

عجائب الكون



للكاتب: إبراهيم الراجي

كتاب يتحدى قدراتك

الفكرية

الفهرس:

1:نظرية الاكوان المتعددة

2:نظرية الانفجار الكبير

3:نظرية سيفن هوكنغ حول الثقوب السوداء

4:الثقوب الدودية

5:الثقوب البيضاء

6:الطاقة المظلمة

7:تمدد الكون

الفصل الأول

نظرية الأكوان المتعددة

الأكوان المتعددة) بالإنجليزية (Multiverse): هي عبارة عن مجموعة إفتراضية متكونة من عدة أكوان - بما فيها الكون الخاص بنا - وتشكل معاً الوجود بأكمله. وفكرة الوجود متعدد الأكوان هو نتيجة لبعض النظريات العلمية التي تستنتج في الختام وجوب وجود أكثر من كون واحد، وهو غالباً يكون نتيجة لمحاولات تفسير الرياضيات الأساسية في نظرية الكم بعلم الكونيات. والأكوان العديدة داخل متعدد الأكوان تسمى أحياناً بالأكوان المتوازية Parallel Universes. والبنية لمتعدد الأكوان، وطبيعة كل كون وما بداخله، والعلاقة بين هذه الأكوان كل هذه تعتمد على النظرية المتبعة من بين عدة نظريات.

ونظرية تعدد الأكوان هو فرضية في علم الكونيات والفيزياء والفلك والفلسفة والمسائل الرياضية والخيال العلمي و اللاهوت. وقد تأخذ الأكوان المتوازية في هذا السياق أسماء أخرى كالأكوان البديلة أو الأكوان الكمية أو العوالم المتوازية.

إن تلسكوباتنا قادرة على رؤية ما أقصاه أقل من 14 مليار سنة ضوئية، لكن ماذا يوجد بعد ذلك؟ نعرف من كل ما توصل إليه العلماء بأن الكون نشأ من الانفجار العظيم، لكن ماذا كان هناك قبل ذلك؟ أسئلة حاول الفلاسفة ورجال الدين والمفكرون في مختلف العصور الإجابة عليها: ماذا يوجد فيما وراء كوننا الذي نراه؟ وكيف جاء الكون؟ ومن أين؟ يعتقد العلماء أننا اليوم قادرون على إعطاء تفسيرات منطقية ومتوازنة وبعيدة كل البعد عن الأفكار التي كانت سائدة في الماضي.

حتى وقت قصير مضى، كان كل ما يشغل العلماء هو دراسة الكون بما يحتويه وبما يحكمه من قوانين فيزيائية، وبما حدث بعد الانفجار العظيم قبل 13.8 مليار عام، أما الآن فقد بدأ العلم في اقتحام مجال كان حكراً على الفلسفة والأديان: ماذا كان هناك قبل ولادة الكون؟ وماذا يوجد خارج نطاق حدوده المعروفة؟

كيف بدأت النظرية؟ [عدل المصدر]

في عام 1954 ، كان هناك مرشح لشهادة الدكتوراه من جامعة برنستون اسمه هيو إيفيرت جاء بفكرة جذرية: أنه يوجد أكوان متوازية، بالضبط شبه كوننا. كل هذه الأكوان على علاقة بنا، في الواقع هي أكوان متفرعة منا، وكوننا متفرع أيضاً من أكوان أخرى.

خلال هذه الأكوان المتوازية، حروبنا لها نهايات مختلفة عن ما نعرف، الأنواع المنقرضة في كوننا تطورت وتكيفت في الأكوان الأخرى، وفي تلك الأكوان ربما نحن البشر أصبحنا في عداد الفصائل المنقرضة. إن طبيعة هذا التفكير يذهل العقل ولحد الآن ما يزال يمكن فهمه. الأفكار العامة عن الأكوان أو الأبعاد المتوازية التي تشبهنا ظهرت في أعمال الخيال العلمي، لكن لماذا يقوم فيزيائي شاب ذو مستقبل بالمخاطرة بمستقبله المهني عن طريق تقديم نظرية عن الأكوان المتوازية؟

كان إيفريت بتقديم نظريته عن الأكوان المتوازية يحاول الإجابة عن سؤال صعب متعلق بفيزياء الكم: لماذا الأجسام الكمية تتصرف بشكل غير منضبط؟ إن المستوى الكمي هو أصغر ما أكتشف العلم حتى الآن. دراسة فيزياء الكم بدأت في عام 1900 ، حينما قدم العالم ماكس بلانك هذا المفهوم لأول مرة على المجتمع العلمي. دراسات بلانك للإشعاع دفعت نحو بعض الاكتشافات التي تتعارض مع قوانين الفيزياء التقليدية. هذه الاكتشافات اقترحت وجود قوانين مختلفة في هذا الكون، تعمل على المستويات العميقة غير تلك القوانين التي نعرفها.

في المدى القصير، الفيزيائيين الذين قاموا بدراسة مستوى الكم لاحظوا أشياء غريبة عن هذا العالم. أولاً، الجزيئات الموجودة في هذا المستوى تأخذ أشكالاً مختلفة بشكل اعتباطي. على سبيل المثال، العلماء لاحظوا أن الفوتونات (رزم صغيرة من الضوء) تتصرف كجسيمات وكأمواج! حتى الفوتون المفرد يقوم بهذا التناوب في الحالة. تخيل أنك ظاهر وتتصرف كإنسان صلب حينما ينظر إليك صديق، لكن حينما يلتفت إليك ثانيةً تكون تحولت إلى غاز!

عُرف بمبدأ عدم اليقين لهايزنبرج. الفيزيائي "فيرنر هايزنبرج" اقترح أنه بمجرد ملاحظة المادة الكمية، فنحن نؤثر في سلوكها. وبالتالي، فنحن

لا يمكن أن نتأكد تماماً من طبيعة الشئ الكمي ولا صفاته المميزة، مثل السرعة والموقع.

هذه الفكرة تم دعمها بتفسير كوبنهاغن لميكانيكا الكم. هذا التفسير طرحه الفيزيائي الدنماركي "نيلز بور"، أن الجسيمات الكمية لا تتواجد على حالة واحدة معينة أو على حالة أخرى، لكن في كل هذه الحالات المحتملة في نفس الوقت. إجمالي مجموع الحالات للشئ الكمي يسمى بدالة الموجة wave function. وحالة الشئ الموجود في كل حالاته الممكنة في

نفس الوقت، تسمى بالوضع الفائق. superposition.

طبقاً لبور، حينما نقوم بملاحظة شيء كمي، فنحن نؤثر في سلوكه. الملاحظة تقوم بكسر حالة الوضع الفائق للشئ وتجبره على اختيار حالة واحدة من دالة الموجة الخاصة به. تفسر هذه النظرية لماذا يحصل الفيزيائيين على قياسات متضاربة من نفس الشئ الكمي: فالشيء الكمي يختار حالات مختلفة أثناء عمليات القياس المتتالية.

تم قبول تفسير بور على نطاق واسع، واحتفظ بقبول غالبية مجتمع علماء الكم. ولكن بعد حين، أخذت نظرية العوالم المتعددة لإيفريت بعض الاهتمام الجدي.

متعدد الأكوان في نظرية العوالم المتعددة] عدل المصدر

Many worlds theory

هيو إيفريت الشاب اتفق مع ما اقترحه الفيزيائي القدير نيلز بور عن عالم الكم. هو وافق على فكرة الوضع الفائق وأيضاً فكرة دالة الموجة. لكن إيفريت اختلف مع بور في نقطة حيوية أخرى.

بالنسبة لإيفريت، فقياس الشئ الكمي لا يجبره على اتخاذ حالة معينة أو أخرى. وبدلاً من ذلك، فقياس الشئ الكمي يسبب تفرع حقيقي في الكون. فالكون تم نسخه تماماً إلى كونين، وكل واحد من الكونين يمثل نتيجة محتملة للقياس. على سبيل المثال، لنفترض أن دالة الموجة لشئ ما هي كلاً من جسيم وموجة. حينما يقوم الفيزيائي بقياس هذا الشئ، فهناك نتيجتين محتملتين: إما أن يلاحظ هذا الشئ كجسيم أو كموجة.

حينما يقوم الفيزيائي بملاحظة الشيء، ينقسم الكون إلى كونين اثنين لتلبية كلاً من الاحتمالين. وعلى ذلك، فالعالم الفيزيائي في أحد الكونين وجد أن الشيء تم قياسه على أنه موجة. أما العالم الفيزيائي المشابهة في الكون الآخر فقد قاس الشيء على أنه جسيم. وهذا أيضاً يفسر لماذا يتم قياس الشيء الواحد على أكثر من حالة.

هذا الفارق، هو ما يجعل نظرية العوالم المتعددة لإيفريت منافسة لتفسير كوبنهاغن، كتفسيرين لميكانيكا الكم.

على قدر الإثارة التي قد تبدو عليها، فنظرية العوالم المتعددة لإيفريت لها معاني ضمنية بعد المستوى الكمي. فلو هناك حدث له أكثر من نتيجة محتملة، إذن - لو نظرية إيفريت صحيحة - الكون سيتفرع حينما يتم هذا الحدث. وهذا يحدث حقيقةً حتى لو اختار الفرد أن لا يقوم بأي فعل. وهذا يعني أنك لو تعرضت لموقف يكون فيه الموت نتيجة محتملة، إذن ففي كون موازى لنا، أنت ميت. هذا مجرد سبب واحد يجعل البعض يشعر بالانزعاج تجاه نظرية العوالم المتعددة.

الوجه الآخر المزعج أيضاً في تفسير العوالم المتوازية أنه يهدم مفهومنا الخطى عن الزمن. تخيل أن خط الزمن يعرض تاريخ حرب فيتنام. فبدلاً من خط زمني مستقيم يعرض أحداث جديرة بالملاحظة تتقدم للأمام، فخط الزمن حسب نظرية العوالم المتعددة يتفرع ليعرض كل نتيجة محتملة لكل حدث تم. ومن هنا، كل نتيجة محتملة لحدث تم، ستؤرخ.

لكن الشخص لا يستطيع أن يكون مدرك لتوائمه الآخرين - أو حتى موته شخصياً - الموجودة في أكوان موازية. إذن كيف نستطيع أن نعرف أن نظرية العوالم المتعددة صحيحة؟ التأكيد على أن هذه النظرية ممكنة نظرياً، حدث في التسعينيات عن طريق تجربة فكرية *thought experiment* (اسمها الانتحار الكمي. *quantum-suicide*)

هذه التجربة الفكرية جددت الاهتمام بنظرية إيفريت. التي اعتبرت هراءً لسنوات عديدة. ومنذ أن تم إثبات إمكانية العوالم المتعددة، توجه

الفيزيائيين والرياضيين إلى البحث في المعاني الضمنية للنظرية في العمق. لكن نظرية العوالم المتعددة ليس النظرية الوحيدة التي تريد أن تشرح الكون. وأيضاً ليست الوحيدة التي تقترح وجود أكوان موازية لنا. وفي الجزء التالي سنقرأ معاً عن نظرية الأوتار string theory وأيضاً يمكن ان نجد اشباه لنا في الأكوان الموازية.

متعدد الأكوان في نظرية الأوتار]. [عدل المصدر](#)]

String theory

نظرية العوالم المتعددة [وتفسير كوبنهاغن](#) ليسوا المتنافسين الوحيديين في محاولة شرح المستوى الأولى من الكون. في الحقيقة، حتى ميكانيكا الكم ليست المجال الوحيد في الفيزياء الذي يبحث عن مثل هذه الشرح. النظريات التي ظهرت من دراسة الفيزياء تحت الذرية ما زالت نظريات. وتسبب هذا في أن مجال الدراسة انقسم بكثرة بنفس طريقة عالم علم النفس. النظريات لها مؤيدين ونقاد، مثل ما يحدث في أطر علم النفس المقدمة من [كارل يونغ](#) وألبرت إيليس وسيجموند فرويد. لقد انشغل الفيزيائيين بعد تطور العلوم بعكس هندسة الكون reverse engineering، ودرسوا ماذا يمكن أن يلاحظوا وعملوا من الخلف تجاه مستويات أصغر وأصغر في العالم الفيزيائي. ويحاول الفيزيائيون بذلك أن يصلوا للمستوى النهائي والأكثر أولية. وهو المستوى، الذي يأمل الفيزيائيين أن يساعدهم على تأسيس فهم كل شيء آخر.

بعد نظريته الشهيرة عن النسبية، قضى ألبرت أينشتين بقية حياته باحثاً عن المستوى النهائي الذي سيجيب على كل الأسئلة الفيزيائية. أشار الفيزيائيون إلى هذه النظرية الشبحية باسم نظرية كل شيء Theory of Everything. فيزيائيو الكم يعتقدون أنهم على طريق اكتشاف هذه النظرية النهائية. لكن مجال آخر من الفيزياء يعتقد أن المستوى الكمي ليس هو المستوى الأصغر، ولذلك هو لا يمكن أن يمدنا بنظرية كل شيء. بدلاً من ذلك، تحول هؤلاء الفيزيائيون إلى مستوى نظري تحت الكم، يسمى نظرية الأوتار، من أجل الإجابة على كل ما في الحياة. الشيء المدهش أن هؤلاء الفيزيائيون خلال أبحاثهم النظرية أيضاً استنتجوا - مثل إيفيرت- وجود الأكوان المتوازية!

نظرية الأوتار أنشئت بواسطة الفيزيائي الياباني-الأمريكي ميشيو كاكو. نظريته تقول أن كتل البناء الأساسية لكل المواد وأيضاً لكل القوى الفيزيائية في الكون - مثل الجاذبية- موجودة في مستوى تحت الكم. هذه الكتل البنائية تشبه أربطة مطاطية صغيرة جداً - أو أوتار- وهي التي تصنع الكواركات (جسيمات كمية)، وتباعاً الإلكترونات، والذرات، والخلايا وهكذا. ويتحدد بالضبط أي نوع من المادة ينتج بواسطة الأوتار وكذلك سلوك هذه المادة، حسب تذبذب هذه الأوتار. وتتذبذب الأوتار فتؤدي إلى نشوء القوى المختلفة الحاكمة للكون. بهذه الطريقة فإن كوننا بأكمله عبارة عن عزف موسيقى. ووفقاً لنظرية الأوتار فهذا العزف يحدث عبر 11 بُعد منفصل.

مثل نظرية العوالم المتعددة، فنظرية الأوتار تُظهر وجود الأكوان المتوازية.

فهذه الأبعاد تلتف حول نفسها بحيث لا ندركها في عالمنا. وبما أن الكون يحتوي على هذه الأبعاد المختلفة بهندساتها العديدة والمتنوعة، وعلماً بأن قوانين الطبيعة تعتمد على هندسة الطبيعة، فمن المتوقع أن تُشكّل هذه الأبعاد العديدة أكواناً مختلفة في قوانينها وحقائقها. هكذا تؤدي نظرية الأوتار إلى نتيجة أنه توجد أكوان عديدة ومختلفة. بالإضافة إلى ذلك، يشير كاكو إلى حقيقة أنه تم اكتشاف بلايين من الحلول لمعادلات نظرية الأوتار، وكل حلّ من هذه الحلول يصف كوناً متناسقاً رياضياً ومختلفاً عن الأكوان الأخرى التي تصفها الحلول الأخرى للنظرية. هكذا، تدل نظرية الأوتار على وجود أكوان عدة.

وفقاً للنظرية، فكوننا يشبه فقاعة بجانب أكوان موازية شبيهة. وعلى نقيض نظرية العوالم المتعددة، فنظرية الأوتار تفترض أن هذه الأكوان يمكنها أن تكون على اتصال مع بعضها البعض. نظرية الأوتار تقول أن الجاذبية يمكنها التدفق بين هذه الأكوان المتوازية. وحينما تتفاعل هذه الأكوان فإنه ينشأ انفجار كبير مثل الذي خلق كوننا.

حينما يستطيع الفيزيائيون صنع آلة تستطيع رصد المواد الكمية، فالأوتار تحت الكمية ستظل بعيدة عن الملاحظة، وهذا يجعلهم - وبالتالي النظرية

القائمة عليهم- نظريين كليةً. البعض رفض هذا، والبعض الآخر يعتقد أنه صحيح..

مستويات الأكوان المتوازية[عدل المصدر]

قام العالم ماكس تيجمارك بفحص النظريات الفيزيائية المتضمنة أكواناً متوازية، والتي تكوّن أربع مستويات طبيعية هرمية للوجود متعدد الأكوان، بشكل يزيد فيه التنوع كلما تقدمنا:

المستوى الأول: مناطق وراء أفقنا الكوني.[عدل المصدر]

الكون يتمدد إلى ما لانهاية وبنيته لها نفس الصفة... خارج هذه الكرة التي هي كوننا أو الحدود المشكلة له، توجد كرات لأكوان أخرى لانهاية أيضاً في حدودها وعددها

- خصائصها: تنطبق عليها نفس القوانين الفيزيائية، لكن مع اختلاف في الظروف الأولية.
- الافتراضات: فضاء غير محدود، تتوزع فيه المادة الكونية ايرجوديكياً ergodic.
- الأسانيد:

1. قياسات الموجات المايكروية تشير إلى تسطح، وفضاء لا متناهي، ونعومة واسعة النطاق.
2. النموذج الأبسط.

المستوى الثاني: فقاعات أخرى متضخمة-المركز.[عدل المصدر]

الكون عبارة عن فقاعة كروية متواجدة في كون "أكبر" يحتوي على عدد من الأكوان الأخرى أو "الفقاعات" الأخرى. وهكذا

- خصائصه: نفس المعادلات الأساسية للفيزياء، ولكن ربما بثوابت وعناصر وأبعاد مختلفة.
- الافتراضات: حدوث التضخم الفوضوي.
- الأسانيد:

1. نظرية التضخم تفسر الفضاء المستوي، والتذبذبات ثابتة المقدار، وتحل مشكلة الأفق ومشاكل القطب الواحد ويمكن أن تفسر طبيعياً مثل هذه الفقائيع.
2. تفسر الثوابت المضبوطة.

المستوى الثالث: العوالم المتعددة لفيزياء الكم]. عدل المصدر

حسب نظرية العالم هيو إيفيريت فإن وقوع أي حدث عشوائي معناه أن احتمال من ضمن عدة احتمالات أخرى قد وقع... مما يؤدي بنا إلى القول أن الاحتمالات الأخرى قد تكون وقعت في أكوان موازية لكوننا... أي أن هناك كون لكل احتمال من الاحتمالات المتوقعة

- . خصائصه: شبيهه بخصائص المستوى الثاني.
- . الافتراضات: وحدوية الفيزياء.
- . الأسانيد:

1. دعم تجريبي للفيزياء الوحدوية.

2. النموذج الأبسط رياضياً.

المستوى الرابع : تراكيب رياضية أخرى]. عدل المصدر

- . خصائصه: معادلات الفيزياء الأساسية مختلفة.
- . الافتراضات: الوجود الرياضي = الوجود الفيزيائي.
- . الأسانيد:

1. التأثير غير المعقول للرياضيات في الفيزياء.

2. تجاوب على سؤال وييلر وهوكينغ: " لماذا هذه المعادلات بالذات، وليس غيرها؟"

مقتطفات مفيدة]. عدل المصدر

إحدى الملاحظات المهمة التي لاحظها العلماء انه لا يوجد مكان محدد للإلكترون فعند دراسة الذرة هناك شواهد على وجود الأجسام الذرية في أكثر من مكان واحد في نفس الوقت

وفسر ذلك بوجود عوالم متوازية بالبلايين بحيث يظهر الجزيء الذري في مكان آخر وتظهر جزيئات ذرية من عوالم أخرى في كوننا بعلاقات غير مفهومة.

.....

ويعتقد بعض العلماء أن نموذج تداخل الفوتون المفرد - الملاحظ في تجربة الشق المزدوج - من الممكن تفسيره بتداخل الفوتونات عبر العوالم المتعددة.

.....

ثمة مثال آخر ألا وهو سر "المادة الخفية" في الكوسمولوجيا (علم الكونيات)، والمادة الخفية هي المادة غير المرئية والتي يبدو أنها تكوّن تسعين في المئة من كتلة الكون. ورغم أنها غير مرئية إلا أن العلماء تعرفوا على وجودها من تأثير جاذبيتها. فقد تكون المادة الخفية موجودة في أكوان متوازية. وتؤثر مثل هذه المادة في الكون الذي نعيش فيه من خلال قوة الجاذبية التي حسب نظرية الأوتار تستطيع التدفق بين الأكوان المتوازية. وهذه المادة "خفية" بالضرورة لأن النوعية الخاصة بنا من الفوتونات تلتصق بغشائنا، وبالتالي يتعذر على الفوتونات أن تنتقل عبر الخواء من المادة الموازية إلى أعيننا.

.....

الواقع هناك أكثر من طريق يوصلنا إلى العوالم المتوازية. ليس فقط تمكن العلماء من حل الغموض في نظرية الأوتار التي تقودنا إلى وجود أكوان أخرى ولكن تصرف مكونات الذرة التي من الممكن أن تكون في أكثر من مكان في نفس الوقت.

بالإضافة إلى هذين الطريقتين يوجد أيضا تساؤل مشروع وهو لماذا توقفت الثوابت الكونية عند أرقام معينة مثل ثابت الجاذبية والقانون العام للغازات وغيرها من الثوابت الكثيرة. يعني أنه لا بد أن تكون هذه الثوابت لها قيم مختلفه في العوالم الأخرى بحيث تكون هذه القيم لها صور لا متناهيه.

ما هو حل جذر واحد سالب مثلاً. رقم حقيقي يدخل تحت الجذر فيصبح نوع من السحر. كمية نستخدمها ونحتاجها ولكننا لا نفهمها. ماذلك إلا لأنها موجودة في كون آخر له رياضيات مختلفه ولهذا الجذر هناك معنى واضح.

.....

وماذا يقول الفيزيائي ميشيو كاكو منشئ نظرية الأوتار؟

يقول إنه بمجرد السماح لإمكانية نشوء عالم واحد، نفتح الباب أمام احتمال نشوء عوالم ممكنة ولا متناهية. بالنسبة إلى ميكانيكا الكم، الإلكترون لا يوجد في مكان مُحدّد بل يوجد في كل الأمكنة الممكنة حول نواة الذرة. لكن الكون كان أصغر من الإلكترون (عند بداية الانفجار الكبير الذي تشكل منه الكون)، وإذا طبقنا ميكانيكا الكم على الكون ككل، تصبح النتيجة أن الكون يوجد في كل الحالات العديدة والمختلفة والممكنة في آنٍ معاً. وهذه الحالات الممكنة والمختلفة ليست سوى الأكوان العديدة. من هنا، يستنتج كاكو أنه لا مفر من الاعتراف بإمكانية وجود الأكوان الممكنة. هذه الأكوان التي نتحدث عنها ليست المجرات المختلفة في عالمنا، بل المجرات جزء من عالمنا الواقعي بالذات. إن الأكوان الممكنة قد تشبه عالمنا وقد تختلف عنه، وبعض هذه الأكوان الممكنة تختلف في قوانينها الطبيعية وحقائقها وظواهرها عن الأكوان الممكنة الأخرى وعن عالمنا الذي نحيا فيه.

.....

ويتفق الفيزيائي روجر بنروز مع الآخر استيفين هوكنج أن تطبيق ميكانيكا الكم على الكون تكون نتيجته العوالم المتعددة. رغم أنه يعتقد أن النقص الحالى في نجاح نظرية الجاذبية الكمية (نظرية تحاول توحيد ميكانيكا الكم مع النسبية العامة) يبطل إدعاء عالمية ميكانيكا الكم التقليدية.

.....

ويقول لي سمولين الباحث في معهد بريميتز للفيزياء النظرية أن الأكوان المختلفة تمر بمراحل مشابهة لتلك الخاصة بتطور الكائنات الحية؛ ففي

كل مرة يولد فيها كون من كون آخر، تتغير القوانين الفيزيائية قليلاً... هكذا، قد تنشأ أكوان بقوانين فيزيائية عدائية وتكون نهايتها هي الفناء: فإما أن تنهار فوراً على نفسها، أو أن يكون فيها عدد خاطئ من الأبعاد، أو لعدم تمكن تلك الأكوان من احتواء ثقوب سوداء والتي بواسطتها يتمكن كون معين من "حفظ نوعه"... لكن، بالطبع بعض الأكوان تولد بقوانين فيزيائية تسمح بتكون النجوم وبالتالي تسمح بوجود الثقوب السوداء التي تؤدي بدورها إلى ولادة أكوان "صغيرة".

و كما قال العالم ستيفن هوكينغ: "لو كان الكون مختلفاً، لما كنا هنا لنسأل: لماذا نحن هنا؟"

هل عثرنا على الأكوان الأخرى؟ [عدل المصدر]

علماء موجات الراديو الفلكي تمكنوا من العثور على منطقة فارغة، مساحتها تتجاوز كل المناطق الفارغة التي عثرنا عليها في السابق. هذه المنطقة الفارغة تقع عنا على بعد حوالي 8 مليارات سنة ضوئية، ويصل قطرها إلى ما لا يقل عن مليار سنة ضوئية.

ليست هذه هي المرة الأولى التي يلاحظ فيها العلماء منطقة فارغة. نحن نعلم بوجود حوالي 30 منطقة هائلة تمتد على مساحة بضعة ملايين السنوات الضوئية. المنطقة المكتشفة حديثاً أكثر كبراً حتى بالمقارنة مع الكون المرئي. وهي من الكبر إلى درجة أن علماء الفيزياء المعنيين بالانفجار العظيم يجدون صعوبة في تفسير الأمر.

الآن تعتقد مجموعة من علماء الفيزياء الأمريكيين أنهم عثروا على تفسير مناسب، بالرغم من أنها مثيرة للدهشة. حسب هؤلاء العلماء فإن هذه البقعة عبارة عن بصمة كون آخر تضغط على جدار عالمنا. مجموعة باحثين على رأسهم Laura Mersini-Houghton من جامعة ساوث كارولينا. لورا تقول: "علم الكونيات التقليدي لا يستطيع تفسير فجوة كونية هائلة كذلك". وقد أشارت حساباتهم إلى أن هذه المنطقة الفارغة نشأت بتأثير ارتطام عالمنا بالعالم الجار له في لحظة مبكرة من نشوئه. الكون المجاور قام بدفع الأجسام الكونية في المنطقة التي اصطدم بها في كوننا بحيث أنها أصبحت خالية أو تحوي أجسام كونية أقل. لو كان هذا

صحيحاً فإنه يعطى الدليل التجريبي الأول على الأكوان المتوازية مع النماذج النظرية الموجودة مسبقاً. وهو أيضاً يدل على نظرية الأوتار. هذه المجموعة من العلماء تدعى وجود نتائج قابلة للاختبار، حيث أنه لو كانت نظرية الأكوان المتوازية صحيحة فسيكون هناك فراغ مشابه في نصف الكرة الجنوبي من الكرة السماوية[1].

استطلاع رأي [عدل المصدر]

أن الفرضيات الشبيهة بفرضية العوالم المتعددة تعتبر الآن اتجاه عام في مجتمع ميكانيكا الكم. على سبيل المثال، اقترح تم بين 72 من الفيزيائيين البارزين، قام به الباحث الأمريكي ديفيد روب في عام 1995 ونشر في الدورية الفرنسية Sciences et Avenir في يناير من عام 1998، أشار إلى أن 60% تقريباً يعتقدون أن نظرية العوالم المتوازية حقيقية. الاعتقاد بوجود أكوان أخرى هو من محض التخمين، ولا يمكن الإجابة على هذا السؤال بالبحث العلمي والطرق العملية إذ أننا نعيش في كوننا الذي نعرفه ونحاول دراسته وتفسير ظواهره، ونحن "محبسون" فيه. ولا تزال تشغلنا أمور فيزيائية واقعية وليست تخميناً، لم نتوصل حتى الآن في حلها، فنحن لا زلنا لا نعرف ما هي المادة المظلمة، ولا نعرف ما هي الطاقة المظلمة، ولا نعرف كيف حدث الانفجار العظيم؟ من "لا شيء"!

الفصل الثاني
نظرية الانفجار الكبير

الانفجار العظيم) بالإنجليزية (Big Bang): في علم الكون الفيزيائي هو النظرية السائدة حول نشأة الكون. [1] تعتمد فكرة النظرية أن الكون كان في الماضي في حالة حارة شديدة الكثافة فتمدد، وأن الكون كان يومًا جزءًا واحدًا عند نشأته. بعض التقديرات الحديثة تُقدّر حدوث تلك اللحظة قبل 13.8 مليار سنة، والذي يُعتبر عمر الكون. [2] وبعد التمدد الأول، برَدَ الكون بما يكفي لتكوين جسيمات دون ذرية كالبروتونات والنيوترونات والإلكترونات. ورغم تكوّن نويّات ذرية بسيطة خلال الثلاث دقائق التالية للانفجار العظيم، إلا أن الأمر احتاج آلاف السنين قبل تكوّن ذرات متعادلة كهربيًا. معظم الذرات التي نتجت عن الانفجار العظيم كانت من الهيدروجين والهيليوم مع القليل من الليثيوم. ثم التّمت سحب عملاقة من تلك العناصر الأولية بالجاذبية لتكوّن النجوم والمجرات، وتشكّلت عناصر أثقل من خلال تفاعلات الانصهار النجمي أو أثناء تخليق العناصر في المستعرات العظمى.

تُقدّم نظرية الانفجار العظيم شرحاً وافياً لمجموعة واسعة من الظواهر المرئية التي تشاهد وترصد بتلسكوبات ضخمة وتلسكوبات فضائية مختلفة، بما في ذلك وفرة من اِرصاد الإشعاعات الكونية والخلفية الإشعاعية للكون و**البنية الضخمة للكون وقانون هابل**. [3] ونظرًا لكون المسافة بين المجرات تزداد يوميًا، فبالتالي كانت المجرات في الماضي أقرب إلى بعضها البعض. ومن الممكن استخدام القوانين الفيزيائية لحساب خصائص الكون كالكثافة ودرجة الحرارة في الماضي بالتفصيل. [4][5][6] وبالرغم من أنه يمكن لمسرعات الكبيرة للجسيمات استنساخ تلك الظروف، لتأكيد وصقل تفاصيل نموذج الانفجار العظيم، إلا أن تلك المسرعات لم تتمكن حتى الآن إلا البحث في الأنظمة عالية الطاقة. وبالتالي، فإن حالة الكون في اللحظات الأولى للانفجار العظيم مبهمة وغير مفهومة، ولا تزال مجالاً للبحث. كما لا تقدم نظرية الانفجار العظيم أي شرح للحالة الأولية قبل الانفجار العظيم، بل تحاول تفسير نشأة وتطور الكون منذ تلك اللحظة الأولى بعد الانفجار؛ إذ بالانفجار يبدأ الزمان والمكان، ولا ترى الفيزياء زماناً قبل الانفجار العظيم، فقد بدأ به الزمن من وجهة الفيزيائيين.

قدّم الكاهن الكاثوليكي والعالم البلجيكي جورج لومتر الفرضية التي أصبحت لاحقًا نظرية الانفجار العظيم عام 1927. ومع مرور الوقت، انطلق العلماء من فكرته الأولى حول تمدد الكون لتتبع أصل الكون، وما الذي أدى إلى تكوّن الكون الحالي. اعتمد الإطار العام لنموذج الانفجار العظيم على نظرية النسبية العامة لأينشتاين، وعلى تبسيط فرضيات كتجانس نظم وتوحد خواص الفضاء. وقد صاغ ألكسندر فريدمان المعادلات الرئيسية للنظرية، وأضاف فيليم دي سيتر صيغ بديلة لها. وفي عام 1929، اكتشف إدوين هابل أن المسافات إلى المجرات البعيدة مرتبطة بقوة بانزياحها الأحمر. استنتج من ملاحظة هابل أن جميع المجرات والعناقيد البعيدة لها سرعة ظاهرية تختلف عن فكرتنا بأنها كلما بَعُدت، زادت سرعتها الظاهرية، بغض النظر عن الاتجاه.^[7]

ورغم انقسام المجتمع العلمي يومًا بين نظريتي تمدد الكون بين مؤيد لنظرية الانفجار العظيم، ومؤيد لنظرية الحالة الثابتة،^[8] إلا أن التأكيد بالملاحظة والرصد على صحة سيناريو الانفجار العظيم جاء مع اكتشاف الخلفية الإشعاعية للكون عام 1964، واكتشاف أن طيف تلك الخلفية الإشعاعية يتطابق مع الإشعاع الحراري للأجسام السوداء. منذ ذلك الحين، أضاف علماء الفيزياء الفلكية إضافات رصدية ونظرية إلى نموذج الانفجار العظيم، وتمثيلها الوسيط كنموذج لامبدا-سي دي إم الذي هو بمثابة إطار للأبحاث الحالية في علم الكونيات النظري.

يقودنا تتبع تمدد الكون عبر الزمن إلى حقيقة أن الكون كان في الماضي في حالة شديدة الكثافة والحرارة.^[13] ويشير هذا التفرد إلى تعطل تطبيق النسبية العامة، فلا يمكننا تتبع حالة التفرد تلك على وجه اليقين أكثر من فترة نهاية حقبة بلانك. ويسمى هذا التفرد أحيانًا "الانفجار العظيم"،^[14] ولكن هذا المصطلح قد يشير أيضًا إلى الحالة الأولى (1) التي كانت أكثر حرارة وكثافة،^[15] التي تعتبر لحظة ميلاد الكون. وبناءً على قياسات التمدد مقارنةً بنموذج مستعر أعظم من النوع أوقياسات التقلبات الحرارية في الخلفية الإشعاعية للكون وقياسات الارتباط بين المجرات، أمكن حساب عمر الكون وتقديره بنحو 13.798 ± 0.037 مليار سنة.^[16] وقد أدى التوافق بين هذه القياسات الثلاثة المستقلة عن بعضها

البعض إلى دعم نموذج لامبدا-سي دي إم بقوة، والذي يصف بالتفصيل محتويات الكون.

التضخم الكوني ونشأة الباريونات [عدل]

مقالات مفصلة: التضخم الكوني

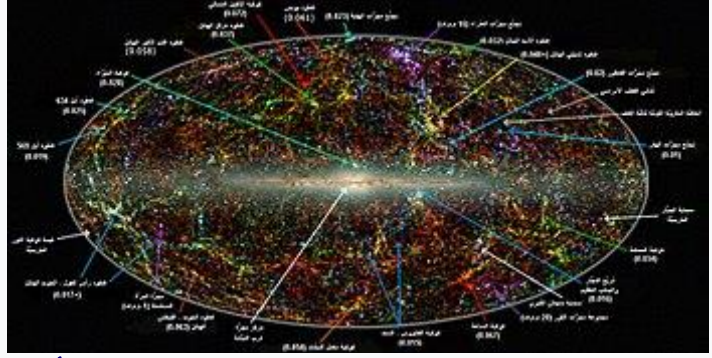
نشأة الباريونات

تخضع الأطوار الأولى للانفجار العظيم للعديد من التكهّنات. ففي النماذج الأكثر شيوعًا، كان الكون ممتلئًا بصورة متجانسة وقياسية بجسيمات ذات كثافة طاقة ودرجات حرارة وضغوط هائلة، وأنه تمدد وبرّد بسرعة فائقة. وخلال ما يقرب من 10^{-37} ثانية في التمدد، تسبب تحول طوري في تضخم الكون ونموه نموًا أسيًا. [17] وبعد توقف التضخم، تألّف الكون من بلازما كوارك-غلوونية، وغيرها من جميع الجسيمات الأولية الأخرى. [18] كانت درجات الحرارة في تلك الحالة مرتفعة حتى تسنّى تحرك الجزيئات عشوائيًا وفق سرعات نسبية، ونتجت أزواج ومضاداتها من كل نوع بصفة مستمرة، بل وتلاشى بعضها عبر الاصطدامات. وفي مرحلة ما، حدث تفاعل يسمى بنشأة الباريونات لم يحافظ على رقم باريون، مما أدى إلى وجود فائض صغير جدًا من الكواركات والليبتونات يفوق مضادات الكوارك ومضادات الليبتونات بنحو جزء واحد من 30 مليون جزء. أدى ذلك إلى هيمنة المواد على المواد المضادة في الكون الحالي. [19]

التبرّد [عدل]

مقالات مفصلة: تخليق الانفجار العظيم النووي

الخلفية الإشعاعية للكون



منظر بانورامي لكامل الكون باستخدام أشعة تحت حمراء تُظهر توزيع المجرات خارج درب التبانة. المجرات مقسمة لونيًا وفق انزياحها الأحمر.

ظلت كثافة الكون وحرارته في انخفاض، وبالتالي تناقصت طاقة أي من جسيماته. ثم نقلت الأطوار الانتقالية كسر تناظر القوى الأساسية للفيزياء ومتغيرات الجسيمات الأولية إلى وضعها الحالي. [20] ففي خلال حوالي 1110-ثانية، أصبحت حالة الكون أكثر استقرارًا، حيث انخفضت طاقات الجسيمات إلى القيم التي يمكن تحقيقها في تجارب فيزياء الجسيمات. وفي حوالي 10⁻⁶-ثانية، تجمعت الكواركات والغلوونات لتكوين الباريونات مثل البروتونات والنيوترونات. أدى فائض صغير من الكواركات مقابل مضادات الكوارك إلى فائض صغير من الباريونات مقابل مضادات الكوارك. وبانخفاض درجات الحرارة، لم تعد درجة الحرارة تكفي لتكوين أزواج جديدة من البروتون-مضاد البروتون وكذلك أزواج النيوترونات-مضادات النيوترونات، لذا نتجت على الفور عمليات تلاشيضخمة، تبقى منها فقط واحد من كل 10¹⁰ من البروتونات والنيوترونات الأصلية، لم يتبق أي من مضاداتها. كذلك حدثت عملية مشابهة خلال ثانية واحدة للإلكترونات والبوزيترونات. وبعد عمليات التلاشي تلك، توقفت باقي البروتونات والنيوترونات والإلكترونات عن التحرك بنسبية، وشكلت الفوتونات غالبية كثافة طاقة الكون (مع مساهمة بسيطة من النيوترينوات).

وخلال دقائق من تمدد الكون، عندما كانت درجة الحرارة حوالي مليار كلفن والكثافة تساوي تقريبًا كثافة الهواء، توحدت النيوترونات مع البروتونات لتشكيل ديوتريومات الكون وأنوية ذرات الهيليوم في عملية تسمى تخليق الانفجار العظيم النووي. [21] ولظلت معظم البروتونات

منفصلة كأنوية لذرات الهيدروجين. ومع تبرّد الكون، سيطرت جاذبية إشعاع الفوتونات على كثافة طاقة الكتلة الباقية من المادة. وبعد حوالي 379,000 سنة، اتحدت الإلكترونات مع أنوية الذرات (معظمها من الهيدروجين)؛ وبالتالي انفصل الإشعاع عن المادة، وانطلق في الفضاء دون عوائق إلى حد كبير. وتعرف بقايا هذا الإشعاع باسم الخلفية الإشعاعية للكون. [22]

تشكل البنية [عدل]

مقالة مفصلة: تشكل البنية

على مدى فترة طويلة من الزمن، تجاذبت المناطق الأكثر كثافة من المادة شبه الموزعة بتجانس قليلاً نحو المادة، وبالتالي نمت بكثافة أكبر، وتشكّلت سحب غازية ونجوم ومجرات وبقية أجزاء البنية الفلكية الأخرى التي يمكن ملاحظتها اليوم. اعتمدت تفاصيل تلك العملية على كمية ونوع مادة الكون. وتنقسم أنواع المادة إلى مادة مظلمة باردة و مظلمة دافئة و مظلمة حارة و باريونية. وقد أظهرت أفضل القياسات المتاحة (من خلال مسبار ويلكينسون لقياس اختلاف الموجات الراديوية) (أن البيانات تتوافق بشكل جيد مع فرضية نموذج لامبدا-سي دي إم التي تفترض أن المادة المظلمة كانت باردة (حيث اختفت المادة المظلمة الدافئة في وقت مبكر أثناء حقبة إعادة التأين) [23]، وقدّرت أنها تُشكّل حوالي 23٪ من نسبة المادة/طاقة الكون، بينما تُشكّل المادة الباريونية حوالي 4.6٪. [24] وفي "نموذج التمدد" الذي يتضمن مادة مظلمة ساخنة في شكل نيوترينوات، إذا كانت "الكثافة الفيزيائية للباريون h^2 " تقدر بحوالي 0.023 (وهي تختلف عن "كثافة الباريون Ω_b " التي يُعبّر عنها كجزء من النسبة الإجمالية لكثافة المادة/الطاقة، والتي أُشير إليها أعلاه بحوالي 0.046)، وكثافة المادة المظلمة الباردة المصاحبة $\Omega_c h^2$ حوالي 0.11، فإن كثافة النيوترينو المصاحب تُقدّر بأقل من 0.0062. [24]

تسارع تمدد الكون [عدل]

مقالة مفصلة: تسارع تمدد الكون



رصد للمجموعة المجرية أبيل 2744 بواسطة مرصد هابل الفضائي. [25]

هناك دلائل مستقلة من رصد المستعرات العظمى من الدرجة Ia والخلفية الإشعاعية للكون تُظهر أن الكون اليوم تسيطر عليه شكل غامض من الطاقة تعرف باسم الطاقة المظلمة التي تتخلل كامل الفضاء. وتُقدّر نتائج الرصد أن 73% من كثافة الطاقة الكلية للكون اليوم تتواجد في تلك الصورة من الطاقة. ومن المرجح أن الكون في بداية نشأته كان مغمورًا بالطاقة المظلمة، ولكن مع تضايق المساحة وتقارب كل شيء من بعضه البعض، سيطرت الجاذبية، وكبحت تمدد الكون ببطء. وفي نهاية المطاف، وبعد عدة مليارات من سنوات تمدد الكون، تسبب تزايد الطاقة المظلمة في تسارع تمدد الكون ولكن ببطء. وتتخذ الطاقة المظلمة في أبسط صيغها هيئة مصطلح الثابت الكوني في معادلات أينشتاين للمجال في النسبية العامة، ولكن تكوينها وآلياتها غير معروفين، وبشكل أعم، ما زالت تفاصيل معادلة حالتها وعلاقتها مع نظرية النموذج العياري لفيزياء الجسيمات قيد البحث رصديًا ونظريًا. [26]

كل هذا التطور الكوني بعد حقبة التضخم الكوني يمكن وصفها بدقة وفق نموذج لامبدا-سي دي إم، الذي يستخدم الأطر المستقلة لميكانيكا الكم والنسبية العامة لأينشتاين. وكما أشير أعلاه، لا يوجد نموذج موثوق يصف ما حدث قبل 10⁻¹⁵ ثانية من نشأة الكون. ويبدو أن هناك حاجة إلى نظرية جاذبية كمية موحدة جديدة لكسر هذا الحاجز لفهم تلك الحقبة من تاريخ الكون، والتي تعد حاليًا إحدى أعظم المسائل التي لم تُحلّ في الفيزياء.

الافتراضات الضمنية [عدل]

تعتمد نظرية الانفجار الكبير على فرضيتين رئيسيتين: شمولية القوانين الفيزيائية والمبدأ الكوني الذي يفترض أنه في المقاييس الكبيرة، يُوصف الكون بأنه فضاء متجانس ومُوحدّ الخواص. كانت تلك الأفكار في البداية من المُسلّمات، ولكن اليوم هناك جهود لاختبار كل منها. فعلى سبيل المثال، فإن الفرضية الأولى تم اختبارها من خلال الرصد الذي أظهر أن أكبر انحراف محتمل لثابت البناء الدقيق خلال جزء كبير من عمر الكون يُقدّر بنحو 10⁻⁵ [27] كما استخدمت النسبية العامة لعمل اختبارات صارمة على مقاييس النظام الشمسي والنجوم الثنائية.

وإذا افترضنا أن الكون متجانس الخواص كما يُرى من الأرض، فإن المبدأ الكوني يمكن استنتاجه من مبدأ كوبرنيكوس البسيط، الذي ينص على أنه لا يوجد أفضلية. ولذا، فقد تم التحقق من صحة المبدأ الكوني إلى مستوى 10⁻⁵ عبر رصد الخلفية الإشعاعية للكون. كما تم قياس تجانس الكون على المقاييس الأكبر حتى مستوى 10%. [28]

تمدد الفضاء [عدل]

•  مقالات مفصلة: إحدائيات روبرتسون-ووكر

• تمدد الكون

تصف النسبية العامة الزمكان وفق نظام متري، يمكن من خلاله تحديد المسافات التي تفصل أي نقطة عن نقطة قريبة. هذه النقاط قد تكون مجرات أو نجوم أو أشياء أخرى، هذه النقاط نفسها يتم تحديدها باستخدام متعدد شعب أو "شبكة" تشمل كل الزمكان. ينص المبدأ الكوني أن هذا النظام المتري يجب أن يكون متجانس ومُوحدّ الخواص في المقاييس الكبيرة يمكن تمييزه باستخدام إحدائيات روبرتسون-ووكر. هذه الإحدائيات تحتوي على مقياس يصف تغيّر حجم الكون عبر الزمن، مما ييسر اختيار نظام إحداثي مناسب يدعى مسافة المسائرة. وفق هذا النظام الإحداثي تتمدد الشبكة بتمدد الكون، وتبقى الأجسام التي تتحرك بتمدد الكون في مواضع ثابتة على الشبكة، وتبقى مسافاتها الإحدائية) مسافات المسائرة (ثابتة، في الوقت الذي تتزايد فيه المسافات الفعلية بين الأجسام إطرادياً بتمدد الكون. [29]

لا يعد الانفجار العظيم انفجارًا للمادة يتحرك نحو الخارج لملء كون فارغ. ولكن بمرور الوقت يتمدد الكون في كل اتجاه وتترايد المسافات الفعلية بين الأجرام السماوية ، وهذا ما تشير إليه الأرصاد الفلكية الحديثة. ونظرًا لكون إحدائيات روبرتسون-ووكر تفترض توزيعًا منتظمًا للكتلة والطاقة، فإنها تنطبق فقط على القياسات الكبيرة، أما النطاقات المحدودة من المادة مثل مجرتنا المترابطة تجاذبيًا فلا تنطبق عليها نظرية التمدد واسع النطاق كما في الفضاء خارج مجرتنا.

[الآفاق]عدل

من الخواص الهامة لزمكان الانفجار العظيم هو وجود الآفاق. ونظرًا لحقيقة أن الكون له عمر محدد، وأن الضوء ينتقل بسرعة محددة، فقد تكون هناك أحداث حدثت في الماضي لم يتوفر لها الوقت ليتمكن ضوءها من الوصول إلينا، مما جعل هناك حدًا للمسافة الأفقية التي يمكن رصدها. على العكس، نظرًا لتمدد الفضاء، تبتعد الأجسام البعيدة بسرعة أكبر من أي وقت مضى، وقد لا يُدرك الضوء المنبعث بواسطتنا اليوم أبدًا الأجسام البعيدة للغاية. فبالتالي، يُمكن تعريف الأفق المستقبلي بأنه الأفق الذي يحدد الأحداث المستقبلية التي سنتمكن من التأثير فيها. لذا فإن وجود أي نوع من الآفاق يعتمد على تفاصيل نموذج إحدائيات روبرتسون-ووكر الذي يصف كوننا. كما أن فهمنا للكون يعتمد على افتراضنا وجود أفق قديم في العصور السحيقة، على الرغم من أنه واقعيًا نظرًا أيضًا محدودة لغموض الكون في لحظاته الأولى، أي أن رؤيتنا لا يمكنها أن تمتد إلى هذا الماضي البعيد، كما أنه إذا استمر الكون في التسارع، سيكون هناك أفق مستقبلي. [30]

[التاريخ]عدل

 انظر أيضًا: خط زمني لعلم الكون

[التسمية]عدل

كان الفلكي الإنجليزي فريد هويل أول من أطلق مصطلح "الإنفجار العظيم" بالإنجليزية (Big Bang): خلال مقابلة له مع هيئة الإذاعة البريطانية سنة 1949 م. ومن الشائع بين الناس أن هويل الذي كان

يفضل نموذج " الحالة الثابتة " الكوني، كان يقصد من تلك التسمية السخرية، إلا أن هويل نفسه نفى ذلك صراحةً، وقال أن التسمية كانت للفت النظر وتسليط الضوء على الفرق بين النموذجين لمستمعي الراديو. [31][32][33]

التطور [عدل]

حقل هابل العميق الأقصى (XDF)



صورة (XDF) مقارنة مع حجم القمر، عدة آلاف من المجرات كل منها تتكون من مليارات النجوم في مساحة العرض الصغيرة.



صورة (XDF) التقطت عام 2012 يظهر فيها عدة بُقَع من الضوء كل منها يُمثل مجرة بعضها عمره نحو 13.2 مليار سنة، [34] ويُقدّر عدد مجرات الكون بحوالي 200 مليار مجرة



صورة (XDF) تُظهر مجرات مكتملة في الإطار الأول عمرها أقل من 5 مليار سنة، وأخرى شبه مكتملة عمرها بين 5 إلى 9 مليار سنة في الإطار الثاني، ومجرات بدائية مصحوبة بنجوم ملتهبة عمرها أكثر من 9 مليار سنة في الإطار الثالث.

تطورت نظرية الانفجار العظيم من خلال رصد بنية الكون والأبحاث النظرية. ففي سنة 1912 م، قام فيستو سليفر بأول قياس لتأثير دوبلر للسديم الحلزوني السديم الحلزوني هو مُسمّى قديم للمجرات الحلزونية)، وسرعان ما اكتشف أن تقريبًا جميع تلك السُدُم كانت منحسرة عن الأرض، في الوقت الذي كان فيه نزاع شابلي-كورتيس المثير للجدل محتدمًا حول ما إذا كانت هذه السدم "أكوان جُزئية" خارج مجرتنا درب التبانة. [35][36] وبعد عشر سنوات، استنتج عالم الكون الفيزيائي والرياضي الروسي ألكسندر فريدمان معادلات فريدمان من معادلات أينشتاين للمجال، مُبينًا أن الكون قد يكون يتمدد مُخالفًا بذلك نموذج الكون الساكن التي كان أينشتاين يؤيدها وقتئذٍ. [37] وفي سنة 1924 م، أظهر قياس إدوين هابل لمسافة أقرب السدم الحلزونية، أن تلك النظم هي بالتأكيد مجرات أخرى. وبصورة مستقلة، استنتج الكاهن الكاثوليكي والفيزيائي جورج لوميتر عام 1927 معادلات فريدمان، وتوصّل إلى أن انحسار السدم يُستدل منه على تمدد الكون. [38] وفي سنة 1931 م، ذهب لوميتر أبعد من ذلك وافترض أنه نتيجة التمدد الواضح للكون، فلا بد لو عُدنا بالزمن أن نجد في لحظة ما كانت كل مادة الكون مجتمعة في نقطة ما على هيئة "ذرة بدائية" عندها بدأ الزمن والفضاء في النشوء. [39]

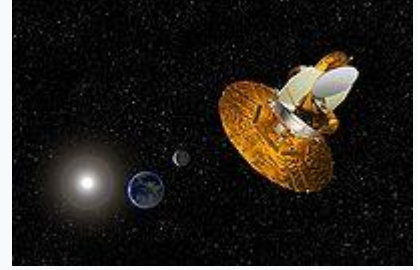
بداية من سنة 1924 م، وضع هابل سلسلة من مؤشرات المسافة التي سبقت وضع سلم المسافات الكونية مستخدمًا مقراب هوبر الذي قطره 100-بوصة (2,500 مم) في مرصد جبل ويلسون. سمح له ذلك بتقدير المسافات إلى المجرات التي كان انزياحها الأحمر قد قيس بالفعل، أغلبها بواسطة سيفلر. وفي سنة 1929 م، اكتشف هابل وجود علاقة بين المسافة وسرعة الانحسار (يعرف الآن بقانون هابل)، [7][40] وهو ما توقعه لوميتر وفقًا للمبدأ الكوني. [26]

في عشرينيات وثلاثينيات القرن الماضي، كان معظم علماء الكون الفيزيائي البارزين من مؤيدي فرضية الحالة الثابتة السرمدية للكون، وتدمر العديد منهم من القول بأن نشأة الزمن نتيجة انفجار عظيم مستوحى من مفاهيم دينية، وهو الاعتراض الذي رده مؤيدو نظرية الحالة الثابتة فيما بعد. [41] عزز هذا التصور حقيقة أن منشأ نظرية الانفجار العظيم هو الكاهن الروماني الكاثوليكي جورج لوميتر. [42] كان آرثر ستانلي إدينغتون من المؤمنين برأى أرسطو أن الكون ليس له بداية زمنية، وأن المادة أصلها سرمدى، مما جعله يبغض فكرة نشأة الزمن. [43][44] أما لوميتر، فقد اعتقد بأنه: «إذا كان العالم قد بدء بكم واحد، فإن مفاهيم المكان والزمان لن يكون لها معنى عند نشأة العالم؛ وستبدأ فقط في أن يكون لها معنى معقول عند انقسام الكم الأصلي إلى عدد كاف من الكمات. وإذا كانت هذه الفرضية صحيحة، فستكون أسطورة الخلق قد حدثت قبل وقت قليل من بداية الزمان والمكان. [45] «وخلال الثلاثينيات، ظهرت أفكار أخرى غير قياسية لتفسير أرساد هابل، ومنها نموذج ميلن [46] و الكون المتذبذب اقتراحه فريدمان في البداية، ثم دافع عنه ألبرت أينشتاين وريتشارد تولمان [47] وفرضية الضوء المُرهب لفريتز زفيكي. [48]

بعد الحرب العالمية الثانية، ظهرت فرضيتان متميزتان. الأولى نظرية الحالة الثابتة لفريد هويل؛ إذ وفقاً لها فإنه لا بد من تولد مادة جديدة في حالة تمدد الكون. يفترض هذا النموذج أن الكون يبقى كما هو في أي وقت من الزمن. [49] والثانية كانت نظرية الانفجار العظيم للوميتر التي دافع عنها وطورها جورج جاموف الذي وضع فكرة تخليق الانفجار العظيم النووي (BBN)، [50] والذي شارك رالف ألفر وروبرت هيرمان في التكهّن بوجود الخلفية الإشعاعية للكون. (CMB) [51] ومن المفارقات، أن هويل هو من صاغ العبارة التي جاء منها اسم نظرية لوميتر، عندما أشار إليها بقوله: «فكرة هذا الانفجار العظيم» خلال مقابله مع راديو هيئة الإذاعة البريطانية في مارس 1949 م. [32] ولفترة من الوقت، انقسم المؤيدون بين هاتين النظريتين. وفي نهاية المطاف، أعطت الأدلة الرصدية أفضلية للانفجار العظيم في مقابل الحالة الثابتة. كان اكتشاف وتأكيد وجود الخلفية الإشعاعية للكون سنة 1964

م[52] حاسماً في جعل نظرية الانفجار العظيم أفضل نظرية حول أصل ونشأة الكون. يسعى الكثير من العمل الحالي في علم الكونيات إلى فهم كيفية تكوّن المجرات وفق نظرية الانفجار العظيم، ومحاولة فهم فيزياء الكون في الأزمنة السحيقة، والتوفيق بين الأرصاد والنظرية الأساسية. في نهاية عقد التسعينيات، تحقق تقدم كبير في تفسير الانفجار العظيم نتيجة تقدم تقنيات المقرب وتحليل البيانات المستخلصة عبر الأقمار الصناعية مثل مستكشف الخلفية الكونية[53] ومرصد هابل الفضائي ومسبار ويلكينسون لقياس اختلاف الموجات الراديوية[54] ولدى علماء الكون الآن قياسات مُحكمة ودقيقة إلى حد ما لكثير من متغيرات نموذج الانفجار العظيم، مكّنتهم من الاكتشاف غير المتوقع بأن تمدد الكون يبدو كما لو كان يتسارع.

أدلة رصدية[عدل]



تصوّر فني للقمر الصناعي مسبار ويلكينسون لقياس اختلاف الموجات الراديوية الذي يجمع بيانات لمساعدة العلماء على فهم الانفجار العظيم.

إن صورة الانفجار العظيم ترسّخت بقوة بالبيانات التي جُمعت من كل منطقة بهدف إثبات فساد خصائصه العامة. —لورنس كراوس[55]

إن أقدم الأدلة الرصدية وأكثرها صراحةً في إثبات فعالية نظرية الانفجار العظيم هو تمدد الكون وفق قانون هابل (مُمثلاً في الانزياح الأحمر للمجرات)، واكتشاف وقياس الخلفية الإشعاعية للكون والوفرة النسبية للعناصر الخفيفة الناتجة عن تخليق الانفجار العظيم النووي. أما الأدلة الأحدث، فقد شملت

رصد تشكل وتطور المجرات، وتوزيع الكون المرصود،[56] وأحياناً يُطلق على تلك الأدلة "الأعمدة الأربعة" لنظرية الانفجار العظيم.[57]

تناولت النماذج الدقيقة الحديثة للانفجار العظيم العديد من الظواهر الفيزيائية الغريبة التي لم يتم ملاحظتها في التجارب المعملية الأرضية أو دمجها في النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات. من بين تلك الظواهر، تخضع المادة المظلمة حاليًا لأكثر الأبحاث المعملية نشاطًا [58] ومن بين القضايا الأخرى قيد البحث مشكلة وجود المجرات القزمة في المادة المظلمة الباردة. وتُعد الطاقة المظلمة أيضًا محورًا لاهتمام كبير من العلماء، ولكن ليس من الواضح ما إذا كان الاستكشاف المباشر للطاقة المظلمة سوف يكون ممكنًا [59] ويبقى التضخم الكوني ونشأة الباريونات من أكثر نماذج الانفجار العظيم التي تدعو للتفكير.

قانون هابل وتمدد الفضاء [عدل]

مقالات مفصلة: قانون هابل

تمدد الكون

انظر أيضًا: مقياس المسافة في الفلك وعامل التحجيم

أظهرت عمليات رصد أبعاد المجرات والنجوم الزائفة أن الانزياح الأحمر للضوء المنبعث من تلك الأجسام له أطوال موجية أكبر. ويمكن ملاحظة ذلك بدراسة طيف تردد هذا الجسم ومطابقته بنموذج مطيافية خطوط الانبعاث أو خطوط الامتصاص المصاحبة لذرات العناصر الكيميائية التي تتفاعل مع هذا الضوء. هذه الانزياحات الحمراء متجانسة الخواص، وموزعة بالتساوي بين الأجسام المرصودة في كل الاتجاهات. وإذا تم تصنيف الانزياح الأحمر على أنه انزياح دوبلر، فبالإمكان حساب سرعة ابتعاد هذا الجسم. بعض المجرات يمكن تقدير بعدها من خلال سلم المسافات الكونية. وعند رسم سرعات ابتعادها إلى مسافاتهما، تنتج علاقة خطية تُعرف باسم قانون هابل: [7]

$$v = H_0 D$$

حيث

v هي سرعة ابتعاد مجرة أو أي جسم بعيد.

- D هي المسافة إلى الجسم
- H_0 هو ثابت هابل، الذي قدره مسبار ويلكنسون بـ $70.4^{+1.3}$ كيلومتر/ثانية/فرسخ فلكي. [24]

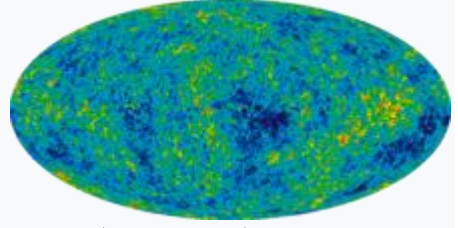
هناك تفسيران محتملان لقانون هابل. الأول أننا في مركز انفجار المجرات، وهو أمر لا يمكن تأكيده وفقاً لمبدأ كوبرنيكوس، والثاني أن الكون يتمدد في كل اتجاه. نظرية تمدد الكون استُنتجت من خلال نظرية النسبية العامة عن طريق ألكسندر فريدمان سنة 1922 م، [37] وجورج لوميتير سنة 1927 م، [38] أي قبل أن يقوم هابل بأرصاده وتحليلاته سنة 1929 م، التي أصبحت حجر الزاوية في نظرية الانفجار العظيم، ونتج عنها وضع إحداثيات روبرتسون-ووكر.

تفترض تلك النظرية أن العلاقة $v = HD$ ثابتة في جميع الأوقات، حيث D هي المسافة، v هي سرعة الابتعاد، وأن v و H و D تتغير نظراً لتمدد الكون (وبالتالي تُكتب H_0 للدلالة على ثابت هابل المعاصر). وبالنسبة للمسافات الأصغر في حيز الكون المرصود، يمكن اعتبار انزياح هابل الأحمر على أنه انزياح دوبلر المصاحب لسرعة الابتعاد v . ومع ذلك، فإن الانزياح الأحمر ليس انزياح دوبلر حقيقي، وإنما هو الناتج عن تمدد الكون في الوقت الذي انبعث فيه الضوء إلى الوقت الذي تم اكتشافه فيه. [60]

وفي سنة 2000 م، أثبتت قياسات تأثيرات الخلفية الإشعاعية للكون على حركة النظم الفيزيائية الفلكية البعيدة مبدأ كوبرنيكوس بأنه بالمقاييس الفلكية، فإن الأرض ليست في وضع مركزي. [61] وقد كانت إشعاعات الانفجار العظيم أكثر دفئاً في الماضي في جميع أنحاء الكون. ولا يمكن تفسير التبريد المنتظم للخلفية الموجية للكون عبر مليارات السنين إلا في حالة أن يكون الكون يتمدد، واستبعاد احتمالية أننا بالقرب من المركز الأصلي للانفجار.

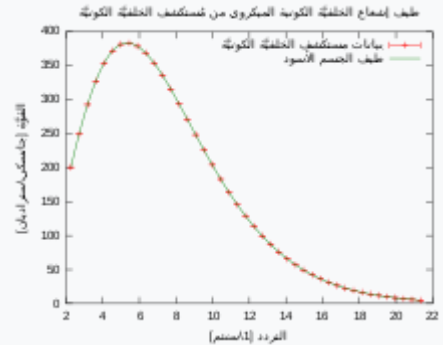
الخلفية الإشعاعية للكون [عدل]

•  مقالة مفصلة: الخلفية الإشعاعية للكون



صورة ملتقطة بواسطة مسبار ويلكنسون عام 2012 على مدار 9 سنوات للخلفية الإشعاعية للكون. [62][63] تُظهر تجانس الخواص الإشعاعية بدقة تصل إلى جزء من 100,000 جزء. [64]

في سنة 1964 م، اكتشف آرنو بينزياس و روبرت ويلسون مصادفة الخلفية الإشعاعية للكون، التي هي إشارة أحادية في حزمة الموجات الصغيرة. [52] قدم اكتشافهما تأكيدًا للتنبؤات بوجود خلفية إشعاعية للكون، وقد وُجد أن الإشعاع ثابت ومعظمه متسق مع طيف الجسم الأسود في كل الاتجاهات، وأن هذا الطيف انزاح انزياحًا أحمرًا من تمدد الكون، ويتوافق في الوقت الحاضر مع ما يقرب من 2.725 كلفن. مما أعطى دليل إضافي يعطي أفضل نموذج للانفجار العظيم، ومُنح بينزياس وويلسون جائزة نوبل سنة 1978 م.



طيف الخلفية الإشعاعية للكون مُقاسًا بجهاز FIRAS في مستكشف الخلفية الكونية، والذي يُعد أكثر طيف لجسم أسود مُقاسًا بدقة في الطبيعة. [65]

تكوّن السطح المبعثر الأخير المصاحب للخلفية الإشعاعية للكون بعد فترة وجيزة من حقبة إعادة الاندماج، التي أصبح فيها الهيدروجين مستقرًا. قبل ذلك، كان الكون يتألف من بحر من بلازما فوتونية-باريونية كثيفة وساخنة حيث كانت الفوتونات تتشبت بسرعة عن الجسيمات المشحونة الحرة. وتبلغ ذروتها عند حوالي 372 ± 14 ألف سنة، [23] وأصبح متوسط

المسار الحر للفوتون طويلاً بما فيه الكفاية ليصل إلينا اليوم، وأصبح الكون شفافاً.

وفي سنة 1989 م، أطلقت ناسا مستكشف الخلفية الكونية (COBE). كانت النتائج التي توصلت إليها متوافقة مع التنبؤات فيما يتعلق الخلفية الإشعاعية للكون، ووجدت أن درجات الحرارة المتبقية حوالي 2.726 كلفن (القياسات الأخيرة خفّضت الرقم قليلاً إلى 2.725 كلفن)، وقدمت أول دليل على وجود تقلبات في الخلفية الإشعاعية للكون، في مستوى حوالي جزء واحد من 10⁵ جزء. [53] ومُنح جون ماثر وجورج سموت جائزة نوبل لقيادتهم لهذا العمل. خلال العقد التالي، فُحصت تقلبات الخلفية الإشعاعية للكون أكثر بواسطة عدد كبير من البالونات والتجارب الأرضية. وبين عامي 2000-2001 م، كانت أكثر التجارب ملحوظية هي تجربة بوميرانجالتى اكتشفت أن شكل الكون تقريباً مُسطح عن طريق قياس الحجم الزاوي (الحجم في السماء) للمناطق غير المتجانسة في الخلفية الإشعاعية للكون. في بداية سنة 2003 م، نُشرت النتائج الأولية لـ مسبار ويلكينسون لقياس اختلاف الموجات الراديوية (WMAP)، التي كانت في وقتها القيم الأكثر دقة لبعض المتغيرات الكونية. فنّدت النتائج بعض نماذج التضخم الكوني، ولكنها توافقت مع نظرية التضخم بشكل عام. [54] وفي مايو 2009 م، أُطلق مرصد بلانك الفضائي، ومازالت العديد من تجارب الأرضية والبالونية لاختبار الخلفية الإشعاعية للكون جارية.

وفرة العناصر الأولية [عدل]

مقالة مفصلة: تخليق الانفجار العظيم النووي

باستخدام نموذج الانفجار العظيم، من الممكن حساب تراكيزات هيليوم-4 و هيليوم-3 و ديوتيريوم و ليثيوم-7 في الكون نسبةً إلى كمية الهيدروجين العادي. [21] وتعتمد الوفرة النسبية لتلك العناصر على متغير وحيد، وهو نسبة الفوتونات إلى الباريونات. هذه القيمة يمكن حسابها وحدها من تفاصيل بنية تقلبات الخلفية الإشعاعية للكون. والنسب المتنبأة (بالوزن لا بالعدد) حوالي 0.25 لنسبة $^4\text{He}/\text{H}$ وحوالي

10⁻³ لنسبة $^2\text{H}/\text{H}$ وحوالي 10⁻⁴ لنسبة $^3\text{He}/\text{H}$ وحوالي 10⁻⁹ لنسبة $^7\text{Li}/\text{H}$. [21]

تتفق قيم وفرة تلك العناصر كلها تقريباً مع النسب المتنبأة من قيمة وحيدة لنسبة باريون/فوتون. تتفق النسبة المتنبأة للديوتيريوم بامتياز مع النسبة الحسابية، وتقترب نسبة ^4He مع بعض التجاوز، وتقترب من النصف في حالة ^7Li . وفي الحالتين الأخيرتين ينقصهما بعض الدقة، ومع ذلك، فإن التوافق العام مع نسب وفرة العناصر الأولية التي تنبأ بها تخليق الانفجار العظيم النووي هو دليل قوي على الانفجار العظيم، حيث أن النظرية هي التفسير الوحيد المعروف عن الوفرة النسبية لتلك العناصر الخفيفة، وأنه يكاد يكون من المستحيل "ضبط" الانفجار العظيم لإنتاج أكثر أو أقل من 20-30% هيليوم. [66] وفي الواقع لا يوجد سبب واضح يُلزم الكون بأن يكون فيه هيليوم أكثر من الديوتيريوم أو ديوتيريوم أكثر من $^3\text{He}/\text{H}$ وبنسب ثابتة أيضاً.

تطور المجرات وتوزيعها [عدل]

•  **مقالات مفصلة: تشكل وتطور المجرات**

• **تشكل البنية**

إن الأرصاد التفصيلية لتشكل وتوزيع المجرات و**النجوم الزائفة**، يُظهر توافقها مع نظرية الانفجار العظيم. فكل من النظرية والأرصاد افترضتا أن النجوم الزائفة والمجرات الأولى تشكلت بعد مليار سنة من الانفجار العظيم، ومنذ ذلك الحين تكونت تجمعات أكبر مثل **عناقيد المجرات والعناقيد المجرية الضخمة**. ثم نمت وتطورت عدد من النجوم، بحيث بدت المجرات البعيدة مختلفة جداً عن المجرات القريبة. وعلاوة على ذلك، بدا أن المجرات التي تشكلت مؤخرًا نسبيًا تختلف بشكل ملحوظ عن المجرات التي تشكلت على مسافات مماثلة، ولكن بعد وقت قصير من الانفجار العظيم. تعد تلك الأرصاد حججًا قوية ضد نموذج الحالة الثابتة. كما تتفق أرصاد **ولادة النجوم** وتوزيع المجرات والنجوم الزائفة بشكل جيد مع سيناريو الانفجار العظيم عن تشكل بنية الكون، وتساعد على إكمال تفاصيل النظرية. [67][68]

السحب الغازية الأولى]عدل]

في سنة 2011 م، وجد الفلكيون ما يعتقدون أنهما سحابتين بدائيتين من الغاز الأولي من خلال تحليل خطوط الامتصاص في أطياف النجوم الزائفة البعيدة. قبل هذا الاكتشاف، لوحظ أن جميع الأجسام الفلكية الأخرى تحتوي على عناصر ثقيلة التي تتكون في النجوم، بينما هاتين السحابتين من الغاز لا تحتويان على عناصر أثقل من الهيدروجين والديوتريوم. [69][70] ونظرًا لأنها لا تحتوي على عناصر ثقيلة، يُعتقد أنهما تكونتا في الدقائق الأولى للانفجار العظيم خلال تخليق الانفجار العظيم النووي، حيث تتوافق مكوناتهما مع المكونات المتوقع أن ينتجها تخليق الانفجار العظيم النووي. كان ذلك دليلًا مباشرًا على أنه كانت هناك حقبة في تاريخ الكون قبل تكوّن النجوم الأولى، حينها كانت معظم المواد الأولية موجودة في صورة سحب من الهيدروجين المستقر.

أدلة أخرى]عدل]

إن عمر الكون وفق تقديرات تمدد هابل والخلفية الإشعاعية للكون يتوافق إلى حد كبير مع التقديرات الأخرى التي تستخدم أعمار أقدم النجوم، فكلاهما قيس من خلال تطبيق نظرية التطور النجمي على التجمعات الكروية والتاريخ الإشعاعي للنجوم المعدنية. [71] كما أن التكهن بأن درجة حرارة الخلفية الإشعاعية للكون كانت أعلى في الماضي، تم تدعيمه تجاربيًا من خلال رصد خطوط الامتصاص المنخفضة الحرارة للغاية في سحب الغاز ذات الانزياح الأحمر الكبير. [72] ومن المفترض ضمناً من هذا التكهن أن مدى تأثير سونيايف-زيلدوفيتش في الكون المرصود لا يعتمد مباشرة على الانزياح الأحمر، وهو ما أثبتت الأرصاد صحته إلى حد كبير، ولكن هذا التأثير يعتمد على خصائص التجمعات المجرية التي تتغير مع الزمن الكوني، مما يجعل من الصعب قياسه بدقة. [73][74]

وفي 17 مارس 2014 م، أعلن فلكيو مركز هارفارد-سميثونيان للفيزياء الفلكية اكتشاف موجات ثقالية أولية، التي إن تم تأكيدها قد تعطي دليلاً قوياً على التضخم الكوني والانفجار العظيم. [9][10][11][12] ومع ذلك، في 19 يونيو 2014، انخفضت الثقة في تأكيد تلك

النتائج، [75][76][77] وفي 19 سبتمبر 2014، انخفض تأكيد النتائج أكثر. [78][79]

قضايا متعلقة في الفيزياء [عدل]

تباين الباريونات [عدل]

مقالة مفصلة: [تباين الباريون](#)

إلى الآن، من غير المعروف لماذا يحتوي الكون على مواد أكثر من مضادات تلك المواد. [80] ومن المفترض عامة أنه عندما كان الكون ناشئاً وشديد الحرارة، كان في حالة توازن استاتيكي وكان يحتوي على عدد متكافئ من الباريونات ومضادات الباريونات. ورغم ذلك، فإن نتائج الأرصاد تقول بأن الكون بما فيه أبعد أجزائه يتكون بأكمله تقريباً من المادة (بمعنى لا وجود لمضاداتها). ويفترض أن التباين نشأ في عملية نشأة الباريونات. فلكي تحدث عملية نشأة الباريونات، يجب أن تتحقق الشروط التي وضعها [ساخاروف](#) لنشأة الباريونات. وهو ما يتطلب أن يبقى عدد الباريونات غير ثابت، حيث حدث انتهاك [لتنظر الشحنة السوية](#)، وابتعد الكون عن [التوازن الترموديناميكي](#). [81] كل تلك الظروف حدثت في [نظرية النموذج العياري](#)، لكن تأثيرها لم يكن كافياً لتفسير تباين الباريونات الحالي.

الطاقة المظلمة [عدل]

مقالة مفصلة: [طاقة مظلمة](#)

أوضحت قياسات العلاقة بين [الانزياح الأحمر](#) - [القدر الظاهري](#) [لمستعر أعظم من النوع 1أ](#) أن تمدد الكون بدأ في التسارع منذ كان الكون في نصف عمره الحالي. ولتفسير هذا التسارع، تقول نظرية النسبية العامة بأنه يتطلب أن تكون معظم طاقة الكون سلبية التي تُعرف باسم "الطاقة المظلمة". تحل الطاقة المظلمة العديد من المشاكل. فقياسات الخلفية الإشعاعية للكون توضح أن الكون تقريباً مُسطح، وبالتالي ووفقاً للنسبية العامة، لا بد وأن يكون للكون قيمة كتلة/طاقة تماماً وفق [حسابات معادلات فريدمان](#). ولكن بحساب كثافة الكتلة من خلال جاذبيتها، ووجد أنها تعادل فقط حوالي 30% من كثافتها الحرجة. [26] ونظراً لافتراض النظرية أن

الطاقة المظلمة لا تتجمع بالطريقة الاعتيادية، فيكون ذلك هو التفسير الأمثل للفقد في كثافة الطاقة. وتساعد الطاقة المظلمة في تفسير مقياسين حجريين للمنحنى الكلي للكون، الأول باستخدام تردد عدسات الجاذبية، والآخر يستخدم النموذج المميز للكون المرصود كمسطرة كونية.

يعتقد أن الضغط السلبي هو أحد خواص طاقة الفراغ، لكن طبيعة ووجود الطاقة المظلمة لا يزال أحد أكبر ألغاز الانفجار العظيم. وفي سنة 2008 م، توصل فريق مسبار ويلكنسون إلى أن الكون يتكون من 73% طاقة مظلمة و 23% مادة مظلمة و 4.6% مادة عادية وأقل من 1% نيوتريونات [24] ووفقاً للنظرية، فإن كثافة الطاقة في المادة تقل مع تمدد الكون، ولكن تبقى كثافة الطاقة المظلمة ثابتة مع تمدد الكون. ولذا، كانت المادة في الماضي تمثل جزءاً أكبر من الطاقة الكلية للكون أكثر مما هي عليه اليوم، وستقل نسبة مساهمتها في المستقبل البعيد عندما تصبح الطاقة المظلمة أكثر هيمنة.

المادة المظلمة [عدل]

مقالة مفصلة: مادة مظلمة



رسم بياني يوضح نسب المكونات المختلفة للكون حيث تُمثّل المادة المظلمة والطاقة المظلمة حوالي 95% من مكونات الكون.

خلال سبعينيات وثمانينيات القرن العشرين، أظهرت عدة أعمال رصد عدم وجود مادة مرئية كافية في الكون لتُشكّل قوة جذب واضحة داخل وبين المجرات. أدى ذلك إلى التفكير بأن نحو 90% من المادة في الكون هي مادة مظلمة لا ينبعث منها ضوء ولا تفاعل مع المادة الباريونية العادية. ورغم أن فرضية وجود المادة المظلمة مثيرة للجدل، إلا أنه يُستدل عليها من خلال عمليات الرصد المختلفة: مثل عدم التجانس في الخلفية الإشعاعية للكون وانخفاض سرعات عناقيد

المجرات وتوزيع بنية الكون ودراسات عدسة الجاذبية وقياسات الأشعة السينية لعناقيد المجرات. [82] كما أن هناك دلائل أخرى غير مباشرة على وجود المادة المظلمة مثل تأثيرها الجذبوي على المواد الأخرى، وما زال العديد من المشاريع البحثية الجارية في فيزياء الجسيمات للتعرف على طبيعة المادة المظلمة. [83]

عمر التجمعات الكروية [عدل]

في منتصف التسعينيات، أظهرت أرصاد التجمعات الكروية عدم توافقها مع نظرية الانفجار العظيم. وتشير المحاكاة الحاسوبية لعمليات رصد نجوم التجمعات الكروية أن عمرها حوالي 15 مليار سنة، وهو ما يتعارض مع تقدير عمر الكون الذي هو حوالي 13.8 مليار سنة. تم حل هذه المشكلة جزئياً في أواخر التسعينيات، عندما أجريت محاكاة حاسوبية جديدة شملت تأثيرات فقد الكتلة نتيجة الرياح النجمية، مما جعل عمر تلك التجمعات الكروية أصغر من التقدير الأول. [84] وبقيت هناك عدة أسئلة حول دقة تقدير أعمار تلك التجمعات الكروية.

سبب الحدوث [عدل]

مقالة مفصلة: مسألة لماذا هناك أي شيء على الإطلاق

كتب غوتفريد فيلهيلم لايبنتز "« لماذا هناك شيء بدلاً من لا شيء؟ السبب الكافي [...] يعثر عليه في مادة [...] هي ذاتها كائن ضروري يحمل سبباً لوجوده ضمن نفسه»". [85] لقد جادل فيلسوف الفيزياء دين ريكلز [86] أن الأرقام والرياضيات (أو القوانين المبطنة لهم) قد تكون ضرورياً موجودة. [86][87] يمكن للفيزياء أن تستنتج أن الزمن لم يكن موجوداً قبل "انفجار عظيم"، ولكن "بدأ" مع الانفجار العظيم وبالتالي يمكن أن لا يكون هناك "بداية"، "قبل" أو تبعياً "سبب" وبدلاً عن ذلك كان الزمن موجوداً دائماً. [88][89] البعض يجادل أن اللاشيء لا يمكن أن يوجد أو أن عدم الوجود ربما لم يكن خياراً أبداً. [90][91] الاهتزازات الكمية، أو قوانين فيزيائية أخرى التي من الممكن أن تكون قد تواجدت في بداية الانفجار العظيم كان بإمكانها بعد ذلك أن تنشئ الشروط اللازمة من أجل أن تتكون المادة.

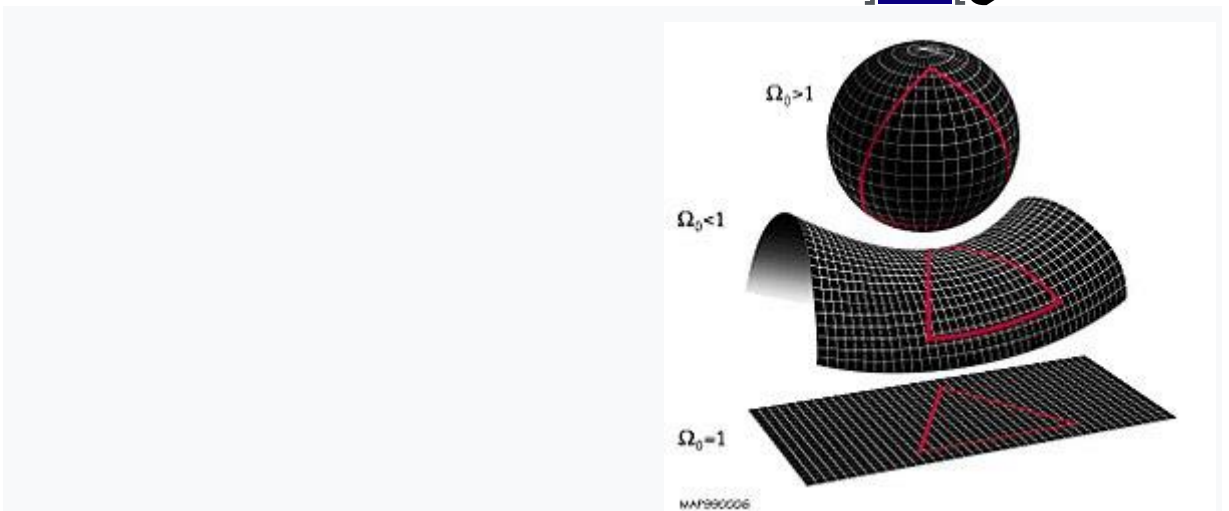
[مشاكل] عدل]

لا زالت هناك ثلاث مشاكل رئيسية قائمة في مواجهة نظرية الانفجار العظيم: مشكلة الأفق ومشكلة التسطح ومشكلة أحادية القطب المغناطيسي. لعل التفسير الأمثل لسبب حدوث تلك المشاكل هو التضخم الكوني. [92][93]

[مشكلة الأفق] عدل]

تكمن مشكلة الأفق الكوني في حقيقة أن المعلومات أو الخواص لا يمكنها أن تنتقل أسرع من الضوء، وبالتالي فإنه في كوننا محدود العمر، لا بد من وجود حد للمسافة بين أي منطقتين في الفضاء متحدتين في الخصائص. [94] أي أن هناك مناطق مختلفة في الكون لن يكون لها نفس الخواص نظرًا للمسافات الكبيرة بينها وعدم توافر الوقت الكاف لها لكي تتوحد في الخواص، إلا أن هذا يتناقض مع حقيقة توحد مناطق الكون في نفس درجة الحرارة والخصائص الفيزيائية الأخرى. وقد قدمت فرضية التضخم الكوني حلاً لهذا التناقض الواضح، فقبل حدوث التضخم الكوني كان الكون وحدة أصغر في الحجم متجانسة الخواص، إلا أنه بحدوث هذا التضخم تمدد الكون بصورة هائلة في فترة قصيرة جدًا من الزمن، مما جعل هناك مناطق متباعدة متوحدة الخواص.

[مشكلة التسطح] عدل]



تحدد هندسية شكل الكون من خلال قيمة ناتج معامل أوميغا الكوني، وما إذا كانت قيمته أقل أو يساوي أو أكبر من 1. والرسم يظهر من أعلى إلى

أسفل شكل الكون في حالات قيمة المعامل الإيجابية والسلبية وعندما قيمته تساوي 1 على الترتيب.

ومن المشاكل الأخرى التي واجهت نظرية الانفجار العظيم مشكلة التسطح. فشكل الكون قد يكون ذو انحناء موجب أو سالب أو بلا انحناء وفقاً لقيمة كثافة طاقته الكلية. يكون الانحناء سلبياً إذا كانت كثافة الطاقة أقل من الكثافة الحرجة وفقاً لمعادلات فريدمان، وإيجابياً إذا كانت القيمة أكثر من الكثافة الحرجة، ويكون مُسطحاً إذا كانت الكثافة تساوي قيمة الكثافة الحرجة. وتكمن المشكلة في أن أي حيود مع مرور الوقت عن قيمة كثافة الطاقة الحرجة سيغير من حالة التسطح التي عليها الكون اليوم. كما أنه لا شك بأن كثافة طاقة الكون بعد دقائق من الانفجار العظيم لم يكن حيودها عن القيمة الحرجة لكثافة الطاقة بأكثر من جزء من 10¹⁴ من القيمة الحرجة، وإلا لما كان الكون سيكون على حالة تسطحه التي هو عليها اليوم. [95] وقد قدمت فرضية التضخم الكوني أيضاً حلاً لتلك الإشكالية، حيث كان للتضخم الهائل في زمن قياسي دوره في الحفاظ على تجانس كثافة الطاقة في الكون رغم تمدده المتسارع، مما حافظ على تجانس حالة تسطحه وعدم اضطرابها من منطقة لأخرى في الكون. [96][97]

مشكلة أحادية القطبية [عدل]

أثيرت مشكلة أحادية القطبية الكهرومغناطيسية في أواخر سبعينيات القرن العشرين، حيث تنبأت نظريات التوحيد الكبرى بوجود عيوب طوبولوجية في الفضاء، قد ينتج عنها تواجد مناطق أحادية القطبية، وأن تلك المناطق المعيبة نشأت قديماً في الكون عندما كان الكون ساخناً، مما أدى إلى زيادة في كثافة تلك المناطق. إلا أن عمليات الرصد لم ترصد مناطق أحادية القطبية في الكون المرصود. هذه المشكلة أيضاً وُجد لها حلاً افتراضياً من خلال فرضية التضخم الكوني، حيث افترض أن التضخم الكوني فائق السرعة أزاح كل تلك المناطق المعيبة خارج نطاق الكون المرصود. [94]

مصير الكون في نظرية الانفجار العظيم [عدل]

مقالة مفصلة: مصير الكون

قبل الأرصاد التي تمت على الطاقة المظلمة، كان لدى علماء الكون سيناريوين حول مستقبل الكون. الأول إذا زادت كثافة كتلة الكون عن الكثافة الحرجة وفق معادلات فريدمان، فإن الكون سيصل إلى حجم أقصى ثم يبدأ في الانهيار، حيث سيصبح أكثر كثافة وسخونة مرة أخرى، وينتهي إلى حالة مماثلة لتلك التي بدأ منها، فيما يُعرف بالانسحاق العظيم.^[30] السيناريو الآخر إذا كانت الكثافة تساوي أو أقل من الكثافة الحرجة، فإن تمدد الكون سيتباطأ، ولكن لن يتوقف أبدًا. وسيتوقف تشكّل النجوم مع استهلاك الغاز بين النجوم في كل مجرة، وستحترق النجوم مُخلفة الأقزام البيضاء والنجوم النيوترونية والثقوب السوداء. وتدرجيًا، ستتصادم تلك الأجسام وتتجمع وستنتج عن ذلك ثقوب سوداء أكبر. وسيقترب متوسط درجة حرارة الكون من الصفر المطلق، وسيحدث التجمد الكبير. وعلاوة على ذلك، فنظرًا لعدم استقرار البروتونات، ستختفي المادة الباريونية تاركة فقط إشعاع و ثقوب سوداء. في نهاية المطاف، فإن الثقوب السوداء ستتبخر عن طريق انبعاث إشعاع هوكينغ. وستزداد إنتروبيا الكون إلى النقطة التي لن تسمح بوجود أي شكل مُنظّم للطاقة، ويُعرف هذا السيناريو باسم الموت الحراري للكون. كما تستنتج الأرصاد الحديثة لتسارع تمدد الكون أن الكثير من مناطق الكون المرصود حاليًا سوف تخرج من أفقنا.

أما نموذج لامبدا-سي دي إم فيشمل وجود طاقة مظلمة في شكل ثابت كوني، حيث تقترح تلك النظرية أن الأنظمة المترابطة بالجاذبية مثل المجرات، ستبقى معًا، وأنها أيضًا ستكون معرضة للموت الحراري مع تمدد الكون وتبرده. ومن التفسيرات الأخرى للطاقة المظلمة، نظريات الطاقة الوهمية، التي تفترض أن التجمعات المجرية والنجوم والكواكب والذرات والأنوية والمادة نفسها ستنمزق مع تزايد تمدد الكون في ما يسمى بالتمزق العظيم.^[98]

اعتقادات خاطئة [عدل]

ما يلي لائحة جزئية لاعتقادات خاطئة شائعة عن نظرية الانفجار العظيم.

الانفجار العظيم هو أصل الكون :أحد الاعتقادات الخاطئة الشائعة عن نموذج الانفجار العظيم هو اعتقاد أنه كان أصل الكون. لكن نموذج الانفجار العظيم لا يعلق على كيفية مجيء الكون للحدث. النسخة الحالية لنموذج الانفجار العظيم تفترض وجود الطاقة، الزمن، والمكان، ولا تعلق على أصل أو مسبب الحالة الأولية العالية الحرارة والكثيفة للكون.[99]

الانفجار العظيم كان "صغيراً" :إنه من المخادع أن تتصور الانفجار العظيم عن طريق مقارنة حجمه بالأشياء اليومية. عندما يتم وصف حجم الكون عند الانفجار العظيم، إنه يتم الإشارة إلى حجم الكون المرصود لا الكون بأكمله.[100]

قانون هابل يناقض نظرية النسبية الخاصة :يتوقع قانون هابل أن المجرات الخارجة عن مسافة هابل تتكفى بسرعة أعلى من سرعة الضوء. ولكن النسبية الخاصة لا تطبق خارج نطاق الحركة في المكان. قانون هابل يصف السرعة الناتجة عن تمدد المكان لا التمدد في المكان.[100]

انزياح دوبلر الأحمر ضد الانزياح الأحمر الكوني :باحثوا الفلك يقومون بالعادة بالإشارة إلى الانزياح الأحمر الكوني كانزياح دوبلر عادي، [100] والذي هو اعتقاد خاطئ. رغم أنهما متماثلين، الانزياح الأحمر الكوني ليس مطابقاً لانزياح دوبلر الأحمر. انزياح دوبلر الأحمر مبني على النسبية الخاصة، والتي لا تأخذ بعين الاعتبار تمدد المكان. على العكس، الانزياح الأحمر الكوني مبني على النسبية العامة، والتي فيها يتم أخذ تمدد المكان بعين الاعتبار. رغم أنه بإمكانهم أن يبدوا متطابقين للمجرات القريبة، من الممكن أن يسبب هذا حيرة إذا كان سلوك المجرات البعيدة مفهوماً من خلال انزياح دوبلر الأحمر.[100]

تأملات فيزيائية في نظرية الانفجار العظيم[عدل]

الأغشية، والنموذج الدوري وهو بديل لنموذج التحول الناري الذي يفترض حدوث اصطدامات بصفة دورية بعد مرحلة انسحاق عظيم وتنقل الكون من عملية إلى أخرى. [104][105][106][107]

التضخم الأبدي الذي يفترض أن التضخم الكوني ينتهي في مواضع ما، وتتكون عند تلك المواضع كون وهمي يبدأ من عنده انفجاره العظيم الخاص به. [108][109]

التفسيرات الدينية والفلسفية [عدل]

مقالة مفصلة: التأويلات الدينية لنظرية الانفجار العظيم

نظرًا لوصف نظرية الانفجار العظيم لأصل الكون، فإنها لاقت اهتمامًا كبيرًا من الأوساط الدينية والفلسفية، [110][111] وخصوصًا فيما يتعلق بمفهوم «الخلق من العدم» [112][113][114] وبالنتيجة، أصبحت أحد أكثر المواضيع التي تثار عند مناقشة العلاقة بين الدين والعلم. [115] فالبعض يرى في الانفجار العظيم دلالة على وجود الخالق، [116][117][118] وُجِّه فلسفية على وجود الله. [119][120] فيما يرى آخرون بأن الانفجار العظيم لم يكن يستلزم وجود خالق ورائه حتى يحدث. [111][121]

وقد اختلفت الآراء الدينية في الديانات المختلفة حول النظرية.

ففي الهندوسية، تقر عدد من كتبهم المقدسة فكرة أن الزمن مُطلق بلا بداية ولا نهاية، وهو ما يُخالف نظرية الانفجار العظيم. [122][123] ومع ذلك، فهناك بعض النصوص الدينية، استدلت منها أن الانفجار العظيم يُذَكِّر البشرية بأن كل شيء جاء من البراهمان، [124] بل وأيدت تلك النصوص فكرة الكون المتذبذب الذي نشأ عن عدة انفجارات عظيمة وانسحاقات عظيمة تلت بعضها البعض بصفة دورية. [125]

أما في المسيحية، فقد رحبت أغلب الطوائف المسيحية الكبرى بنظرية الانفجار العظيم وأعتبرتها لا تتعارض مع قصة الخلق المذكورة في الكتاب المقدس أو العقيدة المسيحية. [126][127] وقد أعلن البابا بيوس الثاني عشر في سنة 1951، أن نظرية الانفجار العظيم لا تتعارض مع مفهوم الكاثوليكية عن بداية الخلق، [128][129] وهو ما صرّح به البابا فرنسيس مجددًا في أكتوبر 2014. [130] كذلك

- رحبت طوائف كالأنجيلية والأرثوذكسية[131] بالنظرية كتفسير تاريخي لقصة الخليقة،[132] بالرغم من أن بعض الطوائف الأخرى المسيحية الأقلوية مثل الأدفنتست[133] والكنيسة اللوثرية في ميزوري[134] والكنيسة الإنجيلية المشيخية الكالفينية[135] وهي طوائف مسيحية تعتقد بـ خلق الأرض الفتية (رفضت النظرية واعتبرتها متناقضة مع قصة الخلق المذكورة في الكتاب المقدس (تحديداً في سفر التكوين). يُذكر أن أول من أقترح فرضية الانفجار العظيم كان رجل دين كاثوليكي وهو جورج لومتر. [136]
- وفي الإسلام، فسر المسلمون بأن الانفجار العظيم ورد ذكره في الآية رقم 30 من سورة الأنبياء في القرآن [137][138][139] في قوله تعالى ﴿ : أَوَلَمْ يَرِ الَّذِينَ كَفَرُوا أَنَّ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضَ كَانَتَا رَتْقًا فَفَتَقْنَاهُمَا وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ ﴾ ﴿٢٣﴾ وأن تمدد الكون ذكر في الآية 47 من سورة الذاريات[139] في السورة ﴿ : وَالسَّمَاءَ بَنَيْنَاهَا بِأَيْدٍ وَإِنَّا لَمُوسِعُونَ ﴾ ﴿٤٧﴾ حيث تعني الآية إن السموات والأرض كانت كتلة واحدة كالرتق ففتقها الله أي فصلها أو فجرها، ثم تعني الآية التالية إنا لموسعون بمعنى وظلت السموات والأرض بمن فيها في توسع كوني بأمر الله.
 - وفي البهائية، ذكر بهاء الله أن الكون بلا بداية ولا نهاية،[140] ولكن استنبط البعض من بعض النصوص في لوح الحكمة وجود إشارات إلى نظرية الانفجار العظيم.

الفصل الثالث

التقريب السوءاء

الثقب الأسود هو منطقة موجودة في الزمكان الفضاء بأبعاده الأربعة، وهي الأبعاد الثلاثة بالإضافة إلى الزمن) تتميز بجاذبية قوية جداً بحيث لا يمكن لأي شيء - ولا حتى الجسيمات أو موجات الإشعاع الكهرومغناطيسي مثل الضوء - الإفلات منها [1] تتنبأ النظرية النسبية العامة بأنه يمكن لكتلة مضغوطة بقدر معين أن تشوه الزمكان لتشكيل الثقب الأسود. [2][3] يُطلق على حدود المنطقة التي لا يُمكن الهروب منها اسم أفق الحدث. وعلى الرغم من أن عبور حدود أفق الحدث له تأثيرات هائلة على مصير وظروف أي جسم يعبره، إلا أنه لا تظهر أي خصائص يُمكن ملاحظتها لهذه المنطقة. [4] يعمل الثقب الأسود بصفته جسماً أسوداً مثالياً، لأنه لا يعكس أي ضوء. [5][6] علاوة على ذلك، تتنبأ نظرية المجال الكمي في الزمكان المنحني بأنبعاث إشعاع هوكينج أفاق الحدث، بنفس الطيف الذي يتسم به الجسم الأسود لدرجة حرارة تتناسب عكسياً مع كتلته. درجة الحرارة هذه على حدود جزء من مليار من الكلفن للتقوب السوداء من الكتلة النجمية، مما يعني استحالة ملاحظتها.

أشار كل من جون ميشيل و ببير سيمون لابلاس إلى وجود أجسام تمتلك حقول جاذبية قوية بحيث لا يمكن للضوء أن يهرب منها في القرن الثامن عشر. [7] عثر كارل شوارزشيلد على أول حل رياضي حديث للنسبية العامة التي تُميز الثقب الأسود في عام 1916، إلا أن تفسير الحل الرياضي شكّل منطقة فضاء لا يمكن أن يفلت منها أي شيء كان قد نشر لأول مرة من قبل ديفيد فينكلشتاين في عام 1958. كانت الثقوب السوداء تعتبر مجرد خيال وفضول لدى علماء الرياضيات لفترة طويلة. لكن خلال ستينيات القرن العشرين، أظهر العمل النظري تنبؤ النسبية العامة بالثقوب. أثار اكتشاف نجوم نيوترونية بواسطة جوسلين بيل بورنيل في عام 1967 الاهتمام بالأجسام المدمجة المنهارة بالجاذبية بصفاتها حقيقة فيزيائية فلكية ممكنة.

يعتقد أن الثقوب السوداء ذات الكتلة النجمية تتشكل عند انهيار النجوم الضخمة جداً في نهاية دورة حياتها. بعد أن يتشكل الثقب الأسود، يمكن أن يستمر في النمو عن طريق امتصاص الكتلة من محيطه. وذلك عن

طريق امتصاص النجوم الأخرى والاندماج مع الثقوب السوداء الأخرى، الأمر الذي قد يؤدي إلى تشكل الثقوب السوداء الهائلة والتي تحمل كتلة تعادل ملايين الكتل الشمسية ($M \odot$) هناك إجماع عام على وجود ثقوب سوداء هائلة في مراكز معظم المجرات.

على الرغم من أن محتواها غير مرئي، يمكن استنتاج وجود ثقب أسود من خلال تأثيرها على المواد الأخرى والإشعاع الكهرومغناطيسي مثل الضوء المرئي. يمكن للمادة التي تسقط في الثقب الأسود أن تُشكّل قرص تراكم خارجي يتم تسخينه عن طريق الاحتكاك، مما يؤدي إلى تشكيل بعض من أشد الأجسام بريقاً في الكون. إذا كان هناك نجوم أخرى تدور حول ثقب أسود، فيمكن استخدام كل من مداراتها وكتلتها لتحديد كتلة الثقب الأسود وموقعه. يمكن استخدام هذه الملاحظات لاستبعاد البدائل المحتملة مثل النجوم النيوترونية. وبهذه الطريقة، تحقق علماء الفلك من العديد من حالات توقعات وجود الثقب الأسود النجمي ضمن الأنظمة الثنائية، وأثبتوا أن مصدر الراديو المعروف بأسم الرامي A، في قلب مجرة درب التبانة، يحتوي على ثقب أسود هائل يحمل كتلة تقارب 4.3 مليون كتلة شمسية.

في 11 فبراير 2016، أعلن تحالف مرصد ليغو عن أول اكتشاف مباشر لموجات الجاذبية، والتي تعكس فكرة العثور على لحظة اندماج الثقوب السوداء [8] اعتباراً من ديسمبر 2018، عثر على إحدى عشرة موجة من موجات الجاذبية التي نشأت من اندماج عشرة ثقوب سوداء وموجة جاذبية واحدة ناتجة عن اندماج نجم نيوتروني ثنائي [9] [10] في 10 أبريل 2019، تم نشر أول صورة على الإطلاق لثقب أسود وما في جواره، وذلك في أعقاب القراءات التي حصل عليها مقرب أفق الحدث في عام 2017 والمتعلقة بالثقب الأسود الهائل في مركز المجرة مسييه 87. [11] [12]

أبسط الثقوب السوداء الساكنة هي ثقوب بكتلة ولكنها لا تحمل شحنة كهربائية ولا زخم زاوي لها. غالباً ما يشار إلى هذه الثقوب السوداء باسم ثقوب شوارزشيلد السوداء وذلك تقديراً لكارل شوارزشيلد الذي اكتشف هذا الحل الرياضي عام 1916. [17] وفقاً لنظرية بيرخوف، فذلك

هو الحل الفراغي الوحيد المتناظر كروياً [61] هذا يعني أنه لا يوجد فرق ملحوظ بين مجال الجاذبية لهذا الثقب الأسود وأي مجال كروي آخر يحمل نفس الكتلة. وبالتالي فإن الفكرة الشائعة عن "امتصاص الثقب الأسود لكل شيء" هي فقط صحيحة ضمن محيط الثقب الأسود بالقرب من أفقه؛ أما بعيداً، فإن حقل الجاذبية الخارجي مطابق لحقل أي جسم آخر، له نفس الكتلة [62].

توجد حلول تصف الثقوب السوداء العامة. يتم وصف الثقوب السوداء المشحونة غير الدوارة بواسطة مقياس رايسنر-نوردستروم، في المقابل يصف مقياس كير الثقب الأسود الدوار وغير المشحون. الحل المعروف للثقب الأسود الثابت هو مقياس كير-نيومان، والذي يصف ثقباً أسود يحمل شحنة وزخماً زاوي [63].

وفي حين أن كتلة الثقب الأسود يمكن أن تأخذ أي قيمة موجبة، فإن الشحنة والزخم الزاوي مقيدان بالكتلة. في وحدات بلانك، الشحنة الكهربائية الكلية Q والزخم الزاوي الكلي J عليهما أن يتبعاً القاعدة

وذلك ضمن ثقب أسود له كتلة بمقدار M . وتسمى الثقوب السوداء التي تملك الحد الأدنى من الكتلة اللازمة لتلبية هذا التباين بالثقوب السوداء المنطرفة. توجد حلول، لمعادلات أينشتاين، تنتهك معادلة عدم المساواة هذه، لكنها لا تقدم أفقاً للحدث. تقدم هذه الحلول الرياضية ما يسمى بنقاط التفرد المجردة، وهي نقاط تفرد يمكن للمراقب من الخارج رؤيتها لإنعدام الأفق حولها، وعليه فقد اعتبرت حلولاً رياضية غير ملائمة للمواقع الفيزيائي للكون. تستبعد فرضية الرقابة الكونية تشكيل مثل هذه التفردات، من خلال الانهيار الجاذبي للمادة الحقيقية [2]. تم دعم هذا الإدعاء من خلال المحاكاة العددية [64].

بسبب القوة الكبيرة نسبياً للقوة الكهرومغناطيسية، فمن المتوقع احتفاظ الثقوب السوداء المتكونة من انهيار النجوم بكامل الشحنة المحايدة (تقريباً) للنجم. الدوران، في المقابل، هو ميزة متوقعة للأجسام الفلكية الفيزيائية المنضغطة. الثقب الأسود (المرشح GRS 1915 +)

105 [65] لديه قوة دفع زاوي قريبة من الحد الأقصى للقيمة المسموح. هذا الحد غير المشحون هو [66]

مما يسمح بتعريف معامل الدوران بدون أبعاد على الشكل: [66]

[Note 1][67]

تصنيف الثقوب السوداء		
صنف	الكتلة التقديرية	نصف القطر التقديري
<u>ثقب أسود عملاق</u>	$10^5 - 10^{10} M_{\text{Sun}}$	$0.001 - 400 \text{ AU}$
<u>ثقب أسود متوسط الكتلة</u>	$10^3 M_{\text{Sun}}$	$10^3 \text{ كم} \approx R_{\text{Earth}}$
<u>ثقب أسود نجمي</u>	$10 M_{\text{Sun}}$	30 كم
<u>الثقب الأسود الصغير</u>	حتى $M_{\text{القمر}}$	حتى 0.1 مم

تصنف الثقوب السوداء عادة حسب كتلتها، بدون الإعتماد على زخمها الزاوي، J ، يتناسب حجم الثقب الأسود، كما يحدده نصف قطر أفق الحدث، أو نصف قطر شوارزشيلد، مع الكتلة، M ، من خلال المعادلة

حيث r_s هي نصف قطر سفارتزشيلد و M_{Sun} هي كتلة الشمس. [1] بالنسبة إلى الثقب الأسود الذي يحمل قيم لا صفرية لكل من الدوران والشحنة، يكون نصف القطر أصغر، [Note 2] بحيث يتمكن الثقب الأسود المتطرف من الحصول على أفق حدث قريب جدا. [69]

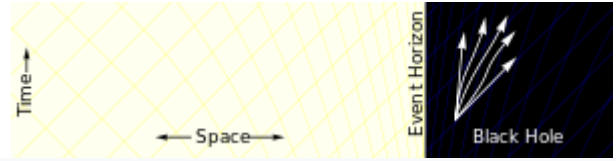
أفق الحدث] عدل]



بعيدا عن الثقب الأسود ، يمكن للجسيم أن يتحرك في أي اتجاه ، كما يتضح من مجموعة الأسهم. لكن حركته تقتصر على حدود سرعة الضوء.



مع الأقتراب أكثر إلى الثقب الأسود، يبدأ الزمكان بالتشوه. و تصبح هناك المسارات متجهة نحو الثقب الأسود أكثر من تلك المسارات التي تتحرك بعيدًا. [Note 3]



داخل أفق الحدث ، جميع المسارات تنقل الجسيم قريبا إلى مركز الثقب الأسود. تنعدم إمكانية هروب الجسيم.

السمة المميزة للثقب الأسود هي ظهور أفق الحدث - وهو الحدود ضمن الزمكان والتي من خلالها يمكن للمادة والضوء المرور فقط إلى الداخل نحو كتلة الثقب الأسود. لا شيء، ولا حتى الضوء، يمكنه الإفلات من داخل أفق الحدث. يشار إلى غستعمال عبارة "أفق الحدث" على هذا النحو لأنه وفي حالة حدوث حدث ما داخل حدوده، فإنه من المستحيل للمعلومات الناتجة عن هذا الحدث أن تصل إلى مراقب خارج تلك الحدود، مما يجعل من المستحيل التعرف على حدوث حدث من ذلك القبيل. [71]

كما تنبأت النسبية العامة، فإن وجود جسم بكتلة يحث تشوها بالزمكان بحيث تنحرف المسارات التي تتخذها الجزيئات نحو الكتلة. [57] في أفق

الحدث لثقب أسود، يصبح هذا التشوه قويًا جدًا بحيث لا توجد مسارات تؤدي بعيدا عن الثقب الأسود. [72]

بالنسبة للمراقب البعيد، ستظهر نبضات الساعات القريبة من الثقب الأسود أكثر بطئا من الساعات البعيدة عن الثقب الأسود. [57] نتيجة لهذا التأثير، والمعروف باسم تمدد وقت الجاذبي، سيبدو أن الجسم الذي يسقط في ثقب أسود يتباطأ كلما اقترب من أفق الحدث، وسيستغرق وقتًا لا نهائياً للوصول إليه. [57] في الوقت نفسه، تتباطأ جميع العمليات على هذا الجسم، من وجهة نظر مراقب خارجي ثابت، مما يؤدي إلى ظهور أي ضوء منبعث من الجسم بشكل أعمق وأكثر احمراراً، وهو تأثير يُعرف باسم الانزياح نحو الأحمر الثقالي. [73] في النهاية، يتلاشى الجسم الساقط حتى لا يعد بالإمكان رؤيته. عادةً ما تحدث هذه العملية بسرعة كبيرة عند اختفاء الجسم وخلال أقل من ثانية. [74]

من ناحية أخرى، لا يلاحظ المراقب، الغير قابل للتدمير، أثناء عبوره لأفق الحدث إلى داخل الثقب الأسود أيًا من هذه الآثار. فوفقًا لساعاته الخاصة، والتي تبدو له أنها تعمل بشكل طبيعي، هو سيعبر أفق الحدث بعد فترة زمنية محدودة دون ملاحظة إلى أي معالم دالة على وجود تفرد؛ في النسبية العامة الكلاسيكية، من المستحيل تحديد موقع أفق الحدث اعتماداً على الملاحظات المحلية، بسبب مبدأ التكافؤ لأينشتاين. [57] [75]

شكل أفق الحدث حول الثقب الأسود قريب جداً من الكروية. [Note] [4] [78] بالنسبة للثقوب السوداء التي لا تدور (الثابتة)، يكون أفق الحدث كروياً تماماً، بينما بالنسبة لأفق الثقوب السوداء التي تدور، يكون أفق الحدث ملتزماً بشاكل الكروي. [79]

التفرد [عدل]

في وسط الثقب الأسود، كما هو مطروح في النسبية العامة، يقبع تفرد جذبوي، وهي المنطقة التي يصبح ضمنها انحناء الزمكان لانهائي. [57] بالنسبة لثقب أسود غير الدوراني، تتخذ هذه المنطقة شكل نقطة واحدة، أما بالنسبة لثقب أسود دوار، فيتم تشويه المنطقة لتشكل تفرد حلقي يقع في مستوى الدوران. [57] في كلتا الحالتين، سيكون لمنطقة

التفرد حجم صفري. يمكن أيضاً إثبات أن منطقة التفرد تحتوي على كامل كتلة الثقب الأسود [57] وبالتالي يمكن اعتبار منطقة التفرد مجرد نقطة لكنها ذات كثافة لا حصر لها [80]

لا يمكن للمراقب الذي يسقط في ثقب شوارزشيلد الأسود (غير متناوب وغير مشحون) أن يتجنب وصوله إلى نقطة التفرد بمجرد عبوره لأفق الحدث. يمكنه إطالة وجوده من خلال تسارعه بعيداً عن نقطة التفرد لإبطاء سرعة نزوله، ولكن فقط إلى حد معين [81] عندما يصل إلى نقطة التفرد، سيتم سحقه إلى كثافة لا حصر لها وتضاف كتلته إلى إجمالي كتلة الثقب الأسود. ولطن قبل أن يحدث ذلك، سيكون جسمه قد تمزق بسبب قوى المد والجزر المتنامية في عملية يشار إليها باسم تأثير المعكرونة [71].

في حالة وجود ثقب أسود مشحون (ثقب رايسنر-نوردستروم) أو ثقب كبير أسود، يمكن تجنب التفرد. دفع قيم الحلول الرياضية إلى حدها الأقصى يكشف عن إمكانية افتراضية للخروج من الثقب الأسود ولكن إلى زمان مختلف، حيث يعمل الثقب الأسود كثقب دودي [57] طبعاً تبقى إمكانية السفر إلى كون آخر مجرد خيال علمي كون الاضطراب الحادث ضمن الثقب سيدمر احتمال حدوث ذلك [82] الحلول الرياضية المختلفة تعطي أنطباعاً بإمكانية اتباع منحنيات توقيت مغلقة حول نقطة تفرد كبير، مما قد يفسر على أنه عودة إلى ماضي الشخص، مما سيؤدي إلى مشاكل ومفارقات مع مبدأ السببية مثل مفارقة الجد [57] من المتوقع ألا تنجو المادة التي تشكل الأجسام التي تسقط في الثقوب من الإضرابات الكيمومية الغريبة ضمن هذه الثقوب السوداء الدوارة والمشحونة [83]

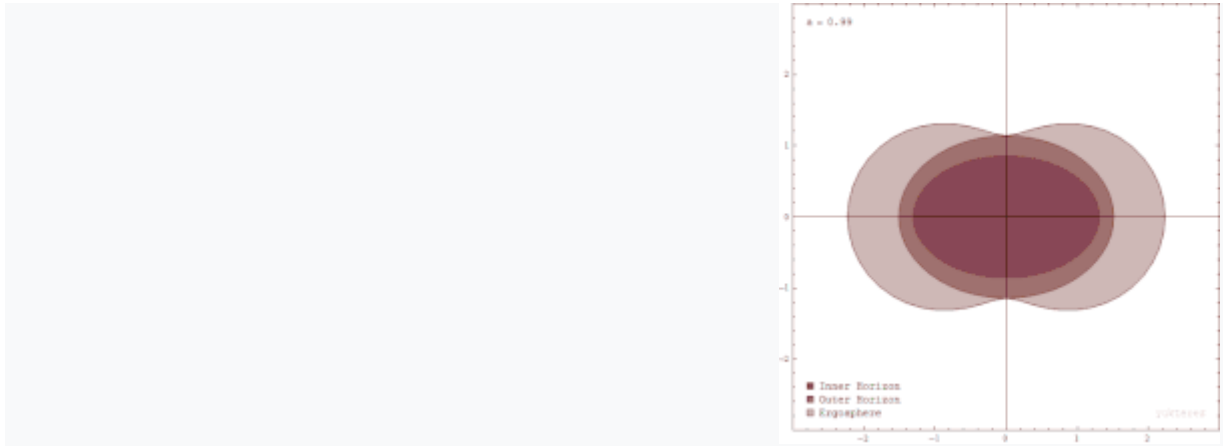
عادة ما يُنظر إلى ظهور التفرد في النسبية العامة على أنه إشارة إلى انهيار النظرية [1] إلا أن هذا الانهيار أمر متوقع عندما تؤدي التأثيرات الكمية إلى حدوث هذه هذا الانهيار بسبب الكثافة العالية للغاية وبالتالي تفاعل الجسيمات الكمية. حتى الآن، لم يكن من الممكن الجمع بين الآثار الكمومية والجاذبية في نظرية واحدة، على الرغم من وجود محاولات مضنية لصياغة مثل هذه النظرية للجاذبية الكمية. بشكل عام، من المتوقع ألا تتضمن هذه النظرية وجود أي تفرد [84] [85]

محيط الفوتون [عدل]

محيط الفوتون أو كرة الفوتون هي حدود كروية بسماكة صفرية يتم ضمنها التقاط وحبس الفوتونات التي تتحرك بشكل ملامس لمماسها ضمن مدار دائري حول الثقب الأسود. بالنسبة إلى الثقوب السوداء غير الدوارة، فإن كرة الفوتون لها دائرة نصف قطرها 1.5 مرة نصف قطر شوارزشيلد. مدارات الفوتونات غير مستقرة ديناميكيًا، وبالتالي فإن أي اضطراب صغير يتسبب به أي جسيم مادي من شأنه أن يتسبب في عدم استقرار ينمو مع الوقت، و بالتالي ينتقل الفوتون إلى مسار خارجي يؤدي إلى هربه من الثقب الأسود، أو مسار للداخل حيث سيعبر أفق الحدث. [86]

وبينما لا يزال بالإمكان الضوء الإفلات من كرة الفوتون، فإن الثقب الأسود سوف يلتقط أي ضوء يعبر كرة الفوتون ضمن مسار له اتجاه داخلي. وأي إضاءة تصل إلى مراقب خارج كرة الفوتون هي إضاءة صادرة عن أجسام تقع بين كرة الفوتون وأفق الحدث. [86]

إرغوسفير [عدل]



إيرجوسفير هي منطقة على شكل قرعة، تقع خارج أفق الحدث. لا يمكن أن تبقى الأجسام ثابتة ضمنها. [87]

يحيط بالثقوب السوداء الدوارة منطقة زمكان يستحيل الوقوف بثبات ضمنها، تُسمى إيرغوسفير أو منطقة العمل (أرغو كلمة إغريقية تعني العمل). وهي ناتجة عن آلية تعرف باسم جر الإطار أو تباطؤ الإطار؛

تنتبأ النسبية العامة بأن أي كتلة دوارة تميل إلى جر الزمكان المحيط بها بشكل مباشرة. سوف يميل أي كائن بالقرب من الكتلة الدوارة إلى التحرك في نفس اتجاه الدوران. بالنسبة إلى الثقب الأسود الدوار، يكون هذا التأثير قويًا جدًا بالقرب من أفق الحدث، بحيث يتحتم على الجسم أن يتحرك بسرعة أكبر من سرعة الضوء في الاتجاه المعاكس حتى يظل ثابتًا. [57]

إرغوسفير الثقب الأسود هو حجم يشكل سطحه الداخلي أفق الحدث الكروي والمفلطح للثقب الأسود وتكون الحدود الخارجية على شكل القرع، وتكون متزامنة مع أفق الحدث عند القطبين ولكنها أوسع بشكل ملحوظ حول خط الاستواء. في بعض الأحيان تسمى الحدود الخارجية سطح إرغو. *ergosurface* [87]

الأجسام والإشعاعات يمكن أن تفلت من الإرغوسفير. فمن خلال آلية بنروز، يمكن أن تخرج الأجسام من الإرغوسفير حاملة طاقة أكثر مما دخلت بها. هذه الطاقة مأخوذة من الطاقة الدورانية للثقب الأسود مما يتسبب في إبطاء دوران الثقب الأسود. [57] تعد عملية آلية بلانديفورد-زينديك هي الآلية المحتملة لحدوث اللمعان الهائل والنفثات النسبية للكوازارات وغيرها من النوى المجرية النشطة، و ذلك كأحد تفسيرات آلية بنروز أثناء وجود حقول مغناطيسية قوية.

أقصى مدار دائري داخلي مستقر [ISCO] (عدل)

ضمن الجاذبية النيوتونية، يمكن لجسيمات الاختبار أن تدور بثبات ضمن أي مدارات و بأي بعد عن جسم مركزي. لكن في النسبية العامة، يوجد مدار دائري مستقر (يطلق عليه عادة ISCO)، بحيث يؤدي حدوث أي اضطرابات متناهية الصغر في المدار الدائري ضمنه إلى الدوران بسقوطا داخل الثقب الأسود. [88] يعتمد موقع ISCO على دوران الثقب الأسود، في حالة وجود ثقب شوارزشيلد أسود (بدون دوران) يكون موقعه محددًا بالمعادلة:

ويتناقص مع زيادة تدوير الثقب الأسود للجسيمات التي تدور في نفس
اتجاه الدوران