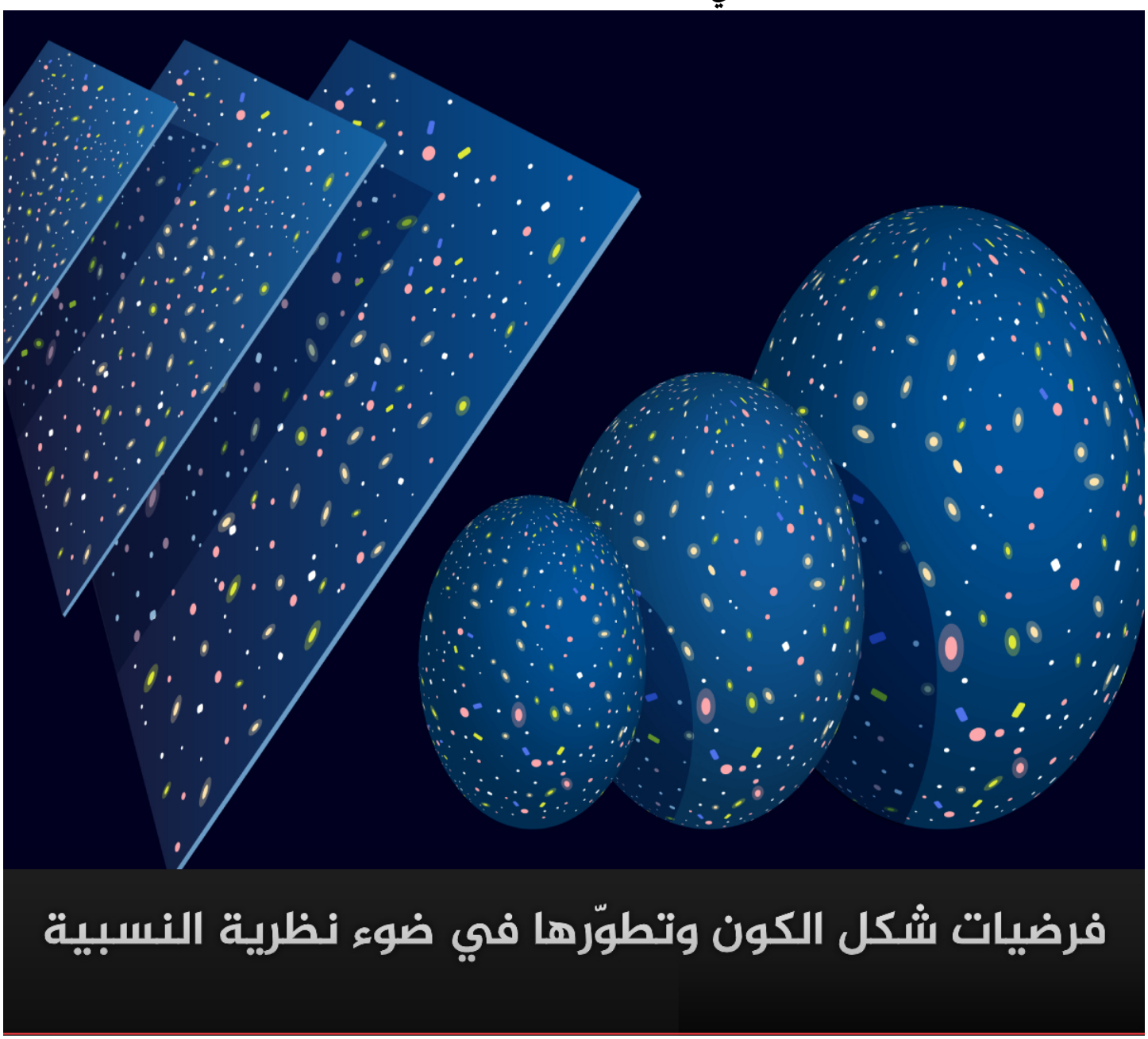
فرضيات شكل الكون وتطوّرها في ضوء نظرية النسبية



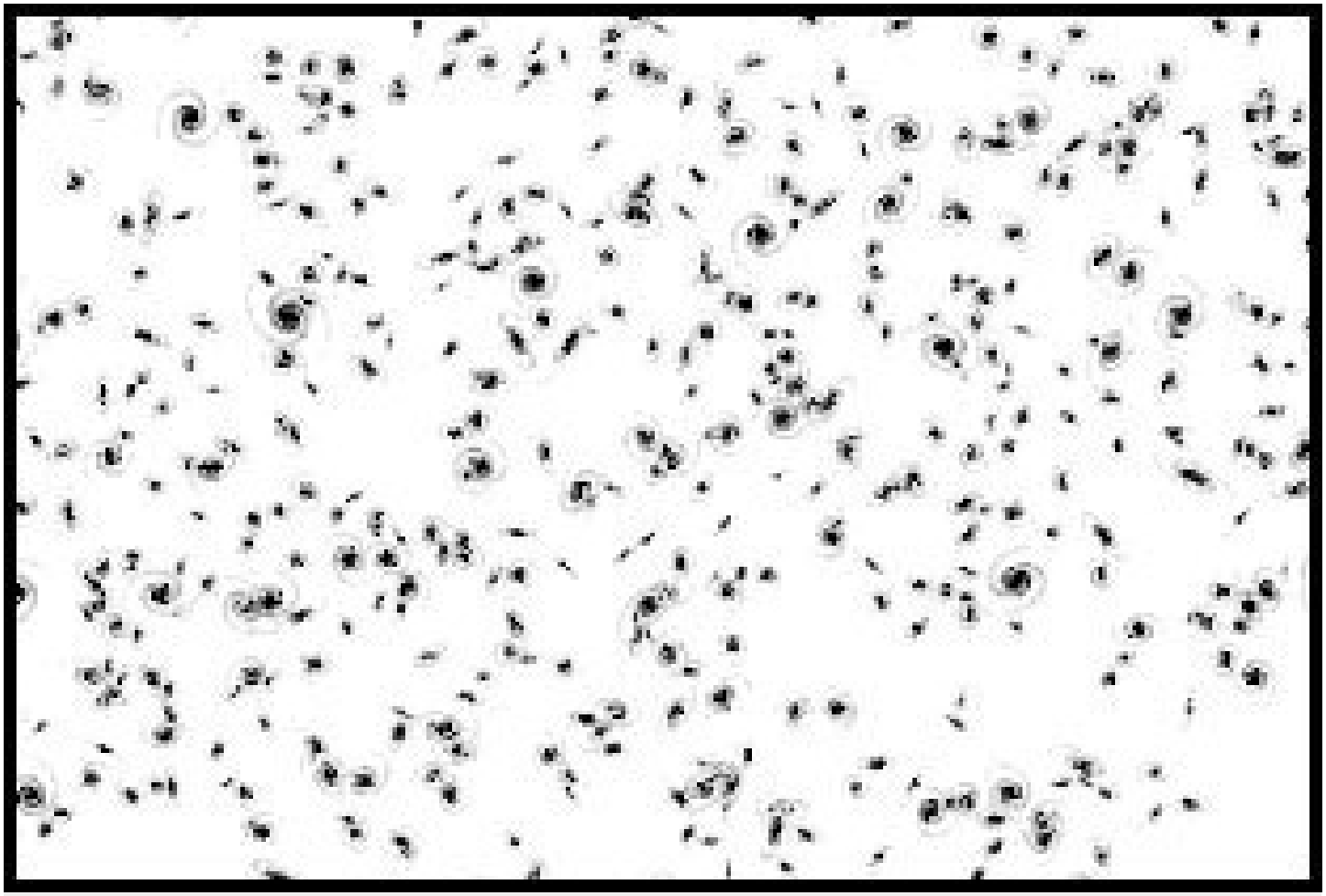
حقوق الصورة: Lucy Reading-Ikkanda/Quanta Magazine

بقلم زهراء السراج، طالبة بكالوريوس في الفلك وعلوم الفضاء في جامعة إسطنبول.

كيف بدأ الكون؟ وما هو شكلُه؟ وما هي نهايتُه؟ أسئلةٌ قد تخطرُ على بال طفل، لكن الإجابة عنها تتطلّب جهود العديد من العلماء والخبراء وطلاب العلم في البحث وتطوير أدوات المعرفة. نذكر منهم: أينشتاين، وفريدمان، ولوماتر، وهابل، وغوث، وغيرهم الكثير ممّن عرفناهم ومن لم نعرفهم، وممّن لا زالوا يبحثون حتى اليوم عن حلولٍ لأصعب ألغاز الكون. أبحثُ هنا في بعض تلك الحلول التي نجح جزءٌ منها

وفشل جزءٌ آخر، لكنها ساهمت جميعاً في تعزيز المعرفة العلمية لدينا وتحقيق الاكتشافات التي نعرفُها اليوم.

(في هامش المقال إيضاحٌ لبعض المصطلحات المُتداولة في الفيزياء الفلكية).



صورة تُظهر توزيع المجرّات على نطاقٍ واسعٍ والذي يبدو متساوياً في أرجاء الكون. حقوق الصورة: Berkeley Lab

يضعُنا تناظرُ الكون (1) أمام احتمالاتٍ قليلةٍ حول شكله، مع الأخذ بعين الاعتبار أن التناظر موجودٌ على أوسع نطاق، أي لدى النظر إلى أبعد من مئة مليون فرسخ فلكيّ أو أكثر (يُعادل الفرسخ الفلكي حوالي 3 سنة ضوئية أو 30 تريليون كيلومتر). لكن مع مرور الزمن، هل يتغيّر شكلُ الكون أو يبقى على حاله؟ تكمنُ الإجابةُ على هذا السؤال في معادلات الفيزيائيّ الألمانيّ أينشتاين، التي تصفُ سلوكَ الزمكان، أو الكون القائم على ثلاثة أبعادٍ مكانيةٍ وبُعدٍ واحدٍ زمانيّ:

بعد نشره ورقة النسبية العامة بعامٍ واحد، قام أينشتاين بنشر ورقة "آراء كونية في نظرية النسبية العامة"، أو بالألمانية (Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheori). لم يكن أينشتاين متأكداً من كفاءة النسبية العامة في تقديم نموذجٍ مُرضٍ عن الكون، إذ قال في رسالةٍ بعثها للفلكيّ الهولنديّ ويليم دي سيتر: "بالنسبة لي، كان سؤالاً صعباً ما إذا كان من الممكن اتباعُ مفهوم النسبية حتى الآن، أو إذا كان سيؤدّي بنا إلى تناقضات".

واجه أينشتاين مشاكل مع معادلات النسبية العامة التي تطلّبت إمّا أن يكون ضغطُ الطاقة أو كثافتُها أقلّ من صفر، فأضاف عليها تعديلاً ساعده في صياغة نموذجٍ كونيٍّ كان معتقداً بصحّته.

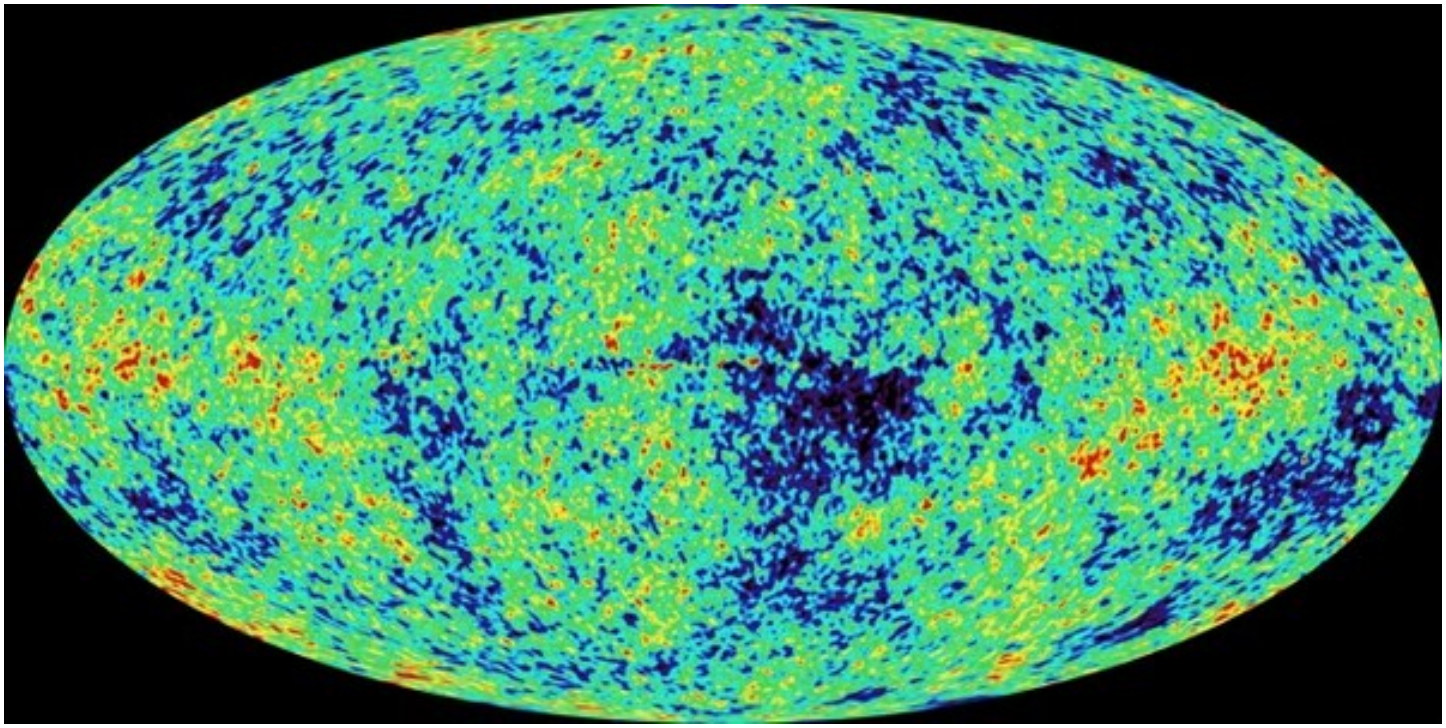
كان أينشتاين مقتنعاً بأن النموذج الكونيّ الصحيح يجب أن يتّفق مع كلٍّ من مبدأ النسبية (2)، وافتراض أن القصور الذاتيّ (3) للجسم يتمُّ تحديدُه من خلال وجود كتلٍ أخرى في الكون (ما سمّاه فيما بعد بمبدأ ماخ). فاقترح قيمةً لكثافة طاقة الفراغ سمّاها بـ "الثابت الكوني"، وتوصّل عندها إلى أن الكون ثلاثيّ الأبعاد مغلقٌ ثابت (كالكرة)، لا يتمدّد ولا يتقلّص. عُرف هذا النموذج الكونيّ باسم "كون أينشتاين الثابت".

من ناحية أخرى قام الفيزيائيّ والرياضيّ الروسيّ ألكساندر فريدمان بحلّ معادلات النسبية ليتوصّل إلى أن الكون يجب أن يكون في حالة تمدّد. لم يقتنع أينشتاين بحلول فريدمان ووصفها بـ "الفظيعة"، وفي عام 1925 توفّي فريدمان قبل أن يتمكّن من رؤية التغيير العظيم الذي أحدثته حلولُه عندما أثبت رصد الكون صحّتَها.

بعد عامين فقط، اقترح الفلكيُّ البلجيكيُّ جورج لوماتر الذي أيّد حلول فريدمان، أنّ الكون كان عبارةً عن نقطة كبيرة الكتلة عالية الكثافة انفجرت لتشكّل كوننا الحاليّ. وقد أيّدت نتائج الرصد المبهرة التي قدمها الفلكيّ الأمريكيّ إدوين هابل سنة 1929 اقتراح لوماتر، حيث اكتشف هابل أنّ المجرات البعيدة ترسل أشعةً تنزاح إلى الأحمر؛ أي يقلّ تردُّدها ويزداد طولُها الموجيّ، ما يبيّن أنها تتحرك مبتعدةً عن بعضها البعض، وبالتالي؛ الكونُ في حالة تمدّد.

بالنسبة لأينشتاين، لم يعُد هناك داعٍ لوجود الثابت الكوني، وقال إنه "أكبر خطأ" ارتكبه في حياته. إلا أن الحاجة الملحّة لافتراض وجود المادة المظلمة والطاقة المظلمة (4) خلال العقود الأخيرة، أعادت فكرة الثابت الكونيّ التي اقترحها أينشتاين إلى الساحة العلمية، فالفضاءُ الذي كنّا نظنّه فراغاً، لا بدّ وأن يحمل طاقةً كافيةً للحفاظ على تماسك المجرّات وتواجدها بالشكل الذي هي عليه اليوم؛ فكتلُ الأجسام السماوية غير كافية لإيجاد قوة جذبٍ فيما بينها تمكّنها من الحفاظ على هذا التماسك.

أصبح اقتراحُ لوماتر مقبولاً شيئاً فشيئاً في المجتمع العلميّ، وأطلق عليه الفلكيّ البريطانيّ فريد هويل سنة 1949 اسم "نظرية الانفجار العظيم" التي باتت النظريةَ الأكثرَ قبولاً بشأن بداية تشكّل الكون. حاول العديد من العلماء شرحَ تطوّر الكون استناداً لها، واقترحوا أشكالاً للكون وتوزيع المادة فيه بناءً على ما حصل بعد الانفجار العظيم.



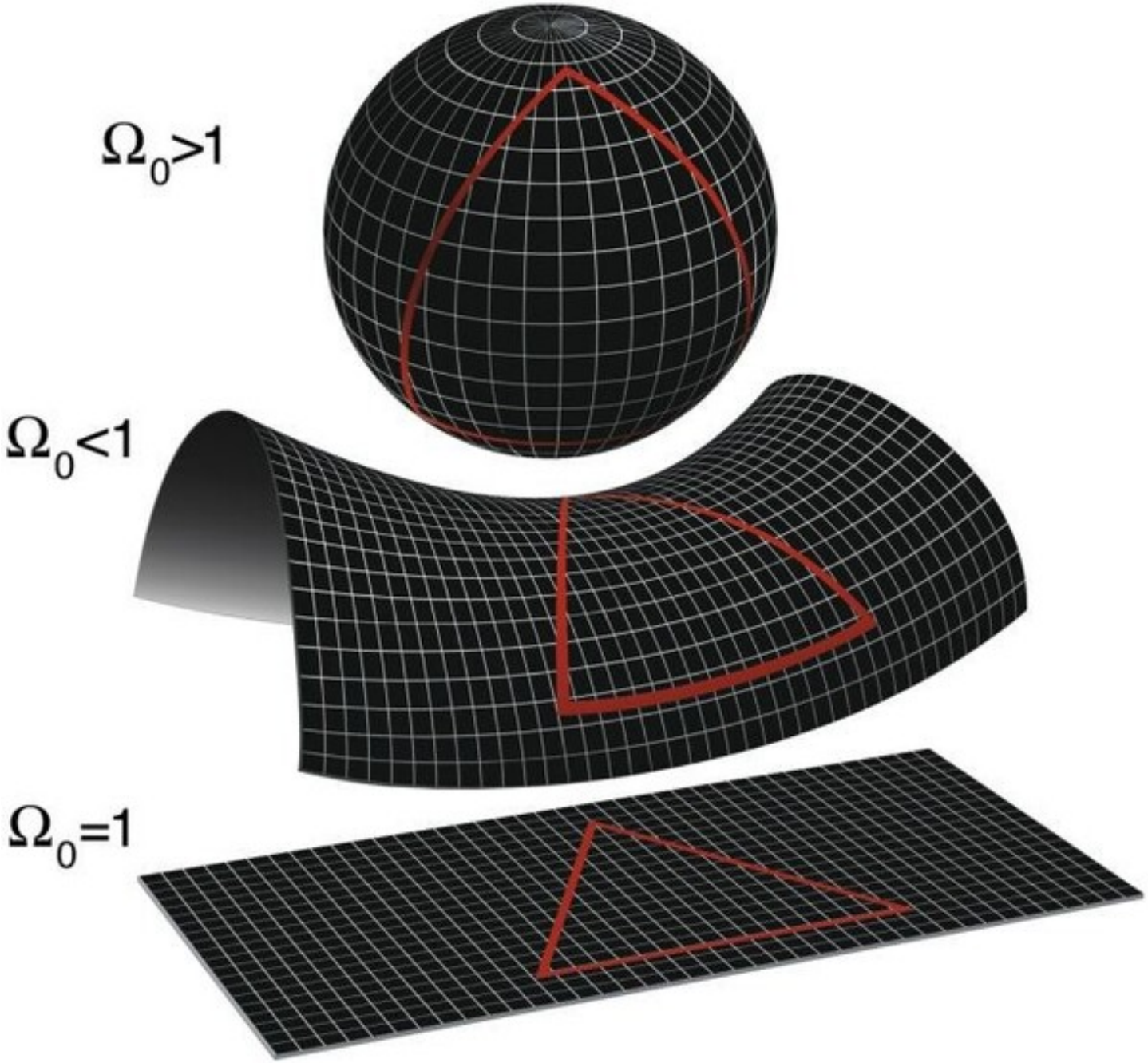
إشعاع الخلفية الكوني الميكروي الصادر بعد الانفجار العظيم بفترة قصير. حقوق الصورة: NASA/ WMAP Science Team

مع تطوّر أدوات المعرفة التي نمتلكها، واجهت النظريةُ بعض المشاكل من بينها مشكلة التسطّح الكونيّ؛ أي الكون ثنائيّ الأبعاد، التي لا تُعدُّ مشكلةً خاصةً بالانفجار العظيم فحسب، بل هي مشكلةٌ بحدّ ذاتها؛ فلماذا تُظهرُ البياناتُ أن كوننا مسطّحٌ إلى هذه الدرجة؟

تُعدُّ معادلاتُ فريدمان غايةً في الأهمية عند الحديث عن شكل الكون المرتبط بكثافته؛ إذ تتضمّن المعادلاتُ قيمةً تُعرف بـ "معامل الكثافة" التي تشير إلى نسبة كثافة الكون الحالية إلى كثافته الحرجة (5) وتتضمن جميع أشكال المادة والطاقة في الكون: الثابت الكوني "المرتبط بالطاقة المظلمة"، والمادة "كل شيءٍ أساسُه الذرات، أو المادة المرصودة"، والإشعاع "الموجات الكهرومغناطيسية والجسيمات الأساسية والأنوية". تبلغ الكثافة الحرجةُ قيمةً قريبةً جدّاً من الصفر، فعلى سبيل المثال تمثّل كثافة الماء مئة أوكتيليون ضعف الكثافة الحرجة (الأوكتيليون واحد أمامه 27 صفر). كان من العجيب وغير المتوقع أن تكون كثافةُ الكون الحالية تساوي تقريباً الكثافة الحرجة، ما يعني أنّ "معامل الكثافة" يبلغ تقريباً 1، وهذه ثلاثة نماذج أساسية للكون وضعها العلماء، تبيّن كيف يرتبط "معامل الكثافة" بشكل الكون:

1- إذا كان معامل الكثافة أصغر من واحد، فالكون منحنٍ انحناءً سلبيّاً، وشكلُه مفتوحٌ على شكل سرج حصان.
2 ـ إذا كان معامل الكثافة واحد، فالكون غير منحنٍ على الإطلاق وشكلُه مسطّح ثنائيّ الأبعاد.
3- إذا كان معامل الكثافة أكبر من واحد، فالكون منحنٍ انحناءً إيجابيّاً وشكلُه مغلقٌ كالكرة.

في الصورة التالية توضيحٌ لهذه النماذج:



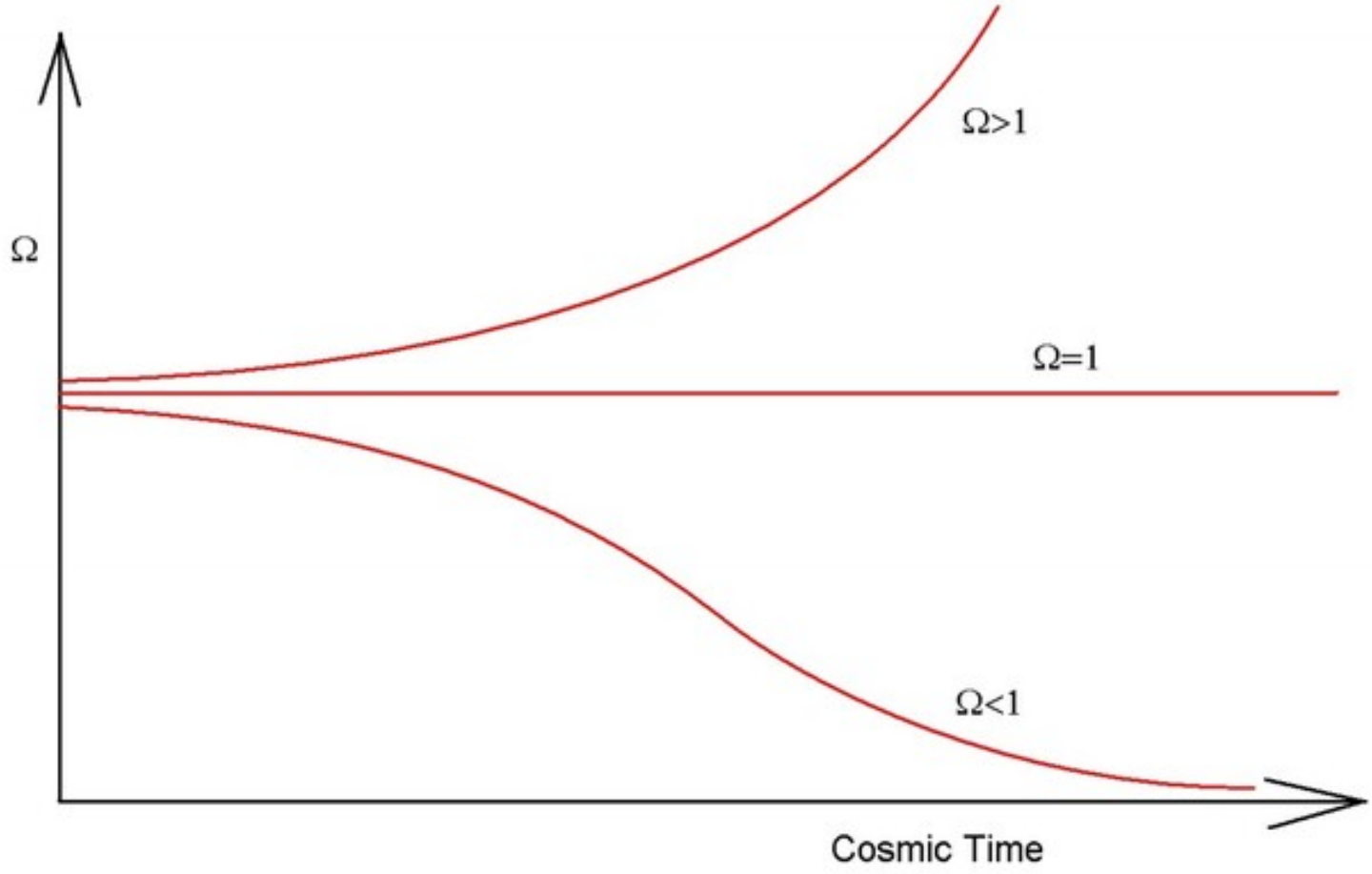
حقوق الصورة: NASA/ WMAP Science Team

اعتقد العلماءُ سابقاً أنّ الكون المفتوح يمتلك كتلةً كافيةً ليتمدّد إلى الأبد وغير كافية لانهياره على نفسه، وأن الكون المغلق يمتلك كتلةً كافيةً لإيقاف التمدّد عند نقطةٍ معينةٍ والبدء بالتقلّص إلى أن ينهار، إلا أنّ وجود الثابت الكونيّ بيّن أنه ليس من الضروري أن يبقى الكون المفتوح في حالة تمدّدٍ أو أن ينهار الكونُ المغلق. بل ذهب الأمرُ إلى أبعد من ذلك؛ فإذا كان الثابت الكونيّ قويّاً كفايةً، لا يعود الانفجار العظيم ضرورياً لبدء تشكّل الكون، فمن الممكن أنّ الكون بدأ بحالة انهيارٍ تبعها ردّ فعلٍ نشيطٌ بحجمٍ لا نهائيٍّ تحت تأثير الثابت الكوني، أو الطاقة المظلمة (من المهم هنا الإشارةُ إلى أن البحوث العلمية وعمليات الرصد تتناقضُ مع هذا النموذج). بات من الممكن كذلك طرحُ نموذج كون أينشتاين غير المستقرّ بشكلٍ تقريبيٍّ باستخدام المعامِلات المرصودة (معامل التمدّد، ومعامل الكثافة، ومعامل التباطؤ).

أمّا الكونُ المسطّح فيمتلكُ كتلةً كافيةً لإيقاف تمدّد الكون بعد قدرٍ لا نهائيٍّ من الزمن، لكنها غير كافية لانهياره على نفسه. وهو ما يتفّق مع نظرية "التجمّد العظيم" أو "الموت الحراري"، حيث يستمرّ الكونُ في التمدّد إلى أن يصبح رقيقاً جداً، وتقلّ حرارتُه إلى أن تصل للصفر

المطلق وتختفي، وتختفي معها أيّ إمكانيةٍ للحركة الميكانيكية. تتطلّب هذه النظريةُ أن تكون كثافةُ الكون الكليّة لدى بدء تشكّله "لحظة الانفجار العظيم" أقلّ من الكثافة الحرجة، وبالتالي لا تصل إلى الكثافة الحرجة أبداً. دعمت عمليةُ رصد تلسكوب هابل لمستعرٍّ أعظم (6) في عام 1988 هذه النظرية، حيث أظهرت أن الكون في الماضي كان يتمدّد بشكلٍ أبطأ ممّا هو عليه اليوم، أي أن الجاذبية لم تتمكّن من إبطاء تمدّد الكون، بل إنه في تسارعٍ مستمرّ، وبالتالي فهو لم يصل إلى الكثافة الحرجة على الإطلاق.

كما ذكرنا سابقاً، أوضحت الاكتشافاتُ أنّ معامل كثافة الكون يساوي 1 تقريباً، ويُقدّره العلماءُ بأكبر من 0.5 وأصغر من 1.5، ما يُعطي قيمة صفر لـ"معامل الانحناء" في معادلات فريدمان، وبالتالي يفنى نموذجا الكون المفتوح والكون المغلق ويبقى نموذجُ الكون المسطّح ((مسطّحٌ على أوسع نطاق)).



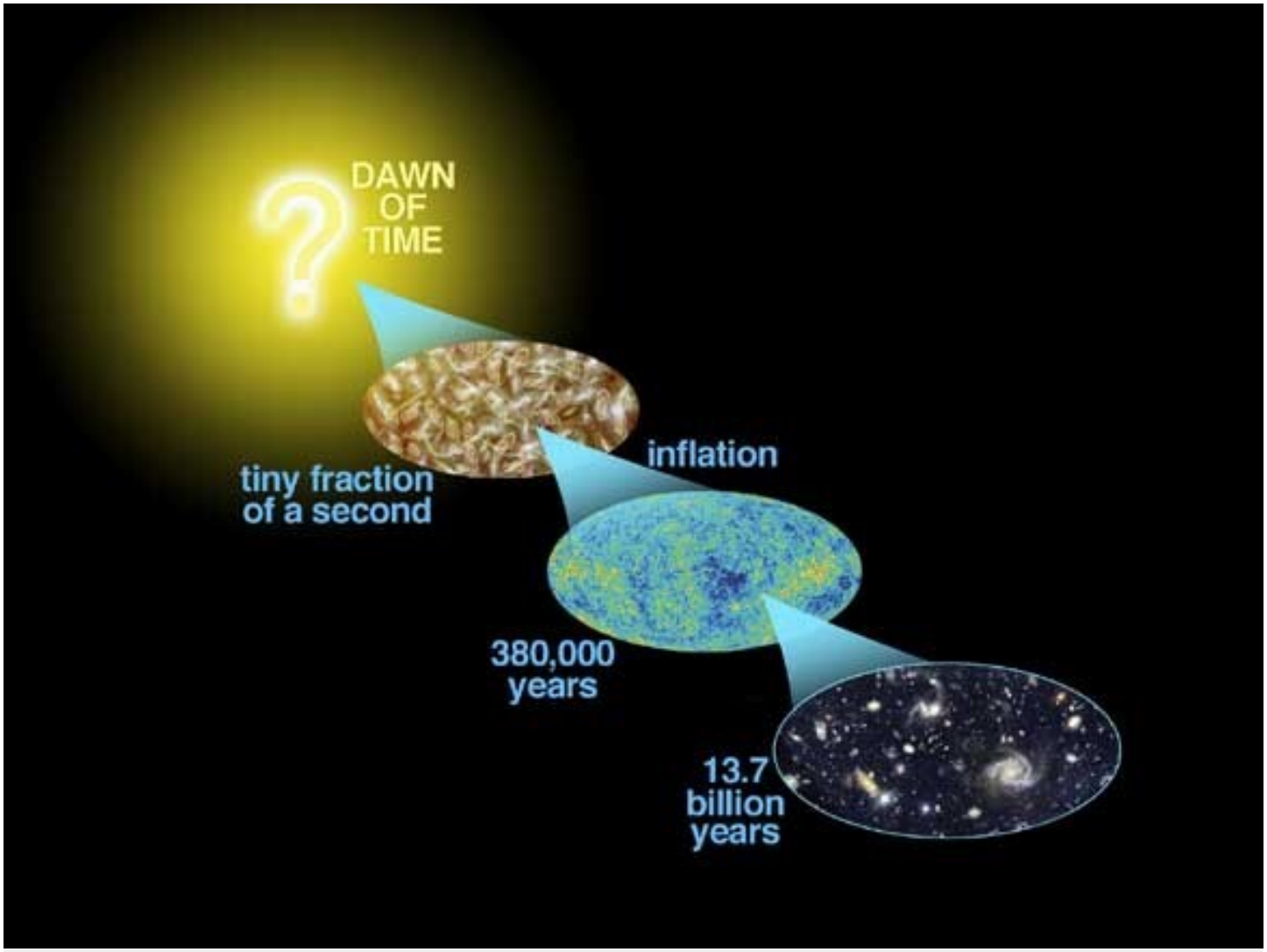
حقوق الصورة: ريتشارد موشوتزكي من جامعة ماريلاند.

كما يوضّح الرسمُ البيانيُّ السابق، فإن معامل الكثافة إذا كان 1، سيبقى 1 إلى الأبد، وإذا كان أكبر من 1 سينمو بشكلٍ مستمرّ، وإذا كان أقل من 1 سيتقلّص بشكلٍ مستمرٍّ أيضاً. بمعنىً آخر، إذا كان الكون مسطّحاً فسيبقى مسطّحاً، وإذا كان منحنياً فسيزدادُ انحناءً، ما يعني أنّ الكون كان أكثر تسطّحاً ممّا هو عليه اليوم. ولدى تشكّل أول نواةٍ في الكون كان معاملُ الكثافة بين قيمتي 0.999999999999999999 و1، وإن أيّ قيمةٍ أخرى كانت ستجعلُ الكون مختلفاً تماماً عمّا هو عليه اليوم.

إذا أخذنا بعين الاعتبار كوناً يحوي مادةً فقط، أو إشعاعاً فقط، ففي كلتي الحالتين يبدو الكونُ المسطّحُ نموذجاً غير مستقرّ، فوفقاً لنظرية الانفجار العظيم يزدادُ معاملُ الانحناء في معادلات فريدمان مع الزمن، ما يتنافى مع ما تمّ رصدُه.

حاول الفيزيائيّ والكونيّ الأمريكيّ آلان غوث حلّ مشكلة التسطّح الكونيّ وغيرها من مشاكل الانفجار العظيم من خلال تعديلٍ أجراهُ على النظرية سنة 1981:

بسبب الانفصال بين القوة النووية (7) والقوة الكهربائية الضعيفة (8) في اللحظة التي بلغ فيها عمرُ الكون جزءً من مليون أوكتيليون من الثانية، تمدّد حجمُ الكون بشكلٍ مفاجئٍ بمعاملٍ قيمتُه مئة كويندسيليون (الكويندسيليون واحد أمامه 48 صفراً). أُطلق على هذه الفترة اسم "حقبة التضخم".

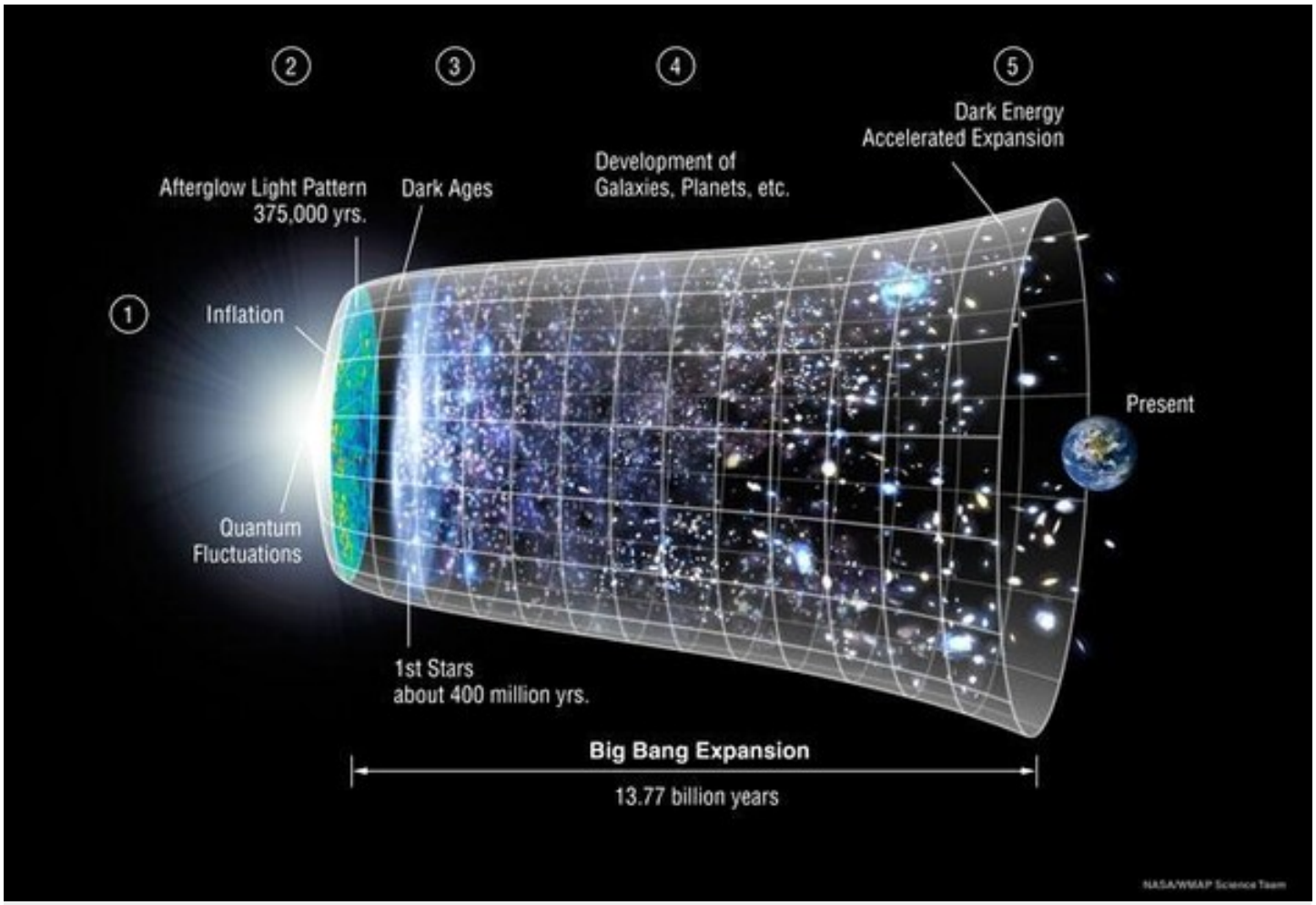


رسم توضيحيّ لتاريخ الكون: الانفجار العظيم ثم التضخم وصولاً إلى كوننا الحاليّ بعمر 13.7 مليار عام حقوق الصورة: NASA/WMAP Science Team

علينا أن نتذكّر أن حجم الكون في تلك اللحظة كان صغيراً للغاية، وبالتالي فإن هذا التمدّد غير عاديّ واستثنائيّ، كإلكترون في ذرة الهيدروجين يبعد عن البروتون جزءً من 10 مليارات من المتر، يجدُ نفسه فجأةً بعيداً سيبتيليون سنة ضوئية! (السيبتيليون واحد أمامه 24 صفراً).

بعد هذا التضخّم، استمرّ الكونُ بالتطوّر وفقاً لنموذج الانفجار العظيم.

أُطلق على هذا النموذج الكونيّ اسم " سي دي إم"؛ : رمزُ الطاقة المظلمة، وسي دي إم: اختصارٌ لـ (المادة المظلمة الباردة) بالإنجليزية. في الصورة التالية رسمٌ توضيحيٌّ لهذا النموذج. حيث يُظهر الرسمُ تضخم الكون بعد الانفجار العظيم، مع سطوع ضوءٍ عظيمٍ حتى عمر 375 ألف عام، ثم العصور المظلمة، ثم تشكّل أول نجمٍ بعد مرور 400 مليون عام، ثم تطوّر الكواكب والنجوم والمجرّات وغيرها من الأجسام والهياكل الموجودة في الكون، وأخيراً تمدّد الكون المتسارع بفعل الطاقة المظلمة في كوننا الحاليّ، الذي بلغ عمرُه حوالي 13.77 مليار عام.



حقوق الصورة: NASA/WMAP Science Team

لقي هذا النموذجُ قبولاً خلال العقود الأخيرة، وعلى الرغم من الأسئلة العديدة المحيطة به إلا أنه الأفضل في الوقت الحالي. ولكن بالتأكيد، لا يمكننا الجزمُ بصحّته، ولكن يمكننا العمل على تحسينه أو العثور على بدائل أخرى أفضل.

---

1. (Homogeneity and Isotropy): مصطلح يشير إلى ظهور الكون بالشكل نفسه في مختلف الاتجاهات والأماكن.
2. (Relativity Principle): يشير المبدأ إلى أن القوانين الفيزيائية متساوية في جميع الأُطُر المرجعية.
3. (Inertia): ميل الجسم إلى مقاومة التغيير.
4. (Dark Matter and Dark Energy): رابط كونيّ يحافظ على تماسك الكون. ماهيّته مجهولة من أجل ذلك تُطلق عليه صفة مظلم.
5. (Critical Density): الكثافة التي يحتاجُها الكون ليتوقّف عن التمدّد بعد قدر لا نهائيّ من الزمن. كون بالكثافة الحرجة يُسمى كوناً مسطّحاً.

6. (Supernova): انفجار لنجم ضخم جداً في نهاية حياته. تمثّل حياة النجم فترة التوازن فيه بين قوة الجاذبية إلى الداخل وبين القوة التي تولّدها تفاعلات الاندماج النووي إلى الخارج.
7. (Nuclear Force): قوة جذب بين النويّات تحافظ على تماسك نواة الذرة.
8. (Electroweak Force): نتاج اتّحاد الكهرومغناطيسية والتفاعل الضعيف. القوى الأربعة الرئيسية المعروفة بالترتيب من الأقوى للأضعف: التفاعل القوي، والكهرومغناطيسية، والتفاعل الضعيف، والجاذبية.

المراجع

"مقدمة إلى علم الكون الحديث" لأندرو ليدل (An Introduction to Modern Cosmology By Andrew Liddle)
"علم الكون: أصل وتطوّر الهيكل الكونيّ" لبيتر كولز وفرانشيسكو لوكين (Cosmology: Origin and Evolution of the Cosmic Structure by Peter Coles and Francesco Lucchin)
"مقدمة إلى علم الكون" لبربرا ريدن (Introduction to Cosmology by Barbara Ryden)
"الفيزياء الحديثة للعلماء والمهندسين" لستيفن ثورنتون وأندرو ريكس (Modern Physics for Scientists and engineers by Stephen Thornton and Andrew Rex)
"أكبر خطأ لأينشتاين" لكورماك اوريفارتايغ على مجلة ساينتفك أمريكان (Einstein's Greatest Blunder by Cormac O'raifeartaigh on Scientific American)
"ماذا تعني بأن الكون مسطّح؟ الجزء الأول" لديفيد كاستيلفيكي على مجلة ساينتفك أمريكان (What Do You Mean, The Universe Is Flat? Part1 by David Castelvecchi on Scientific American)
"المعاملات الكونية" على الموقع الرسميّ لمعهد كاليفورنيا للتكنولوجيا (Cosmological Parameters on Caltech Official Website)
"أربعة ألغاز كونيّة" على الموقع الرسميّ لجامعة ماريلاند (Four Cosmic Puzzles on the Official Website of The University of Maryland)

- التاريخ: 2020-08-08
- التصنيف: الكون

#الكون #النسبية العامة #شكل الكون #أينشتاين #هندسة الزمكان

المصطلحات

- **المادة المظلمة (Dark Matter)**: وهو الاسم الذي تمّ إعطاؤه لكمية المادة التي أُكتشف وجودها نتيجة لتحليل منحنيات دوران المجرة، والتي تواصل حتى الآن الإفلات من كل عمليات الكشف. هناك العديد من النظريات التي تحاول شرح طبيعة المادة

المظلمة، لكن لم تنجح أي منها في أن تكون مقنعة إلى درجة كافية، و لا يزال السؤال المتعلق بطبيعة هذه المادة أمراً غامضاً.

- **الطاقة المظلمة (Dark Energy)**: هي نوع غير معروف من الطاقة، ويُعتقد بأنه المسؤول عن تسارع التوسع الكوني.
- **المستعرات الفائقة (السوبرنوفا) (supernova)**: 1) هي الموت الانفجاري لنجم فائق الكتلة، ويُنتج ذلك الحدث زيادة في اللمعان متبوعةً بتلاشي تدريجي. وعند وصول هذا النوع إلى ذروته، يستطيع أن يسطع على مجرة بأكملها. 2. قد تنتج السوبرنوفات عن انفجارات الأقزام البيضاء التي تُراكم مواد كافية وقادمة من نجم مرافق لتصل بذلك إلى حد تشاندراسيغار. يُعرف هذا النوع من السوبرنوفات بالنوع Ia. المصدر: ناسا

المساهمون

- إعداد المقال
  - زهراء السراج
- مُراجعة
  - Azmi J. Salem
- تصميم
  - Azmi J. Salem
- نشر
  - Azmi J. Salem