذية الراجعة ومواجهة المشكلة الرياضياتية العلمية: عادة ما يجعل مواجهة التفسير والاستجواب الأولي من الممكن دفع النقاش العلمي إلى الأمام.

"هل تصدق" الانفجار العظيم؟ لا يحتاج الأمر للتصديق!

يسألني الناس أحيانًا عما إذا كنت أؤمن بالانفجار العظيم. السؤال مطروح بشكل سيئ: النهج العلمي لا يعطي سببًا للاعتقاد، لكنه يظهر اتفاقًا أو اختلافًا بين البيانات المكتسبة والنماذج أو التنبؤات. لا عقيدة أو حقيقة خفية في هذا النهج، ولكن النظريات والملاحظات والمشاهدات ونتائج عمليات الرصد والحقائق والمواجهة والتساؤلات والشكوك والنقاشات والتساؤل. كان من الممكن أن يكون السؤال هو: "هل تعتقد أن نموذج الانفجار العظيم هو الأفضل الذي يتناسب مع جميع الملاحظات الحالية؟" يجيب معظم المجتمع العلمي - بمن فيهم أنا - بـ "نعم" على هذا السؤال (بصيغة مبسطة إلى حد ما واختزالية). ستفصل

الصفحات التالية هذه الإجابة لتوضيح النجاحات التي لا جدال فيها للنموذج، دون التعتيم على الأسئلة المفتوحة والمشاكل المتبقية.

دعونا نلقي نظرة على حالة "العلم والدين": تسببت علاقتهما في أضرار جسيمة. وسفك الكثير من الحبر (وحتى الدم). لا ينبغي أن يدخل هذان النهجان في المواجهة، لأنهما يعالجان مجالات فكرية مختلفة. من ناحية الدين، إنها مسألة قيم وسلوك معين للحياة والمعنى المعطى للوجود والعالم ولتقدمه. من ناحية العلم، إنها مسألة استجواب منطقي لعالم معقد، على جميع مقاييس الزمان والمكان، مع التنبؤات النظرية التي يمكن دحضها بالتجربة.

منذ ذلك الحين، يمكن للمرء أن يكون عالمًا ومؤمنًا؛ هذه ليست حالتي بالطبع، لكنني أعرف أشخاصًا راضين تمامًا عن أن يكونوا كذلك! ولكن كيف لا نجد بعض الحزينين أو الظلاميين السخيفين أو المخادعين الذين يريدون الحفاظ على الخلط بين العلم والدين، من خلال تتبع شبكة قراءة عقائدية حول الأسئلة العلمية؟ لقد احتقروا وأهانوا الإبداع البشري لعدة قرون ... سواء كان بوزون هيغز، جزيئات الحمض النووي، مصير النحل، تكوين الصخور، الكواكب، المجرات، المادة السوداء، أو التخمينات الرياضية، أو نظرية الألعاب، ما هو الفضل أو أهمية الانعكاس الديني؟ من جانبه، لا يتدخل العلم في الأسئلة المتعلقة بالأخلاق، وطبيعة الخير والشر، والمعنى الذي يجب أن يُعطى للحياة والأفعال البشرية. يمكننا بعد ذلك الانتقال إلى الدين أو الفلسفة أو الأخلاق أو الثقافة أو القانون أو علم النفس 7 •

إن مزيج الأنواع التي تعمل بها الوسائط أحيانًا، بين الأصل الميتافيزيقي للكون وواقعه العلمي، يطمس الاستماع ويغير التمييز بين النهج الموضوعي والتكهنات المضادة، المنطوقة في ثرثرات البارات والتي تتبعها حفنة نادرة ولكنها مشهورة من دجالي وسائل الإعلام الحديثة. دعونا نعرف كيف نميز!

لصالح البحث الأساسي:

"أليست مهمات الفضاء باهظة الثمن؟ هل يجب استخدام هذه الأموال لمواجهة المشاكل الاجتماعية (الفقر والبطالة وما إلى ذلك)؟ "

أود أن أعطي وجهة نظري حول هذه الأسئلة ذات الصلة التي تطرأ كثيرًا من خلال توسيعها لتشمل جميع الأبحاث الأساسية.

تبلغ التكلفة الإجمالية (مع الرواتب) لبعثات بلانك Planck وهيرشل حوالي 1.2 مليار يورو موزعة على17 سنة، وهو مبلغ متواضع مقارنة برقم معين يتعلق بالإنفاق الحكومي (التخفيضات الضريبية أو المعدات العسكرية، على سبيل المثال). ينطبق هذا أيضًا على البنى التحتية الكبيرة مثل CERN. هذه النفقات، التي تؤدي إلى اكتشافات عظيمة وابتكارات صناعية، هي نتيجة اختيار المجتمع حيث يتم أيضًا دعم التعليم للجميع والتميز من خلال البحث، حيث يستلهم المجتمع من أهم الأبحاث. الأساسيات بعيدة المدى، وكذلك البحث والتطوير قصير المدى التطبيقي: تتم المقايضات في سياق عالمي (التعليم، الصحة، الاجتماعية، العسكرية، الاقتصاد، الاستثمار في البنية التحتية، استخدام الضرائب، الدولية، وما إلى ذلك)، دون تعارض عقيمين مع مجالين فرعيين - "العلم" و "الاجتماعي"، أو "العلم" و "المجاعة العالمية". ومن أجل التقدم، يطور البحث الأساسي ويحتاج إلى تقنيات متقدمة؛ يستكشف السبل التي في بعض الأحيان محكوم عليها بالفشل؛ واعدة جدًا أحيانًا (للأسف لا نعرف إلا بعد ذلك). لذلك فهي تولد التنمية الصناعية وتخلق وظائف تتطلب مهارات، والتي لها في حد ذاتها فوائد اقتصادية، بينما تستعد للمستقبل.

بالإضافة إلى أنها تنتج المعرفة القادرة على توعية المواطنين والسياسيين بالعديد من الموضوعات ذات الاهتمام المجتمعي.

على مستوى أعمق، ستكون نظرتنا للعالم، ومثلها ستكون حياتنا اليومية، مختلفة تمامًا بدون هذه المعرفة البحثية. يمكننا على وجه الخصوص اقتباس GPS، الذي يستخدم التصحيحات الناتجة عن نظرية النسبية التي تأسست منذ حوالي 100 عام. إن الهوس الإعلامي والشعبي للأحداث العلمية أو التكنولوجية الكبرى يثبت، كما يبدو لي، أن البشرية ما زالت تشكك في العالم ومكانه فيه. العلم يوحد البشر تمامًا مثل الفن والثقافة!

الآن وقد تم توضيح تفاصيل العملية العلمية وحالة الفيزياء الفلكية، فقد حان الوقت للخوض في مجال علم الكونيات الفيزيائي بمزيد من التفصيل. بدءًا من تاريخها، الذي يمتد إلى أكثر من قرن.

الكون البدئي 2-2

الدعوة لعلم الفلك والكونيات البديل

تاريخ موجز لعلم الكوسمولوجيا:

"منذ زمن بعيد، في مجرة بعيدة، بعيدة جداً..." مثل ما يمكن للمرء أن يقرأه في بداية كل فيلم من سلسلة أفلام حرب النجوم، يهتم علم الكونيات بتطور الكون ككل.

خلال قرن من الزمان، تغيرت الدراسة الفيزيائية للكون بشكل لا يصدق. لقد بدأته نسبية أينشتاين، وهو يرتكز الآن على ثلاث ركائز صلبة: توسع الكون، والتخليق النووي البدائي، والإشعاع الأحفوري الكوني المنتشر. لكن الملاحظات والمشاهدات الرصدية، التي أصبحت فائقة الدقة، تعطيه وقتًا عصيبًا لتوضيح ألغاز مثل: المادة السوداء أو المظلمة، الطاقة المظلمة أو المعتمة أو السوداء، تكوين الهياكل، بدايات الكون الخ... لفهم النموذج الكوني السائد اليوم، دعونا أولاً نلقي نظرة على المراحل الرئيسية التي أدت إلى نشأته، ثم تطوره. سنلخص بعد ذلك محتواه وما يسمح بقوله عن تاريخ الكون، بمجرد مواجهة الملاحظات.

النسبية والتوسع والمادة السوداء المظلمة:

الأساس النظري الأول لعلم الكونيات الفيزيائي العلم المعاصر هو نظرية النسبية العامة، الذي يوفر إطارًا لوصف الكون والتنبؤ بتفاعلات الجاذبية للمادة والطاقة الموجودة في الكون. هذه القفزة المفاهيمية، التي اكتملت في نهاية عام 1915، قام بها بالطبع ألبرت أينشتاين.

منذ نهاية عشرينيات القرن الماضي، اعتقد علماء الفلك أن الكون يتوسع، بعد الملاحظة والمشاهدة والرصد- التي قام بها إدوين هابل على وجه الخصوص - للمجرات البعيدة، والتي تبتعد عنا جميعًا بشكل أسرع كلما زادت المسافة بيننا وبينها. خلال نفس السنوات، يبحث المرء عن حلول نظرية تحدد الحركة (يتحدث المرء عن الديناميات) لكون متوسع في إطار النسبية العامة. لا تزال الحلول التي وجدها ألكسندر

فريدمان وجورج لوميتر بشكل مستقل بين عامي 1922 و1931 مستخدمة حتى اليوم. هذا الإطار النظري، مقترنًا بملاحظات انحسار المجرات (التي "تتتبع" توسع الكون)، تشكل الأساس الأول لعلم الكونيات الفيزيائي الحديث.

في منتصف الثلاثينيات، اكتشف فريتز زويكي تناقضاً بين سرعة المجرات التي تدور في مجموعة من المجرات والكتلة التي تم الحصول عليها عن طريق إضافة تلك المجرات المركزية. إنها الأولى (في سلسلة طويلة جدًا) التي تسلط الضوء على تأثير "الكتلة المفقودة" في الكون. هذه الملاحظة الهاربة من الكتلة، والتي يمكن رؤية آثارها الديناميكية في جميع المجرات والعناقيد (على وجه الخصوص في الكون البعيد، المأهولة بأشياء لا تزال "حديثة")، تسمى اليوم "المادة السوداء أو المظلمة". كما شكلت الثلاثينيات بداية علم الفلك الراديوي، بعد اكتشاف كارل جانسكي (في سنة 1932موجات الراديو المنبعثة من مجرتنا درب التبانة.

ركود المجرات:

في السنوات من 1910 إلى 1930، قام المراقبون (بمن فيهم إدوين هابل) بقياس مسافات المجرات وسرعاتها بالنسبة إلى الأرض. في ذلك الوقت، كانت "السدم" (المسماة بالمجرات وغيرها من الأشكال الضبابية) غير مفهومة جيدًا. يحتدم الجدل حول: هل هم في مجرتنا أم لا؟ وفقًا لعلماء الفلك، لا يمتد الكون المرئي بالضرورة إلى ما وراء درب التبانة. أدت الإجراءات المذكورة إلى ثلاث نتائج مهمة، مع تداعيات قوية.

أولاً: إن المجرات تقع على مسافات فلكية حقًا، أبعد من مجرة درب التبانة. من خلال قياس سطوع نجوم معينة ومقارنتها مع رشقات من النجوم القياسية، يحسب علماء الفلك مسافات عدة سدم. الحكم: تقع على بعد حوالي عشرة ميغا فرسخ، وهي مسافة أكبر بكثير من حجم مجرة درب التبانة (بضع عشرات من الكيلوبارسك). ثانيًا: تظهر سرعات المجرات أنها تبتعد عنا تقريبًا بشكل منهجي. يتم الحصول على السرعات الشعاعية (في اتجاه خط البصر) عن طريق التحليل الطيفي: يتم تحديد الخطوط الذرية المميزة (مثل خطوط الهيدروجين) ومقارنة أطوالها الموجية بتلك المقاسة في المختبر. إذا تم إزاحة الخطوط التي لوحظت في المجرة إلى "زرقاء" (أطوال موجية أصغر / ترددات أعلى) من طيف المختبر "عند السكون"، فإن المجرة تقترب منا. إذا تم "إزاحة الخطوط باللون الأحمر" (أطوال موجية أطول / ترددات أقل)، تتحرك المجرة بعيدًا عنا. يجعل "تأثير دوبلر-فيزو" (الموجود أيضًا للصوت) من الممكن قياس سرعات المجرات، لأن التحول الدقيق للخطوط يوفر سرعة الإزاحة الشعاعية. ثالثًا: هناك علاقة بسيطة بين مسافة المجرة وسرعتها البعيدة. كلما ابتعدت المجرة، زادت سرعة هروبها! أظهر هابل (في عام 1929) ثم هابل وميلتون هيوماسون (في عام 1931) ذلك لمجرات قريبة إلى حد ما (وفقًا للمعايير الحالية).

هذه النتائج الرئيسية الثلاث، لخصها التعبير المتداول في الوسط الفيزيائي «ركود المجرات"، والذي يلقي بالعديد من الباحثين في هاوية الحيرة. هذا مفهوم، فالمفهوم السائد هو (تقريبًا) كون ثابتًا مليئًا بالسدم، والذي يجعل المرء يتساءل عما إذا كانت قريبة أم لا. ومن هنا السؤال: هل تأثير الركود هذا واضح فقط، أم أنه خاصية عالمية للكون المتوسع؟

ترتبط بعض الشخصيات والذهنيات المتقدة بالنماذج النظرية التي تم تطويرها في أعقاب النسبية العامة لأينشتاين. من خلال البحث عن حلول لمعادلات آينشتاين وألكسندر فريدمان (في عام 1922) وجورج لوميتر (في1931) أدركت أن الحل "الثابت" ليس بالضرورة مناسبًا، وأن هناك حلولًا حيث يتمدد الكون. لذلك تم إنشاء صلة بين الملاحظات والنماذج ... ولكن هل هذا المنطق مقبول، وملائم، وصحيح، وقوي؟ لطمأنة القارئ (أو عدم طمأنته): في الوقت الحالي، نسأل أنفسنا باستمرار أسئلة من هذا النوع!

التركيب النووي وإشعاع الكون Nucléosynthèse et rayonnement de l'univers:

في السياق المظلم للحرب العالمية الثانية، شهدت الأربعينيات ظهور الفيزياء النووية (تلك الخاصة بنواة الذرة) وظهور بعض التقنيات، بما في ذلك مستقبلات الراديو. تجعل الفيزياء النووية من الممكن فهم التركيب المعقد جدًا للنواة الذرية في الكون (يُطلق عليه "أطروحة النيوكليوسينتيز أو التركيب النووي nucléosynthèse")، في ظل قوة دفع أعمال رالف ألفر وهانس بيث وجورج غامو والتحسينات التي تم إجراؤها في الخمسينيات من القرن الماضي. فريد هويل ، هيرمان بوندي ، والزوجان مارغريت وجيفري بوربيدج ، وكذلك ويليام فاولر.

يمكننا التمييز بين التركيب النووي البدائي الذي حدث خلال الدقائق الثلاث الأولى من الكون، والذي خلق بعض العناصر الذرية الخفيفة (كل الهيدروجين والهيليوم، وبعض الليثيوم)، وتكوين النواة النجمية الذي يحدث باستمرار في النجوم، والذي يصنع العناصر الذرية الأثقل. بصرف النظر عن الهيدروجين والهيليوم، يمكننا أن نقول بطريقة شعرية - كما يذكرنا هيوبرت ريفز - أننا كلنا "غبار نجمي": كل الذرات التي يتكون منها (الكربون والأكسجين والنيتروجين ...) تأتي من التخليق النووي النجمي (باستثناء الهيدروجين والهيليوم) أي أننا أبناء النجوم.

هذا التفسير لأصل المادة الذرية، الذي يميز بين العمليات البدائية والنجمية، كان له دور بالغ الأهمية في علم الكونيات وفي تاريخ مفاهيمنا عن الكون. لعقود من الزمان، كان يعتبر العمود الثاني لعلم الكونيات الفيزيائي المعاصر. إنه يوضح الروابط المتكررة بين علم الكونيات (دراسة اللامتناهي في الكبر) والفيزياء دون الذرية (دراسة اللامتناهي في الصغر).

في أواخر الأربعينيات من القرن الماضي، روج غامو لـ"نموذج الانفجار العظيم الساخن" Big Bang chaud، الذي مر فيه الكون بمرحلة من الكثافة والحرارة الفرديتين singulières، قبل أن يبرد بسبب التوسع. تتنبأ الفيزياء بتكوين كمية كبيرة من الضوء، مثلما يحدث عندما ينبعث الضوء من غاز مسخن - على سبيل المثال، لهب شمعة، أو سطح الشمس.

هذا النموذج يحدد كمية التبريد ويجعل من الممكن حساب معدلات إنتاج الجسيمات المختلفة بنجاح مع نسب العناصر الذرية الخفيفة. كما يتنبأ بأن الضوء والمادة بقيا لفترة طويلة "في حالة توازن": أي البلازما- وهي عبارة عن وسط حيث تدور الجسيمات المشحونة كهربائيًا وتتفاعل بحرية مع الضوء- و"مقترن" عبر العمليات الكهرومغناطيسية. تتنبأ الفيزياء أنه في حالة التوازن هذه التي تتطور مع درجة الحرارة، يكون للضوء خصائص ما يسمى بإشعاع "الجسم الأسود"rayonnement de corps noire. يتنبأ غاموGamow بأن الضوء الذي نشأ أثناء الانفجار العظيم الساخن لا بد أنه لم يختف بعد ذلك كلياً: فالتوسع يقوم "بتخفيفه diluée"، دون تغيير خصائصه المحددة (إذا تم امتصاص الضوء، فسوف يعيد انبعاثه). لذلك يجب على الإشعاع الضعيف والبارد أن يغمر الكون دائمًا، ويشهد على شبابه الدافئ

والكثيف. عندما يدور هذا الضوء في كل مكان، يجب ألا تكون خلفية السماء (لذلك في الليل) مظلمة كما نظن! لذلك فالليل ليس مظلماً! سنرى أن هذا التوقع كان صحيحًا. يشكل هذا "الإشعاع الأحفوري rayonnement fossile» الركن الثالث لعلم الكونيات الحديث.

تصبح الملاحظات والنماذج أكثر وضوحا:

اتخذ علم الكونيات منعطفًا كبيرًا في عام 1964، عندما اكتشف أرنو بينزياس وروبرت ويلسون بالصدفة هذا الإشعاع الأحفوري في مجال موجات الراديو (مما جعلهما مشهورين وحازا على جائزة نوبل للفيزياء سنة 1978.

إن إحدى أقوى التكهنات أو التنبؤات لنموذج البغ بانغ الانفجار العظيم الساخن قد تم تأكيده بالمراقبة والمشاهدة والرصد. منذ نهاية الستينيات، كان اكتشاف المجرات البعيدة بشكل متزايد منيرًا ومثيرًا، ولكنه أيضًا مصدر ألغاز. رأى علماء الكونيات في البداية المجرات على أنها "التتبع السلبي" traceurs passifs، وهي أنواع من جسيمات الاختبار تجعل من الممكن معرفة هندسة الكون (أو عمره) من خلال الإحصائيات التي أجريت على عدد كبير من الأجسام والأجرام الفضائية. لكنهم اكتشفوا بعد ذلك أن هذه المجرات تتطور مع العصر الكوني: خصائصها المضيئة (الكثافة واللون والتشكل) ومحتواها (كتل النجوم والغاز) ليست ثابتة بأي حال من الأحوال! قد يبدو الأمر واضحًا الآن، لكن الأوقات المتضمنة في العمليات المعنية (مليارات السنين) أشارت في البداية إلى أن هذه الخصائص المتغيرة ببطء شديد كانت ثابتة.

ظهرت مشاكل أخرى، مثل تقدير عمر الكون باستخدام ثابت هابل. هذا، الذي يُعرَّف على أنه معدل توسع الكون، يصعب قياسه بشكل خاص، بسبب "الحركات المناسبة" للمجرات، بغض النظر عن التوسع العام. في عام 1995، كان علماء الفيزياء الفلكية والأساتذة الناشطون في مجال البحث - يقولون إن هذا الثابت الشهير لم يكن معروفًا إلا في عامل2 تقريباً. وقدرت قيمته بين 50 و100 /km / s / Mpc ... هل هي مجرد إشارة بسيطة؟ ليس حقًا، لأنه وفقًا للنموذج الكوني القياسي، يقيس ثابت هابل عمر الكون بشكل غير مباشر. نتج عن بعض قيمه عمر يقارب 10 مليارات سنة، أي أقل من عمر أقدم النجوم المعروفة! لذلك كانت المشكلة حادة: نموذج ذو ثلاث ركائز رئيسية تم التحقق من صحتها، ولكنه غير قادر على التوفيق بين عمر الكون ومكوناته، هو في أحسن الأحوال مهتز، وفي أسوأ الأحوال غير مناسب.

دعنا نعود إلى التسلسل الزمني. في سنوات السبعينيات كانت تشهد تراكم بيانات الجودة عن المجرات والأجسام الفيزيائية الفلكية الأخرى. كما شهدت أيضاً إطلاق الأفكار أو برامج التلسكوبات الطموحة - على الأرض وفي الفضاء – حيث النتائج المدهشة لم تشهد أو تواجه أي توقف. ظهرت فكرة جديدة عن اللحظات الأولى للكون في الثمانينيات: سيناريو التضخم الكوني inflation cosmique، والذي سيسود بعد ذلك. إنه يستدعي تمددًا هائلاً جداً وفي فترة قصيرة جداً من الزمن ولكنه غير متناسب للكون، بعد حوالي 10^{-35} ثانية من الانفجار العظيم. تجعل الفكرة من الممكن حل العديد من الألغاز، مثل تجانس الكون على نطاق واسع جدًا أو خصائصه الهندسية. يقدر العلماء قدرة هذا النموذج على عمل تنبؤات قابلة للقياس، والتي قد تؤكدها الملاحظات المستقبلية أو تنكرها. وفي نفس الوقت، كانت القياسات على المجرات وحشود أو أكداس المجرات، أصبحت أكثر دقة، مما يثخن لغز المادة المظلمة. من خلال رصد أطوال موجية جديدة من الفضاء، نكتشف أنواعًا جديدة من الأجسام، مثل مجرات الأشعة تحت الحمراء التي تشع ما يصل إلى 99٪ من ضوءها خارج الطيف المرئي. ضاعف كتالوج IRAS (تقريبًا) عدد

المجرات المعروفة بمقدار الضعف! لم يكن مفهوم بغ داتا سنترBig Data Center -قاعدة البيانات الكبرى – معروفاً بعد، لكن علماء الفيزياء الفلكية كانوا يبحرون بالفعل في حدود الإمكانيات التقنية لمعالجة البيانات وإدارتها.

التقدم المبهر في التسعينيات:

في عام 1989، كان إطلاق القمر الصناعي الأمريكي COBE، المزود بثلاثة أدوات استثنائية (والذي نتج عنه جائزتي نوبل)، بداية فترة رائعة. في غضون بضع دقائق، تقيس أداة FIRAS طيف الخلفية الكونية على نطاق من الأطوال الموجية التي لم يسبق تغطيتها من قبل، بدقة أكبر بمئات المرات من القياسات السابقة. ترسم أداة DMR الخلفية الكونية لبضع سنوات وتكتشف تقلباتها الأولى (الضعيفة جدًا)، والتي أنهت في عام 1992 الجدل حول الحاجة إلى "المادة السوداء أو المظلمة غير الباريونية". تراقب أداة DIRBE الأشعة تحت الحمراء المنتشرة الأخرى. بفضل FIRAS وDIRBE، اكتشف فريق فرنسي في عام 1996 - بشكل غير متوقع، قبل تأكيد أمريكي في عام 1998- إشعاع الخلفية للمجرات أو "الخلفية

الإشعاعية تحت الحمراء خارج المجرة ". كان لهذه القياسات والاكتشافات لها تأثير مدوي، مثل رصد الإشعاع الأحفوري في عام 1964.

تم اختيار مهمتين فضائيتين أخريين تستهدفا الخلفية المنطقية الكونية في عام 1996: WMAP (NASA) وكالة ناسا الأمريكية للفضاء وبلانك Planck من وكالة الفضاء الأوربية(ESA). أتيحت لي الفرصة لحضور عروض البعثة في وكالة الفضاء الأوروبية، والتي خرج منها بلانك منتصرًا (كان اسمه آنذاك "COBRAS-Samba"). قال أحد الزملاء خلال الاجتماعات التحضيرية: "دعونا لا ننسى أن شباب الغد الباحثين هم من سيحللون أيضًا بيانات بلانك على نحو أطق وتفصيلي، من الواضح أنها تنبؤات مؤكدة منذ أن تطورت التقنيات بشكل كبير بين COBE وWMAP وPlanck، وتغيرت تمامًا. من ناحية أخرى، لا تزال بعض الأساليب المنهجية المستخدمة، وكذلك موضوع الدراسة، أي الخلفية الكونية وتقلباتها الصغيرة، شائعة.

مرصد الفضاء الأوروبي بالأشعة تحت الحمراء IS0 تم إطلاقه في عام 1995. تم تبريده بالهيليوم السائل للحفاظ على الحساسية الممتازة لأجهزة الكشف وتجنب الإشعاع الحراري الطفيلي، أكمل مهمته في عام 1998، في وقت متأخر جدًا عما كان متوقعًا. جعل ISO من الممكن فهم أفضل لمجرات الأشعة تحت الحمراء التي لاحظها IRAS.

عام 1998 هو أيضًا عام الاكتشاف الكبير، الذي حققه فريقان مستقلان يقيسان مسافات المستعرات الأعظم خارج المجرة (انفجارات النجوم الساطعة بشكل لا يصدق، والتي يمكن اكتشافها في المجرات الأخرى). من خلال مقارنة السطوع المرصود للمستعرات الفائقة البعيدة للغاية وسطوعها المرئي والمرصود، اعتمادًا على المسافة (تم تقييمها باستخدام الانزياح الأحمر أو الانزياح نحو الأحمر)، وجد الباحثون فرقًا. حل واحد فقط: تغيير جذري وهي أيضًا قيمة "الثابت الكوني" (يُشار إليه بالرمز A، وهو أحد معايير النموذج الكوني الساري)، والذي اعتبره العلماء صفرًا حتى ذلك الحين.

كانت هذه النتيجة مدهشة: قيمة غير صفرية للثابت الكوني تعني وجود مكون " ذو ضغط سلبي" يسمى "الطاقة السوداء أو المظلمة أو المعتمة l’énergie noir ou sombre" أو

"الداكنة" (الطاقة المظلمة بالإنجليزية dark energy) مما يسرع من توسع الكون! لذلك فهي تنمو بشكل أسرع وأسرع. يبقى النموذج الكوني متسقًا ومتوافقًا مع البيانات، على حساب سؤالين رئيسيين: ما هي المادة السوداء المظلمة وماهي الطاقة السوداء المظلمة؟ منذ هذا الاكتشاف العظيم، الذي أدى إلى ظهور ثلاث جوائز نوبل في عام 2011، تساءلنا عن أصل هذه الطاقة. وشهدت نهاية العقد أيضًا تحليق التجارب على متن بالونات الستراتوسفير، والتي تطورت على ارتفاع 40 كم. تسمح لك هذه البالونات برصد سماء نقية كما لو كنت في الفضاء لعدة ساعات. يتم استخدامها أيضًا للتحقق من صحة مفهوم أداتي قبل مهمة فضائية.

اكتشافي لعلم الكونيات:

يعود لقائي مع علم الكونيات إلى عامي الأول في دراسة الفيزياء. بعد عام من الفصول التحضيرية (حيث بالكاد ازدهرت)، التحقت بالجامعة كطالب حر خارج الطر الأكاديمية التقليدية المتبعة، حيث شاركت دورات وخيارات تتعلق بالفيزياء المعاصرة، على اتصال بالبحث الذي يتم إجراؤه وأولئك الذين يقومون به. ومن بينها دورة استثنائية في الفيزياء الفلكية، والتي تم فيها فقط تقطير بعض المفاهيم الأساسية للفيزياء، والتي تم فحصها بعد ذلك من عدة زوايا في إطار الفيزياء الفلكية. على سبيل المثال، تأثيرات الجاذبية، من المد والجزر (على الأرض، أو التي تفسر حلقات زحل) إلى ديناميكيات الكون المتوسع (في تقريب كلاسيكي).

اليوم، وبعد اقترابي من العقد السابع في العمر أحاول أيضًا إعطاء القراء العرب رؤية عالمية ومعاصرة مرتبطة بالفيزياء الفلكية أو تقنيات الفضاء، بدون ننسى الحديث عن آخر التطورات في الفيزياء. إذا اقتربت من فكرة تغيير الإطار المرجعي (ليس معقدًا جدًا في حد ذاته، ولكن يصعب فهمه لأنه ليس بديهيًا)، أذكر أيضًا الإطار المرجعي المرتبط بالخلفية الكونية، والذي لم يسمع عنه القراء العرب سوى القليل.

إذا كان الأمر يتعلق بتوضيح قوانين الحفظ (الطاقة، الزخم الزاوي) وقوانين كبلر (مشكلة الجسمين)، فيجب اللجوء إلى أمثلة خارجة عن كواكب النظام الشمسي ، كخيار حركة الكواكب الخارجية حول نجومها ، لقاء سويوز مع محطة الفضاء الدولية ، مشاهد من أفلام الجاذبية بين النجوم ، حركة ثقبين أسودين حول مركزهما الباري (ضمن الحد الكلاسيكي ، ولكن فيما يتعلق بالكشف الأخير عن موجات الجاذبية) ، عناقيد المجرات (مع الحجج التي أدت إلى فكرة المادة المظلمة)فالأمر يتطلب أن نكون على اتصال بالباحثين ، الذين يدفعون حدود المعرفة إلى الأمام على أساس يومي. هذا الاتصال المباشر، من أجل تدريب فكري تعددي وإنساني ومرضي وعالي الجودة، يجمع بين التميز والانفتاح على الجميع (بالإضافة إلى كونه صلبًا واحترافيًا)، يبدو لي أنه فرصة ومصلحة مدنية.

بداية رائعة لهذا القرن الواحد والعشرين:

تم إطلاق مهمة NASA منWMAP في عام 2001، وهي تمثل العقد الأول من القرن الحادي والعشرين: لمدة 9 سنوات، تقيس بدقة شديدة تقلبات الخلفية الكونية وتحقق نتائج مبهرة. آخر إطلاق لناسا القمر الصناعي - تلسكوب سبيتزر Spitzer الفضائي، المراقب الذي يغطي المجرات البعيدة في الأشعة تحت الحمراء في 2003 لا يزال يعمل حتى يومنا هذا.

سنوات 2010 وما بعدها، شهدت النجاحات العظيمة لبعثات بلانك Planck وهيرشل Herschel التابعة لوكالة الفضاء الأوروبية، بمساهمة فرنسية قوية للغاية. يعد Herschel أكبر تلسكوب فضائي تم إطلاقه على الإطلاق (حقيقة غير معروفة): يبلغ قطره 3.50 rn، وهو يتجاوز تلسكوب Hubble Spatial (تلسكوب هابل الفضائي باللغة الإنجليزية، 2.40 rn). مثل إيسو ISO و سبيتزر Spitzer، فهو يستهدف المجرات بشكل أساسي، مما يجعله مكملاً لـ Planck. التجارب التي ترصد الخلفية الكونية من الأرض لا ينبغي تجاوزها: تلسكوب القطب الجنوبي (SPT) ، يعطي تلسكوب Atacama Cosmology (ACT) أو BICEP2 نتائج جيدة ، لا سيما بفضل الدقة الزاويّة البطيئة الممتازة. إن التطورات المخطط لها لتجارب المراقبة الأرضية هذه، ولا سيما مع كاميرات أكثر حساسية وأكبر قدرة على الرصد، ومجهزة بترددات أكثر وقادرة على قياس الاستقطاب، تعد واعدة للغاية.

تجارب أخرى تميز الساحة العلمية في العشرين سنة الماضية: دعونا نقتبس من مقياس التداخل ALMA (صحراء أتاكاما ، تشيلي) وشقيقه الصغير NOEMA (فرنسا) للرصد في موجات الراديو ، أو الأقمار الصناعية Chandra (NASA) و XMM (ESA) ، التي تم إطلاقها في 1999 ، للأشعة السينية ، ومؤخراً القمر الصناعي eROSITA germano-Russe ، الذي تم إطلاقه في عام 2019. تم التخطيط للعديد من البعثات لعقد عشرينات وثلاثينات القرن الواحد والعشرين-2030- 2020-، بما في ذلك أقليديس Euclid الأوروبي و James Webb Space Telescope (JWST) ، لتحل محل هابل. على الأرض، سيحدث تلسكوب المسح الشامل الكبير (LSST) ثورة في علم البيانات والفيزياء الفلكية لأنه سيرصد بألوان متعددة السماء المرئية بأكملها، من تشيلي، كل أسبوع تقريبًا. تكملة مثالية لإقليدس!

تحديات وتساؤلات اليوم:

يمكن تلخيص تاريخ الكون الذي طوره العلماء (علماء الفيزياء الفلكية، وعلماء الكونيات، وعلماء الفيزياء، والمراقبون، والمجربون، والمنظرون) في "نموذج الانفجار الكبير الساخن القياسي"، والذي يظل ثابتًا بشكل ملحوظ على الرغم من الاختلافات والعيوب. ويفي بجميع اختبارات المراقبة وقد تم إثراؤه بمرور الوقت، مع تغذية بيانات أكثر دقة وانعكاسات أكثر تعقيدًا، في محاولة للاستجابة لتحديين رئيسيين.

يتعلق الأول بالتجانس الكبير جدًا لـ الكون "الشاب"، الذي تمت ملاحظته عند 0.0027٪ من عمره الحالي، أو ما يقرب من 370.000 سنة بعد الانفجار العظيم ولو قورن ذلك بعمر الإنسان المتوسط فإن 60 عامًا، هذه الفترة تقابل 14 ساعة بعد ولادته، إنه وقت انبعاث الشعاع الكوني الأحفوري. يكون تجانس الكون كله، في درجة الحرارة والكثافة، أفضل من 0.001٪ (نتحدث عن "تباين نسبي" 10-5). الأمر الذي يبدو غامضًا: لم يكن هناك وقت للإشارة لكي تنتقل بين مناطق بعيدة جدًا عن بعضها البعض (لا توجد "علاقة سببية")، فلماذا سيكون لها نفس الخصائص؟ كيف تشرح الكمال في التماثل والتجانس و"سيء التزامن " في درجة الحرارة؟ على العكس من ذلك، ما هو أصل عدم التجانس الضعيف؟

لقد أدت التطورات النظرية إلى رفع الحجاب إلى حد ما عن تلك الألغاز. يتفق العلماء الآن على أن تجانس الكون مرتبط بلحظاته الأولى بل وربما بما قبل البغ بانغ. وفقًا لسيناريو التضخم الكوني، بعد حوالي 10^{-35} ثانية من الانفجار العظيم، سيطرت طاقة الفراغ الكمومي على الكون. هذا له تأثير طارد مذهل، والذي تسبب في تمدد بمعدل أسي، وضرب حجم الكون بعامل حوالي 10^{60} ... في النموذج القياسي البسيط، من

"التقلبات الكمومية" لـ طاقة الفراغ، نتج عن التضخم اضطرابات مادية (أو germes"جراثيم") تم تضخيمها؛ ربما تكونت المجرات منها.

التحدي الثاني يتعلق - على العكس من ذلك - بالجانب الكبير من عدم تجانس الكون الحالي، المنظم في مجموعات من المجرات والسدم المجرية وعناقيد المجرات، ثم في النجوم، الغاز والغبار على وجه الخصوص، بالإضافة إلى المادة السوداء أو المظلمة (السائدة والغامضة). كيف تشكلت النجوم الأولى، والمجرات الأولى؟ كيف تم تكوين النجوم من الغاز البارد في المجرات والعناقيد؟

لشرح واحدة أو أخرى من هذه النقاط، تطور النموذج القياسي أو المعياري إلى متغيرات، والتي في بعض الأحيان لا يمكن اختبارها بعد أو تحتوي على معلمات ومعايير وإعدادات مجانية يصعب تقييدها. يريد العلماء تحدي النماذج، بإجراءات يمكن أن تفصل بينها وربما استبعادها. يحددون "المراقبين" الذين، بمجرد قياسهم، سيكونون قادرين على مقارنة هذه النماذج. لا تزال الخلفية الكونية ملحوظة رئيسية، حيث يرتبط عدم تجانسها الضعيف بكل من الجراثيم germes التي ولدت المجرات، والعمليات الفيزيائية للكون البدائي.

إلى جانب هذين التحديين، يمكن تلخيص الأسئلة الحالية الرئيسية في الفيزياء الفلكية وعلم الكونيات في أربع نقاط:

• كيف كان سلوك الكون في لحظاته الأولى؟

• ما هي طبيعة وماهية المادة السوداء أو المظلمة؟

• ما هي طبيعة وماهية الطاقة السوداء أو المعتمة أو المظلمة؟

• كيف تتشكل الهياكل الكبيرة (عناقيد المجرات والمجرات)، بما في ذلك الأجسام المضيئة الأولى في الكون؟

هذه الأسئلة الأربعة، التي من المحتمل أن تتحدى النموذج القياسي المعياري لعلم الكونيات أو فيزياء الجسيمات، وهي في صميم البحث الحالي والمشاريع الكبرى الجارية أو التي بدأت أو تم التخطيط لها أو المتوخاة.

الأول يستدعي سيناريو التضخم الكوني، وهو وقت قصير للغاية شهد توسع الكون بسرعة كبيرة. لقد ترك التضخم آثارًا مختلفة يمكن ملاحظتها في الكون، تم قياس بعضها بواسطة القمر الصناعي الفضائي بلانك.

والثاني يبقى لغزا كبيرا. عدة مسارات موجودة، والتي تنطوي بشكل أساسي على الجسيمات الغريبة. يتم النظر في العديد من الآليات المرشحة ومجموعات الآليات، ولكن لم يتم حتى الآن إجراء كشف مباشر مقنع.

والثالث لغز أيضا. ظهر تقدم نظري ورصدي خجول، في انتظار سيل من بيانات "الجيل الجديد)" المستهدفة قريبًا.

الرابع يتضمن مقاربات معقدة جدا ومتعدد النطاقات، مع المادة السوداء أو المظلمة والمادة العادية وتفاعلاتها. يتطلب الأمر ملاحظات ومراقبة صعبة، خاصة عندما يتعلق الأمر باكتشاف تأثيرات الأجسام

الأولى التي تشكلت في الكون. تحدث تطورات كبيرة بشكل شبه يومي، لكن تعقيد وتنوع العمليات الفيزيائية المعنية، المرتبطة ببيانات أو محاكاة دقيقة للغاية ولكنها مجزأة في كثير من الأحيان، تجعل الموقف حساسًا.

سنعود الآن بالتفصيل إلى التاريخ الطويل للكون المرئي، مثل النموذج القياسي المعياري لعلم الكونيات الذي يسمح بإعادة بنائه، للمشاكل التي لا يزال هذا النموذج يطرحها، وكذلك إلى الخلفية الكونية، موضوع كل الاهتمام.

نجاحات النموذج القياسي المعياري:

لقد حققت النظرية الحالية، التي تصف تاريخ الكون المرئي بشكل جيد إلى حد ما، نجاحًا كبيرًا إزاء الرصد والمراقبة والمشاهدة والملاحظة. ومع ذلك، لا يوجد نقص في قيود النماذج والأسئلة التي لم تتم الإجابة عليها، ويعالجها علماء الكونيات. للإشارة إلى رسم ألكسندر أستير وموريل بونيه عندما تحدثوا بروح الدعابة عن فيزياء الكم، كان بإمكاني أن أعنون هذا الفصل "النموذج القياسي لعلم الكونيات: سجل مختلط".

تم تطوير النموذج القياسي لعلم الكونيات الحالي من خلال الاختراقات المفاهيمية، ثم الاكتشافات الرصدية، وأصوله الصلبة، ولكن أيضًا مناطق رمادية وأسئلة مفتوحة. يمكن تلخيص السيناريو البسيط نسبيًا في خمسة أعمال، تخضع نفسها لبعض الاختلافات. هذا ما يخبرنا به عن الكون.

تاريخ الكون في خمسة فصول:

الفصل الأول: الانفجار العظيم والتضخم

يعتمد النموذج القياسي على مفهوم توسع الكون، الذي بدأ منذ 13.8 مليار سنة في مرحلة شديدة الكثافة والسخونة تسمى "الانفجار العظيم". ما بين 10^{-35} و10^{-32} ثانية بعد هذا الانفجار العظيم، كان التوسع الأسي يسمح للكون بالنمو بعامل كبير. هذه هي نظرية التضخم الكوني المذكورة سابقًا. هذه الحلقة مصحوبة بخلق طاقة استثنائية، في شكل ما يسمى بموجات الجاذبية "البدائية «أو الموجات الثقالية. وبالتالي، فإن التوسع الشامل للكون يجعله دائمًا أقل كثافة وأبرد. محتواه متجانس للغاية وهندسته إقليدية (نقول أحيانًا "مستوي").

الفصل الثاني: أول ثلاث دقائق

تحدث العديد من الظواهر الرائعة في وقت مبكر جدًا في الكون، عادةً خلال الدقائق الثلاث الأولى من بينها، توليف الجسيمات وتفاعلها، ولا سيما التركيب النووي البدائي: مجموع نوى الهيدروجين (التي نعرفها تحت اسم"البروتونات") وجميع نوى الهيليوم تقريبًا، بالإضافة إلى تلميح من نوى الليثيوم. يتم وصف هذه العمليات بشكل مثالي من خلال فيزياء الجسيمات والفيزياء النووية والفيزياء الإحصائية وفيزياء الإشعاع الكهرومغناطيسي (باختصار، ميكانيكا الكموم والديناميكا الحرارية).

تتسبب التقلبات الكمومية الصغيرة في الفراغ، الممتدة عن طريق التضخم، في تقلبات صغيرة في الكثافة. تحت تأثير قوى الجاذبية، سوف يقومون ببناء هيكلية(بعد ذلك بوقت طويل) لتشكيل مجرات و عناقيد من

المجرات. لذلك تميزت بدايات الكون بأربعة لاعبين رئيسيين (سيجد الأصوليون الفصل بين المادة والطاقة مصطنعًا،

فالاثنان متكافئان بحكم معادلة آينشتاين الشهيرة عن الكتلة والطاقة E = mc2): الزمكان الذي ينحني، الجاذبية التي تعمل على المادة بشكل جاذب، الإشعاع الذي ينقل معظم الطاقة ويقاوم ضغط المادة بالجاذبية، والتوسع الذي يبرد المشهد ويجعل العمليات الفيزيائية "خارج التوازن".

الفصل الثالث: حول إعادة التركيب recombinaison

لفترة طويلة، كان الكون عبارة عن بلازما من مادة وفوتونات مشحونة كهربائيًا. ثم جاء إعادة التركيب: بعد حوالي 370 ألف سنة من الانفجار العظيم، في درجة حرارة محيطة تبلغ حوالي 3000 كلفن، ترتبط الإلكترونات بنوى ذرية لتشكيل الذرات.

حتى وقت إعادة التركيب، المادة الإشعاع مقترنان، في حالة توازن مع بعضهما البعض: تميل الجاذبية إلى تكثيف المادة، لكن الإشعاع المرتبط بهذه المادة يعارضها، مما يؤدي إلى «ضغط الإشعاع". لذلك تتذبذب البلازما بشكل ضعيف منة - مثل سطح الأسطوانة المهتزة - وفقًا لهذه القوى المتعارضة، وفقًا لأنماط الاهتزاز اعتمادًا على خصائص الكون في ذلك الوقت. يمكن لهذه التذبذبات (تسمى "الصوتية") للمادة المتأينة والفوتونات أن توفر معلومات عن المراحل الأقدم.

تحدث اهتزازات صوتية من نفس النوع في الشمس والنجوم تحمل معلومات حول الفيزياء من القلب إلى السطح، حيث تجعلها الاختلافات في الإشعاع الكهرومغناطيسي قابلة للاكتشاف. نظرًا لتفاعلاته مع المادة المتأينة، يستغرق الضوء حوالي 100000 عام (!) للهروب من داخل الشمس، ثم 8 دقائق قصيرة للوصول إلى الأرض، بعيدًا جدًا ولكنه يقع في بيئة شفافة 'علم الشمس وعلم الهليوسيزمولوجيا الهزات الشمسية وعلم الزهرة النجمية - دراسة اهتزازات الشمس والنجوم - يجعل من الممكن استكشاف إشعاعها الداخلي المعتم دون رؤيته مباشرة. يمكننا حتى اكتشاف البقع الشمسية الموجودة في نصف الكرة غير المرئي لنجمنا ... وبالمثل، يتيح علم الكون دراسة اهتزازات الكون البدائي، عندما كان معتمًا للإشعاع.

ملاحظة رائعة: إن معادلات الاهتزاز: هي نفسها تقريباً بالنسبة لنجم (يمكن ملاحظته كل ليلة) والكون في مرحلة في وقت مبكر جدًا ... هذا النوع من المعادلات - "المذبذب التوافقي" - هو علاوة على ذلك بسيط جدًا من الناحية الحسابية (معادلة تفاضلية من الدرجة الثانية ذات معاملات ثابتة) ويستخدمها الطلاب منذ سنوات دراستهم الجامعية الأولى.

لتوضيح حركة بندول بسيط (مشكلة يواجهها غاليليو)، أدير بندولًا صغيرًا يدويًا وأقوم بتفصيل نقاط معينة. مثال: تعتمد فترة تذبذب البندول فقط على طوله (تقريبًا) إذا ظلت زاوية التذبذب صغيرة. أشير إذن إلى أن حركة التوازن هذه تشبه في كل الأحوال اهتزازات الكون البدائي! أحيانًا أقدم تجربة حية أخرى: صنع فقاعات صابون "عملاقة" (بالكاد يتجاوز قطرها 40 سم) ومشاهدتها تتشوه قليلاً. يهتزون بطريقتهم الخاصة ويخبروننا عن طبيعتهم المادية، مثل اهتزازات النجوم والكون الشاب.

أثناء إعادة التركيب، تصبح المادة محايدة كهربائيًا. عندما تختفي المادة المشحونة، ينفصل الإشعاع عنها ثم ينتشر بحرية ويشكل الخلفية الكونية الشهيرة. يتوقف ضغط الإشعاع والتذبذبات الصوتية عن الوجود، لعدم وجود معركة بين الجاذبية والإشعاع. لكن آثار التذبذبات لا تزال ملحوظة حتى اليوم، في تقلبات درجات الحرارة في الخلفية الكونية والتوزيع الواسع النطاق للمجرات.

الفصل الرابع: الشفافية وتكوين الهياكل:

على الرغم من توسع الكون، فإن كثافات المادة الزائدة، التي بدأت بتذبذبات متقطعة، ثم تزداد بانهيار الجاذبية. إنها تشكل تراكيز كبيرة (تسمى "الهالات") والتي ستصبح فيما بعد هياكل الكون: مجرات وحشود من المجرات. تسيطر المادة السوداء أو المظلمة على هذه الهالات، والتي يتسبب "غرقها المحتمل للجاذبية" في انهيار المادة العادية، التي تتكثف وتبرد، ثم تشكل النجوم. في البداية، صغيرة نسبيًا، تندمج الهالات والمجرات لتكوين أنظمة ضخمة بشكل متزايد. هذا هو جوهر ما تتنبأ به معظم نماذج التكوين - المعروفة باسم "الهرمية" - للبنى في علم الكونيات. ظاهرة أخرى مثيرة للاهتمام تحدث بعد بضع مئات الملايين من السنين من الانفجار العظيم، في كون أبرد بكثير مما حدث أثناء إعادة التركيب (بضع عشرات من درجات كلفن، مقابل 3000 درجة كلفن في البداية). تضيء النجوم الأولى بعد ذلك في كون شفاف، لكنه يتكون قبل كل شيء من الهيدروجين المحايد. يتسبب إشعاعهم في تأين الذرات المجاورة: فهو يفصل الإلكترونات عن البروتونات مرة أخرى. تمتد هذه الفقاعات المتأينة من كل نجم، حتى تتسرب أخيرًا وتملأ الكون (سنرى أن هذه الإلكترونات الحرة قابلة للكشف دائمًا). الحقبة المعنية تسمى "إعادة التأين".

الفصل الخامس: التوسع المعجل:

يمكن اكتشاف تأثيرات توسع الكون بوضوح على نطاق واسع للغاية، يتجاوز مائة أو نحو ذلك ميغا فرسخ. نلاحظ أن هذا التوسع يتسارع ونستدعى الطاقة المظلمة لشرح هذه الظاهرة: لقد سيطرت على ديناميكيات الكون لعدة مليارات من السنين، بعد عهود الإشعاع، ثم المادة.

وصفة الكون الحار حسب ستيفن واينبرغ:

أكثر الكتب مبيعًا لهذا العالم ستيفن واينبيرغ هو" في الدقائق الثلاث الأولى من الكون، ستيفن واينبيرج (ترجم من الأمريكي جان بينوا يلنيك) - جائزة نوبل عام 1979 لنظرية القوة الكهروضعيفة - ببراعة وبروح الدعابة يقدم "وصفته لكون حار". على الرغم من أنه يرجع تاريخه إلى أواخر السبعينيات، إلا أنه يظل وثيق الصلة تمامًا بوصف النيوكليوسنتيز التركيب النووي. وهذا ملخص أطروحة واينبيرغ مع إضفت بعض التفاصيل (بين قوسين):

"إذن، إليك ملخص لوصفتنا لبداية الكون بكل مكوناته: خذ شحنة [كهربائية] لكل فوتون يساوي صفرًا، ورقم باريوني لكل فوتون يساوي واحدًا لكل مليار [أي واحد مليار فوتون لكل بروتون] وعدد ليبتون [عدد الإلكترونات والنيوترونات، على سبيل المثال] لكل فوتون غير محدد ولكن صغير. اضبط درجة الحرارة بحيث تكون في جميع الأوقات أعلى من درجة الحرارة بمقدار 3 درجات كلفن [مقياس درجة الحرارة المطلقة] لخلفية الإشعاع الحالية [الخلفية الكونية] في نسبة حجم الوحدة الحالية إلى حجمها عند الوقت يعتبر [العامل 1 + ض]. رج العبوة جيدًا بحيث يتم تحديد التوزيعات التفصيلية للجزيئات من أنواع

مختلفة حسب ظروف التوازن الحراري. ضع كل شيء في كون يتمدد، حيث يتم التحكم في سرعته بواسطة مجال الجاذبية الناتج عن الوسط. بعد فترة كافية، يجب أن يعطي هذا الخليط كوننا الحالي. "

سنحدد اليوم في الجملتين الأخيرتين: إضافة المادة المظلمة لجعل الهياكل الكبيرة تظهر بشكل أسرع، تمامًا كما تصنع الخميرة العجين، وتغطي بالطاقة المظلمة لتسريع توسعها.

بعض القضايا المزعجة:

بشكل عام، فإن النموذج القياسي وتنوعاته ناجحة للغاية. لا يقتصر الأمر على اتفاقهم مع العديد من الملاحظات (التقلبات في درجة حرارة الخلفية الكونية وفي كثافة المادة ...)، ولكنهم توقعوا الظواهر التي لوحظت لاحقًا، مثل التذبذبات في التوزيع المكاني واسع النطاق لـ المجرات.

على الرغم من كل شيء، لا تزال هذه النماذج تواجه قيودًا أساسية. من بين هؤلاء جهلنا بطبيعة المادة السوداء أو المظلمة والطاقة السوداء أو الداكنة المظلمة. مشكلة أخرى: تفاصيل فيزياء الباريونات (الأمر"عادي")، ولا سيما صلاتهم بالمادة المظلمة، وعمليات تراكم المادة وتشكل النجوم. في الواقع، النماذج تصف بدقة فقط سلوك المادة السوداء أو المظلمة. لكن الضوء القادم من المجرات الذي يصل إلى تلسكوباتنا يأتي أساسًا من تبريد الباريونات (مما يؤدي إلى تكوين الغيوم والنجوم بين النجوم)، وليس من المادة السوداء أو المظلمة! لمقارنة النظرية والملاحظة أو المشاهدة، من الضروري وصف انهيار الغاز في المجرات والنجوم، من خلال النماذج المعقدة. هذه واحدة من الصعوبات الرئيسية في دراسة الهياكل الكبيرة للكون والمجرات.

يخطو علم الكونيات أيضًا خطوات كبيرة في الدراسة من الفترة العالقة بين نهاية إعادة التركيب وعصر الهياكل الكبيرة. تمتد عدة ملايين من السنين (وتقع في انزياحات حمراء redshifts تتراوح من 1000 إلى حوالي 20)، وتسبق هذه الفترة المسماة "العصور المظلمة" ما يسمى بشكل متواضع "الأشياء الأولى"، دون معرفة الكثير. هذه (النجوم، الكوازارات). تتميز هذه العصور المظلمة بكون محايد ومظلم، ولا يوجد مصدر للضوء هناك حتى الآن.

تتشكل الأجسام المضيئة الأولى (النجوم أو الكوازارات أو كليهما) في "بنيات" هياكل كبيرة للمجرات. المادة الباريونية الوحيدة المتاحة هي الهيدروجين والهيليوم، يجب أن تكون هذه النجوم خاصة (يحتوي الكون الحالي على العديد من الأنواع ذرية، مركبة في أجيال متعاقبة من النجوم). علاوة على ذلك، فهي تتألق بقوة في نطاق الأشعة فوق البنفسجية، وهذا الإشعاع يؤين بيئتها: فقاعات أو تجاويف "معادة التأين" تمتد.

. ،. الشكل 4.1. عرض تخطيطي لتاريخ الكون الموصوف بواسطة النموذج القياسي لعلم الكونيات، مدعومًا بالعديد من الملاحظات (الأحدث من القمر الصناعي بلانك). الائتمان: وفقًا لوكالة ناسا. يمكننا إعادة النظر في التاريخ الطويل للكون في الرسم البياني الكمي أدناه، الذي يربط بين المراحل الرئيسية والعمر والانزياح الأحمر ودرجة الحرارة. يتدفق الوقت من اليسار إلى اليمين، والانفجار العظيم والتضخم على اليسار (غير موضح). نحن نتخيل في الحال درجات الحرارة والطاقات وعوامل القياس والمراحل الرئيسية: إنتاج المادة السوداء أو المظلمة، والتخليق النووي، والخلفية الكونية، وإعادة التأين، وظهور الهياكل الكبيرة. يشير لون هذا "البوق الكوني" إلى العنصر المسيطر على التمدد. حتى انزياح

أحمر يبلغ حوالي 3370، هذا هو الإشعاع. بعد ذلك تأتي المادة، ثم الطاقة السوداء أو المعتمة والمظلمة "مؤخرًا".

مقاييس النموذج القياسي الكوني:

يسمى الجزء الأكثر استخدامًا من النموذج القياسي"نموذج ACDM". تمثل A الثابت الكوني، بينما تمثل CDM المادة السوداء أو المظلمة الباردة (المادة المظلمة الباردة، أي أن جسيماتها تتحرك أبطأ بكثير من سرعة الضوء). يحتوي هذا النموذج على ستة معايير رئيسية، بما في ذلك الكثافة الإجمالية للمادة العادية (الباريونات) وتلك الخاصة بالمادة السوداء أو المظلمة الباردة. إنها تجعل من الممكن حساب قيم تسع معلمات أخرى (تسمى `` المشتقات ")، بما في ذلك ثابت هابل H0 (مع إعطاء معدل التوسع الحالي) ، وعمر الكون والكثافة الكلية للمادة

(باريونات + مادة مظلمة + نيوترينوات). يمكننا إعادة استخدام عنوان - Star Wars Episode III Revenge of the Sith - بتعديله قليلاً؛ هذا من شأنه أن يعطي: "انتقام المعايير الستة". تم إجراء القياسات الأكثر دقة لجميع هذه المعلمات بواسطة القمر الصناعي بلانك ونشرها للجمهور.

في عام 2015. يقدر عمر الكون بـ 13799واليوم ، وبفضل بيانات بلانك 13.852

± 0.038 مليار سنة، ثابت هابل عند 67.8 ± 0.9 كم / ثانية / مليون قطعة.

يمكن للقارئ المهتم بالتفاصيل الرجوع إلى المقالة العلمية التي تلخص نتائج بلانك Planck (https://arxiv.org/pdf/1807.06209.pdf ؛ الجدول 2 ، العمود الأيمن ، يعطي جميع المعلمات).

تأتي هذه المعلمات من المقارنة بين البيانات والنموذج، حيث يمكن تفسير الملاحظة فقط في إطار نظري. إذا ظهر نموذج جديد في غضون بضع سنوات، فيمكننا إعادة تحليل بيانات بلانك (دون تغيير) واستنتاج قيم أخرى للمعلمات (هذه القابلية للدحض هي قوة النهج العلمي). ولكن إذا قال هذا النموذج (على سبيل المثال) أن الكون أصغر من النجوم التي تعتبر الأقدم، فسيتعين علينا تطويره! لذلك، فإن الضمانات تلزم بعدم اختراع نماذج بعيدة المنال (بمعنى "بعيدة للغاية عن التدابير المعتمدة").

يتم قياس المعلمات من خريطة الخلفية الكونية بشكل تخطيطي في ست خطوات:

أ) نقطة البداية: خريطة الخلفية الكونية المنتشرة فوق السماء بأكملها.

ب) نقوم بإسقاط الخريطة وفقًا لمقاييس زاوية مستقلة

قلادة (ما يسمى بإسقاط "التوافقيات الكروية").

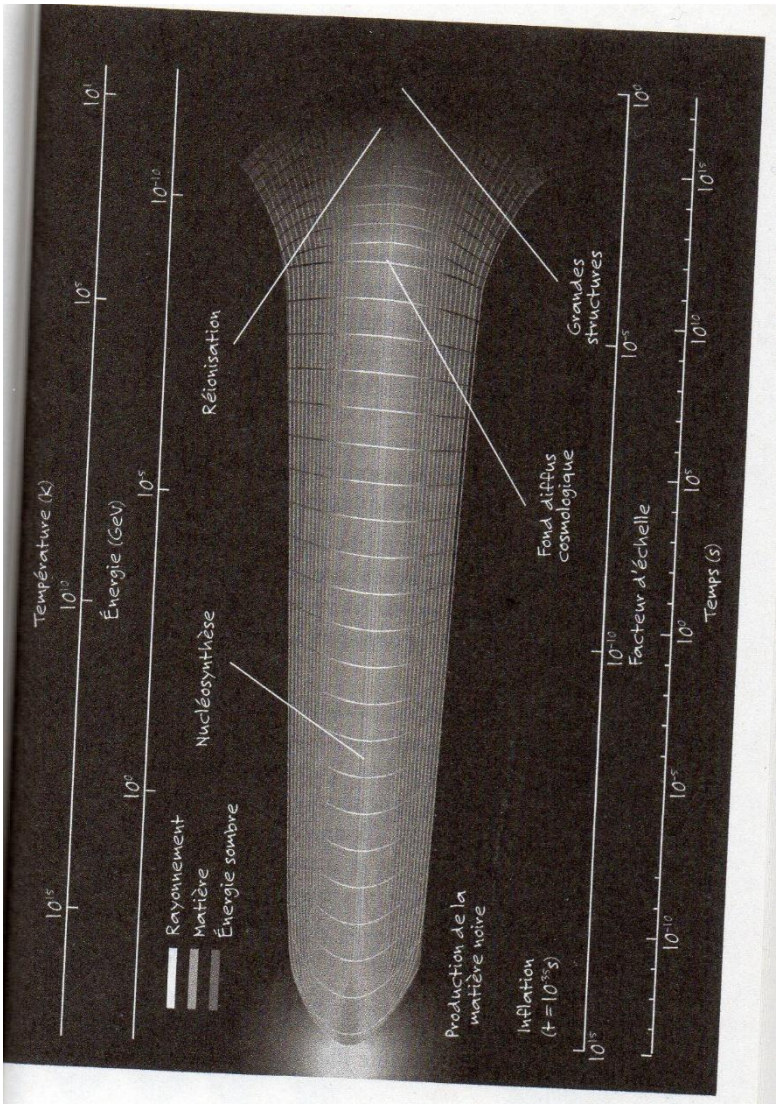
ج) تستخدم الحسابات الإسقاط في التوافقيات الكروية (المصطلح) وشدة تقلبات الخلفية بمقياس وموضع معينين في السماء (الشروط أ،). يوفر ناتج العديد من الشدات القدرة على مقياس زاوي معين. في النهاية، نحصل على طيف القدرة للتقلبات (في جميع المقاييس الزاوية).

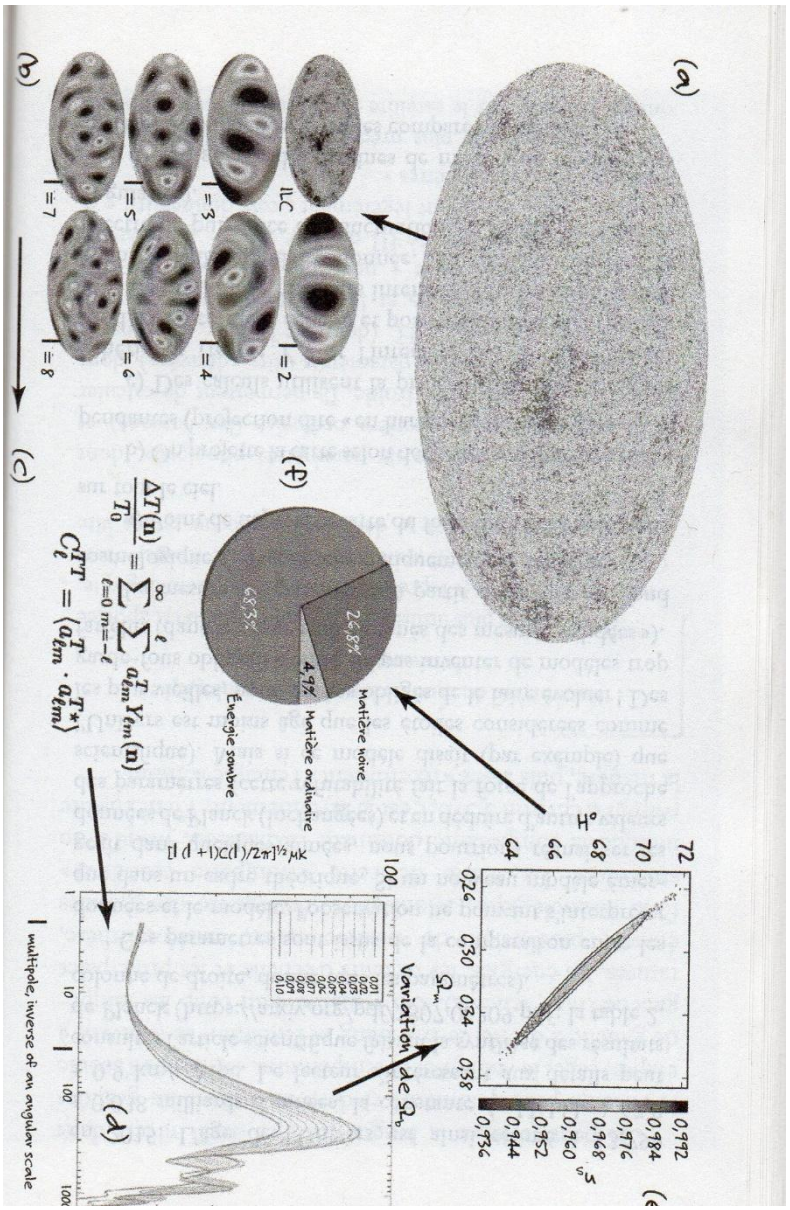
د) توليد عشرات الآلاف من نماذج أطياف القدرة ومقارنتها بالبيانات. هـ) نحافظ على النماذج التي تناسب البيانات على أفضل وجه. في بعض الأحيان، تعطي مجموعات متعددة من المعلمات ملاءمة جيدة جدًا

(نتحدث عن "الانحرافات"). يقلل بلانك بدرجة كبيرة من عدم اليقين عن طريق قياس عدة قمم على منحنى الخلفية الكونية.

و) يتم تحديد قيم المعلمات التي "نجت" باستخدام أشرطة الخطأ، نحصل على المعلمات

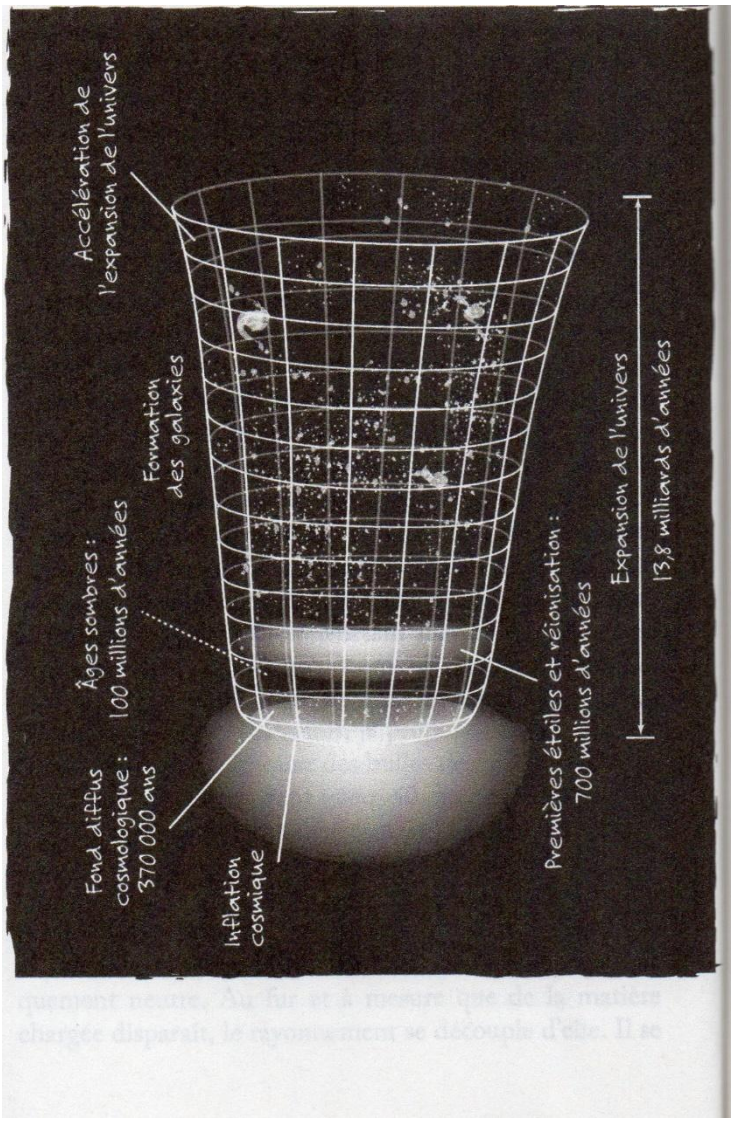
علم الكونيات النهائي.





الخلفية الكونية، "ضوء البقايا" الرئيسي من مكونات الكون - في المادة والطاقة

متنوعة: ضوء، مادة عادية (ذرات، جزيئات، الإلكترونات ...)، النيوترينوات (الجسيمات الأولية تتفاعل بشكل ضعيف جدًا مع المادة، ذات كتل صغيرة وبدون شحنة كهربائية)، مادة مظلمة، طاقة مظلمة. نحن نعرف القليل جدًا عن المكونين الأخيرين: غير معروفين في المختبر، ولا يستفيدون من أي تفسير نظري واضح (على الرغم من العديد من السبل)، ولكن يتم استدعاؤهم لشرح الآثار المرصودة جيدًا.



الشكل 4.4. من صور بلانك إلى المعلمات الكونية في 6 خطوات. الى. صورة بلانك للخلفية الكونية. ب. نقوم بتحليل الصورة وفقًا لعدة قرارات. ضد. يتم إجراء عملية الارتباط الرياضي للحصول على طيف القدرة الزاوي. د. نقوم بتوليد الملايين من نماذج الكون، ونقارنها بالبيانات: نحتفظ فقط بأفضل النماذج التي "تنجو" من هذه المقارنة. ه. العديد من النماذج مرضية، ولكنها تعطي قيمًا مختلفة قليلاً للمعلمات: لذلك نحسب الاحتمال وعدم اليقين. F. هذه المعلمات في النهاية تعطينا "المخطط الدائري" الكوني: بطاقة هوية الكون بتكوينه نشوئها في المادة الباريونية ، المادة المظلمة ، الطاقة المظلمة. أن تكون مبهمة، خلال حلقة قصيرة - تسمى "آخر فترة بث" - والتي حدثت بعد حوالي 370.000 سنة من الانفجار العظيم. لا يزال الضوء الذي يغمر الكون في ذلك الوقت - الخلفية الكونية المنتشرة، أو الإشعاع الأحفوري - يدور وقد تمت ملاحظته بواسطة أجيال من الأقمار الصناعية: COBE وWMAP وPlanck. يسمح لنا هذا الإشعاع (المسمى "الجسم الأسود") بالعودة إلى أوائل شباب الكون.

في الكون البدائي، كثيف جدًا، الضوء ليس كذلك لا يمكن أن تنتشر بحرية. ثم توقف الكون

بحلول الوقت الذي انبعثت فيه ("آخر انتشار لها")، اكتسبت فوتونات الخلفية الكونية استقطابًا يعتمد على سرعة بلازما الإلكترون / الفوتون في ذلك الوقت. توفر درجة واتجاه استقطاب الفوتونات القادمة من

نقطة في السماء معلومات إضافية عن حالة الكون في ذلك الوقت. تتيح لنا هذه البيانات الرئيسية تحسين النماذج، التي كانت تستفيد في السابق فقط من قياسات تغيرات درجات الحرارة بين نقاط مختلفة.

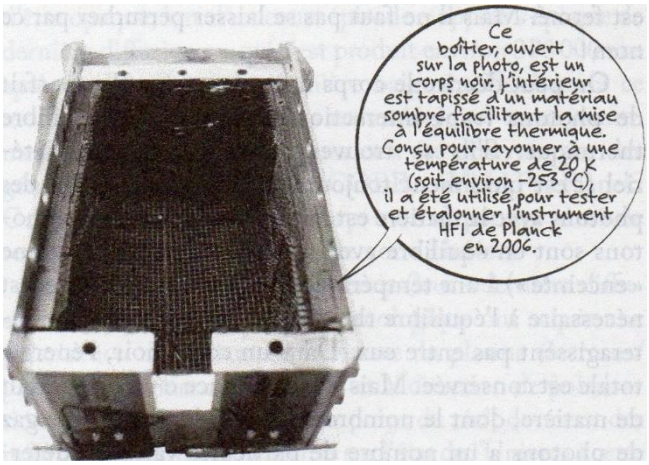
ما هو الجسم الأسود؟

دعونا نعطي بعض التفسيرات حول هذا المفهوم، الضروري لفهم الخلفية الكونية. بشكل عام، يُقال إن الإشعاع هو "الجسم الأسود" عندما يكون غاز الفوتونات في حالة توازن ديناميكي حراري. يمكن أيضًا التعبير عنها على النحو التالي: في النظام الفيزيائي، يكون توزيع طاقة الفوتونات هو توزيع الجسم الأسود عندما تكون المادة والإشعاع في حالة توازن ديناميكي حراري. هذا يستحق التوضيح! من أين جاء اسم "الجسم الأسود"؟ بحكم التعريف، يمتص هذا الجسم قدرًا من الطاقة يبعث (التوازن الديناميكي الحراري). لذلك يبدو من حيث المبدأ "أسود" لمراقب خارجي، إذا كان النظام المادي مغلق. لكن لا يجب الخلط بيننا بهذا الاسم! يمكننا وصف الجسم الأسود بأنه غاز مثالي من الفوتونات (بدون تفاعل فيما بينها) عند التوازن الحراري. إذا كانت في وسط مادي (هذا هو الحال دائمًا تقريبًا)، يكون تفاعل الفوتونات مع المادة ضعيفًا. هذا الوسط المادي ضروري للتوازن الحراري، لأن الفوتونات لا تتفاعل مع بعضها البعض. في الجسم الأسود، يتم حفظ الطاقة الكلية. ولكن بخلاف غاز المادة المثالي، الذي يكون عدد جسيماته ثابتًا، فإن غاز الفوتونات له عدد متغير من الجسيمات، تحددها ظروف التوازن الحراري.

مثال رئيسي على الجسم الأسود: الكون في لحظة المادة / توازن الإشعاع. لاحظ أن الراصد يكون إذن في "العلبة" لهذا الجسم الأسود! بعض الأنظمة غير المتوازنة لها أيضًا نصف قطر قريب من الجسم الأسود، على الرغم من أنها ليست رسمية (لم يتم الوصول إلى التوازن، والنظام يتطور باستمرار، وتتبدد الطاقة). من بين هذه الأجسام السوداء "الزائفة" التي تشبهها بشدة: الغلاف الجوي لنجم، جهاز قياسي مخصص، سطح الأرض، الغلاف الجوي الكوكبي.

تتنبأ النماذج بالتغيرات في درجات الحرارة "الجسم الأسود الكوني" (الخلفية الكونية) كدالة للعصر الكوني ، معطى من خلال الانزياح الأحمر. تختلف درجة الحرارة T على النحو التالي: $T = (1 + z) \times T0$

(يمثل z الانزياح الأحمر المدروس و T0 درجة حرارة الخلفية الكونية اليوم). هذا التوقع



يتحقق بشكل ملحوظ عبر مجموعة واسعة من الانزياحات الحمراء. الشكل 4.5. جسم أسود 20 كيلو مصنوع لمعايرة أداة Planck / HF! تمت المعايرة في عام 2006 في معهد أورساي للفيزياء الفلكية الفضائية (CNRS / Université Paris-Sud).

الخلفية الكونية من الأرض:

تمكنت العديد من التجارب على الأرض من قياس الخلفية الكونية منذ اكتشافها في عام 1964. ومع ذلك، فإنها تقتصر على ترددات معينة (تلك التي يكون فيها الغلاف الجوي شفافًا ولا يتألق كثيرًا، يتم عرض جزيء الماء هنا. مزعج جدًا) وللمناطق المحظورة في السماء، للحفاظ على معايرة جيدة وللتحكم في التأثيرات المنهجية. يتم إجراء الملاحظات الحالية من القطب الجنوبي وصحراء أتاكاما - بعض المناطق الأكثر جفافاً على هذا الكوكب - باستخدام تلسكوبات لاسلكية، ومجهزة بآلاف من أجهزة قياس الضغط شديدة الحساسية لكثافة واستقطاب الضوء، كشف التقلبات الصغيرة. اليوم، يمكن اكتشاف هذا الإشعاع باستخدام المعدات الاستهلاكية، مما يجعل من الممكن قياس شدة جسمه الأسود (ولكن ليس تقلباته). يقوم المراقب باستخدام هوائي تلفزيون متصل بالأقمار الصناعية (الفقرة القطبية) مقترن بإلكترونيات استهلاكية معدلة بالكاد. لقد قمت بتركيب تلسكوبات راديو مخصصة للتدريس في أورساي لاكتشاف موجات راديو الشمس. جعل زميلي ميشيل بيات (من جامعة باريس ديدرو) نظام الكشف أكثر استقرارًا وأضاف معايرة النيتروجين السائل. النتيجة: في غضون ساعات قليلة، وحتى في وسط باريس، أعاد الطلاب إنتاج الاكتشاف الذي أجراه بينزياس وويلسون في عام 1964!. الآن بعد أن قمنا بإعادة النظر في تاريخ الكون المرئي وتقديم مفاهيم معينة لعلم الكونيات، حان الوقت للاهتمام بالمغامرة الهائلة للقمر الصناعي الفضائي بلانك.

تم اكتشاف الطاقة السوداء المظلمة أو الداكنة والمعتمة في أواسط القرن العشرين ، وقد تسببت في التوسع المتسارع للكون لمليارات السنين. لا يزال يتعين استكشاف أصلها وتأثيراتها الدقيقة، لكن الباحثين ليس لديهم نقص في الأفكار لتعقبها وفهمها.

سنناقش الآن مكون قد يبدو أكثر غموضًا من المادة السوداء أو المظلمة. يستدعيه علماء الكونيات ليس فقط لتفسير توسع الكون، ولكن لتسريع هذا التوسع على نطاق واسع جدًا.

سيقول أي فيزيائي عادي أن التسارع موجود أبدا بسبب الصدفة! توصل الباحثون إلى استنتاج مفاده أنه يأتي من مكون كوني له خاصيتين رئيسيتين. من ناحية، إنه موجود في كل مكان (على نطاق واسع) ولا ينبغي أن يتغير من الناحية المكانية. من ناحية أخرى، تظل كثافته كما هي طوال العصور الكونية، على عكس المادة والإشعاع، حيث تنخفض كثافتهما (وليس بنفس المعدل). هذا المكون يسمى "الطاقة السوداء المظلمة". بداهة، لا علاقة لها بالمادة السوداء أو المظلمة، ولكن يجب أن تكون مرتبطة بطاقة الفراغ والتضخم. إنه على أي حال جزء رئيسي من أحجية وألغاز علم الكونيات الحالي.

مسألة حجم ... وعن العصر الكوني: دعونا نطمئن: لن يغير توسع الكون ولا تسارع هذه الظاهرة حياتنا البشرية أو حياة كائنات فضائية افتراضية. تظهر التأثيرات فقط على نطاقات كبيرة جدًا، تصل إلى عدة مئات من الميغا فرسك. لذلك، لا يمكننا اكتشاف آثارها في نظامنا الشمسي، أو في مجرتنا، أو حتى في مجموعة مجراتنا المحلية المحيطة بنا: في هذه المقاييس، الجاذبية دائمًا لها الأسبقية! لن نتفكك، سيستمر

القمر والكواكب في الدوران بنفس الطريقة، كما ستستمر مجرة درب التبانة، وستستمر مجرة أندروميدا في الاقتراب منا.

لقد مر الكون في تاريخه بطريقة مختلفة "مراحل الطاقة": كثافة طاقة الشعاع سيطر في البداية، ثم أخذ الأمر نمذجة المجهول: معادلة الحالة في الفيزياء، يتميز السائل المثالي - على سبيل المثال الغاز بالحقيقة - بمعلمات مثل درجة الحرارة أو الكثافة أو الضغط. يعني مصطلح "مثالي" أننا نهمل التفاعلات بين جزيئات السائل. نربط جميع المعلمات فيما يسمى "معادلة الحالة". في علم الكونيات، تربط معادلة حالة أحد مكونات الكون (الإشعاع، المادة، أو الطاقة المظلمة) ضغطه بكثافته بالتعبير P = wp ؟، حيث P هو الضغط، p الكثافة، c سرعة الضوء، وث معلمة خاصية "بلا أبعاد" (ثابتة) لهذا المكون.

على المستوى الكوني، يمكننا إهمال ضغط المكونات غير النسبية. هذا هو الحال مع المادة، التي ننسب إليها معامل صفري w: wM = O. بالنسبة للإشعاع (المكون النسبي)، هذه المعلمة.

الطاقة السوداء المظلمة التي نحصل عليها في هذه المرحلة الحالية للكون، التي تهيمن عليها هذه الطاقة المظلمة، هي أخيرًا حديثة جدًا: فهي تقابل انزياحًا أحمرًا z بمقدار 0.3 (أي أنها بدأت حوالي 3، 5 مليارات سنة).

يمكننا أيضًا أن نتساءل متى بدأ تسارع تمدد الكون. نحصل على z = 0.7 تقريبًا (أي 6.5 مليار سنة في الماضي). لفهم أصل الطاقة المظلمة، من الضروري إجراء القياسات ذات الصلة على الأجسام والأجرام الموجودة عند z <0.7 ولكن أيضًا من 0.7 <z إلى 1 (أو حتى أكثر) ، للمراقبة بشكل صحيح الانتقال.

wA = -1. يمثل الفهرس A الثابت الكوني، تعتبر غير صفرية إذا تسارع تمدد الكون. إذا كانت الإشارة السالبة في معادلة الحالة، تشير إلى ضغط سلبي متساوٍ: فإن هذا المكون له تأثير "الجاذبية الطاردة" التي تحفز تسارع التمدد. إن هذا الوصف للطاقة المظلمة والاستنتاجات

التي يمكن أن تكون مدهشة بشكل واضح. هذا لا يمنعهم من طرح أي مشكلة على الشكلية الرياضية أو النموذج الكوني أو القياسات. تتميز المكونات واسعة النطاق للكون - والتي يمكن تلخيصها بالإشعاع والمادة والطاقة المظلمة - بشكل جيد للغاية من خلال معادلاتها للحالة. على الرغم من أننا لا نعرف الكثير عنهما، يمكن وضع المادة المظلمة والطاقة المظلمة في معادلات: نحن نمثل ونقيس المجهول ... هل نحن حقا راضون عن المعنى الذي نحن فيه

يعطي هذا السائل الطاقة المظلمة؟ هل يمكننا تفسير وجوده وخصائصه باعتبارات نظرية عميقة، أو عمل تنبؤات حوله؟ الإجابات تكمن إلى حد ما في الأسئلة.

مفاجأة المستعرات الأعظم:

دعونا نعود إلى الملاحظات التي كشفت عن التوسع المتسارع للكون في نهاية التسعينيات.وهم فريقان من الباحثين - فريق سوبر نوفا High-z و Supernova Cosma / ogy Project - اللذان قاما بقياس اللمعان والمسافة الكوزمولوجية (ناتج عن الانزياح الأحمر) للمستعرات الأعظم البعيدة للغاية ذات الخصائص المعروفة (تسمى "النوع la").

يعتمد السطوع الظاهر (المرصود) لجسم بعيد على سطوعه الداخلي وانزياحه الأحمر، ولكن أيضًا على المعلمات الكونية، وهي أساسًا كثافة إجمالي المادة nM وكثافة الطاقة المظلمة nA. نحن نصور البيانات فيما يسمى "مخطط هابل"، ويظهر السطوع الظاهري مقسومًا على السطوع الجوهري، بناءً على الانزياح الأحمر. يحتوي هذا الرسم البياني على العديد من "المناطق المسموح بها" المقابلة لها قيم مختلفة للمعلمات الكونية. يكفي إذن ملاحظة مكان وجود البيانات وتقديرات و NA.

النتائج المنشورة في عامي 1998 و1999 رسمية:

خلص كلا الفريقين (بمستوى ثقة أكبر من 99٪) إلى أن nA ليست صفراً. لذلك يجد الكون نفسه في حالة التوسع المتسارع. حصل هذا العمل على جائزة نوبل في الفيزياء لشاول بيرلماتر وبريان شميدت وآدم ريس لعام 2011.

كيف تقيس تأثيرات الطاقة المظلمة؟

بصرف النظر عن المستعرات الأعظم، فإن أنواعًا مختلفة من الملاحظات تجعل من الممكن قياس كيفية تطور تسارع التمدد والتوسع، والفرز بين النماذج. تشترك هذه الملاحظات في أنها تتعلق بالبنى الكبيرة للكون، ولا سيما التوزيع الإحصائي للمجرات واسعة النطاق. في الواقع، الجاذبية في العمل في تكوين الهياكل يجب أن تكون "منزعجة" من الطاقة المظلمة، وتأثيرها هو توسيع هذه المقاييس الكبيرة. لذلك فهي مسألة قياس دقيق جدًا لتطور تكوين الهياكل وفقًا للانزياح الأحمر، ومراقبة بعض الانحرافات عما ستفعله الجاذبية وحدها.

فيما يلي الأنواع الرئيسية للقياسات التي يفكر فيها المجتمع العلمي أو بدأ في اتخاذها، لفهم تأثيرات هذه الطاقة المظلمة بشكل أفضل.

التذبذبات الصوتية الباريونية

التذبذبات الصوتية الباريونية (BAO لـ Baryonic

التذبذبات الصوتية) هي موجات تنتشر فيها حفريات الكون البدائي، قبل الفصل بين الضوء والمادة. أدت التقلبات في الخلفية الكونية إلى تكوين هياكل كبيرة بمقياس متميز (أكبر من 100 Mpc)، لكن BAOs تركت أيضًا بصماتها في توزيع المجرات على هذا النطاق. يتم الكشف عنها بحساب "وظيفة الارتباط" لمواضع العشرات (حتى مئات) الآلاف من المجرات، موزعة بأحجام هائلة. منذ فترة طويلة، تم قياس BAOs لأول مرة في عام 2005، بفضل البيانات المأخوذة من مسوحات كبيرة جدًا للسماء في القياس الضوئي والـ troscopy. وهي تعتبر "مقاييس قياسية" لأن النماذج تتنبأ جيدًا بتطور حجمها وفقًا للانزياح الأحمر. أي انحراف عن التوقعات سيكون بسبب الطاقة المظلمة (أو جاذبية "مختلفة" قليلاً).

التشوهات في فضاء الانزياحات الحمراء:

تأتي تشوهات الانزياح الأحمر في الفضاء (RSD للتشوهات الفضائية ذات الانزياح الأحمر) من حقيقة أن المجرات تنجذب نحو مركز هالات ضخمة من المادة المظلمة. وبالتالي فإن حركاتهم - المقاسة بالتحليل الطيفي - تكون بداهة متناحرة في اتجاه هذه الهالات. مرة أخرى، يمكن لأي تباين واسع النطاق (فيما يتعلق بالتناحي في الخواص) أن يشير إلى وجود طاقة مظلمة تتعارض مع عمل الجاذبية. ضعف تأثير العدسة: يمكننا تحليل تأثير العدسة الضعيف، لاستنتاج كمية المادة المظلمة في هياكل كبيرة. lei ، الهدف هو قياس كتلة الهياكل ، وخاصة تطورها مع الانزياح الأحمر. يمكن مقارنة هذه القياسات مباشرة للتنبؤات والمحاكاة، لتحليل بالتفصيل تأثيرات الطاقة المظلمة بالتفصيل على نمو هذه الهياكل وفقًا للانزياح الأحمر.

الارتباط بين المجرات والخلفية الكونية في وجود الطاقة المظلمة، يجب أن يكون المرء قادرًا على ملاحظة ارتباط واضح بين التقلبات واسعة النطاق للخلفية الكونية وتوزيع المجرات. دعونا نرى من أين يأتي هذا الارتباط، يسمى "تأثير ساكس وولف المتكامل" (ISW لـ Integrated Sachs-Wolfe ejfect). قبل أن تصل إلينا ، فإن فوتونات الخلفية هي cos

النفسية قد مرت عبر عدد من "آبار الجاذبية المحتملة" بسبب الهياكل الكبيرة. ومع ذلك، فإن الفوتون يكتسب الطاقة عندما يدخل بئر كامن، ثم يفقد الطاقة عندما يخرج. بداهة، التوازن هو صفر: يحتفظ الفوتون على مستوى العالم بنفس الطاقة. لكن التوسع المتسارع يمتد و "يتسطح" كل منهما كما أن الفوتون يمر عبرها. عند مغادرة البئر، يفقد هذا الفوتون طاقة أقل مما يكتسبه عند دخوله! وبالتالي، فإن توازن طاقتها ليس صفراً، ويعتمد بشكل مباشر على الهياكل الرئيسية التي مرت بها منذ انبعاثها. في هذه الحالة، يجب أن يكون هناك ارتباط قوي بين تقلبات معينة واسعة النطاق للخلفية الكونية، وتوزيع المادة المسؤولة عن اكتساب الطاقة هذا. عناقيد المجرات

مجموعات المجرات حساسة أيضًا لوجود الطاقة المظلمة. بتعبير أدق، سيكون من الضروري إنشاء إحصائيات لعددهم وفقًا لانزياحهم الأحمر ومدى كتلهم. من خلال قياس هذه المعلمات بدقة، يمكننا تعقب التاريخ الكوني للتوسع، كما هو الحال مع المسابير الكونية الأخرى (BAOs ، تأثير ISW ، إلخ). ومع ذلك، لا يزال من الصعب قياس كتلة مجموعة من المجرات بشكل صحيح.

وجهات نظر: الارتباطات عبر السماء:

الرهان الأكبر الآن هو الجمع بين هذه الأساليب المختلفة، لرسم خريطة دقيقة للغاية لمعدل التوسع كدالة للانزياح الأحمر. هذا من شأنه أن يجعل من الممكن قياس المعلمة الشهيرة wA (في معادلة الطاقة المظلمة للحالة) وتغيرها المحتمل مع الانزياح الأحمر. يمكننا بعد ذلك فرز الفرضيات المتعلقة بأصل هذه الطاقة بشكل أفضل.

لا يوجد نقص في العلماء. لديهم افكار جيدة لإجراء القياسات المناسبة، بطرق مستقلة في كثير من الأحيان (مما يزيد من حيث المبدأ من موثوقية النتائج النهائية). ستتطلب هذه القياسات كميات هائلة من البيانات. على وجه الخصوص، المسوحات للمجرات الأوسع نطاقًا - حتى تشمل السماء بأكملها، كما فعل بلانك للخلفية المنطقية الكونية - وأعمق، مع تلسكوبات أكبر من أي وقت مضى مزودة بكاميرات فائقة الحساسية إلى كبيرة جدًا في تغطيتها للحقول الكونية. من أجل فهم أفضل للطاقة المظلمة، تم التخطيط

لبرامج مراقبة السماء المنتظمة لعقد 2020. سنلتقي الآن بهذا القمر الصناعي الشهير إقليدس، والذي من شأنه أن يساعد علماء الكونيات على الرؤية بشكل أوضح في "القطاع المظلم" للكون.