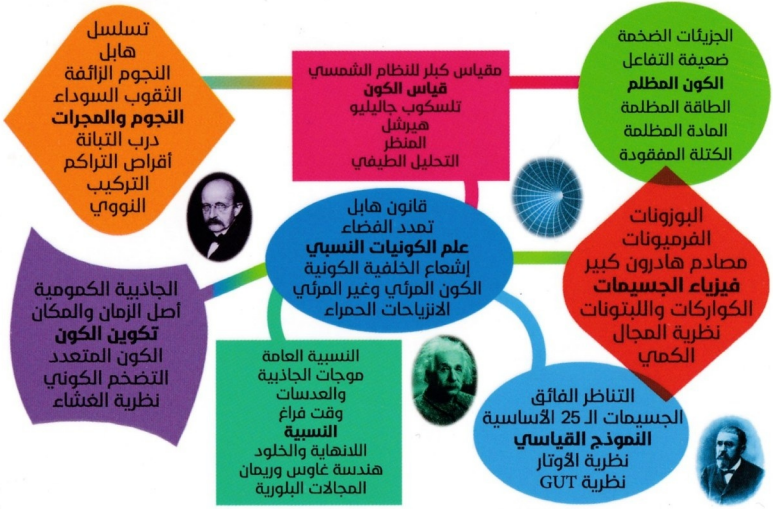
مكتبة | سُر مَن قرأ
#901

A DEGREE IN A BOOK

كل ما تحتاج معرفته عن

علم الكونيات

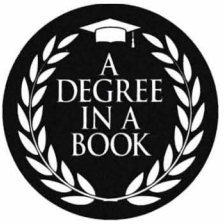
من البداية حتى الإتقان
في كتاب واحد



ستِن أودِنوالد

ترجمة: د. إياد حمود أحمد

معنى MA'NA
دار الكتب العلمية للطباعة | النشر والتوزيع



كل ما تحتاج معرفته عن

علم الكونيات

من البداية حتى الإتقان
في كتاب واحد

مكتبة | سُر مَن قرأ

ستِن أودِنوالد

ترجمة: **د. إياد حمود أحمد**

MA'NA
معنى للنشر والترجمة
PUBLISHING & TRANSLATION

دار الكتب العلمية
للطباعة | النشر والتوزيع

مكتبة
t.me/t_pdf
٢٠٢٢ ٨ ٣٠

يتضمن هذا الكتاب ترجمة الأصل الإنكليزي Degree in a Book Cosmology
حقوق الترجمة العربية مرخص بها قانونياً من الناشر Arcturus Publishing Limited
بمقتضى الاتفاق الموقع بينه وبين الناشر
Copyright © Arcturus Holdings Limited 2020

اسم الكتاب: كل ما تحتاج معرفته عن علم الكونيات من البداية حتى الإتقان في كتاب واحد

اسم المؤلف: ستِن أودِنوالد

ترجمة: د. إياد حمود أحمد

الطبعة الأولى 1442هـ/ 2020م

عدد الصفحات: 320 صفحة

الناشر: دار الكتب العلمية للطباعة والنشر والتوزيع. العراق - بغداد

الرقم الدولي: ISBN: 978-9922-601-90-8

دار الكتب العلمية
للطباعة | النشر والتوزيع
العراق - بغداد - شارع المتنبي
07819141219 | 07702931543
darktbalmya@yahoo.com

MANA
للنشر والترجمة
PUBLISHING & TRANSLATION
العراق - بغداد - المنصور
darmanairaq@gmail.com

المحتويات

الفصل الأول: اكتشاف الكون ... 9
الفصل الثاني: تكوين الكون ... 33
الفصل الثالث: الثورة النسبية ... 61
الفصل الرابع: علم الكونيات النسبي ... 91
الفصل الخامس: الكون المظلم ... 113
الفصل السادس: ماهية المادة ... 135
الفصل السابع: ما بعد النموذج القياسي ... 161
الفصل الثامن: حديقة المجرات المحيِّرة ... 185
الفصل التاسع: النجوم والمجرات الأولى ... 205
الفصل العاشر: أصل العناصر البدائية ... 223
الفصل الحادي عشر: علم الكونيات التضخمي ... 247
الفصل الثاني عشر: أصل وتطور الكون ... 265
الفصل الثالث عشر: المستقبل البعيد ... 293
الفصل الرابع عشر: الزمن ... 305

مقدمة

ما هو علم الكونيات؟

إنَّ التعريف الحديث لعلم الكونيات هو مجموعة الأبحاث العلمية في بُنية الكون الحالي وأصله وتطوره ومستقبله بصورة كاملة كنظام مادي ملموس. والهدف منه، تكوين قاعدة وصْفٍ شاملة تستند إلى أفضل نظرياتنا المعاصرة في المادة والفراغ والزمن، التي تفسر الكثير من الملاحظات التي تراكمت لدى العلماء عبر السنين، إذ تم التوصل إلى هذه الملاحظات باستخدام المناظير (التلسكوبات)، والأجهزة الفلكية الأخرى المتطورة، الموجودة على سطح الأرض أو السابحة في الفضاء.

يرتبط تقدم علم الكونيات ارتباطًا وثيقًا بفهمنا الدقيق للمكونات الأساسية للكون، بما في ذلك المادة والطاقة، والفراغ والزمن. إذ تشكّل هذه الأساسيات جوهر التحقيقات التي أجراها الفيزيائيون وعلماء الفلك لتمييز القوانين الطبيعية الأساسية التي يبدو أنّ كوننا يعمل بها. تُصنّفْ هذه المعلومات، إلى حد كبير، ضمن المجالات الفكرية لنظريتي ميكانيكية الكم، والنسبية العامة. إذ تصف النظرية الأولى، بشكل مفصل، العناصرَ الأساسية للمادة في إطار ما يسمى **بالنموذج القياسي**. في حين تصف النظرية الثانية، الطريقة التي تعمل بها الجاذبية من حَيثُ نموذج رياضياتي مفصل يكون فيه مجال الجاذبية مرادفًا للخواص الهندسية لاستمرارية نطاق الزمكان – الرباعي الأبعاد.

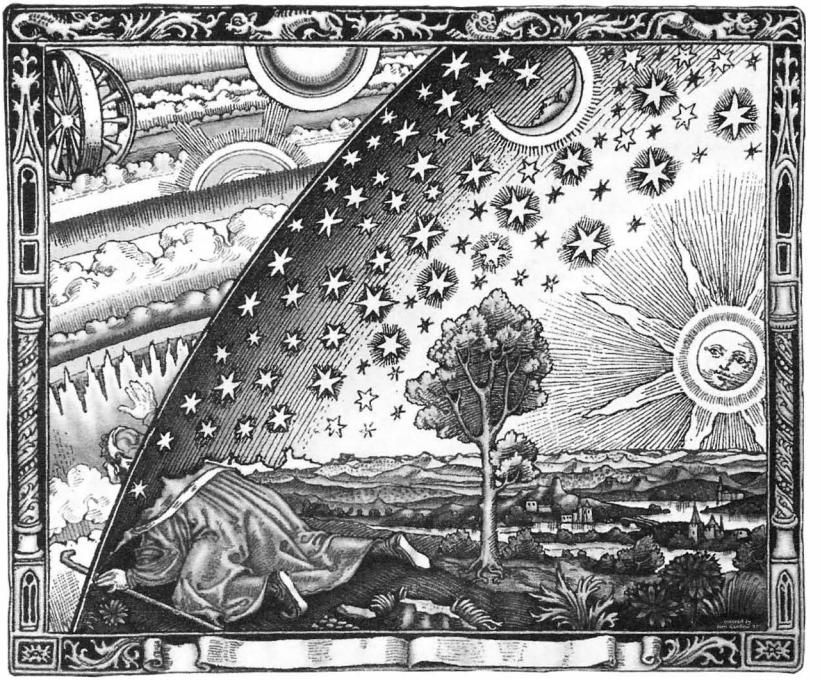
كانت بدايات العمل على علم الكونيات الحديث في القرن السابع عشر على يد العالم الإنجليزي السير إسحاق نيوتن، الذي وِسعَ وصفه الدقيق للجاذبية في الرياضيات بسرعة لتفسير الحركات الغامضة السابقة للكواكب، والذي اعتاد، أيضًا، على صياغة النموذج العلمي الأول للكون الذي يعمل تحت الجاذبية الشاملة.

كانت البراهين السابقة للمقياس اللا نهائي للكون ذات طبيعة فلسفية، أو دينية. طبقًا لنيوتن، كان هناك أول تفسير ديناميكي قائم على الفيزياء لسعة الفضاء الكوني. أما اليوم، فقد أدت نظرية الجاذبية النسبية المسماة النسبية العامة، التي طورها ألبرت أينشتاين، إلى نشوء الانفجار الكوني العظيم، الذي يعتبر الإطار الرياضياتي الناجح جدًا، الذي يقوم عليه كل علم الكون الحديث.

يسعى علم الكونيات إلى كشف أسرار الكون مثل طبيعة عنصرين أساسيين: المكونات المظلمة للكون، والطاقة المظلمة. إذ إنّ إجراء التحقيقات الموازية التي تجرى في مختبرات الفيزياء الكبرى في جميع أنحاء العالم لها الفضل الكبير في البحث عن إجابات. وقد أكّد الكشف الأخير لموجات الجاذبية نظرية أينشتاين النسبية باعتبارها النظرية الأولى للجاذبية.

في هذه الأثناء، يستمر علماء الفلك بالسعي للحصول على معلومات تلسكوبية حول تركيب الكون الواسع النطاق، وكذلك تاريخه المبكر من خلال التصوير المباشر لتكوين النجوم، والمجرات الأولى في غضون 100 مليون عام بعد ولادة الكون. ويستمر العلماء أيضًا بتحديد، وتفسير إشعاع الخلفية الكونية للموجات الصغرى (CMB)، الذي أصبح معروفًا في الوقت الحاضر، كوسيلة ملموسة تسجل تطور تكتل المادة المظلمة في الكون المبكر، إلى جانب بصمات العصور المبكرة في التاريخ الكوني المعروفة باسم التضخم الكوني.

أدت البحوث المستمرة للعصور المبكرة في تطور الكون إلى تطبيق النظريات الفيزيائية المتطورة المعروفة باسم **بحث الجاذبية الكمية** لتوضيح اللحظات الأولى من تكوين الكون. في هذا المجال،



نقش على الخشب لكاميلا فلاميرون 1886، وهو عمل مبكر لتبسيط علم الفلك إلى الجمهور

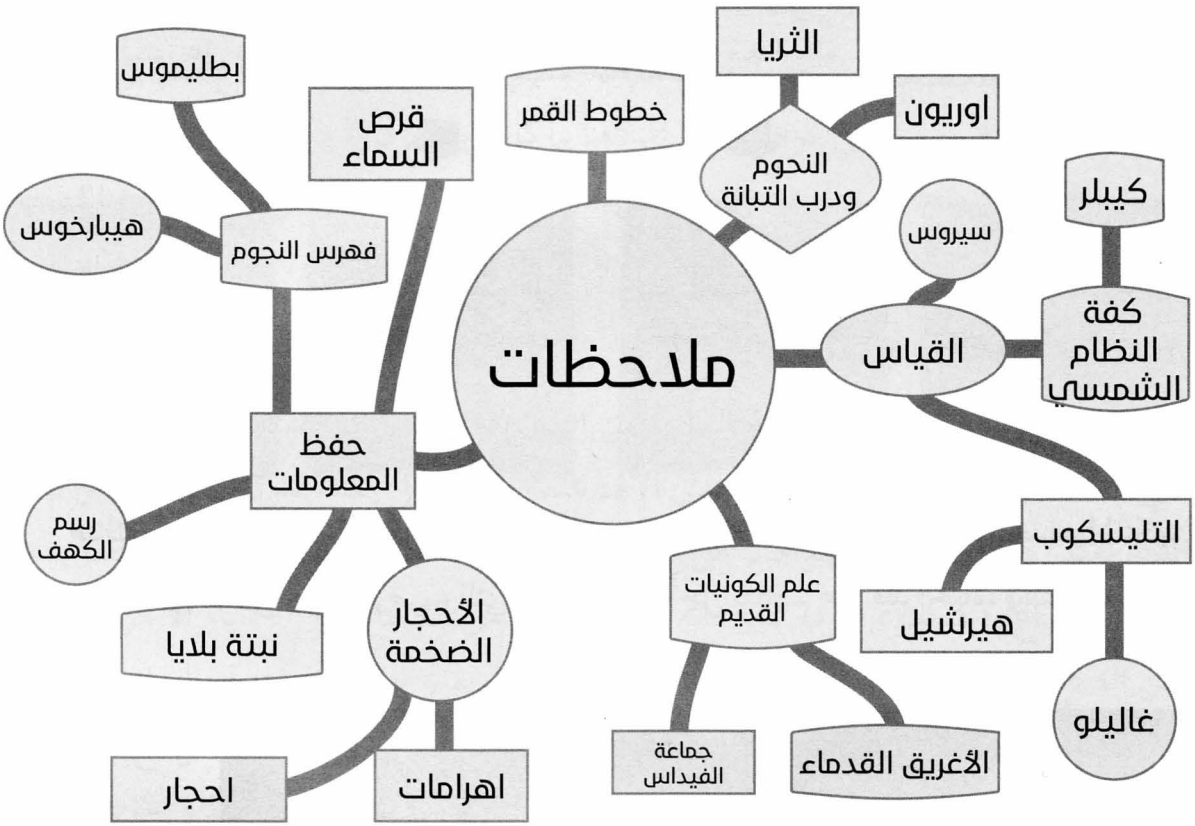
أصبح علم الكونيات بصورة كبيرة فرع ثانوي للفيزياء النظرية ذات الطاقة العالية، وكذلك البحث عن نظرية موحدة للطبيعة. تُعَدُّ هذه مهمة رياضية للغاية وظيفتها وضع مسائل الأصول الكونية في جوهر الفهم العميق لطبيعة العالم المادي والواقع نفسه: هل يتم تحديد الزمان والفراغ؟ هل الأكوان المتعددة موجودة فعلاً؟ قد تساعد مجموعة متنوعة من الملاحظات الفلكية علماء الفيزياء النظرية في الإجابة عن العديد من هذه الأسئلة الدقيقة، والعميقة للغاية. يوجد الكثير مما نعرفه، لكننا لا نزال بحاجة إلى اكتشاف الكثير. لذلك، على كل شخص يفكر في الدراسة للحصول على شهادة في علم الكونيات، ليس هناك وقت أفضل للتعلم عن كوننا المدهش: كيف بدأ، وماذا يحدث الآن، وكيف سينتهي كل شيء.

يتطلب البحث الواسع والمنطقي استخدام ما يعرف بالمعادلة العلمية، على سبيل المثال الرقم 149 يحول إلى 1.49×10^{2} و0.000657 تحول إلى 6.57×10^{-4} وسيكون هناك مناسبات لاستخدام إضافات أولية مثل (كيلو، ميغا، أو مايكرو) للإشارة إلى بعض الوحدات الفيزيائية مثل

12.000.000 فرسخًا يمكن أن يقرأ كـ 12 ميغا فرسخًا أو 0.000013 يمكن التعبير عنها بـ 13 مايكروميترًا. في هذا الكتاب سوف استخدم نظام الوحدات العالمية. وستتم الإشارة إلى القوى كما في وحدات نيوتن، وستتم الإشارة إلى درجة الحرارة طبقًا إلى مقياس كيلفن، أو الدرجة السيليزية عند الضرورة. وستتم مناقشة كل هذه الوحدات بالقياسات الفلكية من الوحدات الفلكية مثل 1011 × 1.496 متر سنوات ضوئية كـ $10^{12} \times 9.46$ كم، والفرسخ كـ 3.26 سنة ضوئية.

مكتبة
t.me/t_pdf

اكتشاف الكون



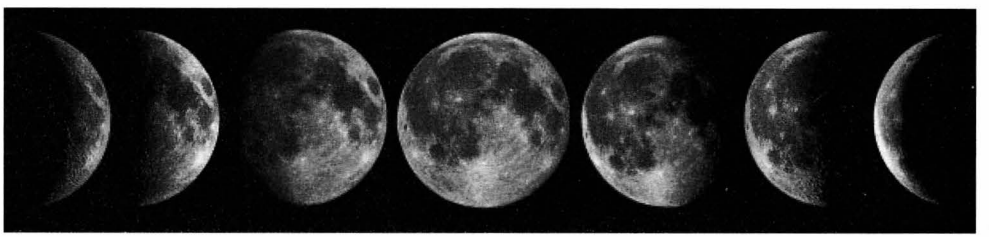
بدء المنطق وعلم الكونيات العملي

كان أسلافنا، قبل أربعين ألف سنة، صيادين براكماتيين يناضلون منْ أَجل البقاء على قيد الحياة. فقد أمضوا معظم وقتهم يبحثون عن نباتات لغذائهم، أو تتبع مسارات هجرة الحيوانات باعتبارها مصدر غذائهم الأساسي.

يتكون علم ما قبل التاريخ من مجموعة من الأفكار التي ساعدت مجموعة من البشر على التنبؤ باستخدام شيء ذو فائدة للبقاء على قيد الحياة. تشمل هذه الأفكار

- تشرق الشمس من جهة واحدة (الشرق) وتغرب في الاتجاه المعاكس (الغرب) في أوقات متغيرة بصورة بطيئة على طول السنة
- يتغير شكل القمر على مدار 28 يوماً
- تنتج النباتات الثمار والبذور في أوقات محددة من السنة
- هجرة الحيوانات تماشياً مع نوع الفصول

هناك نمط دوري لهذه الحركات الطبيعية التي يعترف بها أسلافنا، ويمكنهم استخدامها للتكهن بالأحداث التي تحصل على الأرض والتي لها أهمية منْ أَجل بقائهم على قيد الحياة، والتخطيط وفقاً لذلك.



مراحل القمر في فاصل زمني مصوّر

تتخذ النجوم أشكالاً في السماء تسير باتجاه الغرب في كلِّ شهر، إلّا أنَّ نفس هذه الأشكال ظلت ثابتة من جيل إلى جيل. تسمى تشكيلات النجوم هذه في وقتنا الحاضر **الأبراج**. على سبيل المثال، برج الجوزاء أو ما يعرف بـ (برج الصيّاد، أو المحارب) لأنه يبدو على شكل الصياد أو المحارب، أما برج العقرب فيسمى بهذا الاسم لأنه يشبه شكل العقرب.

وفي كل ليلة، تدور السماء بأكملها حول نقطة ثابتة صارت تعرف باسم الشمال. إنَّ الاتجاه المعاكس جنوباً هو الاتجاه الذي يجب أنْ تسافر إليه في فصل الشتاء الشمالي للحصول على أجواء أكثر دفئاً، والاتجاه الذي يجب أن تتجه إليه في الصيف الشمالي هو للحصول على مناخ أكثر برودة. هذه هي الملاحظات الأساسية التي توصل إليها أسلافنا بما كانوا يتمتعون به من قدرة فكرية نتمتع بمثلها اليوم، فمن غير المعقول أنهم لم يتوصلوا إلى شيء عن العالم الفلكي الأساسي، ناهيك عن القصص التي اختلقوها لتفسير تلك الظواهر.

علم الكونيات ونشأة الدماغ

يتطلب تكوين المفاهيم الكونية مجموعة من المهارات والقدرات المستمدة من الطريقة ذاتها التي تشكلت وتطورت بها أدمغتنا على مدى آلاف السنين. منْ أَجل إنشاء نموذج ثابت ودقيق للعالم الذي نعيش به، فإن أول ما يتوجب على الدماغ فعله هو الاستشعار بذاته الخاص وكيف يشغل حيزاً في الفراغ. وكذلك وجوب تمييز ذاته كشيء مختلف عن الكائنات أو الأشياء الأخرى. فأن لم يكن الدماغ قادراً على القيام بذلك بدقة، فلن يستطيع ان يقرر طريقة حركته في الفراغ، أو توقع عواقب تلك الحركة، أو كيفية توقّع أفعال الناس الآخرين والتماشي معها. يتم التعامل مع معظم هذا العمل من خلال التقاطع الصدغي، الذي يأخذ المعلومات من الحالة العاطفية للنظام الحوفي، ومهاد (الذاكرة)، ويجمعها مع معلومات من النظم الحسية البصرية والسمعية والجسم الداخلي لإنشاء

نموذج داخلي متكامل للمكان الذي يشغله جسمك في الفراغ. بعد ذلك، يتيح لنا الجسم الحزامي الخلفي تجربة جسمك كونه يحتل موقعاً واضحاً في الفراغ، وأن هذا الموقع هو المكان الذي توجد فيه، حَيثُ توجد (الذات).

أخيراً، يعطينا الجزء العلوي الحديدي إحساساً بالحد الفاصل بين جسمك وبقية العالم. عندما يتم تقليل النشاط في منطقة الدماغ هذه، ستشعر بالإندماج مع الكون، ويكون جسمك مطلقاً بشكل ما.

حالما يعمم الدماغ مجموعة من الارتباطات في الفضاء لتعريف مفهوم معين على سبيل المثال، يمكنه اكتشاف أنماط في العالم الخارجي في الوقت المحدد، والبدء في رؤية الطريقة التي يؤدي بها حدث ما إلى آخر كقاعدة (بحكم التجربة) أو بحكم قانون طبيعي. لعل هذا التصور هو فعل وردة فعل ناتجة عن نشاط المخيخ، والحصين. بالنسبة للبشر، فقد تطورت جميع مناطق الدماغ هذه على مدى ملايين السنين مما يتيح لنا تجربة المكونات الأساسية للعالم المادي الموضوعي، واستنباط العلاقات المنطقية منه، فضلاً عن استنباط نمط علم الكون من هذه العناصر كموضوع للبحث.

التفكير الحسي

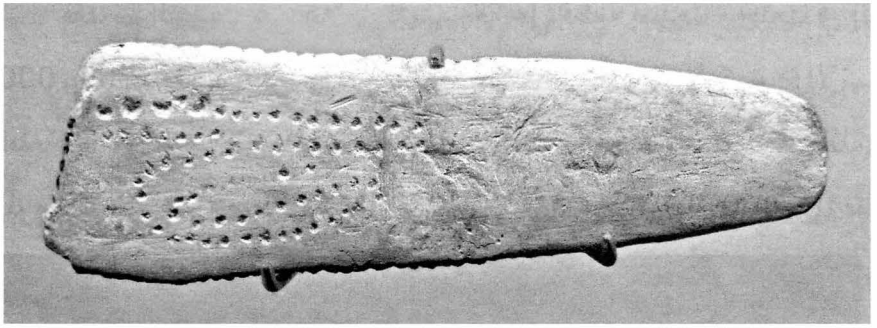
كانت الكثير من علوم ما قبل التاريخ مجرد امتداد ثانوي للمعرفة الأساسية التي تشترك فيها الحيوانات المهاجرة، التي هي بالتأكيد على دراية بالتغيرات الموسمية واليومية، ووقت هجرتها طبقاً لتلك التغييرات. في حين اتخذ أسلافنا خطوة أخرى، فقد توصلوا إلى فكرة رائعة للتواصل وتسجيل علومهم، ونقلها إلى الأجيال اللاحقة بطرق مختلفة. كانت أكثر تلك الوسائل إثارةً إلى حد ما هي رسومات نياندرتال، وهي الرسم على جدران الكهوف قبل 65000 عام. ولكن بالإضافة إلى الصور الدقيقة لمختلف الحيوانات التي كانت مهمة بالنسبة لهم، كانت هناك، أيضاً، أشكال تشبه السُلم والنقاط ورسومات يدوية منقوشة بعمق داخل كهوف أفينيوس ومالترافيوس في أسبانيا.

فقد تم الكشف عن علامات متعرجة على قطعة صدف وجدت في إندونيسيا، يرجع تاريخها إلى 500,000 عام ويُعتقد أنها من الأنواع البشرية الأخرى المبكرة - الإنسان البدائي. ويرجع تاريخ قطعة من أوكسيد الرصاص حمراء اللون منحوتة بخطوط متعرجة مماثلة، تم العثور عليها في كهف بلومبوس في جنوب إفريقيا إلى حوالي 73000 عام. وقبل 40,000 سنة، سجلنا ملاحظات على

فن نياندرتال، من كهف بلومبوس - جنوب أفريقيا قبل حوالي 73000 سن

الطبيعة والدورات الطبيعية كمقدمة للطريقة العلمية المعاصرة في دراسة الطبيعة، ويعتبر تسجيل هذه المعلومات بطرق مختلفة كمقدمة للرياضيات، لتصبح شاغلاً مثيراً بين أسلافنا في عصور ما قبل التاريخ إلى الحد الذي قد أدرجت فيه العديد من الصور المجردة غير التمثيلية في أعمالهم الفنية.

بالإضافة إلى حركة الشمس والقمر والنجوم والكواكب، هناك تفاصيل أخرى للسماء التي كان أسلافنا القدماء، بالتأكيد على دراية بها. فقد كانوا قادرين على رؤية الكثير في نفس الليلة في السماء التي تشاهدها أنت وأنا عندما نسافر بعيداً عن المدينة. إذ يقطع درب التبانة - المبهر، وضبابه، وضوؤه الخافت - السماءَ بزاوية مختلفة تماماً عن مسار الشمس الظاهر عبر السماء المعروف باسم (المستوى الإهليجي - البيضوي - الشمسي)، وهو هدف سهل جداً، وبوصلة بالنسبة للرحّالة. إذا



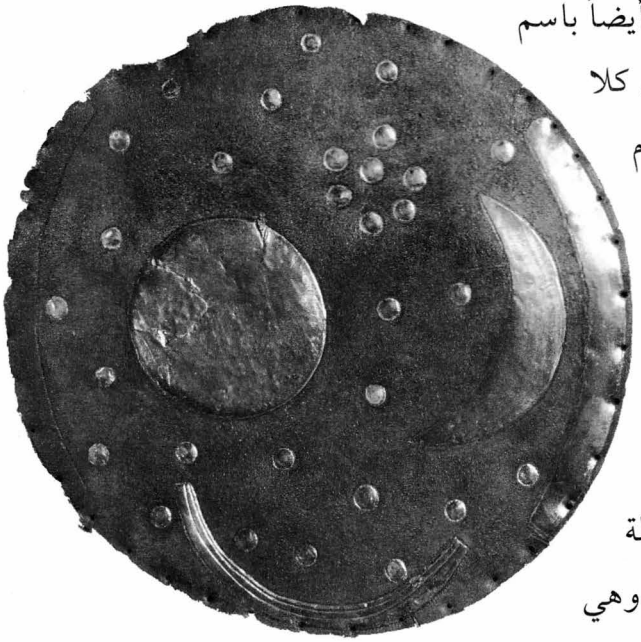
نسخة طبق الأصل من عظم بلانشارد، تقويم قمري أعدته ثقافة الأوريناسية (حضارة تعود للعصر الحجري) قبل حوالي 32000 سنة في منطقة بوردو

بدأت بدراسة تفاصيل السماء – بعد هذه اللمحة – بدقة متناهية، فستبدو الأشياء الأخرى بالظهور كأنها ليست مجرد نجوم محددة.

مكتبة
t.me/t_pdf

صورة ليلية لدرب التبانة

تمّ رصد مجموعة نجوم الثريا المعروفة أيضاً باسم **الأخوات السبع** في العديد من الحضارات في كلا العالم القديم والجديد. فالذي يبين هذه النجوم السبعة هو قرص نيبرا الفلكي من المانيا الشمالية الذي يرجع عمره إلى 1600 قبل الميلاد. اطلق البابليون على نظام النجوم هذا تسمية (نجم – نجم) في مجلداتهم التي يعود تاريخها إلى 2300 قبل الميلاد. كان من الممكن رؤية عددٍ من الأشياء غير النجمية بسهولة بالعين المجردة، من ضمنها مجرة الأندروميدا (وهي أقرب مجرة)، والسديم العظيم في برج الجوزاء، ومجموعة النجم المعروفة باسم (هرقل).



قرص نيبرا، الذي وجد في ميلتبيرك قرب نيبرا (المانيا) 1600 قبل الميلاد. فسر عموما انه شمس أو قمر كامل هلال ونجوم بما في ذلك المجموعة العنقودية التي فسرت كسديمات. وتم فيما بعد إضافة قوسين مذهبين حول الجوانب مشكلةً الزاوية بين الانقلاب الشمسي

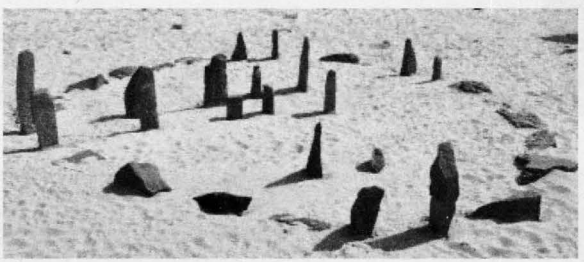
تعد الكواكب، والمذنبات، والشهب، والقمر من الأجسام غير النجمية الأكثر لمعاناً ورؤيةً في السماء؛ ومع ذلك، وبصرف النظر عن الأساطير اليونانية، وأصل السديمات باعتبارها بنات الأطلس، فإن من الواضح أن أسلافنا قد أَولَوا اهتماماً قليلاً لهذه الأشياء الغامضة وغير الواضحة. فقد كان يتوجب علينا الانتظار آلاف السنين حَتى تسمح لنا التكنولوجيا بالكشف عن هذه الأجسام، واستنباط الحجم الحقيقي للكون.

حفظ السجلات الصخرية

يظهر المثال الأكثر إثارة للدهشة للاهتمام العملي لأسلافنا في مسائل علم الفلك في شكل آثار ضخمة من الحجر مع انتظام مرتبط بالدورات الأساسية للشمس والقمر.

وأشهر هذه الآثار هي ستونهنج في إنجلترا، التي شُيدت على مراحل عدة بين 3000ق.م و2000ق.م. في الانقلاب الصيفي، تشرق الشمس فوق كعب الحجر لآثار ستونهنج عندما ينظر إليها من وسط ذلك النصب الأثري. أما عند الانقلاب الشتوي، تكون الصورة أوضح في تل الدفن (نيوغرينغ) في إيرلندا، الذي يعتقد انه شيّدَ في 3200 قبل الميلاد، حَيثُ تمت إضاءة الغرفة الداخلية للتل عبر ممر ضيق بمسافة مدتها 17 دقيقة على وجه التحديد في أقصر أيام السنة.

وحَتى في وقت مبكر يمكن أن يوجد نصب تذكاري بمحاذاة النظام الشمسي في (نبطة بلايا) superscript في مصر. حَيثُ تجمعت هذه المجموعة من الأحجار حوالي 4800 قبل الميلاد لتشكيل حلقة بمحاذاة الانقلاب الصيفيّ. قد توجد أيضاً انتظامات تقويمية أو سماوية، مثل الانتظامات المترافقة مع ظهور النجم سيريوس الذي وجده باحثون كُثر.

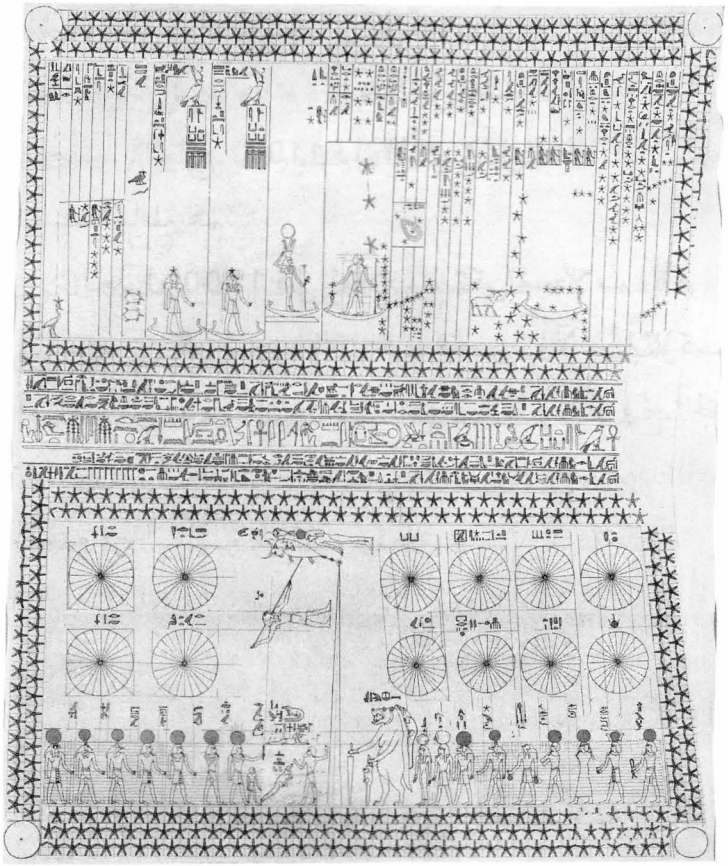


تم إنشاء دائرة كوسيك في ألمانيا في العام 4900 قبل الميلاد وكانت بنفس عمر نابتا بلايا. تتألف هذه الدائرة من خندق مترابط طوله 75 متراً (246 قدماً) عبر حلقتين تحتويان على مداخل في أماكن محاذية لشروق الشمس وغروبها عند الانقلاب الشتوي. أما المداخل الأصغر فتبدو متوافقة مع الانقلاب الصيفي.

وهناك أيضاً معبد العصر الحجري الحديث الذي تم اكتشافه مؤخراً في تلة (غوبكلي) في تركيا، حَيثُ يرجع عمره إلى حوالي 9000ق.م. تشمل هذه الأحجار الكبيرة محاذاة واضحة مع بزوغ النجم الساطع سيريوس. ونظراً لتقدم الأرض، ظهر سيريوس في الأفق كنجم جديد في هذه المرة، كما تتم رؤيته من هذا الموقع. يشير مصطلح التقدم إلى تمايل الأرض – التغير في اتجاه محور كوكبنا – والذي يؤدي بمرور الوقت إلى ظهور مناطق جديدة من السماء، واختفاء مناطق أخرى.

التقدم: هو التغيير البطيء في اتجاه محور الأرض الذي يظهر بفترة تقدر بـ 772 , 25 سنة.

إن ظهور نجوم معينة، مثل سيريوس، يدل على أنها الإشارات المهمة للفيضانات السنوية للنيل، مما جعل الأرض خصبة للغاية. كانت الآثار المصرية القديمة، بما في ذلك هرم خوفو الشهير، تقع على هضبة الجيزة، محاذيةً بصورة دقيقة نجم القطب (ثوبان في ذلك الوقت) العام 2600ق.م. وكان معبد آمون الذي شيد قبل 2000 قبل الميلاد، محاذياً مع الانقلاب الشتوي للشمس في الوقت الذي تسقط فيه أشعة الشمس في مركز المعبد، حَيثُ تضيئ لبضع ساعات هذا المعبد المقدس الذي يطبق عليه اسم (قدس الأقداس). ويكون هذا مشابه أيضاً لمحاذاة **أبي سمبل** في مصر التي بنيت في 1255 قبل الميلاد والتي تظهر في 21 أكتوبر، و 21 فبراير، ولكن قد يتم تهيئتها لإقامة مهرجانات معينة، أو تتويج رمسيس الثاني نفسه.



الأبراج، متمثلة بقبر سنيموت 1473 قبل الميلاد

عموماً، كانت النجوم محط استطلاع واستكشاف في السماء. على الرغم من عدم وجود سجلات لعصور ما قبل التاريخ للكون النجمي من معظم المواقع في جميع أنحاء العالم، إلّا أننا نجد، في مصر القديمة، رسوماتٍ لمقابر وسجلات من قصب البردي يرجع تاريخها إلى حوالي 2100 قبل الميلاد.

وبصورة خاصة تم كشف الأبراج المصرية عن طريق ما يسمى بطاولات نجمة قطرية (**ذات أقطار**)، وكثيراً ما تدرج في أغطية التابوت. ارتفعت هذه الأبراج الـ 36 (الأقطار) بشكل متتابع فوق الأفق الشرقي بعد غروب الشمس كل عشرة أيام، وتم اصطفت نجومها الأكثر إشراقاً بطريقة عشوائية. تشهد مملكة الرسومات الجديدة مثل تلك الموجودة على أسقف قبر سنيموت (1473 قبل الميلاد)، ورمسيس الرابع (1100 قبل الميلاد) على حقيقة أن السماء المرصعة بالنجوم لعبت بعض الدور في تجسيد أساطيرهم.

بحلول 1500 قبل الميلاد، لم تكن سجلات الأقراص الطينية المسمارية للمنجمين البابليين والسومريين تقر بوجود الكواكب فحسب ولَا سِيَّما كوكب الزهرة، بل أسست أيضاً مجموعة ثابتة، أو أكثر من الأبراج في أساطيرهم. أما دائرة البروج الحديثة فهي إلى حد كبير تعد جزءاً من بناء البابليين. وفي الوقت نفسه، تابع المنجمون الصينيون القدماء البقع الشمسية، والكسوف الشمسي كجزء من أساليب عرافتهم وكهانتهم.

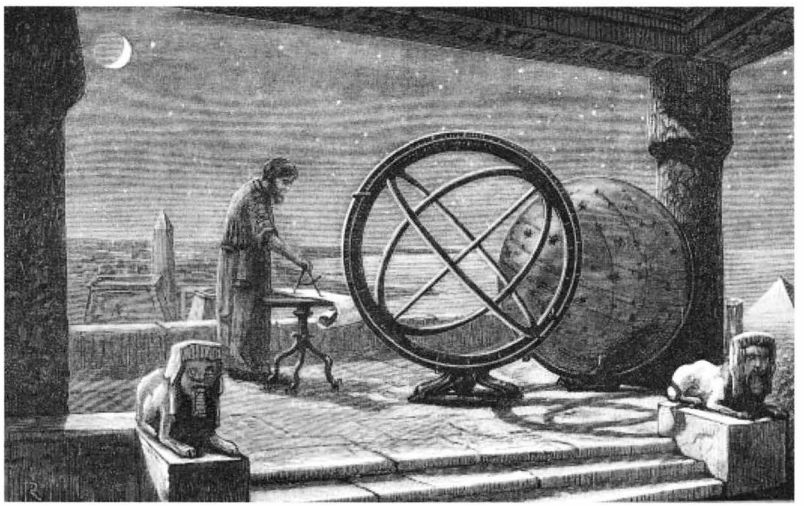
دائرة البروج: هي دائرة في السماء تحيط بمسالك الظاهرة الشمس والقمر والكواكب المرئية. حَيثُ تقسم إلى 12 منطقة، كل واحدة تسمى بعد البرج الذي تحيط به.

علم الكونيات القديم: بابل والهند واليونان

ترجع أصول علم الفلك والتنجيم في شبه القارة الهندية إلى حوالي 2000 سنة قبل الميلاد. إن أكثر ما نعرفه اليوم عن علم الفلك الهندي يأتي من الكتب السانسكريتية المقدسة المعروفة باسم (فيداس). إذ توجد إشارات غامضة على أن الشمس هي مركز الكون في الكتابات الفيدكية منذُ ما يقارب 3000 سنة قبل الميلاد، فقد أَولَوا اهتمام جوهري بقياسات السماء والتحري عن القياسات

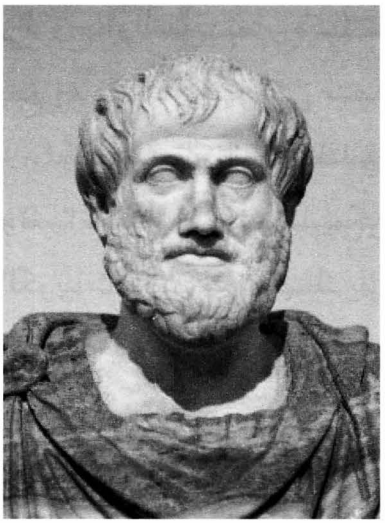
الحسابية في حركات الكواكب التي أدت إلى تطور علم التنجيم الهندي كما هو الحال للعلماء البابليين المعاصرين. وبحلول القرن السادس قبل الميلاد، أعلنت إحدى مدارس الفيداك، فيشيشيكا، عن رؤية ذرية مبكرة للطبيعة وتم توسيع أربعة عناصر من مفهوم أرسطو: وهي **الأرض، والهواء، والنار، والماء**، إلى تسعة عناصر هي: **الأرض، والهواء، والنار، والماء، والأثير، والزمان، والفضاء، والروح، والعقل**. تعتبر فكرة تقليل الذرات الخاصة بالزمان والمكان منظوراً فريداً حقاً، بحَيثُ لم ينبغِ إعادة النظر فيها حَتى منتصف القرن العشرين.

يُعَدّ علم الكونيات الهندي علماً فريداً أيضاً، لأنه قدم تفاصيل أكبر بكثير عن تركيب الكون وتغيراته؛ وأبعد بكثير مما يمكن أن تقدمه القصص البابلية أو اليونانية القديمة. أما في نظر علم الكونيات الهندوسي، فهناك بداية مطلقة للوقت. إذ يتم اعتبار الوقت مطلقاً، ودورياً. وبصورة مشابهة، ليس للكون بداية ولا نهاية، بل إنّه دوري. إذاً الكون الحالي هو مجرد بداية للدورة الحالية. كل دورة هي فترة يوم واحد في حياة (براهما)، وتستمر لمدة 8,6 مليار سنة. تتجاوز سنة (براهما) تريليون سنة بشرية. إذ يعيش براهما مدة 100 عام من حياته قبل أن يتم حل كل العوالم والأرواح بالكامل إلى الأبد.



أدى ظهور الحضارة الإغريقية في 900 قبل الميلاد إلى الأفكار الموثقة الأولى عن النجوم الكونية. كان من بين المواضيع المبكرة هو الخسوف، والمجموعة العنقودية، وبرج الجوزاء، والنجم المضيء

سيريوس في 700 قبل الميلاد. قام اكسماندر وفيلولوس بعمل مراجع (مصادر) مكثفة عن تحركات النجوم والكواكب، وشكّلا، أيضاً، نموذجاً للنظام الكواكبي مع الأرض، وبعض الأجسام غير المرئية في مركز هذه الحركات. حَتى إنّ ديمكروتس اقترح إمكانية تكوين النجوم البعيدة من الخط المضيء في سماء الليل، وطريق التبانة.

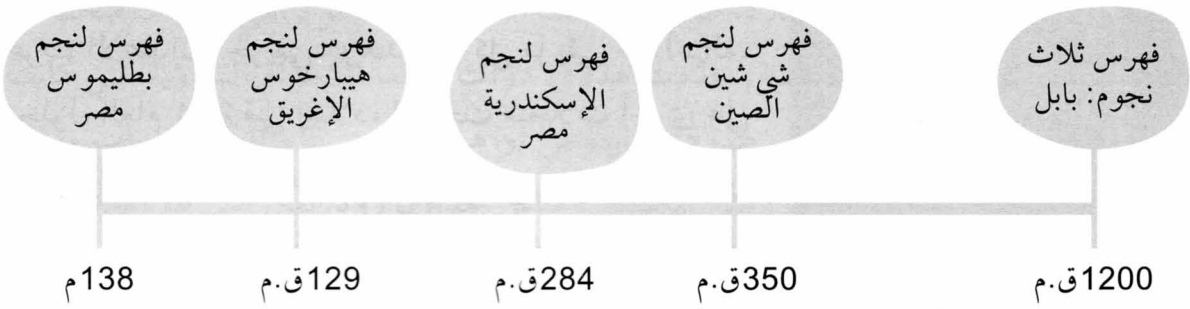


طور أرسطو فكرة (الكرات السماوية)

لقد طور أفلاطون، ويودوكسوس وأرسطو، بشيء من التفصيل، فكرةَ تثبيت الأجسام الموجودة في السماء على أجرام سماوية مركزية متداخلة فيما بينها. وكانت المجالات الفلكية هي وراء حركة الكواكب حَيثُ تكون النجوم معلقة كالفوانيس. ويوجد داخل منطقة الأرض والقمر التي تعرضت للتغيير - أشياء عابرة (مؤقتة) مثل العواصف الرعدية، وقوس قزح، والشهب، والمذنبات. إلّا أن الحال بقيَ كما هو خارج القمر إلى الأبد. اقترح أرسطو أربعة عناصر - **الأرض، والهواء، والنار، والماء** - ولكن تم توسيع هذه العناصر إلى عنصر خامس يسمى الجوهرية (الخلاصة) لحساب المادة الأبدية، ولحساب الكمال للنجوم.

في كتابه دي لوس (في الضوء)، الذي كتب في العام 1225م، ذهب اللاهوتي الإنجليزي روبرت غروسيتستس إلى أبعد من ذلك لاستكشاف طبيعة المادة والكون. ووصف ولادة الكون على شكل انفجار، وبلوّرة المادة لتشكيل النجوم والكواكب في مجموعة المتداخلة من الأجسام الفلكية الكروية حول الأرض. تُعَدّ دي لوس أول محاولة معروفة قبل القرن السابع عشر لوصف السماء والأرض باستخدام مجموعة واحدة من القوانين الفيزيائية.

فهارس النجوم: هيبارخوس وبطليموس



إن أقدم فهرس نجمي بقي إلى وقتنا الحاضر هو فهرس مجموعة النجوم الثلاثة للبابليين 1200ق.م الذي لم يحتوِ على أكثر من ثلاث نجمات مضيئة في كل 12 برجاً.

في الألف العام التي تفصل بين الفترتين البابلية، واليونانية، لا يوجد دليل حي على استخدام أي شخص لقياسات مثل الدرجات لتحديد المواقع الفعلية للنجوم بشكل واضح في خريطة دقيقة للسماء. وبعد 300 سنة قبل الميلاد، يمكن حساب تيموخوريس، وارستروكوس، وارستتلوس، وارخميدس، وهيبروخوس بين الأفراد الأوائل الذين استخدموا مقاييس الدرجة بتقسيم الدائرة على 360 درجة، مع أن كل درجة تتكون من 60 دقيقة. تم تطوير فهرس النجوم الذي صممه المنجم الصيني شي شين، والذي تضمن 800 وحدة، بزاوية 350 متر مكعب بزاوية حَيثُ تم قياسها من القطب السماوي الشمالي. كانت الزاوية المتمثلة درجة صينية مثل درجة واحدة تمثل يوماً واحداً من حركة السماء، أو 360 / 365 درجة يونانية.

جدارية عام 1598 تبين محاولة عالم فلك تحديد ارتفاع نجم بمساعدة مساعديه

سجّل المنجم والفيلسوف اليوناني تيموخوريس من مرصد ألكساندريا، أن النجم سبايكا يقع على بعد 8 درجات غرب الاعتدال الخريفي، وهذا هو كل ما بقي من أعماله. بحلول العام 284 قبل الميلاد، اقترحت سجلات أخرى على تيموخوريس كان أول عالم فلكي غربي يضع فهرساً للعديد من النجوم الأكثر سطوعاً باستخدام المتقاطعات. منذُ فترة طويلة ومع التويدوليت (وهي أداة مسح مع تلسكوب دوار لقياس الزوايا الأفقية والرأسية)، استخدمت الأركان المتقاطعة لقياس الارتفاع الزاوي لنجم فوق الأفق. في الحالة الأخيرة، كانت المتقاطعات تتوجه عمودياً نحو النجم، مع انزلاق التقاطع حَتى تمتد المسافة من النجم إلى الأفق. فقد كان من الممكن حساب الزاوية المقابلة من علم المثلثات البسيط.

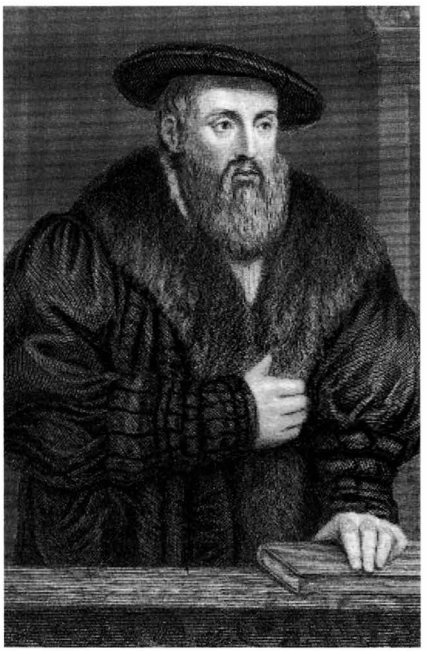
في العام 129 قبل الميلاد، واصل عالم الفلك والرياضيات اليوناني هيبارخوس تفوّقه على أعمال تيموخوريس عن طريق قياس أكثر من 8,000 موقع للنجوم التي ترى بالعين المجردة. لكن تصويره لنجمة هيبارخوس قد اختفى أيضاً في العصور القديمة، وان المتبقي من أعماله الوحيدة هو تعليقه على ظواهر أراتوس ويودوكسوس، التي تصف أشكال الأبراج السماوية بصورة مفصلة. فقد كانت دقة هذه القياسات الزاويّة بما يقارب قطر القمر في حالة البدر، أو 0,5 درجة.

نظام كيبلر الشمسي

في حوالي العام 1580 قبل الميلاد، طور عالم الفلك الدنماركي (تايكو براهي) أدوات متخصصة على شكل دوائر رباعية - سداسية. حددت هذه الأدوات موقعاً للأجرام السماوية التي كانت أدق بعشرة أضعاف من تلك التي طوّرها بطليموس أو هيبارخوس. قام تايكو بحساب مواقع 1,000 نجم بدقة 1/ 60 درجة، والتي شكلت الأساس لجداول رودولفين التي طورها مساعده يوهانس كيبلر.

جوهانسُن كيبلر

ولد جوهانسُن كيبلر في 27 ديسمبر 1571 في المانيا، حَيثُ التحق بالعمل لصالح (تايكو براهي) كمساعده الحسابي في 4 فبراير 1600 لتحقيق الهدف المنشود لفهم المعلومات الهائلة المجموعة من قبل براهي، وبصورة خاصة لإثبات نظام (براهي) الشمسي الذي تدور فيه الكواكب حول الشمس بينما الشمس تدور حول الأرض. في هذه الأثناء نجح كيبلر باكتشاف شكل الكسوف لمدار المريخ وكشف ما يعرف بقوانين كيبلر الثلاثة لدورة للحركة الكواكبية. قبل أداء هذه الحسابات، كان كيبلر منجماً مشهوراً في المحكمة، وفي العام 1621 تم استدعاؤه للدفاع عن أمه بتهمتها بمزاولة السحر.



جوهانسُن كيبلر كان مشهوراً بقوانينه عن الحركة الكواكبية

إن الشيء الأكثر أهمية، هو عندما لاحظ تايكو مذنباً في العام 1585 ومن خلال قياسات دقيقة اكتشف مساره بين النجوم. لقد كان واضحاً من القياسات المعاصرة التي قام بها المنجم والرياضياتي الألماني المشهور (مايكل ماستلين) بأن هذه المادة لم تبين أي دليل على تحول موقعها عندما قيست من موقعين مختلفين وهذا يسمى (مبدأ المفارقة). هذا يعني أنه لا بُدَّ من أن تكون هناك مادة تقع بعيداً عن المجالات شبه القمرية المتغيرة والمائلة مع أن مسارها لم يكن دائرياً، لكنه متقاطع مع مدارات الكواكب. يمكن للمرء أن يستنتج من هذا فقط أن هذه الأجرام السماوية لم تكن ثابتة على الإطلاق، بل سريعة الزوال بصورة أكبر – إذا كانت موجودة حتماً. بناءً على تعبير تايكو: « إن هيكل الكون سائل وبسيط جداً ».

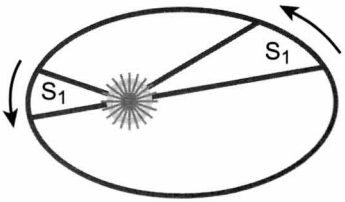
اختلاف المنظر: هو التحول الظاهر في موضع الجسم السماوي عند مشاهدته من موقعين مختلفين على الأرض، أو من نفس الموقع على الأرض بعد مرور ستة أشهر. يمكن بعد ذلك استخدام درجة التحول عن طريق الهندسة لحساب المسافة إلى المادة.

سمحت الدراسات الدقيقة لمواقع الكواكب التي قاسها (تايكو) لمساعده (يوهانس كيبلر) بالتعرف على ثلاثة قوانين والتي يبدو ان الكواكب الخمسة المعروفة كانت تسير وفقاً لها. هذه القوانين هي:

- الكواكب التي تتحرك على طول مسارات الكسوف
- سرعات الكواكب التي تجتاح مناطق المدارات المتساوية في أوقات متساوية.
- الفترات المدارية المرتبطة بأبعادها الشمسية المحكومة بقاعدة $T^2 = R^3$ حَيثُ إنّ T هو الفترة المدارية لكوكب معين بينما يمثل R هو متوسط قطر المدار.

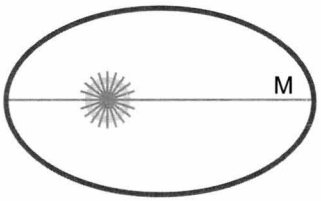
القانون الأول

القانون الثاني



منطقة متساوية في
نفس المنطقة الزمنية
$S_1 = \text{area } S_2$

القانون الثالث



P: الفترة (الوقت لدورة واحدة)
M: طول المحور الرئيسي
p^2/M^3 هو نفسه لجميع الكواكب

الوحدة الفلكية AU: هي المسافة بين الأرض والشمس، والمقياس النسبي الذي يقارن الأبعاد بين الشمس وأجسام النظام الشمسي الأخرى.

NICOLAI COPERNICI

net, in quo terram cum orbe lunari tanquam epicyclo contineri diximus. Quinto loco Venus nono mense reducitur. Sextum denig locum Mercurius tenet, octuagesta dierum spacio circu currens. In medio uero omnium residet Sol. Quis enim in hoc

pulcherrimo templo lampadem hanc in alio uel melior illoco po nere, quam unde eorum simul possit illuminare? Siquidem non inepte quidam lucernam mundi, alij mentem, alij rectorem vo cant. Trimegistus uisibilem Deum, Sophocles Electra intuent omnia. Ita profecto tanquam in solio regali Sol residens circum agentem gubernat Astrorum familiam. Tellus quoque minime fraudatur lunari ministerio, sed ut Aristoteles de animalibus ait, maxime Luna cum terra cognationē habet. Concipit interea à Sole terra, & impregnatur anno parit. Inuenimus igitur sub hac

حدد القانون الثالث لـ (كبلر) مقياس النظام الشمسي بأكمله، إذ بتحديد المسافة بين الشمس والأرض بنسبة 1. وحدات تسمى (الوحدات الفلكية أو AUs)، يكون كوكب عطارد عند 0,35 AU بينما يقع كوكب زحل عند 9 AU. ولأول مرة في التاريخ، تم إنشاء النطاق النسبي للنظام الشمسي. حَيثُ تتطلب أبعادها المطلقة بالكيلومترات فقط تحديد إحدى المسافات الكوكبية.

مثال على نموذج النظام الشمسي ذو الأصداف المتداخلة حوالي عام 1540

اختلاف المنظر (المفارقة)

تقاس الزاوية الموضحة بالرمز اليوناني ϕ بالوحدات الهندية بحَيثُ يكون 1 زاوية نصف قطر يساوي 57,3 درجة، والذي يحصل عليه من النسبة 360 / 2

$$\text{س} = \frac{57,3 \text{ الإزاحة (M)}}{\text{المسافة (M)}}$$

يتم الحصول على (زاوية المنظر) المقاسة بالدرجات، عند عرض جسم ذي قطر ثابت، أو فصله من مسافة بعيدة. ويمكن أيضاً عكس هذا التأثير ليمكنك قياس زاوية المنظر باستخدام التويدوليت. على ان تعرف قبل ذلك حجم الأشياء البعيدة، وتحديد المسافة بالأمتار. تقاس الأجسام الموجودة في السماء في علم الفلك بالدرجات، أو بالدقائق (1 / 60 درجة)، أو بالثواني القوسية (1 / 3600 درجة)، أو حَتى باستخدام وحدات أصغر. عند ضربها بمسافة باستخدام الصيغة أعلاه، يمكننا تحديد الحجم الفعلي للكائنات البعيدة في الفضاء، وهو دليل مهم على طبيعتها.

المقياس المادي للنظام الشمسي

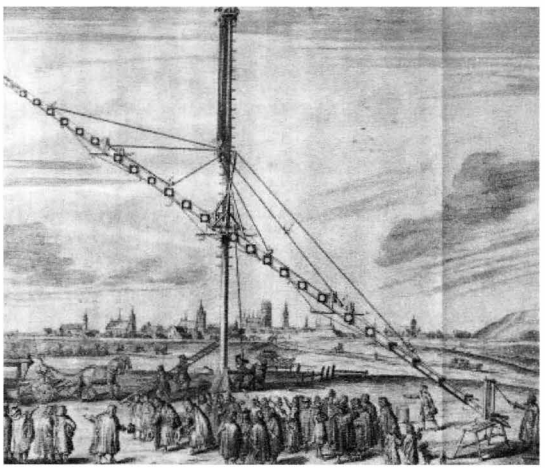
غاليلو الذي طور انكسار التلسكوب

على الرغم من استعانة هيبارخوس بطريقة (اختلاف المنظر) لقياس المسافة إلى القمر عند تطبيق نظرية اختلاف المنظر، أو غيرها من الطرق المعتمدة على المراحل القمرية (أريستارخوس) على مسافة الأرض – الشمس، فقد كانت النتائج غير دقيقة بعوامل (ألف). فقد بقي تقدير بطليموس لـ 1,200 من نصف قطر الأرض، أو حوالي سبعة ملايين كيلومتر

(أربعة ملايين ميل) هو المعيار الذهبي للوحدة الفلكية حَتى زمن نيكولاس كوبرنيكوس، عالم الفلك والرياضيات في عصر النهضة البولندي الذي وضع طرازه الثوري النموذجي للكون حَيثُ الشمس في مركزها بدلاً من الأرض.

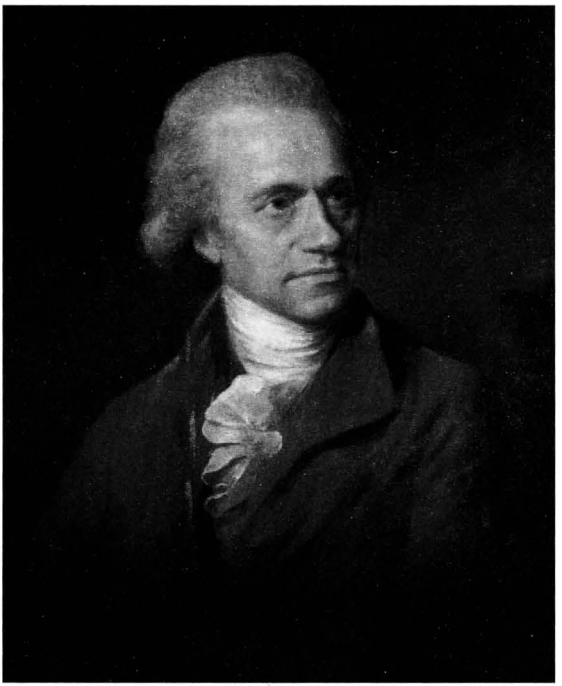
أخيراً، وللمرة الأولى، تم تحديد قيمة أكثر دقة باستخدام تقنيات التلسكوب من قبل (جين ريتشر)، و (جوفاني كاسيني) إذ قاما بقياس اختلاف (زاوية المنظر) للمريخ بين مدينة باريس، و (كان) في فرنسا عندما كان المريخ في أقرب نقطة إلى الأرض في العام 1672. من خلال قياسهما لزاوية الاختلاف، والمسافة المتوقعة إلى المريخ مبنية على مقياس وحدة كيبلر الفلكية، فقد توصلا إلى أن الوحدة الفلكية 1 تتوافق مع مسافة 21,700 لأقطار الأرض، أو 140 مليون كم. وأن القيمة الحديثة المعتمدة هي 149 مليون كم.

أدت التطورات في المجهر الانعكاسي في أوائل القرن السابع عشر إلى تغيير كبير في فهم المحتوى الحقيقي للسماء والكون. كانت الكثير من الأشياء مثل الكتلة النجمية، والسدم في كوكب أوريون، ومجرة أندروميدا، معروفة منذُ العصور القديمة، ولكنها لم تكن أبداً مفصلة بصورة كافية لتمييز أشكالها الحقيقية، أو ما إذا كانت تلك الأجسام الوحيدة موجودة في السماء أم لا. في العام 1610، كشف عالم الفلك الإيطالي غاليلو غاليلي - باستخدام تصميمه المجهري الانعكاسي - أن طريقة درب التبانة كانت مليئة بالنجوم الباهتة جداً بحَيثُ لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة. كان هذا بمثابة كارثة لاهوتية (دينية)



قطعة خشبية من التلسكوب الذي استخدمه جوهانسُن هيفليس 1673

كبرى، وهي أنه لماذا خلق الله نجوماً غير مرئية؟ لم يزعج غاليلو ذكر سديم الجوزاء، رغم أنه رسم خريطة للنجوم داخله، لكن عمله مهد الطريق لعلماء الفلك الآخرين لبناء أدوات أكبر، والبدء بعملية طويلة لتصنيف محتويات الكون.



ويليام هيرشِل، الذي بنى أكبر التلسكوبات التي ساهمت باكتشاف كوكب أورانوس

في العام 1655، كان العالم الفلكي (كريستيان هايجينز) يبني أكبر نظارات تجسس بمثابة مجهر، لكنها لم تدم طويلاً، فقد انهارت بسرعة عند ظهور المجهرات (التلسكوبات) المعتمِدة على تصميم مرآة إسحاق نيوتن، المعروفة بتلسكوبات الانعكاس في بداية العام 1668. كانت هذه المرايا عبارة عن قرص من قطعة معدنية تسمى **البريق**، إذ كانت ترتكز على الأرض بحَيثُ كان شكلها المقعر جزءاً من الجسم الكروي، أو الجسم المكافئ الدوراني. لقد سمح هذا للضوء القادم من مصدر بعيد أن يكون مركزاً، وباستخدام نظام عدسات ثانٍ يسمى Eyepeice **قطعة العين**، بذلك استطاع علماء الفلك الحصول على صورة مكبرة بصورة عظيمة. وكذلك قام العالم الإنكلو - الماني السير ويليام هيرشِل بتحسين التصميم النيوتيني لبناء مجهرات واسعة بصورة متزايدة. وقد اكتمل أول هذه التلسكوبات العام 1789، فكان عبارة عن آلة طولها 49 إنج (2 ,1م) استخدمها بصورة أساسية للبحث عن النجوم المزدوجة. لكن يبقى

النجاح المبكر الذي جعله مشهوراً على مستوى العالم هو اكتشاف كوكب أورانوس، الذي يعتبر الجسم الكوكبي الأول المكتشف منذُ العصور القديمة.

أصدر العالم الفرنسي الملقب بـ (صياد المذنبات) (جارلس ميزر) فهرس السديم والنجوم العنقودية في العام 1781. إذ أعطى هذا بعض الصفات لـ 103 من أجسام فضائية بما في ذلك سديم أوريون، وسديم أندروميدا (ميزر 31) وسديم كراب (ميزر 1). لم يكن مهتماً على وجه الخصوص بتلك الأجسام نفسها، بل كان هدفه ضمان عدم اصطدام تلك الأجسام بالمذنبات. كانت هذه مجرد قائمة عشوائية حصل عليها بواسطة مجهر صغير.

على أي حال، استخدم هيرشِل في العامين 1872 و1802 العديد من التلسكوبات ذوات الفتحات التي يبلغ طولها 30 سم و45 سم لتنفيذ أول أبحاث نظامية حول الأجسام غير النجمية في السماء. فقد قام أخيراً بفهرسة 2400 مادة أطلق عليها اسم (المجرات)، التي احتوت على مجموعة نجوم خافتة الضوء من بين أكثر البقع الضوئية. تم جمع وتوسيع هذه الأعمال من قبل شقيقته (كارولين هيرشِل)، وابنه جون هيرشِل تحت اسم **(الفهرس العام الجديد)** لـ 7840 من أجسام السماء البعيدة. أدى هذا إلى الاستخدام الحديث لـ (فهرس العام الجديد) للتعرف على العديد من المجرات المضيئة، ومجموعة النجوم العنقودية، والسديمات المجرية الأخرى التي تدرَس في الوقت الحاضر. على سبيل المثال يمكن تسمية مجرة أوريون أما ميزر 42 (م 42)، أو الفهرس العام الجديد 1976. أخذ جون هيرشِل فيما بعد المجهر الذي يبلغ طوله 601 سم (20 قدم) إلى كيب تاون – جنوب أفريقيا، حَيثُ صنف هناك نجوم السماوات الجنوبية. في العام 1845، أنجز ويليام بيرسن أكبر تلسكوب بفوهة ذات سعة 72 إنجاً (183 سم). حَيثُ أصبح بيرسن بهذا الإنجاز أول من ميّز الأشكال الحلزونية للعديد من السديمات، وفي الأخص السديم الدوّام (ام 51).

الفضاء والشعور السائد

نوقشت مسألة فيما إذا كان الفضاء فارغاً، أم ممتلئاً مرات عديدة عبر التاريخ. افترض بعض الفلاسفة القدماء مثل أرسطو أن المساحة الفارغة لفضاء فارغ هو أمر مستحيل، **فالطبيعة لا تعترف بالفراغ**. ومع ذلك اعتقد علماء ذرة كثيرون مثل ديمكروتس أنه إذا كانت المادة مصنوعة من جزيئات صغيرة (ذرات)، فعندئذ يجب أن تكون بينها فجوات لكي تتمكن هذه المادة من التحرك في مكان آخر، فعلى سبيل المثال في ازدحام المرور على طريق سريع، يتم وضع كل شيء في مكانه بشكل دائم، وفي موقع واحد.

آمنَ أنصار فيثاغورس أيضاً بوجود فراغ، في حين هاجم أنصار (البارمنيدس، أحد فلاسفة اليونان) هذه الفكرة. أولئك الذين اعتقدوا أن المساحة الفارغة مستحيلة كانوا مكرهين بسبب منطقهم الخاص على اقتراح شيء لملء الفراغ. وقد اعتقد اكسماندير، الذي ينتمي إلى المدرسة الايونية في اليونان، أن كل شيء في الفضاء كان قد تكون من مادة واحدة، وكانت هذه المادة عبارة عن وسيط مستمر ومطلق يملأ كل الفضاء تسمى (الأثير).

لم يؤمن العالم الفرنسي رينيه ديكارت في القرن السابع عشر بوجود الفضاء (الفارغ). حَيثُ ناقش بأن التمدد هو خاصية أساسية للمادة، وأن التمدد بدون مادة هو أمر مستحيل. وأكد أن الفراغ في الفضاء الذي لا يوجد فيه أي جسم على الإطلاق هو منافٍ للعقل. قاد هذا ديكارت إلى فكرة أن الفضاء يجب أن يُملئ بالكامل بوسيلة نادرة لا يمكن للحواس اكتشافها. لذا اقترح ديكارت ثلاثة أنواع من المادة:

١ - **النار**: هي أساس النجوم والشمس، إذ تتكون من دقائق وجزيئات مضيئة.

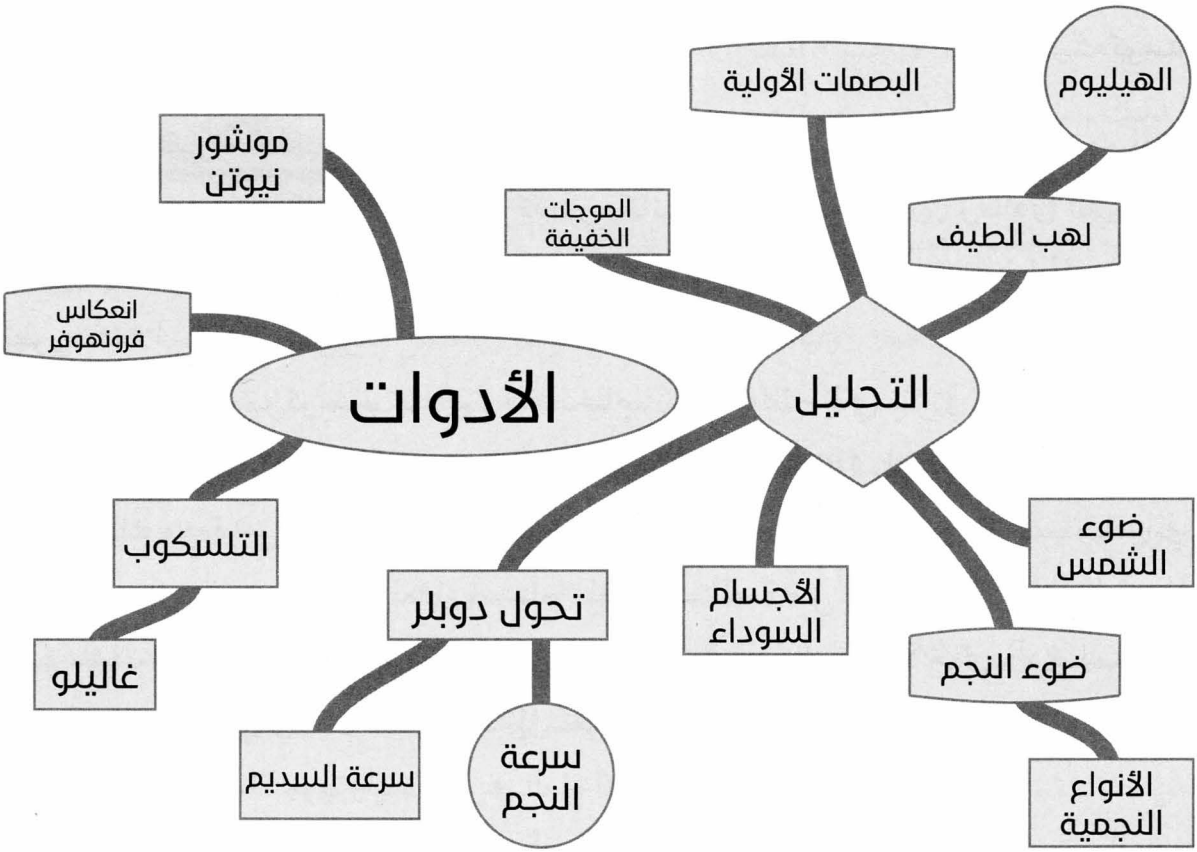
٢ - **الهواء**: وهو مكون من جزيئات كروية شفافة تسمح للضوء المرور من خلالها.

٣ - **الأرض**: هي المادة التي تكونت منها جميع الكواكب.

لم يتم التخلي عن الحاجة إلى وسيلة لملء الفضاء حَتى القرن العشرين، عندما تم استبعاد، الأثير المضيء، (هو المادة الافتراضية التي تنتقل عبرها الأمواج الكهرومغناطيسية) أثناء ثورة ما بعد أينشتاين، التي قدمتها نظريتا النسبية الخاصة والعامة. فقد أوضحت نظرية النسبية العامة أخيراً كيف كان الفضاء نفسه خيالي (أسطوري)، لأن المفهوم النيوتيني للفضاء المطلق والإطار الزمني للكون لم يعد ضرورياً، ولم يكن متوافقاً مع الملاحظات المؤكدة للنظرية النسبية.

أكدت الأفكار الحديثة بأنه لا يمكن للفضاء أن يكون موجوداً بدون جسم ليعرفه - كما هو الحال في هذا النموذج من الإطار السلكي لرأس الإنسان

تكوين الكون


الأدوات
موشور نيوتن
انعكاس فرونهوفر
التلسكوب
غاليلو
التحليل
البصمات الأولية
الهيليوم
الموجات الخفيفة
لهب الطيف
ضوء الشمس
الأجسام السوداء
ضوء النجم
الأنواع النجمية
تحول دوبلر
سرعة السديم
سرعة النجم

ولادة الفيزياء الفلكية

في العام 1835، صرح أوغست كومت، الفيلسوف الفرنسي البارز، أن البشر لن يكونوا قادرين على فهم التركيب الكيميائي للنجوم. ولكن سرعان ما ثبت أنه كان على خطأ ...

« لن نعرف أبداً كيف ندرس التركيب الكيميائي للنجوم بأي شكل من الأشكال ... أصر على أن كل فكرة عن متوسط درجات الحرارة الحقيقية للنجوم سوف تكون مختفية عنا دائماً ».

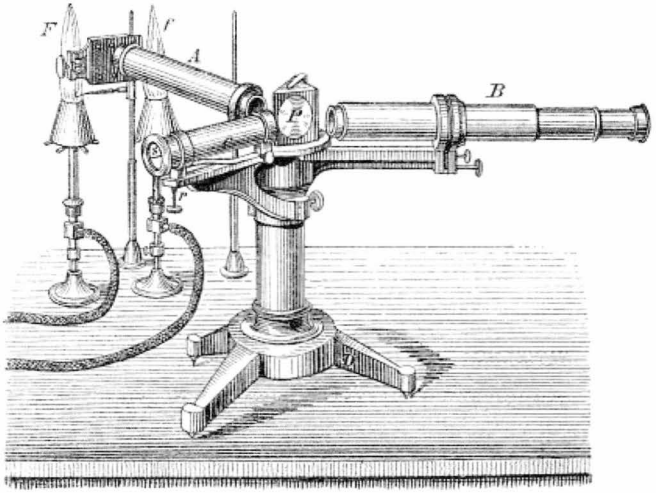
أوغسيت كومت

تختص الفيزياء الفلكية بتحليل الأجسام، والظواهر السماوية من حَيثُ قوانين الفيزياء ومبادئها الأساسية، بما في ذلك قانون نيوتن للحركة، وميكانيكية الجاذبية، وقوانين ومبادئ الديناميكا الكهربائية التي طورت في القرن التاسع عشر، والعديد من النظريات الفيزيائية الجديدة التي تطورت خلال القرن العشرين.

يُعرِف سيمون نيوكومب، صاحب كتاب عناصر علم الفلك الذي نشر في العام 1900، أن مجال الفيزياء الفلكية قد بدأ مع اختراع التحليل الطيفي في العام 1859. لقد مكن التحليل الطيفي علماء الفلك من قياس طيف الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي يشع من الأجسام السماوية بما في ذلك النجوم. وأصبح بإمكان العلماء استنتاج المعلومات المهمة مثل التركيب الكيميائي للنجوم، وسرعاتها، واتجاهاتها النسبية للحركات التي تتعلق بالأرض، والنجوم الأخرى. أدى استخدام التصوير الفوتوغرافي في علم الفلك أيضاً إلى تعزيز التحليل الطيفي، الذي بشرت به أول صورة واضحة للقمر بواسطة جون وليام درابر في العام 1840.

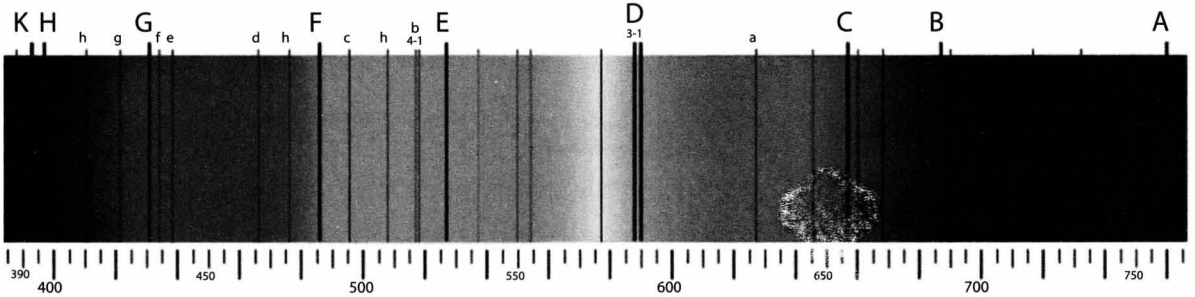
كان الرومان القدماء أول من اكتشف أن بإمكان (الموشور) تقسيم أشعة الشمس على ألوان. كذلك قامت مجموعة متنوعة من الباحثين في العام 1600، مثل الكيميائي الإنكلو - أيرلندي

روبـرت بويل، بتجربة هـذا التأثير. لكن تُنسبْ أول دراسة مفصلة مسجلة لهذه العملية إلى السير إسحاق نيوتن في كتابه البصريات. بالإضافة إلى ذلك، اكتشف أنه بإمكان الموشور أن يعيد تجميع هـذه الألـوان في ضـوء أبيض. لـذلـك، لم يكن المـوشـور مجـرد ضوء ملون، بل كان عرضاً مثيراً، وخاصية متأصلة من الضوء نفسه.



مطياف ويليام هوجينز عام 1864

في العام 1802، طور (وليام والستون) نظاماً موشورياً شمل العدسة لتركيز ضوء الشمس على الشاشة، واكتشف أن قوس قزح الألوان انقطع بواسطة خطوط داكنة غير عادية ذات عرض وكثافة مختلفتين. بعد عشر سنوات، قام صانع العدسات البافاري (بافاريا إحدى ولايات المانيا الاتحادية)، جوزيف فون فرونهوفر، بتحسين نظام ولستون من خلال استبدال الموشور بعدد من الشقوق المستطيلة المتوازية المكونة من 260 سلك لتحويل الضوء إلى طيف، فنتج عن ذلك إنشاء حواجز شبكية مسطرة مع الآلاف من الخطوط الشبيهة بالشقوق المسجلة في الزجاج البصري المعروف باسم حواجز الانحراف. كان المبدأ هو مرور الضوء عبر عدسة موازية تكوّن أشعة أضواء بارزة، ثُمَّ يمر من خلال شق إلى سطح مشبّك، حَيثُ يؤدي التداخل البصري للضوء إلى انتشار أطوال موجية. بعد ذلك، يمكن إضافة تليسكوب صغير في الزاوية التي تحددها الهندسة المشبّكة، وتركيزه للعين، أو على الطبقة الحساسة للتصوير الفوتوغرافي لتسجيله.



يظهر طيف الشمس خطوط الامتصاص الذري، التي رسمها جوزيف فراونهوفر، مرتبة من الحروف من **A** إلى **K** من الأطول إلى الأقصر

طول الموجة مقاسة بالملم

تم تطبيق التحليل الطيفي لتصميم فرونهوفر بسرعة لدراسة الضوء من مجموعة متنوعة من المصادر. في العام 1859، طبق الكيميائي الألماني روبرت بونسن، والفيزيائي غاندستاف كيرشوف هذه الأداة لدراسة الأضواء من مجموعة متنوعة من عناصر تمّ تسخينها بواسطة لهيب الشمع. وقد اكتشفا أن الخطوط الطيفية – بمثابة بصماتهم المميزة الفريدة من نوعها – يمكن استخدامها مع قدرة عالية على تحديد العناصر الكيميائية. أدى هذا الإدراك على الفور تقريباً إلى إضافة هذه الأداة إلى التلسكوب لتحليل الضوء من الكواكب والنجوم والشمس والسدم البعيدة، وهي تقنية استخدمها لأول مرة علماء الفلك الإيطاليان جيوفاني دوتاني، وأنجيلو سيكشي، والأميركي لويس روثرفورد.

تكوين وتصنيف النجوم

قبيل نهاية القرن العشرين، جمع علماء مثل ويليام هيغنز، وسكشي، أكبر عدد ممكن من أطياف النجوم، وقضوا وقتاً طويلاً في وضعها في مجموعة متنوعة من مخططات التصنيف. ظهرت ثلاث مجموعات أساسية: النجوم الزرقاء والبيضاء، والنجوم الصفراء (أو النجوم الشمسية)، والنجوم الحمراء. ففي العام 1885، ساعد إدوارد بيكرينغ، من مرصد كلية هارفرد فريقه باستثمار أجهزة

الكمبيوتر الخاصة بفريقه النسائي من بينهم (وليامينا فليمنغ وآني جمب كانون) لإنشاء برنامج طموح للتصنيف الطيفي النجمي باستخدام أطياف مسجلة على لوحات فوتوغرافية. وبحلول العام 1924، وسعت آني جمب كانون، بعد رؤى بيركينغ، الفهرس إلى تسعة مجلدات، وأكثر من ربع مليون نجم، وطورت نظاماً من سبعة أنواع طيفية O, B, A, F, G, K, M فأصبحت بسرعة مقبولة الاستخدام في جميع أنحاء العالم.

مكتبة | سُر مَن قرأ

نوع الطيف	اللون	درجة الحرارة (كلفن)	خصائص الطيف
O	ازرق داكن	50 ,000 – 28 ,000	الهليوم المتأين
B	ازرق متوسط	28 ,000 – 10 ,000	الهليوم وبعض الهيدروجين
A	ابيض	10 ,000 – 7 ,500	هيدروجين قوي، وبعض المعادن المتأينة
F	اصفر فاتح	7 ,500 – 6 ,000	هيدروجين، وبعض المعادن المتأينة بضمنها الكالسيوم والأيون
G	اصفر غامق	6 ,000 – 5 ,000	هيدروجين، وبعض المعادن المتأينة الكالسيوم المتأين
K	برتقالي	3 ,500 – 2 ,500	معادن (فلزات)
M	احمر	—	اوكسيد التاتينيوم والكالسيوم

نظام انواع الطيف السبعة

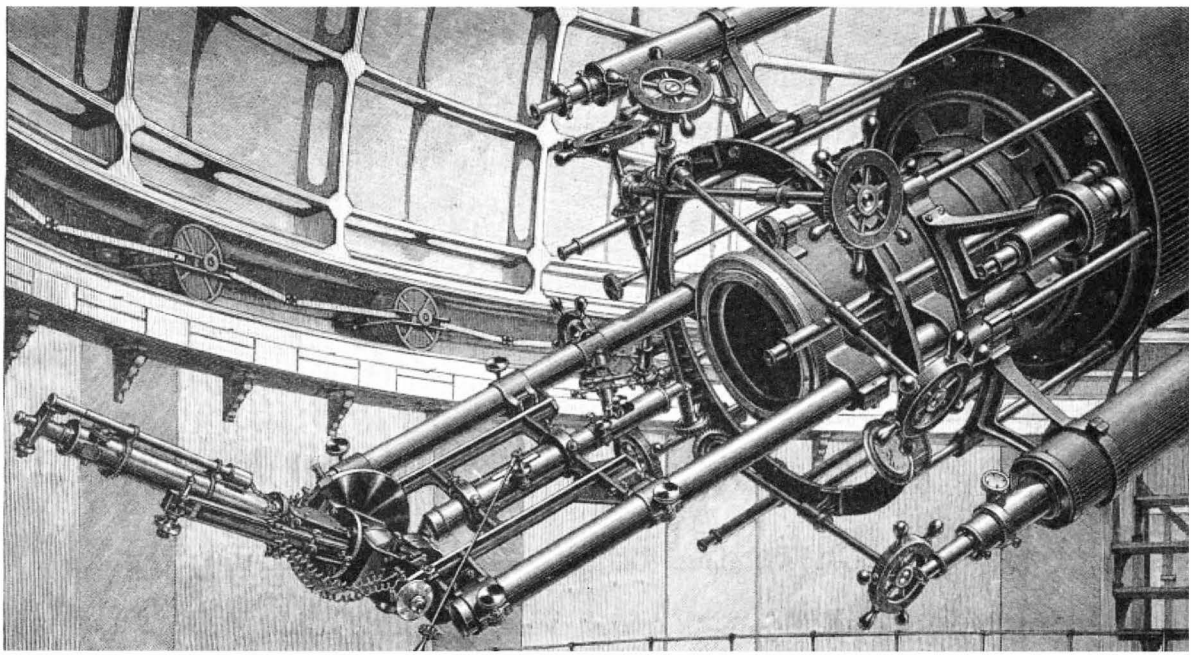
مكتبة
t.me/t_pdf

فن الاستذكار الكوني

قد يكون من الصعب تذكر ترتيب بعض التسلسلات المهمة في العلوم، مثل الألوان في الطيف المرئي، والكواكب في النظام الشمسي أو مخطط تصنيف النجوم. لذلك، وعلى مر السنين تم ابتكار فن الاستذكار الكوني لمساعدة ملايين الطلاب لتعلم تلك التسلسلات. تقوم طريقة فن الاستذكار

بجمع الحرف الأول من العناصر في التسلسل ليتم تذكرها عن طريق قول لا يمكن نسيانه، أو قافية منْ أَجل تذكرها بشكل أفضل. على سبيل المثال، قد يصبح ترتيب الكواكب في المجموعة الشمسية (عيون ماري البنفسجية التي جعلت جون يجلس ليلاً يفكر).

لكوكب عطارد والزهرة والأرض والمريخ والمشتري وزحل وأورانوس ونبتون وبلوتو قد يصبح لون الطيف للأحمر والبرتقالي والأصفر والأخضر والأزرق والنيلي والبنفسجي. فيما يتعلق بمخطط التصنيف النجمي، لدينا Oh Be a Fine Girl Kiss Me لتذكر تسلسل O, B, A, F, G, K, M! امتداد لهذا التسلسل إلى النجوم الأكثر برودة يضيف ثلاث فئات أخرى – R, N, S – ما أدى إلى ذكرى جامعة هارفرد.

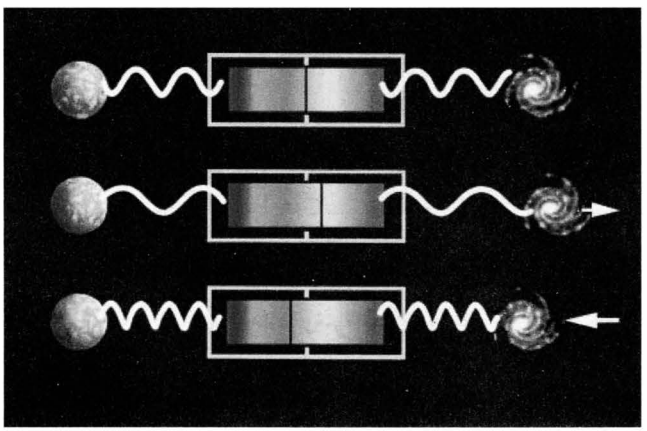


مطياف النجوم لمرصد ليك، صممه جيمس كيلر وشيده جون براشير عام 1898

حريم بيكرينغ

بينما كان إدوارد بيكرينغ يشغل مدير مرصد كلية هارفرد، حصل على تبرع كبير من أرملة فلكي ثري (هاوي) غير محترف، لإصدار فهرس نجوم. اشتمل العمل على كمية هائلة من العمليات الحسابية المعقدة. فقد كان يشعر بالإحباط بسبب مستوى العمل الذي يقوم به مساعديه، مدعيا أن خادمته الاسكتلندية، ويليامينا فليمنغ أعاقت عمله، وكان من الأفضل أن يفعل ذلك وحده. لم يكن هذا مجرد تباه لأنها كانت معلمة الرياضيات التي جاءته في الأوقات الصعبة. قام بتكليفها والعديد من النساء للقيام بالحسابات اللازمة. فقد أصبحوا معروفين باسم حريم بيكرينغ من قبل أعضاء المجتمع العلمي المحترف، والذي سبق وأن استُبعدت منه النساء. أصبحت فيما بعد العديد من النساء، بما في ذلك آني جمب كانون، وهنريتا سوان ليفيت، وأنتونيا ماوري، وفليمنغ نفسها من رواد علم الفلك في حد ذاته، مما ساعد على تطوير علوم الفلك، وعلم الكونيات.

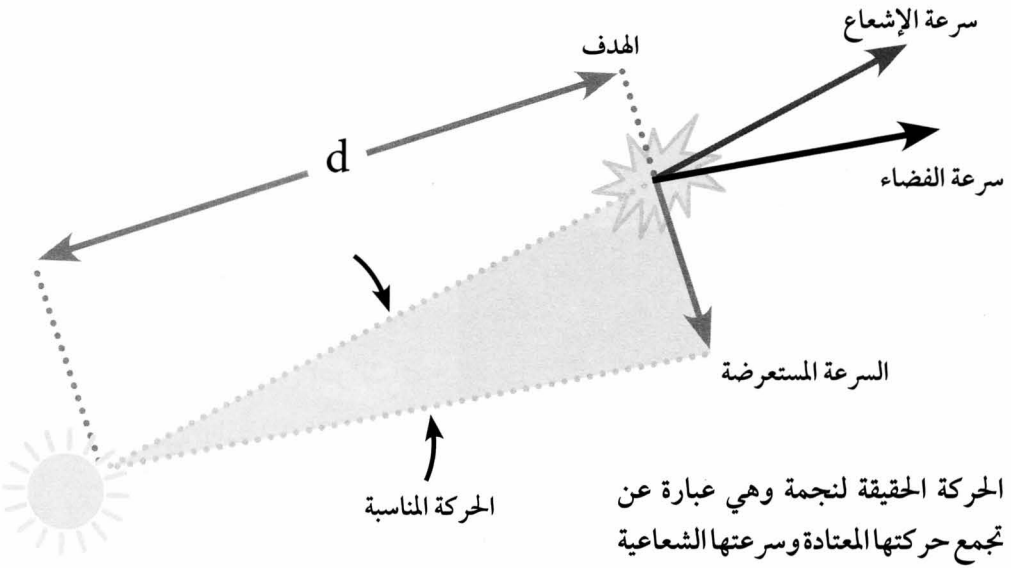
تحول دوبلر



خطوط ألوان الطيف المتحولة بتأثير الدوبلر

بالإضافة إلى تحديد التكوين الأولي للنجوم، والسدم البعيدة، أدى التحسن الثابت في زيادة دقة الأطياف إلى إدراك أن مواقع الخطوط الطيفية المختلفة لا تتطابق بشكل دقيق مع قيم المختبر. سرعان ما تم تحديد هذا كدليل على حدوث تحول بسبب سرعة مصدرالضوء: المعروف باسم تأثير دوبلر (أو تحول دوبلر). وقد وصف

الفيزيائي النمساوي كريستين دوبلر هذه الظاهرة في العام 1842 عندما كان يدرس الصوت. تكمن حسابات تأثير دوبلر في حقيقة أن درجة مصدر الصوت المتحرك مثل صفارات إنذار سيارة الشرطة، تتغير مع اقترابها ثُمَّ تنحسر. مع اقتراب السيارة، تضغط الموجات الطولية للصوت، مما يجعل صفارات الإنذار بتردد اعلى. وعندما تنحسر السيارة، تتمدد الموجات الطولية، مما يجعل صفارات الإنذار أقل تردداً. تم تأكيد تأثير دوبلر في موجات الضوء في العام 1848 من قبل هيبوليت فيزو. أما في حالة الضوء، عندما يتحرك مصدر الضوء بعيداً، تتمدد الموجات الطولية مع تحويل الخطوط الطيفية نحو الموجات الطولية (التحول الأحمر)، وضغطها مع اقتراب مصدر الضوء، وتحويل الخطوط الطيفية إلى الموجات الطولية الأقصر (التحول الأزرق).



الحركة الحقيقة لنجمة وهي عبارة عن تجمع حركتها المعتادة وسرعتها الشعاعية

سرعة الفضاء المطلقة: السرعة والاتجاه في ثلاثة أبعاد فضائية.

الحركة المعتادة: السرعة والاتجاه في بعدين، كما تشاهد من الأرض.

السرعة الإشعاعية: السرعة البعيدة من، أو باتجاه الأرض، طبقا لمقياس تحول دوبلر.

بحلول العام 1887، تحسنت تقنيات التصوير للدرجة التي أصبح فيها من الممكن قياس السرعة الإشعاعية لنجمة من كمية التحول (دوبلر) في ألوانه الطيفية. بهذه الوسيلة قد خمنت السرعة الإشعاعية ل بحوالي 48 كم 30م بالثانية الواحدة) وذلك باستخدام قياسات نفذت في مختبر بوتسدام من قبل العالم هيرمان سي فوكل. وطبقاً لكتاب دايفيد تود 1897 (علم الفلك الجديد)، نتج عن تأثير دوبلر في هذا الوقت إنهاء السرعة الإشعاعية لأقل من 100 نجمة بما في ذلك نجوم: سبايكا، ريجل، الدبران وألتير. كانت السرعات بترتيب 20 إلى 50 كم بالثانية. فقد كانت حدود الدقة حوالي 3 كم بالثانية. والأكثر من ذلك، قد اعتبرت السرعات فوق 80,000 كم بالساعة، و50,000 متر بالساعة غير معقولة بالنسبة لأي إنسان عاقل في ذلك الوقت.

سرعة الفضاء

إن سرعة الفضاء لجسم معين هي حركتها (السرعة والاتجاه) في ثلاثة أبعاد فضائية. ولذلك فإننا عندما ننظر إلى النجوم ونخمن سرعتها الحقيقية في الفضاء، يجب علينا تحديد حركتها بثلاثة اتجاهات. حَيثُ يكمن اثنان من هذه الاتجاهات في الكوكب ذي البعدين من السماء كما يُشاهد من الأرض. تسمى هذه الحركة حركة الجسم المعتادة، ويمكن حسابها بالدرجات والسنوات، أو عندما تكون مسافة المادة معروفة، تقاس بالكيلومترات على الثانية. أما البعد الثالث للحركة فهو الحركة

بالاتجاه العمودي نحو كوكب السماء ويسمى هذا بالسرعة الإشعاعية للمادة، والتي يمكن قياسها مباشرة بمقياس (دوبلر) بدون معرفة بُعد المادة. لذا فإن دمج الحركة المعتادة مع السرعة الإشعاعية يعطي السرعة الفضائية الكاملة في الفضاء.

تحول دوبلر

حالما يصبح قياس الأمواج الطولية لخطوط الطيف النجمي بدقة ممكناً، فإننا يمكن أن نستخرج حركتها من المعادلة الآتية: $V=(\lambda-\lambda 0) / \lambda C$

في هذه المعادلة، تمثل V سرعة الجسم الذي ينبعث منه خط طيفي محدد بموجة طولية، والتي يتم إعطاء الموجة الطولية الحقيقية لهذا الخط للبقية على الأرض. الكمية، c هي فقط سرعة الضوء في الوحدات المطلوبة مثل c = 186,000 لـ V بالأميال / s و c = 300,000 للـ V بالكيلومتر / ثانية. على سبيل المثال، يظهر خط Balmer - alpha الهيدروجيني في المختبر بطول موجة يبلغ 656,45 ملم، لكنه لوحظ في مجرة بعيدة بطول موجة يبلغ 756,45 نانومتر. من صيغة دوبلر 756,45 - 656,45 / 656,45 = + 0152. ما يعني أن المجرة تنحسر من المراقب بمعدل 15,2 في المائة سرعة الضوء.

المسافات إلى النجوم

كانت المشكلة الرئيسية التي واجهها علماء الفلك حَتى أواخر القرن التاسع عشر هي الافتراض الكامن بأن كل النجوم أساساً كانت ذات السطوع الجوهري نفسه، بحَيثُ كان إدراكهم مقياساً مباشراً للمسافة باستخدام قانون التربيع العكسي. بدأ هذا الإدراك بالتضاؤل إذ تم تحديد المسافات للمزيد من النجوم باستخدام طرق المنظر (المفارقة)، ومن السطوع الظاهر من بعدها، النجوم ذات 100,1,0 وحَتى 1000,000 مرة تم اكتشاف مخرج الضوء الشمسي أخيراً.

اختلاف المنظر (المفارقة): هو التحول الواضح في موضع جسم ما في الفضاء عند مشاهدته من موقعين مختلفين. وبالاستعانة بالهندسة يمكن استخدام مقدار هذا التحول لحساب المسافة إلى ذلك الجسم

قانون المربع معكوس: الكثافة، على سبيل المثال، تثبت أن السطوع يتناسب عكسياً مع المربع إلى المسافة من المصدر. أي، كلما ازدادت المسافة قلت الكثافة باستخدام الصيغة $1/d^2$

سديمات خارج المجرة

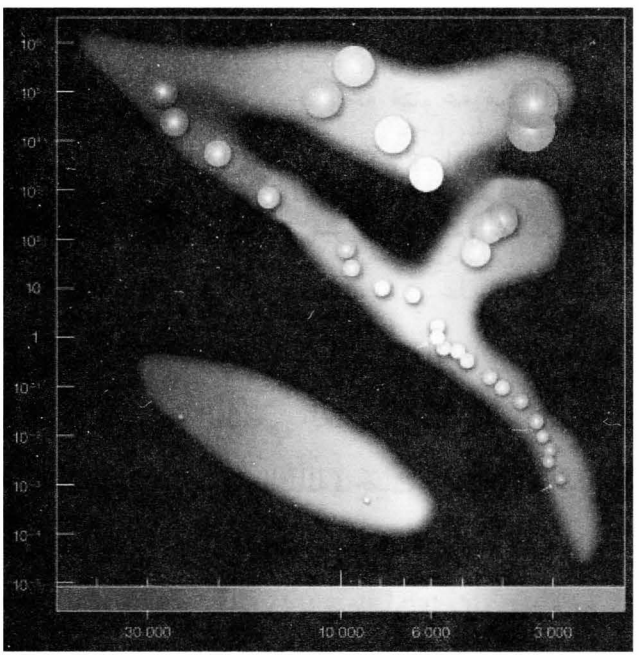
قام عالما الفلك، الإنجليزي إدموند هالي، والفرنسي نيكولا دي لاكايل خلال القرن الثامن عشر، بإعداد قوائم بمجموعة متنوعة من السدم الغريبة التي شوهدت من خلال التلسكوبات ذوات الحجم المتزايد بصورة كبيرة. إن أشهر هذه الكتالوجات المبكرة هي تلك التي أنتجها صياد المذنب الفرنسي (تشارلز ميزر)، وعالم الفلك الإنكلو - ألماني وليام هيرشِل. إذن ماذا كانت هذه السدم، وما الدور الذي قامت به في علم الكونيات؟

ادعى الفيلسوف الألماني (إيمانويل كانت) من دون أي دليل دامغ، في كتابه الصادر العام 1755، التاريخ الطبيعي العالمي، ونظريات السماوات، أن هذه السدم كانت، بالفعل، أشياء خارج حدود طريقنا (طريق التبانة) حَيثُ كانت هذه فكرة استفزازية في ذلك الوقت، خصوصاً لأنه لم يكن هناك ما يشير إلى أن مجرتنا، (درب التبانة) كان لها حدود معينة. اقترح الباحث الفرنسي (بيير سيمون لإبلاس) في الرد على (كانت)، أن السدم كانت عبارة عن نظام كوكبي في صناعة درب التبانة، مثل القرص المسطح لنظامنا الشمسي. في نهاية المطاف، كان ويليام هيرشِل مدعوماً بشكل كبير من وجهة نظر (كانت) في العام 1785، إذ أدت ملاحظاته على التلسكوب أيضاً إلى فكرة (جزيرة الأكوان) أو

(المجرات المنفصلة) حَتى وإن كان ذلك داخل مجرتنا درب التبانة. كما ذكر العالم (كانت) في كتابه: يتطلب الضوء الخافت للمجرات المنفصلة مسافة مفترضة لا حصر لها: كل هذا في تجانس تام مع وجهة نظر أن هذه الأشكال البيضوية هي مجرد أكوان (جزيرة).

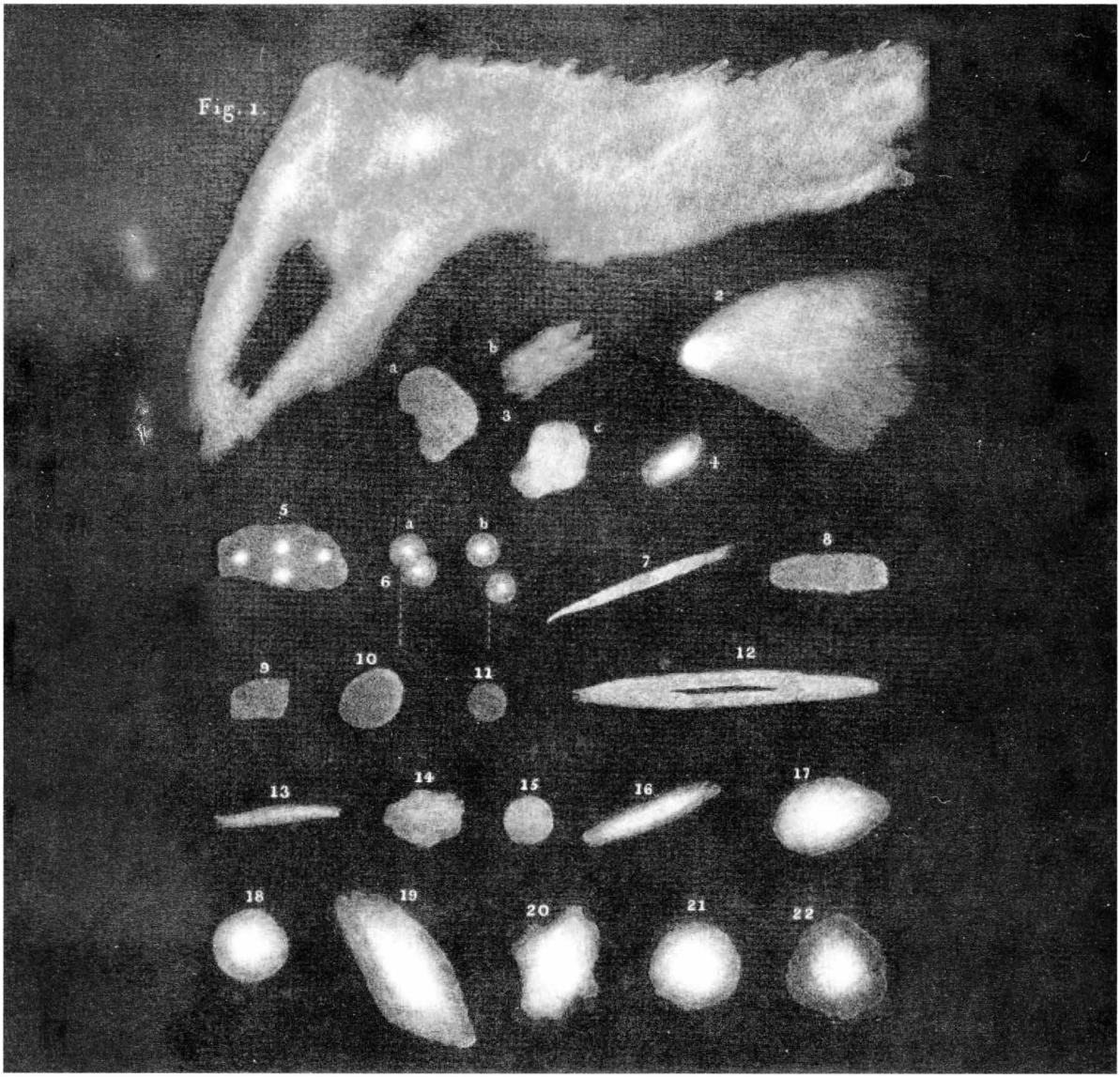
أصبحت طبيعة هذه السدم أكثر وضوحا من خلال دراسة ذكية، ولكن غير مباشرة، بدأها (جون ويل هيرشِل)، ابن (ويليام هيرشِل). إذ قام برسم مواقع جميع الأضلاع المفهرسة المعروفة على رسم بياني يوضح درب التبانة على طول خط الاستواء في السماء مع السدم ممثلة بالنقاط. كتب جون هيرشِل: إن الاستنتاج العام الذي يمكن استخلاصه من هذا الاستقصاء، على اية حال، هو أن نظام السدم يختلف عن النظام الفلكي، على الرغم من أنه ينطوي، وربما، إلى حد ما، على خلط مع النظام الفلكي.

استخدم فيما بعد الفلكي الأمريكي (كليفلاند آبي) كتالوج هيرشِل العام للسديم، ومجاميع النجوم 1864 مع حوالي 5,079 إضافة لإظهار أن السدم غير الذائبة في السماء كانت خارج مجرة درب التبانة بينما خُلطتْ السدم المذابة داخل مجموعة درب التبانة النجمية. لكن حسم الخلاف حول المكان الذي توجد فيه السدم ظل شبه مستحيل بشكل حاسم إلى ان يتم الحصول على مسافات فعلية لهم.



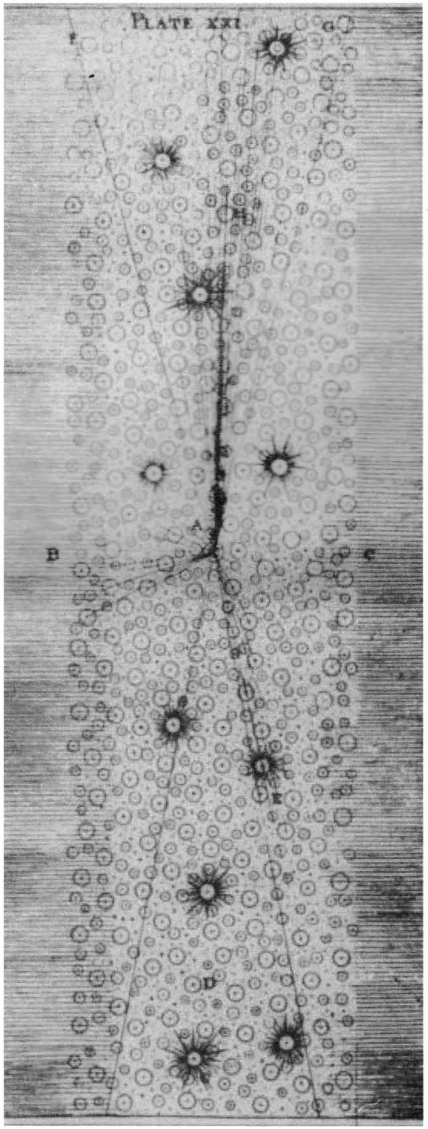
يربط رسم هيرتزبرونج-راسل البياني بين درجة حرارة النجم ولمعانه

لقد استخدمت تقنية رسم أجسام جديدة على خريطة السماء من قبل علماء الفلك أكثر من 100 عام في وقت لاحق لاكتشاف موقع الأجسام الغامضة التي تسمى انفجارات أشعة كاما.



مناقشة شبلتي كورتيس

تقدم علم الفلك النجمي بشكل كبير مع ظهور دراسة التكوين الأولي للنجوم، وغيرها من المواد الكونية باستخدام التحليل الطيفي والتصوير الشعاعي وبناء التلسكوبات الكبيرة المتقدمة. ومع ذلك، حَتى وقت متأخر من العام 1920، كان ما يزال هناك الكثير مما لم يُفهم. حَتى بالنسبة لعلم الفلك النجمي، كانت طبيعة مصدر الطاقة التي تشعل لمعان النجم متضاربة إلى حد كبير، وكانت طبيعة الهيكل التفصيلي لطريقة درب التبانة ما تزال غير معروفة جيداً باستثناء محيط الطاقة الشمسية المباشر. وقد تمت دراسة العديد من السدم بواسطة التحليل الطيفي، ووجد أنها غنية بالهيدروجين وغازات أخرى. أصبحت العديد من فهارس النجوم الكبيرة شائعةً، وجميعها مصنفة حسب النوع الطيفي وفقاً لنظام التصنيف الذي وضعته (آني جمب كانون)، (وإدوارد بيكرينج) في جامعة هارفرد. ومع ذلك، كان هناك فئة واحدة من الأشياء التي أيدت التحليل بقوة واصرت على وجود هذه السدم خارج المجرة وموقعها هو الفضاء. تمحور (النقاش العظيم) حول ما إذا كانت السدم موجودة داخل درب التبانة، وجهة النظر التي دافع عنها هارلو شبلي في مرصد ماونت ويلسون، أو بالفعل خارجه، كما يفضلها هيبر كورتيس في مرصد (ليك). عُقِد النقاش في الأكاديمية الوطنية للعلوم في واشنطن العاصمة العام 1920. وحشد كل فلكي أفضل دليل على وضعه في جلسة مدتها 45 دقيقة، حَيثُ نوقشت في تلك الجلسة أكثر من اثنتي عشر نقطة.



فكرة مبكرة من القرن التاسع عشر لشكل درب التبانة بواسطة توماس رايت

نتج عن النقاش إلى حد كبير عدم وجود إجماع واضح لأي من وجهات النظر. فقد استغرق الأمر أربع سنوات أخرى لحل هذا المأزق. في العام 1908، اكتشفت هنريتا سوان ليفيت - واحدة من فرق إدوارد بيكرينغ الرائدة في أجهزة الكمبيوتر النسائية في مرصد هارفرد - فئة من النجوم تسمى متغيرات Cepheid. وهي (نجمة متغيرة لها دورة سطوع منتظمة) ازدادت هذه النجوم وتوسعت وسطعت بدقة - في دورة محددة. من بين الدراسات التي أجريت على هذه النجوم في درب التبانة، اكتشف (ليفيت) أن الوقت المستغرق لإكمال دورة سطوع واحدة يرتبط ارتباطاً مباشراً بلمعانها. فإذا كنت تعرف لمعان النجم، فيمكنك حساب المسافة باستخدام قانون التربيع العكسي. وهذا يشبه إلى حد كبير رؤية مصباح في المسافة وقياس سطوعه في لوكس، ولكن بعد ذلك يُقال إن لمعانه هو 100 شمعة. من هاتين الحقيقتين، السطوع واللمعان، يمكنك استخدام القانون العكسي لإعطاء المسافة بدقة إلى المصباح.

واصل عالم الفلك الأمريكي إدوين هابل، العمل باستخدام تلسكوب (هوكر) القوي في مرصد جبل ويلسون، لاكتشاف نجم متغيّر في عدة سديمات لولبية، بما في ذلك سديم أندروميدا، حَيثُ أعلن ذلك في المؤتمر الوطني للجمعية الفلكية الأمريكية في كانون الثاني / يناير العام 1924. تضمن سطوع

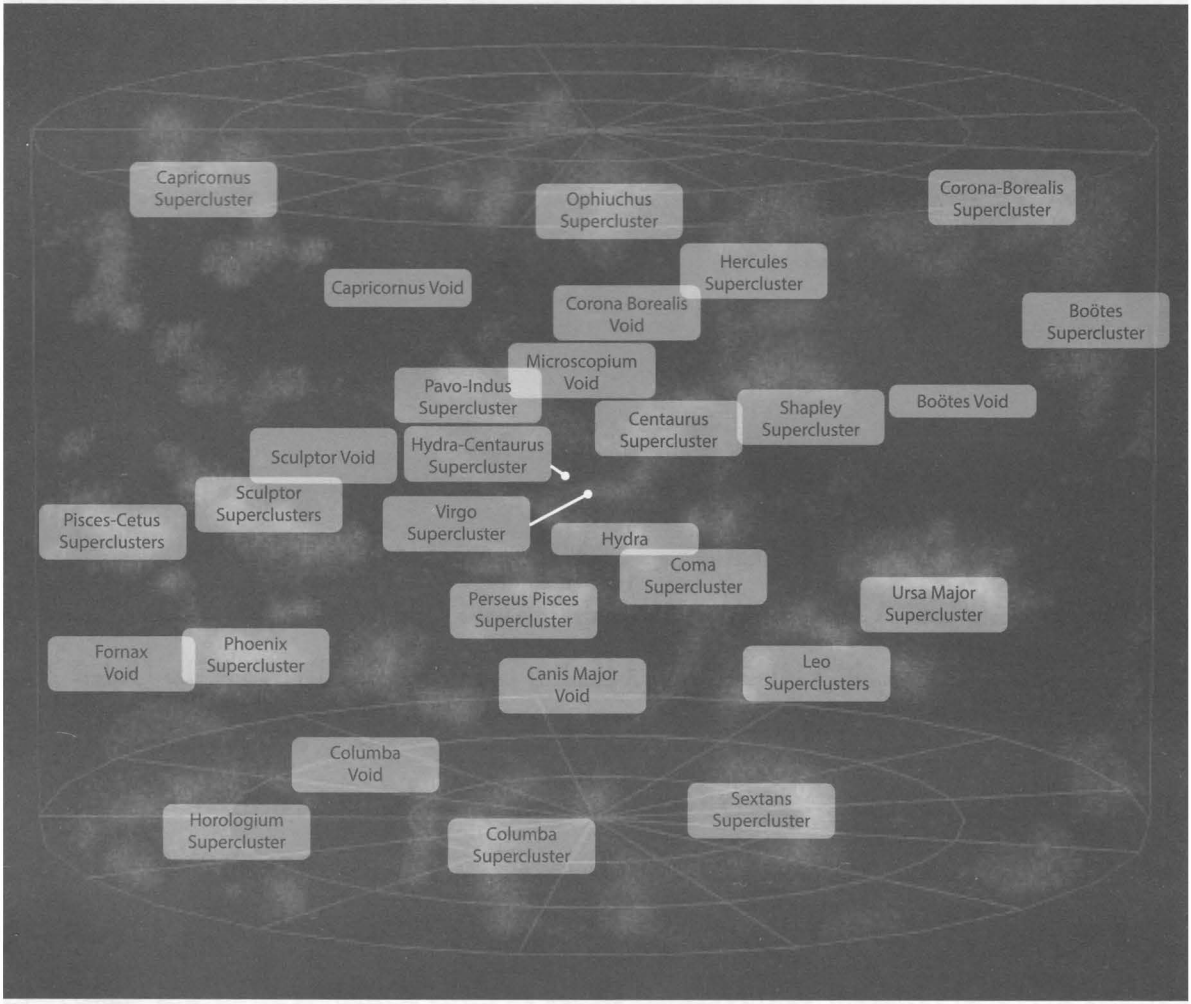
سديم أندروميدا بوضوح مسافة هائلة بلغت أكثر من 800,000 سنة ضوئية، الأمر الذي يضع هذه المجرة إلى أبعد من أي تقدير من قبل العالم (شابلي) بالنسبة لحجم درب التبانة. حسمت الأدلة التي طورها (هابل) الجدال الكبير بصورة نهائية. لقد كان حجم الكون شاسعاً بالفعل. ففي العام 1924، تجاوزنا درب التبانة، ولأول مرة كان لدينا عالم كامل من مجرات جديدة وغريبة الاستكشاف والفهم.

المجرات العنقودية وفوق العنقودية

لم يتم نثر المجرات بشكل عشوائي في السماء، لكنها تميل إلى التجمع معاً في شكل مجاميع. كان أكبرها معروفاً لعلماء الفلك في القرن التاسع عشر، بما في ذلك برجا العذراء وغيوم ذوائب المذنبات (وهي سحابة منتشرة من الغاز والغبار تحيط بنواة المذنب). تم وضع أول كتالوج منهجي لمجموعات المجرات في أواخر الأربعينيات من قبل الفلكي الأمريكي (جورج أبيل) باستخدام صور ملتقطة من مرصد (بالومار) لمسح السماء بتكليف من الجمعية الجغرافية الوطنية. بعد الفوضى المربكة للنجوم الضعيفة في درب التبانة، وجد (أبيل) مجموعات من المجرات الضعيفة. حَيثُ تم التعرف على أكثر من 2700 من مجموعة أبيل في 1958، وقد تم توسيع هذا الكاتولوك ليشمل 1,361 مجموعة عنقودية في نصف الكرة الجنوبي عام 1989.

تضمن مخطط تصنيف (ابيل) لهذه المجاميع أعداد الأعضاء ودرجة ضغط المجموعة. وتضمنت المجموعة الأكبر فئة (الخمسة الأغنى) حَيثُ شملت مجاميع من (ذوائب المذنبات) والعذراء بأكثر من 1000 عضو في منطقة من السماء ليس أكبر من تلك التي احتلها القمر في حالة الكمال (البدر)! تعتبر درب التبانة واحدة من 45 مجرة في المجموعة المحلية، لكنها بالكاد تدخل في فئة أبيل (الأغنى) من الدرجة الأولى. ومن المثير للدهشة أنه عندما تم تخطيط المجاميع على خريطة السماء إلى جانب أقطارها، اكتشف أبيل ترتيباً ثانياً يتجمع حول ما نسميه الآن التجمعات الفائقة.

التجمعات الفائقة هي مجموعات كبيرة من المجرات التي تمتد على مئات الملايين من السنين الضوئية، وفي مجموعة متنوعة من الأشكال مثل الخيوط، والألواح. على الرغم من أن درب التبانة عضو في المجموعة المحلية، إلّا أن هذه المجموعة تقع على مشارف مجموعة العذراء. لذا فإن درب التبانة هي نفسها عضو في



خريطة منظور للعناقيد المجرية الفائقة المحلية بالقرب من مجموعتنا المحلية

برج العذراء الفائق الذي يحتوي على أكثر من 47,000 مجرة في حجم يبلغ حوالي 110 مليون سنة ضوئية. إن أكبر مجموعة معروفة هي مجموعة (سايلم) (كوكبة جنوبية صغيرة وخافتة) مع 500,000 مجرة تمتد إلى ما يقل قليلاً عن مليار سنة ضوئية. ومع ذلك، فإن أكبر بنية معروفة في الكون هي التي تم تحديدها في العام 2013، هي حائط هيركوليس – كورونا بوريالیس العظيم، الذي يمتد إلى عشرة مليارات سنة ضوئية ويحتوي على كتلة كافية لتشكيل عشرات الملايين من المجرات مثل درب التبانة.

التصوير

استخدم السير وليام هيرشِل 12 بوصة 30 سم) بين 1773 و1800 لمسح كتالوج تشارلز ميزر للأجسام المشابهة للمذنبات، ورسم ما رآه بالتفصيل. في أوائل القرن الثالث عشر استخدم (روسي) تلسكوباً أكبر حجماً يبلغ طوله 72 بوصة 183 سم)، وهو الأكبر من نوعه من العام 1845 إلى العام 1917، كما ابتكر العديد من الرسومات لما رآه بالعين المجردة. لقد بقيت هذه الرسومات هي العملة التوضيحية لكتب علم الفلك في وقت متأخر من كتاب (تشارلز يونغ) (علم الفلك العام) الذي نُشر في العام 1889، وكتابه اللاحق (عناصر علم الفلك) الذي نُشر العام 1892. فقد كان المطلوب هو وسائل حقيقة افضل لالتقاط صورة للمظهر الفعلي المادة أو الكائن المراد تصويره دون الحاجة إلى رسم تخطيطي من صنع الإنسان. وكان ظهور التصوير الفوتوغرافي في القرن التاسع عشر هو الحل.

على الرغم من وجود عدد من تقنيات التصوير الفوتوغرافي المصنوعة من الفضة التي تم اختراعها قبل عام 1838، إلّا أن الطريقة التي استخدمها (لويس ديغير) أصبحت الأكثر انتشاراً بحلول أربعينيات القرن التاسع عشر. تم تطبيق هذه التقنية لأول مرة على التصوير الفلكي في العام 1840 من قبل جون ويليم دريبر، الذي قام بإزالة الغموض عن (القمر البدر) ثُمَّ في عام 1845 من قبل (لويس فيزو)، الذي التقط أول صورة مفصلة للشمس والبقع الشمسية. بحلول الخمسينيات

رسم تخطيطي لمجرة (الدوامة)
ميسييه 51 بواسطة إيرل روس

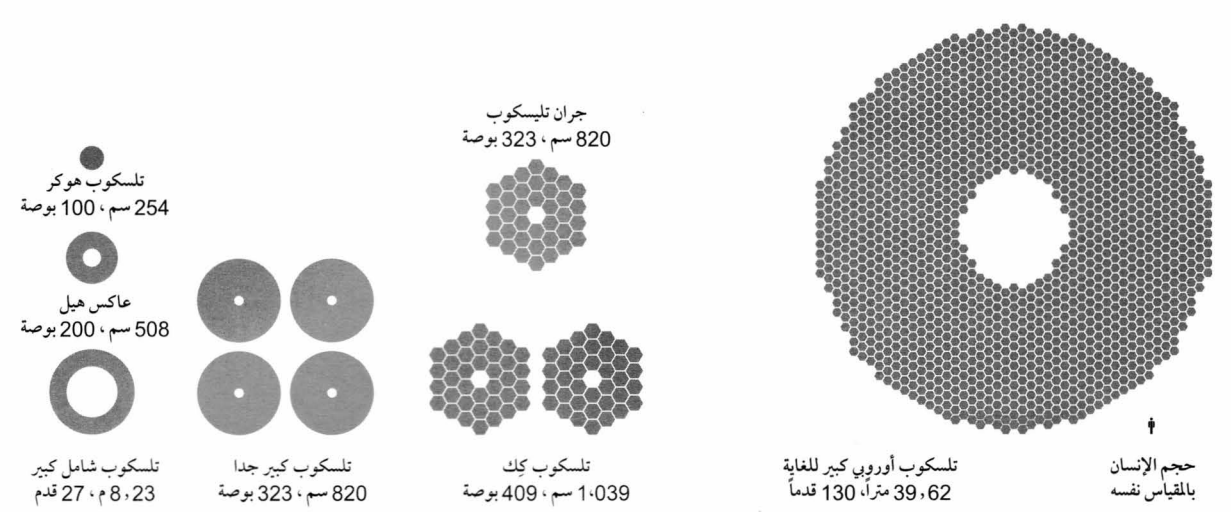
من القرن الماضي، أصبح من الممكن تصوير النجوم، وفي العام 1880، اختار الطبيب والفلكي (هيني دريبر) التعرّضَ لمدة 50 دقيقة لالتقاط صورة السديم العظيم في أوريون. منذُ ذلك الحين، كانت المسألة ببساطة هي جعل تكنولوجيا التصوير أكثر إحكاماً، وأسرع، وأكثر فعالية قبل استخدامها بانتظام مع التلسكوبات ذوات الحجم المتزايد باستمرار لدراسة الكواكب، والأشياء الفلكية الباهتة.

قام (ديفيد تود) من كلية أمهيرست بنشر علم فلك جديد في العام 1897، والذي تضمن صوراً فلكية مثيرة لجورج إليري هيل، وإيساك روبرتس، وإدوارد بارنارد. تبع كتاب جورج كومستوك في جامعة ويسكونسن في العام 1901 العديد من الصور الإضافية لجورج إليري هيل، وجيمس كيلر،

ومرصد باريس. كان من بين أول أعمال تعميم علم الفلك التي لوصف صوراً فوتوغرافية هو كتاب غاريت سرفيس (حب استطلاع السماء)، الذي تم نشره في العام 1909، مع صوره المذهلة الكاملة التي قدمها جيمس كيلر في مرصد (ليك). كان الطيف بحاجة أيضاً إلى تلسكوبات أكبر لجمع مزيد من الضوء لتكوين أطياف أفضل من مجموعة متنوعة من النجوم والسدم. في العام 1872، حصل هنري دريبر على أول صورة فوتوغرافية لطيف النجم Vega، وكانت هذه طريقة مثالية حَتى العام 1885، تمكن إدوارد بيكرينغ في مرصد كلية هارفرد من استخدام تقنية التسجيل هذه في برنامج طموح للتصنيف الطيفي النجمي مع عشرات الآلاف من الأطياف المسجلة على لوحات فوتوغرافية. بدأ السباق الآن في بناء تلسكوبات أكبر لدراسة مجموعة متنوعة من كائنات المجرة وخارج المجرة بتفاصيل أعلى وبشكل متزايد.

عيون عملاقة على السماء

بدءاً من أوائل القرن العشرين، تم تطوير تقنية جديدة لعكس (اتصوير) سطح فضي على الزجاج. وقد أدى ذلك إلى إنشاء تلسكوبات كبيرة تعكس درجة البحث مع مرايا زجاجية موضوعة على قمم جبلية بعيدة عن أضواء المدينة وفوق جزء كبير من الغلاف الجوي الغامض. تبع تلسكوب هيل بحجم 1520 سم (60 بوصة) في العام 1908 تليسكوب هوكر الذي يبلغ طوله 254 سم (100 بوصة) في العام 1917 على جبل ويلسون خارج ولاية لوس أنجلوس. في 1948، تم بناء عاكس Hale 508 سم 200 بوصة على جبل Palomar. وبحلول العام 1990، تم بناء التلسكوبات في مواقع بعيدة ونائية مثل موانا كيا في هاواي، وكذلك على قمم جبال الأنديز في تشيلي التي يبلغ طولها 4267م 14000 قدم. تضمنت التلسكوبات الحديثة المستخدمة في الأبحاث الكونية: الأجهزة العملاقة مثل التلسكوب الكبير للغاية 820 سم 323 بوصة في تشيلي، وتيلسكوب (كيك) على ارتفاع 1000 سم 394 بوصة في موانا كيا وغران تلسكوبيو كاناريس 1039 سم (409 بوصة) في جزر الكناري.

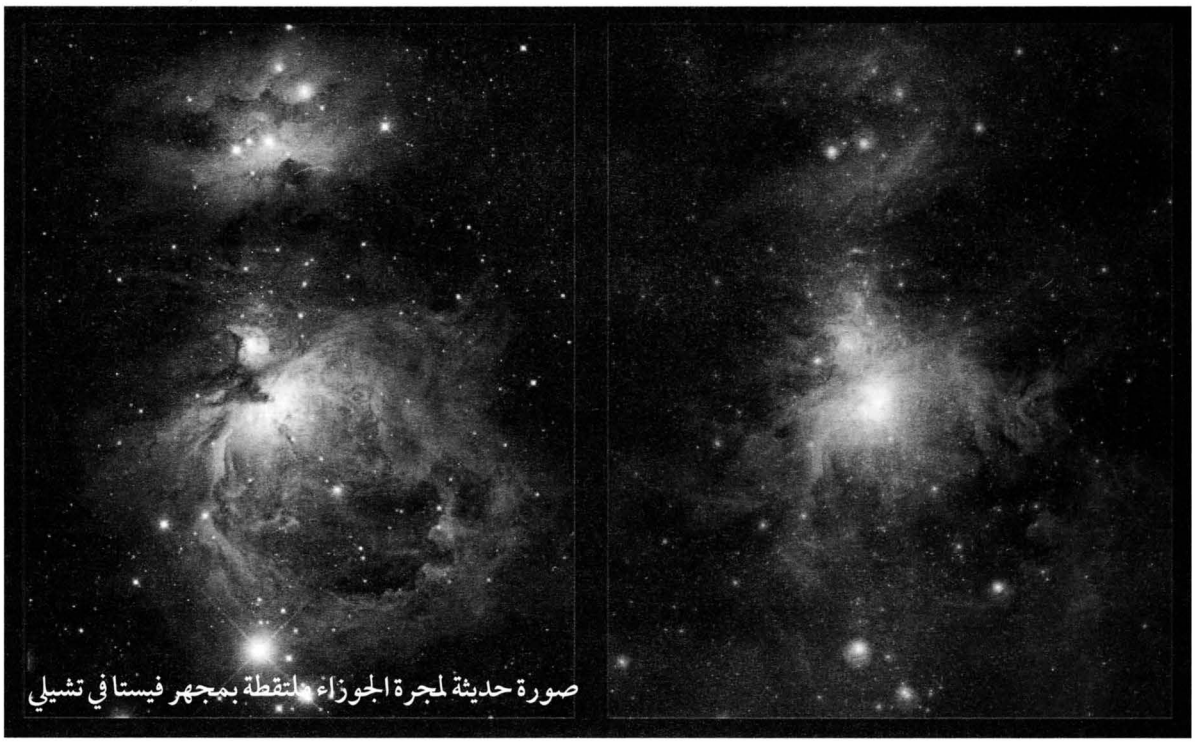


مقارنة أحجام المرايا لمجموعة متنوعة من التلسكوبات

كانت أكبر التليسكوبات قيد التطوير مثل التيلسكوبات الأرضية مثل التلسكوب الكبير (ELT) في تشيلي، التي يبلغ قطره 40 متراً 130 قدماً، وتليسكوب المسح الكبير الشامل الذي يبلغ قطره 8 أمتار 27 قدماً. عند تزويدها بكاميرات إلكترونية، ومعدات طيفية حساسة، يمكنهم اكتشاف ودراسة الضوء من المجرات على بعد أكثر من عشرة مليارات سنة ضوئية.

كان التصوير الفلكي بالأبيض والأسود القياسي سارياً حَتى منتصف العام 1930، عندما تم تقديم الأفلام الملونة الأولى، وكانت هناك محاولات متفرقة قامت بها المراصد لإنشاء صور لأجسام سماوية. بعد عرض جيل جديد من الأفلام في الخمسينيات من القرن العشرين، بدأ علماء الفلك، ومنهم ويليام ميلر في جبل ويلسون ومراصد بالومار باستخدام تلسكوب شميت الذي يبلغ طوله 122 سم 48 بوصة لالتقاط صور فوتوغرافية ملونة طويلة الأمد للعديد من الأشياء الشائعة، بما في ذلك السديم الشهير مثل M 42 في برج الجوزاء والمجرات مثل M 32 في مجرة أندروميدا. بغض النظر عن مدى نجاح التصوير

الفوتوغرافي للألواح، أو الزجاج، فقد كان من المرهق للغاية حمل لوحات الصور الفوتوغرافية إلى التلسكوب، وعرضها، ثُمَّ إعادة اللوحات إلى الغرفة المظلمة لمعالجتها باستخدام الحمامات الكيميائية. حَيثُ يمكن لأدنى خطأ في عملية إزالة الشوائب أن يدمر ساعات من الوقت في التلسكوب لجمع الصور الخافتة. كان هناك العديد من التحسينات في تكنولوجيا التصوير الفوتوغرافي، والتي تسارعت خلال النصف الأول من القرن العشرين في البحث عن سرعات أكبر، وأوقات عرض أقصر، وأساليب تطوير أكثر بساطة، ما أدى إلى تصوير فلكي ملون في النصف الثاني من القرن. كان الحافز الرئيسي لتطوير هذه التكنولوجيا من التطبيقات العسكرية، ومن برنامج الفضاء الجديد التابع لناسا. بحلول القرن الحادي والعشرين، غالباً ما يتم استخدام الوسائل الإلكترونية البحتة لالتقاط الصور.



صورة حديثة لمجرة الجوزاء ملتقطة بمجهر فيستا في تشيلي

1965

في العام 1965، حلقت مركبة الفضاء مارينر 4 التابعة لناسا بواسطة المريخ والتقطت بضع عشرات من صور المناظر الطبيعية التي تم إنشاؤها. واستخدمت أنبوب تصوير فيديوي الذي تم تحويل رقمه الناتج عن شدة الضوء التماثلية إلى سلسلة من الأرقام وتم تحويله عن بُعد إلى الأرض لإعادة تشكيله إلى صورة.

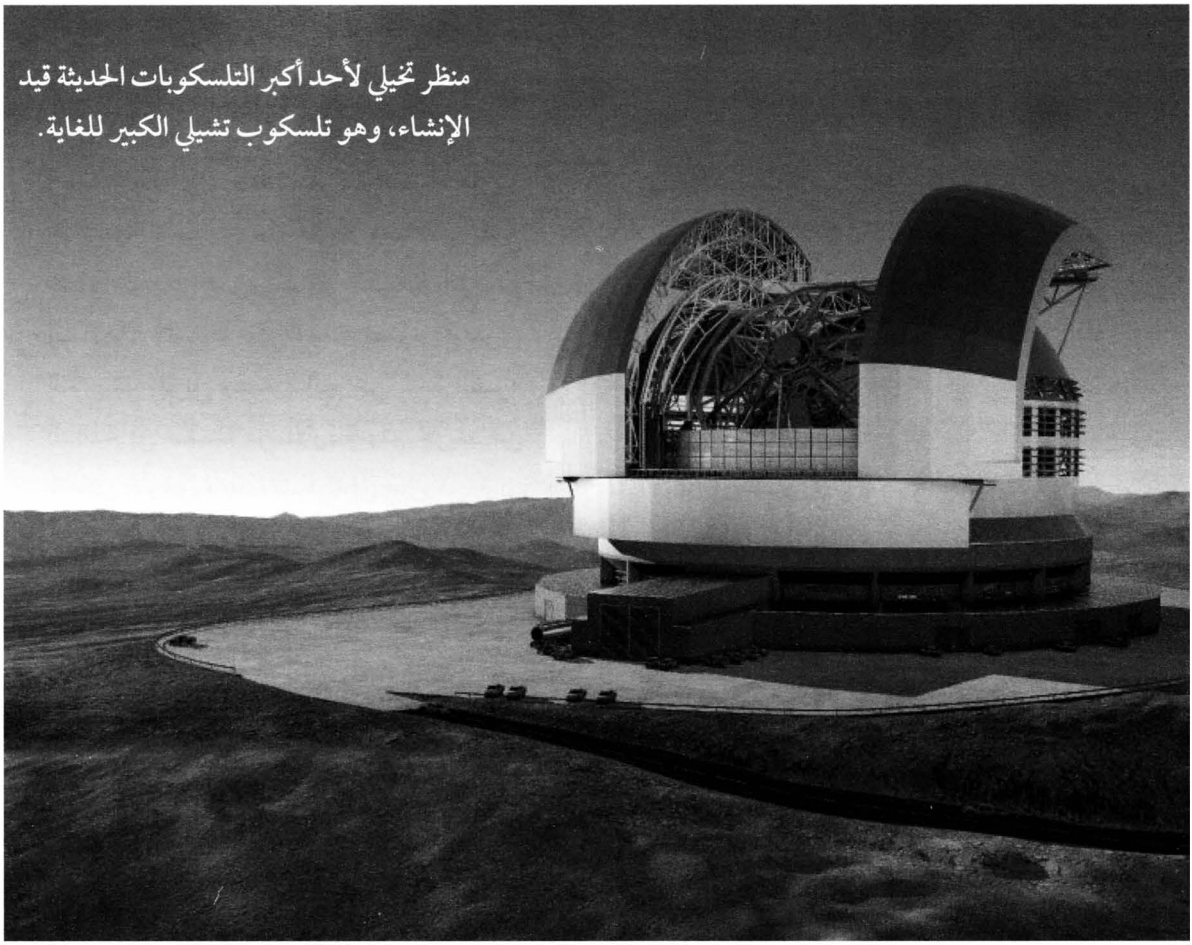
1975

بعد ذلك، في العام 1975، قام مهندس Eastern KOdak، ستيفن ساسون، بتكييف تكنولوجيا الحالة الصلبة الجديدة للأجهزة المقترنة بالشحن (CCD) التي طورتها شركة Fairchild Semiconductor Electronics في العام 1973، لتسجيل أول صورة رقمية حقيقية. استغرقت مجموعة الأقراص المدمجة CDD التي تبلغ 10,000 بكسل 23 ثانية لالتقاط صورة لها، وكان هذا مجرد مفهوم اختبار هندسي.

مكتبة
t.me/t_pdf

1988

ولكن في العام 1988، كانت أول كاميرا رقمية تجارية هي **Fuji DS – 1P**، والتي كانت، للأسف، باهظة الثمن، يقدر سعرها بـ 5000 دولار) ولم تكن ذات شعبية تجارية. سرعان ما استولى علماء الفلك على مزايا تقنية التصوير التجريبي الجديدة هذه وآفاقها المدهشة. كانت الصور المستندة إلى **CDD** سهلة الاستخدام وسهلة المعالجة (سهلة التغيير) باستخدام أجهزة الكمبيوتر، وكانت حساسية الضوء أكثر اتساقاً عبر الطيف المرئي من سوائل صناعة الأفلام الفوتوغرافية. وهي من الممكن أن تكون مصممة لكي تصبح حساسة لضوء الأشعة تحت الحمراء.

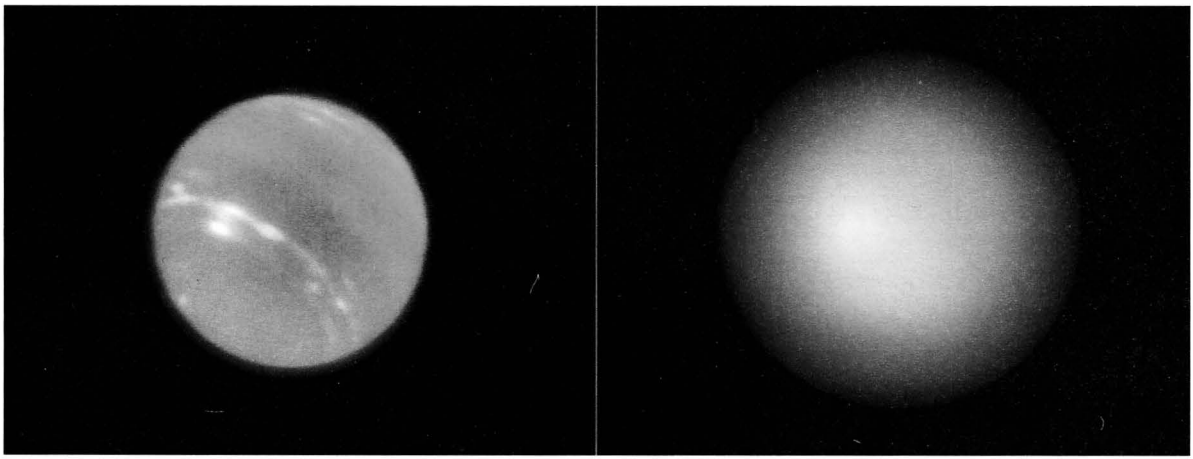


منظر تخيلي لأحد أكبر التلسكوبات الحديثة قيد الإنشاء، وهو تلسكوب تشيلي الكبير للغاية.

وفي عام 1976، حصل كل من جيمس جانيسيك، وجيرالد سميث من مختبر الدفع النفاث التابع لناسا وجامعة أريزونا، على صور لكوكب المشتري، وزحل، وأورانوس باستخدام كاشف CCD متصل بالتلسكوب الذي يبلغ طوله 155 سم (61 بوصة) على جبل جيجلو في أريزونا. وبحلول العام 1979، تم تركيب كاميرا Kitt Peak National OBSERVATORY على

كاميرا رقمية بمقاس 320 × 512 بكسل على التلسكوب الذي يبلغ طوله 1 متر (40 بوصة) وسرعان ما أظهرت تفوق CCD على اللوحات الفوتوغرافية. منذُ التسعينيات، كان هناك ضغط هائل لملء المستوى البؤري الكامل للتلسكوبات الكبيرة بمصفوفات رقمية من الفسيفساء ترقيمها على مئات الملايين من البيكسلات. في عرض واحد، اصبح بإمكان الفلكي الآن التقاط الضوء من مساحات شاسعة من السماء في وقت واحد، بدلاً من مئات الآلاف من عمليات عرض الأفلام الفردية المستهلكة للوقت.

بالإضافة إلى زيادة أحجام التلسكوب بشكل كبير، وتنسيقات مصفوفة الكاميرا، فإن التقنية المعروفة باسم البصريات التكيفية يمكنها معالجة أسطح المرايا آلاف المرات في الثانية، وبمساعدة الليزر تقضي تماماً، على تأثيرات وميض الغلاف الجوي. هذا يتسبب في أن تكون صور النجوم حادة مثل تلك المتوفرة من التلسكوبات الفضائية الموجودة فوق الغلاف الجوي، مع تحسينات هائلة في الوضوح بأقل تكلفة.



البصريات غير التكيفية

البصريات التكيفية

نساء فلكيات

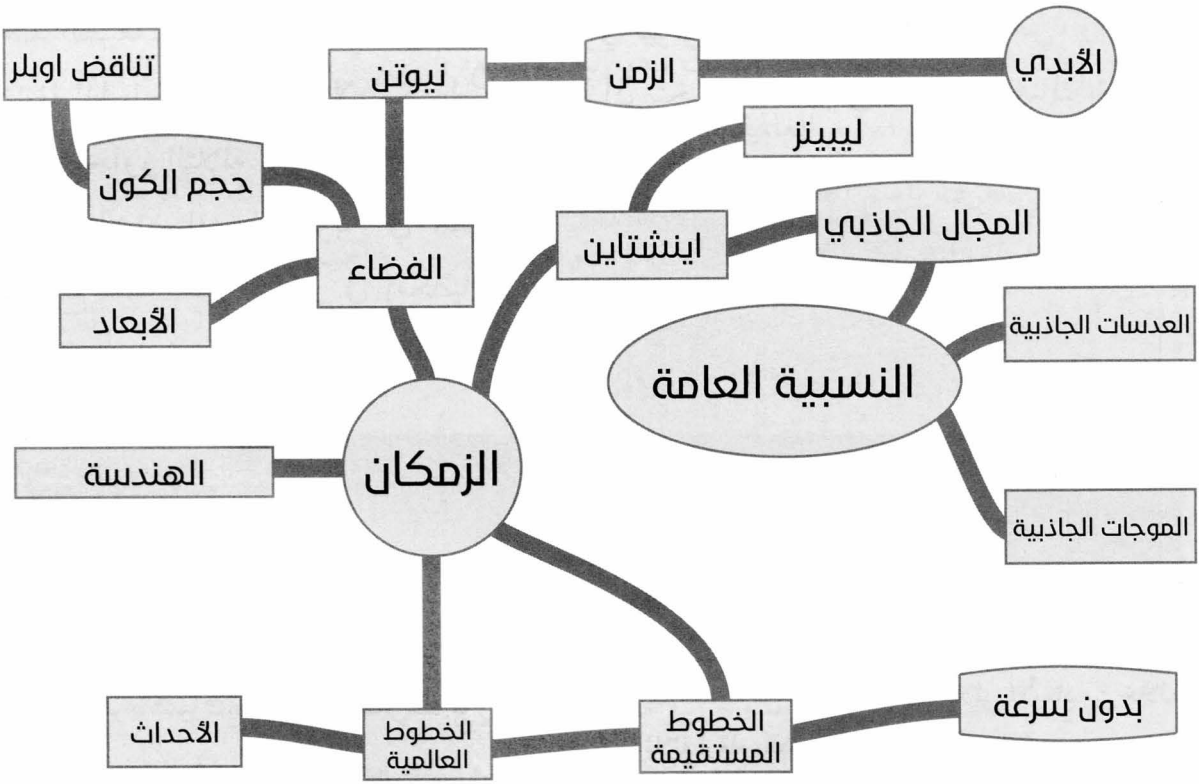
(آني جمب 1863 – 1941) كانت عالمة فلك أميركية أنجزت أعمال الفهرسة التي كانت مفيدة في تطوير تصنيف النجوم المعاصر. عملت مع إدوارد بيكرينغ في مرصد كلية هارفرد كمساعد في العام 1896. ويُعزى إليها إنشاء مخطط تصنيف هارفرد استناداً إلى قوة خطوط امتصاص (بالمر) التي شوهدت في أطياف النجوم، والتي كانت أول محاولة جدية لتنظيم وتصنيف النجوم على أساس درجات الحرارة وأنواعها الطيفية. حَيثُ تضمنت جهودها تصنيف أطياف أكثر من 350,000 نجم. كان الفلكيون سابقاً يستخدمون مخططاً أبجدياً من 22 نوعاً، ولكن بعد العثور على التكرارات، تم تقليل هذا إلى سلسلة أصغر، وأعيد ترتيبه بواسطة تلسكوب (جمب) لتعكس ترتيب درجة الحرارة، ما يتيح لنا الأنظمة الأحدث O. B. A. F. G. K. M. كانت (آني جمب) تقريباً صماء طوال حياتها المهنية بسبب الحمى القرمزية في العام 1893. وكانت مؤيدة للاقتراع، وعضواً في الحزب النسائي الوطني، وقد تم قبولها في الجمعية الفلكية الملكية في العام 1914، وكانت أول امرأة تحصل على الدكتوراه الفخرية في جامعة أكسفورد العام 1925.

فازت سيسيليا باين 1900 – 1979 بمنحة دراسية في العام 1919 لكلية نيونهام بجامعة كامبريدج، حَيثُ قرأت عن علم النبات، والفيزياء، والكيمياء. حضرت هناك محاضرة لعالم الفلك الإنجليزي وعالم الرياضيات والفيزياء آرثر إدينجتون في رحلته التي قام بها في العام 1919 لتصوير النجوم بالقرب من كسوف الشمس كاختبار لنظرية النسبية العامة لأينشتاين. وأثار هذا اهتمامها في علم الفلك. في جامعة هارفرد، كتبت أطروحتها في العام 1925 عن مضخمات ستيلر. واستخدمت مخطط التصنيف النجمي لتلسكوب (جمب) إلى جانب النظرية المطورة حديثاً لميكانيكا الكم لإثبات أن النجوم صنعت في الغالب من الهيدروجين والهيليوم، وأن الأطياف التي شوهدت كانت مزيجاً

معقداً من درجة الحرارة، وحالة التأين وعوامل الوفرة. أطلق عليها عالم الفلك (أوتو ستروف) بلا شك أطروحة الدكتوراه الأشهر في كل كتاب مكتوب في علم الفلك.

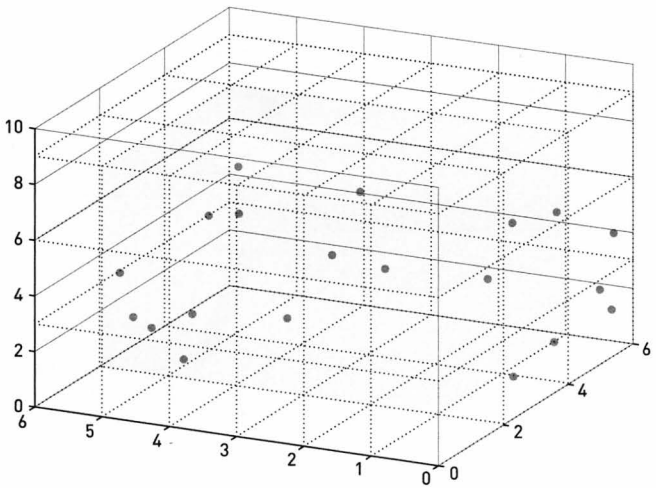
كانت سيسيليا باين عالمة فلك بريطانية رائدة وكانت من أوائل من طبقوا ميكانيكا الكم في هذا المجال

الثورة النسبية



الفضاء

إن فكرة وجود ثلاثة أبعاد للمساحة في الأقل قديمة كقِدَم هندسة إقليدس. لكن الرأي السائد أنه لم يكن هناك أكثر من ثلاثة أبعاد. لاحظ سيمبليوس من سيليسيا في العام 600م أن بطليموس المدهش في دفترملاحظاته (على مسافات) أثبت جيدًا أنه لا يوجد أكثر من ثلاث مسافات. ووصف ستيفيل، في القرن السادس عشر.، تجاوز المكعب كما لو كان هناك أكثر من ثلاثة أبعاد ... وهي ضد الطبيعة. واحتج جون واليس، أحد معاصري نيوتن، بأن «.، الطول، والعرض، والسُمك تشغل المساحة بأكملها. ولا يمكن لـ (فإنسي) أن يتخيل كيف ينبغي أن يكون هناك بعد محلي رابع يتجاوز الثلاثة. ولكن هذا لم يُوقف علماء الرياضيات المغامرين في القرن التاسع عشر من التفكير في إمكانيات أخرى تتجاوز الهندسة المستوية المقيدة لـ (إقليدس) بسهولة.



يتم تحديد كل نقطة في الفضاء ثلاثي الأبعاد من خلال ثلاثة أرقام بالضبط تحدد نظام الإحداثيات

الإحداثيات الديكارتية

أحدثت الإحداثيات الديكارتية التي - اخترعها الفيلسوف الفرنسي، وعالم الرياضيات رينيه ديكارت ثورة في الرياضيات في القرن السابع عشر من خلال إنشاء أول صلة منهجية بين الهندسة الإقليدية والجبر. يمكن استخدام الأسئلة الديكارتية لوصف الأشكال الهندسية مثل المنحنيات. على سبيل المثال، يمكن وصف دائرة نصف قطرها 2 بأنها

مجموعة من جميع النقاط التي تفي إحداثياتها بالمعادلات $X^2 + y^2 = 4$. لذلك، يمكن وصف موقع نقطة واحدة على سطح المستوي، مثل ورقة، برقمين فقط، مع الإشارة إلى محور X ومحور y. يُطلق على هذا الرقم (اثنين) بُعد الفضاء، وبلغة عامية نسميه (الفضاء ثنائي الأبعاد). وبصورة مشابه، هناك ثلاثة أرقام فقط مطلوبة لوصف موقع أي نقطة في الفضاء ثلاثي الأبعاد الذي يقدم (المحور z) الثالث. ان فكرة البعد هي فكرة عامة بصورة كاملة، ولا يجب أن تشير إلى خصائص الفضاء المادي. وتشمل أيضًا خصائص أخرى مثل الوقت وهو البعد الرابع.

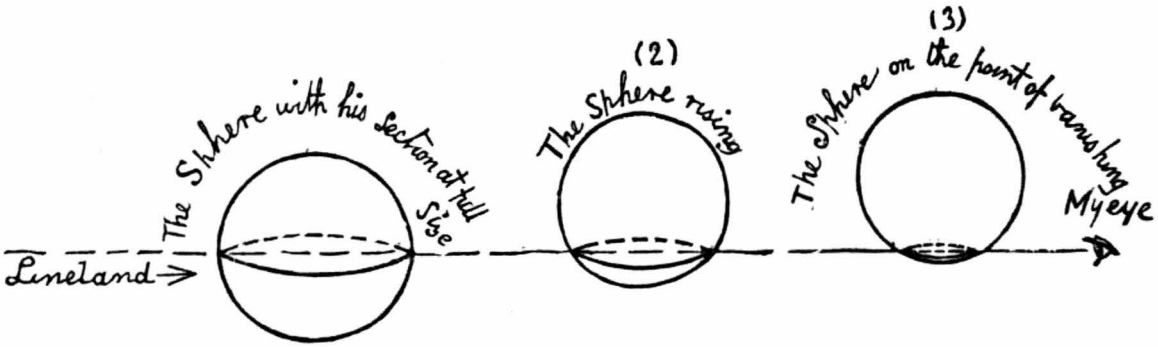
أدت هندسة البعد الرابع العالمية إلى عدد من الخصائص المثيرة للاهتمام بالنسبة للأجسام ثلاثية الأبعاد، التي تعرف باسم الطوبولوجيا. على سبيل المثال، أوضح عالم الفلك الأمريكي سيمون نيوكومب أنه بإمكانك قلب قذيفة من الداخل دون ان تتمزق. وأظهر عالم الرياضيات فيليكس كلاين أنه لا يمكن ربط العقد في البعد الرابع. وأثبت جوزيبي فيرونيز من جامعة (بادوا) أنه يمكن إزالة جسم من صندوق مغلق دون كسر جداره.

الطوبولوجيا: هو علم دراسة خصائص الفضاء المتعددة الأبعاد التي تنعكس ضمن تشكل مستمر مثل الانكماش، والانحناء وليس التمزق.

الأرض المسطحة

حاول العالم الفكتوري (ايدون ابوت ابوت) شرح فكرة البعد الرابع في كتابه (**الأرض المسطحة: قصة رومانسية متعددة الأبعاد** 1884). ولتبسيط المسألة، قام بوصف كيفية محاذاة الأبعاد الثلاثة من قبل الأشياء الحية في عالم ذي بعدين. ولأن البعد الثلاثي يمر خلال البعد الثنائي فإنه سوف يبدو في بادئ الأمر كنقطة تتوسع في مساحة دائرية وبعد ذلك تنكمش وتختفي مرة أخرى.

وان الكائن ذو البعدين سوف يحاول فهم طبيعة هذا البعد الإضافي باستخدام مفاهيم بعد ثنائي. فإذا واجه جسم ثنائي الأبعاد تحدّبًا في الفضاء فسيكون على دراية بقوة الجاذبية المؤثرة فيه، مبطئًا حركاته كما لو انه اتجه بجانب واحد، ويسرع حركاته عندما يتجه في الاتجاه الآخر. ولكن سيكون من الصعب توضيح هذه الظاهرة إلّا إذا استخدمنا الرياضيات.



« انظر الآن، سوف ارفع: والتأثير في عينك سوف يكون بأن تصبح دائرتي أصغر، وأصغر إلى أن تستقر بنقطة معينة، وتختفي في النهاية. لم يكن هناك ارتفاع بإمكاني رؤيته، لكنه تضاءَل واختفى في النهاية ».

من رواية الأرض المسطحة: الأبعاد المتعددة (1884)

ايدون ابوت ابوت

فيزياء نيوتن والجاذبية الشاملة

غيّر إسحاق نيوتن، بصورة جذرية، الطريقة التي يفكر فيها علماء الفيزياء في الحركة، والجاذبية وذلك بتكوين نظرية مفصلة عن حركة الأجسام. ولكن ما خفي خلف كواليس هذه الفيزياء الجديدة هو فكرته عن ما الذي يتشابه فيه الفضاء الثلاثي الأبعاد مع الوقت. وبسبب كل معادلاته المشتركة في

مواقع الأجسام في الفضاء المعرفة بإحداثياتها المكانية x, y, z وإحداثيات الوقت t، فإنه أخذ موقفًا يعلن فيه عن وجود إطار الإشارة الكونية المطلقة التي من خلالها تتحرك الأجسام. ففي نظر نيوتن: « الإله موجود في كل مكان، وهو دائما يشكّل الزمن والفضاء ... » بمعنى آخر فان الفضاء هو صفة أو توسع للإله مكونًا إطار الإشارة المطلقة للوجود. ولكن الفيلسوف بيشوب بيركلي اعتبر فكرة نيوتن للفضاء الفيزيائي المطلق بأنها عديمة المعنى، ففي رأيه أن فراغًا مجردًا من كل الاشياء المادية يمكن أن يجرد أيضًا من محتواها الهندسي.

كان بيركلي من أوائل علماء النسبية الذين اعتبروا أن هذه الحركة ذات مغزى عندما تم قياسها بالنسبة إلى جسد آخر فحسب، وهي فكرة تم تطويرها لاحقًا من قبل عالم الرياضيات الألماني جوترفريد ليبنز. توقع هو، ولبنيز أيضًا، قبل 200 عام، وجهة نظر ألبرت أينشتاين بأن الخصائص الهندسية للفضاء مبنية على وجود المادة التي تملأ الفراغ. فالمكان المطلق، كشيء بعيد عن التلسكوبات، وما قبل الوجود، كان بالنسبة لبيركلي، ولايبنز، وإينشتاين، سخافة كاملة، وحَتى مهينًا من الناحية الفلسفية.

في هذه الأثناء، إذا نظر نيوتن على الإطلاق في سبب حدوث الجاذبية، فإنه لم يكتب عنها مطلقًا. وكتب في كتابه: « لم أتمكن من اكتشاف سبب خصائص الجاذبية من الظواهر ولم أتوصل إلى فرضية ». ومع ذلك، في رسالة غير رسمية إلى هنري أولدنبيرغ في عام 1675، اقترح ان: « من المفترض أن يكون هناك وسيلة أثيرية تتشابه بصورة كبيرة مع تكوين الهواء، ولكن تكون نادرة، وأكثر رقة ومرونةً. أما بالنسبة للسريان الكهربائي والمغناطيسي ومبدأ الجاذبية فانهما من الواضح على خلاف بمثل هذا التنوع، ولعل الإطار الكامل للطبيعة قد لا يكون سوى سياقات مختلفة لبعض الأرواح، أو الأبخرة الأثيرية، متكثفة كما لو كانت بسبب هطول الأمطار ... وبالتالي، ربما قد تكون كل الأشياء قد تولدت من الأثير ».

نيوتن وحجم الكون

اعتقد نيوتن أنه لا بُدَّ للكون أن يكون مطلقًا لا حدود له بسبب حجة مقنعة إلى حد ما مستندًا إلى فيزيائه الجاذبية. إذا تصرف كل جسم في الكون بناءً على جسم آخر، فعندئذ لكي لا تكون هناك أي حركة للنجوم في السماء (يفترض أنها تحدد حدود الكون)، لا بُدَّ أن يكون الكون هائلًا، بل مطلقًا. إذا لم تكن هذه هي الحالة، في الكون المحدود، فإن المجموعة الكاملة من الأجسام المادية ستنهار تحت عوامل الجذب الخاصة بالجاذبية المتبادلة. توجد في الكون المطلق فحسب الفرصة للأجسام المطلقة لإضافة عوامل جذب الجاذبية على بعضها البعض حَتى تلغي القوى الصافية على أي منها. ان حقيقة عدم إمكانية رؤية دوران (حوّم) النجوم حول المدى في الليل من عقد إلى آخر (كل 10 سنوات) جعل نيوتن يعتقد بأن الكون كان مطلقًا في المدى المكاني، ومليئًا بالقليل أو الكثير من الأجسام في كل مكان في الكون. كتب نيوتن أيضًا أن قوة إلهية لا نهائية، وأبدية توجد في الفضاء، الذي يمتد بلا حدود في جميع الاتجاهات ويكون أبديًا في الزمن. كما لاحظ نيوتن في مخطوطاته غير المنشورة التي صدرت في الفترة ما بين عامي 1666 و1668، De Gravitatione ... إذا كانت السماوات المرصعة بالنجوم محدودة المدى، فسوف تسقط حَتى منتصفها: « وتوجد كتلة كروية واحدة كبيرة ».

أسطورة السماء المظلمة

استطاعت رياضيات كبلر أن تقيد أبعاد منطقة الكواكب، في حين بقي المجال النجمي غير مقيد، كما أكد البعض سابقًا أن هذا المجال لم يكن مطلقًا. من جهته، ناقش كيبلر بأن الكون يجب أن يكون محدودًا، وإلّا فإن سماء الليل لن تكون مظلمة تمامًا. وكان عالم الفلك الإنجليزي توماس جيجز قد فكر، بالفعل، في مشكلة (السماء المظلمة) هذه قبل عقود من كبلر. لقد ابتكر فكرة

كون غير محدود مليء بالأشعة المختلطة لنجوم لا حصر لها. لكن هذا أدى إلى مشكلة سبب كون السماء الليل مظلمة، ولم تمتلئ بنور عدد النجوم الذي لا يعد ولا يحصى. تم إحياء هذه الفكرة، بشكل مستقل، في العام 1826 من قبل عالم الفلك الألماني هاينريش فيلهلم أولبيرس وتسمى الآن **مفارقة أولبيرز.**

في العام 1848، عرض مؤلف ألان بو حلاً آخر لمفارقة أولبرز في يوريكا: قصيدة نثرية. إن كانت سلسلة النجوم مطلقة، فسنرى سماءً تلمع، مثل تلك التي رأيناها في المجرة – عندها لا يمكن أن توجد أي نقطة على الإطلاق، في كل تلك الخلفية، خالية من نجم. وبالتالي، فإن الوضع الوحيد، في ظل هذه الحالة نفهم الفراغات التي تجدها التلسكوبات في اتجاهات لا حصر لها، هو افتراض أن المسافة (من) الخلفية غير المرئية (هائلة)، لدرجة أنه لا يوجد شعاع، يصلنا ابدًا. كان الفضاء شاسعًا، لكنه ليس بالضرورة مطلقًا، استغرق الضوء وقتًا طويلاً كي يصلنا من النجوم التي تملأ السماء في الوقت الحالي.

مفارقة أولبرس

تخيل أنك تقف في غابة عميقة. بغض النظر عن الاتجاه الذي تنظر إليه، ستواجه نظرتك إلى الأفق البعيد جذع شجرة. إن كل خط البصر في الكون المطلق سيهبط في النهاية على سطح بعض النجوم، في مكان ما في عمق الفضاء. على الرغم من أن شدة الضوء تتناقص مع مربع المسافة، وينبغي أن تسهم النجوم البعيدة بشكل أقل، وأقل في ضوء السماء، في كل مسافة في عالم موحد، سيزداد عدد النجوم في تلك المسافة مع مربع المسافة. ان تأثير الضوء الخافت وزيادة السكان سوف يتلاشيان في كل مسافة، مضيفًا ضوء متزايد بصورة مستمرة للسماء. تشرق السماء في هذا الكون بأكملها مع سطوع سطح نجم! يبدو أن مفارقة أولبر لا يمكن حلها إلّا إذا كان الكون كاملاً في الفضاء، أو كان محدودًا في الوقت.

النسبية

في القرن التاسع عشر الميلادي، تحولت التحقيقات عن الشحنات الكهربائية والمغناطيسية إلى عدد من القوانين المهمة مما أدى إلى ظهور نظرية جديدة للديناميكية الكهربائية التي أنشأها جيمس كليرك ماكسويل. ربطت هذه النظرية بين هذه النتيجة المنفصلة في نظرية رياضية موحدة حَيثُ صفت كيف أدت الجسيمات المشحونة، وحركتها في التيارات إلى المغناطيسية، وحَتى الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي اكتشفه الفيزيائي الألماني هاينريش هيرتز وكذلك تحديده بالضوء نفسه.

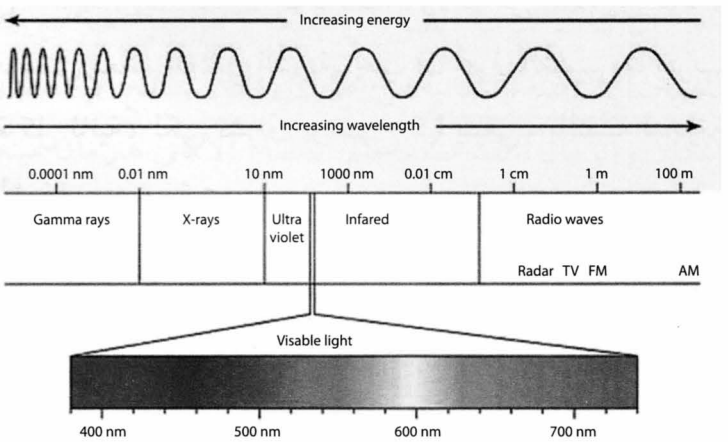
الديناميكية الكهربائية: كيف تؤدي حركة جزيئات الشحن في التيار إلى المغناطيسية.

الديناميكية الكهربائية

أدت التجارب التي أجريت على الجسيمات المشحونة في العام 1785 بواسطة تشارلز دي كولومب إلى اكتشاف ووصف رياضي (حسابي) للتيارات الكهربائية التي أجراها (أندريه ماري أمبير) في أوائل القرن التاسع عشر، وإنتاج المجالات المغناطيسية من هذه التيارات بواسطة هانز كريتيان أورستيد في العام 1820. سميت هذه الخاصية الجديدة لتسيير الشحنات بالكهرومغناطيسية التي أدت إلى اختراع المحرك الكهربائي والمولد. في 1831، اكتشف مايكل فاراداي التيارات المتغيرة التي يمكن أن يحفزها سلك واحد من التيارات في سلك مجاور: عملية تسمى الحث الكهرومغناطيسي تؤدي إلى اختراع جهاز الإرسال. في الستينيات من القرن التاسع عشر، كان جيمس كليرك ماكسويل قادرًا على وصف جميع الظواهر التجريبية المتعلقة بتيارات الجسيمات المشحونة، والمغناطيسية المعروفة في ذلك الوقت في مجموعة من أربع معادلات معروفة باسم معادلات ماكسويل للديناميكية الكهربائية. من

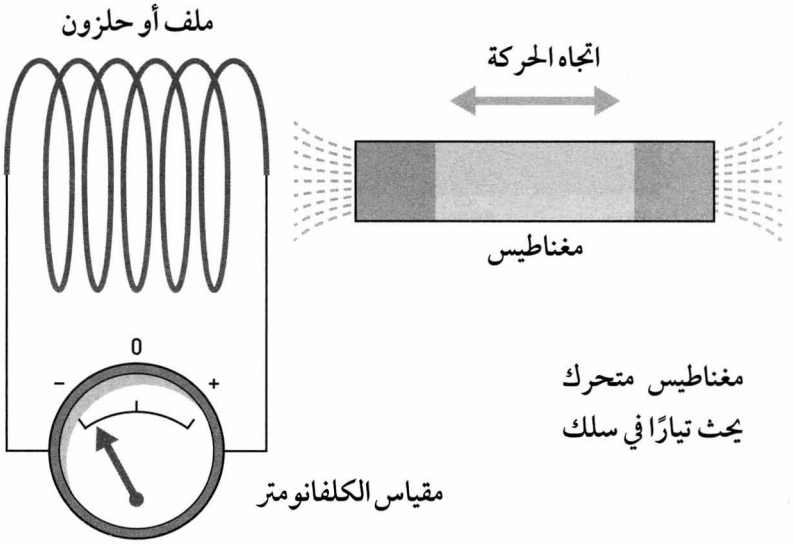
هذه المعادلات، يمكن اشتقاق معادلة الموجة الرياضية التي تمثل موجة كهرومغناطيسية، والتي تم التعرف عليها لاحقًا بالإرسال الراديوي والضوئي في أشكالها المختلفة.

في العام 1864، عالج ماكسويل مشكلة طريقة جعل نظريته في الديناميكية الكهربائية تعمل على وصف الأجسام المتحركة المشحونة، ولكن سرعان ما كشفت جهوده عن تناقضات صارخة؛ لم تبدُ معادلاته كما لو كانت موصوفة من وجهة نظر الإطار المرجعي الآخر المتجه بسرعة ثابتة. كانت هذه مشكلة صعبة الفهم. لنفترض أنك وصديقك تستعرضان تجربة حث للتيارات في سلك عن طريق تحريك المغناطيس. لنفترض أيضًا أن صديقك يقوم بتجربته من المقعد الخلفي لسيارة مبتعدة عنك. على الرغم من أنك قد تجري تجارب مماثلة، إلّا أنك ستلاحظ المجال الكهربائي والمغناطيسي لصديقك المتحرك تختلف عن تلك التي تراها في تجربتك. كيف تبدو التجارب المتماثلة مختلفة لأن أحدكما كان يسير؟



كان يُعتقد، لفترة من الزمن، أن القوانين التي تملي سلوكيات الموجات الكهرومغناطيسية لماكسويل في رسائل ماكروني الراديوية العابرة للقارات كانت بالفعل منفصلة عن تلك بالميكانيكية النيوتونية، التي وصفت الكواكب، وكرات المدفع. لم يتحقق شيء حَتى العام 1905 عندما أعلن الفيزيائي الألماني ألبرت أينشتاين نظريته النسبية الخاصة، وبذلك ظهر التفسير الثابت.

زودت نظرية النسبية الخاصة أربع ظواهر جديدة للفيزيائيين يحسب لها حساب. كلما اقتربت من سرعة الضوء، يتباطأ الوقت، يصبح الطول أقصر وتزيد الكتلة. الظاهرة الأكثر شيوعًا، والتنبؤ الأكثر دراماتيكية، يتم تقديمها بواسطة معادلة: $E = mc^2$ التي تبين ان (E)، هي الطاقة، والكتلة (m) هي مفاهيم فيزيائية قابلة للتغير في الطبيعة. إذا أمكنك تحويل غرام واحد من المادة إلى طاقة، ستقدر على تحرير طاقة أكثر مما هي موجودة في معظم القنابل الذرية. يجب أن تحول الشمس ما يقرب من مليوني طن من المادة إلى طاقة نقية كل ثانية، لكي تشرق بوضوح كما ينبغي. بالنسبة لتجربة الحث، فان الموقف يختلف عمّا يتخيله الشخص بصورة عميقة.

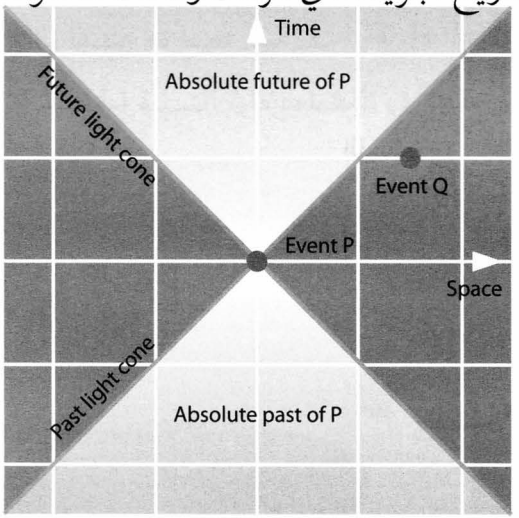


إن التجربة التي تجريها في الإطار المرجعي الخاص بك هي فترة راحة بالنسبة لك، على عكس شريكك في السيارة الذي يبتعد عنك بسرعة معينة. فبالنسبة إلى شخص مسافر بالسيارة، تسير تياراته أيضاً بنفس سرعة التيارات الخاصة بك. إذاً انت وراكب السيارة لديكما نفس قياس التيارات ونفس المجال المغناطيسي. لكن إذا نظرت إلى التيارات لركاب السيارة، فإنهم يتحركون بسرعة مختلفة عن سرعتك بسبب الحركة النسبية بين الإطارات المرجعية. هذا يجعلك ترى كثافة مختلفة من الحقول المغناطيسية في تجربة السيارة. عندما يتم تطبيق معادلات النسبية الخاصة،

مع السرعة المحددة للضوء (والتيارات)، يمكن الآن حساب قياسات تجربة السيارة بدقة من حَيثُ التيارات الصحيحة، والحقول التي تقيسها في تجربتك - وهكذا تم حل سر مفارقة ماكسويل.

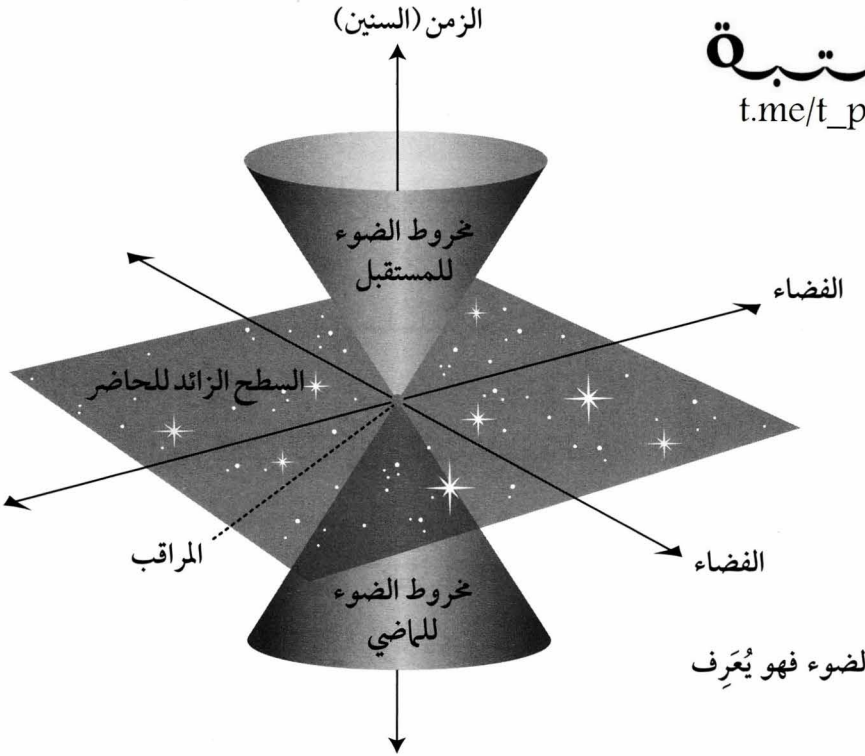
الزمكان

إن ثبات سرعة الضوء في جميع الأطر المرجعية غير المتسارعة يعني أنه عند ترجمة قياساتك للفواصل الزمنية والمكانية من إطار إلى آخر، تصبح الإحداثيات الجديدة عبارة عن مزيج من وحدات المكان والزمان! لقد صاغ عالم الفضاء الألماني هيرمان مينكوفسكي مصطلح الزمكان للتعبير عن ارتباطه بالعالم المادي « إن الآراء المتعلقة بالزمان والمكان التي أود أن أضعها قبل أن تخرج من أصل الفيزياء التجريبية، تكمن قوتها في كونها جذرية. وعليه من الآن فصاعدًا، فإن المكان، والزمان وحدهما، محكوم عليهما بالتلاشي إلى مجرد ظل، ولن يحافظ على حقيقة كونه مستقل سوى نوع من الاتحادات بينهما ». كان مولونيسكي أول من تعامل مع تاريخ الجزيئات في الزمان والمكان كخطوط عالمية على شكل مكاني مسطح رباعية الأبعاد. هذا هو الجانب الجديد الذي شمل ثلاثة أبعاد من المكان، وبعد واحد من الزمان وهي سلسلة زمكانية رباعية الأبعاد. ان فكرة الزمكان هي فكرة فيزيائية مفيدة بشكل لا يصدق، لكنها أدت إلى مشكلة فلسفية كبيرة. كانت الساحة الحقيقية للفيزياء عبارة عن (كتلة) لأربعة أبعاد زمكانية تتبع فيها (خطوط العالم) التاريخ الكامل لكل جزيئة فعليًا من الولادة وحَتى الموت. لكن كان هذا يعني بصورة مُلحّة انه عبارة عن نظرة



كل حدث في الزمكان معرف بالضوء فهو يُعَرِف الماضي، والحاضر، والمستقبل

غيرمحددة تمامًا للطبيعة. لقد ألغت تلك الفكرة أهمية اللحظة الحالية التي نسميها (الآن) وتم استبدلها بمنظور لم يتحرك فيه شيء فعليًا. من وجهة نظر الزمكان، فإن الجزيئات لا تتحرك، بل يتم عرضها ببساطة مرة واحدة من منظورها التاريخي الكامل. من خلال حجة رياضية ومنطقية بسيطة، كانت كل اللحظات التي نسميها (الآن) الموجودة في كتلة الكون حقيقية بشكل متساوٍ، وهكذا كانت في الماضي، والحاضر - والمستقبل متساوية في الحقيقة، ومنطقيًا، بعض الشيء، توجد باستمرار. ومع ذلك، فإن هذا المنظور الجديد، المذهل سمح للنظرية للنسبية الخاصة بأن تكون عملية بشكل قاسٍ، ومتنبِئة بظواهر جديدة قابلة للاختبار في الطبيعة، وحل المفارقة التي تنطوي عليها نظرية ماكسويل.



مكتبة
t.me/t_pdf

كل حدث في الزمكان معرف بالضوء فهو يُعَرِف الماضي، والحاضر، والمستقبل

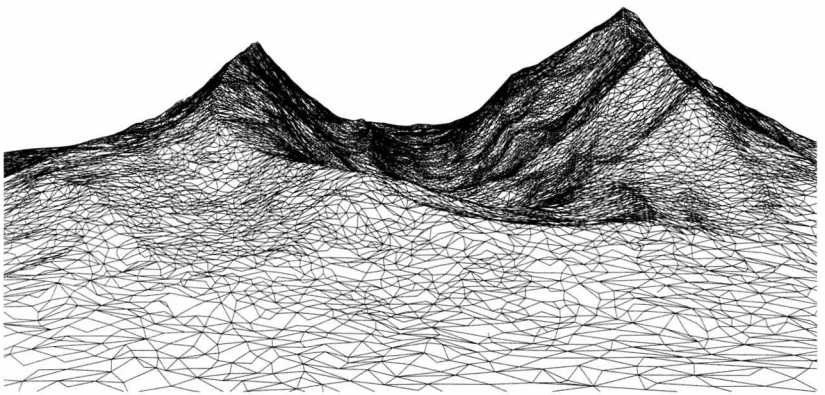
الخطوط العالمية: هو المسار الذي يستغرقه الكائن في الزمكان في أربعة أبعاد، ويشمل موقع الكائن في لحظات مختلفة في الوقت من الماضي إلى المستقبل، وكذلك موقعه في غضون ثلاثة أبعاد مكانية.

الكون المغلق: النظرية التي تقول أن جميع الكائنات والأحداث في الكون في الماضي، والحاضر، والمستقبل - كلها مجتمعة في زمكان واحد رباعي الأبعاد.

الجاذبية

على الرغم من نجاحاتها الأولية الهائلة، كان هناك نقص صارخ في النظرية النسبية الخاصة: يتمثل هذا النقص بعدم وجود طريقة لوصف تأثير الجاذبية. النسبية الخاصة هي النظرية التي تكون فيها السرعات النسبية بين الأطر المرجعية ثابتة بحَيثُ تكون جميع (الخطوط العالمية) خطوطًا مستقيمة إقليدية نسبة إلى (اقليديس). نظرًا لأن الجاذبية تقدم تسارعًا بين الأطر المرجعية المنفصلة على نطاق واسع، فإن النسبية الخاصة تكون صالحة التطبيق فقط على فترات زمنية قصيرة، عندما تبدو الحركة ثابتة. وكذلك، نظرًا لاختلاف الجاذبية من نقطة إلى نقطة في الفضاء، فإن النسبية الخاصة لا تنطبق إلّا في مناطق صغيرة من الفضاء.

بين عامي 1905 و1912، توصل أينشتاين إلى العديد من الجوانب لطريقة تجاوز النسبية الخاصة قبل أن ينشر أخيرًا نظريته عن النسبية العامة في العام 1915. فقد أدرك أينشتاين أن نظرية الجاذبية يجب أن تكون معقدة للغاية، ولكنها مبسطة للفيزياء المألوفة للجاذبية النيوتونية عندما كانت الحركات أبطأ بكثير من الضوء، في الوقت الذي كانت فيه الجاذبية ضعيفة. في بعض الأحيان بين 10 أغسطس و16 أغسطس العام 1912، بدأ أينشتاين يدرك أن هناك حاجة إلى هندسة جديدة تمامًا للفضاء. لم تكن هندسة الإقليدية المسطحة المستخدمة في النسبية الخاصة مناسبة لأن كل الأطر المرجعية كانت مرتبطة بالتحول البسيط الذي لم يشمل الجاذبية.



حتى سطح الأرض الوعر يمكن أن يكسى بواسطة قطع مسطحة ثنائية الأبعاد

تخيل تغليف كرة بطوابع بريدية مسطحة. إذا جعلت الطوابع صغيرة بما يكفي، يمكنك تقليل شكل الكرة عن قرب. فعلى سطح كل طابع لا يوجد انحناء على الإطلاق. من وجهة نظر النسبية الخاصة، يمثل كل من هذه الطوابع (زمكان) مولونيسكي المسطح. ومع ذلك، فإن الزمكان الحقيقي، مثل سطح الكرة، يكون منحنيًا للغاية مع تشوهات الجاذبية التي تسبب تغيرات في التسارع بين (السمات).

حاول أينشتاين شرح كيفية وصف كل التسارع الكلي من نقاط الامتياز في قطع صغيرة من الفضاء، ولكن ثبت أن هذه مشكلة صعبة الاستكشاف للغاية، لأنه كان يفتقر إلى الأدوات الرياضية التي يحتاجها. لم يدرك أينشتاين أن علماء الرياضيات خلال القرن التاسع عشر قد تجاوزوا منذُ زمن بعيد الهندسة المسطحة التقليدية لإقليدس التي علمها أينشتاين. إذ قاموا بإنشاء نوع جديد كامل من الهندسة بقواعدها الخاصة التي تنطبق على المساحات المنحنية ذات عدد اعتباطي من الأبعاد. سمع أينشتاين عن هذه الرياضيات الجديدة للهندسة المنحنية من صديقه عالم الرياضيات مارسيل جروسمان. فأدرك بسرعة أن رياضيات الفضاء المنحني هي بالضبط ما كان يبحث عنه. وقد رأى أينشتاين أن التسارع سيظهر على أنه منحنى الخطوط العالمية في الزمكان، لكنه يحتاج إلى طريقة ما لربط هذا الانحناء بخصائص المادة نفسها. الطريقة التي تم تطويرها بها بالتفصيل هي مفتاح فهم طبيعة الزمكان في علم الكونيات الحديث.

الفراغات المنحنية والأبعاد العليا

يتعين على المسّاحين إيجاد طريقة لقياس أجزاء صغيرة من سطح الأرض في ظل ظروف يتم فيها التفاف سطحها ثنائي الأبعاد بالجبال وغيرها.

في العام 1827، طور كارل فريدريش غاوس فكرة إمكانية استكشاف الخصائص الهندسية لسطح ثنائي الأبعاد مضمن في مساحة إقليدية ثلاثية الأبعاد من خلال دراسة المعادلات التي تمثل المسافة، أو الفاصل الزمني المتري بين نقطتين داخل السطح. تعتبر نظرية فيثاغورس مثالاً على هذا الفاصل الزمني المتري، الذي ينص على أن المسافة (dS) بين أي نقطتين في الفضاء ثلاثي الأبعاد تُعطى بواسطة:

$$dS^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$$

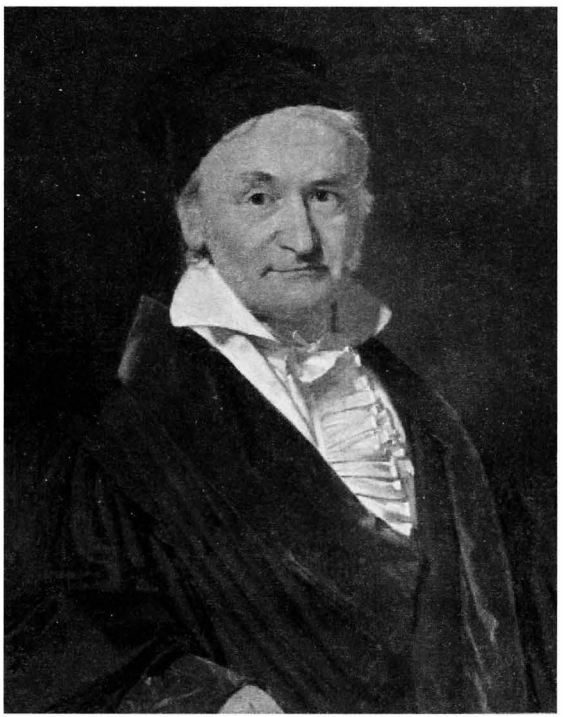
يمكن التعبير عن ذلك في الاختصار الرياضي لأنواع مختلفة من الأسطح المنحنية مثل:

$$dS^2 = g_{ij}\, dx^i\, dy^j$$

تسمى كمية g_{ij} الموتر المتري الأساسي، الذي يشفر المعلومات الرياضية حول هندسة السطح.

كارل فريدريش جاوس

يُطلق على غاوس غالبًا واحدًا من أرقى علماء الرياضيات في التاريخ، وقد حدد عمله خلال أوائل القرن التاسع عشر مراحل التقدم في الرياضيات والفيزياء. في مسحه لأعمال مملكة هانوفر في العام 1818، قام بتطوير الرياضيات الأساسية للأسطح المنحنية ثلاثية الأبعاد، مما أدى، فيما بعد، إلى هندسة الأبعاد التي اكتشفها برنارد ريمان في منتصف القرن التاسع عشر، وكذلك الرياضيات الشديدة الانحناء اللازمة لاستكمال نظرية النسبية العامة لأينشتاين في أوائل التسعينيات. اكتشف غاوس أن هندسة الفضاء، ولَا سِيَّما انحناؤها وتصنيفها، يمكن استنتاجها من خلال إجراء قياسات من داخل الفضاء بتحليل دقيق لزوايا العجز في المسح. قدم غاوس أيضًا العديد من المساهمات في دراسة المغناطيسية، مما ساعد على تطوير أسسها كنظرية رياضية.



كان كارل فريدريش جاوس (1777-1885) رائدًا في الرياضيات للأسطح ثلاثية الأبعاد

جاءت الخطوة التالية مع امتداد نهج غاوس للهندسة السطحية بحَيثُ كان يعمل في أي عدد من الأبعاد، وليس في بعدين فقط.

ابتكر جورج برنارد ريمان صيغة لتحديد انحناء السطح

وقد أُنجز ذلك من قبل عالم الرياضيات الألماني جورج ريمان في العام 1854. فقد عرف مقياس رياضي لسطح، وخاصة انحناءه معين من نقطة إلى أخرى، بناءً على الخصائص الموجودة داخل السطح فحسب، كما تم التعبير عنها في صيغة غاوس المترية.

لنفترض أنك استخدمت الإحداثيات الديكارتية في مساحة إقليدية ثلاثية الأبعاد لتحديد مواضع النقاط x وy وz. سوف تخبرك صيغة (ريمان) للانحناء أنه في هذا الاختيار لنظام منسق، R mnij = 0 وهكذا تكون المكان مسطحًا. إذا كنت تستخدم الآن نظام إحداثيات جديد لقياس نفس الإحداثيات الكروية، على سبيل المثال – فسيتم تصنيف نقاطك وفقًا لزاويتين، ومسافة نصف قطرية من مركز الإطار المنسق الخاص بك (r)(ϕ)(ϕ). إذا قمت بحساب صيغة انحناء (ريمان) مرة أخرى، فسيخبرك، مرة أخرى، أن المساحة مسطحة! تخبرك صيغة (ريمان) للانحناء عما إذا كانت المساحة الثلاثية الأبعاد منحنية، أم لا عن طريق قياس خصائص المكان من الداخل. أيضًا، بمجرد أن تعرف gij، يمكنك استخدام أدوات (ريمان) الرياضية لحساب أقصر مسافة بين أي نقطتين على مسار يسمى المنحنى الجيوديسي.

المنحنى الجيوديسي (ARC): أقصر مسافة بين أي نقطتين على سطح منحني. في الأرض المسطحة (انظر الصفحة 52)، فإن وجود مدتين تعيشان على كرة، وتتبعان منحنى جيوديسي تعتقدان أنه سافر في خط مستقيم، رغم أنه قد وصف فعليًا قوسًا.

لا يهم النظام المنسق الذي تختاره لوصف المكان الذي تقع فيه النقاط. رأى أينشتاين أنك إذا استبدلت فكرة النظام الرياضي المنسق بالإطار المرجعي المادي، والمنحنى الجيوديسي مع الخطوط العالمية، فقد حصل على نظرية شملت التسارع باعتباره انحناء الخطوط العالمية حَيثُ تمثل هذه الخطوط المنحنيات الجيوديسية التي تربط النقاط في الزمكان. ستكون هذه المنحنيات الجيوديسية هي المسارات التي تتبعها المادة، أو الأشعة الضوئية. استخدم أينشتاين لغة هندسة (ريمان)، إلى جانب الرياضيات التينور التي طورها عالم الرياضيات الإيطالي غريغوريو ريتشي كورباسترو، للتعبير عن العلاقة بين هندسة الزمكان والجاذبية - معادلة أينشتاين الميدانية المشهورة الآن للجاذبية، فأول ما تلاحظه هو أن هذه التركيبة الجميلة، لكن الغامضة لا تشبه قانون الجاذبية لنيوتن، الذي تمت كتابته كـ $F = GMm / r^2$

تتبع الطائرات أقصر الطرق (المنحنيات الجيوديسية) على سطح الأرض للرحلات الطويلة

في الحقيقة، يمكنك استرجاع معادلة نيوتن للجاذبية من معادلة أينشتاين للنسبية للجاذبية في الحالة التي يكون فيها انحناء مجال الجاذبية ضعيفًا وسرعات الجسيمات بطيئة جدًا مقارنة بالسرعة الخفيفة. توضح معادلة أينشتاين T_{UV}، التي يطلق عليها (موتر زخم الطاقة)، كيفية توزيع المادة والطاقة في جميع النقاط في الزمكان. يرتبط انحناء ريتشي بـ (ريمان) إذ يمنح الانحناء الناتج في كل نقطة الزمكان من خلال وجود المادة والطاقة. أخيرًا، g_{uv}، يعطي الموتر المتري كل المعلومات حول كيفية تغير هندسة الزمكان من نقطة

إلى أخرى. كما إنّه يمثل مجال الجاذبية نفسه وكان هذا بمثابة اكتشافًا رئيسيًا من قِبل أينشتاين. ان المكان ثلاثي الأبعاد هو اسم آخر لحقل الجاذبية للكون.

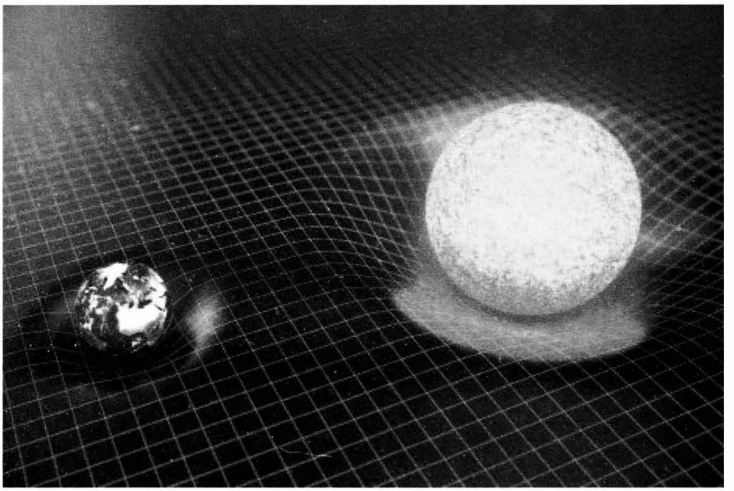
ماذا يفعل المرء بهذه المعادلة؟ عندما درست الجبر في المدرسة، طُلب منك إعداد مسألة وحل لـ x. لحل معادلة أينشتاين، قمت بإعداد المسألة عن طريق حساب الرياضيات، وتحديد أين ستقع المسألة والطاقة خلال وقت الزمكان، T_{uv}. ثُمَّ تقوم بحل المعادلة الخاصة بـ g_{uv} والتي ستخبرك، رياضيًا، أي نوع من هندسة الزمكان سوف يتكون بسبب كمية المادة، وموقعها، والطاقة. من g_{uv}، يمكنك حساب الخطوط العالمية (المنحنى الجيوديسي) بشكل دقيق لأي جسيم في الزمكان، من الأشعة الضوئية إلى سفن الصواريخ، باستخدام الأدوات الرياضية التي يوفرها ريمان.

استخدمت معادلة أينشتاين لحل أبسط الأشكال الممكنة T_{uv} منذُ أن اقترحها منذُ أكثر من مائة عام. أدت بعض الحلول البسيطة لهذه المعادلة إلى اكتشاف الثقوب السوداء (كل الكتلة في مكان ما في الزمكان) وكذلك تكوين الانفجار الكبير (المادة هي الغاز المخفف الذي يملئ الفضاء الزمكاني). تتم برمجة الحواسيب العملاقة الآن للقيام بهذه الحسابات الهائلة للتنبؤ بكيفية تصادم الثقوب السوداء، ودمجها، وكذلك للتنبؤ بظواهر أخرى في ظل ظروف العالم الحقيقي.

العددية والمتجهات والتنسورات (الموشورات)

يمكن تصنيف كمية رياضية من حَيثُ عدد المكونات اللازمة لوصفها. على سبيل المثال تتطلب درجة الحرارة والكتلة كمية واحدة فقط قابلة للقياس بالدرجات المئوية، أو بالكيلوغرامات. هذه أمثلة على الكميات العددية التي تمثلها T أو M. أما الكميات الأخرى فهي أكثر تعقيدًا. على سبيل المثال، تعد سرعة السيارة، أو تفاصيل القوة المغناطيسية في الفراغ أمثلة على كميات المتجهات التي تتطلب ثلاثة مكونات في المكان ثلاثي الأبعاد: V + Vx, Vy, Vz، ولكن يمكن تخفيضها إلى

كمية قياسية مثل السرعة باستخدام نظرية فيثاغورس. ما تزال الكميات الأخرى مثل الضغط لا تتطلب وصف المتجه فحسب، بل مكونات هذا المتجه معروضة على أسطح مختلفة في الفراغ. على سبيل المثال، سيتم تمثيل القوة العادية على السطح المتوقع في الطائرة الكارتنزية س. ص كمكون الضغط P_{xy} حَيثُ إنّ الضغط هو مثال على الكمية التي تسمى (الموتر). ومن الأمثلة الأخرى على التنسورات تشمل مجالات الجاذبية، والتوتر داخل الأجسام الصلبة.

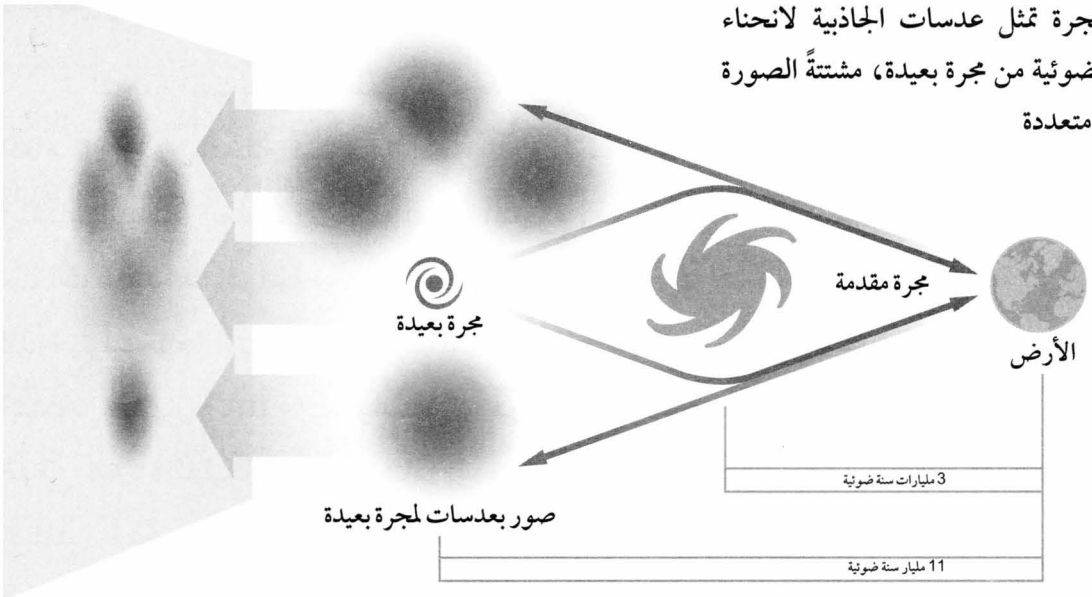


كتلة الجسم تشوه هندسة الفضاء لتسبب القوة التي نسميها الجاذبية

عدسات الجاذبية

من بين التوقعات الجديدة التي قدمتها النظرية النسبية العامة لأينشتاين أن الأشعة الضوئية يمكن أن تنحني أثناء انتقالها عبر الزمكان القريب بالقرب من جسم ضخم. إذا كنت تستخدم الشمس كنقطة الكتلة التي ينظر إليها من الأرض، فيبدو أن الضوء المنبعث من النجوم البعيدة بالقرب من حافة الشمس ينحرف بعيدًا عن الشمس بمقدار طفيف يبلغ بحسب أينشتاين حوالي 1,5 ثانية.

صورة لمجرة تمثل عدسات الجاذبية لانحناء الأشعة الضوئية من مجرة بعيدة، مشتتةً الصورة إلى اجزاء متعددة



ألبرت أينشتاين

ربما كان ألبرت أينشتاين أحد أعظم علماء الفيزياء في كل العصور، وبالتأكيد الأكثر شهرة في القرن العشرين، فقد قدم بالفعل مساهمة كبيرة في الفيزياء قبل نشره العام 1905 النظرية النسبية الخاصة به. وشرح التأثير الكهروضوئي من حَيثُ نظرية ماكس بلانك لقياس كمية الضوء، وأثبت الطبيعة الذرية للمادة من خلال دراسة الحركة البراونية للغبار في قطرة ماء. أي من هذين كان سيؤكد مكانته في الفيزياء كفيزيائي بارز. تم دفعه إلى الرأي العام بواسطة دليل العام 1920 على أحد تنبؤاته بالنسبية العامة. خلال سنواته المتبقية حَتى وفاته في العام 1955، قدم سلسلة طويلة من المساهمات في علم الكونيات، ونظرية الكم، والبحث عن نظرية موحدة للفيزياء، تسمى الآن (نظرية كل شيء).

السير آرثر إدينغ•تون

ترك هذا الفيزيائي والفلكي الإنجليزي بصماته على العديد من مجالات الفيزياء الفلكية. في العام 1920، استخدم كسوف الشمس الكلي لإثبات أحد التنبؤات الأساسية لنظرية رؤية ألبرت أينشتاين للنسبية العامة: الانحناء لضوء النجوم بالقرب من الطرف الشمسي. في العام 1920، بعد سنوات عديدة من دراسة الخصائص الرياضية للديكورات النجمية، نشر ورقة بحثية عن (التركيب الداخلي للنجوم) التي سبقت اكتشاف مصدر الطاقة للنجوم في الانصهار النووي من خلال تطبيق اينشتاين الشهير $E = mc^2$. واستمر في دراسة ثبات النجوم الأقزام البيضاء، وحدد الحد الكتلي لها من 44 , 1 تدليكًا شمسيًا استنادًا إلى مبادئ ميكانيكا الكم، وضغط انحلال الإلكترون. بل إنّ إدينغتون ابتكر مقياسًا لقياس قدرات راكب الدراجة الذي يدعى رقم إدينغتون، بحَيثُ يدور راكب الدراجة E ميلاً في أيام E ويصبح E هو تصنيف الدرّاجين (راكبي الدراجات الهوائية)!

عدسة التجاذب: الكائنات ذات السَحب التجاذبي الكبير تسحب الضوء المحيط بها، وكلما زاد حجم الكائن، زاد التشوه.

إثبات أن اينشتاين كان على حق

تم اختيار الكسوف الكلي للشمس في 29 مايو العام 1919 كسرير اختبار ليقرر فيما إذا كان أينشتاين أو نيوتن على حق؛ انتظر العالم العلمي بأكمله لسماع النتائج. كان أحد علماء الفلك والفيزياء والرياضيات البريطاني آرثر إدينغتون أحد الذين تم اختيارهم لإجراء الاختبار، والذي دافع عن نظريات أينشتاين في وقت كان فيه الفيزيائي الألماني غير معروف إلى حد كبير في بريطانيا. كان إدينغتون عضوًا في البعثة التي أبحرت إلى جزيرة برينسيبي، قبالة الساحل الغربي لأفريقيا، حَيثُ

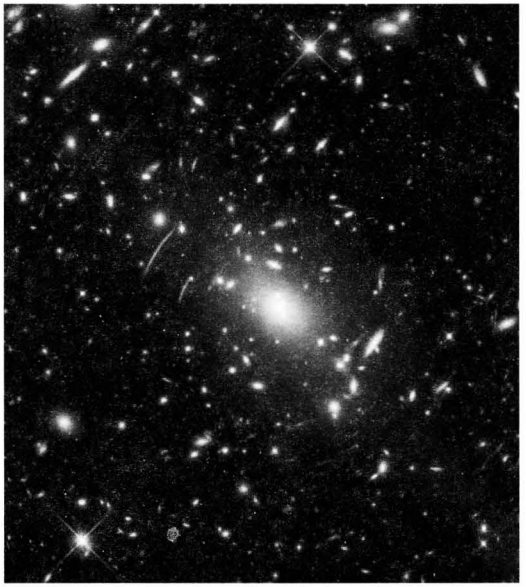
يكون الكسوف الكلي للشمس مرئيًا. أظهرت صورة تم التقاطها في أثناء الكسوف أن النجم الذي كان يتم إخفاؤه عادة وراء الشمس كان يرى بوضوح، مما يدل على تأثير الانحناء لجاذبية الشمس، كما تنبأ أينشتاين. في أوقات أخرى ليست في أثناء الكسوف، كان وهج الشمس قد أخفى هذا التأثير المنحني. أعلنت هذه النتيجة من قبل الصحف في جميع أنحاء العالم، بما في ذلك على الصفحة الأولى لصحيفة نيويورك تايمز في 10 نوفمبر العام 1919.

يمكن أيضًا إجراء الحساب باستخدام فيزياء نيوتن التي لا يتشتت فيها الفراغ بالكتلة. لكن مقدار تحول ضوء النجوم المتوقع سيكون إلى النصف بالضبط لأنه، في ظل نيوتن، يبقى الفراغ غير متأثر بالجاذبية، وبالتالي لم يكن محاطًا بشيء. لذلك كان هذا اختبارًا واضحًا جدًا فيما إذا كان نيوتن على حق، أو ما إذا كان أينشتاين غير المعروف في ذلك الوقت على حق. ان الفراغ حول النجم ليس مسطحًا كما تقترح الرياضيات الإقليدية، لكنه محاطًا كما تنبأ به أينشتاين.

ان هذا الالتفات يخلق ما يعرف بحلقة أينشتاين. تم اكتشاف الأول (ان الفراغ حول النجم ليس مسطحًا) بواسطة عالم الفلك جاكلين هيويت، الذي لاحظ مصدر الراديو MG 113 + 0456 باستخدام التلسكوب الراديوي الإشعاعي الكبير جدًا. شهدت هذه الملاحظة كوازارًا شوهد بمجرة أقرب إلى صورتين منفصلتين، لكن متشابهتين للغاية لنفس الكائن. امتدت الصور حول العدسة إلى حلقة كاملة تقريبًا. تم اكتشاف أول حلقة أينشتاين كاملة، تحمل اسم B1938 + 666، من خلال التعاون بين علماء الفلك في جامعة مانشستر،

حلقة أينشتاين كما صورها تلسكوب هابل

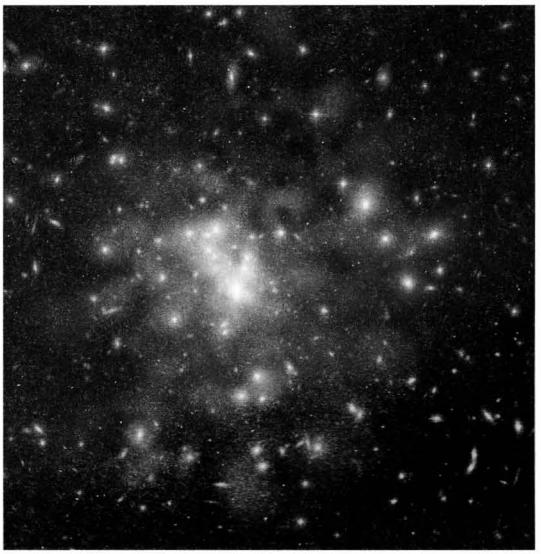
وتلسكوب هابل الفضائي التابع لناسا في العام 1998. لكن حَتى عدسة الجاذبية الأكثر تعقيدًا ممكنة إذا استخدم توزيع شامل متكتل، مثل المجرات في عناقيد المجرات.



صورة لـ Abell 1063 تبين تشكل الأقواس الزرقاء في هذه من خلال عدسات الجاذبية للمجرات البعيدة خلف هذا التجمع

إذا كان الأمر كذلك، فإن المسار الذي سلكته أشعة ضوئية واحدة سيكون أكثر تعقيدًا من مجرد انحراف زاوي أحادي الأبعاد. جسم الخلفية، وهي مجرة أكثر بُعدًا تقع خلف الكتلة، يكون لها أشعة ضوئية متعددة مُثنية في اتجاهات عديدة بواسطة الكتلة وكذلك العديد من الصور المشوهة لنفس المجرة. يمكن استخدام شكل وتوزيع قوس العدسة المزعوم هذا لتحديد الكتلة الجاذبية الكلية، ويتم تشبهها مرة أخرى إلى صورة غير مشتتة للمجرة البعيدة عن عملية تسمى تتبع الأشعة.

بحلول العام 1987، بدأت صور لمجموعات نائية من المجرات مثل Abell 370 في عرض صور غريبة داخل شكل يشبه قوس دائرة ولا يشبه أيًّا من المجرات الأخرى في هذه المجموعات. وفي منتصف الثمانينيات من القرن العشرين، سمحت عمليات رصد التلسكوب الأرضية للقوس الأبرز في هذه المجموعة لعلماء الفلك باستنتاج أن القوس لم يكن تركيب من نوع ما داخل المجموعة، لكن الصورة ذات العدسة الجاذبية لجسم ما هي ضعف المسافة البعيدة. لم تكن الدراسات والنماذج الإضافية لأنظمة عدسات الجاذبية البعيدة قادرة على إعادة إنتاج التشوهات بتفصيل كبير باستخدام النسبية العامة فحسب، بل إنّها غيرت بشكل كبير طريقة دراسة علماء الفلك للكون البعيد.



يكشف انعكاس المجرات الخلفية عن توزيع المادة المظلمة في حشد

أولاً: يمكن استخدام تأثير عدسات الجاذبية، جنبًا إلى جنب مع نموذج الكتل في عنقود المجرات، لحجب الآثار المشوهة للجاذبية منْ أجل استعادة الصور الفعلية لعدسات المجرات خلف المجرات العنقودية. بالإضافة إلى ذلك، ضخمت عملية التصوير العدسي الضوء من هذه الأجسام البعيدة، مما سمح لعلماء الفلك بإلقاء نظرة على المجرات التي تشكلت في عالم أبعد بكثير، ونظرة على كون صغير جدا. هذا يعني أن تليسكوب (هابل) الفضائي أصبح عينًا لعدسات فلكية على بعد ملايين السنين.

ثانيًا: شمل نموذج الكتلة المفصل لتصوير المجاميع لكل المادة غير المرئية، أو غير ذلك، التي كانت تسهم في جاذبية مجموعة المجرات. من هذا المنطلق، لا يمكن تحديد الكتلة المضيئة لكل مجموعة فحسب، بل يمكن أيضًا تقدير عنصر المادة المظلمة، وتوزيعها في جميع أنحاء المجموعة المخمنة. سيتم مناقشة مسألة المادة المظلمة في الفصل الخامس.

عدسة الجاذبية

ان المعادلة الأساسية لانحراف ضوء نجم محاطًا بالزمكان هي:

$$u = \frac{4GM}{Rc^2}$$

حَيثُ يمثل G جاذبية نيوتن الثابتة 67 , 6× 21011 N m2 /kg، وتمثل C سرعة الضوء 000 , 000 , 300 م / ثا، وتمثل M كتلة المادة بالكيلومترات، أما R فتمثل المسافة من مركز الجسم

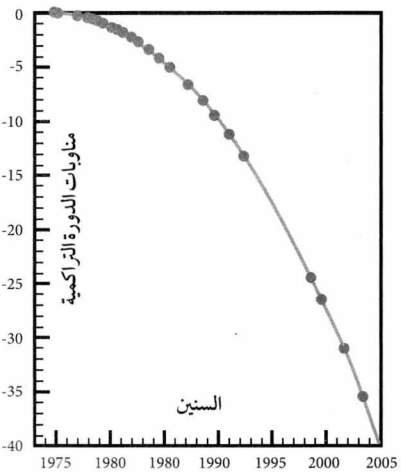
إلى النقطة التي يمر بها شعاع الضوء إلى عبر الجسم (بالأمتار). وفي حالة الشمس، لو وقعت صورة النجم ضعفي قطر الشمس من مركزها، فإن R تساوي 4 , 1 مليون كيلو متر أو $1,4 \times 109\ m$ و M تساوي $2 \times 1030km$، إذًا

$$u = 4\,(6.67\times10^{-11})(2\times10^{30})/(1.4\times10^{9})(3\times10^{8})2 = 4.2\times10^{-6}\ \text{radians}$$

لأن (1) راديان (زاوية نصف قطري) يساوي 206265 ثانية قوسية لقياس زاويّ، فان انحراف صورة النجم ستكون 9 , 0 ثانية قوسية.

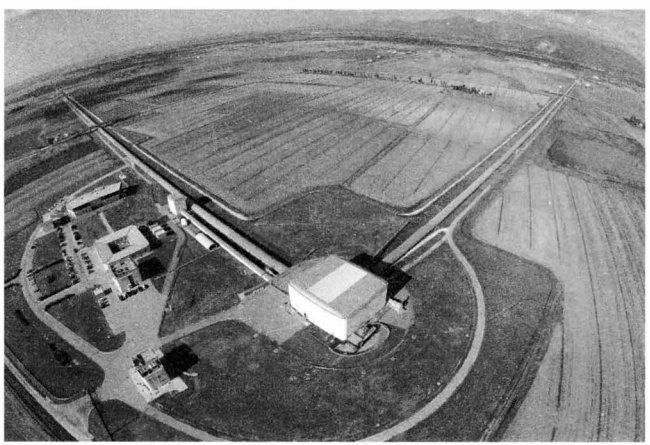
موجات الجاذبية

كان هناك تنبؤ آخر من نظرية النسبية العامة هو أنه من الممكن ان تدعم حقول الجاذبية أيضًا ظواهر مثل الموجة كما هو الحال بالنسبة للحقل الكهرومغناطيسي. في العام 1981، نشر أينشتاين بحثًا يصف هذه الموجات وحدد ثلاثة أنواع منها. عند مرور الجاذبية بواسطة مراقب، سيشعر هو / هي بنمط محدد من تغييرات المصفوفة في الوقت المناسب حَيثُ تتغير المسافات في نظام المنسق المحلي استجابة للكتلة البعيدة المتسارعة. في العام 1957، أظهر عالم الفيزياء الأمريكي ريتشارد فاينمان أن الإشعاع الجاذبي يمكن أن ينقل الطاقة فعليًا من نظام قاد (جوزيف ويبر) إلى إنشاء أول كاشف لموجة الجاذبية في جامعة ميريلاند. على الرغم من أنه ادعى لاحقًا اكتشافه في العام 1969، إلّا أن هذا الأمر لم يتم تأكيده بشكل مستقل عن طريق ادوات موجات الجاذبية الأخرى. ومع ذلك، فإن حجة الشكوى بأن هذه الموجات موجودة أدت إلى عقود من العمل على تحسين حساسية جهاز الكشف، وادت إلى إنشاء مرصد موجة التجاذب الليزري، والذي بدأ بناؤه في العام 1994. وظل الكشف المباشر عن موجات الجاذبية بمثابة العصر الذهبي للفيزياء لثلاثة عقود، ولكن كان من المعروف أن شيئًا ما يشبه إشعاع الجاذبية كان يعمل على شرح نظام فلكي واحد في الأقل مدروس جيدًا الإلكترون



تؤكد الطاقة المفقودة بواسطة النجوم النابضة التي تدور حول تيلور هولس على وجود إشعاع الجاذبية

الثائي النابض لـ (هولس – تايلر). (PSR B1913 + 16) الذي تم اكتشافه لأول مرة في العام 1971 من قبل راسل هولس، وجوزيف تايلور من جامعة ماساتشوستس، وكان هذا أول زوج من النجوم النيوترونية التي عُثر عليها على أنها نظام ثنائي. كان أحدها هو النجم النابض، إذ يدور عشرات المرات في الثانية، مُخلفًا رشقات من موجات راديوية. من خلال القياسات الدقيقة لإشارات النجوم النابضة وتوقيتها، استنتج هولس – تايلر تفاصيل مدارات ودوران النجوم نيترونية بدقة عالية. على مدار العقد المقبل، أظهرت عمليات إعادة القياس المتكررة أن النظام كان يفقد الطاقة التي يصل الإشعاع الجاذبي منها إلى 7 – 1024 واط، أو حوالي 2 بالمائة من الضوء المنبعث من شمسنا. كانت هذه الكمية مطابقة تمامًا لما تنبأت به النسبية العامة، حَتى بعد إجراء تصحيحات على الطاقة المفقودة بسبب تشويه المد، والجزر للنجوم النيوترونية نفسها. على اساس هذا المعدل، سوف تتصاعد النجوم النيترونية، وتتصادم في حوالي 300 مليون سنة. أن عملية الاصطدام نفسها ستتحول إلى مصدر أقوى لموجات الجاذبية. في غضون أقل من ثانية واحدة، يمكن تحرير طاقة أكثر من الطاقة الناتجة عن كل النجوم في مجرة درب التبانة.



نجم نيوترون: نجم صغير جدًا، شديد الحساسية ناتج عن انهيار الجاذبية لنجم ضخم بعد انفجار المستعر الأعظم.

النجم النابض: نجم نيوتروني سريع الدوران، أو قزم أبيض ينبعث منه شعاع قوي جدًا من الإشعاع الكهرومغناطيسي. اكتشفه عالم الفلك الإذاعي جوسلين بيل بورنيل.

بعد سنوات من إصدار النتائج عديمة الفائدة، أصبحت أجهزة الكشف المحسّنة جاهزة للعمل في العام 2015. حَيثُ قامت LIGO بأول اكتشاف مباشر لموجات الجاذبية في 14 سبتمبر في العام 2015. حَيثُ تم التوصل إلى أن الإشارة، التي يطلق عليها اسم GW150914، ناتجة عن دمج ثقبين سوداوين بـ 36 و29 كتل من الطاقة الشمسية، وخلق كتلة مجمعة من حوالي 62 كتلة شمسية. يشير هذا إلى أن إشارة الموجة الجاذبية حملت طاقة تقدر بما يقارب من ثلاث كتل شمسية، أو حوالي 5 – 1047 جول. خلال الكسر الأخير من ثانية من الإندماج، أطلق أكثر من 50 مرة من قوة كل النجوم في الكون المرئي بأكمله مجتمعين. لم تكن هذه الثقوب السوداء في فناء درب التبانة الأسود، ولكنها تقع على بعد 3 , 1 مليون سنة ضوئية.

بالإضافة إلى الدراسات حول تصادم الثقوب السوداء والنجوم النيوترونية، توفر موجات الجاذبية واحدة من أعمق وجهات نظرنا في فيزياء التاريخ المبكر للكون. تترك موجات الجاذبية الناتجة عن حدث (التصدع الكبير) نفسه بصمات مميزة في إشعاع الخلفية للفضاء (إشعاع الخلفية الكونية أو CBR) والتي يمكن فك شفرتها لتحسين ما نعرفه عن الأحداث بشكل كبير في أصل الزمكان نفسه.

الفضاء خرافة

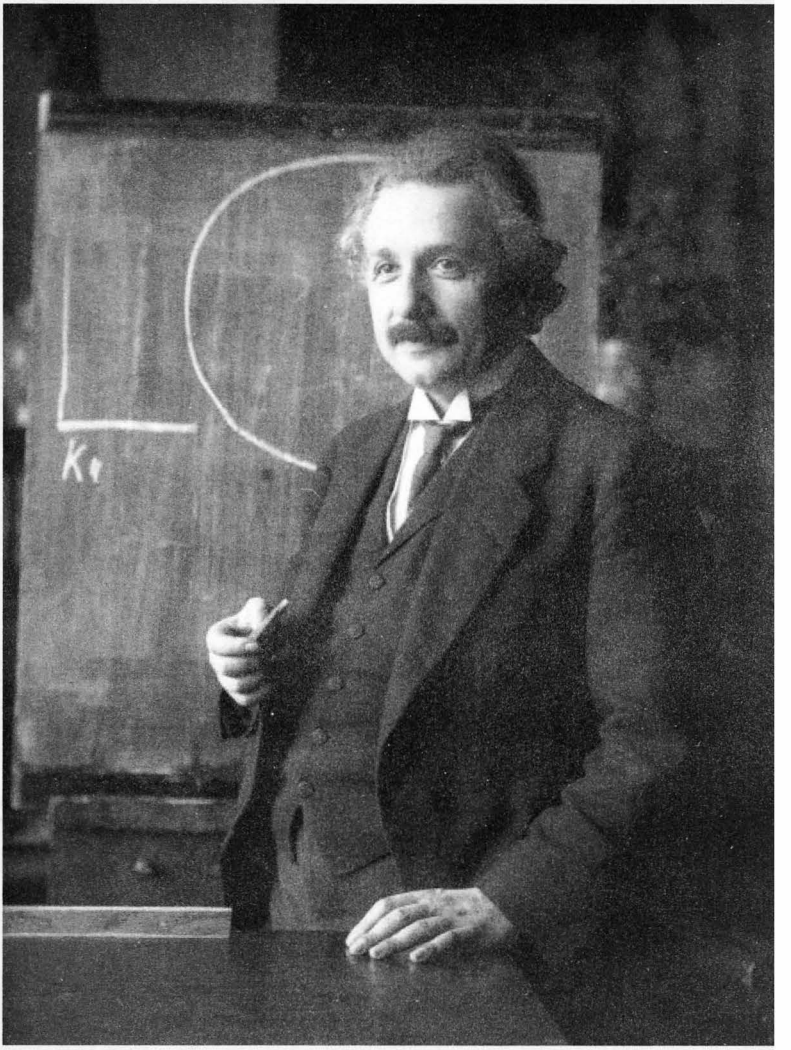
قدمت نظرية النسبية العامة أول لمحة عن العلاقة الوطيدة بين المكان، والزمان، ومجال الجاذبية. فقد أظهرت معادلة أينشتاين الميدانية أكثر مما يمكن اعتبار ببساطة قوى الجاذبية بمثابة الانحناء المحلي للزمكان. كانت الكمية الرياضية المتمثلة بمقياس الزمكان gsuperscriptuv متطابقة تمامًا مع المجال الذي يصف الجاذبية. فالجاذبية ليست مجرد انحناء للزمكان، بل هي (الزمكان).

كانت مسألة (الهندسة السابقة) هي المفتاح لتفسير اختيار أينشتاين ليس فقط لـ guv لتمثيل الجاذبية، بل في تقرير ما إذا كان guv بالفعل مادة مركبة لا يمكن رؤيتها؛ من جزأين: جزء واحد هو مجال الجاذبية، والجزء الآخر يمثل الساحة الموجودة مسبقًا وغير القابلة للتغيير من الزمكان.

لجعل مثل هذا التحلل ساري المفعول. فإن جزءًا من gsuperscriptuv الذي كان يمثل هندسة سابقة، لا يمكن أن يتأثر بالمادة أو الطاقة؛ كان هذا هو الدور الحصري الذي يجب أن يلعبه المكون الثاني من gsuperscriptuv الذي يمثل مجال الجاذبية. يتعين على الهندسة السابقة أن تلعب الدور الأساس الصارم للزمكان الذي تبنى عليه نظرية النسبية الخاصة، والفيزياء النيوتونية، لكن لن يكون لها أي تأثير مادي في المادة، أو الحركة. لم تكن هناك ملاحظة في الوقت الذي اقترح فيه أينشتاين النسبية العامة، أو منذُ ذلك الحين، لم يكتشف أي دليل مادي على بعض الأجسام الهندسية الشاملة، أو الأجسام الممتلئة (الفراغ المليء بالمادة) التي تقف منعزلة عن الفيزياء بالطريقة التي يجب أن تكون عليها الهندسة السابقة.

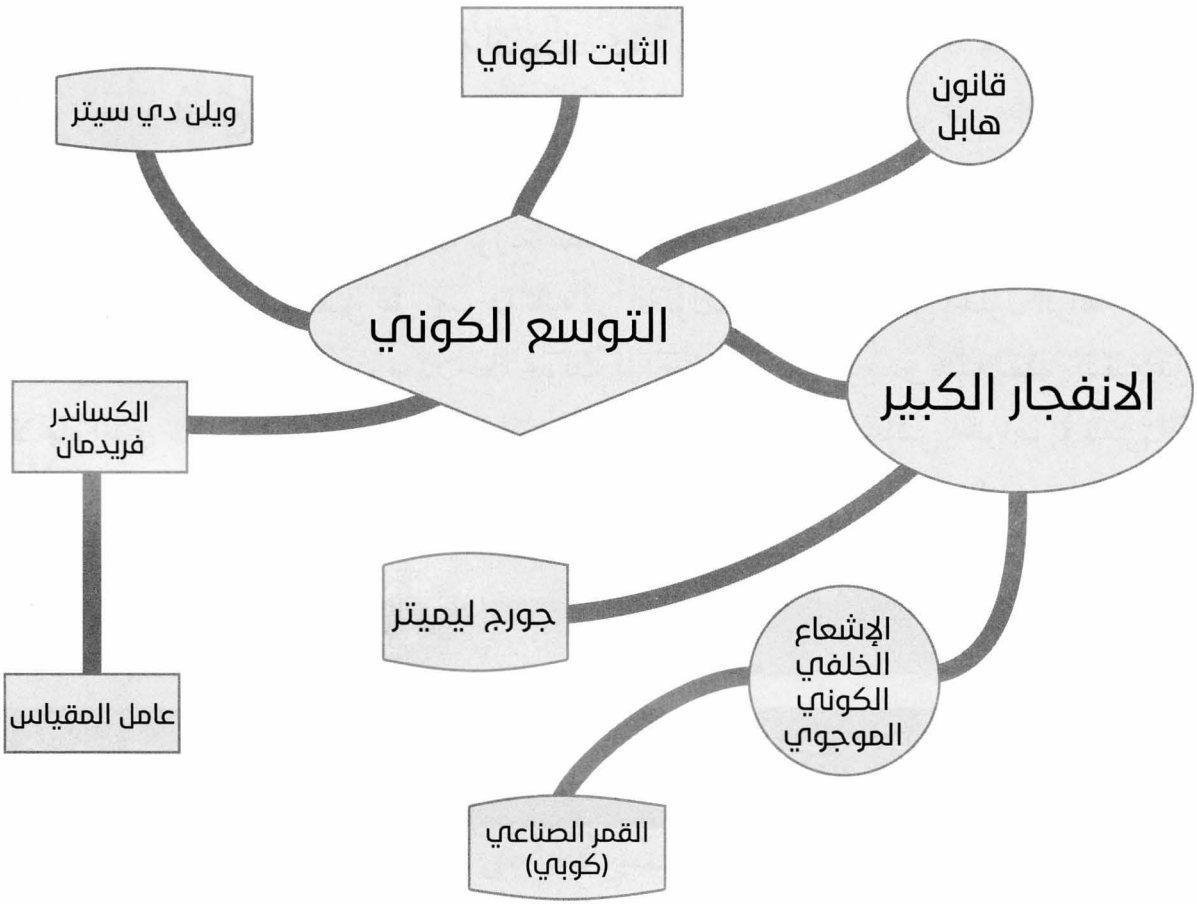
كان اختيار أينشتاين هو أن gsuperscriptuv يمثل (كل شيء)، بدون إطار مسبق للزمكان. هذا الافتراض، الذي يبدو استفزازيًا، هو أبسط افتراض متناغم مع جميع الظواهر المعروفة، ومع الأفكار الأساسية في النظرية النسبية نفسها. لقد علق أينشتاين ذات مرة على أن الهندسة مبنية مسبقًا

على الفضاء الأقليدي رباعي الأبعاد، هو بمثابة الإيمان بما يشبه الخرافات. كما ضُمنَت في نظرية ليبنز النسبية وجهة نظر هي ان المكان والزمان لا وجود لهما، ولكنهما مجرد علاقات بين الأجسام، بحَيثُ من دون أجسام، يتوقف كلا الوقت والمكان عن الوجود.



طور ألبرت أينشتاين النظرية النسبية العامة، والتي أثبتت أهميتها في فهم طريقة عمل الكون

علم الكونيات النسبي



التوسع الكوني

حاول أينشتاين معززًا بنظرية نسبية جديدة للجاذبية والزمكان، حل معادلات الانحناء على الفور، للحصول على نموذج للكون. بصراحة، لم يطلع أحد من قبل على هذه المعادلات وبهذا سيكون أينشتاين نفسه هو الذي سيضطر إلى إعدادها بشكل صحيح، ومِنْ ثَمَّ إيجاد حل لها. كان الجانب الأيسر من علامة (يساوي) ببساطة رياضية يمثل التعبير عن الانحناء في أربعة أبعاد، أما الجانب الأيمن من المعادلة كان وظيفته أن يصف كيف يتم توزيع المادة والطاقة عبر الزمكان. إذا قمت بتحديد توزيع حَيثُ تكون فيه كل الكتلة في نقطة واحدة، فستحصل على حل لـ (الثقوب السوداء) التي هي (منطقة في الزمكان) تنتج مثل هذه التأثيرات الجاذبية الشديدة التي لا يمكن حَتى للضوء الهروب منها. ولكن إذا قررت توزيع هذه المادة بالتساوي في كل مكان حَيثُ تسمى (توحد وتجانس الخواص)، فستحصل على مجموعة ثانية من الحلول، التي اعتبرت من الحلول الرائعة تمامًا.

توحد الخواص، تعني ان ما تلاحظه حولك من موقع واحد فقد يبدو نفسه بغض النظر عن الاتجاه الذي تنظر إليه، وتسمى هذه الحالة بـ (ثابت الدوران) أما (تجانس الخواص) فتعني ان ما تراه حولك يبدو نفسه أيضًا حَتى وان غيرت موقعك، وتسمى هذه الحالة بـ (الثابت المتنقل).

توحد الخواص: بدءًا من نقطة أي مُلاحظ، المبدأ الذي يقر ان المادة تلاحظ عبر بعديّ السماء تبدو متوحدة في أي درجة زاوية.

تجانس الخواص: هو المبدأ الذي يقر ان المادة فيها توزيع موحد عبر البعد الثالث باتجاه اعماق الفضاء.

كان أينشتاين قد نظر في ما كان معروفًا عن الكون في ذلك الوقت، حوالي العام 1917، وقرر أن يؤيد اقتراح إسحاق نيوتن بأن المادة كانت موزعة بصورة سلسة في كل الفضاء، ويمكن أن تمثلها قيمة بسيطة مثل الكثافة العادية للغاز. إن هذا الغاز الكوني يمثل كل النجوم داخل المجرات الذائبة في غاز يحتوي على متوسط كثافة حوالي 11 ذرة لكل متر مكعب. عندما استخدم اينشتاين هذه القيمة على الجانب الأيمن للمعادلة، والتجانس المفترض الكثافة لا تعتمد على متغيرات المسافة مثل x, y, z أو r والكثافة لا تعتمد على متغيرات الاتجاه مثل q أو، f، فقد سبّب هذا انخفاضًا كبيرًا في عدد المعادلات اللازمة على الجانب الأيسر لتحديد الانحناء. لكن النتيجة لم تكن مثلما توقع اينشتاين. فقد كان الحل يتطلب أن يكون الكون في حالة الانهيار، الذي يختلف تمامًا مع ما كان يعتقده علماء الفلك عن النجوم، والسديم في السماء.

لمنع الكون كله من الانهيار، والبقاء أكثر أو أقل ثباتًا، شعر أينشتاين بأنه مضطر لإضافة عامل فلكي ثابت يسمى بـ (عامل التصحيح)، يمثله الحرف اليوناني A إلى معادلة له عن الجاذبية كما هو مبين أدناه.

Fudge Factor

$$R_{mn} - \tfrac{1}{2} R\, g_{mn} + L g_{mn} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{mn}$$

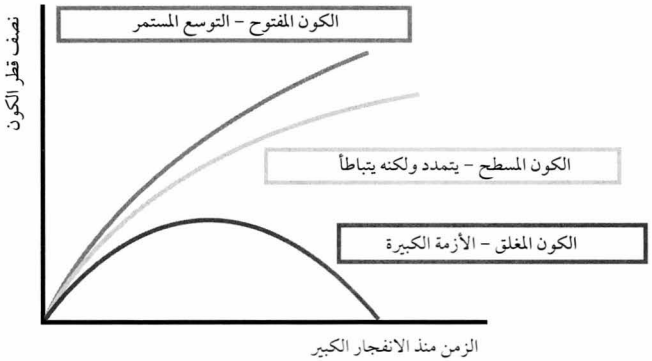
يمكن اختيار هذا العامل بالضبط لجعل الكون مستقرًا. لقد كان مصطلح أينشتاين (الثابت الكوني) غريبًا للغاية. إذ أن ما قاله اينشتاين كان مخفيًا داخل الفضاء، بحَيثُ كان يوجد داخل كل متر مكعب إلى أبعد جزء من المادة شيء غريب كوّن قوة مضادة للجاذبية في الطبيعة. وبمعجزة، كانت مقدار هذه القوة على نطاق النظام الشمسي كافية على وجه التحديد للسماح للكون بأسره بأن يظل ثابتًا في الوقت المناسب.

لم يكن لدى أينشتاين أي فكرة عما إذا كانت هذه ظاهرة معقولة، خصوصًا أن علماء الفلك لم يجدوا حَتى الآن وسيلة لقياس سرعات المادة الكونية البعيدة، كما إنّه لم يستطع أن يعلن بحزم عن وجود مثل هذه المادة. وحَتى إنّ الأمر لم يكن واضحًا أن أينشتاين كان على دراية بالبحث الذي كان متاحًا في طبيعة السدم خارج المجرة، أو حركات النجوم عبر تأثير دوبلر. فقد أشار كلاهما نحو عالم ديناميكي ومتغير. لكن علماء الفيزياء الآخرين أصبحوا متحمسين جدًا لنظرية النسبية العامة لأينشتاين، وخاصة تنبؤاتها الكونية، وذهبوا أبعد بكثير من أينشتاين في استكشاف معادلاته الخاصة للانحناء.

الثابت الكيميائي: كثافة طاقة الفضاء الذي يسمح للكون بأن يبقى ثابتًا في الوقت المناسب

توسّع ديستر، الكون الفارغ

أولًا في العام 1917، وصف عالم الفلك والفيزياء والرياضيات الهولندي Willem de Sitter عالمًا موسعًا خاليًا من المادة، وكان حلًا متطرفًا لمعادلات أينشتاين ذات الكثافة المتلاشية والثابت الكوني غير الصفري. لم يقتنع أينشتاين بهذا الحل لأنه إذا قمت بتقديم اختبار جزئتين فقط، فسوف يبتعدان عن بعضهما البعض بمرور الوقت بـ (دالة أسيّة) تحددها قيمة الثابت الكوني. والأسوأ من ذلك، أن هذه الأكوان الخالية من أي مادة لم تكن ثابتة على الإطلاق. في العام 1922، وجد عالم الرياضيات الروسي ألكساندر فريدمان حلولًا للمعادلات عندما تم السماح بنصف قطر هندسي لانحناء، أو مقياس الكون للتغيير في الوقت المناسب مع التغيير في كثافة المادة. أعطت كل حلول فريدمان صيغة محددة لكيفية تغير (عامل القياس) للكون في الوقت المحدد مع إعطاء قيم محددة لكثافة المادة، والثابت الكوني.



إذا قمت بتعيين كثافة المادة على الصفر، وتركت الثابت الكوني، فإن الكون الخالي الخاص بـ (دي سيتر) يتمدد في الوقت المناسب، وكما استنتج أينشتاين أن فصل عدد قليل من الجسيمات سيزداد أضعافًا مضاعفة. وأما إذا قمت بضبط الثابت الكوني على الصفر، فستحصل على حلول يستمر فيها الكون في التوسع، لكن، الآن، يمكنك فقط أن تحسب فعليًا كثافة المادة لترى كيف ستتغير الهندسة الشاملة للكون، وكيف ستتغير سرعات نقاط المادة مع مرور الوقت استنادًا إلى كثافة المادة.

وصف أحد الحلول هندسة الكون بأنها مغلقة ومحدودة مع انحناء إيجابي وثابت، بنفس الطريقة التي يكون فيها سطح الكرة سطحًا مغلقًا للمنطقة المحدودة، وتتوسع هذه الأكوان إلى الحد الأقصى للحجم ثُمَّ تعاود الانهيار. ثُمَّ كان هناك حلان توقّعا وجود أكوان مفتوحة لا حصر لها: أحد الحلّين كان له هندسة مسطحة للزمكان مع انحناء صفري مثل الزمكان الخاص بنظرية النسبية الخاصة. كان الحل الآخر قد احتوى على هندسة (دوال زائدية) الشكل مع انحناء ثابت سلبي.

في جميع الحالات، تحدد كثافة الكون وكثافته الحالية الحرجة الكون الذي نعيش فيه. إذا كانت الكثافة عالية جدًا مقارنةً بسرعة التمدد، فإن الكون سيكون مغلقًا، ومحدودًا متجهًا للانهيار مرة أخرى في المستقبل. إذا كانت الكثافة ذات قيمة حرجة، فسيكون للكون هندسة مسطحة مع انحناء صفري تمامًا. أما إذا كانت الكثافة قليلة جدًا، فسيكون لها هندسة انحناء سالبة.

حلول فريدمان للانهيار الكبير

كانت حلول فريدمان عبارة عن صيغ رياضية تصف كيف تغير (عامل التدريج) في الكون بمرور الزمن. بمعنى آخر، كان عامل التدريج هذا مقياسًا لكيفية زيادة المسافات بين أي مادتين. من الميزات المهمة، رغم كونها عكسية بديهية لعلم الكونية النسبية العامة و(الانهيار العظيم)، فإنها تضمنت توسيع الفضاء، أو بشكل أكثر دقةً، الزيادة في الفواصل بين الخطوط العالمية (المسار الذي يستغرقه مادة معينة في والزمكان). لقد صادفنا المفهوم النسبي للخطوط العالمية في الفصل الثالث عندما ناقشنا فكرة الزمكان وإشارة حلول فريدمان إلى عامل التدرج الذي يتغير بمرور الوقت. إن ما يشير إليه هذا هو مفهوم جديد لحركة غير نيوتونية بالكامل. في فيزياء نيوتن، تقع الأجسام في إحداثيات محددة في مساحة ثابتة ثلاثية الأبعاد. تعني الحركة أن الأجسام تغير طريقة انفصالها عن بعضها البعض في وقت (التوحد) عن طريق الانتقال من مجموعة احداثيات إلى أخرى. ثُمَّ يحدد تطبيق نظرية فيثاغورس المسافة المقطوعة بناءً على الاختلافات المنسقة.

مكتبة
t.me/t_pdf

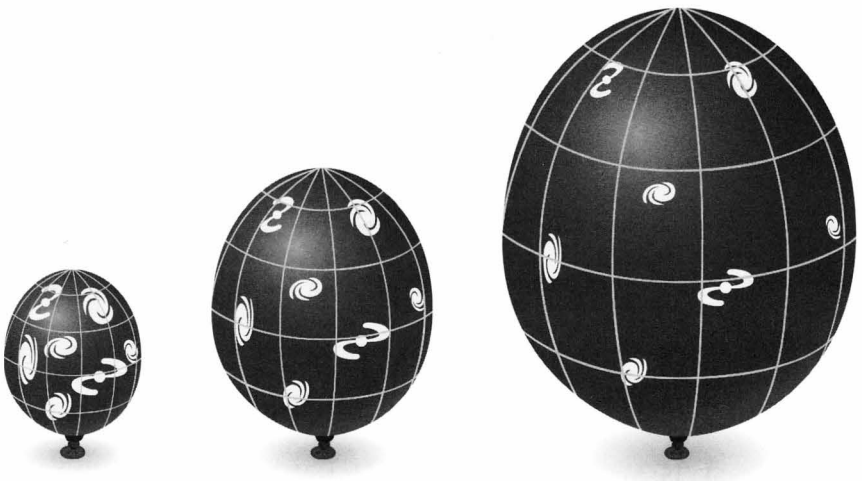
عامل التدرج الكوني

لكي نفهم الدور الهام لعامل **التدرج** الكوني، دعونا نتأمل التناظر لموقعَي مدرينة باريس ونيويورك، حَيثُ تكون خطوط الطول والعرض لهاتين المدينتين ثابتة، وترتبط المسافة بينهما بنصف قطر الأرض. لنفترض الآن أننا عرفنا نصف القطر هذا كما $R = (a) \times 6,378$ كم بحَيثُ أن عامل **التدرج** في الوقت الحاضر (الآن) هو = 10 عندها يمكنك حساب المسافة بين هذه المدن، والحصول على الكمية المعتادة، لكن لنفترض، لسبب ما، أنّ كتلة الأرض كانت تنخفض مع مرور الوقت بحَيثُ $a(t)$ لم يكن دائما 0 , 1. ثُمَّ بإمكانك عندها ستتغير المسافة بين هاتين المدينتين بمرور الوقت على الرغم من أن خطوط الطول والعرض ظلت ثابتة. إن ما قدمته حلول فريدمان كانت تنبؤاً

لطبيعة عامل التدرج. تطلبت حلول (التصدع العظيم) المزعومة أن a(t) كان يتزايد في الوقت المناسب بمعدل تحدده الكثافة الحالية للكون مقارنة بالكثافة الحرجة: نسبة محددة بواسطة الرمز (ن). هذا يعني أن:

- إذا كانت الكثافة أعلى من الحرجة (ن > 01 , 1)، فإن الكون سوف يعاود الانهيار، ويكون له هندسة مغلقة مع a(t) تصل إلى أقصى قيمة، ومِنْ ثَمَّ تتناقص.
- إذا كانت الكثافة أقل من الحرجة (ن > 0 , 1)، فسيستمر الكون في التوسع إلى أجل غير مسمى، و a(t) ستزداد بدون حدود.

على الرغم من أن خطوط الطول والعرض من المجرات ظلت على حالها، فقد تغيرت الفواصل المادية مع مرور الوقت. مع ذلك، لأن a(t) كان خاصية للفراغ، وليس مجرد مادة، أو معلومات، فان معدل تغيره لم يكن محددًا بسرعة الضوء. ووفقًا للنظرية النسبية العامة، ويمكن أن يزداد الفصل بين الأجسام الكونية أسرع من الضوء على الرغم من أن الكائنات الموجودة في الفضاء مثل المجرات، والأشعة الضوئية، تعجز عن القيام بذلك.



تمدد البالونات لتوضيح التوسع الكوني

الكثافة الحرجة

$$r=\frac{3H^2}{8pG}$$

أحد النجاحات الكبرى للنظرية الكونية (الانفجار الكبير) هو أنه يُربط متوسط كثافة الكون بمعدل توسعه مقاسًا بقانون هابل (H). القيمة الحالية الأفضل قياسًا لـ H 71 km / s / mpc أو 1 / 77 , 9 مليار سنة، مع G = 6 , 6 × 10 وتحويل H إلى ثوانٍ للحصول على H = 3 , 3x نحصل على r = 1 , 9 × 10 كجم / م. هذا يساوي 11 ذرة هيدروجين في كل متر مكعب من الفضاء في الكون المرئي. للبت بين الاحتمالات الثلاثة للكون المقدّمة في حلول فريدمان، يمكنك فقط مقارنة الكثافة المرصودة للمادة في الكون مع الكثافة الحرجة – نسبة محددة بالرمز n

طبقًا لنظرية النسبية العامة، فإن الحركة الكونية تكون أكثر تعقيدًا من هذا. إذ تقع المجرات في إحداثيات ثابتة في الفضاء، لكن الفصل بينهما يتغير لأن الفضاء نفسه يتوسع. يرجع سبب كون المجرات البعيدة تبدو كأنها تتراجع عنّا بسرعات هائلة – ليس لأنها تتحرك بالقرب من سرعة الضوء – بل لأن المسافة بينها وبين موقعنا قد توسعت بشكل كبير مع توسع الكون خلال فترة التداخل. إذ من الصعوبة فهم هذه الفكرة فهمها، كالطريقة التي يمكن أن تتصرف بها الإلكترونات كأجسام تشبه الأمواج، أو الجسيمات، أو أن السفر بسرعة عالية يتسبب في انسحاب الساعات من المزامنة بسبب تأثير تمدد الوقت. لا يوجد فهم بديهي لهذه الظواهر المرصودة، إلّا أننا مع ذلك مجبرون على قبولها بسبب كثرة البيانات التي تدعمها.

من الناحية الكونية، تقع كل مجرة في مجموعة ثابتة من الإحداثيات، لكن المسافات بينها تحددها القيمة لـ (t) وفقًا للنسبية العامة، فإن a(t) ليس شيئًا ماديًا، لذلك فهو يتغير بحرية مع مرور الوقت، يمكن أن تزيد المسافات بين المجرات بشكل أسرع من الضوء، وقد فعلت ذلك خلال

اللحظات الأولى من الانفجار العظيم. وهذا يتماشى أيضًا مع نظرية إينشتاين النسبية، التي تنص على أن ما نسميه الفضاء هو وَهْم. إن المجرات لا تتحرك عبر الفضاء، بل إنّها تُسحَبْ بواسطة تمدد الفضاء. لا يمكن تمييز هذا الامتداد إلّا في إطارات مرجعية كبيرة بما فيه الكفاية، إذ لم تعد النسبية الخاصة قائمة، وتحتاج إلى النسبية العامة لتحديد خصائص الزمكان.

الكسندر فريدمان، المسؤول عن تطوير حلول الانفجار الكبير

في العام 1927، ألقى الفلكي والفيزيائي البلجيكي جورج ليميتير - الذي كان أيضًا كاهنًا كاثوليكيًا رومانيًا - نظرة على معادلات أينشتاين بشكل منفرد عن فريدمان، واكتشف أنه كان ممكنًا لحركات الأجسام البعيدة أن تحدد في أي كون نعيش. فعلى وجه التحديد، يمكنك معرفة ما إذا كان الكون ثابتًا، أم متسقًا، أم متقلصًا كأنه مختلف كما أشارت إليه حلول فريدمان على الرغم من أن لوميتر لم يكن يعلم بعمل فريدمان. بالنسبة إلى الكون المستمر في الاتساع، كانت هناك علاقة بسيطة بين سرعات الانحناء الخطية ذات القياس الذاتي المقاسة بواسطة تقنيات دوبلر والمسافة إلى المادة وفقًا لـ $V = Hd$. في هذه المعادلة، V هي سرعة الركود في المجرة كما نراها من الأرض، و d هي بعدها عن الأرض، أما ثابت H فيحدد المعدل الذي يحدد به عامل التراكم في فريدمان لعلم الكون المتغير. وقد حدد لامتير القيمة لهذا الثابت H. وقد نشرت نتائجه في العام 1927. وقد يُنسب إليه عمومًا أنه ابو علم الكونيات (الانفجار الكبير) وذلك لاكتشافه $V = Hd$.

قانون انقلاب هابل

طور إدوين هابل ثابت هابل

بحلول العام 1929، قام عالم الفلك الأمريكي إدوين هابل، الذي كان يعمل في مرصد ماونت ويلسون، بتجميع بيانات دوبلر، والمسافة في 46 مجرة، ورسمها على مخطط بياني للسرعة V، فقد استخلص منه اتجاهًا خطيًا. ستزيد سرعة الانحسار بحوالي 500 كم / ثانية لكل مليون فرسخ للمسافة. يُطلق على هذا المعدل الآن اسم ثابت هابل ويمثل H، في الصيغة V = H d.

وحدات المسافة الفلكية

يستخدم علماء الفلك العديد من المقاييس المختلفة للمسافات بين النجوم والمجرات، وإن أقدم تلك المقاييس هي السنة الضوئية، التي ذكرها لأول مرة عالم الفلك والرياضيات والفيزياء الألماني فريدريش بيسيل في العام 1838، ثُمَّ استخدمها الكاتب العلمي الألماني أوتو في أول مقال له « علم الفلك الشهير العام 1851 ». على أنها المسافة التي يقطعها الضوء خلال عام واحد بالضبط على الأرض – مسافة 46 , 9 تريليون كيلومتر. ثُمَّ جاءت بعد ذلك الوحدة الفلكية (AU)، وهي المسافة المتوسطة بين مركز الأرض ومركز الشمس، التي تم ذكرها لأول مرة في العام 1903. وهي تمثل 149 مليون كم. حَيثُ تم استخدام الفرسخ par – sec في حوالي العام 1913 وهو اختصار لـ parallax arc second – sec. فهو يمثل المسافة التي يقابل فيها نصف قطر مدار الأرض (AU)

زاوية تبلغ ثانية واحدة بالضبط من وحدة القوس اللزاوي (1 / 3600 درجة). تساوي 6265 , 20 وحدة فلكية أو 26 , 3 سنة ضوئية، أو ما يعادلها 85 , 30 تريليون كم. إذ يميل الفلكيون إلى استخدام الوحدات الفلكية عند مقارنة المسافات داخل النظام الشمسي: مثل السنوات الضوئية عند وصف أحجام الأجسام مثل السدم والتجمعات النجمية والمجرات: ووحدة الفرسخ - أو تحديدًا - الفرسخ الضخم - عند وصف المسافات الكونية.

هناك صفة أخرى لحلول فريدمان تتمثل بإمكانية استخدام ثابت هابل لتقدير عمر الكون للأكوان اللانهائية بالهندسة المستوية (المسطحة)، فان $T = 2 / 3Ho$. بالنسبة لتقديرات هابل الأصلية التي تبلغ 000 كم / ثانية / ميجا فرسخ، ومع $1 \text{ megaparsec} = 3 \times 10$ كم، نحصل على عمر 10×4 ثوانٍ أو 3 , 1 مليار سنة. ولكن مع مرور الوقت، ومع تراكم البيانات بشكل أفضل، انخفضت قيمة ثابت هابل إلى حد كبير بحَيثُ اصبح التقدير الحالي للعمر - عالي الدقة - أقرب إلى 14 مليار عام. لكن ماذا عن ثابت أينشتاين الكوني، الذي لم يكن جزءًا من قانون تنبؤ هابل؟ في العام 1930، نشر آرثر إدينغتون بحثًا أظهر أن الكون الثابت لأينشتاين مع ثابته الكوني كان غير مستقر في الواقع، وبالتالي لن يساعد أينشتاين على الإطلاق. ولما كان الأمر كذلك، فيمكن إزالته من النظريات الكونية، أما الحلول الوحيدة لمعادلات أينشتاين هي الحلول الثلاثة التي وجدها فريدمان مع وجود مادة فقط في الكون.

في العام 1932، نشر أينشتاين، ودي سيتر كتابًا بعنوان (كون أينشتاين - دي سيتر)، الذي أصبح فيما بعد النموذج القياسي حَتى منتصف التسعينات. هو عبارة عن عالم مكاني مسطح دائم الاتساع مع $A = 0$ وسرعة تمدده تقترب من الصفر في المستقبل اللانهائي. لقد طردا بفاعلية الثابت الكوني من معادلاتهما الكونية.

حالما عرف أينشتاين أن الكون كان يتوسع من قياسات هابل، تخلص من الثابت الكوني باعتباره عاملاً غير ضروري. وصفها، لاحقًا، « بأنها أكبر خطأ في حياتي »، وفقًا لما قاله عالم الفيزياء جورج جامو. منذُ ذلك الحين تم إحياء الثابت الكوني باعتباره تفسيرًا ممكنًا لقوة غامضة اكتشفت في التسعينات تسمى الطاقة المظلمة

لغز أينشتاين

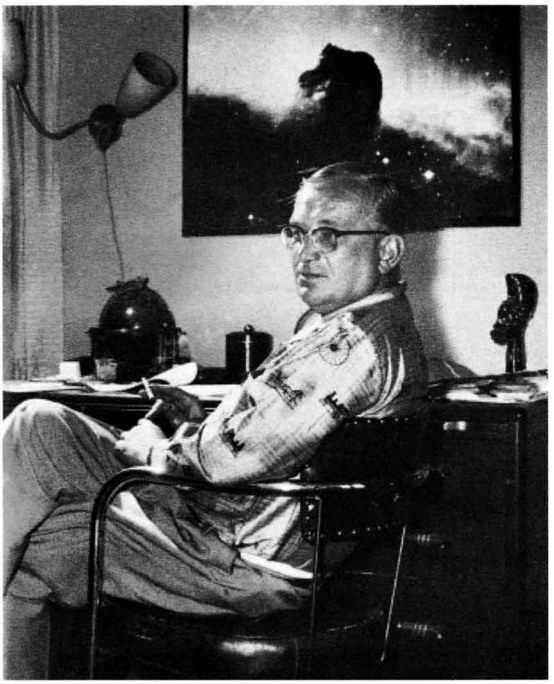
نشرت صحيفة نيويورك تايمز في 11 فبراير العام 1931 مقابلة مع أينشتاين، جاء في مضمونها:

إن الانزياح الأحمر للسدم البعيدة حطم بنائي القديم بصورة قاسية. فما يزال الانزياح الأحمر لغزًا. إلّا أن الاحتمال الوحيد هو أن نبدأ بكون ثابت دائم لفترة من الوقت ثُمَّ يصبح غير مستقر ويبدأ بعدها بالتوسع، لكن لا أحد يصدق هذا. إن نظرية الكون الآخذ في الاتساع بالمعدلات المحسوبة من السرعات الواضحة لانحسار السدم تعطي حياة قصيرة جدًا للكون العظيم. سيكون عمره عشرة آلاف مليون سنة فقط، وهي فترة قصيرة جدًا. بهذه النظرية كان الكون قد بدأ من اصغر تكثيف للمادة في ذلك الوقت.

نظرية الانفجار الكوني الكبير الساخن

في العام 1931، اقترح جورج لاماتير في نظريته (فرضية الذرة البدائية) بأن الكون بدأ بانفجار الذرة البدائية التي سميت فيما بعد (بالانفجار الكبير) في فترة الخمسينيات من قِبل عالم الفلك البريطاني فريد هويل، الذي كان لديه فكرة تنافسية تسمى (الحالة الثابتة لعلم الكون). في حين اضطر لاماتير إلى الانتظار قبل مدة قصيرة من وفاته ليتعلم اكتشاف إشعاع الموجات الصغرى للخلفية الكونية: CMB الإشعاع المتبقي من كثافة لاماتير، والمرحلة الساخنة في الكون المبكر. قاد جورج جامو عملية تطوير نظرية الانفجار الكبير الساخنة في الأربعينيات من القرن الماضي، وكان

أول من استخدم الحلول غير الثابتة لإسكندر فريدمان، وجورج لاماتير في معادلات أينشتاين للجاذبية منْ أجل استكشاف ما يحدث للمادة خلال التاريخ المبكر. وبحلول العام 1946، افترض جامو أن الكون كان يهيمن عليه الإشعاع بدلاً من المادة، وأن التحري عن الطريقة التي يتقدم بها التكوين النووي أدى إلى التنبؤ بمجال إشعاعيا مكثف من الضوء الكونية التي تبلغ درجة حرارته الحالية حوالي 20 ك. وجد كَامو أيضًا أنه من المستحيل إنشاء العناصر الأخرى الأثقل من الهيليوم في الجدول الدوري.



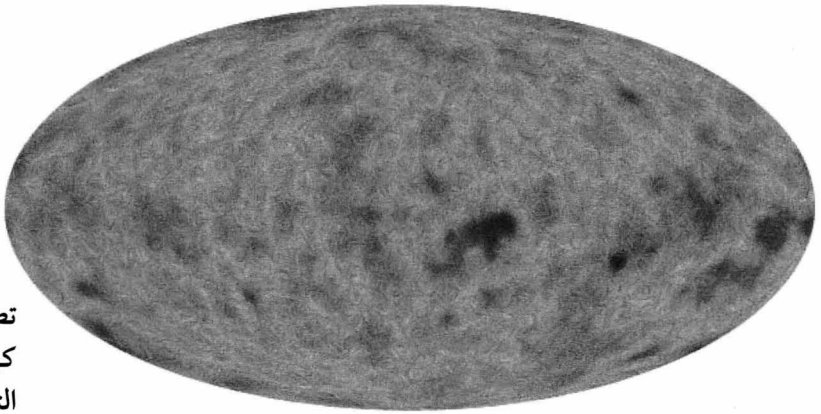
طور جورج جامو نظرية (الانفجار الساخن الكبير)

التكوين النووي: هو تكوين ذرة نووية جديد من البوتونات والنيترونات.

الموجات الصغرى للخلفية الكونية

تم التعرف مبكرًا على أن ضوء كرة النار الأولي الناتج من الانفجار العظيم بدأ كضوء بدرجة حرارة عالية جدًا مساوية لطاقات كَاما، وأعلى من ذلك، ولكن مع توسع الكون وتبريده، حافظ هذا الضوء على شكل طيفي لجسم أسود (وهذا يعني، انه يُميَز حسب درجة حرارته) على الرغم من انتقال طاقته القصوى بشكل ثابت إلى مسافات موجية أطول. في منتصف القرن العشرين،

عرف العلماء أن الضوء يُكتشف بشكل خافت في المسافات الموجية الكهرومغناطيسية عند درجة حرارة أعلى بقليل درجات الصفر المطلق. بقيَ الكشف بنجاح عن هذه التنبؤ المهم معزوًا إلى نظرية الإنفجارالكوني العظيم.



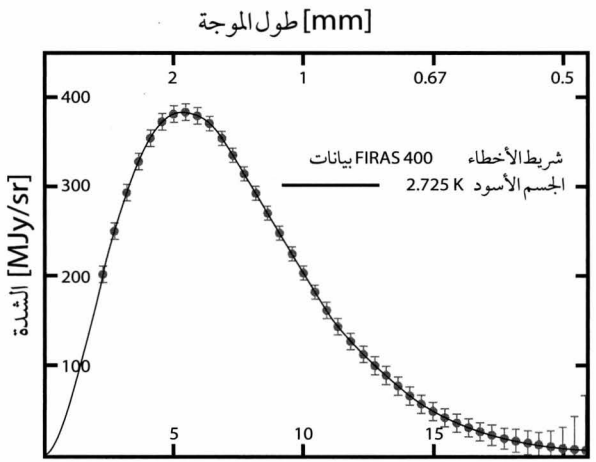
تصوير لخلفية الموجات الدقيقة الكونية كما اكتشفها القمر الصناعي بلانك التابع لوكالة الفضاء الأوروبية

اكتشاف ضوء الكرة النار الكونية

في العام 1964، كان مهندسا الإذاعة أرنو بينزياس، وروبرت ويلسون في مختبرات بيل يحاولان تقليل التداخل اللاسلكي (الضوضاء) في هوائيات الموجات الصغرى الخاصة بهما، ولكنهما لم يتمكنا من القضاء على الضوضاء تمامًا فقد كانت درجة الحرارة حوالي 2 , 4 ك. حَيثُ قاموا بالاتصال بالفيزيائيين روبرت ديكي، وديفيد ويلكنسون في جامعة برينستون، اللذين كانا يحاولان اكتشاف إشارة إشعاع الخلفية الكونية للموجات الصغرى، وقد تلقيَ هذا الخبر بإثارة كبيرة. حَيثُ أقنع ديكي كلا بينزياس وويلسون بنشر نتائجهما في المجلة الفلكية الفيزيائية، مع الاقتراح الذي قدمه ديكي وفريقه بأنه دليل على وجود إشعاع الخلفية الكونية من الموجات الصغرى CMB. نظرًا لأن نظرية الفلكي فريد هويلز المنافسة لنظرية الانفجار الكوني الكبير - التي تسمى حلة الكون

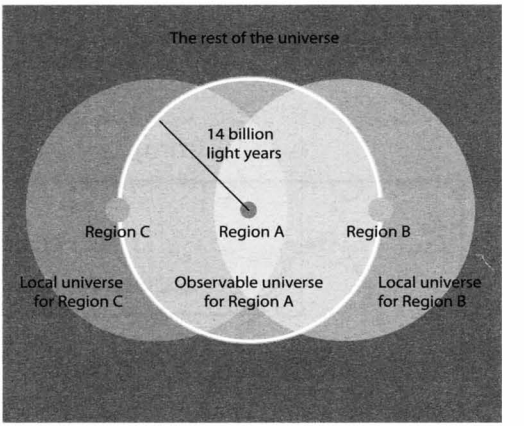
الثابتة - عرضت تفسير لهذا الإشعاع، إلّا أنها لم تثبت نظرية الخلفية الكونية من الموجات الصغرى بشكل قاطع كدليل على نظرية (الانفجارالعظيم) حَتى سبعينيات القرن الماضي عندما أظهرت قياسات أخرى أنها طيف لجسم اسود - وهي الميزة الوحيدة التي تنبأ بها الانفجار الكوني العظيم.

منذُ سبعينيات القرن الماضي، استمر العمل باستخدام الأقمار الصناعية مثل مستكشف الخلفية الكونية التابع لوكالة ناسا، ومرصد ويلكينسون لقياس تباين الخواص للموجات الصغرى، ومركبة الفضاء (بلانك) التابعة لوكالة الفضاء الأوروبية. حَيثُ قامت هذه الأقمار بقياس الخلفية الكونية بدقة عالية. فقد تم إجراء أول قياس مهم لدرجة حرارة الخلفية الكونية بشكل دقيق من قبل فريق مستكشف الخلفية الكونية (COBE) بواسطة مطياف الأشعة فوق الحمراء البعيدة، بقيادة أحد فلكيي ناسا جون ماثر. هذا، وقد تم الإعلان عن النتائج الأولية السريعة لمدة 10 أشهر في اجتماع الجمعية الفلكية الأمريكية في يناير من العام 1990. حَيثُ حصل ماثر، بالإضافة إلى الفيزيائي جورج سموت، على جائزة نوبل في الفيزياء لعام 2006 لنتائجه عن مستكشف الخلفية الكونية، إذ لم يقتصر الأمر على التحقق من درجة حرارة ثابتة بالقرب من 2,725 K وطيف الجسم الأسود شبه المثالي، بل إنّها متوحدة إلى حد كبير عبر السماء لأفضل من جزء في الـ 1000. ومع ذلك، وبدقة أعلى، يمكن ملاحظة الاختلافات في درجة حرارتها عند الجزء الأول في الـ 100,000 والتي تمثل إشعاع الخلفية الكونية (CBR) التي تتفاعل مع المادة غير المنتظمة والمكتومة التي كانت موجودة في غضون 380,000 سنة بعد الانفجار العظيم. أدت هذه النتائج غير



القياسية إلى مزيد من التحسينات في نموذج الانفجار العظيم، بما في ذلك أدلة على المادة المظلمة، والطاقة المظلمة، والتوسع السريع في فترة ما يسمى التضخم (سيتم مناقشته لاحقًا). يشكل البحث التفصيلي لهذه الظواهر الجزء الأكبر من علم الكون في القرن الحادي والعشرين.

جون ماثر عالم فيزياء فلكي أمريكي وُلد في العام 1946 في رونوك، فرجينيا. حصل على شهادة الدكتوراه في الفيزياء من جامعة كاليفورنيا في بيركلي في عام 1974، وقد واصل العمل على مفهوم استكشاف الخلفية الكونية أولاً في معهد غودارد للدراسات الفضائية للفترة من العام 1974 إلى العام 1976، ثُمَّ في مركز غودارد لرحلات الفضاء في ناسا في ولاية ماريلاند من العام 1976، إلى ان تم إطلاق مركبة الفضاء الكونية في العام 1988. لقد كان جون ماثر عالم مشروع ناسا لتلسكوب جيمس ويب الفضائي منذُ العام 1998، ومن المقرر إطلاقه في العام 2021. وفي العام 2007 صنفته مجلة تايم كأحد أكثر 100 شخص مؤثر في العالم.



مثال على الآفاق الكونية في علم الكونيات الانفجار العظيم

الأفق الكوني: هو الحد الأقصى البالغ 14 مليار سنة ضوئية والذي يمكن من خلاله ملاحظة المعلومات.

الآفاق الكونية

تؤكد نظرية النسبية العامة إنه لا يوجد تعريف عالمي للسرعة مشابهًا للتعريف النيوتوني بناءً على أفكارنا المنطقية الشائعة حول الحركة. حَيثُ تؤدي الحركة الكونية عبر تمدد الفضاء، وتغيير عامل التراكم مباشرة إلى كون (الانفجار العظيم) وتبرر هذه الحركة كلا انحسار المجرات البعيدة ذو السرعة العالية ودرجة حرارة إشعاع الخلفية الكونية الحالية. ولما كان الأمر كذلك، فإنه يؤدي أيضًا إلى وجود ما يسمى افاق في الكون.

إن نتيجة هذه الآفاق هي أنه توجد أماكن يمكننا رؤيتها اليوم من كل مكان في الفضاء، وهناك أماكن أكثر بعدًا لن نراها أبدًا حَتى يبلغ عمر الكون منتهاه. تنمو الآفاق في الوقت المناسب، وفي نهاية المطاف كل هذه الآفاق سوف تتداخل تمامًا في كون يمتد إلى المستقبل اللانهائي، وسوف يرى كل مراقب بعد ذلك كل كائن في الكون الذي خرج من الانفجار العظيم. قبل ذلك، يمكنك الحصول على ثلاثة مراقبين، أطلق عليهم اسم A وB وC في الكون بحَيثُ يمكن لـ A الآن رؤية B، ويمكن لـ B الآن رؤية C، لكن A لا يمكنه رؤية C. من السهل رسم مخطط على قطعة من الورق توضح كيفية ترتيب المسافات بين A وB وC بالنسبة لمسافة الأفق الحالية البالغة 14 مليار سنة ضوئية لإنجاح هذا المنطق.

ما وراء الأفق

كيف يبدو الكون وراء مسافة الأفق الحالية؟ نظراً لأن علم الكون (الانفجار العظيم) يعتمد على فكرة انتشار المادة بشكل موحد في جميع أنحاء الفضاء (تذكر أفكار التجانس، وتوحد الخواص المشار إليها سابقاً)، فإن الركن الصغير من الكون الذي يمكننا رؤيته خارج عن أفقنا لا بُدَّ أن يبدو على الأقل إحصائياً يشبه إلى حد كبير مثل مراقب آخر قد يرى الذين يعيشون خارج حدود افقنا.

على سبيل المثال، عندما ينظرون في اتجاهنا نحو 12 مليار سنة ضوئية من موقعهم، سيشاهدون صوراً لأجسام تشبه إلى حد كبير تلك التي نراها ونحن نتطلع إلى أطراف أفقنا، وكوننا المرئي، عدا المجرات الصغيرة التي يشاهدونها في صور اليوم، ستكون صوراً لطريقة درب التبانة، كما كانت قبل 12 مليار عام.

من دون أي دليل غير مبدأ التوحيد، وبأن نقطة تحكمنا بالكون هي ليست خاصة في هذا الكون، يعتقد الفلكيون عامة بأن كل ملاحظ في الكون الواسع الذي نحن جزءٌ منه يمكن رؤيته كما هو الحال لأنواع الأجسام، وكذلك ملاحظة نفس الأنواع من القوانين الفيزيائية. كل واحد منا يرى النجوم الوهمية (الزائفة) على مسافات تبعد العديد من مليارات السنين الضوئية، لكن ليس بالضرورة أن تكون نفس تلك النجوم.

الخلفية الكونية ومشكلة الأفق

عندما ننظر من جانب آخر ونسال ماذا يحصل لهذه الآفاق في أوقات مبكرة من تاريخ الكون، فإننا نواجه مشكلة خطيرة. لو أن جسمين قادران على إعطاء إشارة لكل واحد باستخدام الضوء لأنهما في داخل أفق كل واحد بالرجوع فقط إلى مليار سنة، لم يكن ايٌ من هذه الأجسام على اتصال مع بعضها البعض عندما كان عمر الكون 13 مليار سنة فقط. لم تكن مجرتي درب التبانة، ومجرة أندروميدا – بعد فترة الانفجار العظيم – سوى مجرد غيوم كثيفة مفصولة من تلك المادة بحوالي عشرة مليارات كيلومتر عندما كان عمر الكون حوالي ثانية واحدة. لكن الضوء يستطيع أن ينتقل 300,000 كم بالثانية الواحدة، إذن في ذلك الوقت، فإن كلا الضوء والتاثيرات الجانبية لم تفارق هاتين الكتلتين العظيمتين (مجرة درب التبانة ومجرة أندروميدا) في الكون.

على الرغم من أن هذا يبدو متطرفاً للغاية، إلّا أن هذا التأثير الأفقي يمكن اختباره باستخدام CMB الخلفية الكونية للموجات الصغرى. فقد يبدو أن الإشعاع الذي نتتبعه عبر السماء سلس وموحد، ما يعني أن المادة التي كانت على اتصال بها آخر مرة كان لديها نفس درجة الحرارة تصل إلى جزء واحد من 100,000. لكننا إذا نظرنا إلى المدة التي كان فيها هذا الإشعاع على اتصال مع المادة آخر مرة، نجدها عندما كان عمر الكون حوالي 380,000 عام. عادة، تصل مادتان إلى نفس درجة الحرارة عن طريق تبادل سرعة حرارة الضوء (ضوء الأشعة تحت الحمراء)، التي تنتقل بسرعة الضوء لكن بعد 380,000 سنة من الانفجار العظيم، كان بالإمكان الضوء ان ينتقل بمقدار 380 ألف سنة ضوئية فقط، وهو ما حدد أفقه في ذلك الوقت.

في الوقت الحالي، تتوافق هذه المسافة عبر السماء مع حوالي 0,8 درجة. هذا يعني أنه إذا اخترت موقعين في السماء تفصلهم مسافة أكثر ضعفي قطر القمر الكامل (0,5 درجة) عن بعضهما البعض، فأن درجة حرارة الخلفية الكونية التي تقيسها تكون مختلفة أكثروأكثر كلما كانت النقاط متباعدة. هذا ليس ما نراه فعليًا على الإطلاق، وهكذا، درجة حرارة المادة بعد حوالي 380,000 سنة من الانفجار العظيم كانت تقريبًا في نفسها في كل مكان. كان هذا التوحد في وجه قيود الأفق الكوني يسمى بـ (مشكلة الأفق)، وهو سمة من سمات جميع علوم الكونيات (الانفجار العظيم) كما وصفتها نظرية النسبية العامة.

مشكلة الأفق: هي النظرية التي تقول ان كل مساحات الكون قد احتفظت بدرجة حرارة موحدة على الرغم من كونها غير متصلة لما يقارب 14 مليار سنة. وإن التوسع الكوني هو التوضيح الحالي المقبول لهذا.

التفرد الكوني

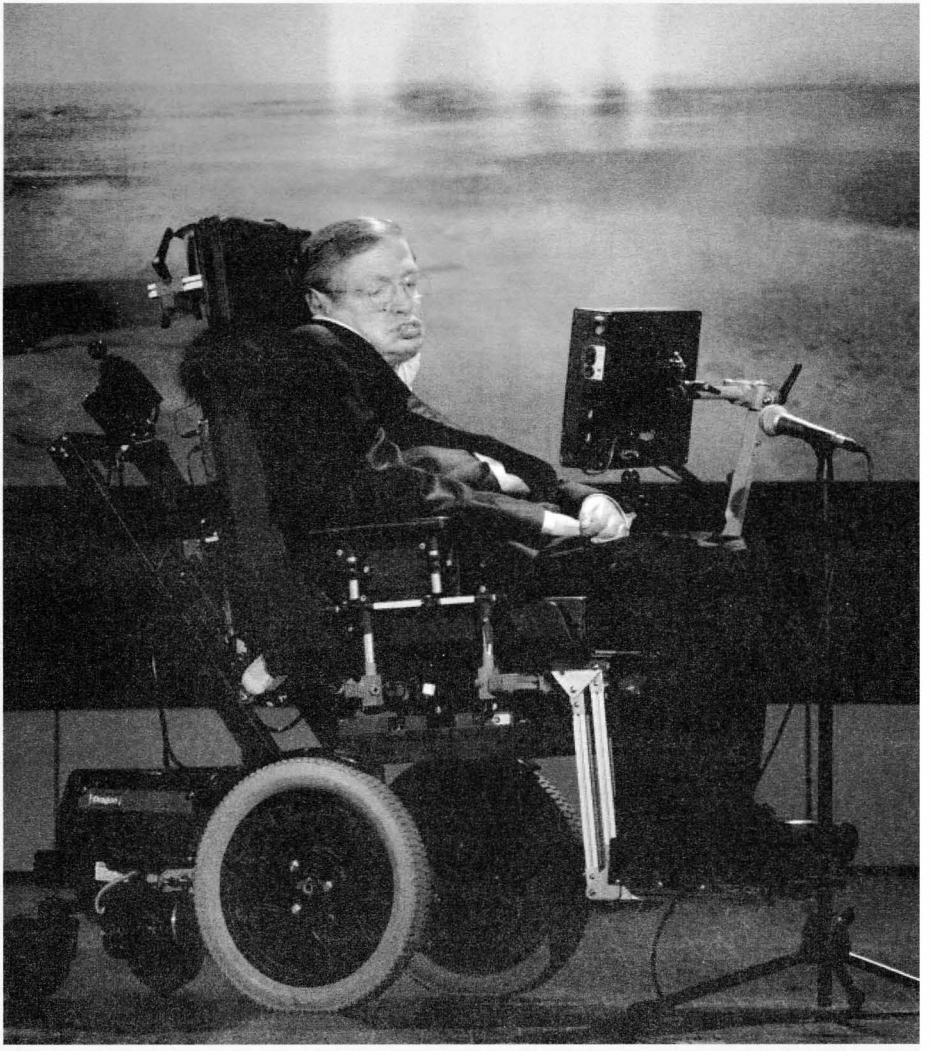
تتنبأ جميع نظريات **الانفجار العظيم** التي لها أصل زمني محدد بحالة تفرد في زمن = 0 عندما يصل عامل التراكم في الكون إلى الصفر، وهذا يعني تلاشي الفواصل بين جميع الكائنات المادية، وتوقف الوقت حرفيًا عن الوجود. لكن الفراغ الحالي يحتوي على مادة لذلك تصبح كثافة الكون (الكتلة المقسمة بحجم الفضاء) بلا حدود، وكذلك قوة مجال الجاذبية. وتسمى هذه الحالة بالتفرد الكوني، وهي صفة من صفات جميع الكونيات المبنية على أساس نظرية النسبية العامة. علاوة على ذلك، أثبت ستيفن هوكينج، وروجر بينروز، في العام 1960، أن الخطوط العالمية لجميع الجسيمات في الكون في الوقت الحاضر لا يمكن تجنب إنهاؤها في هذا التفرد بسبب انهيار الكون.

اظهرت دراسات رياضية متنوعة عن التفرد الكوني قام بها الفيزيائيين فكرة إمكانية إنتاج المادة من التقلبات الشديدة في مجال الجاذبية في ذلك الوقت. لم يتم اقتراح تفاصيل الطريقة التي تكونت بها انواع معينة من جزيئات مثل البروتونات، والإلكترونات لأن هذه النماذج كانت متجذرة بنسبية عامة بدلاً من ميكانيكا الكم، وان كل ما كان معروفًا بالفعل هو وجود العديد من اصناف علم الكونيات (الانفجار العظيم) القائمة على أساس التماثل المكاني الذي يمكن أن يكون كثير منه متباين الخواص بالقرب من التفرد الكوني.

سميت هذه الأصناف **بإنظمة الكونيات الديناميكية غير الخطية** للإشارة إلى التغيرات العنيفة متباينة الخواص التي يمكن أن تحدث بسرعة. وفقًا لاعتبارات $E = mc^2$ البسيطة في مجال الطاقة، نلاحظ أن التقلبات الجاذبية توفر صدر طاقة مجانيًا لتكوين مادة.

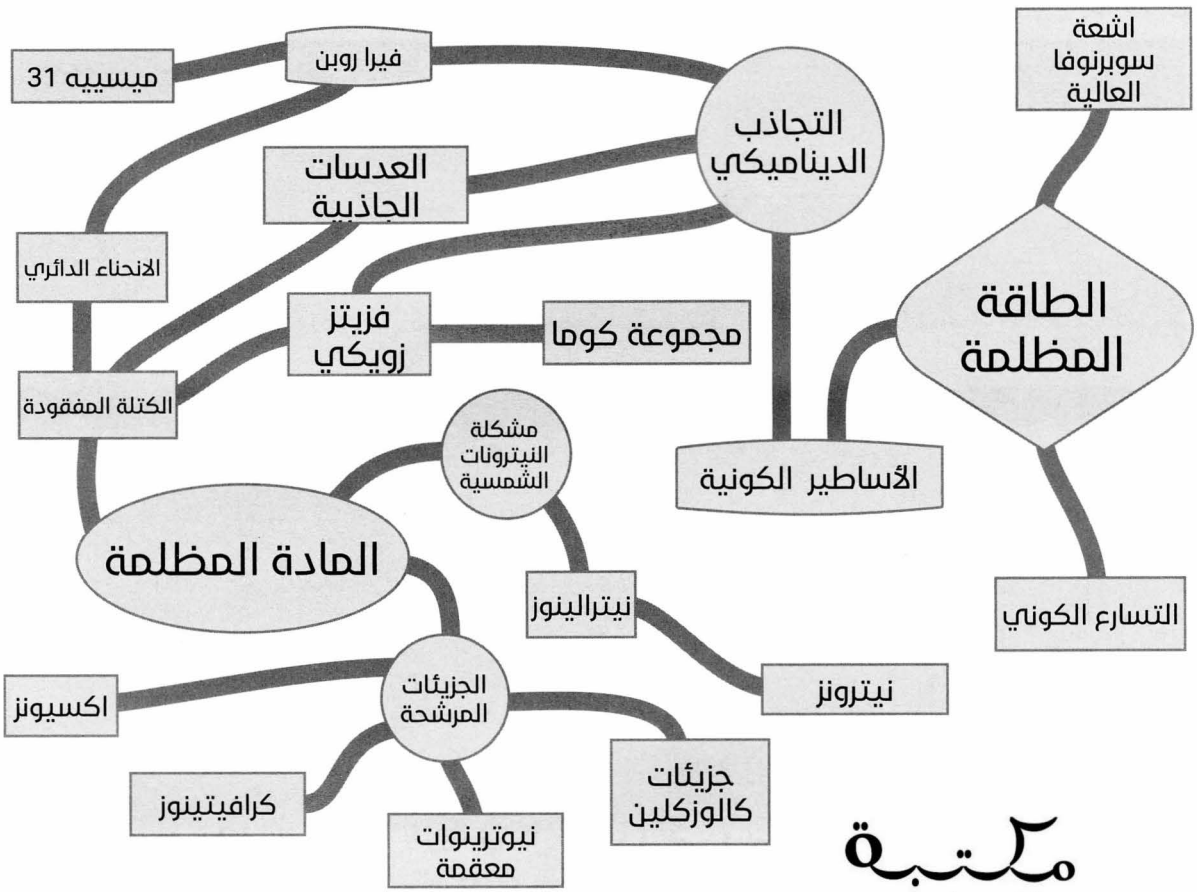
لقد اوقفت هذه الدراسات في الوقت الحاضر عند تطبيق تقنيات الجاذبية الكمّية لوصف ما يحدث للزمكان خلال فترة بلانك (المرحلة الأولى من ولادة الكون، بعد عصر الانفجار العظيم مباشرة).

في حين تقترح بعض الدراسات تجنب التفرد الكوني من قبل قوى الكم الجديدة المضادة للجاذبية. ويصف آخرون هذا الحدث بأنه مشتت بواسطة حدود مقياس بلانك إلى الحد الأدنى لنطاق الزمكان وإلى الحد الأقصى الممكن للكثافة المقدرة بـ $10^{94}gm/cc$ ودرجة الحرارة التي تبلغ (K^{3210}).



وسع ستيفن هوكينج فهمنا للوحدة الكونية من خلال بحثه على الخطوط العالمية

الكون المظلم



مكتبة
t.me/t_pdf

اكتشاف الكتلة المفقودة

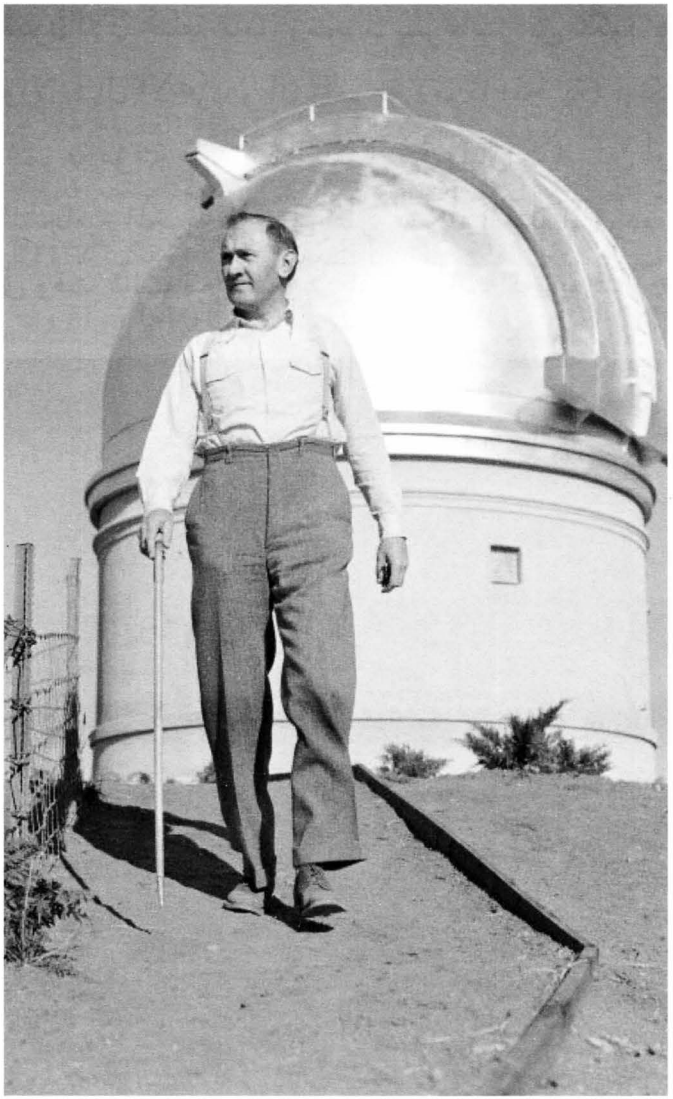
بالإضافة إلى الدراسات المكثفة لرسم خرائط توزيع المجرات في جميع أنحاء الفضاء خارج المجرة، فقد اجريت دراسات متنوعة لفعالية الجاذبية للمجرات الفردية والمزدوجة. يرجع تاريخ هذه الدراسات إلى الثلاثينات من القرن الماضي باستكشافات قام بها الفلكي فيرتز زويكي Fritz Zwicky التابع لمعهد كالفورينا للتقنية، بالإضافة إلى مزيد من الدراسات التي أجراها فيرا روبن في معهد كارنيجي بواشنطن العاصمة في السبعينيات.

درس زويكي المجرات في العنقود مجري في العام 1933، وقام بقياس ممنهج لعدد صغيرمن سرعات دوبلر. ما وجده هو أن تباين سرعاتها داخل الكتلة المجرية كان أكثر من 2000 كم / ثانية. لن يكون هذا مفاجئًا في حد ذاته بالنسبة لمجموعة تحتوي على أكثر من 800 مجرة، لكن حسابًا تفصيليًا لسرعاتها المتوقعة أدى إلى تشتت صغير جدا يقدر بأقل من 100 كم / ثانية. بعد ذلك أجرى العملية الحسابية في الاتجاه الآخر لتحديد متوسط الكتل لـ 800 مجرة خلال حجم مليون سنة ضوئية، وبلغت كمية الكتلة المفقودة، أو الكتلة المظلمة كما اسماها، 45 مليار شمس.

ستكون هذه الكمية من الكتلة أكثر من 200 ضعف التقدير بناءً على ناتج الضوء الطبيعي من العديد من النجوم التي تكون فيها نسبة الكتلة إلى الضوء (ك / ط) حوالي (ك / ط) = 3 بدلاً من g وك / ط = 800 التي تم إيجادها بواسطة زويكي. تبلغ كتلة شمسنا 2 x10^{33}g وإضاءةً تقدر بحوالي 3,8 × 10^{33} (ارغ / ثا) بالتالي فإن الكتلة مقسومة على الطول تبلغ حوالي لها 0,5. ولجعل تشتت السرعة الكبير المقاس بوحدة (الكوما) يتماشى مع فهم الفيزياء المجرية، كان لا بُدَّ من وجود كمية هائلة من مواد باهتة، أو مظلمة تقريبًا في كل مجرة، والتي لم يتم بمجرد حساب الكتلة في النجوم المضيئة. إنّ الكثير من الكتلة الإضافية أحدثت فوضى مع حركات النجوم في المجرات، التي لا بُدَّ أن

تكون الآن مختلفة تمامًا، وتتحرك بسرعات اعلى لتكون متلائمة مع الكثير من قوة الجاذبية الإضافية. والاحتمال الآخر هو أن مجموعة (موكا المجرية) لم تكن مجموعة مستقرة من المجرات، بل كانت مجموعة مؤقتة عابرة تبقى للقليل من مليارات السنين أو أقل. ومع ذلك، وجدت دراسات زويكي للمجاميع المجرية الأخرى نفس مشكلة الكتلة المفقودة، ويبدو من غير المرجح إحصائيًا أننا سنعيش في وقت كانت فيه الكثير من المجموعات المجرية قد (جمعت) بصورة مذهلة.

تتحرك المجرات الموجودة في قلب الكتلة المجرية بسرعة كبيرة جدًا بحيث لا يمكن للعنقود أن يستقر ما لم تكن المادة المظلمة موجودة



وُلد زويكي في العام 1898 في بلغاريا حَيثُ اكمل تعليمه العالي في كلية الفنون التطبيقية الفيدرالية السويسرية في الرياضيات، والبنية النظرية قبل الهجرة إلى أمريكا في العام 1925. عمل مع الفيزيائي روبرت ميليكان في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا. بحلول العام 1933، كانت دراساته عن مجموعة (كوما) أول من استخدمت النظرية الفيروسية لوزن المجرات المزدوجة على أساس سرعات مجرات الأعضاء القابلة للقياس. حدد زويكي الكتلة المفقودة على أنها المادة المظلمة – إذ هو الاستخدام الكوني الأول لهذا المصطلح.

فريتز زويكي، يقف أمام تلسكوب شميدت على جبل بالومار، كاليفورنيا عام 1937

نسبة الكتلة إلى الضوء: وهي شكل مستمد بتقسيم كتلة نجم، أو مجرة، أو عنقود مجرات على اضاءتها. من خلال تحديد نوع النجم وقياس اضاءته، يمكنك استنتاج كتلته.

فيرا روبين

ولدت فيرا فلورنس كوبر في العام 1928 في فيلادلفيا، إلّا أن عائلتها انتقلت إلى واشنطن العاصمة في العام 1938. لقد تجنبت نصيحة معلمي العلوم بالمدرسة الثانوية لتصبح فنانة، وبدلاً من ذلك تابعت شغفها بعلم الفلك في كلية فاسار. في جامعة جورج تاون، كان مستشارها للدكتوراه هو جورج جامو. وكموظفة في قسم المغناطيسية الأرضية، أنجزت الكثير من عملها في المنزل أثناء تربية أطفالها. في العام 1963 بدأت تعاونًا طويلاً مع جيفري، ومارغريت بوربيدج لدراسة دوران المجرات القريبة. وواصلت اكتشاف التمدد متباين الخواص في الكون بمقاييس 100 مليون سنة ضوئية معروفة باسم تأثير روبن فورد. وهي معروفة أيضًا على وجه التحديد باكتشاف هالات ضخمة داكنة من المجرات عبر دراسات حول دورانها

كان لفيرا روبين بحوثًا رائدة في دوران المجرات

دوران المجرات

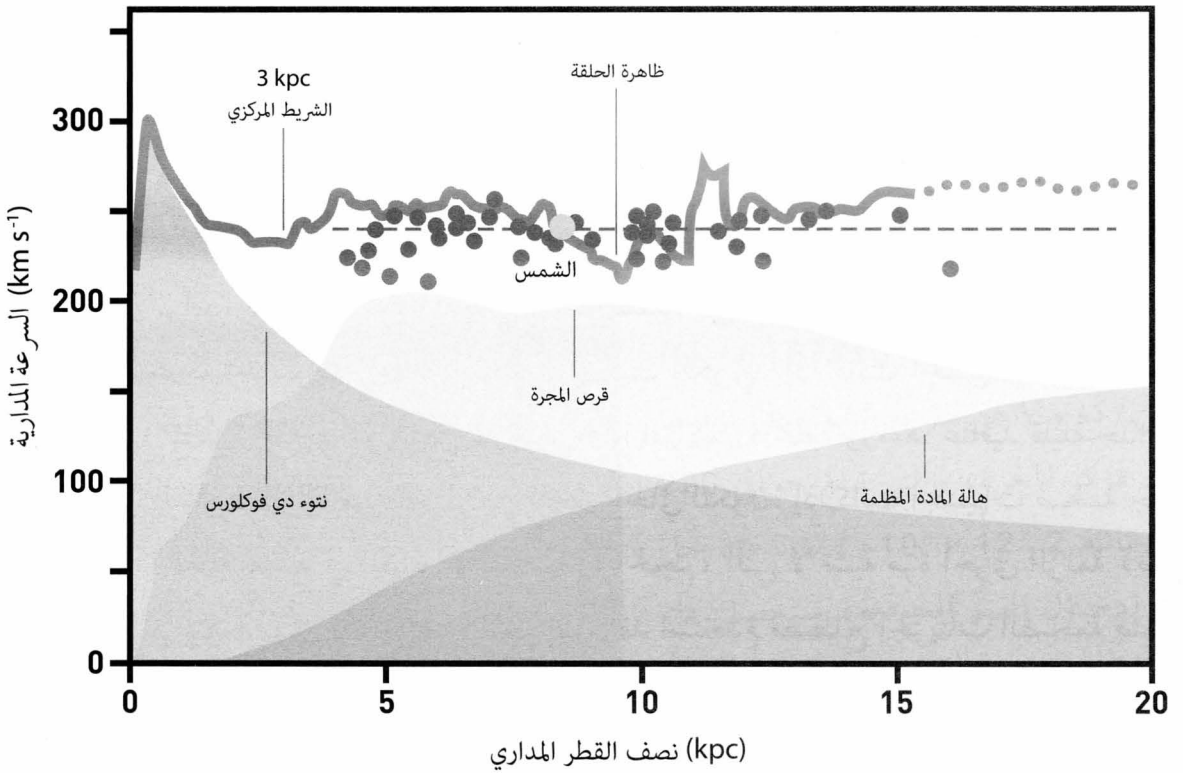
على النطاق المحلي للمجرات الفردية، درست فيرا روبن سرعات دوران النجوم، والسدم في العديد من المجرات القريبة مثل ميسيير 31 في مجرة أندروميدا واكتشفت تأثيرًا غريبًا. إذا كانت معظم كتلة المجرة مركزة في القرص المرئي للمجرة، فيمكن للمرء أن يتنبأ من الجاذبية النيوتونية بأن سرعات الدوران يجب أن ترتفع في البداية إلى الحد الأقصى، ثُمَّ تسقط بثبات وفقًا لقانون كبلر عندما تسير بعيدًا عن التركيز المركزي للضوء في القرص. وبدلاً من ذلك، فإن ما رأته روبن من الدراسات الطيفية المفصلة لمنحنيات دوران المجرة هو أن السرعات ظلت مرتفعة للغاية حَتى حافة القرص المرئي.

كان علماء الفلك الراديوي في تلك الأثناء يدرسون توزيع غاز الهيدروجين الواقع بين النجوم في مجموعة متنوعة من المجرات الحلزونية، بما في ذلك مجرة درب التبانة، لقياس سرعة دوران غاز الهيدروجين. على الرغم من أن ذرات الهيدروجين ينبعث منها خطّ طولي طوله 21 سم يتم اكتشافه بواسطة التلسكوبات الراديوية، يمكن استخدام تحول دوبلر في هذا الخط لتتبع سرعة سحب غازات الهيدروجين بعيدًا عن القرص الضوئي المرئي للمجرة. اكتشف علماء الفلك الراديوي أن غيوم الهيدروجين المكتشفة خارج القرص النجمي المرئي استمرت في الحصول على سرعات عالية جدًا.

منحني الدوران: هو السرعة المدراية للنجوم في مجرة مرسومة على عكس بعدها من مركز المجرة.

إن التفسير البسيط الوحيد الذي أنتج مثل هذه المنحنيات هو أن المجرة بأكملها كانت متضمنة في هالة من المادة غير المرئية، وأنه عندما تم تحديد ذلك في نسبة الكتلة إلى الضوء بالنسبة إلى المجرة كانت الأرقام تتجاوز المائة أو أكثر – مثلما خمنت في ثلاثينيات القرن العشرين من قبل زويكي. إن

مشكلة المادة المظلمة كما كان يطلق عليها الآن، أصبحت الآن أكثر من مجرد مسالة استقرار مجموعات من المجرات، ولكنها تنطبق أيضًا على المجرات الفردية. لن تكون سرعة المجرات في التجمعات دون المادة المظلمة كافية لتثبيتها باعتبارها بنى فلكية. أما بالنسبة للمجرات، فإن النجوم الفردية تتحرك بسرعة كبيرة جدا بحَيثُ لا تتمكن الكتلة النجمية في المجرة من الاحتفاظ بالنظام معها لأكثر من 100 مليون سنة.



المكونات المتنوعة التي تساهم بالمنحني الدائري لدرب التبانة، والتي تبين تأثير المادة المظلمة

أسطورة المادة المظلمة

منذُ الوقت الذي اكتشف فيه فريتز زويكي وفيرا روبين (الكتلة المفقودة) في مجموعات من المجرات وفي هالات المجرات الفردية، طورت فكرة احتواء الكون على مادة جاذبية (ثقيلة) لا يمكن اكتشافها من خلال خواصه المضيئة ليصبح واحدًا من الاستطلاعات الرئيسية، والأسرار المقنعة لعلم الكونيات الحديث. حَيثُ يواصل علماء الفلك تحديد المزيد من العناقيد المجرية، والمجرات الفردية مع هذه الكارثة المتمثلة بـ (المادة المظلمة)، وإزالة العديد من الاحتمالات مثل النجوم المظلمة، والثقوب السوداء، والوسيلة الساخنة داخل المجرات.

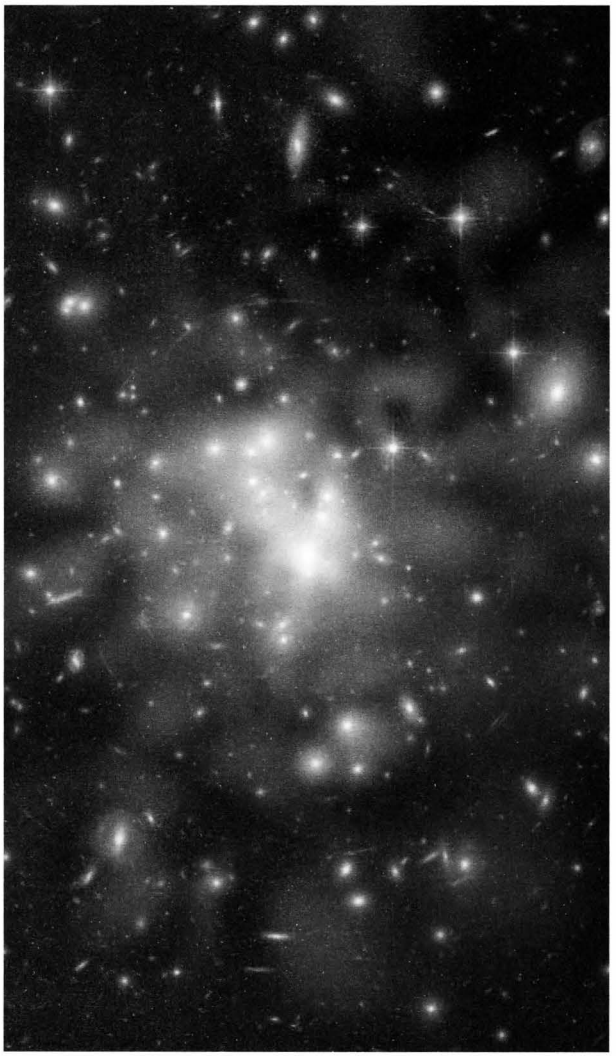
المادة المظلمة: هي مساهمة كبيرة في كتلة الجاذبية للكون، وليس في شكل الأنواع المعروفة من المادة مثل الإلكترونات، والبروتونات، والفوتونات، أو النيوتريونات.

كان لأنواع الجسيمات المسؤولة عن المادة المظلمة على النطاق الكوني أيضًا خصائص معينة تستند إلى نمذجة الحاسوب العملاق لتطور التركيب الكوني. إذا كانت الجسيمات خفيفة للغاية تسمى المادة المظلمة الحارة التي تزيل كثيرًا من هذا التركيب، مخلفةً وراءها عناقيد قليلة جدًا من المجرات، والعناقيد الفائقة من المجرات في العصر الحالي للكون. إذا كانت الجسيمات ضخمة جدا، فإنها ستكون فعالة للغاية في إنشاء هياكل صغيرة الحجم، التي لا تشبه مرة أخرى الزنمة (صدأ النحاس) العنقودية المتناثرة عبر فضاء المجرات. لقد استخدم مصطلح الجزيئات الضخمة ضعيفة التفاعل (WIMPS) في منتصف الثمانينات. عندما اقترح عالما الفلك ديفي بيرج، ووليام بريس أنهما قد يحلان أيضًا مشكلة الطاقة الشمسية النيوترينية.

الجزيئات الضخمة ضعيفة التفاعل: هي الجزيئات التي يعتقد بأنها تكوّن المادة المظلمة.

المادة المظلمة في درب التبانة

يمكن إعادة كتابة قانون كبلر الثالث باستخدام قانون نيوتن للجاذبية ليكون بمثابة وسيلة لوزن أي جسم له مدار قمر اصطناعي $V2 = GM / R$ حَيثُ تمثل V سرعة المدار للقمر الاصطناعي، و M هي كتلة مدار الجسم و R هو نصف قطر المدار. بالنسبة للشمس التي تدور حول مركز درب التبانة، $R = 27000$ سنة ضوئية $2,6x10^{20}m$. G هو ثابت الجاذبية لنيوتن $IG = 6,67x10^{-11} Nm^2 / kg^2$ نيوتن / كغ و V هي سرعة الشمس في مدارها حول مركز المجرة، والتي تبلغ حوالي 220 كم / ثانية $12,2 \times 10^5$ م / ث. عند حل M وإدخال القيم العددية، ستحصل على $M = 1,9 x10^{41} kg$. ان كتلة شمسنا هي $2x\ 10^{30}kg$. لذلك يجب أن يكون الجزء الداخلي من مدار الشمس حوالي 100 مليار كتلة شمسية. لكن بينت دراسات دقيقة



تظهر هذه الصورة من تلسكوب هابل الفضائي الموقع المستنتج للمادة المظلمة في مجموعة المجرات البعيدة أبيل 1689

حركات النجوم والمجرات القريبة خارج مدار شمسنا بأن مجرتنا تحتوي على ما لا يقل عن تريليوني كتلة شمسية من المواد داخل مدار شمسنا والتي لا يمكن رؤيتها كلها سوى واحد وعشرون كتلة، ولذلك فإن درب التبانة لدينا يكون بهالة مظلمة بشكل هائل.

مشكلة النيوترينو الشمسي

تولد التفاعلات النووية التي تضيئ الشمس أعدادًا هائلة من النيوتريونات، التي تخرج من داخلها في غضون ثوانٍ، دون عوائق بسبب تفاعلها مع المادة. إذ تمر ترليونات من هذه النيترونات خلال جسمك كل يوم وفي أي وقت. لقد صمم الفيزيائيون كشّافات لحساب هذه النيترونات، لكنهم اكتشفوا أن عددًا أقل بكثير منها كان متوفرًا على العكس مما كان متوقعًا من معرفة درجة الحرارة، والتفاعلات داخل لب الشمس. أصبح هذا معروفًا باسم مشكلة **النيوترينو الشمسي** في سبعينيات القرن العشرين، ولم يتم حله إلّا في العام 1998 باكتشاف أن النيوتريونات تتقلب من نوع إلى آخر. إن لم يتم تصميم الكاشف للتفاعل مع جميع أشكال النيوتريونات الثلاثة (الإلكترون، والميون، والتاو)، فإنه لا يمكن حسابها بشكل صحيح. وإن التقديرات المنقحة تتماشى الآن مع العدد المتوقع للنيوتريونات الشمسية.

يفضل علماء الكونيات أن يطلقوا على هذه المادة (بالمظلمة الباردة) لأنه يجب أن يكون بطيئًا (بارد) حَتى لا يغير بشكل كبير مقدار البنية الواسعة النطاق التي شوهدت في الكون اليوم، مثل الكتل المجرية الفائقة، خيوط وجدران المجرات التي تمتد لمئات الملايين من السنوات الضوئية.

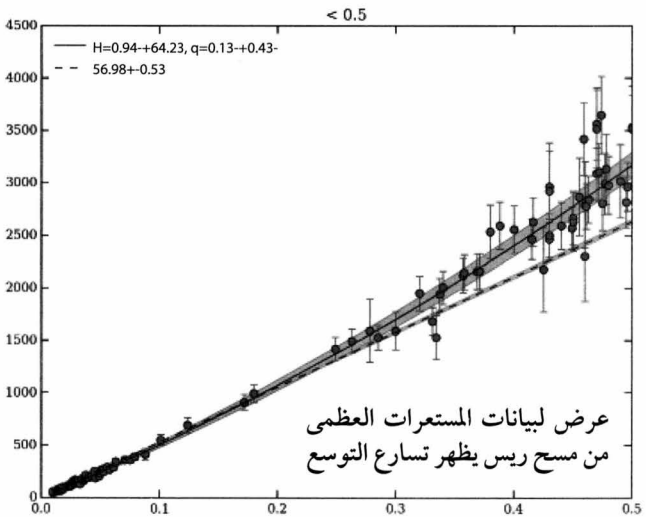
يُظهر مركز بوليت كليستر (IE 0657 – 558) أيضًا كيفية اكتشاف المادة المظلمة بشكل غير مباشر. إذ يُنظر إلى الغاز الساخن الذي اكتشفه مرصد الفضاء شاندرا للأشعة السينية على أنها كتلتان ورديتان في الصورة اعلاه ويحتويان على معظم المادة الطبيعية، أو الباريونية في المجموعتين. تمثل

الكتلة الشبيهة بالرصاصة على يمين الصورة اعلاه الغاز الساخن المنبعث من كتلة واحدة، والتي مرت خلال الغاز الساخن من كتلة أخرى أكبر خلال التصادم. تظهر المجرات باللونين البرتقالي والأبيض في صورة بصرية التقطت بتلسكوب ماجلان وتلسكوب هابل الفضائي. وتبين المناطق الزرقاء في الصورة المكان الذي يجد فيه علماء الفلك معظم الكتلة. إذ يتحدد تركز الكتلة بواسطة باستخدام التأثيرات التي تسمى عدسة الجاذبية في المادة المتداخلة التي يتشتت بها الضوء القادم من أجسام بعيدة بالمادة المتداخلة. تنفصل معظم المادة الموجودة في المجموعات (الزرقاء) بشكل واضح عن المواد الطبيعية باللون الوردي، ما يوفر دليلًا مباشرًا على أن كل المادة الموجودة في المجموعات تكون مظلمة تقريبا.

تم إبطاء الغاز الساخن في كل كتلة عن طريق قوة سحب مماثلة لمقاومة الهواء أثناء التصادم. في المقابل، لم يتباطأ تأثير المادة المظلمة كونها لا تتفاعل مباشرة مع نفسها أو مع الغاز إلّا من خلال الجاذبية. لذلك، عند تصادم كتل المادة المظلمة من المجموعتين المتحركة قبل الغاز الساخن، منتجةً فصل المادة المظلمة، والعادية كما تظهر في الصورة. إذا كان الغاز الساخن هو العنصر الأكثر ضخامة في المجموعات، على النحو الذي اقترحته نظريات الجاذبية البديلة، فلن نرى مثل هذا التأثير.

الطاقة المظلمة

بصرف النظر عن قياسات الخلفية الكونية، واصلت فرق أخرى من علماء الفلك الدراسات التقليدية للمجرات البعيدة باستخدام المستعرات العظمى مثل « الشموع القياسية، بهدف الحصول على قياس أفضل لثابت هابل، حَيثُ تم إنشاء المستعرات الفائقة من النوع » 1a عندما كوّن نجم صغير يسمى (قزم أبيض) في نظام النجوم الثنائي كتلة كافية من نجمها المقارب لها لينفجر بمستعرة عظمى. اكتشفت الدراسات التي أجريت على هذه الأحداث في المجرات القريبة ذوات المسافات المقيسة بدقة أن هذه المستعرات العظمى ترتفع إلى أقصى حد من اللمعان الثابت نسبيًا عبر العديد من المستعرات العظمى المختلفة. باستخدام هذا اللمعان القياسي، ومقارنته بالسطوع للمستعرات من نفس الفئة التي اكتشفت في المجرات البعيدة، يمكن تحديد المسافات إلى هذه الأنظمة البعيدة.



عرض لبيانات المستعرات العظمى من مسح ريس يظهر تسارع التوسع

في العام 1998، بدأ مشروع High – Z Supernova (تعاون كوني دولي لدراسة المستعرات) بقيادة آدم ريس، ومشروع المستعرات لعلم الكونيات بقيادة شاول بيرلماتر، حَيثُ اعلنوا من خلال دراساتهم المستقلة لعشرات المستعرات الفائقة أنه حوالي خمسة مليارات سنة لم يكن معدل التوسع في الكون يسير بمعدل ثابت كما يتنبأ به قانون هابل. وما أظهرته دراساتهم هو أنه، في الواقع، كان التوسع سريعًا عندما أصبح الكون أكبر عمرًا. إن القياسات المأخوذة من مستعر ناءٍ جدًا تسمى SN 1997ff تقع على بعد عشرة مليارات سنة ضوئية لم دلائل على هذا التسارع، لذلك لا بُدَّ أن تكون قد بدأ في وقت ما بين خمسة وعشرة مليارات سنة.

مكتبة
t.me/t_pdf

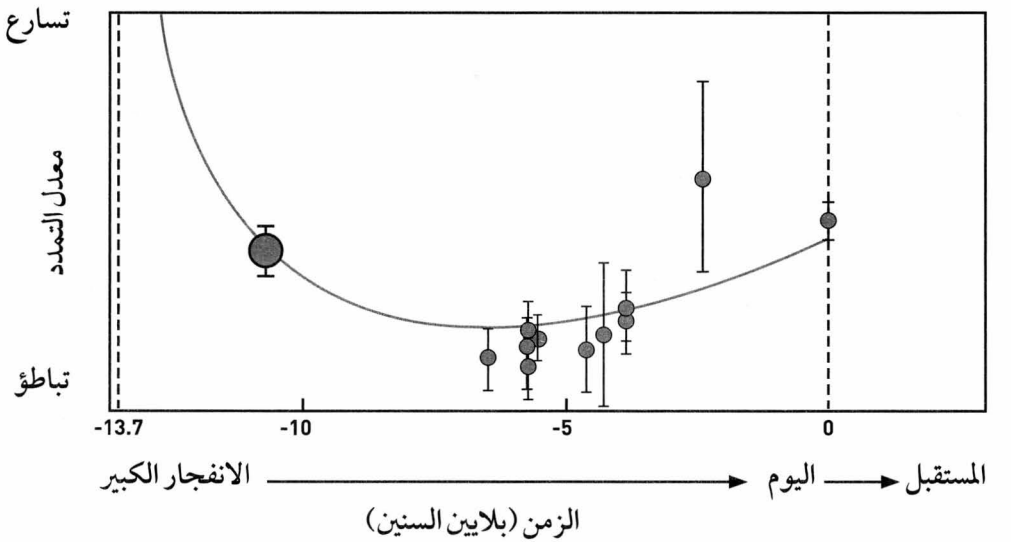
الشموع القياسية

يستخدم علماء الفلك **المنظر** (Parallax) لحساب المسافات إلى النجوم القريبة نسبيًا، أي مقياس الزاوية ومقدار إزاحة ستة أشهر، عندما تكون الأرض في أقصى طرفي مدارها. يستخدم علماء الفلك الشموع القياسية بالنسبة للنجوم والمجرات البعيدة التي لا يمكن التحكم فيها عن طريق المنظر، أي النجوم التي يكون سطوعها معروفًا. وإن الشموع القياسية الأكثر استخدامًا هي متغيرات Cepheid والمستعرات من النوع 1a. أما السيفيدس Cepheid فهو عبارة عن نجوم يتنوع لمعانها في دورة منتظمة. اكتشفت عالمة الفلك هنريتا سوان ليفيت أن فترة التباين الإلكتروني مرتبطة بسطوعها. وان النوع الأول من المستعرات هو عبارة نجوم بيضاء اللون صغيرة الحجم الذي يسرق كتلته من النجم الأحمر المقارب له وقد ينفجر عندما يصل إلى كتلة حرجة. لأن الانفجار يحدث دائمًا في نفس الكتلة، فإن اللمعان يبقى نفسه دائما. إذا كنت تعرف لمعان النجم، فيمكنك حساب المسافة الخاصة به. تكون المستعرات العظمى ساطعة لدرجة أنها تظهر في مجرات بعيدة من اعتبارات النظرية النسبية العامة، إن تسارعها الكوني يعني أنه يوجد بالفعل شيء مثل ثابت انشتاين الكوني

في معادلات علم الكونيات، الانفجار العظيم. لأن هذا الثابت الكوني له نفس القيمة (الكثافة) في كل متر مكعب من الفضاء، فإن القوة التي ينتجها تزداد مع زيادة حجم الفضاء. مع توسع الكون، يزداد حجمه، وبالتالي تزداد هذه القوة الكونية بمرور الوقت، وتتسبب التوسع المتسارع في الكون.

تشير الدراستان اللتان تستخدمان المستعرات الأعظم والخلفية الكونية إلى ظاهرة واحدة ونفس الظواهر، وهكذا كان أينشتاين في النهاية على حق، ولكن لسبب ما تحول هذا التأثير للثابت الكوني فقط منذُ حوالي ستة مليارات سنة.

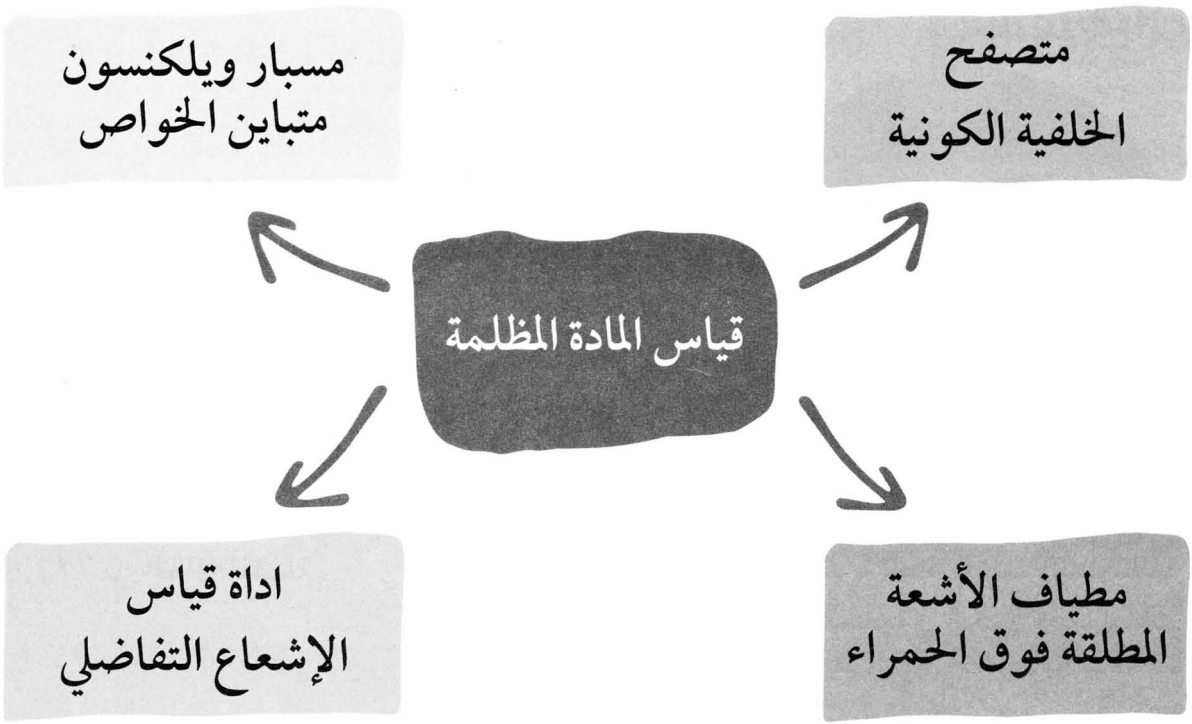
الطاقة المظلمة: هي أحد مكونات الكون التي تمثل معدل توسعها المتسارع.



رسم بياني يوضح أن تمدد الطاقة المظلمة الحالي حديث جدًا. وتمثل كل نقطة قياس المستعر الأعظم الفردي ومعدل التمدد الضمني عند انزياحه

ما هو حجم الكون المظلم؟

كانت هناك طريقة بديلة لتقدير غالبية هذا المحتوى في المخزون الكوني، وهي أن يوزن (الكون بأكمله) باستخدام تفاصيل معدل توسعه (ثابت هابل) معًا مع الخواص المقاسة لخلفية الكونية للموجات الصغرى. قد أدى ظهور مستكشف الخلفية الكونية التابع لناسا في العام 1989 إلى قياسات عالية الدقة للخلفية الكونية باستخدام أداة **مطياف الأشعة تحت الحمراء البعيدة المطلقة** (FIRAS)، والتي حصلت على درجة حرارة 2,7260 – 0,0013k مع تغيرات دقيقة (0,00000 k –) في توزيعها عبر السماء مقاسة بأداة قياس إشعاع الميكروويف التفاضلية (DMR)



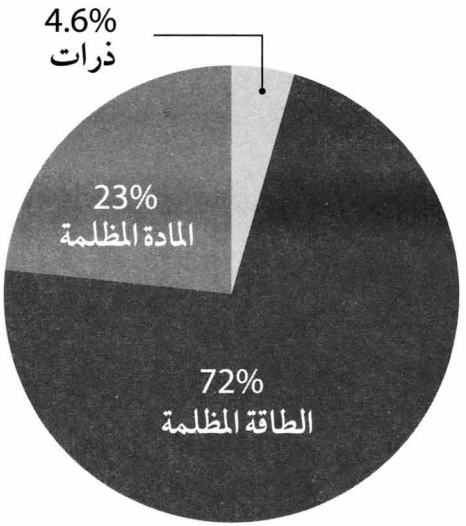
وكانت هناك مهمة لاحقة قامت بها وكالة ناسا للكشف عن تباين الموجات الدقيقة تسمى **مسبار ويلكنسون** (WMAP)، فقد قامت بدراسة التغيرات التي اكتشفتها أداة قياس الإشعاع التفاضلي الخاصة باداة متصفح الخلفية الكونية، وتمكنت من استخدامها لحل ثلاثة مكونات كونية مختلفة في وقت واحد، وهي كل من المادة الباريونية العادية، والمادة المظلمة، والطاقة المظلمة. كانت المادة الباريونية ما يدرسه الفلكيون لأكثر من قرن على شكل نجوم مضيئة، وغازات بين والمجرات، وأشياء متحللة مثل الأقزام البيضاء (النجوم الصغيرة جدًا)، والنجوم النيوترونية، والثقوب السوداء، ومن غير المرجح أن تكون المادة المظلمة مادة عادية، بل ربما تحتوي على نيوترونات ثقيلة وكذلك جزيئات غريبة غير معروفة.

كانت **الطاقة المظلمة** الاسم المعطى لمعادل للثابت الكوني، A، في نماذج أينشتاين - دي سيتر، وكانت النماذج الجديدة تسمى نماذج A - CDM. بينت الملاحظات من 2001 إلى 2010 أن نمط وشدة تباين الميكروويف الكوني (المطبات الدقيقة في ضوء في كل السماء) يمكن أن يكون متناسبًا مع:

4.5٪ من المادة الباريونية العادية،

22.7٪ المائة المادة المظلمة، والمادة الضخمة

72.8٪ من الطاقة المظلمة.



النسب المئوية للطاقة المظلمة والمادة المظلمة والمادة العادية في الكون وفقًا لبيانات WMAP

وأجريت بعد ذلك دراسة في الفترة ما بين عامي 2009 و2013 بواسطة مركبة الفضاء بلانكا التابعة لوكالة الفضاء الأوروبية، حَيثُ اكتشفت مخالفات صغيرة وقيمة محسَّنة في نموذج الخلفية الكونية:

4.9٪ من المادة الباريونية الجوفية،

26.8٪ من الجسيمات المظلمة،

68.3٪ من الطاقة المظلمة.

وكذلك، مادة باريونية أكثر بقليل، والمادة المظلمة، وأقل بقليل من الطاقة المظلمة، ولكن ما تزال هناك كمية هائلة من الطاقة / الكتلة لم تؤخذ بنظر الاعتبار.

جورج سموت

ولد سموت عام 1945 في يوكون بولاية فلوريدا، التحق بمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، وحصل على درجة البكالوريوس في الفيزياء، والرياضيات في العام 1966، ثُمَّ حصل على الدكتوراه في فيزياء الجسيمات في العام 1970. تعاون مع لويس ألفاريز في مختبر لورنس بيركلي في كاليفورنيا لتطوير مقياس إشعاع تفاضلي لقياس دقة الخلفية الكونية من مناطق مختلفة من السماء باستخدام أداة تم نقلها على متن طائرة لوكهيد يو - 2. لقد نجح في الكشف لأول مرة عن تأثير ثنائي القطب في الخلفية الكونية. واقترح لاحقًا أن يتم نقل أداة مماثلة على متن قمر اصطناعي - حَيثُ قبلت ناسا هذه الفكرة ناسا ودمجها كأداة قياس الإشعاع التفاضلي في مستكشف الخلفية الكونية الذي تم إطلاقه في العام 1989، إلى جانب جون ماثر، حصل سموت على جائزة نوبل للعام 2006 في الفيزياء. بالإضافة إلى كتابة كتب ومقالات، مشهورة حول علم الكونيات. قام سموت بالعديد من اللقاءات على برامج مثل (نظرية الانفجار العظيم) و(هل انت اذكى من الدرجة الخامسة؟). في البرنامج التفزيوني الأخير كان ثاني المتسابق الثاني الوحيد الذي يفوز بجائزة مليون دولار.

جسيمات النموذج القياسي

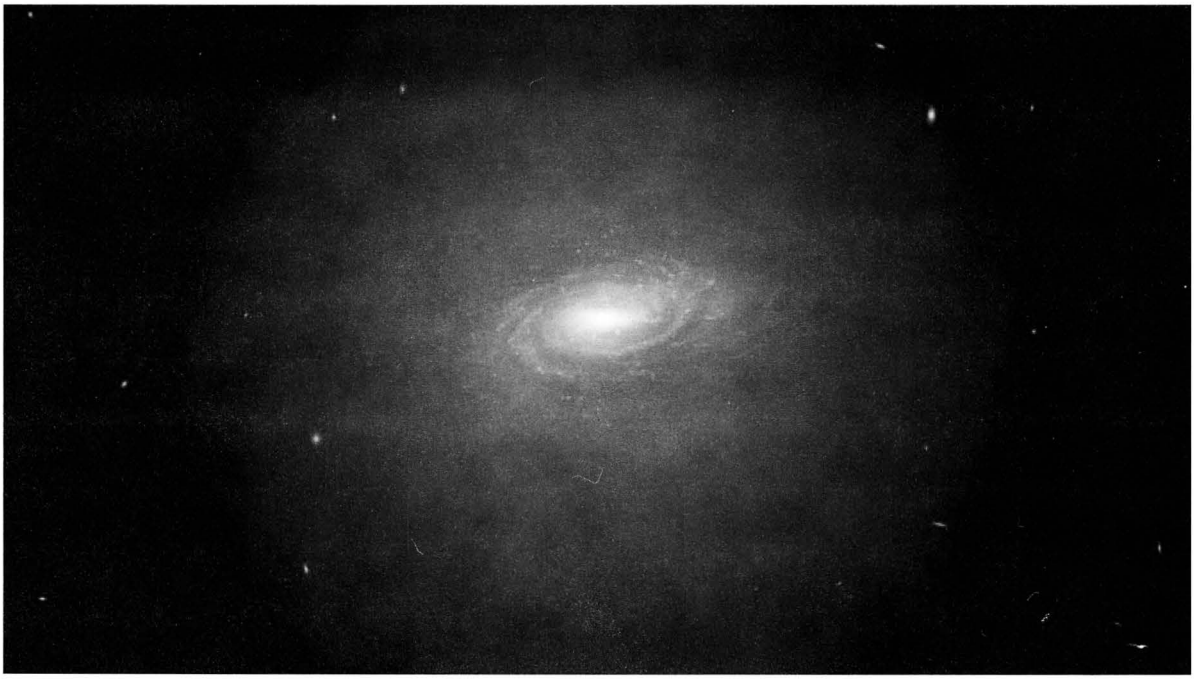
ما هي المادة المظلمة بالضبط؟ إن ما يقرب من خمسة في المائة من الكون الموجود في الأجسام المشتقة من البروتونات، والنيوترونات وحَتى الثقوب السوداء، كلها متكونة من (الكوارزات) الجسيمات الأصغر من الذرة، لذلك لا يمكن اعتبارها أشكال مزدوجة من المواد المظلمة ويترك ذلك الجزيئات الغريبة التي تسمى نيوترينو.

تتنبأ الانفجار الكوني العظيم من وفرة العناصر البدائية ونسب البروتونات إلى النيوترونات بأنه يمكن أن توجد على الأغلب ثلاث عائلات من النيوتريونات، التي تم اكتشافها بالفعل، والتي يطلق عليها الإلكترون، والميون، والتايوترون. تتنبأ نظرية النماذج أيضًا بعدد النيوتريونات التي انتجت أثناء الانفجار العظيم. إذا ضاعفنا هذا الرقم من خلال كتلة نيترون كوني واحد، فإننا نحصل على قيمة الكتلة الكونية الكلية، والكثافة التي تساهم بها هذه النيوتريونات. كان من المقترح خلال سبعينيات القرن الماضي، أن تساهم النيوتريونات بكمية كبيرة من الكتلة في الكون للتأثير بشكل كبير في نوع الكون لذي نعيش فيه (الكون المفتوح، واللامحدود، أو المغلق، والمحدود). إذا كان مجموع كتل الإلكترون، والميون، والتايون النيوترينو 12eV، فستكون هناك كتلة كافية في الخلفية النيوترينية الكونية (للكون)، وهو ما لا تشير إليه فعليًا ملاحظات الخلفية الكونية. هناك قيد الصارم يأتي من التركيبة واسعة النطاق المرصودة في الكون، وإذا كانت النيوتريونات ضخمة للغاية، فسوف تلطخ الهياكل الصغيرة مثل مجاميع المجرات، وتشير نماذج تكوين وتطور التركيب الكوني إلى أن مجموع كتل النيوترينو لا يمكن أن تكون أكبر من بضعة أعشار eV. وهذا يتوافق أيضًا مع حدود الكتلة النموذجية المعيارية على عائلات النيوترينو الثلاث المستمدة من تجارب المسرع والتجارب الأخرى، لذلك، ضمن عائلة الجسيمات الأولية المعروفة حاليًا، ومع القضاء على النيوتريونات، لا توجد

جزيئات مرشحة ومكتشفة حَتى الآن بإمكانها أن تفسر المادة المظلمة، وهذا يقودنا إلى مسألة مهمة وهي ماهي المادة؟ وما هو النظام المادي الذي يمكن أن يفسر الخصائص المعروفة للمادة المظلمة.

جسيمات وراء النموذج القياسي

اقتِرَحَتْ العديد من الجزيئات المختلفة على مدار عشرات السنين لحساب (المادة المفقودة، والكتلة المظلمة). ومع ذلك، فإن أكثر الجزيئات الواعدة هي تمديدات بسيطة للنموذج القياسي الذي يتضمن التناظر الفائق. تشمل هذه الجزيئات: نيترونات اكسيوز وجزيئات (كالوزا كلاين)، والنيوترونات غير المنتجة

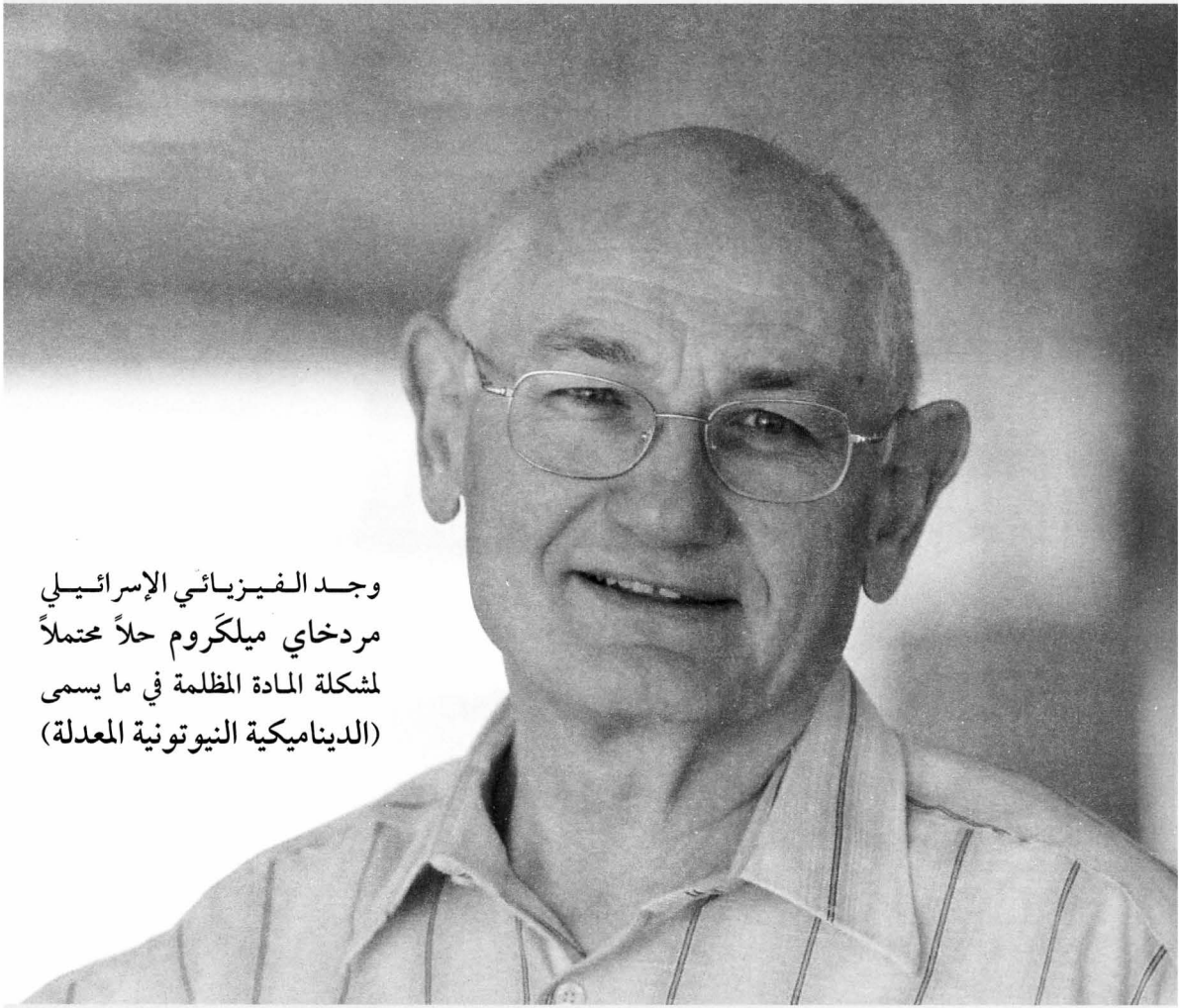


تعديلات على نظرية النسبية العامة

إن أحد الحلول لمشكلة المادة المظلمة هو أن معادلتنا للجاذبية المستخدمة لتطوير علم الكون الانفجار العظيم قد تكون غير مكتملة إلى حد ما. ففي العام 1983 اقترح الفيزيائي (مردخاي موتي ميلكَروم) إمكانية تعديل نظرية النسبية العامة قليلًا في ما اسماه (ديناميكية نيوتونية معدلة). فإن قوة الجاذبية ضمن مسافات بعيدة على نجمة تدور حول مجرة لا تختلف كالمربع العكسي، ولكن كـ 1/ r، حَيثُ تمثل r المسافة بين النجم ومركز جاذبية المجرة، وهذا يضيف مصطلحًا جديدًا يعتمد على التسارع إلى قانون الجاذبية العامة لنيوتن، وهو حد جاذبية ضعيف للنسبية العامة. على الرغم من مراعاة هالات المادة المظلمة في المجرات، فهي لا تعمل مع مجاميع المجرات، أو التراكيب الكونية الأكبر. كما إنّ نظرية الحركات النيوتونية المعدلة لا تلبي تمامًا الحاجة إلى المادة المظلمة على كل نطاق، لذلك فإن فائدتها كبديل للمادة المظلمة قابلة للنقاش.

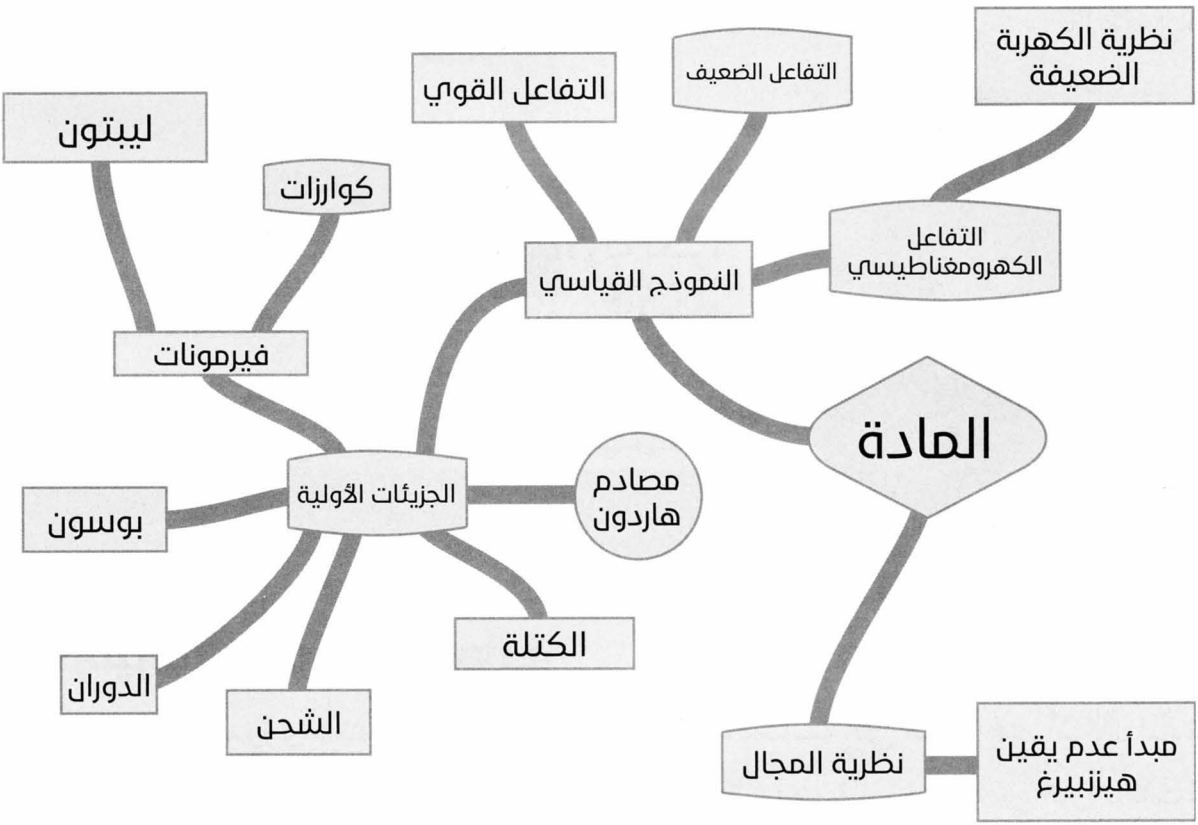
ربما يكون هناك نقد أكبر من عدم حسابه للاختبارات المعروفة لكلا النسبية العامة وعلم الكون وهو أن امتدادات النسبية العامة من خلال نهج نظرية الندينامكية النيوتونية المعدلة لا تؤدي إلى نظرية صحيحة نسبيًا لجميع المراقبين. يشير الثبات النسبي (التغاير) إلى أن جميع المراقبين في الكون، بغض النظر عن حالتهم الحركية، سيلاحظون نفس القوانين الطبيعية. يبدو أن هذا ليس هو الحال بالنسبة لنظريات نظرية الديناميكية النيوتونية المعدلة لأن الإضافات على معادلات النسبية العامة التي ستكون مطلوبة لموضوع المادة المظلمة، لا يمكن صياغتها بعبارات نسبية. نظرًا لأن التعديلات تعتمد على التسارع، فإنها تنتهك مبدأ التكافؤ – إذ لم تعد كتل الجاذبية والخمول الذاتي للمادة متطابقة كما يجب وفق مبدأ التغاير، الذي يعد الحجر الأساس في نظرية النسبية.

بالإضافة إلى ذلك، أدى اكتشاف موجات الجاذبية في الفترة 2015 – 2016 إلى إزالة العديد من النماذج المحتملة من نظرية الديناميكية النيوتونية المعدلة، حَيثُ يتضمن هذا بصورة فاعلة أن تعديلات نظرية الديناميكية النيوتونية البسيطة على النظرية النسبية العامة على ما يبدو لن تحل مشكلة المادة المظلمة.



وجد الفيزيائي الإسرائيلي مردخاي ميلكَروم حلاً محتملاً لمشكلة المادة المظلمة في ما يسمى (الديناميكية النيوتونية المعدلة)

ماهية المادة



بناء كتل الكون

يشمل نطاق علم الكونيات أصل وتطور ومستقبل الأجسام التي تشكل الكون وشمل أيضًا تضمين المكان والزمان بعد فترة الثورة النسبية. لكن العنصر الملموس هو المادة التي تشكل النجوم والمجرات وأنت نفسك. ومن بين أعمق الأسئلة التي تواجه علم الكونيات الحديث هو: كيف نفسر أصل المادة وطبيعتها وتفاعلاتها؟ لهذا نحن بحاجة إلى الخوض في ما هو معروف عن الذرات ومكوناتها وهو ما يسمى بالفيزياء النووية.

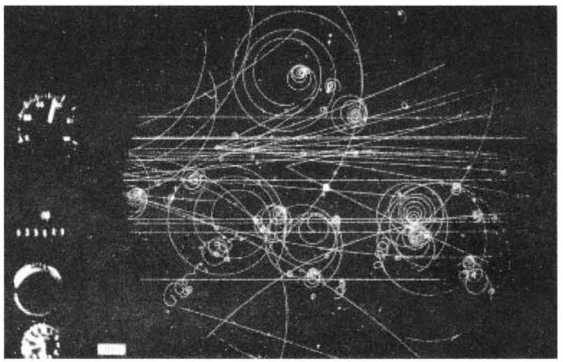
اشتهر نيوتن بقوانين الحركة والجاذبية العامة

إن تاريخ الفيزياء النووية، واكتشاف القوى الأساسية في الطبيعة، هو موضوع عميق ومعقد مثل المسابقة الكاملة للأحداث التي جلبت علم الفلك من الأفكار الأولية لكبلر، ونيوتن، إلى التفاصيل الهائلة في الوقت الحاضر. لقد سرع تاريخ الفيزياء بشكل سكبير من خلال تطور تكنولوجيات مثل (محطمات الذرة) التي يمكن أن تُخلص الجزيئات الأساسية التي تتكون منها المادة وتساعد على تحديد القوى التي تعمل من خلالها.

الفرميونات وتركيب المادة

إن الجدول الدوري للعناصر هو قائمة مألوفة للعناصر الأساسية التي تشكل جميع أشكال المادة المشتركة. فهو أساسًا فهرس للأشكال المستقرة، (وغير المستقرة) من المادة المكونة من البروتونات، والنيوترونات، والتي تشكل معًا نواة كل ذرة. والإلكترونات التي تحيط بالنواة. على سبيل المثال، يتكون الماء من ذرة اوكسجين واحدة، ذرتين هيدروجين. إن التفسير (الكلاسيكي) الذي يجمع

الجزيء معًا هو أن كل ذرة هيدروجين لها إلكترون واحد في قشرة الغلاف الخارجي، وتحتفظ به القوى الكهرومغناطيسية هناك. وتحتوي ذرة الأوكسجين على غلاف خارجي غير مكتمل - إذ يفتقر إلى إلكترونين. تتقاسم ذرة الأوكسجين إلكترونين ينتميان إلى ذرات الهيدروجين، والقوى الكهرومغناطيسية المتبقية المرتبطة بهذا التفاعل هي ما يجمع جزيء الماء معًا.



مسارات الجزيئات الأولية من التصادم مع محطمات الذرة

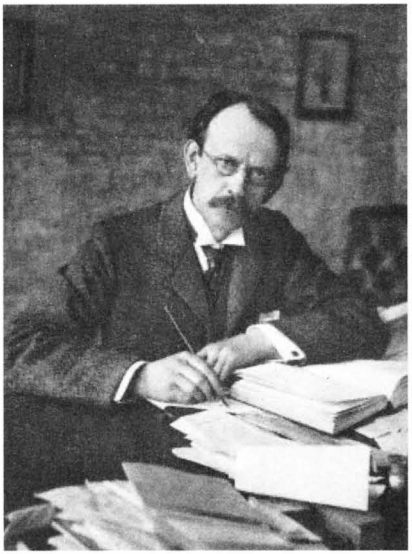
حَتى فترة الستينيات، كان هذا هو الحد من فهمنا لبناء اجزاء كل المادة. منذُ ذلك الحين، اكتشف الفيزيائيون أن الاختباء وراء التركيب الذري الأساسي هو مجموعة أكثر جوهرية من الجسيمات والقوى الأولية. من ناحية، يوجد عدد صغير من الجزيئات التي تبني العالم المادي. ومن ناحية أخرى، لدينا مجموعة منفصلة من الجزيئات المسؤولة عن إنتاج القوى بين جزيئات المواد.

الباريون: هي الجسيمات دون الذرية التي لها كتلة مساوية، أو أكبر للبروتون تنتمي إلى عائلة الهادرون للجزيئات القائمة على الكوارزات (النجوم الخافتة).

حساء الجسيمات

كان تحديد الجزيئات الأساسية في كل المواد عملية شاقة بدأت في العام 1897 عندما اكتشف ثومسون جَي جَي الإلكترون، وحصوله على جائزة نوبل في العام 1906 لهذا الجهد. إلّا أن هذه العملية ما تزال غير كاملة. إذ تم اكتشاف جسيم المادة الأخير، المسمى تاو نيترونو في العام 2000 في

مختبر (فيرمي) بواسطة فريق يضم 54 عالم فيزيائي، لكن يعتقد وجود جسيمات أولية إضافية لم تكتشف بعد. إذ تمت دراسة الجزيئات المبسطة المعروفة والمسؤولة عن كل أشكال للمادة المألوفة بدقة عالية، وكذلك تحديد خصائصها بشكل مضبوط.



اكتشف ثومسون جَي جَي الإلكترون في عام 1897، وبدأ البحث عن جسيمات المادة الأساسية التي لن تكتمل حتى عام 2000

ميكانيكية الكم

كما أوضحنا سابقًا، تصف الفيزياء التقليدية الطبيعة بمقياس **كرات المدفع** والمجرات، وتصف ميكانيكا الكم الطبيعة في أصغر مقاييس الذرات، والجزيئات دون الذرية. تتعامل ميكانيكية الكم مع الوصف الرياضي لحركة وتفاعل الجسيمات دون الذرية، ويتضمن مفاهيم تقدير كمي للطاقة، ازدواجية موجة الجزيئة، ومبدأ عدم اليقين، ومبدأ عدم التكافؤ (هذه المفاهيم موصوفة بتفصيل أكثر في مكان آخر في هذا الكتاب).

كان أحد الاكتشافات العظيمة التي تم إجراؤها بتقديم ميكانيكا الكم هو إمكانية وصف الجزيئات الأولية، ليس من حَيثُ شحنتها وكتلتها فحسب، ولكن أيضًا من خلال دورانها. هذه خاصية جوهرية للمادة ليس لها نظير في العالم اللا كمّي، وتمثل بشكل خاطئ خاصية للجزيئات المماثلة لاسمها.

وحدة الكم (وحدات الكم): رزم منفصلة للطاقة الذرية، أصغر كمية الطاقة التي يمكن أن تشارك في التفاعل.

منْ أَجل حساب كيفية توليد خطوط طيفية بأطوال موجية والظواهر الأخرى لجزيئات المواد بواسطة الذرات فإن الجسيمات الأولية تحتوي على 1/2 وحدة فقط من وحدة الدوران. ينتج عن هذا مجموعة متنوعة من الظواهر المرتبطة مع بعضها البعض، على سبيل المثال، قد يوجد إلكترونان فقط في نفس الحالة الكميّة بحَيثُ يحتوي أحدهما على وحدة دوران (+) 1/2، ولدى الإلكترون الآخر (−) 1/2 وحدة دوران. وقد وصفتْ إحصاءات هذه الجزيئات من قبل **إريكو فيرمي وبول ديراك.** وها نحن الآن نسمي جميع جزيئات المادة فيرمونز، وذلك بعد مجيء عصر (فيرمي). في 1928، تنبأ بول ديراك بوجود مادة مضادة وتم تأكيد هذا التنبؤ في عام 1932، باكتشاف اندرسون للجسيم المضاد للإلكترون. ويسمى البوزيترون الذي له نفس الدوران والكتلة كالإلكترون، ولكن يحتوي على شحنة كهربائية موجبة بدلاً من الشحنة السالبة. إذا تم تجميع جسيم وجزء مضاد لهما، فسوف ينفجران على الفور في موجة من الطاقة طبقًا لمعادلة إينشتاين الشهيرة $E = mc^2$. لذلك، فإن لكل فرميون جزيئاته المضادة التي تضاعف عدد جزيئات المادة الأولية. تُقسم الفرميونات إلى مجوعتين: اللبتونات وهي (جسيم دون ذري، مثل إلكترون أو ميون أو نيوترينو، لا يشارك في التفاعل القوي)، والكواركات (جسيمات دون ذرية تحمل شحنة كهربائية جزئية، مفترضة على أنها كتل بناء من الهدرونات) سائل الجسيمات إذا كنت أتذكر أسماء كل هذه الجسيمات / ستكون فيزيائيًا في علم النبات (الفيزيائي إنريكو فيرمي).

يعد فحص التصوير المقطعي أحد الأمثلة على كيفية تأثير معرفة المادة المضادة على التكنولوجيا الحديثة

الدوران: هو خاصية لجسيم أولي مماثل للحركة الدورانية (الزخم الزاوي الجوهري الذي يمنح المجال المغناطيسي، والشحن الكهربائي في جزيئات الصغيرة). إذ لا يعتبر تشبيهًا مثاليًا، لأن الجسيم لا يدور فعليًا!

اللبتونات

إن الجسيم المألوف فقط في مجموعة تضم 12 جسيم أولي والتي تعرف باسم اللبتونات: هو الإلكترون (توجد أيضًا مجموعة إضافية من 12 جسيمات مضادة). يشارك كل إلكترون مع جزيء النيوترينو الخاص به استنادًا إلى الظواهر المرتبطة بالتحلل الإشعاعي. ومع ذلك، بحلول فترة التسعينات، تم العثور على جيلين آخرين من الجزيئات أكثر ضخامة من الإلكترون لكنهما من نفس العائلة وهما: الميون، والتاون. كما هو الحال مع الإلكترون، فإن هذه الجسيمات الإضافية لها النيوتريونات الخاصة بها، بحَيثُ في المجموع توجد ست جزيئات في عائلة الإلكترون، تسمى اللبتونات الملائمة (بمعنى النور)

النيوتريونات: هي جزيئات غريبة تتفاعل مع المادة بشكل ضعيف للغاية يمكنها الضغط خلال سنة ضوئية، ولكن لا يتم امتصاصها. كان يعتقد في باديء الأمر أنها لا تحمل أي كتلة على الإطلاق، ولكن منذُ اكتشاف تذبذبات النيوترينو في كاشف سوبر كامو كاندي الياباني في العام 1998، تم الكشف الآن أن النيوتريونات تحمل كتلة صغيرة جدًا أقل من فولت إلكتروني واحد لكل كتل ثلاث مجتمعةً.

اللبتونات: هو جسيم أولي يحتوي على وحدة شحنة كهربائية تتفاعل فقط مع القوة الجاذبية للكهرومغناطيسي، والقوة الضعيفة وليس القوة القوية. ويشمل الإلكترونات، الميونات، تينوز، النيوترونات، متغيرات المادة المضادة.

إلكترون - فولت

يمكن أن توصف الجزيئات وفق كتلتها بالكيلومترات. لكن هذه الأرقام مُرهقة، لذلك يفضل علماء الفيزياء استخدام $E = mc^2$ لاشتقاق وحدة كتلة E / C إذ يقاس E بالفولتيات الإلكترونية. لتبسيط وحدات الكتلة أكثر، فهي تأخذ أيضًا $C = 1$، وتشير إلى كتل الجزيئات في ملايين الفولتيات أو مليارات الكيكافولت الإلكترونية GeV

- تبلغ كتلة الإلكترون حوالي 5 , 0 مليون فولت إلكتروني
- الميون يبلغ أكثر من 200 مرة ضخامةً في 105 مليون فولت إلكتروني
- يبلغ التاون 3600 ضعف ضخامةً عند 8 , 1 مليون كيكافولت إلكتروني

الكواركات (الجسيمات دون الذرية)

الكواركات هي من الأسرة الثانية من الفرميونات والتي تعتبر من المجاميع الأكثر غرابة. لم يكن الفيزيائيون مبدعين جدًا عندما يتعلق الأمر بتسمية جزيئات جديدة، على عكس علماء الفلك الذين يدرسون بعناية العديد من الاحتمالات عند تسمية الكواكب. اقترَحَتْ تسمية مصطلح (كوارك) اصلاً من قبل (موري جيل مان). حَيثُ استخدم هذا المصطلح فيما بعد في رواية جيمس جويس (يستيقظ الفنلنديون) عندما وجده في بيت شعري (**ثلاثة كواركات للسيد مارك**) وقد تم استخدامه بصيغته الحالية إذ أن الصيغة الحقيقية هي ليست quarks وانما quork.

تم اقتراح نموذج الكوارك للمادة النووية بشكل مستقل في عام 1964 من قبل الفيزيائي الآمريكي، والفيزيائيين الأمريكي والروسي موراي جيل مان وجورج زويغ. كانت فكرتهم الأساسية هي أن البروتونات، والنيوترونات والجزيئات الضخمة الأخرى المعروفة بحلول العام

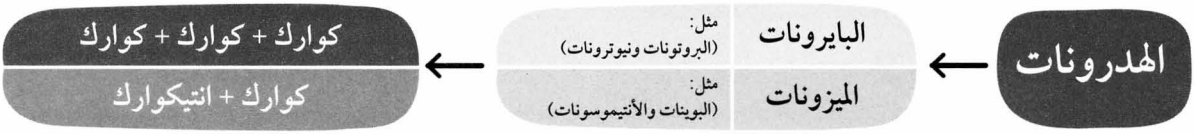
1960 لم تكن أساسية، ولكنها تتألف من جزيئات صغيرة ما تزال تسمى كوارك الصاعد والكوارك النازل. من خلال دمج كوارك الصاعد والنازل بالطريقة الصحيحة، يمكنك بناء البروتون (صعودًا وهبوطًا)، والنيوترون النازل والصاعد، والجزيئات الضخمة الأخرى التي تم اكتشافها في مختبرات مسرع الجسيمات مثل ميزون المحايد. ومع اكتشاف المزيد من الجسيمات الضخمة، تضاف إلى هذه العائلة الغريبة بعض الصفات، مثل:

Stragne (S) غريبة، Charmed (C) مذهلة Top (T) عليا Bottom (B) سفلى. آخر هذه الكواركات كانت الكواركات السفلية التي اكتشفت في العام 1995.

الكوارك	رمز	الدوران	الشحنة	رقم الباريون	S	C	B	T	الكتلة*
أعلى	U	½	+⅔	⅓	0	0	0	0	3.3-1.7 MeV
أسفل	D	½	-⅓	⅓	0	0	0	0	5.8-4.1 MeV
مذهل	C	½	+⅔	⅓	0	+1	0	0	1270 MeV
غريب	S	½	-⅓	⅓	-1	0	0	0	101 MeV
قمة	T	½	+⅔	⅓	0	0	0	+1	172 GeV
قعر	B	½	-⅓	⅓	0	0	-1	0	4.19 GeV(MS) 4.67 GeV(1S)

الجسيمات الأولية: تتحد الكواركات لتشكل جزيئات مركبة مثل الهدرونات. هناك ستة أنواع: أعلى – أسفل، قمة، قعر، غريبة ومذهلة، بالإضافة إلى المتغيرات المضادة للمادة.

الهدرون: جسيمة دون الذرية، مثل البارون أو الميزون التي تشترك في التفاعل القوي.



الميزون: الجسيمات دون الذرية، وسيطة في الكتلة بين الإلكترون والنيوترون، وتتألف من كوارك واحد، ومضاد واحد للكوارك.

اعتبارًا من العام 2018، يُعتقد أن هذه المجموعة المكونة من ستة كواركات، وستة لبتونات إلى جانب جزيئاتها المضادة الـ 12 كاملة تشكل الأساس لوصف حالات المادة التي يمكن توليدها عند طاقات التصادم إلى اقل تقدير 13 TeV. نظرًا لأن الجدول الدوري للعناصر يفسر جميع حالات الفيزياء الكيميائية، والنووية للمادة، فإن هذا الجدول المكون من 24 فيرمونات أساسية يغطي جميع الظواهر الفيزيائية الفلكية التي تشمل إنتاج الطاقة داخل النجوم بواسطة الانصهار النووي الحراري، وهو مايفسر أيضًا سبب انفجار المستعرات الفائقة، وسبب تكوين بقايا كثيفة.

بالإضافة إلى ذلك فإن نظرية المادة التي تصف خصائصَ الفرميونات، لا تبين فقط طريقة تفاعلها مع هذه الجسيمات في المكان والزمان. تنتج هذه التفاعلات عن قوى، لكنها فقط بحاجة إلى ثلاث قوى غير جاذبية لوصف جميع التفاعلات الممكنة أن تكون منفصلة عن الفيرمونات الأولية ولكنها متشابكة، فان الفيرمونات الأولية تعتبر مجموعة منفصلة من الجزيئات المسؤولة عن هذه القوى، إلّا أن شرح طريقة عملها يتطلب الخوض في نظرية قوية للقوى، والمادة تسمى نظرية المجال الكمي.

BOSONS		
Unified Electroweak spin -1		
Name	Mass GeV/c^2	Electric charge
photon	0	0
W-	80.4	-1
W+	80.4	+1
Z^0	91.187	0

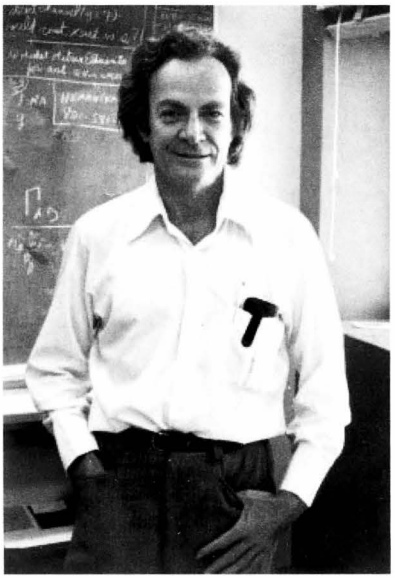
force carriers spin = 2,1,0, ...		
Strong (color) spin =1		
Name	Mass GeV/c^2	Electric charge
g gluon	0	0

نظرية المجال الكمي

يحاط كل فيرمون أولي بمجال للإلكترونات يطلق عليه المجال الكهربائي للكواركات حَيثُ يطلق عليه حقل gluon غلوون (جسيم دون ذري من فئة يعتقد أنها تربط الكواركات معًا). لكن تتكون هذه الحقول في الواقع من جسيمات لا حصر لها وتسمى الكواركات وفقًا لمبدأ عدم اليقين لهيزنبيرك، حَيثُ لا يمكن اكتشافها، أو ملاحظتها بشكل مباشر. وتسمى هذه الجسيمات بالافتراضية، لأنها (موجودة فعليًا فحسب). ويؤدي تبادل هذه الكميات الفردية من مجالات الفرميون إلى ظهور القوى الأولية الثلاث. كل هذه الجسيمات التي تستخدم الوساطة في القوة تحمل وحدة واحدة من الدوران الكمومي. حَيثُ تم اعداد إحصائيات الجسيمات ذوات العدد الصحيح وحدات الفيزياء الكمية من قبل الفيزيائي النظري الهندي (ساتيندرا ناث بوز، وألبرت أينشتاين) وتسمى إحصائيات بوز أينشتاين. في حين تسمى الجزيئات ذوات الدوران الكمي الصحيح (0 , 1 , 2) (بالبوزونات).

جسيمات بوزون: جسيمات دون الذرية مثل فوتون مع تدور صفري، أو لا يتجزأ.

ريتشارد فاينمان



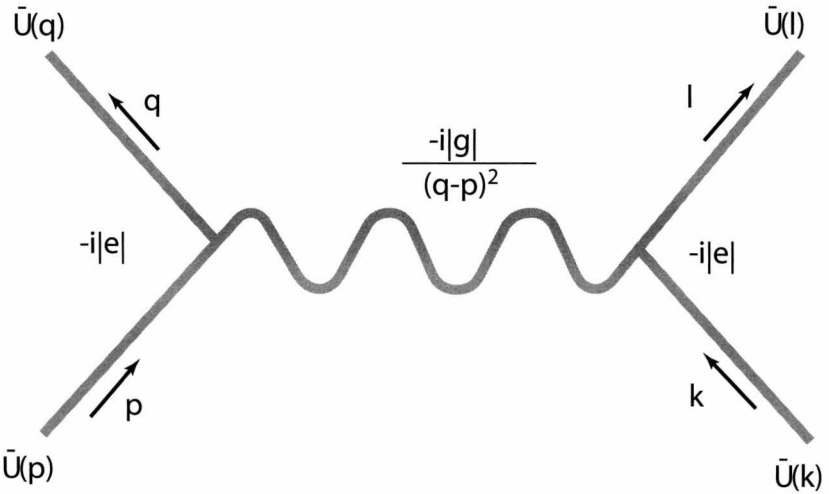
ساعد ريتشارد فاينمان في تأسيس ديناميكا الكهرباء الكمية

كان هذا العالم الفيزيائي الأمريكي أحد مؤسسي الديناميكا الكهربائية الكمية إلى جانب جوليان شوينجر، وشينشيرو تومواناغا في أواخر الأربعينيات. حَيثُ قام بتطوير العديد من التقنيات الرياضية لحساب سريع لاحتمالات التفاعلات بين الإلكترونات والفوتونات، بما في ذلك تمثيل رسم لهذه العمليات العديدة (تسمى مخططات فاينمان)، وصياغة مجموع التاريخ الزائد لإضافة كل النتائج الكمية المحتملة لنتيجة التفاعل. إذ قادته نظرته الفلسفية للبحث عن نظرية (كل شيء) إلى نقاشات عديدة مع مطوري نظرية الأوتار، متهمًا إياهم بالترويج لمضاربات خيالية، والابتعاد عن العلوم التجريبية الملموسة قبل وفاته العام 1988. كان له دور فعال في الكشف عن سبب حادث ناسا، المكوك الفضائي في العام 1986.

التفاعل الكهرومغناطيسي

تنتقل القوة أو التفاعل الكهرومغناطيسي بواسطة فوتونات افتراضية. وتستشعر الجسيمات المحاطة بالفوتونات الافتراضية للحقل الكهربائي بقوة كهروستاتيكية (كهربائية ثابتة) عند تبادل هذه الفوتونات الافتراضية، حَيثُ تسمى عمليات التبادل بالعمليات الافتراضية، ويمكن أن تكون معقدة للغاية. والعملية الأبسط هو تبادل فوتون ظاهري مفرد. تحدث العملية الأكثر تعقيدًا عندما ينتج الفوتون الظاهري المنبعث فجأة زوجًا من الإلكترون - بوزيترون، والذي يتحول، بعد ذلك،

إلى فوتون افتراضي. تصف التقنيات الرياضية للديناميكا الكهربائية الكمية (QED) - التي تم تطويرها في أواخر الأربعينيات - العمليات من حَيثُ مخططات فاينمان. توفر هذه، أيضًا، طريقة تخطيطية تمثل المكونات الأولية للعمليات الافتراضية، على الرغم من أنها لا تهدف إلى أن تكون صورة لما يحدث بالفعل. في الواقع، لا يعرف الفيزيائيون شكل الجسيمات الأولية، أو إذا كان من المنطقي محاولة وصفها من حَيثُ أي خاصية (بصرية).



رسم فاينمان التخطيطي للإلكترونات التي تتفاعل بتبادل فوتون واحد

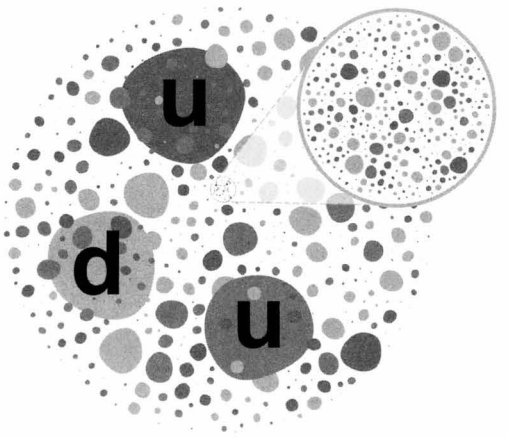
نظرية المجال الكهربية للديناميات: الكمية التي توحد ميكانيكا الكم، والنسبية الخاصة لشرح كيفية تفاعل الضوء والمادة.

مكتبة
t.me/t_pdf

مبدأ عدم اليقين لهايشنبرغ

ينص هذا المبدأ، الذي ابتكره الفيزيائي الألماني فيرنر لهايشنبرغ، أنه لا يمكن معرفة موضع الجسم، وسرعته في نفس الوقت. يتم التعبير عنها بواسطة الصيغة التالية AEAT > 4l تنص هذه الصيغة إن هناك حدًا في ميكانيكا الكم لمدى قدرتنا في وقت واحد على معرفة مقدار الطاقة (AE) الموجودة في العملية الكمية إذا تم قياسها لمدة محددة من الوقت (AT). يتم تعيين الحد الأقصى بقيمة ثابت (بلانك) 15 – 10 × 1 = h فولتًا هذا يعني أن بعض أنواع الظواهر يمكن أن تحدث، ويبدو أن الحفاظ على الطاقة قد انتهك، ولكن في حالة حدوثها فحسب لمدة تقل عن فترة زمنية محددة. على سبيل المثال، تبلغ كتلة الإلكترون 510,000 فولت إلكتروني، وكذلك بالنسبة للعملية الافتراضية التي يظهر فيها إلكترون وبوزيترون إذ تبلغ الطاقة الإجمالية للزوج 2 , 1 مليون فولت إلكتروني.

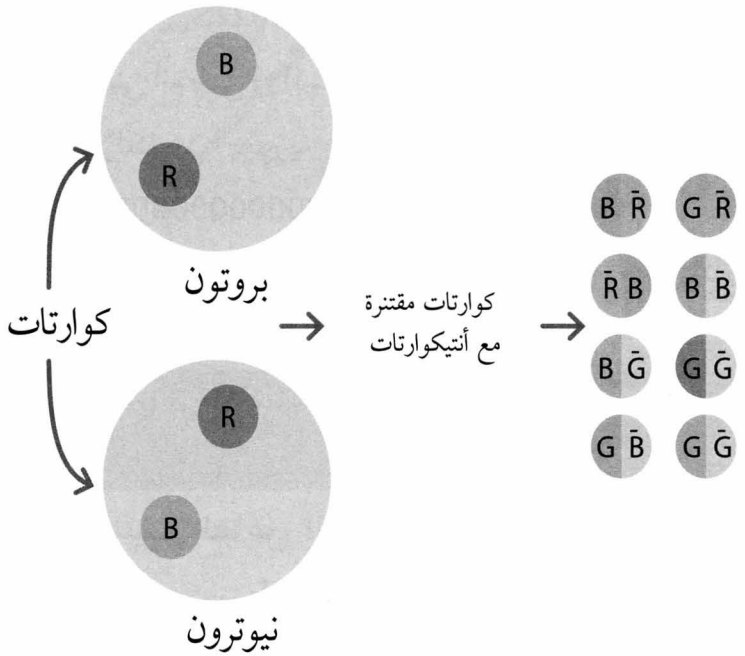
تشير العلاقة إلى AT ≥ 2 , 7x1022S. إذيتم تفسير هذا على أنه يعني أنه حَتى في المساحة الفارغة، يمكن أن يظهر زوج الإلكترون – بوزيترون مؤقتًا طالما لم يستمر أكثر من 0,00000000000000000000027 ثانية 7 , 2 1021 x ثانية قبل التلاشي. وتحمل الفوتونات الافتراضية الطاقة، وعندما تبعث فيرمون واحد يجب أن يتم امتصاصه بواسطة فيرمون ثاني قبل الوصول إلى هذا الحد الزمني. إذن هذه العملية في نظرية المجال الكمي هي سبب التفاعل الكهرومغناطيسي، مع الفوتون الافتراضي كوسيط للقوة.



ثلاثة كواركات داخل بروتون مرتبطة ببعضها البعض عن طريق تبادل الغلوونات

وينر هايشنبرغ

كان فيرنر هايشنبرغ عالم فيزياء ألماني، وأحد المطورين الجدد لميكانيكا الكم الحديثة. كان عمله في ميكانيكا المصفوفات في العام 1925 أحد بحوثه الرئيسية التي تصف سلوك الإلكترونات داخل الذرات في وقت كان فيه التركيب الذري للمادة ما يزال موضوعًا غامضًا للدراسة. أدت أبحاثه إلى اكتشاف حدّ لمدى قدرة الشخص على قياس ما يسمى **المتغيرات المترافقة** مثل الزخم، والموضع، أو الوقت، والطاقة، المشار إليها باسم مبدأ عدم اليقين في هايشنبرغ. مثلت ميكانيكا المصفوفة الخاصة به عن نتائج أي قياس لنظام ذري كمجموعة من الأرقام التي تعبر عن احتمال الانتقال بين حالة وأخرى. اقترَحَ، أيضًا، أنه في أثناء الانتقال، لم تكن الإلكترونات موجودة حَتى لحظة التغيير، اللحظة التي اكتسبت فيها الإلكترونات خصائص قابلة للقياس.



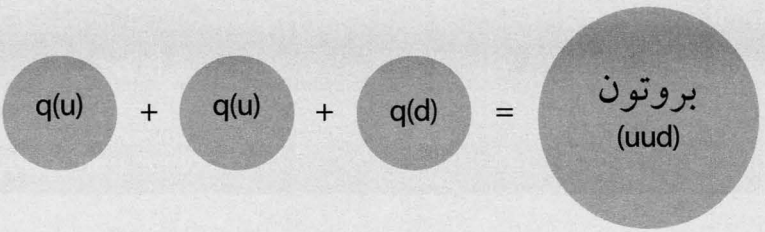
هناك ثمانية غلونات فقط لأن نموذج الكوارك مبني على تناظر يسمى (3) SU. لا يوجد غلوون تاسع مطلوب، والذي سيكون على أي حال عديم اللون ولن يكون جزءًا من التفاعل القوي

قوة قوية (أو التفاعل) واحدة من أربع قوى أساسية تتحكم بكل شيء؛ يربط الكواركات معًا لتكوين جزيئات مركبة مثل الباريونات على سبيل المثال البروتونات والنيوترونات.

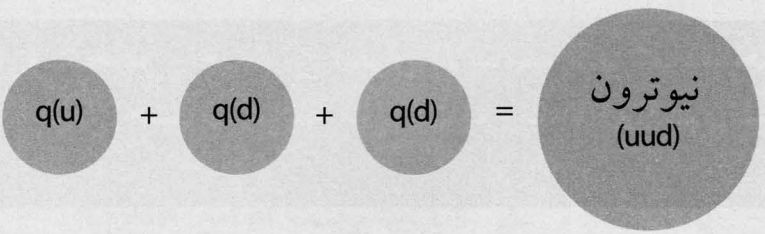
التفاعل القوي

لا بُدَّ للكوارزات أن تكون متحدة داخل البروتونات والنيترونات. وهذا ناتج من حقيقة استبدال الكواركات للجسيمات التي تسمى (غلوون). الغلوون، كما هو الحال بالنسبة للفوتونات، فانها تحمل بالضبط وحدة واحدة من الدوران الكمي. على أي حال، بسبب استحواذ الكواركات على نوع جديد من الشحنة التي تسمى (اللون)، فان هذه الشحنات الثلاثة تسمى بصورة اعتباطية (الحمراء والزرقاء والخضراء) لا بُدَّ لها ان تنعكس في الشحنات الملونة للغولونات والتي تنتج عنها ثمانية احتمالات، مثل:

التفاعل القوي يتحد معًا ليشكل البروتونات والنيوترونات



هناك ثمانية غلونات فقط لأن نموذج الكوارك مبني على تناظر يسمى SU (3). لا يوجد غلوون تاسع مطلوب، والذي سيكون على أي حال عديم اللون ولن يكون جزءًا من التفاعل القوي



الشحنات الحمراء + الشحنات ضد الزرقاء

الشحنات الحمراء + الشحنات ضد الخضراء ... إلخ.

هذه القوة الوسيطة (الغلوون) أو البيونزهي ماسميت سابقًا بالميزون التفاعل النووي في السنوات التي سبقت اقتراح نموذج الكوارك. من المعتقد انه تبادل البيونز كان هو الناقل للتفاعل القوي. ومع مجيء نموذج الكوارك، اعتبرت البيونز كجسيمات مركبة تتكون من مجموعة من الكواركات ومضاداتها، وعُرفَ ناقل القوة القوي الآن كتبادل المزيد من الغولونات الأولية.

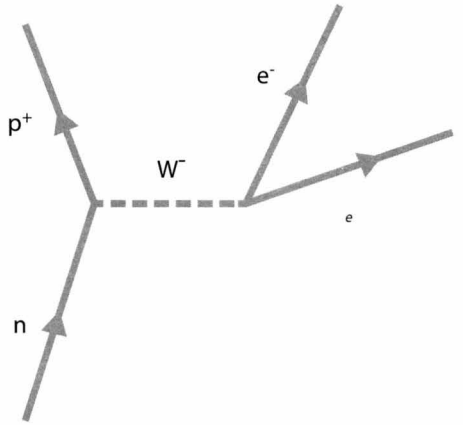
التفاعلات الإلكترومغناطيسية والتفاعلات القوية

Particle	Electrical charge	Colour Charge	Interacts with
electron	-e	–	Photons
electron neutrino	0	–	–
up quark	+⅔	red, green, blue	photons, gluons
down quark	+⅓	red, green, blue	photos, gluons
photon	0		–
gluon	0	colour + anticolour	gluons

التفاعل القوي (أو التفاعل): تتحكم واحدة من القوى الأساسية بكل المادة بحَيثُ تربط الكواركات معًا لتشكل جسيمات مركبة مثل البايرونات (والتي تشمل البروتونات والنيترونات)

التفاعل الضعيف

من المعروف أن بعض الجزيئات تتحلل تلقائيًا في الوقت المناسب. على سبيل المثال، يتحلل النيوترون إلى بروتون (شحنة سالبة)، وإلكترون (شحنة موجبة)، وإلكترون مضاد للنيوترينو في حوالي 881 ثانية. يتم وصف عملية التحلل هذه من خلال قوة ثالثة تسمى القوة النووية الضعيفة. على عكس القوة الكهرومغناطيسية مع فوتون واحد عديم الكتلة، أو القوة القوية التي تحتوي على ثمانية غالونات عديمة الكتلة لنقل تأيرها، وتنقل القوة الضعيفة بواسطة ثلاثة جسيمات ثقيلة تسمى بوسونات الموجات الوسيطة W^+ وW^- وZ^0. بوزونات متوسطة موجهة. كجسيمات قريبة من بعضها، فإن هذه البوزونات لها وحدة دوران واحدة، لكنها ضخمة جدًا. تبلغ كل من W^+ وW^{-80} كيكا فولت بينما يبلغ Z^0 حوالي 91 كيكا فولت: وهي تمثل الكتل التي تساوي تقريبًا نواة العنصر سترونيوم (السترونتيوم العنصر الكيميائي للرقم الذري 38، معدن ناعم أبيض فضي من سلسلة الأرض القلوية). ونظرًا لحجمها الكبير، فإن هذه البوزونات لها نطاقات قصيرة جدا، ولهذا السبب تكون القوة النووية الضعيفة أضعف بكثير من القوة النووية القوية.



تحلل النيترون بواسطة التفاعل الضعيف، كما وضحه بوزون

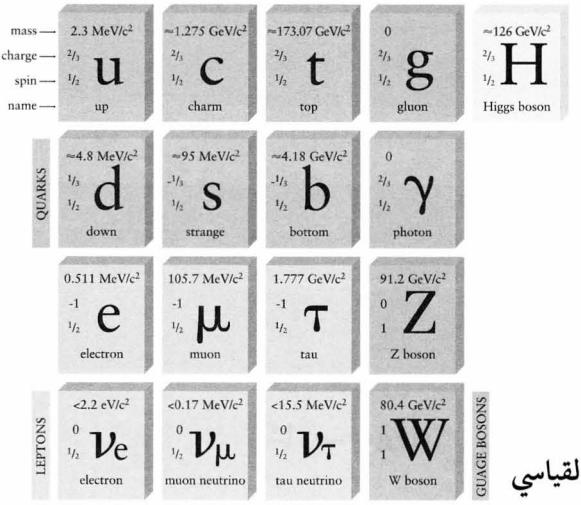
التفاعل الضعيف: واحدة من أربع قوى أساسية تحكم كل المادة: وهي تعمل في مسافات قصيرة بين الجزيئات دون الذرية، وتتسبب في التحلل الإشعاعي. في حالة ردود الفعل الضعيفة، قد تختفي الجسيمات أو تعاود الظهور.

التحلل B^-: النيوترون: البروتون + الإلكترون + الإلكترون مضاد للنيترونو.

التحلل B^+: بروتون: نيوترون + بوزيترون + إلكترون نيوترينو.

النموذج القياسي

تقوم مجموعة 12 فيرمون أولي، و12 بوسون أولي (1 فوتون، 3 ناقلات بوزون و8 غولونات) بتشكيل مجموعة جزيئات المادة الأساسية، ووسائط قوتها. منذُ الأربعينيات من القرن الماضي تطور عالم كامل من التقنيات الرياضية لوصف تفاعلاتها الدقيقة لمجموعة واسعة من العمليات الفيزيائية. بالنسبة للقوة الكهرومغناطيسية، نستخدم الأدوات التي تقدمها الديناميكا الكهربائية الكمية (QED). بالنسبة للتفاعلات القوية (الألكترومغناطيسية)، فإننا نستخدم أدوات الديناميكا الكمية (QCD). في الوقت الذي تم فيه تطبيق اللمسات الأخيرة على نظرية مفصلة للتفاعل الضعيف في أواخر الخمسينيات، وأوائل الستينيات، دخل مفهوم مختلف تمامًا لفيزياء نظرية تسمى **نظرية كسر التناظر.**



الفرميونات والبوزونات التي يتألف منها النموذج القياسي

ديناميكا الكم

نظرية المجال الكمي التي يوصف فيها التفاعل القوي من حَيثُ التفاعل بين الكواركات التي تتوسط فيها الغلونات، يتم تعيين الكواركات، والغلونات على حدٍ سواء كعدد كمي يسمى اللون.

كسر التناظر

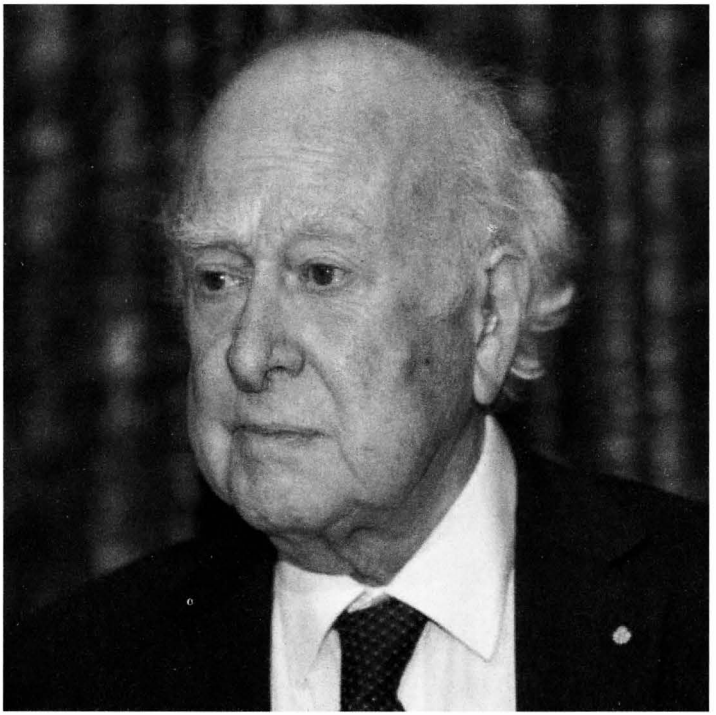
كان الفيزيائيون سابقًا يدركون الدور الذي تلعبه التماثلات المختلفة في الطبيعة. في العام 1915، اكتشفت الفيزيائية الألمانية إيمي نويثر هذه العلاقة منْ أَجل حل مشكلة صعبة في النسبية العامة. ببساطة، إذا كانت العملية تبدو هي نفسها عند نقلها في الوقت المناسب، فإن هذا يعني أن الطاقة يتم الحفاظ عليها. إذا بدأ الأمر كما هو عند تبديله في الفضاء، فهذا يعني أن الزخم يحفظ أيضًا.

إيمي نويثر ولدت في إرلانجن بألمانيا العام 1882، وحصلت على الدكتوراه في الرياضيات في 1907 من جامعة إرلانجن، حَيثُ عملت سبع سنوات بدون أجر. ثُمَّ في العام 1915، دعتها فيليكس كلاين، وديفيد هيلبرت للانضمام إلى قسم الرياضيات في جامعة جوتنجن. بين الأعوام 1919 و1933. كانت معروفة بذكائها في الجبر، وقامت بتطوير مفاهيم الحلقات، والحقول، واستمرت في تطوير مفهوم أن مبادئ الحفظ في الفيزياء ترتبط بالتماثلات الأساسية، والتي أصبحت تعرف فيما بعد باسم نظرية نيوذر. كانت هذه الرؤية هي الأساس لمعظم الأعمال الحديثة في الفيزياء النظرية خلال الأربعينيات، وما بعدها.

كشفت إيمي نويثر العلاقة بين الحفظ والتناظر

ما اكتشفه عالم الفيزياء النظري البريطاني بيتر هيجز، ومعاصراه البلجيكيان فرانسوا إنجلرت، وروبرت بروت، العام 1964، هو أن التماثلات في النظريات الرياضية التي تعد القوى القوية، والضعيفة، والكهرومغناطيسية مثالاً على إمكانية كسرها من خلال تقديم نموذج أو حقل جديد الجسيمات. ركز الفيزيائيان ستيفن وينبرج، وشيلدون غلاشو عبد السلام على هذه الفكرة في أواخر الستينيات من القرن الماضي، واستنبطا نظرية تجمع بين كل من رياضيات التفاعلات الكهرمغنطيسية، والتفاعلات الضعيفة، وكسر التماثل، والتي حصلا بها على جائزة نوبل في العام 1979

تقترح (نظرية الضعف الكهربائي) أن التفاعلات الكهرومغناطيسية، والتفاعلات الضعيفة جميعها تتم بواسطة بوسونات بلا كتل (الفوتون، Wsuperscript −، Wsuperscript + و Z^0). ومع ذلك، حَتى الفرميونات (الإلكترونات، والكواركات) كذلك تكون بلا كتلة. وفي ظل هذه الظروف، هناك تناظر دقيق بين تفاعل هذه البوزونات. هذا يعني أن القوى الكهرومغناطيسية، والقوى الضعيفة تبدو متشابهة من حَيثُ قوتها.

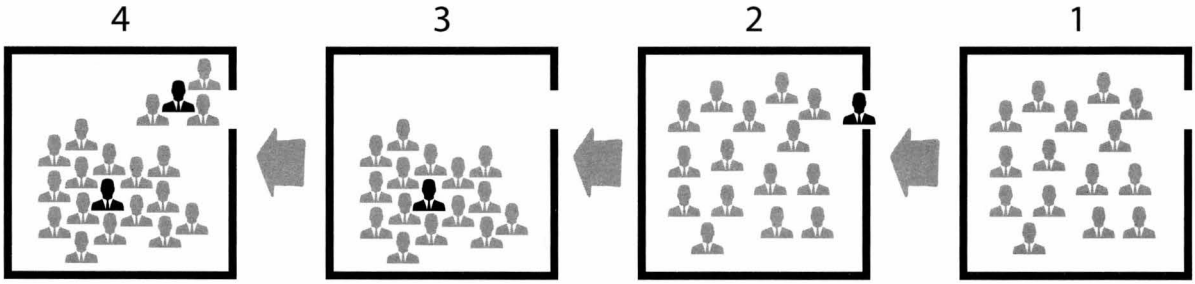


حصل بيتر هيجز على جائزة نوبل في الفيزياء عام 2013

هيغز بوزون

يوجد أيضًا جسيم جديد يسمى بوزون هيغز، بدوران كمي يبلغ صفر يتفاعل أيضًا مع ناقلات القوة الكهرومغناطيسية الضعيفة مع جسيمات المادة نفسها. يبدأ بوزون هيغز في طاقات عالية للغاية بلا كتلة، لذلك تبقى كتلة الفرميونات والبوزونات الصفرية في الطاقات العالية، وتحافظ تفاعلاتها على التناظر. ومع ذلك، مع انخفاض طاقة التفاعل، يكتسب بوز هيغز الكتلة بسبب التفاعلات مع نفسه. في حين تكسب الكتلة، وكذلك بالنسبة للفيرمونات والبوزونات. أما الجزيئات التي تتفاعل بقوة أكبر مع بوزونات هيجز (W وZ^0 البوزونات) فانها تكتسب أكبر كتلة، بينما تكتسب الجزيئات المتفاعلة الضعيفة القليل جدًا من (النيوترونات)، أو لا تكتسب كتلة على الإطلاق من (الفوتونات، الغلونات). وتسمى هذه الآلية لكسر التماثلات في أوصاف التفاعلات الجسيمية بكسر التماثل التلقائي (SSB)، وتسمى هذه العملية بالذات آلية هيغز.

ميكانيكية هيغز



يمكن ان نتخيل (مجال هيغز) كنوع من المولاس (العسل الأسود) (سائل بني لزج غامق) يستخدم لتفريغ الفضاء. تخيل كما لو كانت غرفة مليئة بالناس

بعد ذلك تدخل نجمة سينمائية للغرفة وتصافحهم وتوقع لهم، لكن هذا يقلل من حركتها

عندها ستجد من الصعوبة التحرك بحرية، كما لو انها سمنت أو أن الناس الموجودين في الغرفة يتصرفون كالمولاس (العسل الأسود اللزج) ليعيقوا حركتها

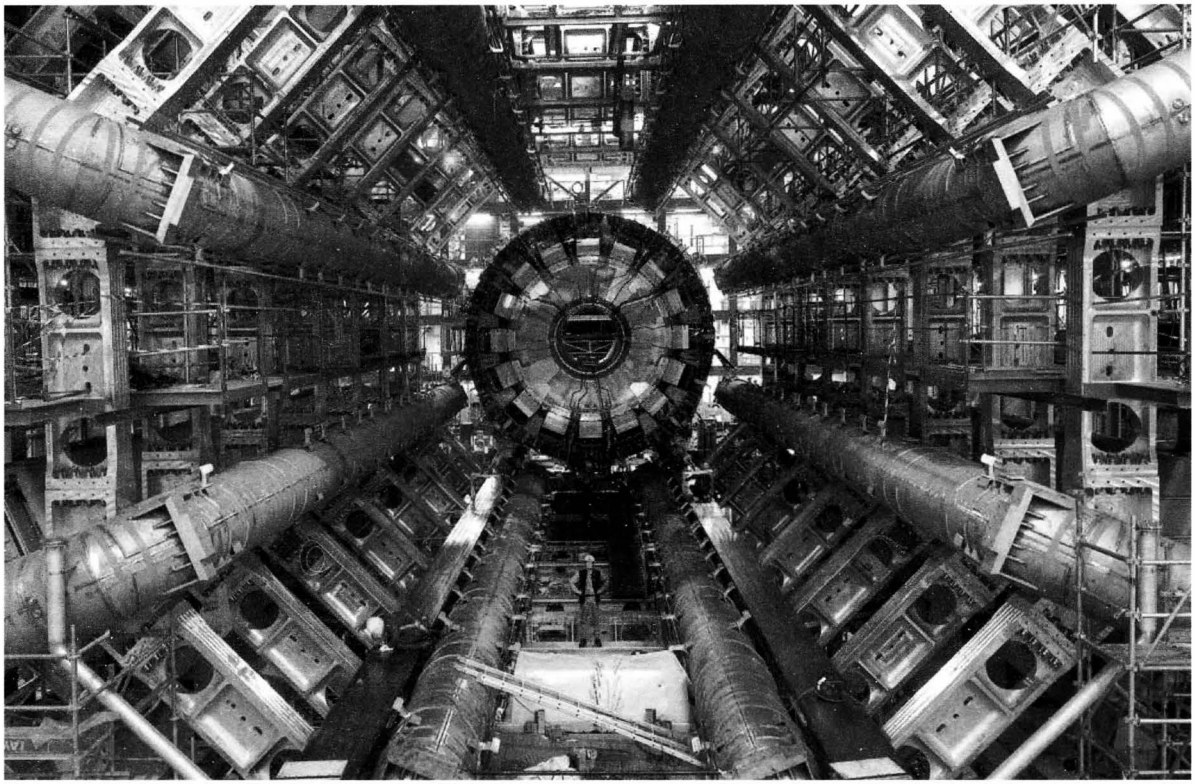
عندما يدخل ممثلين اقل للغرفة ويجلبوا انتباه معجبين اقل، يقل الشعور باللزوجة وكذلك الوزن الزائد

لم يتم اكتشاف هيكز بوزون في **مسرع الهدرونات الكبير** في المجلس الأوروبي للبحوث النووية حَتى العام 2012. إذ اصبح النموذج القياسي الآن مكتملاً بفيرموناته الأربع والعشرين، والبوزونات وجسيمه الخامس والعشرين - وبدأ يعرف ببوزون هيغزالمحايد. فهو يعتمد على نواة ثابتة تمامًا مكونة من 25 فرمونًا، وبوزانًا، جنبًا إلى جنب مع نظامين رياضيين لإجراء الحسابات اللازمة: الديناميكيات الكمية، ونظرية القوة الكهربية الضعيفة. لقد ثبتت دقته بصورة استثنائية لوضع توقعات لجميع التفاعلات المعروفة في الطاقات إلى أعلى حدود التشغيل في مسرع الهدرونات بحلول العام 2018.

طور ستيفن وينبريغ نظرية الإلكترونية الضعيفة إلى جانب شيلدون كلاشو عبد السلام

مسرع الهدرونات الكبير

يعتبر مسرع الهدرونات الكبير (LHC) أكبر وأسرع مُسرّع للجسيمات في العالم. فقد تم بناؤه بين الأعوام 1998 و2008 بالقرب من جنيف، سويسرا من قبل المنظمة الأوروبية للبحوث النووية بالتعاون مع أكثر من 100 دولة بتكلفة أربعة مليارات دولار. إن وصف هذه الآلة الواسعة التي يبلغ طولها 27 كيلومترًا (16 ميل)، سيكون مقالاً مفضلاً لدى القراء.



تدور البروتونات داخل نظام الحلقة المحصورة مغناطيسيًا، في اتجاهين متعارضين، وتصطدم في عدة نقاط محددة على طول المحيط. تقوم أنظمة الكشف الهائلة في هذه النقاط بتتبع وتصنيف جميع التصادمات، ومنتجاتها لاسترجاعها. حَيثُ تسجل أكثر من مليار تصادم كل ثانية، وتتطلب شبكات من أجهزة الكمبيوتر العملاقة لمواكبة عملية جمع البيانات. إن أعلى طاقة تصادم تم تحقيقها في العام 2018 هي 13 تريليون إلكترون فولت (13 تيرا فولت). يتطلب المسرع مليار دولار سنويًا لدفع تكاليف الكهرباء اللازمة، فضلاً عن كميات هائلة من الهيليوم السائل لتشغيله. وحسب بعض التقديرات، كلف بوزون هيكز المكتشف عام 2012، 13 مليار دولار لاكتشافه.

اختبار النموذج القياسي

سيكون بمقدور النموذج القياسي بعمل عشرات من التنبؤات الأساسية لأنواع محددة من التفاعلات وتحلل الجسيمات وذلك بالاستعانة بالتقنيات الرياضية القوية التي تصف خواص القوى، والجزيئات، جنبًا إلى جنب مع أجهزة الكمبيوتر العملاقة، ومسرعات الجسيمات المتقدمة، مثل مسرع الهدرونات الكبير ومختبر فيرمي. حَيثُ يمكن اختبار تلك التفاعلات بدقة عالية.

إن عدد الجسيمات الممكنة التي تنتج ببساطة عن طريق الجمع بين الكواركات الستة، الكواركات الستة المضادة في أنماط ثنائية (ميزون) هو بالضبط 39 ميزون. من بين هذه، تم اكتشاف 26 فقط حَتى العام 2017. بالنسبة لباريونات الكواركات الثلاثة التي ما تزال أثقل، فإن أنماط الكواركات تتنبأ بـ 75 باريونًا يحتوي على تركيبات من الكواركات الستة كلها. يوجد 31 من هذه الباريونات التي لم يتم اكتشافها حَتى الآن. وتشمل هذه أخف الجسيمات المفقودة:

1– The double charmed Xi (U, C, C) الجسيمات الرابعة عشر المزدوجة المذهلة

2– The bottom Sigma (U, D, B) النجمة الثامنة عشر السفلى

3– The charmed Double – Bottom Omega (C, B, B) الأوميغا المزدوجة السفلى المذهلة

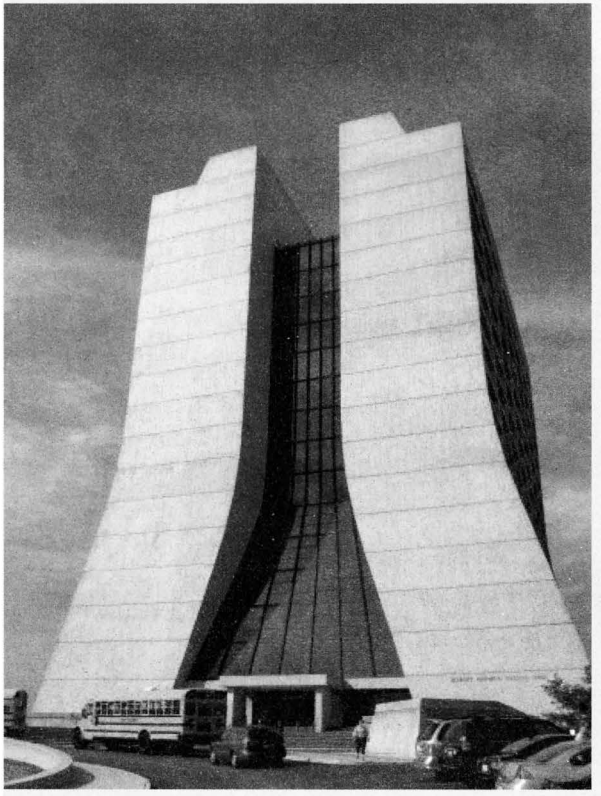
4– Triple – Bottom Omega (B, B, B) الأوميغا السفلى الثلاثية

ولجعل حياة النموذج القياسي مثيرة للاهتمام، فمن الممكن اكتشاف مجموعات أخرى أكثر من ثلاثة كواركات وتسمى البارونات الغريبة.

تعتبر كرات الغراء Glueballs واحدة من أكثر التنبؤات الجديدة، المبتكرة للنموذج القياسي، لذلك ليس من المستغرب أن يكون هناك بحث استمر عقودًا عن هذه المفقودات بين تريليونات الجسيمات الأخرى التي يتم إنشاؤها أيضًا بشكل روتيني في مختبرات تسريع الجسيمات الحديثة

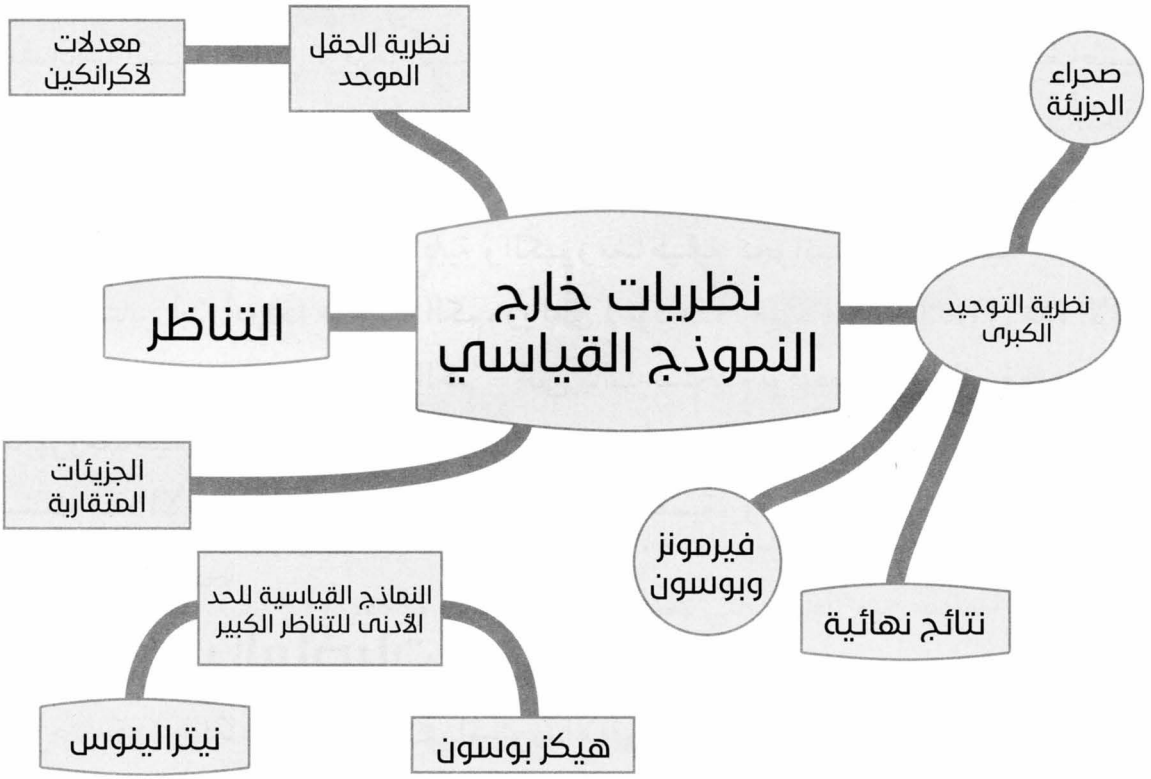
حول العالم. ومن غير المتوقع أن تعيش كرات الغراء طويلًا جدًا. فهي لا تحمل أي شحنة كهربائية، وكذلك الجزيئات المحايدة المثالية. من الاعتبارات النظرية المختلفة: هناك 15 نوعًا من أنواع كرات الغراء تختلف فيما اصطلحه الفيزيائيون بـ (التكافؤ)، والزخم الزاوي. بحلول العام 2015، أصبح كل من (f – zero 1500) و(f – zero 1710) كرات الغراء الأساسية، وكان f – zero 1710 أفضل نوع متناسق مع القياسات التجريبية وكتلته المتوقعة.

يخلق النموذج القياسي، ونموذج الكواركات الستة الذي يحتويه تنبؤات محددة لاكتشاف حالات جديدة للباريون، وللميزون. في النهاية، على العموم، هناك 44 بارون، وميزون عاديين ما يزال اكتشافهم ضروريًا.



مُسرع الجسيمات في فيرميلاب بالقرب من شيكاغو، يستخدم لاختبار التنبؤات بدقة حول كيفية تفاعل الجسيمات

ما بعد النموذج القياسي



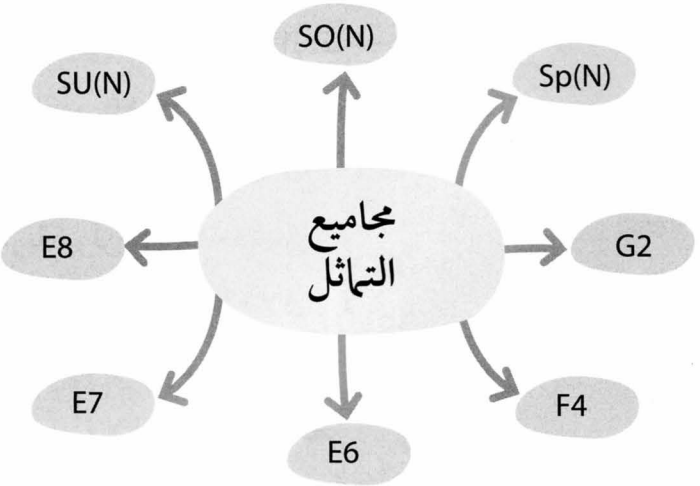
نظرية الحقل الموحد

في الوقت الذي كان أينشتاين يُحسّن نظريته للنسبية العامة العام 1915، كان واضحًا له ولعديد من الفيزيائيين الآخرين أن هناك قوتان عظيمتان تعملان في الكون هي: الجاذبية، والقوة الكهرومغناطيسية. وكان لكل منهما نطاقات طويلة للغاية، إن لم تكن غير محدودة، فقد وصفت بالتفصيل من خلال وصفين رياضيين مختلفين جدا. من ناحية أخرى، بدأت معادلات ماكسويل وامتداداتها النسبية – التي توفرها النسبية الخاصة – بوصف الحقول والقوى الكهرومغناطيسية. ومن ناحية أخرى، وصفت نظرية أينشتاين الجديدة للنسبية العامة الجاذبية كنوع مختلف من المجال، قضى أينشتاين معظم حياته محاولاً إيجاد صيغة رياضية واحدة، وهي نظرية المجال الموحد، والتي يمكن من خلالها إعادة تفسير الجاذبية والكهرومغناطيسية كجوانب لمجال الطبيعة الجديد. لم يفضل أينشتاين أبدًا أدوات ميكانيكا الكم، وبالتالي لم تؤدِ هذه الجهود إلى أية فائدة. في هذه الأثناء، تطورت اللغة الرياضية لنظرية حقل الكم – التي كانت تستخدم لوصف القوى القوية، والضعيفة، والكهرومغناطيسية – بصورة ثابتة إلى مجال غني على الأقل لتوحيد هذه القوى الثلاث اللاجاذبية. تضمنت هذه الأفكار المثمرة مفهوم التناظر كفكرة اساسية، وسهلت العثور على أوجه التشابه الرياضية بين القوى.

التماثل في الرياضيات

خذ مكعبًا عاديًا، وقم بتدويره في المستوى الأفقي بمقدار 90 درجة، سيبدو كل وجه مشابه للآخر. وهذا ما يسمى باللامتغير الدوراني، أو التناظر الدوراني. هناك بالضبط 24 طريقة لتدوير مكعب بحَيثُ يبدو المكعب نفسه بعد التدوير. لأن هذه الدورانات مضافة، وتؤدي دائمًا إلى عملية أخرى تكون بالفعل واحدة من مجموعة الـ 24 دورة، يسمى هذا مجموعة التناوبات. نقول أن تناظر

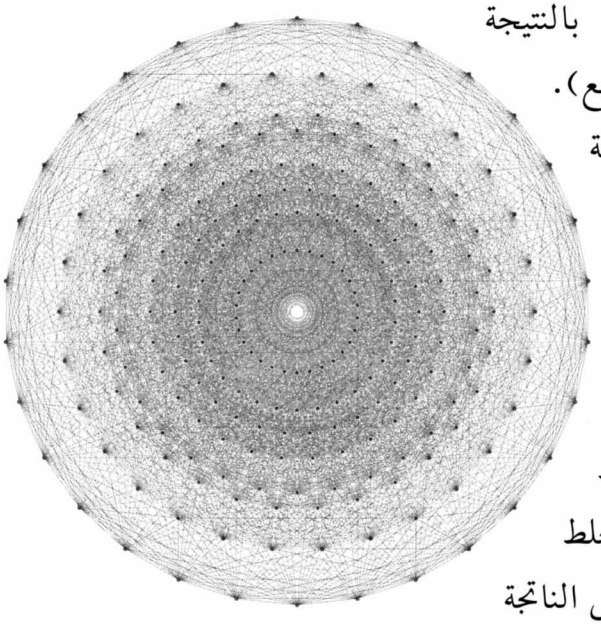
المكعب ثابت ضمن مجموعة الـ 24 عملية، ويطلق عليها علماء الرياضيات مجموعة Oh، مجموعة التناظر المثمن (ذو ثمانية سطوح). يمكن تصنيف الأشكال المعقدة في مجال علم البلورات، لكن الأشكال العادية من البلورات المعدنية، يمكن تقسيمها بالضبط على 32 من المجموعات التماثلية.



التماثل في الفيزياء

في الفيزياء، تصل خصائص التفاعلات بين الجسيمات إلى معادلة معقدة تسمى لاغرانج، وتصف هذه المعادلة جميع الطرق التي تتفاعل فيها الجزيئات والحقول فيما بينها. هناك طريقة بسيطة للتفكير في ذلك، وهي معادلة تتمثل في الفرق بين الطاقات الحركية والمحتملة لنظام تفاعلي مكتوب بمصطلحات رياضية. المصطلح الأول هو مربع تغير زخم المجال في الوقت المناسب، الذي يشبه كثيرًا الطاقة الحركية وهي مربع سرعة الجسيم. المصطلح الثاني هو الطاقة الكامنة في المجال بسبب تفاعله مع نفسه، ومع المجالات الأخرى في النموذج القياسي.

إذا أمكنك في معادلة لاغرانج تغيير المتغير الذي يمثل الوقت من t + to – على أن تبقى نفس العملية الفيزيائية المتناظرة، فهذا يعني أنه يتم الحفاظ على الطاقة، وتكون معادلة لاغرانج متناظرة في الوقت المناسب. وبالمثل، إذا امكنك تبديل العملية الفيزيائية في الفضاء بتغيير متغير (X + to – X)، وتفصل العملية الجديدة عن العملية السابقة، بالنتيجة توصف العملية إنها تحافظ على الزخم (قوة الدفع).



اكتشف إيمي نويثر في العام 1919 هذه العلاقة الوطيدة بين التماثل، والكميات المحفوظة من الطاقة. وقد صنفت نظرية نيوثر بأنها واحدة من أهم النظريات الرياضية التي أثبتت على الإطلاق توجيه تطور الفيزياء الحديثة، وتحديدًا كيفية إضافة مصطلحات على معادلة لاغرانج التي تحافظ على التماثلات الفيزيائية في الطبيعة. لا يمكنك خلط مجموعة من المجالات معًا في معادلة لأن الفوضى الناتجة يمكن أن تنتهك العديد من نظريات الحفظ المعروفة.

من الناحية الرياضية، تخضع قوى الجاذبية الثلاث للتناظرات التالية:

- الكهرومغناطيسية المجموعة الوحدوية 1U
- التفاعل الضعيف المجموعة الوحدوية الخاصة 2) SU)
- التفاعل قوي المجموعة الوحدوية الخاصة 3) SU)
- مجموعة عمليات (SU2) تحتوي على $2^2 - 1 = 3$ عمليات أولية.
- مجموعة عمليات (SU3) تحتوي على $3^2 - 1 = 8$ عمليات أولية.

يمكن أن ترتبط عمليات 8 + 3 هذه بالثمانية غلوونات وثلاثة بوزونات ناقة متوسطة، تسمى، الآن، مقايس بوزونات مجموعات التماثل.

على سبيل المثال، في التفاعل القوي القائم على الشحنات الثلاث للون (الأحمر، والأخضر، والأزرق)، بحَيثُ يطيع معادلات لاغرانج للكواركات التناظر 3) SU) من حَيثُ عمليات اللون الثماني المحتملة، يجب أن يكون هناك مجال (مصطلحات) يضاف إلى معادلات لاغرانج التي تحافظ على هذا التناظر. هذا هو المجال الذي توفره ثمانية غالونات مادية. لكن، مثل **دمى ماتريوشكا الروسية**، يمكن أن تتداخل مجموعات التناظر الأصغر في المجموعات الأكبر التي توحدها.

لاغرانج

تعلمنا في الفيزياء المدرسية، أن الطاقة الكلية لنظام مغلق على سطح الأرض يمثل مجموع طاقتها الحركية. mv^2 1 / 2، وطاقتة الجاذبية المحتملة، $V(h) = mgh$، يعبر عنها بالصيغة ادناه:

$$(E = \frac{1}{2}mV^2 - V(b$$

في نظرية حقل الكم، الموصوفة في الفصل السابق، يتم استبدال معادلة الطاقة هذه بمعادلة أكثر تعقيدًا، بالنسبة إلى أبسط مجال قياسي بدون كتلة يمثله المتغير ϕ يشبه هذا:

$$L = -\frac{1}{2}a\,\phi n / 20\ 6\ aom - V\,\phi^*\phi$$

لا بُدَّ من النظر في معادلة لاغرانج الأكثر تعقيدًا مع مزيد من المصطلحات منْ أَجل وصف شامل للمادة المعروفة، ومجالات القوة. مثلاً إضافة مصطلح واحد لكل نوع، ولكن مع ذلك يجب إضافتها بطريقة تحافظ على التماثلات المعروفة بين هذه القوى والجزيئات. يتضمن البحث عن نظرية حقل موحد، أو نظرية التوحيد الكبير (GUT) إلى حد كبير على اكتشاف المصطلحات الجديدة التي يجب إضافتها إلى نظام لاغرانج، وفي أي مجموعات.

العددية: كمية في الفيزياء لها فقط حجم، مثل 10 كغم، 20 سم وغيرها، وليس لها خصائص أخرى.

مجال العددية: مية عددية يتم تطبيقها على كل نقطة في مساحة معينة في الفضاء، مثل درجة حرارة الخلفية للكون.

التناظر: جانب من جوانب النظام الذي يبقى كما هو بعد إجراء بعض التحولات علمًا أن بعض الأجزاء تبقى نفسها مما يسهل اكتشاف الكميات المحفوظة في النظام مثل الطاقة، والزخم (قوة الدفع)، والشحنة وما إلى ذلك.

نظرية التوحيد الكبرى

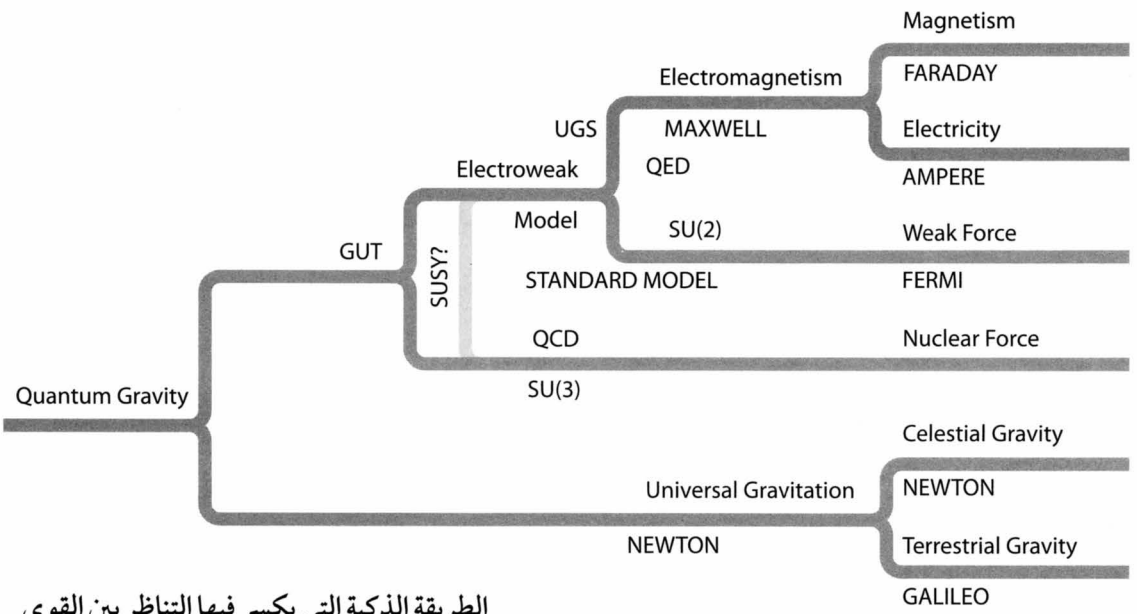
استحوذ مفهوم مجموعات التناظر بالكامل على الفيزياء النظرية في سبعينيات القرن الماضي، واتضح أنها لغة معقدة الإتقان للغاية على علماء آخرين، بما في ذلك العلماء في المجالات ذوات الصلة مثل الفيزياء الفلكية. ومع ذلك، خلال هذا العقد، كان البحث عن مصدر جميع التماثلات التي توحد القوى الثلاث مثمرًا بشكل هائل. كان هناك العديد من القواعد الأساسية التي يجب اتباعها:

يجب أن تتضمن نظرية التوحيد لهذه القوى التماثلات المعروفة حاليًا والتي تم استغلالها في صياغة النظريات الناجحة للقوة الكهرومغناطيسية، U (1)، والقوة الضعيفة، SU (2) والقوة القوية، SU (3)

سيتعين على مجموعة التناظر الجديدة أن تدرج أنواع الجسيمات المعروفة ضمن العائلات المحددة للفرميونات، والبوزونات التي تمت ملاحظتها. سوف تضطر أي جسيمات إضافية إلى تلبية

الاختبارات التجريبية الصارمة عبر نطاقات الطاقة التي تم استكشافها بالفعل. ويجب أن تتصرف المجموعة الجديدة جيدًا من الناحية الرياضية عندما يتعلق الأمر بإجراء حسابات حول ما إذا كانت هناك عمليات معينة ستحدث. وكان حتمًا على الحسابات أن تؤدي إلى نتائج نهائية. إن عملية العثور على مجموعة تماثل كبيرة بما يكفي لـ:

- استيعاب النموذج القياسي.
- إعادة إنتاج التناظر الإلكتروني الضعيف لكسر الطاقة المنخفضة.
- استنباط قوة تفاعل مفردة في طاقة عالية، وفي نفس الوقت.
- حساب العائلات المعروفة للجزيئات.



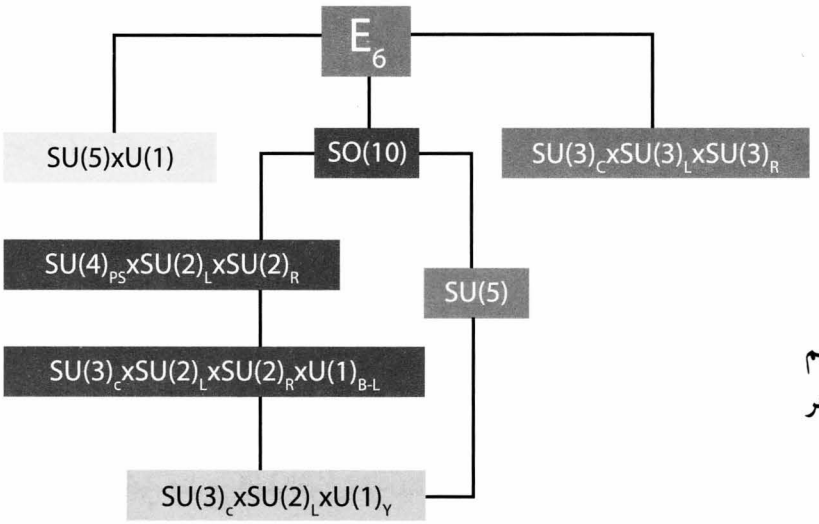
الطريقة الذكية التي يكسر فيها التناظر بين القوى

كان إيجاد ميكانيكة لاغرانيان الصحيح في كثير من الأحيان ممارسة صعبة ومتعبة، إذ حُددتْ مجموعات التناظر الوحيدة التي ظهرت فيها السمات الصحيحة بواسطة التصنيفات (5) SU و SO (10) و E6 و E8، إذ كانت هذه المحاولات الأولية لتوحيد القوى الثلاث باستخدام أساليب نظرية المجموعة ممتعة للغاية، ابتداءً بالعمل على 5 SU لهورد جورج، وشيلدون جلاشو في جامعة هارفرد في العام 1974. على الرغم من أنها قد عفا عليها الزمن منذُ العام 1980، فإن تصنيف (5) SU كشف لعلماء الفيزياء، ولَا سِيَّما الجيل الجديد من طلاب الدراسات العليا بعض المبادئ الأساسية لطريقة استمرار التوحيد من خلال دراسة مجموعات التناظر. أما بالنسبة إلى التماثل الكهربائي الذي كسره بوسون هيغز، في 5 SU فإن هذا التماثل الأكبر سوف ينكسر بحقل شبيه بجسيمات هيغز. تطلبت مجموعة التماثل – 1 = 2452 بوزن عديم الكتلة التي توسطت في هذا التناظر الجديد. في حساب عدد من هذه الحقول، قدمت (3) SU للتفاعل القوي 32 – 1 = 8 من هذه البوزونات، أما القوة الضعيفة فقد وفرت 22 – 1 = 3 أكثر 1 U للكهرومغناطيسية التي زودت واحد بوزون ليصبح المجموع 12 بونسون والتي كانت معروفة آنذاك. وهذا يعني أن هناك 12 بوزونات أساسية إضافية مطلوبة لجعل التماثل 5 (SU) يعمل. وبشكل مثير للدهشة، عندما يتم كسر هذا التماثل 5 (SU) من قبل عائلة جديدة من بوزونات هيغز الفائقة الكتلة، فإن الـ 12 الجديدة X و Y تكتسب كتلة هائلة بما يقارب 1015، غيغافولت – حوالي 100 تريليون مرة من كتلة البروتون. ويرجع سبب هذا الاكتساب إلى تفاعلها مع بوسون هيغز الفائق، وهذا مشابه تمامًا لبوزان هيغز الكهربائي، ما تسبّب في اكتساب بوزونات W و Z للقوة الضعيفة لتكتسب كتلتها، وتمخضت عنه قوة ضعيفة لتبدو مختلفة عن القوة الكهرومغناطيسية في درجات حرارة أقل بكثير.

على مدار العقد القادم، تم التحقيق في العديد من خطط كسر التماثل الأخرى منْ أَجل توحيد القوى القوية والضعيفة. تمت مواجهة عدد كبير من الصعوبات الفنية، وخاصة في ضمان الحسابات

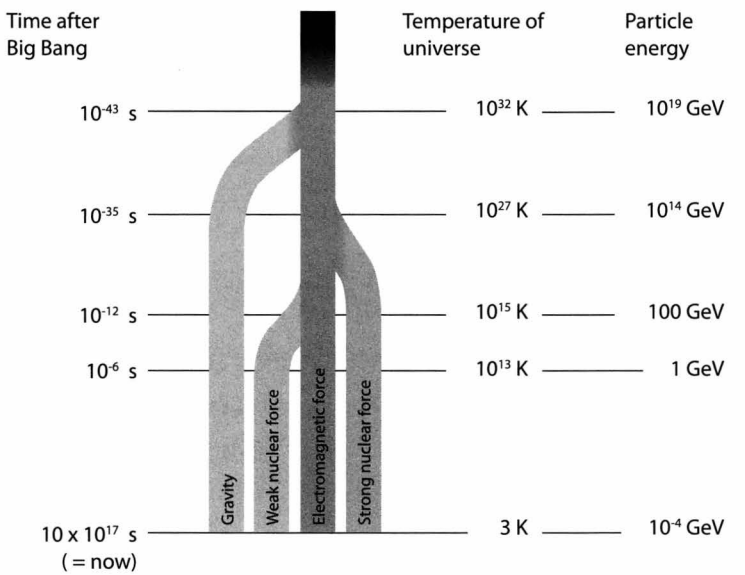
للحصول على نتائج نهائية. تم حل بعض هذه المشكلات، على الأقل مؤقتًا، من خلال اقتراح أن يكون للفضاء ما يصل إلى 26 بُعدًا، فقط أربعة منها تمثل هي الزمكان الحالي في الفضاء على المدى القريب المطلق. أما الأبعاد الأخرى ذات الأبعاد الأصغر من 10^{-30} سم فقد تلاشت.

هناك ميزة أخرى لنظريات التوحيد المبكرة، وهي الآثار المترتبة على آلية كسر التناظر التي جعلت القوى القوية والضعيفة مميزة في طاقة أقل. كان لا بُدَّ أن يكون هناك (صحراء) شاسعة بين 10^{15} غيغافولت وحوالي 300 غيغافولت حَيثُ لا يمكن على الإطلاق العثور على جزيئات مستقرة جديدة. كان هذا بمثابة إعلانًا تقشعر له الأبدان للمختبرين الذين كانوا يكافَأون دائمًا بجزيئات جديدة في كل مرة يقومون فيها ببناء احدث واغلى مسرعات للجسيمات الفضائية. كانت هذه أخبارًا مفرحة بالفعل لعلم الكون (الانفجار العظيم)، لأنه عبر نطاق تلك الطاقة الهائل والنطاق الزمني، لا داعي للقلق بشأن جزيئات جديدة تأتي، وتذهب، فكل ما تحتاجه هو الجسيمات النموذجية القياسية.



مثال على الطريقة التي يمكن بها تقسيم تناظر E_6 إلى مجموعات أخرى أصغر تمثل مخططات توحيد مختلفة

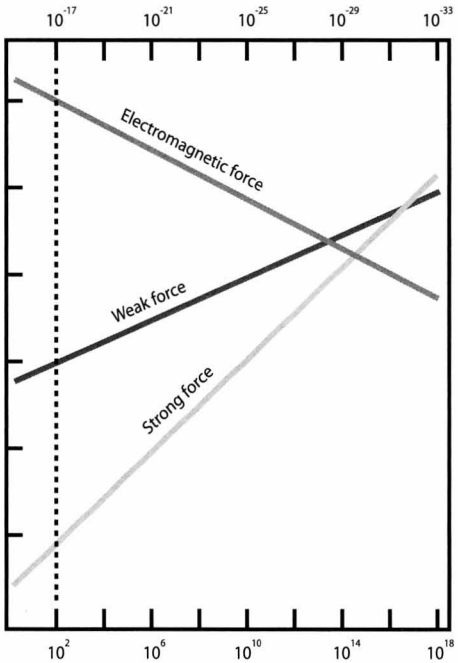
على الرغم من عدم وجود نظرية توحيد كبرى واحدة يتم الاتفاق عليها عالميًا، فإن لدى المتنافسين العديد من التنبؤات الشائعة الهامة حول العالم المادي. تظهر درجتا حرارة أساسيتن، مما يدل على بداية مرحلتين رئيسيتين لكسر التماثل. بقدر ما يتحول الجليد إلى الماء عند درجة حرارة 0°c مئوية (32 درجة فهرنهايت)، والبخار عند درجة حرارة 100 مئوية (212 درجة فهرنهايت)، تتغير القوانين التي تحكم المادة وتفاعلاتها بشكل مفاجئ عند درجات الحرارة التي تتميز بها طاقات التوحيد الكهربائي. تكون الطاقات التي تحدث فيها هذه التبلورات رائعة حقًا. من المتوقع أن يحدث انتقال الصعق الكهربائي عند 200 – 300 GeV. وهو أمر يمكن الوصول إليه المسرعات الحديثة مثل Large Hadron Collider (مسرع الهدرونات الكبير)، في حين أن انتقال نظرية التوحد الكبيرى يتطلب 1000 تريليون غيغافولت، والتي من غير المحتمل ان تصل إليها التكنولوجيا البشرية على الإطلاق. ولكي تتنبأ هذه النظريات بالتوحيد، فإنها تتطلب أيضًا وجود مجاميع جديدة من الجزيئات. على سبيل المثال، يتطلب SU (5) 24 بوزونات، والتي يمثل النموذج القياسي 12 بوزون فقط. إذن يجب أن يكون هناك 12 (بوزون عملاقة) أخرى مع كتل بالقرب من قياس نظرية التوحد الكبرى وهو 1510 غيغافولت.



الطريقة التي تصبح فيها القوى موحدة في مخطط للتوحيد البسيط

تنبأت نظرية موجة إليوت بشكل صحيح بوجود W^+، W^- و Z^0، وكذلك جسيم جديد يسمى بوسن هيغز. بدلاً من أن يكون بوز هيغز عائلة مكونة من جسيمين، في نظرية التوحد الكبرى، فإنه من الواضح أن هناك حاجة إلى عائلة مكونة من 25 عضوًا من بوزونات هيغز الضخمة في بعض الإنتاجات البسيطة. بالإضافة إلى ذلك، فإن العديد من المرشحين لنظرية التوحيد الكبرى يتوقعون أيضًا أن البروتون يجب أن يتحلل في نهاية المطاف. هل هناك أي دليل تجريبي على أن القوى القوية والضعيفة والكهرومغناطيسية تصبح في الواقع موحدة في طاقة واحدة مع زيادة طاقات التفاعل؟ الجواب يبدو (نعم) متسم بالحذر.

تتحدد قوة التفاعل الكهرومغناطيسي في طاقات منخفضة للغاية من خلال ما يسمى ثابت البنية الدقيقة، $\alpha = 0,00730$. أما في الطاقات القريبة من 90 غيغافولت، فقد أظهرت التجارب أن قيمته قد زادت إلى $\alpha = .00782$. إن ثابت التفاعل القوي المماثل المقاس بـ 34 غيغافولت له قيمة $= 0,134$ وعند 90 غيغافولت انخفضت قيمته إلى $\alpha = 0,119$. تظهر هذه التغييرات مع زيادة الطاقة في الأقل أن التفاعل الكهرومغناطيسي اصبح اشبه بالتفاعل القوي، وان التفاعل القوي في حالة ضعف. تتنبأ كل نظرية التوحد مثل هذا السلوك. ومع ذلك، من الصعب استقراء الاتجاهات المقيسة في الطاقات التي تقل عن 100 غيغافولت ومن الصعب القول إنها متوافقة مع قوة تفاعل واحدة عند 10^{15} غيغافولت.



تتنبأ نظرية التوحيد الكبير بأن القوى سوف تتحد في طاقات عالية جدا

ثابت التركيب الدقيق: هو عدد قريب من 137/1 يتعلق بقوة القوى الكهرومغناطيسية ويضبط طريقة تفاعل الجسيمات الأولية المشحونة الإلكترونات والميونات والضوء (الفوتونات).

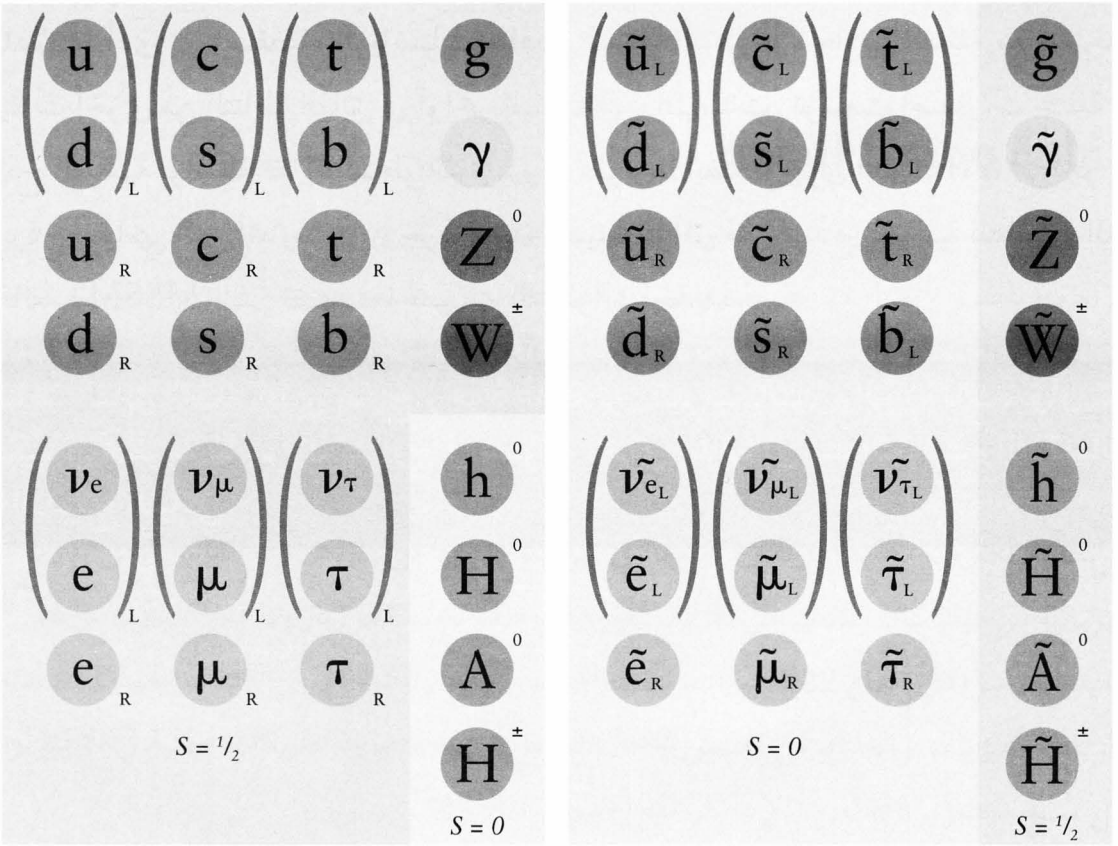
التناظر الفائق

يتكون المعيار النموذجي من فرميونات بـ - 1/ 2 دوران وبوزونات بـ - 1/ 2 دوران. يتم وصف هذه المجالات في لاغرانج بأنها مصطلحات منفصلة، وليست موحدة وذلك بسبب اختلاف قيمها في الدوران. ان التناظر الفائق المسمى SUSYI هو تناظر جديد للطبيعة يسمح للفرميونات بأن تحول البوزونات حسابيًا إلى بعضها البعض، لأن كل فرميون وكل بوزون يقترن بجسيم جديد. على سبيل المثال، يتم إقران الفوتونات بدوران واحد مع جزيئات جديدة تسمى photinos فوتونوز بنصف دوران. في معادلة لاغراين، يجب عليك تضمين هذه الجزيئات الجديدة، ليس لضمان الحفاظ على التناظر الفائق فحسب، بل منْ أَجل أن تؤدي العمليات الحسابية لمختلف العمليات والتفاعلات إلى إجابات محدودة أيضًا. يمكن أن تكون كتل جسيمات SUSY هذه أعلى من 1 تيرافولت. ومع ذلك، فإن **مسرع هادرون الكبير** لم يكتشف حَتى الآن أي تصادم يشير إلى وجود هذه الجسيمات، أو يمكن توليدها بالطريقة المتوقعة.

التناظر الفائق

خلال الثمانينيات من القرن الماضي، تم تطوير طريقة جديدة تمامًا لتوحيد الجزيئات والقوى بفضل اكتشاف تناظر جديد محتمل في الطبيعة في العام 1978 يدعى Supersymmetry التناظر الفائق، الذي اكتشفه يوليوس فايس، وبرونو زومينو.

كان هذا التناظر الجديد قادرًا رياضيًا على تحويل الفرميونات إلى بوزونات. هذا يعني أن هناك، الآن، مخططًا رياضيًا لتوحيد ناقلات القوة (البوزونات) مع الجزيئات التي تعمل عليها (فيرمون). ما فعله التناظر الفائق أيضًا هو اقتراح وجود مجموعة جديدة تمامًا من الجزيئات. كل جسيم طبيعي مثل الكواركات، والإلكترونات، والغلونات، والفوتونات كان لها جزيئات شريكة تسمى: Squarks, selectrons, gluions and photinos.



الجسيمات الموجودة

جسيمات سوزي (نموذج MSSM)

هذه الجسيمات، التي تحتوي على كتل أكبر من 1 تيرا إلكترون فولت، أو أكثر، كانت أكبر بكثير من جزيئات النموذج القياسي العادية، وما كان ممتعاً أيضاً ومثير جداً هو عندما طُبِّقَ التحول التناظري الفائق مرتين على جسيم لتحويله من فيرمون عادي إلى بوزون تناظري ومِنْ ثَمَّ الرجوع إلى فيرمون عادي، فقد غير أيضاً موقع الجسيم في الزمكان. تضمن هذا النوع من الترجمة الصريحة للزمكان وحدة قياس مترية هي guv، إذ كان هذا يعني أن الجاذبية من خلال رمزية مترية الزمكان، إدخلَتْ تلقائياً في النظرية، ولهذا السبب، بُشِّرَ بالتناظر الفائق كنظرية موحدة بالفعل للجاذبية والمادة، مما أدى إلى استقصاء الرياضيات جاذبية التناظر الفائق أو الجاذبية الفائقة مع استخدام تطبيقات أخرى من التناظر الفائق في أواخر السبعينات والثمانينات. توسعت إصدارات مختلفة من النماذج القياسية بواسطة نظرية التناظر الفائق، وتم تطويرها أيضاً. ويجري البحث الآن عن جوانب النموذج القياسي التي أشارت إلى وجود فيزياء جديدة تتوافق مع النماذج القياسية التناظرية الدنيا والفائقة (MSSM) التي تضمنت الجسيمات التناظرات الجديدة.

التناظر الفائق: المبدأ الذي يقترح وجود علاقة بين الفرميونات، والبوزونات، وأن كل جسيم في مجموعة لها شريك متزاوج في مجموعة أخرى يهدف إلى سد الثغرات والتناقضات في النموذج القياسي.

مكتبة
t.me/t_pdf

تخمين قياس طاقة نظرية التوحيد الكبرى

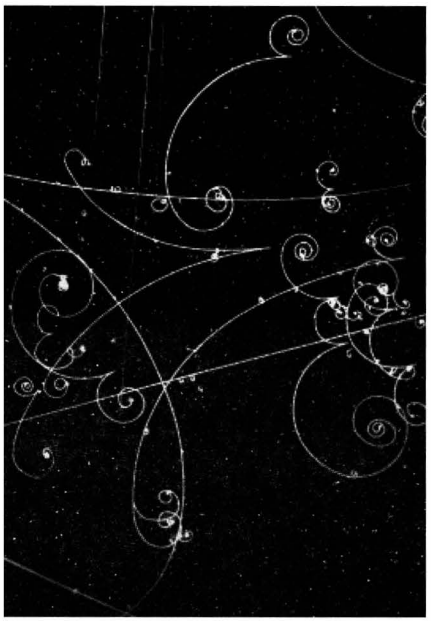
بناءً على النموذج القياسي فائق التناظر الأصغر، وجد ان التفاعل القوي يتغير مع الطاقة طبقًا إلى $Y = 5 - 1 , 1$ وتتغير القوة الكهرومغناطيسية طبقًا إلى $y = 63 - 2 , 4$ حَيثُ يمثل y العكس ناقصًا قوة القوى وهو خوارزمية الطاقة (مثل $= 5 \times$ يعني 10^5 كيغاواط). لأي طاقة ×، هل ستكون القوى متساوية؟ جعل المعادلات متساوية لبعضها البعض $(\times 63 - 4 , 2 \times = 5 + 10 , 1)$ وحل خوارزمية الطاقة للحصول على $= 17 \times$ كذلك في طاقة تقدر بـ 10^{17} كيغاوات للقوى لا بُدَّ أن تكون متساوية.

المادة ومضاد المادة

في منتصف العشرينات من القرن الماضي، اكتشفتْ القواعد الأساسية لميكانيكا الكم وسلوك الإلكترونات، وصارت نظرية رياضية دقيقة مناسبة لإجراء الحسابات، والتنبؤات لمجموعة واسعة من الظواهر الذرية، وخاصة في التحليل الطيفي. لكن هذه النظرية لم تُرضِ نظرية النسبية لأينشتاين. إذ طور الفيزيائي بول ديراك العام 1928 بين عشية وضحاها، نظرية الكم النسبية للإلكترون، لكن منْ أَجل الحفاظ على بعض التماثلات في الرياضيات، كان عليه أن يقترح جسيمًا شريكًا للإلكترون مطابقًا للإلكترون العادي شرط احتوائه على الإلكترون العادي لكن بدون شحنة كهربائية موجبة. كان المضاد للإلكترون المعروف حاليًا باسم البوزيترون قد اكتشف من قبل كارل ديفيد اندرسون في العام 1932. ومنذُ ذلك الحين، وجدت فكرة مضاد المادة طريقها إلى العديد من نظريات الفيزياء، والعديد من قصص الخيال العلمي، ووجدت لها تطبيقات عملية في التكنولوجيا، مثل مسح التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني (PET).

المادة المضادة

الإلكترون هو جسيم أولي يحتوي على $1,6 \times 10^{-19}$ كولوم من الشحنة الكهربائية، ونصف دوران كمي من وحدة دوران بلانك، وتبلغ كتلته $9,1 \times 10^{31}$ كغم. إن ما اكتشفه ديراك في الرياضيات هو جعل المعادلات النسبية تحصل على التماثلات الصحيحة، إذ انت بحاجة أن يكون لديك أيضًا جسيم شريك مع $1,6 \times 10^{31}$ كولوم من الشحن، ودوران كمي من وحدة بلانك للدوران من الدوران، وكتلة $9,1 \times 10^{31}$ كجم، وبعبارة أخرى، سيبدو تمامًا مثل الإلكترون، لكن بشحنة موجبة، عندما يتم دمج الإلكترون، والمضاد للإلكترون رياضيًا، فإنهما يؤديان إلى حالة كمية مع خصائص الفراغ، لكن تظهر فيها الطاقة $E = mc^2$ للجزيئات المدمجة كزوج من الفوتونات. بعبارة أخرى: يحرر الجمع بين الجسيمات، والجسيمات المضادة لها كمية من الطاقة من $E - 2mc^2$، أما الجسيمات الأخرى مثل النيوترون فلها جسيماتها المضادة الخاصة بها، لأنها لا تحمل أي شحنة، ويمكن أن تحتوي الكواركات أيضًا على مضاد الجسيمات، مضاد الجسيمات، لأنه إذا حمل الكوارك $+1/3$ شحنة كهربائية، فان المضاد للكوارك سيحمل $-1/3$ شحنة كهربائية. لم تفسد الكواركات إذا كان لون شحناتها مختلفًا. فمن المحتمل ان لا تتحلل إذا كان لون شحناتها مختلفًا على اية حال. مرة أخرى، لا بُدَّ أن يكون للحالة النهائية الصفات الكمية للفراغ بدون شحنة لون أو شحنة كهربائية في نهاية المطاف.



صورة لإلكترونات تتصاعد إلى اليمين وإلكترونات مضادة تتصاعد إلى اليسار أثناء تحركها عبر مجال مغناطيسي ثابت

الثابت الكوني للمادة وأجسامها المضادة

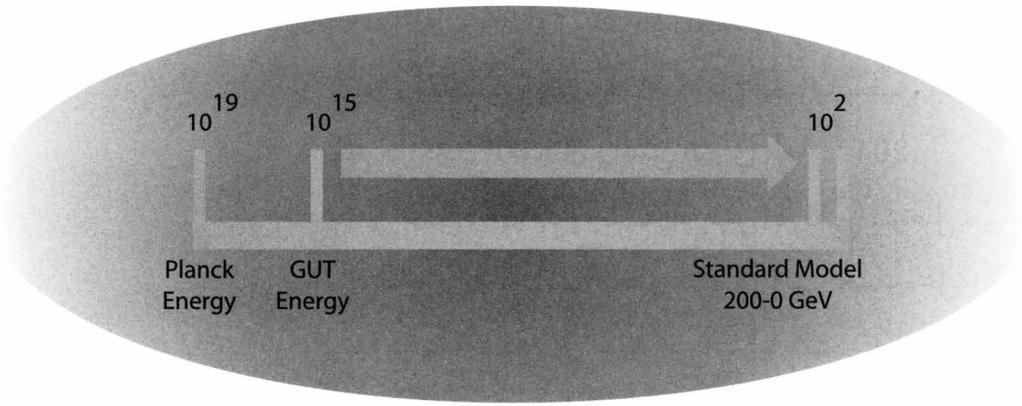
كان أحد أكبر التحديات الكونية هو معرفة سبب سيطرة المادة على النجوم والمجرات في الكون المرئي وسبب عدم وجود مقدار مساوٍ للمادة المضادة. كان من المعروف منذُ عقود، أن بعض التفاعلات النووية ليست في الواقع متماثلة بين المادة والمادة المضادة. في الآونة الأخيرة، يظهر لانحلال الجسيم الغريب المسمى (أب)، والجسيم المضاد له اختلافًا إحصائيًا يُفضِّل المادة في حوالي 6000 قياسات تم إجراؤها على مسرع هاردون العملاق وأعلن عنه في العام 2017.

يتكون Ab من ثلاثة كواركات هي سفلى، صاعدة ونازلة لها عمر افتراضي للتحلل، يبلغ 1,5 ثانية، ويؤدي إلى مادة أكثر من مضاد المادة في نتاجات التحلل النهائي التي تحتوي على اللبتونات. ومع ذلك، لا توجد عمليات نموذجية قياسية تؤدي إلى مزيد من الباريونات (الكواركات) مقارنة بمضادات البايرون (المضاد للكواركات) (التي هي حالات مستقرة). ولتكوين مادة أكثر من مضاد المادة، لا بُدَّ من كسر بعض العمليات الجديدة، أو التماثل، وهذا واحد من مفاتيح المشكلات التي تقود البحث عن الفيزياء إلى ما وراء النموذج القياسي، واملنا أخيرًا في مثل هذه الفيزياء الجديدة ان تفسر لنا سبب وجودنا هنا كمخلوقات تكونت من المادة.

صحراء الجزيئات

في تاريخ جميع المصادمات (المسرّعات) السابقة التي بدأت في الخمسينيات من القرن الماضي، دائمًا ما يتم العثور على شيء جديد لدفع تطوير قدراتنا الاستيعابية إلى الأمام. ففي السبعينات اكتشفت الكواركات وفي ثمانينيات القرن العشرين كان هناك اكتشاف جزيئات W وZ، في حين كان آخرها في العام 2012 عندما اكتشف بوزون هيجز. وقد وجد ان كل هذه الجسيمات تحت طاقة 200 غيغافولت. أما، الآن، حَيثُ أمضى مصادم (مسرع) هادرون العملاق سنة 2017 مشغلاً 13000

غيغافولت بصيغة منفصلة. لم يتم اكتشاف أي جسيمات، أو قوى جديدة في هذا المجال الجديد للطاقة على الرغم من تطور خطوات التحلل النظرية للجسيمات الهائلة بصورة رياضية محكمة. توفر معظم النظريات التي تتجاوز النموذج القياسي طرقًا لتوحيد القوة القوية بالقوى الكهرومغناطيسية



قد توجد صحراء شاسعة من غير اكتشاف جزيئات جديدة

والضعيفة. تبلغ الطاقة المتوقعة – حَيثُ يحدث هذا التوحيد – حوالي 1,000 تريليون غيغافولت. ووفقًا لحسابات نظرية التناظر الفائقة، يجب أن يتوفر عدد كبير من الجسيمات الجديدة أعلى من طاقة 1000 غيغافولت. ستكون كل واحدة من هذه شريكًا للخمس والعشرين جزيئة المعروفة بالنموذج القياسي للجسيمات الأكثر ضخامةً.

بعضٌ من هذه الجسيمات، مثل النيترالينو هي مرشحة لتكوين المادة المظلمة، والتي ستناقش في فصل لاحق. فوق كتل هذه الجسيمات الجديدة التابعة للتناظر الفائق – لا ينبغي وجود جزيئات جديدة لاكتشافها التي قد تتراوح من 100000 غيغافولت إلى طاقة (نظرية التوحيد الكبرى) لـ 1,000 تريليون غيغافولت. إذ من دون صحراء الجسيمات هذه، يكون بإمكان أي جسيمات في

هذا النطاق الشامل على التسبب في تحلل البروتون بشكل أسرع بكثير مما تتوقعه الحدود الحالية. على الرغم من أن صحراء الجسيمات هذه قد تمثل حاجة نظرية مهمة لتثبيت البروتون ضد التحلل، إلّا أنه تنبؤ تدميري للفيزياء التجريبية. فقد بلغت تكلفة العثور على جسيم واحد جديد 13 مليار دولار، وهو جسيم بوز هيجز، في مصادم هادرون العملاق. إذن كيف يمكنك إيجاد أموال لبناء مصادمات أكبر لاستكشاف صحراء الجسيمات الشاسعة والأكثر تكلفة؟

إذن، على الرغم من الاحتمالية المحبطة بعدم وجود جزيئات جديدة في هذه الصحراء، فقد يكون في الواقع سمة حيوية من سمات عالمنا المادي الذي يمنع صراحةً جميع المواد من التفكك. على عكس الصحراء الكبرى، التي يمكننا، على الأقل، الوصول إلى مناطق أكثر خصوبة، من الواضح لم تكن هناك واحات لجزيئات جديدة يمكن الوصول إليها بسهولة حَيثُ يمكن للفيزيائيين استهدافها لأجيال جديدة من المصادمات (المسرعات) الباهظة الثمن.

جسيمات ما بعد النموذج القياسي

النيوترالينو

يتطلب التناظر الفائق وجود جسيمات مشتركة للجسيمات الخمس وعشرون المعروفة. على أي حال فان كتل هذه الجسيمات هائلة. إن اغلب الجسيمات الواعدة هي المشابهة للنيترونات الاعتيادية التي تسمى النيوترالينو. يوجد العديد من الإصدارات المختلفة للنماذج الصغرى القياسية الفائقة التناظر والتي تختلف في الأعداد المضبوطة للجزيئات الجديدة التي تصدرها معتمدةً على الافتراضات المتنوعة للنماذج. تكون اخف انواعها المسماة N01 مستقرة وتتفاعل فقط مع المادة بواسطة القوى الضعيفة والجاذبية مما يجعلها مرشح تام للجزيئات الافتراضية الهائلة ضعيفة التفاعل وكذلك للمادة الباردة المظلمة الضرورية لحساب المادة الكونية المظلمة خصوصاً في الطريقة التي تسبب فيها التكوين التركيبي الواسع النطاق والعنقودي عبر الكون

جزيئات كلوزا كلاين

في عشرينيات القرن الماضي، وجد أوسكار كلاين طريقة لتوحيد قوى الجاذبية، والكهرومغناطيسية بإضافة بُعد خامس للزمكان. وهذا من شأنه أن يزيد عدد أبعاد الفضاء من ثلاثة إلى أربعة، فبدون هذا البعد الإضافي سيكون الفضاء محدود الحجم، وأصغر بكثير من المقاييس الذرية. كما أظهرت الأبحاث الإضافية لهذه النظرية الخمسية الأبعاد للنسبية العامة أن جميع الجسيمات الطبيعية ستكون درجات السلالم الواطئة التي تمثل فيها كل درجة إضافية جسيماً شريكاً مع كتل أعلى تدريجياً. تحتوي أخف هذه الجزيئات الجديدة على كتل تتراوح بين 500 غيغافولت و1 تيرا فولت. إذا كانت وفيرة من الناحية الكونية، فإن تفاعلاتها مع المادة الطبيعية بعد فترة وجيزة من الانفجار العظيم قد غيرت بشكل كبير أشياء مثل معدل توسع الكون، ونسبة الهيليوم البدائي إلى الهيدروجين

الأكسيونات

تعتبر التماثلات مهمة في الفيزياء لأنها تتعلق بالكميات المحفوظة. على سبيل المثال، إذا قمت بتبديل $-t$ إلى $+t$ في معادلات تصف طاقة الجسيم، فستحصل على نفس قيمة الطاقة. هذا هو انعكاس لحفاظ الطاقة المتعلقة بتناظر انعكاس الوقت. في الفيزياء النووية، إذا درست التفاعل بين الجسيمات عن طريق تغيير علامة الشحنات CI وتعكس التفاعل في مرآة تعادل، (P)، فسيكون التفاعل نفسه. بمعنى آخر، استبدل الجسيمات بالجسيم المضاد لها، وقم بعكس التفاعل من اليسار إلى اليمين. عندئذ يجب أن يكون التفاعل الناتج هو نفسه. وهذا ما يسمى CP مبدأ الثبات (عدم الانعكاس). يتم الامتثال لـ CP هذا من خلال جميع تفاعلات الجسيمات تقريباً، باستثناء تحلل جسيم يسمى K – meson (Kaonl) خلال التفاعل ضعيف. ومع ذلك، فهو سهل في التفاعل القوي. لتفسير هذا الاختلاف تم اقتراح جسيم جديد يسمى اكسيون. لقد تم والذي سيكون اقل ضخامة من النيوترينو بكتلة قد تتراوح بين 10 ميكروفولت، و1000 ميكروفولت، ستكون قادرة على تفسير المادة المظلمة بكتلة 5 مايكرو فولت

الجرافيتون

في سبعينيات القرن العشرين، اقترح الفيزيائيون فكرة التناظر الفائق كوسيلة لتوحيد الفرميونات، والبوزونات الأساسية في النموذج القياسي. نتيجة لهذا التماثل الجديد للطبيعة، يتشارك كل جسيم في النموذج القياسي مع جسيم جديد، بما في ذلك الجسيم الافتراضي الذي يسمى الجرافيتون. يسمى التناظر الفائق المطبق على توحيد الجاذبية مع قوى النموذج القياسي الأخرى بنظرية الجاذبية الفائقة. يحمل الجرافيتون دوران كمي كشريك فيرمون لجسيمات كرافيتون ثنائية الدوران في نظرية الجاذبية الفائقة. ويعتقد أن فيه كتلاً أقل من 100 غيغافولت، ويمكن أن تتحلل إلى افوتونات، ونيوتريونات، أو إلى بوزون، ونيترينو. من المتوقع أن تكون فترات تحلله طويلة جداً، حَتى بالمقارنة مع عمر الكون. من المتوقع أن تظهر هذه التحللات في الفوتونات كمخالفة في طيف إشعاع الخلفية الكونية. هناك مصدر كوني مثير للاهتمام بالنسبة للكرافيتينو كمرشح للمادة المظلمة في تحلل الجزيئات التي يعتقد أنها مسؤولة عن التضخم الذي حدث بعد فترة وجيزة من الانفجار العظيم (انظر الفصل 11)

النترونات الخاملة

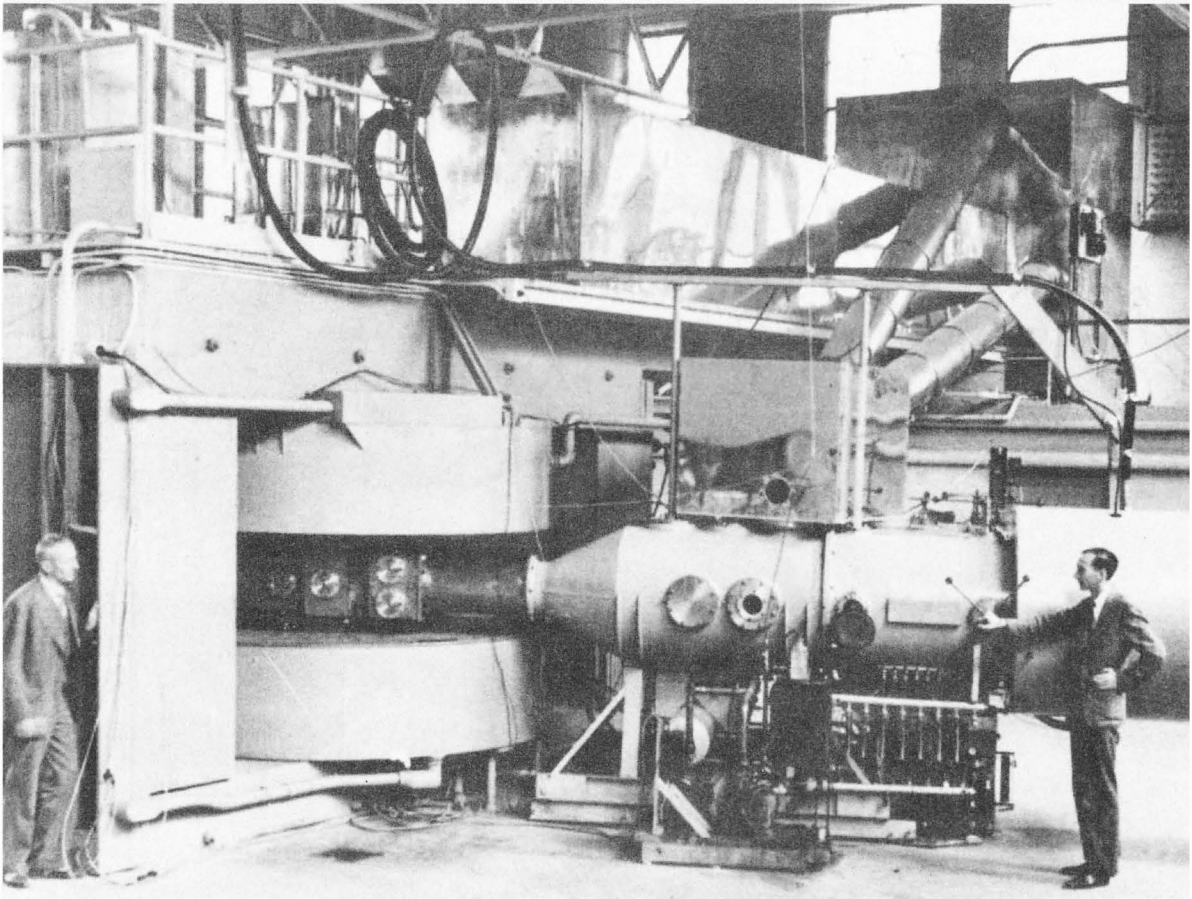
تشبه هذه النترونات الجزيئات المشابهة للنيوتريونات العادية، إلّا أنها تتفاعل من خلال جاذبيتها فقط، وليس من خلال جاذبية الأرض (ضعيفة التفاعل) التي تميز النيوترونات النموذجية القياسية. لا يوجد قيد معروف على عدد أنواع النيوتريونات الخاملة. حَيثُ تنشأ نظرياً، نظراً لتصنيف النيوتريونات النموذجية على أنها تقع على جهة اليسار. ويمكن ان توجد بفضل التناظر اعداد موازية للنيترينو على جهة اليمين. ستكون هذه النيتونات الخاملة وغير متفاعلة بطريقة التفاعل اليساري، ولأنها يمكن خلطها مع النيوتريونات العادية، فقد تم البحث في الحالات التي تولدت فيها النيوتريونات. في الآونة الأخيرة، في مسرع فيرمولاب في إلينوي، الولايات المتحدة الأمريكية، اكتشف فريق من الباحثين فائضاً من النيوترونات الإلكترونية المنتجة من النيوترونات الميونية عبر عملية تذبذب النيوترينو، والتي يمكن أن تكون مؤشرا غير مباشر على النيوتريونات الخاملة. إذا كان لهذه النيوتريونات كتلة تبلغ حوالي 7000 فولت إلكتروني، فيمكن أن تفسر المادة المظلمة، ويمكن أن تنتج ضوء شعاع سيني إضافي في طاقة 3,500 كيلو فولت. هذا، ولم يتم الكشف بشكل قاطع لحد الآن

البحث عن فيزياء جديدة

قامت فرق من الفيزيائيين العاملين في مستودعات البيانات لمصادمات تقدر بمليارات الدولارات بعملية غربلة المعلومات مقدرة بالتيرابايت لتحسين دقة النموذج القياسي، ومقارنة تنبؤاته بالعالم الحقيقي. لقد بدتْ طرق التنبؤ أن تكون دائمًا متوافقة مع الواقع، وتدفع نحو اختبار النموذج القياسي لطاقات ما تزال أعلى. لكن في مصادم هادرون الكبير في مركز البحوث النووية الأوروبية من بين تريليونات التفاعلات التي تمت دراستها حَتى طاقة 13,000 غيغا فولت، لم يتم رؤية أي فيزياء جديدة في النقاط العشرية الأبعد وفق تنبؤات النموذج القياسي منذُ العام 2012

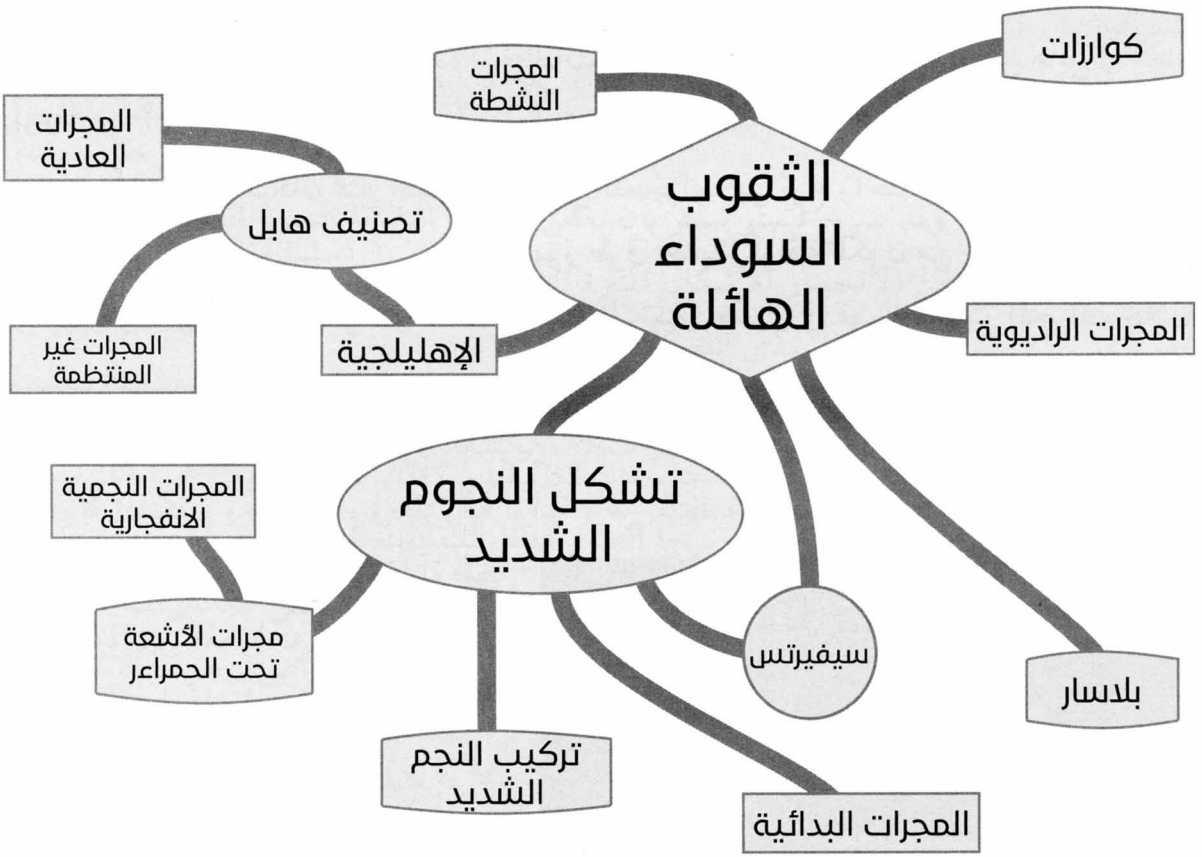
في الوقت الحاضر، لا يوجد لدينا منافس جيد مثل هذا لتوسيع النموذج القياسي الذي يتضمن التناظر الفائق. تم تطوير العديد من إصدارات النماذج القياسية الفائقة التناظر للحد الأدنى (MSSMs) رياضيًا، لكن معظم تلك الإصدارات تتفق على البدء بكتلة تبلغ حوالي ألف مرة من كتلة البروتون (1 تيرافولت). بالنتيجة سوف ترى أخف هذه الجزيئات كجزيئات يمكن الحصول عليها والتعامل معها بسهولة. على مدار الأعوام السبعة الأخيرة من تشغيل مسرع هادرون العملاق وباستخدام مجموعة متنوعة من التقنيات وأجهزة الكشف المتطورة، لم يتم العثور على أي علامة على التناظر الفائق، حَتى الآن، بشكل قاطع. وإن البحث عن الكواركات والغلينوز أكد عدم وجود شيء أقل من كتلة 2 تيرا فولت، وكذلك ليس هناك دليل على وجود مادة غريبة غير متماثلة في كتل أقل من 6 تيرافولت ولم يتم العثور على شريك ثقيل للبوزون W – اقل من 5 تيرا فولت. وبصورة مثيرة للقلق، يجب أن تظهر جسيمات التناظر الفائق أيضًا في العمليات الافتراضية التي تؤدي إلى حساب بعض الثوابت الفيزيائية الهامة، لكن القيم عالية الدقة لهذه الثوابت تتفق مع العمليات الحسابية التي لا تتضمن عمليات التناظر الفائق هذه. كما يمنح النموذج القياسي للتناظر الفائق ذو الحد الأدني علماء الفلك وسيلة جيدة لشرح المادة المظلمة، وينهي الموضوع على ما متوقع حدوثه. ولسوء الحظ،

لم يعثر مصادر هادرون العملاق على دليل يخص نيترونات خفيفة الوزن في نطاقات الكتلة المتوقعة للنموذج القياسي للتناظر الفائق ذو الحد الأدنى. وأخيرًا يبدو لنا أن الطبيعة تفضل النظريات البسيطة على النظريات المعقدة، إذن هل النظريات الحالية هي الأبسط بالفعل؟



كان 60 بوصة 152 سم/سيكلوترون البالغ طوله 152 سم (60 بوصة) في بيركلي، كاليفورنيا، الذي بدأ تشغيله في العام 1939، ويعتبر واحدًا من أوائل شركات تحطيم الذرة في العالم. تستمر الجهود في الوقت الحاضر لمعرفة المزيد عن المادة الأساسية للكون مع مصادم هادرون الكبير في سيرن

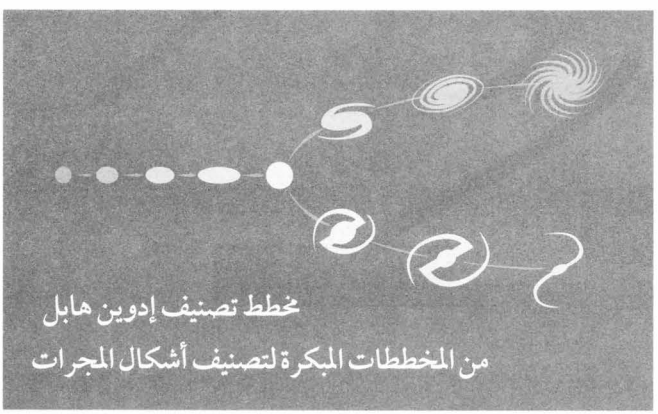
حديقة المجرات المحيِّرة



ظهور الدراسات المجرّيّة

تعتبر المجاميع المتنوعة من الأشكال المجرّيّة التي اكتشفها السير ويليام هيرشِل في أواخر القرن الثامن عشر وأوائل القرن التاسع عشر حدثًا فلكيًا مذهلاً، حَيثُ تشمل هذه المجاميع الأهليلجية (البيضوية) واللولبية من الأنظمة غير القياسية التي شوهدت في زوايا ووجهات نظر مختلفة. وفي الثلاثينات من القرن الماضي جُمعتْ مخططات كبيرة لأشكال المجرة باستخدام التصوير بالتلسكوبات (المجاهير). إذ سرعان ما إدخلت هذه المخططات إلى نموذج التصنيف من قبل إدوين هابل في العام 1936 على أساس تطور الأشكال التي رآها فقط. اقترح بعض علماء الفلك، على الرغم من أنهم مخطئين، أن هذه الأشكال تمثل التطور التدريجي للمجرات من نوع واحد (بيضاوي الشكل) إلى النوع الآخر (حلزونية الشكل). كما أدى ظهور طرق جديدة لمراقبة الكون من خلال التلسكوبات الراديوية بالأشعة تحت الحمراء والأشعة السينية إلى تغيير جذري في فهمنا لتكوين المجرات خلال النصف الثاني من القرن العشرين.

بحلول أواخر ثلاثينيات القرن العشرين، كانت السدم قد صنفت إلى الفئات الأربع الرئيسية: بيضاوية الشكل، وحلزونية، وحلزونية لولبية وغير منتظمة. كان هذا ما يزال بداية الدراسات المجرية حَيثُ تم تحديد مسافات قليلة فقط لعدد قليل من المجرات. كان بالإمكان الحصول على المعلومات الأولية عن الأشكال المجرية من الصور الفوتوغرافية لعدد صغير من الأنظمة القريبة فقط. حَتى مصطلح (المجرة) لم يتم تطبيقه على

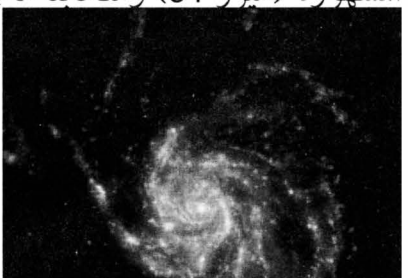


مخطط تصنيف إدوين هابل
من المخططات المبكرة لتصنيف أشكال المجرات

هذه الأشياء، أما المصطلحات الأخرى مثل جزيرة الكون، أو سديم خارج المجرة فقد كانت ما تزال شائعة.

كانت التقنيات الطيفية قد وصلت لتوها إلى النقطة التي يمكن فيها اكتشاف هذه السدم الخافتة بالضوء لتمييز كيميائيتها. تم التعرف على أطيافها على أنها مشابهة للضوء الصادر عن عدد لا يحصى من النجوم من النوع الشمسي التي ما تزال غير قابلة للذوبان حَتى من خلال أقوى التلسكوبات. كشفت أعمال دوبلر الرائدة للعام 1921 من قبل فيستو سلفر التي تضم 40 من هذه المواد عن سرعات هائلة، إذ كانت الاتجاهات سائدة بعيدًا عن المراقب، خصوصاً بالنسبة للأجسام ذوات السرعات الأعظم. وكان من بين اسرع هذه المجرات هو مجرة NGC584 إذ يترحك بسرعة 800 , 1 كم / ثانية. وقد صرح **فيستو سلفر** بأن بعض أشكال النظرية النسبية العامة تبين ضرورة توفر سرعات كبيرة من الانحسار للأشكال المنيرة البعيدة ... وربما يتغير الحال في النهاية عندما تعطينا هذه الملاحظات إشارة إلى مدى الفضاء نفسه.

بحلول العام 1955، أصبحت الصور المذهلة للعديد من المجرات متاحة بشكل معتاد بتفاصيل كافية لفصل النجوم في الأجسام القريبة مثل ميزر 33 وميزر 101، بالإضافة إلى مجرة أندروميدا المشهورة (ميزر 31) وسحابتا ماجلان. نتيجة التطور الهائل للتقنيات التصوير الفوتوغرافي ازدادت عدد المجرات المعروفة، ووفقًا لبعض التقديرات المستندة إلى مناطق صغيرة من السماء، تم افتراض وجود أكثر من 75 مليون مجرة. ويتراوح عددها الآن بين 100 و200 مليار مجرة في الكون، استنادًا إلى صورة تسمى حقل هابل الدقيق جدًا (القرن XDF).



صورة حديثة لمجرة إم 101 دولاب الهواء (مجرة حلزونية نموذجية)

وبحلول منتصف العشرينات تمكنت طرق بعيدة، مثل علاقة نجم Cepheid وقانون هابل من إيجاد مجرات على بعد 700 مليون سنة ضوئية، في حالة علاقة هيدرا، وبسرعة (ركود) تبلغ 38000 كم / ثانية. يوصف الآن بصورة مؤكدة ان الانفجار الكبير هو تفسير لسرعات الركود المذهلة. ومن المعروف من دراسات دوبلر أن بعض المجرات مثل اللوالب الدورانية؛ إنها تحتوي على العديد من النجوم مثل شمسنا. وتحدد أشكالها التفصيلية إلى حد ما بواسطة موقع السحب الغامضة بين النجوم. لكن الأبعد من ذلك، لا يُعرف الكثير عن ديناميكياتها، أو تطوراتها.

فيستو سيلفر

وُلد سيلفرفي العام 1875 في ميلبيري، إنديانا، وأكمل دراسة الدكتوراه في جامعة إنديانا في العام 1909. في العام 1912، كان أول عالم فلكي يستخدم التقنيات الطيفية للكشف عن حركات دوبلر في المجرات، وأول من استخدم دوران المجرات في العام 1914. ووظف أيضًا كلايد تومبو، الذي اكتشف في النهاية بلوتو. استمر سيلفر في الشراكة مع إدوين هابل، الذي كان يقيس المسافة إلى المجرات باستخدام النجوم المتغيرة. حَيثُ أظهرت بياناتهما المنفصلة توسع الكون، والعلاقة بين السرعة، والمسافة المعروفة باسم قانون هابل، على الرغم من كان من المفترض أن يطلق عليه اسم قانون هابل – سيلفر.

حقل هابل الدقيق جداً

من خلال الجمع بين الصور التي تم الحصول عليها بواسطة تلسكوب هابل الفضائي لمنطقة صغيرة في كوكبة فورناكس (وهي رقعة سماء أقل من عُشر مساحة القمر البدر) على مدى فترة عشر سنوات، حدد علماء الفلك 5500 مجرة. تحتوي هذه الصورة المدمجة، والمعروفة باسم حقل هابل الدقيق جداً على صور لمجرات مجردة بعيدة للغاية نراها عندما كان الكون أقل من 5 في المائة من عمره

الحالي. تمثل هذه المنطقة جزءاً واحداً فقط من 30 مليوناً من السماء بأكملها. وبناءً على هذه الصورة، يقدر علماء الفلك أن الكون ككل قد يحتوي على ما يصل إلى 100 – 200 مليار مجرة.

مجرات الراديو Radio Galaxies:

قد فتح الكشف عن الانبعاثات الراديوية من درب التبانة من قِبل عالم الفلك الإذاعي الأمريكي الرائد غروت ريبر في العام 1944 نافذة جديدة للكون. ومنذُ ذلك الحين، تم إنشاء العديد من التلسكوبات الراديوية الجديدة والأكثر حساسية. بالإضافة إلى البث الراديوي من درب التبانة، والتي يمكن الآن تعيينها في العديد من نجوم الراديو بالتفصيل، تم اكتشاف العديد من نجوم الراديو. كان العديد من هذه النجوم مجرد نقاط لضوء الراديو في السماء، ولكن يمكن فصلها، وتعيينها باستخدام مقاييس التداخل الراديوي حَيثُ يتم دمج تلسكوبي راديو أو أكثر عبر القارات لاكتشاف البنية والشكل.

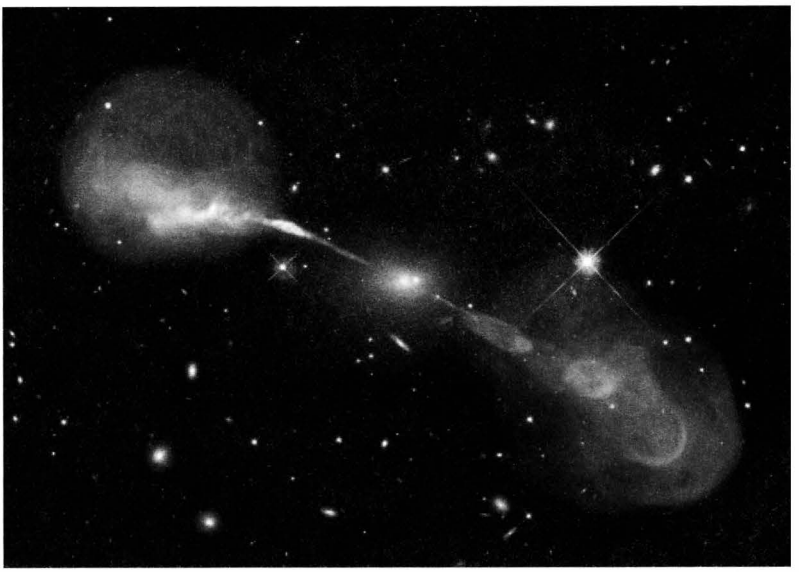
واحدة من أقوى مصادر الراديو خارج المجرة، Cygnus (A) وتسمى أيضًا 405 (C3)، هو مصدر راديو مزدوج يقع على بعد حوالي 600 مليون سنة ضوئية، حَيثُ يتم فصل زوج على شكل (رؤوس الدمبل) بحوالي 500000 سنة ضوئية. والأكثر من ذلك، تم العثور على مركز مصدر الراديو هذا ليتزامن مع زوج مشوه من المجرات المتصادمة وذلك من خلال البحث عن الصور الفوتوغرافية باستخدام تلسكوب بالومار 508 سم (200 بوصة)

في عدد متزايد من الحالات، يمكن العثور على مادتين بصريتين لهذه المصادر الراديوية التي ظهر فيها مصدر ضوئي كبير واحد فقط متخالف من المادة البصرية. في العديد من الحالات مثل (برج العذراء) M 87 A)، يمكن رؤية (تدفق ضوء) نابع من نواة المجرة في اتجاه أحد فصوص البث الراديوي. بمرور الوقت، وبدقة عالية، يمكن رؤية سحابة البلازما المفردة (التي تُسمى البلازمونات) عبر عدة سنوات ضوئية، وهي تنتقل عبر اسفل مخرج غيوم بلازما على الرغم من

خروجها من مصدر غير مرئي في قاعدة المخرج، وفي قلب المجرة المضيفة. وغالباً ما تم قياس سرعات هذه البلازمونات لتكون كسوراً كبيرة من سرعة الضوء، ما يجعلها من أسرع الظواهر الفيزيائية التي شوهدت في الكون.

الكوازارات

في العام 1963، مع استمرار البحث البصري عن مصادر الراديو، وجد عالم الفلك آلان ساندیج جسماً واحداً يدعى 3C48، ليس له سوى نجمة زرقاء خافتة في مركزه، تمكن الفلكيان جيسي غرينستين، وتوماس ماثيوز من الحصول على طيف لهذا الكائن واكتشف أن خطوطه لا معنى لها. في نفس العام، اكتشف مارتن شميدت، وجون بيفرلي أوك النظير البصري لـ 3C273 وأشار عملهما الطيفي إلى تحول أحمر (الانزياح الأحمر) عند $z = 0,16$، ما يعني سرعة الركود 16 في المائة من سرعة الضوء. كان شميدت هو الذي فسّر بشكل صحيح تحول الطول الموجي على أنه خطوط



صور مصدر الراديو **Hercules A** بأطوال موجية بصرية (**HST**) وراديو (**VLA**)

ذرية طبيعية تحولت إلى أطوال موجية نتيجة التمدد الكوني. أصبح من الممكن الآن، أيضاً، فهم الطيف السابق 3C48 إذا تم تحويل أطوال موجات الطيف إلى اللون الأحمر بحوالي 37 في المائة، ما يعني وجود سرعة الركود بما يقارب 110,000 كم / ثانية. تم صياغة مصطلح (كوازار) من قبل عالم الفلك هونغ يي تشيو في مايو العام 1964 في مقال نشر في مجلة (فيزياء اليوم).

خلال الستينيات من القرن العشرين، كان البحث عن مزيد من الكوازارات، مما أدى إلى كتالوج (فهرس) يضم حوالي 40 مثالاً بحلول العام 1968. في الوقت الحاضر هناك، أكثر من 200,000 كوازارات معروفة أكثر من **مسح سلون الرقمي للسماء** Sloan Digital Sky Survey. إن معظم أطياف الكوازار المرصودة لها تحولات حمراء بين z = 0,056 و 7,085. بتطبيق قانون هابل، ونظرية النسبية العامة على هذه التحولات الحمراء، يمكن إثبات أن بعدها بين 600 مليون و 28 مليار سنة ضوئية (على وفق التحرك المزدوج). وبسبب المسافات العظيمة البالغة إلى الكوارازات والسرعة المطلقة للضوء، فإنها مع محيطها الفضاء تظهر كما لو أنها موجودة في التاريخ المبكر جدًا للكون. إن أبعد الكوارازات البالغ بُعدها J1342 + 0928، في التحول الأحمر البالغ z = 7,54 ووجدت عندما كان عمر الكون 700 مليون سنة. نحن نشاهد الضوء القادم من هذا الجسم عندما كانت النجوم، والمجرات الأولى في طور التكوين. في الوقت الذي رُسمتْ فيه الاكوازارت في كل تحول أحمر، قام الفلكيون بتحديد عصر تكون الكوارزات التي ظهرت بين التحول الطيفي الأحمر لـ Z = 0,5 و 3,0 بما يقارب اثنين إلى خمسة مليارات سنة.

في الوقت الحاضر، تبدو آلية تشكيل الكوازارات ليست فعّالة كما كانت من قبل. لذلك، توجد أمثلة قليلة في جزئنا الخاص من الكون. في الحقيقة، يبقى 3C273 بتحول أحمر قدره z = 0,16 أقرب كوازار معروف على مسافة 2,4 مليار سنة ضوئية وقد يصل لمعانه إلى أكثر من أربعة تريليونات من النجوم مثل شمسنا. ومع ذلك، فهو ليس أكثر الكوازار إشراقًا، حَيثُ ينتج الكوازار SDSS

J0100 + 2802 الذي تم اكتشافه في العام 2015 عند التحول الأحمر z = 6 , 3 طاقة تربيعية تبلغ 430 تريليون مرة، ونرى ضوءها عندما كان عمر الكون 900 مليون عام فقط.

الكوازارات: أو مصادر الراديو النجمية، هي مصادر هائلة للطاقة الراديوية الموجودة في نواة المجرات البعيدة قد تحتوي على ثقوب سوداء ضخمة.

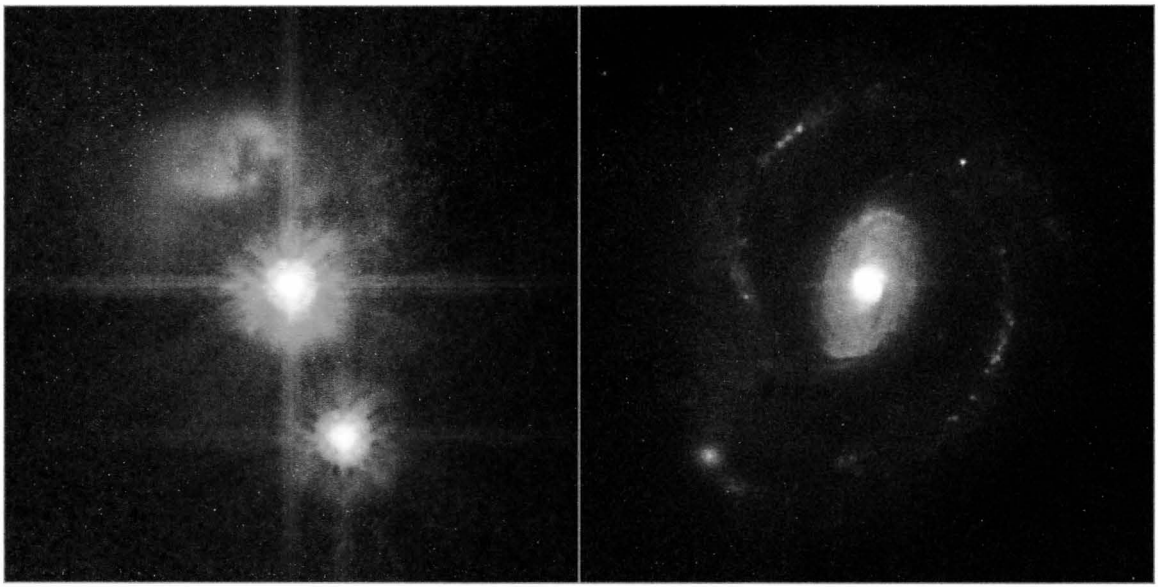
إنتاج الطاقة من كوازار

ينتج الكوازار، عادة، حوالي 1037 أُرغات من الطاقة، تبلغ هذه الكمية على مدار عام 1057 x 3 اورغات بالسنة. من معادلة اينشتاين $E = mc^2$، تصل كمية الكتلة التي يجب إزالتها لتوفير هذه الطاقة $3\times10^{45}/(3\times10^{10})^2=3\times10^{33}$ غم / سنة. نظرًا لأن شمسنا التي لها كتلة 21033 x غم، وهذا يساوي حوالي 5 , 1 كتلة شمسية كل عام. يمكن تدوير الثقوب السوداء حوالي 42 في المائة فقط من الكتلة المتبقية إلى طاقة. وهذا يعني أن حوالي ثلاث كتل شمسية كل عام على شكل نجوم، وغاز ومواد أخرى، يجب امتصاصها من خلال ثقب أسود هائل لتفسير لمعان الكوازار في حال دوران الثقب الأسود الفائق الكتلة. يُعتقد أن هذا هو الحال بشكل عام من خلال الدراسات النظرية العملاقة لأحداث دمج الثقب الأسود.

ERG: كمية الطاقة التي تنفقها قوة واحدة داين (وحدة القوة) تعمل على مسافة 1سم.

مسح سلون الرقمي للسماء

هو المسح الطيفي الذي تم إجراؤه بشكل أساسي في الأطوال الموجية المرئية، والأشعة تحت الحمراء، والأشعة فوق البنفسجية، وأنتج صورًا ثلاثية الأبعاد مفصلة بنسبة 35 في المائة من السماء. وقد حسب التحول الأحمر من الكوازارات، والمجرات الحمراء المضيئة، من بين الظواهر السماوية الأخرى. وقد استخدم تلسكوبًا بصريًا بطول 2,5 سم واسع الزاوية، ذا 5 أمتار (8 أقدام) حَيثُ يقع في مرصد أباتشي بوينت في نيو مكسيكو.



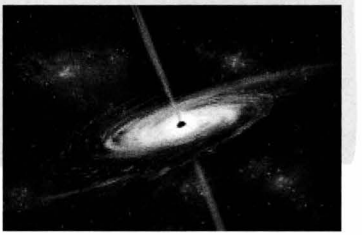
عرض لتلسكوب هابل لكوازار، يظهر تفاعل المجرات

المجرات النشطة

منذُ الستينيات، تم اكتشاف مجموعة مذهلة من المجرات الغريبة. اظهرت العديد منها مؤشرات النشاط في نواتها الكثيفة. تكشف الدراسات عن هذه المجرات النشطة في مجموعة متنوعة من الأطوال الموجية من الراديو والأشعة تحت الحمراء إلى الأشعة السينية ثلاثة أنواع منفصلة من النشاط

مجرات تفجر نجمي

اظهرت مؤشرات على وجود أعداد كبيرة من النجوم الضخمة التي يتم تكوينها في فترة زمنية قصيرة، واظهرت أيضاً دليل على العديد من أحداث المستعرات الأعظم كما إنّ بعض هذه النجوم ينهي حياتها

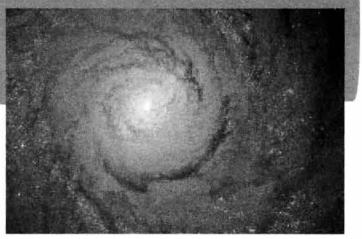


مجرات زايفرت

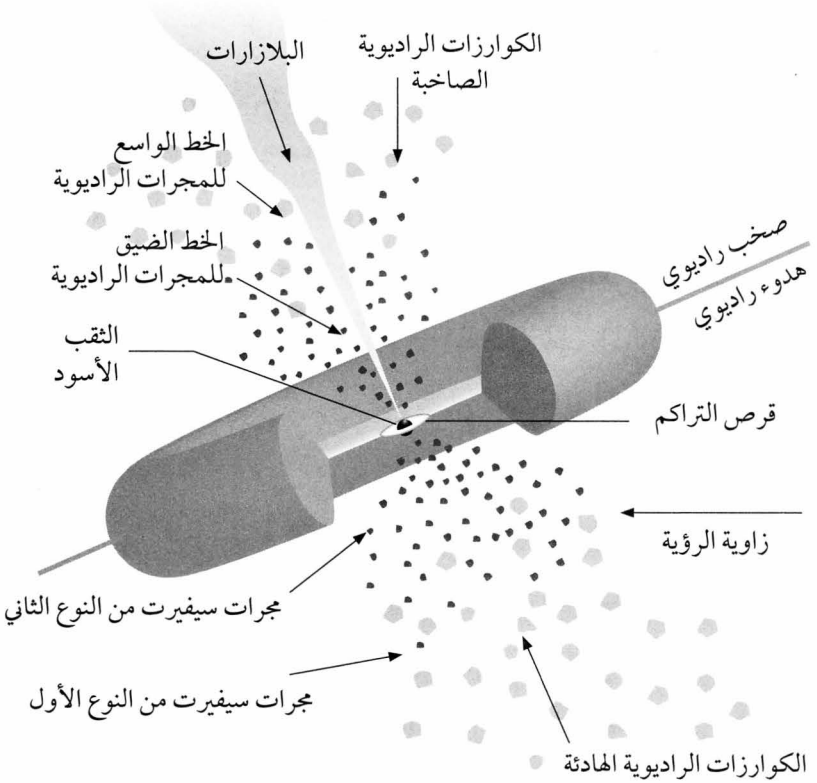
هي مصادر قوية مدمجة من الإشعاع الراديوي والإشعاع تحت الحمراء، وعادة ما توجد في نوى المجرات (اللولبية). وغالباً ما تحتوي نواتها على غاز مؤين ينتقل بسرعة آلاف الكيلومترات، كما لو كان يتمدد من مصدر مركزي قد أخرج هذه السحب

مجرات النجوم الضخمة ومجرات المتوهجات

هي مجرات ذوات نواة تشبه النجوم الساطعة، وتختلف في السطوع الضوئي، والراديوي على مدار أشهر، أو سنوات. ميزتْ أول مجرات من النوع اللولبي من هذا النوع بشكل خاطيء كنجمة عادية، كما لو كانت نجمة متغيرة في مجرة درب التبانة، وتكون أكثر تبايناً في أوقات زمنية قصيرة كالساعات، وتنتج أشعة جاما أيضاً



لقد وجدت دراسات المجرات النشطة أن العديد منها يرتبط بالمجرات المتصادمة التي توفر فيها التصادمات العنيفة بين السحب النجمية الحافز لتكوين العديد من النجوم الضخمة. بالنسبة إلى المجرات النشطة الأخرى مثل مجرات زافيرت والمتوهجات، يُعتقد أنها تمثل عملية شائعة، لكن يُنظر إليها من زوايا مختلفة من الأرض. تحتوي هذه المجرات في نواتها على ثقوب سوداء ضخمة والتي تستهلك المادة من قرص تراكم مجاور. عند النظر إليها من الحافة ستشاهد ظاهرة شبيهة بجزيرة سيفرت، لكن عند النظر إليها من الأمام فإنك تنظر إلى أسفل محور طائرة نفاثة عالية السرعة التي يتغير سطوعها بسرعة لإنتاج ظاهرتي: مجرات النجوم الضخمة ومجرات المتوهجات.



يمكن لنظام مادي واحد عرض العديد من أنواع النشاط المختلفة، اعتمادًا على زاوية المشاهدة

الثقوب السوداء

إن أحد التنبوءات الغريبة المتحصلة من النظرية النسبة العامة هي أن المادة المضغوطة بصورة عالية تؤدي إلى تشويه الزمكان وحبس الضوء. تسمى هذه المواد المضغوطة **بالثقوب السوداء**، وهو مصطلح يرجع إلى عالم الفيزياء جون وييلر في العام 1967، حَيثُ يمكن أن تكون تلك الثقوب بأي حجم بدءًا من الثقوب السوداء المجهرية إلى الكتل السوداء النجمية، وتشمل، أيضًا، الثقوب السوداء الهائلة التي تعادل ملايين أو مليارات المرات كتلة النجمة العادية. ويرجع هذا إلى أن الجاذبية ليست لها طبقة عمليات مفضلة، لذلك فهي ضرورية لضغط المادة لكثافة مناسبة لهذه المواد لتشكيل أي كتلة فحسب. على الرغم من اشتقاقها من نظرية اينشتاين (النسبية العامة) فإنه لم يتنبأ بوجود تلك الثقوب السوداء، لكن تم اكتشافها في رياضيات نقطة الكتل من قبل كارل شيوارزجايلد في العام 1916. ما تم إيجاده في مسافة معينة محاطًا بهكذا كتل مضغوطة جعل المعادلات تتنبأ بحبسٍ تام للضوء. يسمى هذا بقطْر **شيوارزجايلد.**

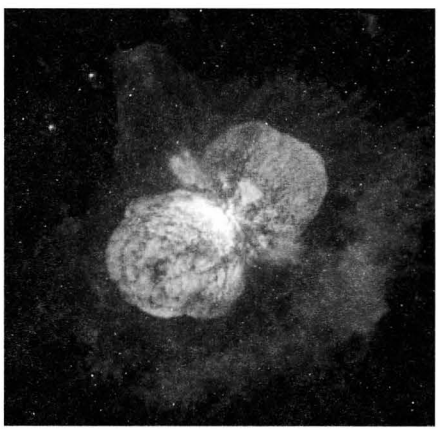
بين الأعوام 1958 و1967 – وهي الفترة المعروفة بالعصر الذهبي للثقوب السوداء – استطلع الفيزيائيون، والرياضييون السلوك المفصل لهذه المواد لعدة انماط بضمنها تدوير الثقوب السوداء وشحنها والإمكانيات الأخرى. وقام الفيزيائيون أيضًا بالكشف عن كيفة تشكيل هذه المواد من الكون في الوقت الحاضر كنتيجة لتطور النجوم الطبيعية.

أما بالنسبة للنجوم التي تبلغ كتلتها ما يقارب أكثر من خمسة أضعاف كتلة شمسنا، فإن لب النجم العملاق الأحمر يكون مقاربًا لكثافات النجم الأبيض. وبعد تطور النجم إلى المجرة الكوكبية، وفقدان غلافه الغازي الخارجي فإن النجم الأبيض المتسم بالبرودة يبقى إلى الخلف.

مثل 57 في مجرة (ليرا). وقد يصبح النجم هائلاً بالنسبة للنجوم ما وراء كتلة عشر كتل تم رصد هذه الحالة في بعض المجرات شمسية. أما البقايا التي تتركها خلف الانهيار اللبي فيمكن أن تكوّن نجومًا نيترونية ثابتة، إذا لم تترك أكثر من ثلاث كتل شمسية بعد الانفجار. وتصبح النجوم الهائلة أكثر من 20 كتلة شمسية فائقة أيضًا، لكن تترك خلفها تلك الأكبر حجمًا لتشكل نجومًا نيترونية ثابتة، وكذلك الانهيار مباشرة إلى الثقوب السوداء المتبقية. تستطيع هذه الثقوب النجمية السوداء تشكيل كتل بأضعاف أقل من كتلة شمسنا إلى ما يقارب 20 ضعفًا للنجم الهائل المعروف الموجود في الوقت الحاضر كتلك النجوم الموجودة في مجرة ايتا كارينا.

يبلغ حجم النجوم الأكثر ضخامة، والتي تُعَدُّ بالمئات في متوسط حجم مجري 100 ضعف كتلة شمسنا. حَيثُ تنفجر هذه النجوم في عملية معقدة تساعد على ظهور الثقوب السوداء، بكتل تتراوح من 10 – 50 كتلة شمسية جنبًا إلى جنب مع توهج إشعاع كَاما. وبإمكان الفلكيين التحري عن هذه الأشعة (كأما) التي تنفجر من مجرات تقع على بعد مليارات السنين الضوئية من الأرض. فقد تظهر مرة كل يوم، وتمثل أقوى انفجار معروف للطاقة في الكون المرئي.

أقراص التراكم



لأن الجاذبية طبقة حرة، فإنه لا يوجد حدّ أعلى لكتلة الثقوب السوداء. على أي حال، لأن الكتلة تزيد، فإن البيئة حول الثقوب السوداء تصبح أكثر تعقيدًا. حَيثُ تؤثّر الثقوب السوداء جاذبيًا في الغاز النجمي، والنجوم التي تقع على بعد مليارات الآميال من موقعها. وبسبب الحفاظ على الزخم الزاوي، يتخذ تراكم المادة أولاً، مستقرًا في قرص تراكمي

دوراني هائل، حَيثُ من الممكن أن يبلغ دورانه آلاف الكيلومترات في نصف القطر بحجم مشابه لحجم نظامنا الشمسي، أو حَتى سنوات ضوئية عبر الثقوب السوداء. تعمل هذه الأقراص كنظام شمسي صغير يبنى عليها قانون كيبلر (الذي تطرقنا إليه سابقًا)، الذي يعطي علاقة بين المسافة، وفترة الدوران، إلّا أن هذه الأقراص ليست ثابتة. بدلاً من ذلك، وعن طريق الاحتكاك، تسير المادة بثبات إلى الامام من موقع الإمساك بها، حَتى وصولها أفق الثقب الأسود في مركزها، وتختفي بعد ذلك.

الزخم الزاوي: هو مستوى حركة الدوران في جسم يدور، وهذه الحركة المحفوظة (أي تبقى بنفس الحالة) ما لم تلقَ تأثيرًا من قوة أخرى.

أفق الحدث: هو حدّ للثقب الأسود، الذي لا يمكن لأي شيء أن يهرب خلفه حَتى الضوء.

قرص التراكم: هي بقايا النجوم، بضمنها الغاز، والغبار، التي تم سحبها إلى شريط مضغوط لمادة تدور حول ثقب اسود.

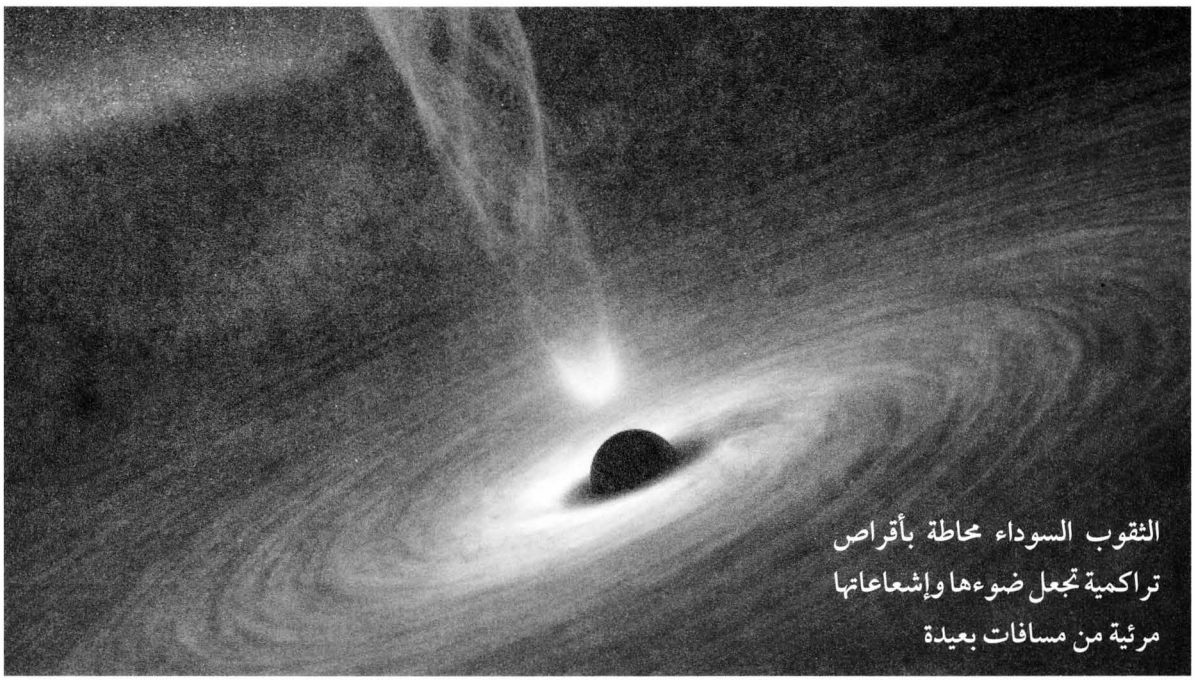
نتيجةً لتدفق المادة إلى الأمام وتحويلها الطاقة الجاذبية الكامنة إلى طاقة ميكانيكية، فإن قرص الدوران يسخن بصورة ثابتة كلما اقتربت من الثقب الأسود ربما تكون درجة الحرارة أقلّ من مئات الكيلواط خارج حدود الثقب الأسود، لذلك تشتعل المادة الأولية بقوة في أمواج طولية تحت الحمراء. لكن من المحتمل ان تصل درجات الحرارة إلى أكثر من 100000 كيلواط بالقرب من الثقب الأسود مكونةً مصدر إشعاع سيني قوي. ويمكن الكشف عن كتلة الثقوب السوداء مع أقراص التراكم كمصدر للإشعاع السيني، حَيثُ تصبح الثقوب السوداء مصادر راديوية قوية عندما تتفاعل بلازما الأشعة السينية مع المجالات المغناطيسية في أقراص التراكم لتوليد موجات راديوية.

من هذه العملية المفهومة بصورة مبسطة، تساعد هذه الأقراص على توازي (التركيز أو المحاذاة) البلازما إلى أشعة عمودية الطاقة على الأقراص. تظهر هذه الأشعة على شكل نفاث لمجرى المادة، وبإمكانها أيضًا، أن تساعد على ظهور مصادر راديوية قوية في مسافات عظيمة من المجرة المضيفة.

الثقوب السوداء الهائلة

في العام 1964 وبعد فترة قصيرة من اكتشاف أول الكوارازات، اقترح ايدون سالبتر، ويكوفو زيلدوف بأن الطاقة العظمى للكوارازات كانت على شكل ثقب أسود هائل محاط بقرص دوران.

منْ أَجل توليد ترليونات الإشعاعات الشمسية للطاقة تحت الحمراء للكوارازات، فإن نجمًا كاملاً مثل شمسنا كان لا بُدَّ له من أن يفرض كل سنة لتحرير كتلة الطاقة المتبقية عن طريق معادلة اينشتاين. لم يُؤخَذ هذا المقترح بجدية إلى أن توفرت العديد من الأدلة في السبعينات، والثمانينات،



الثقوب السوداء محاطة بأقراص تراكمية تجعل ضوءها وإشعاعاتها مرئية من مسافات بعيدة

حَيثُ لم يستعرض هذا الدليل حقيقة أن الثقوب السوداء موجودة فحسب، لكن أثبت أن إنتاج الطاقة في العديد من المراكز المجرية النشطة يمكن أن يوضح، ببساطة، وجود الثقوب السوداء بملايين أضعاف كتلة شمسنا. لم يثبت هذا الدليل وجود ثقوب سوداء فحسب، لكن أثبت أيضًا أن إنتاج الطاقة الإلكترونية في العديد من النوى المجرية النشطة المختلفة لا يمكن تفسيره ببساطة من خلال الثقوب السوداء الهائلة بملايين المرات من كتلة شمسنا. ولا بُدَّ من أن يكون للثقب الأسود، في قلب (Cygnus A) أحد أقوى مصادر الراديو في السماء، كتلة بما يقرب من ثلاثة تريليونات من كتلة شمسنا لتفسير لمعان هذا المصدر. هناك عدد من الكوازارات مثل 3C 175 لها تدفقات بارزة تربط مصادر راديو مزدوجة، لذلك يمكن أيضًا ربط العلاقة بين الثقوب السوداء الفائقة في الكوازارات بأجسام مماثلة تشغل قلب المجرات الراديوية.

إدوين سالبيتير

كان إدوين سالبيتير عالم فيزياء نمساويًا – أمريكيًا، وُلد في فيينا العام 1924، وهاجر مع عائلته إلى أستراليا، حَيثُ أكمل درجة البكالوريوس والماجستير بحلول العام 1945. وقد حصل على شهادة الدكتوراه في جامعة برمنغهام، إنكَلترا في العام 1948، وقضى بقية حياته في جامعة كورنيل. قدم مساهمات مهمة في الفيزياء النظرية ونظرية مجال الكم وكذلك الفيزياء الفلكية. وقد كان أول من اكتشف أن النجوم عالية الكتلة يمكن أن تحول الهليوم إلى كربون في عملية Triple – Alpha. وفي العام 1964 اقترح، هو، ويوكوفو زيلدوفيج، بشكل مستقل، أن الثقوب السوداء الضخمة محاطة بأقراص مدارية من مادة تسمى أقراص التراكم. من هذه الأقراص، يتم توليد كميات هائلة من الإشعاع مع لمعان كافٍ لتفسير الكوازارات.

نواة المجرة النشطة: هي المنطقة في وسط مجرة ذات لمعان أعلى.

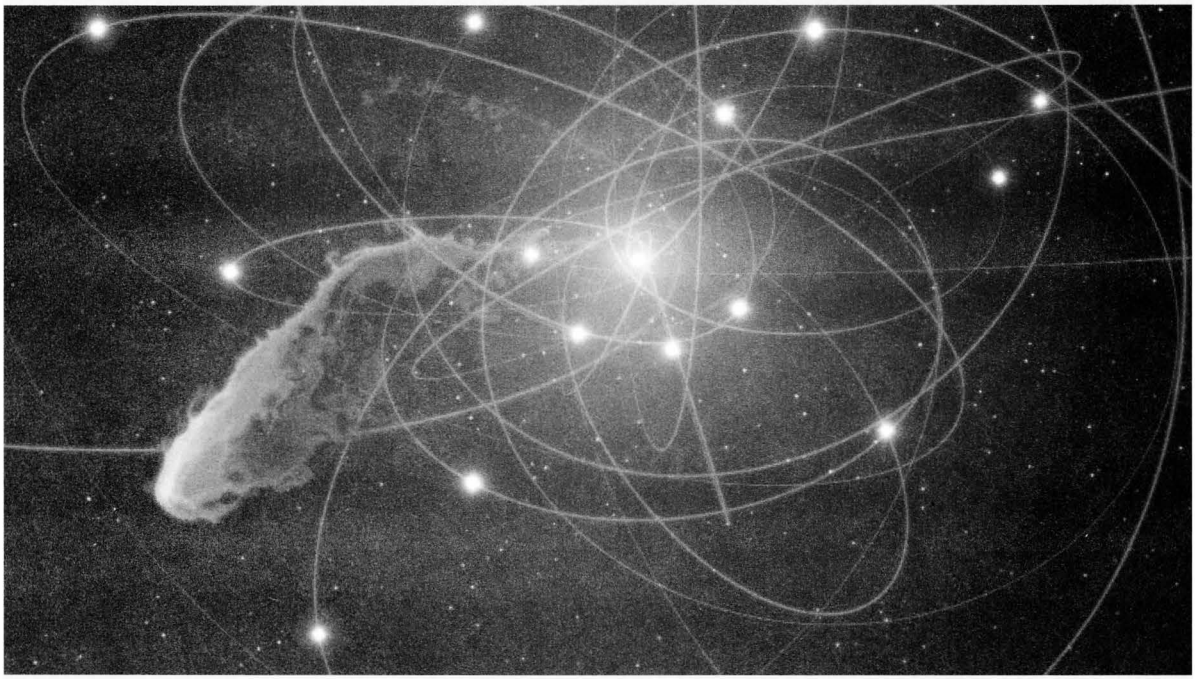
حالما بدأ تلسكوب هابل الفضائي دراساته حول الكوازارات، أظهر التصوير المباشر أن ظاهرة الكوازار كانت ظاهرة نووية بين المجرات التي يمكن فصلها، والتي أظهرت، في معظم الحالات، أدلة على حدوث تصادم مستمر. وقد دعم هذا فكرة النظرية المتمثلة في أن الثقوب السوداء الفائقة الكتلة تشكلت عندما تصادمت المجرات، ودمجت ثقوبها السوداء النووية لتشكيل ثقوب سوداء أكثر ضخامةً. بالإضافة إلى ذلك، أصبح من الواضح من دراسة الثقب الأسود الهائل في مركز درب التبانة، أن كل المجرات الكبيرة لها ثقوب سوداء مركزية في معظم الحالات تكون ساكنة (في حالة سبات)، لكن يمكن أن تتوهج إلى مجرات باسم زيفيرت، أو لمعان شبيه بالكوازارات عند اصطدام المجرات مسببةً الثقوب السوداء مع وقود الجديد.

علم الفلك الراديوي

كان الوصول الوحيد للبشر لآلاف السنين إلى الكون من خلال تلك الحزمة الضيقة من الأطوال الموجية التي تسمى الطيف المرئي، والتي تمتد من الضوء الأزرق الموجي القصير، والأشعة فوق البنفسجية إلى الأطوال الموجية الأطول للضوء الأحمر. كان هذا في نطاق الطيف الكهرومغناطيسي الكلي بمثابة حصر موسيقاك بمفتاح واحد على بيانو. بعد اكتشاف جيمس كليرك ماكسويل للموجات الكهرومغناطيسية، كانت هناك محاولات عديدة بين الأعوام 1896 و1900 لاكتشاف موجات الراديو من الشمس لكن دون جدوى. خلال ثلاثينيات القرن العشرين، استخدم المهندس كارل يانسكي اتجاهًا إذاعيًا بسيطًا لهوائي إذاعي لتعقب مصادر التداخل الراديوي في الموجة القصيرة. وجد في النهاية إشارة قوية لم تكن الشمس، بل مركز مجرة درب التبانة نفسها. في العام 1937، متأثرًا بنتائج يانسكي، قام مشغل راديو الهواة كَروت كابير ببناء صحن مكافئ طوله 9 أمتار في فناء منزله الخلفي، ولم يكتشف (القوس A) فحسب، بل قام أيضًا بمسح السماء لانبعاثات راديو أخرى. وقد قام بتجربة ترددات بلغت 3000 ميغاهيرتز و900 ميجاهرتز قبل إجراء أول اكتشاف له بسرعة 160 ميجاهرتز. ولمدة عشر سنوات تقريبًا، قام بنشر العديد من خرائط السماء كجزء من استطلاعاته المستمرة، وكان يعتبر المطبق الوحيد كـ (الفلكي الراديوي) هذه المرة.

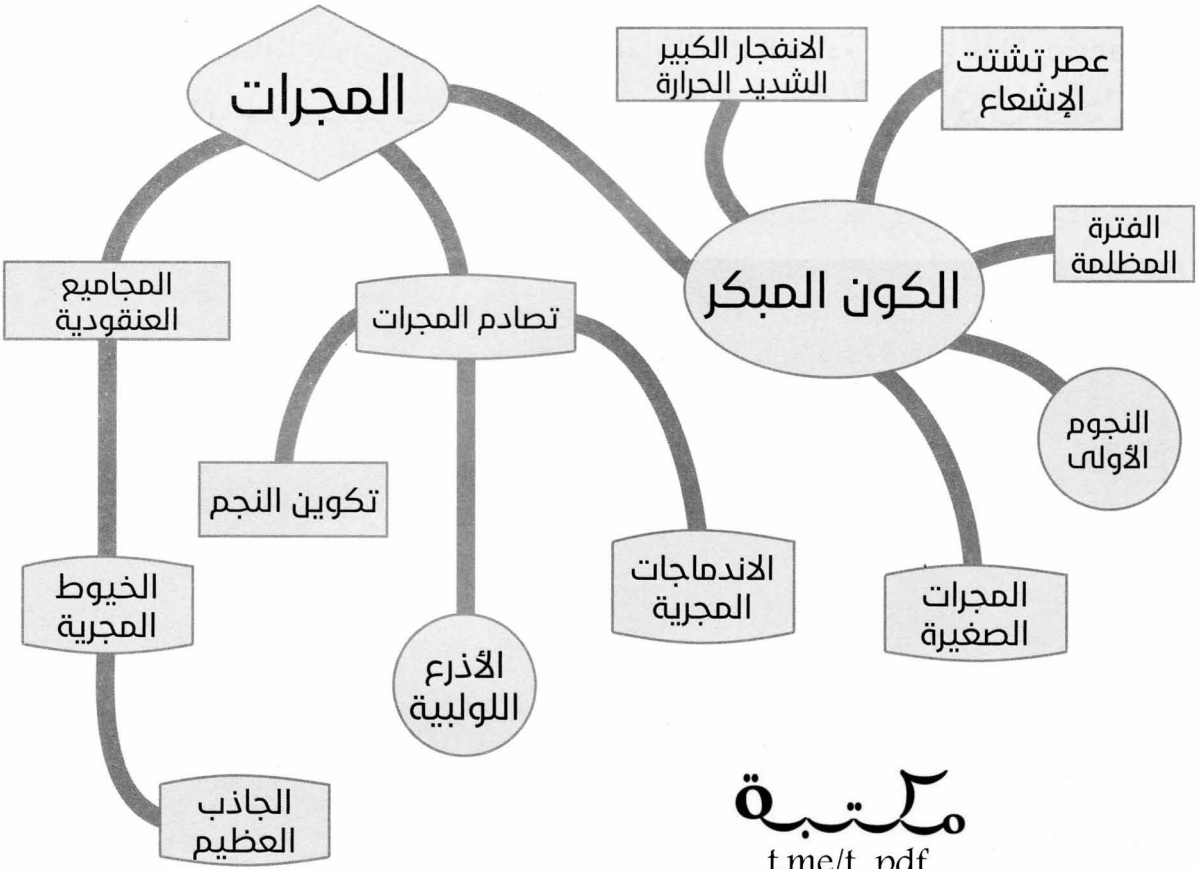
يشير القياس المباشر لمدارات العشرات من النجوم بالقرب من برج القوس إلى أن هذا الموقع يشغله جسم ضخم أكبر كتلة من الشمس بأكثر من أربعة ملايين ضعف. يشير اختفاؤها البصري – على الرغم من تأثيرها الثقيل الهائل الذي يمتد لسنوات ضوئية عديدة، إلى أن هذا ثقب أسود هائل جدا. لا يمكن حاليًا استهلاك الكثير من المادة، لأنه من الواضح أن الواسطة النجمية ضئيلة جدًا لتوفير كتلة كافية بمرور الوقت، ولذا فهو في حالة سبات. ومع ذلك، قد يكون في حالة نشطة كمجرة زيفرت منذُ ما يقرب من مليوني سنة. قام مرصد فيرمي جاما راي التابع لناسا في العام 2010 باكتشاف فصين

كثيفين من الإشعاع يقعان فوق وتحت المحور النووي لطريقة درب التبانة، ويتركزان على برج القوس، حَيثُ تقدر أعمارهما بحوالي مليوني سنة. بالإضافة إلى ذلك اكتشفت سُحب سريعة. من الغاز المنبعث من المركز. وقد قدم مشروع تلسكوب افق الحدث - وهو فريق دولي من علماء الفلك يستخدم تقنيات التداخل الراديوي - أول لمحة عن أفق الحدث لهذا الثقب الأسود. من المتوقع ان يقدم مشروعهم هذا صور راديوية للمادة الساقطة على الثقب الأسود والتشوهات الجاذبية لضوء الراديو من الجاذبية الشديدة بالقرب من أفق الحدث الخاص ببرج القوس.



عرض تخيلي فني لعشرات مدارات النجوم بالقرب من **Sgr A***، التي تم تتبعها على مدى عقد لتحديد كتلة الثقب الأسود. السحابة الحمراء هي نموذج حاسوبي لمقابلة حديثة بين الثقب الأسود وسحابة نجمية معطلة

النجوم والمجرات الأولى



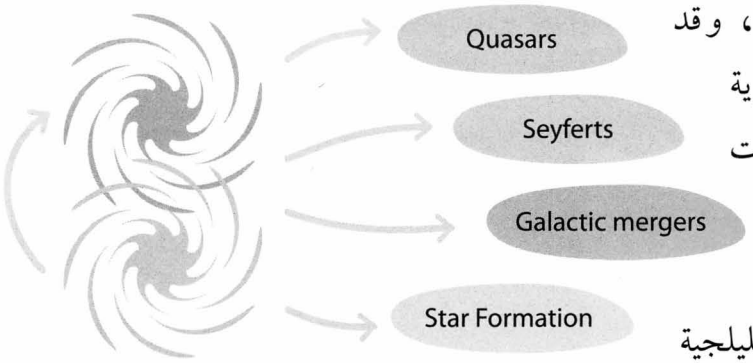
مكتبة
t.me/t_pdf

المجرات المتصادمة

تتصادف المجرات في بعض الأحيان مع بعضها البعض حَتى في الفضاء الشاسع خارج المجرة. تكون هذه الظاهرة شائعة بشكل خاص في مجموعات من المجرات التي قد تتكدس بالعشرات، أو حَتى الآلاف منها في كميات من الفضاء لا تتجاوز بضعة ملايين سنة ضوئية. كان درب التبانة مشتركًا في العديد من أحداث التصادم مع المجرات القزمية القريبة. حَيثُ امتصتْ هذه المجرات في الكتلة النجمية من نظامنا المجري في عملية يسميها علماء الفلك التصادم المجري الذاتي Galactic Cannibalism. خلال ما يقرب من ملياري عام، كان من المقرر اصطدام درب التبانة ومجرة أندروميدا المجاورة مما سيحول بشكل كبير شكل ومحتويات درب التبانة.

المجرات المتصادمة

تمت دراسة عملية التصادم والإندماج بتفصيل كبير من خلال النظر في أمثلة حقيقية للاصطدامات، والتصادم المجري الذاتي في المناطق البعيدة من السماء، ومن خلال عمليات الحاسوب العملاقة. تعتبرمواجهات الجاذبية بين أنظمة ذوات حجم مماثل دراماتيكية، بحَيثُ يعطينا قائمة واسعة من الأشكال، وقد لوحظ كثير منها بين الأنظمة المجرية الفعلية. يؤدي التصادف بين المجرات إلى تطورها في أذرع لولبية في حين تتسبب عمليات الدمج في اندثار النظام النجمي المدمج في مجرات إهليلجية (بيضوية الشكل). عندما تحتوي المجرات على وسط غني بالسحب بين النجوم، فإن التصادمات السحابية التي تنشأ تؤدي إلى رشقات نارية شديدة من نشاط النجوم. يمكن إخراج الوسط النجمي من المجرات بالكامل، ويختبئ وراء النجوم الأصلية فحسب، ويتجمد إنتاج الأجيال الجديدة من النجوم إلى الأبد عندما تكون سرعات التصادم كبيرة جدًا.



كان من بين برامج المراقبة الأولى التي قام بها تلسكوب هابل الفضائي هو التقاط صورًا لعدد من الكوازارات القريبة. ظلت هذه الأجسام لعقود من الزمان أجسام لم تحسمْ بالكامل، وهكذا كان السؤال الفلكي الأول هو كيف كانت تبدو تلك الأجسام. في العام 1995، قدم برنامج التصوير كوازار بقيادة فلكي جامعة برينستون جون باهكل إجابة مثيرة. يعتبر كل كوازار تقريبًا تمت دراسته بدقة عالية دليلًا على وجود نظام تصادم يتكون من مجرتين أو أكثر داخل مساحة صغيرة جدًا. حَيثُ تم التعرف بوضوح على ظاهرة كوازار مع مركز إحدى المجرات، بما يتوافق مع حدث التصادم

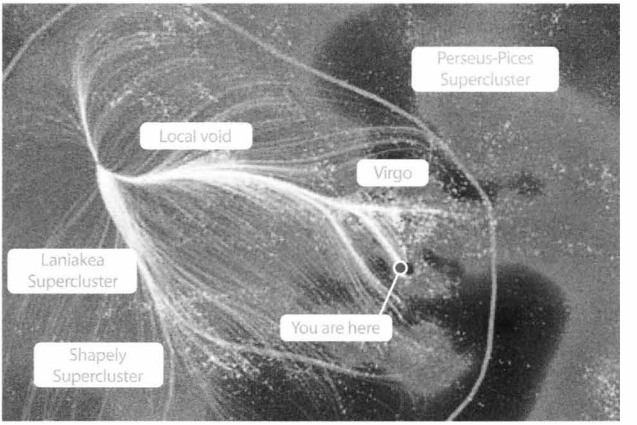
والدمج. كانت ظاهرة الكوازار متوافقة تمامًا مع ثقب أسود ضخم للغاية تمت تغذيته فجأة من خلال تدفق الغاز والغبار الجديد من المدارات المضطربة لإحدى المجرات، أو كلها.

يبدو أن بعض الأجسام الأكثر إثارة للاهتمام في الكون، وخاصة الكوازارات، وغيرها من المجرات النشطة مثل **زييفرتس**، هي نتاج تصادمات حديثة أو مستمرة إذ تقوم الثقوب السوداء الهائلة في مراكز هذه المجرات بابتلاع المادة. وبمرور الوقت، تكتسح هذه الثقوب السوداء الهائلة كل المادة التي تتقاطع مداراتها مع الثقب الأسود، ومِنْ ثَمَّ تتوقف عملية التغذية. ومع ذلك، خلال حدث تصادم لاحق، يمكن حقن مادة جديدة في هذه المدارات، حَيثُ يصبح الثقب الأسود الهائل نشطًا مرة أخرى عند مستوى يحدده معدل تدفق المادة.

يعد تصادم المجرة وإندماجها أيضًا آلية مهمة تنمي شظايا المجرات الصغيرة إلى أنظمة مجرية أكبر. يُعتقد أن هذه كانت آلية مهمة عندما كان الكون صغيرًا جدًا، وكل ما هو موجود كان عبارة عن سحب صغيرة مكونة للنجوم متشابهة في الحجم مع السحب بالقرب من درب التبانة. ففي عالم أكثر كثافة وازدحامًا، كان جزء كبير من هذه الشظايا في مسارات الاصطدام، لذا كانت المجرات المدمجة والمتصادمة أكثر شيوعًا خلال الأسابيع القليلة الأولى بعد الانفجار العظيم. وبالتالي، كانت المجرات، والكوازارات النشطة أكثر شيوعًا في الكون المتكون حديثًا، وفي الوقت الحاضر هناك القليل من الأمثلة القريبة من هذه الظواهر الناجمة

عن التصادم. وبالإضافة إلى مجموعات من المجرات، يحتوي الكون على تراكيب أخرى أكبر بكثير مع مجرات فردية كما هو الحال مع لبناتْ بنائها.

تعد درب التبانة عضوًا في المجموعة المحلية من المجرات التي تتكون من حوالي 54 مجرة فردية، بما في ذلك مجرة (أندروميدا)، والعديد من المجرات القزمية. هذه المجموعة هي عضو في عنقود لانياكيا (وتسمى أيضًا بعنقود برج العذراء) التي تحتوي على أكثر من 100 عناقيد أخرى من المجرات وتمتد على حجم كروي تقريبًا 10 ملايين سنة ضوئية. يُعتقد أن مجموعة لانياكيا واحدة من حوالي عشرة ملايين من المجموعات الفائقة الأخرى في الكون المرئي. جنبا إلى جنب مع العديد من الناقيد المجرية الأخرى يتحرك في اتجاه ما يسمى (الجاذب الكبير)، والمتزامن مع عناقيد **فيلا** المجرية، يسمى نظام المجرات الكامل العناقيد المجرية (**عناقيد شابلي المجرية الهائلة**) ويبلغ قرابة 500 مليون سنة ضوئية، ويحتوي على ما يقدر بنحو 100,000 مجرة.



لا تعتمد العضوية في هذه المجموعات الشاسعة من المادة فقط على انحسار السرعات المقاسة لمئات الآلاف للمجرات الفردية، ولكن تعتمد أيضًا على نماذج الحواسيب العملاقة للطريقة التي ينبغي أن تسير بها هذه المجرات عبر مجالات سرعتها نتيجة لتفاعلاتها الجاذبية المتبادلة، ومساهمتها من المادة المظلمة. في الوقت الحالي، ما يزال هذا البحث يعاني من النقص في البيانات. فمن بين 250 مليون مجرة في غضون ملياري سنة ضوئية من درب التبانة، لم يتم قياس سوى عدد قليل من ملايين المجرات الحمراء. وتشير التقديرات إلى أن هذا المجلد يحتوي على ما يصل إلى ألف في الكون المرئي الأكبر، ربما تبقى تريليون مجرة لم يتم تصنيفها بعد. ومع ذلك، فإن وجهة نظرنا المحدودة ما تزال تتيح لنا استكشاف الميزات الأساسية لهذا الكون.

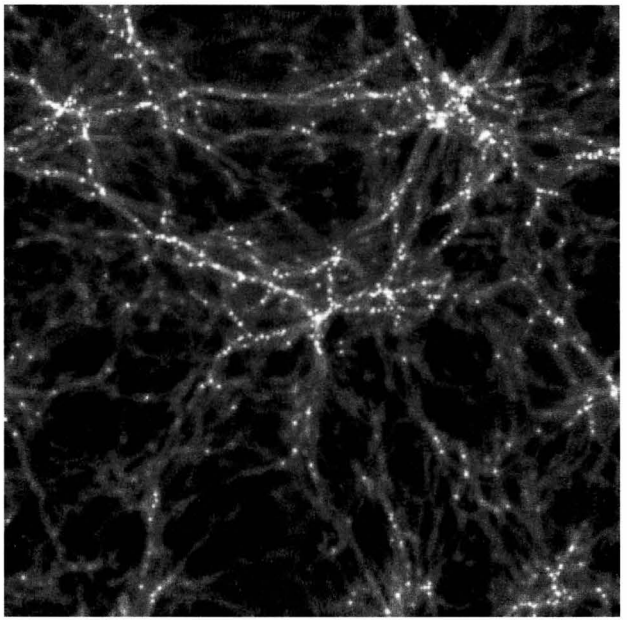
إن السمة الغالبة لسكان مجرة واسعة النطاق هي حبسها الظاهري في شعلات واسعة تحيط بفراغات كبيرة خالية من المجرات مثل طبقات على سطح فقاعات الرغوة. وقد تم تصميم الشكل الخاص والخصائص لهذا الهيكل الخيوطي باستخدام محاكاة حاسوبية عملاقة بما في ذلك المادة المظلمة، والخصائص المرصودة التي تطابق النماذج في حال كانت المادة المظلمة هي المصدر المهيمن للجاذبية.

بئر الجاذبية: سحب الجاذبية التي يمارسها جسم كبير في الفضاء.

خلال الانفجار العظيم، شكلت المادة المظلمة آباراً جاذبية استقرت فيها المادة الطبيعية، وشكلت هذه الآبار أساساً للتراكيب واسعة النطاق التي نراها اليوم. ونتيجة لاستمرار تطور وتبريد

المادة الطبيعية، فقد كونت بقايا مجرية فردية حَيثُ اندمجت لتكوين سكان من المجرات التي تشكل الآن مجموعات من المجرات ومجموعات عنقودية، وتراكيب على شكل خيوط ينظر إليها اليوم.

الخلفية الكونية للإشعاع



في أواخر الأربعينيات من القرن العشرين، درس الفيزيائيان الأمريكيان جورج جامو، وهيرمان ألفير، وكلاهما في جامعة جورج واشنطن ما سيحدث لو تم تشغيل الانفجار العظيم في الاتجاه المعاكس، وسرعان ما أدركا أن الكون الحديث التكوين كان حارًا، وكثيفًا للغاية بحَيثُ يمكن حدوث التفاعلات النووية. كلف **جامو** طالب الدراسات العليا **هيرمان ألفر** بمهمة تطبيق معاملته الرياضية لتشكيل العناصر في الانفجار العظيم للقيام بحسابات وفرة العناصر. ونشرت هذه النتائج أخيرًا في العام 1948.

تم تطوير نموذج الانفجار العظيم الساخن، وتوسيعه خلال الستينيات، والسبعينيات من القرن العشرين ليشمل عددًا مذهلاً من الظواهر التي أكملت ولايتها في التاريخ الكوني قبل الكون الذي يبلغ عمره عشر دقائق. إذا كنت ترغب في فهم ما بدا عليه ولادة الكون مثلاً، فأنت مضطر لاستكشاف بيئات معروفة لعلماء الفيزياء عالية الطاقة فحسب.

علاقة درجة الحرارة الكونية

لأن عامل القياس الكوني (+ alt) يرتبط بالنقل الأحمر وفقًا لـ

$$a(t) = 1 + z$$

ولأن درجة الحرارة مرتبطة بعامل المقياس بواسطة – ثابت T a، مع التيار درجة الحرارة $T = 2,7K$، نحصل عليه

$$(T = 2,7 (1 + Z$$

ما يعنيه هذا هو أن CMB كان على اتصال آخر مع المادة المتأينة عند 1101) $T = 2,7$ $z = 1100$) 000 , 3 ك. من المعادلة الأولى، حدث هذا بعد حوالي 000 , 360 سنة من الانفجار الكبير، وألغت عصر فك الارتباط الإشعاعي.

هناك طريقة أخرى لوصف هذه الشروط وهي من حَيثُ طاقة الضوء في CMB يتم إعطاء هذا بواسطة الصيغة

١ – t كيلو فولت E

حَيثُ E هي طاقة الضوء في آلاف فولت الإلكترون. في وقت بدء عصر فك الارتباط الإشعاعي، $R = 380,000$ سنة أو 105، لذلك $E = 0,3$ فولت إلكترون هذه طاقة أقل قليلاً من ضوء النجوم العادي، لذلك سيكون للكون في ذلك الوقت تألق نجم محمر بدرجة حرارة سطحية قدرها 3000 كلفن، وكانت هناك طاقة غير كافية في فوتونات CBR هذه للحفاظ على مادة الكون المؤينة.

في المناقشات التالية، سوف نستخدم اختصار CBR للإشعاع في الخلفية الكونية التي تمثل عدد سكان الفوتونات التي ينتجها الانفجار العظيم التي تندمج فيها المادة مع توسع الكون. تسمح لنا معادلات علم الانفجار العظيم بدراسة هذه الحقبة عن طريق تحديد درجة حرارة وكثافة وعامل

مقياس الفضاء بشكل صريح إلى حد ما. نظرًا لأن ضغط الإشعاع الصادر عن CBR أقوى بكثير من الضغط الذي تمارسه المادة، فإن هذه الفترة تسمى العصر الذي يهيمن عليه الإشعاع. انتهى هذا العصر في الوقت الذي كان لآخر مرة على اتصال مع المادة في حوالي 380,000 سنة بعد الانفجار العظيم (Z = 1100) فيما يسمى عصر فصل الإشعاع. في ذلك الوقت، أصبح ضغط المادة أكثر أهمية للتحكم في توسع الكون من ضغط إشعاع CBR. ومنذُ ذلك الحين نحن نعيش في عصر المواد المهيمن عليها.

إشعاع الخلفية ال كونية: هو الطاقة الضوئية التي ينتجها الانفجار العظيم. لقد تم تبريد CBR بمرور الوقت، وأصبح الآن قابلًا للاكتشاف عند الموجات الطولية الصغرى فحسب، ومِنْ ثَمَّ أطلق عليه خلفية الكونية للموجات الصغرى (CMB).

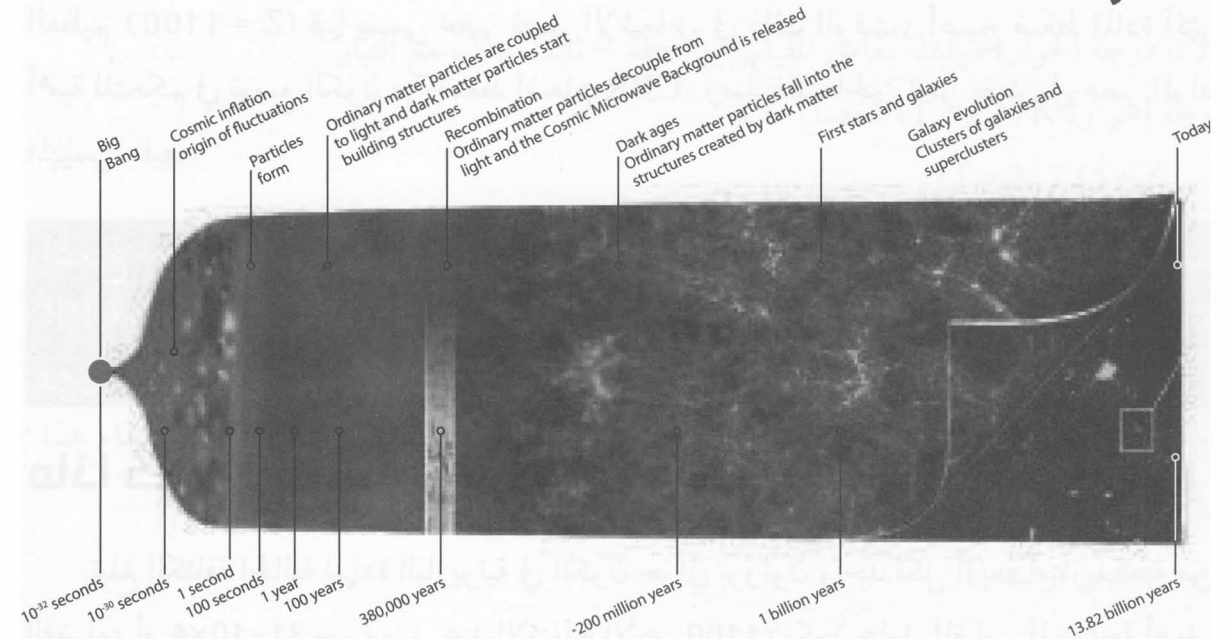
ماذا كانت الكثافة في ذلك الوقت؟

تبلغ الكثافة الحالية للمادة الباريونية في الكون حوالي بروتون واحد لكل أربعة أمتار مكعبة من الفضاء، أو 4×10^{-31} جم / سم. عند الانزياح الأحمر 1100، يكون عامل المقياس للمساحة أصغر بـ 1100 مرة مما هو عليه اليوم. وهذا يعني أن الكثافة في هذا الوقت المبكر هي (1100) أو 1,3 مليار مرة ضغط، ما يتيح لنا معرفة كثافة المادة في ذلك الوقت من حوالي $5,3\times10^{-22}$ سم مكعب. ويكون هذا فعالاً على 1,3 مليار بروتون في كل أربعة أمتار مكعبة من الفضاء.

وعندما يستمر الكون في التوسع، تواصل درجة حرارة الخلفية الكونية للإشعاع بالانكماش. قبل Z = 1100، حمل هذا الإشعاع طاقة كافية حافظت على تأين البلازما في ذلك الوقت. يتكون هذا الإشعاع من الإلكترونات، والبروتونات، ونواة الديوتيريوم، والتريتيوم، والهيليوم. لكن بعد

الانزياح الأحمر، صار إشعاع الخلفية الكونية يحمل طاقة غير كافية، وهكذا جذبت النوى المتأينة العدد المناسب من الإلكترونات لتصبح ذرات محايدة.

الفترة المظلمة



عندما استمر الكون بالتوسع والتبريد، استمرت درجة حرارة إشعاع الخلفية الكونية حَتى وصلت إلى أقل تحول احمر مقداره z = 100 في درجة حرارة بما يقارب 270 ك، وإن الآثار الوحيدة لهذا الإشعاع قد اختفت كإشعاع مرئي فوق الأشعة الحمراء. في النهاية فإنه يستمر بالبرودة حَتى يصل إلى 2,7 ك ويمكن أن يكشف عنه في الوقت الحالي كخلفية كونية موجوية (التي تمت مناقشتها مبكرًا). يطلق الفلكيون على هذا ببداية الفترة المظلمة في تاريخ الكون، حَيثُ بدأ قبل 40 مليون سنة

بعد الانفجار العظيم، واستمر إلى أن تشكلت النجوم الأولى في الكون، ومن المعتقد أنها بدأت قبل حوالي 200 مليون سنة بعد الانفجار العظيم.

في كل غرام اعتيادي من المادة هناك 5كغم من المادة المظلمة. لذلك فان طبقة الشواذ الكبرى التي تنتج عناقيد، وعناقيد مزدوجة من المجرات، قد اكتشفت بالشواذ الجاذبية في المادة المظلمة

كلما استمر غاز الهيدروجين بالتبريد، فإنه يسقط أسفل السرعات الهاربة لآبار جاذبية المادة المظلمة، وتصبح متجمعة. احتوت هذه التجمعات (الترسبات) على مئات المرات كتلة أكبر من مجرة طريق التبانة، وتزود مادة كافية للترسب لتكوين بقايا مجرات في هذه الآبار للمادة المظلمة

عبر الزمن، ظهرت هذه الأجزاء عن طرق التصادم لتصبح مجرات فردية كما نراها اليوم، والتي ما تزال محبوسة عن طريق التجاذب في تركيب المادة المظلمة القديمة التي تسمى الآن المجاميع النجمية، والمجرات الفائقة. وإن بقايا هذه المادة المظلمة الأولية يمكن أن توجد في المناطق الضحلة للعديد من المجرات بضمنها مجرة درب التبانة

النجوم الأولى

تم إثراء القذف المعالج من هذه المستعرات العظمى عن طريق الإندماج النووي في العديد من العناصر الموجودة في الجدول الدوري، مثل العناصر التي يمكن اكتشافها بسهولة، والتي تحتوي على كربون، وأكسجين. تظهر هذه العناصر الأثقل الآن لأول مرة في التاريخ الكوني، كذلك تم دمجها في تعداد النجوم الثاني. كانت النجوم السماوية (العصر الثالث) حارة، ومضيئة بشكل مكثف بأطوال موجات فوق البنفسجية، مما أدى إلى تأين كل الهيدروجين في المناطق المجاورة لها لمئات السنين الضوئية. أصبحت هذه هي المرة الأولى التي تظهر فيها الإشعاعات فوق البنفسجية في الكون منذُ الانفجار العظيم. عندما غُمر الكون دخل في المرحلة الثانية التي يسميها علماء الفلك بعصر التأيين. مع بدء فترة إعادة التأين، أصبح غاز الهيدروجين، وغاز الهيليوم المتأين متآينين، ما أدى إلى تأثر وسط حار مخفف يستمر حَتى الوقت الحاضر أيضًا، أما السحب المظلمة التي تسبق النجوم التي نجت من تبخرها، لم يتم اكتشافها في أشعة النجوم الأطياف البعيدة، وقد سميت سحب ليمان ألفا.

النجوم المبكرة في طريق التبانة

النوع	السكان الأول	السكان الثاني	السكان الثالث
العمر	النجوم الشابة	النجوم الكبيرة	نجوم جيل النجوم
التكوين	غنية بالعناصر الثقيلة	فقيرة من العناصر الثقيلة	فقط الهيدروجين والهيليوم واثار الديتيريوم
الكتلة	كتلة شمسية 1	كتلة شمسية 1	100 – 500 كتل شمسية
الموقع	الأذرع اللولبية	المجاميع النجمية	خلال الكون
مثال	شمسنا	س. ام 313	فرضي

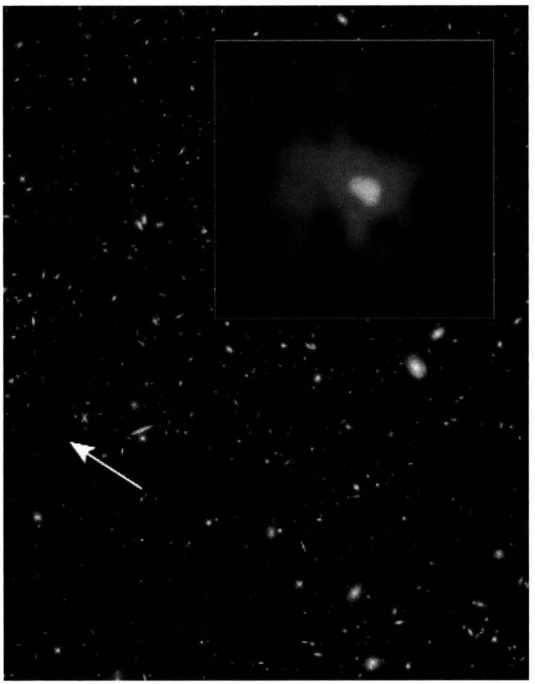
النجم القديم

لسنا بحاجة إلى أن ننظر إلى الفضاء البعيد لرؤية أقدم النجوم المتكونة. في العام 2017 اكتشف علماء الفلك واحدًا من النجوم الأولى التي تشكّلت في درب التبانة. النجم المسمى SM0313 يقع على بعد 6000 سنة ضوئية في هالة درب التبانة، ومن المحتمل أن يكون قد تشكل بعد 100 – 200 مليون سنة من الانفجار العظيم منذُ حوالي 6 , 13 مليار سنة. وكان له آثار كبيرة من الكربون، لذلك لا بُدَّ أن يكون هذا الكاربون قد تكوّن بعد انفجار نجوم العصر الثالث بالقرب منه وتحويله الهيدروجين، والهيليوم البدائي إلى كربون وعناصر أخرى يمكن اكتشافها.

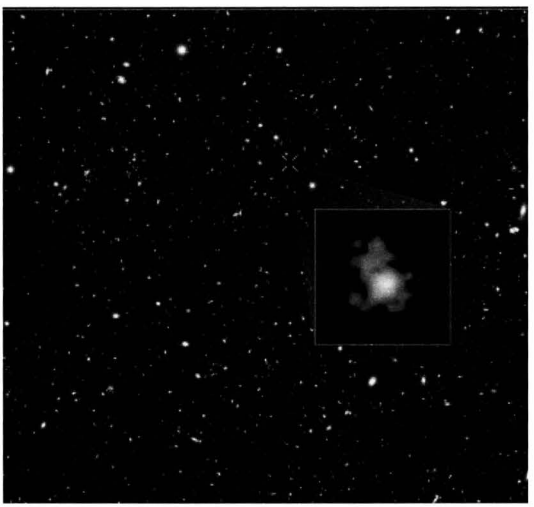
المجرات الصغيرة

في كل عصر، تحدد درجة حرارة الغاز وديناميكيته التجاذبية مقياسًا تصبح فيه المادة غير قادرة على دعم نفسها، وتنهار إلى سحب منفصلة من المادة. يجمع غاز التبريد بشكل تفضيلي في آبار

الجاذبية التي تشكلها المادة المظلمة. بعد حوالي 100 مليون سنة من الانفجار العظيم، كان لهذه السحب كتل من 000 , 100، إلى عدة ملايين من كتل الطاقة الشمسية. في أثناء تصادمها، ودمجها، قامت ببناء مجموعات أكبر من المادة تسمى. المجرات الأولية protogalaxies. في نهاية المطاف، بدأ تكوين النجوم في هذه النوى المجرية الأولية مما جعلها مرئية لأول مرة. توجد بقايا سكان المجرات الأولية اليوم على شكل مجرات غير نظامية مثل السحب الماجلانية..



خلال العصر المظلم، كان توزيع الهيدروجين الذري، وغاز الهيليوم يترافق جاذبياً مع نمط الآبار الجاذبية التي تحددها المادة المظلمة. ونتيجةً للاصطدامات المتكررة، كان تكوين النجوم عملية مكثفة لبعض هذه المجرات الأولية، التي شكلت المجموعات السكانية الأولى من النجوم بسرعة كبيرة. نرى في الوقت الحاضر هذه الأنظمة النجمية القديمة جداً مثل المجرات الإهليلجية (البيضوية الشكل)، والمجرات الإهليلجية القزمية. فهي تحتوي عادة نجوم السكان الثاني فقط، والخالية من العناصر



الثقيلة. بالنسبة للمجرات الأولية الأخرى، كانت عملية تشكيل النجوم بطيئة ومطوّلة، ما أدى إلى تجمعات حلزونية اليوم. تحتوي هذه المجرات على مزيج من نجوم السكان الأول والثاني مع السحب النجمية التي ما يزال من الممكن أن يحدث فيها تكوين النجوم. بفضل تأثير عدسة الجاذبية، والجهود المشتركة لتلسكوب هابل الفضائي، وأدوات أخرى استخدمها علماء الفلك، فقد اكتشفوا الصور الخافتة للعديد من المجرات الأولية، وبدأوا عملية التحقيق في العديد من خصائصها.

وفي العام 2016، أكد علماء الفلك الذين يستخدمون تلسكوب هابل الفضائي الطيفي أبعد مجرة معروفة في ذلك الوقت، تسمى GN – z11. وهي تقع عند خط انزياح أحمر عند z = 11,1. بَدْء الضوء الذي يشكل صورته الغسقة رحلته بعد 400 مليون عام فقط بعد الانفجار العظيم واضعًا هذا الانفجار بالقرب من نهاية العصر المظلم، وفي بداية عصر تشكيل المجرة في الكون. تبلغ مساحتها مجرة GN – z11 حوالي 1/25 من حجم درب التبانة، وتحتوي على حوالي 1 بالمائة من كتلة درب التبانة، لكنها تشكل النجوم بوتيرة أسرع 20 مرة من درب التبانة. وتشير هذه الوتيرة السريعة للغاية لتشكيل النجوم إلى أنه من المقدر أن تصبح جزءًا من مجرة إهليلجية (بيضاوية الشكل).

رسم خلفية موجوية كونية

ابتداءً من العام 1989، تم إطلاق ثلاث مركبات فضائية متطورة جدًا لرسم خريطة لإشعاع الخلفية الكونية بأطوال الموجات الخلفية الكونية ذات الإنبعاث الأكثر وضوحًا. هذه المركبات هي: مستكشف الخلفية الكونية COBE، ومسبار ويلكينسون متباين الخواص WMAP ، وبلانك Planck (طبقا للعالم الفيزيائي الألماني ماكس بلانك)، قامت هذه الركبات أيضًا بتحديد درجة حرارة فائقة الدقة لإشعاع الخلفية الكونية، ورسمت تباينها في السماء بأكملها بدقة عالية لعدة دقائق قوسية.

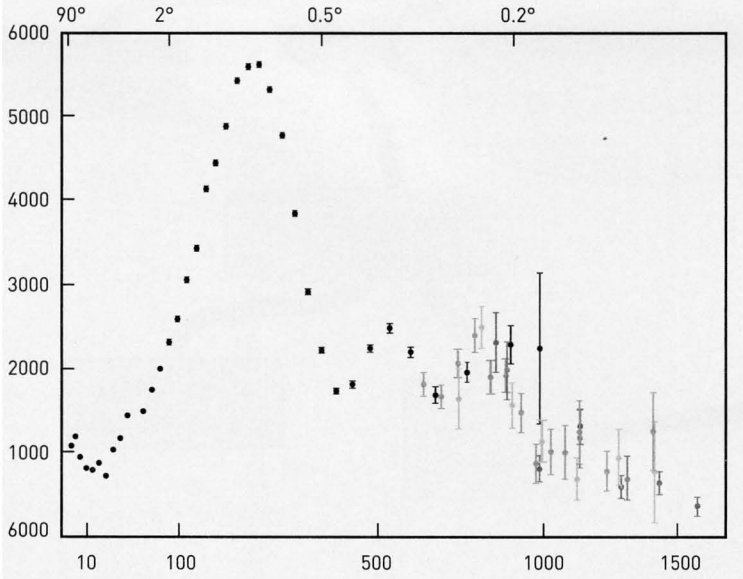
ان أول صفة بإمكاننا تميزها تأتي من تحول دوبلر لنظامنا الشمسي المشترك، وحركة درب التبانة في الفضاء، ويمكن رؤيتها بسهولة في كل خرائط السماء. في اتجاه هذه الحركة نحو كوكبة الدلو، يظهر نصف الكرة بالكامل في السماء أكثر سخونة من نصف الكرة المتحرك. يرتبط الفرق في درجة الحرارة 0,0033 K ارتباطًا مباشَرًا بنقل دوبلر البالغ 600 كم / ثانية في اتجاه كوكبة الدلو: الموقع الاسمي للجاذب الكبير.

إذا تمت إزالة تأثير دوبلر، وإعاقة متوسط درجة حرارة CMB-2 726 K، فستحصل على خريطة الاختلاف التي تؤكد الاختلافات في الخلفية الكونية عبر السماء. وتسمى هذه خارطة متباين الخواص، وتكشف عن معلومات مهمة عن الطريقة التي تم بها توزيع المادة في تاريخ الكون المبكر.

عندما ينتقل إشعاع الخلفية الكونية من خلال البئر الجاذبي لمجموعة من المادة، فإنها تفقد بعض طاقتها بما يتناسب مع عمق بئر الجاذبية. وتبلغ تباينات درجة الحرارة المكتشفة في خريطة الخلفية الكونية مستوى وو 2,77 K، ما يؤكد، أيضًا، أن الانفجار الكبير كان حدثًا موحدًا للغاية كما يفترض علم الكون (الانفجار العظيم). يمثل نمط هذه الاختلافات، (يسمى متباين الخواص)، بصمةً تركها في الخلفية الكونية بتوزيع المادة المظلمة والمادة العادية.

إذا قارنا درجة حرارة الخلفية الكونية عند نقطتين تقعان على مسافة ثابتة في السماء (تقاس بالدرجات)، وقمنا بذلك لجميع أزواج النقاط المحتملة هذه عبر السماء، فعندئذ يمكننا بناء ما يسمى طيف الطاقة متباين الخواص للخلفية الكونية.

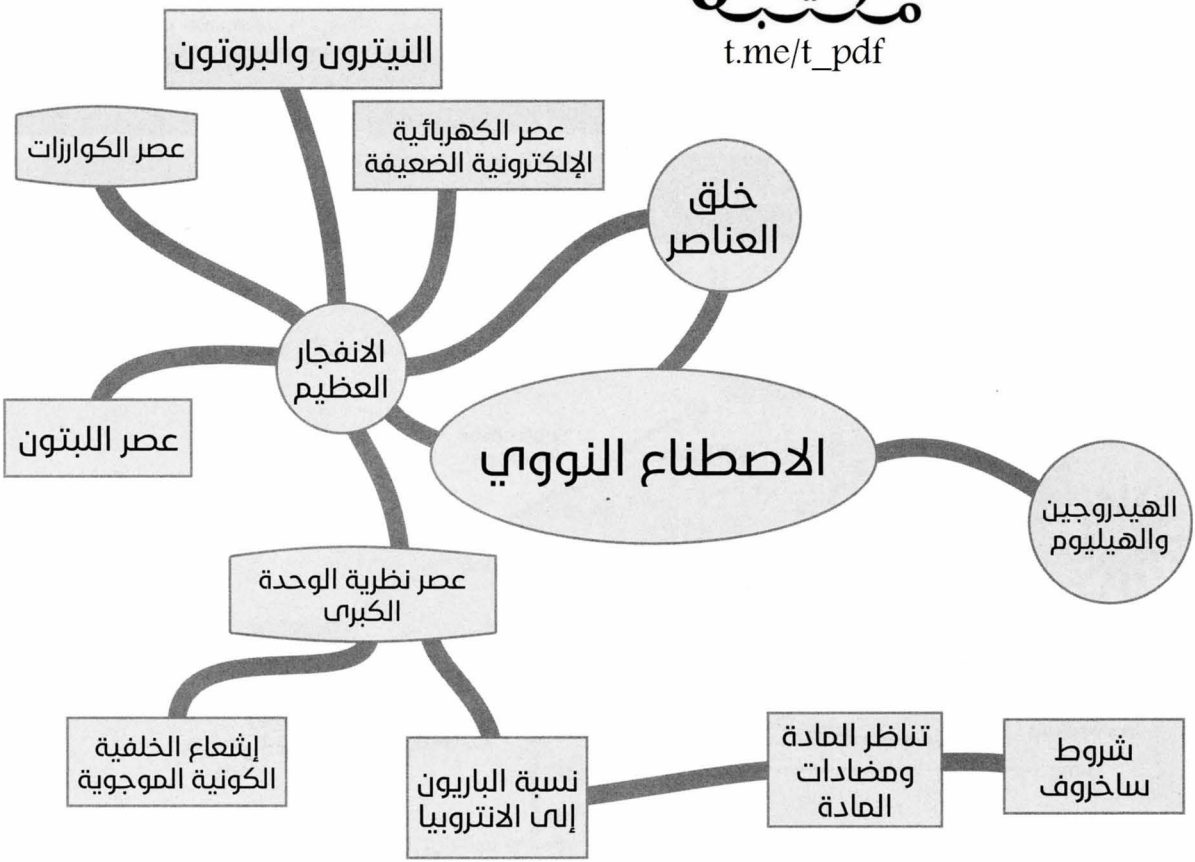
ان طيف الطاقة الناتج هو مجرد لقطة من تغيرات الضغط (الأمواج الصوتية) التي تحدث في امواج طولية متنوعة في الوقت الذي أصبح فيه الكون شفافًا بالنسبة لإشعاع الخلفية الكونية، الذي حدث بعد حوالي 380,000 عامًا من الانفجار العظيم. ترتبط كثافة واطوال الموجات لهذه الأوضاع المكشوفة في طيف الطاقة المتباين الخواص ارتباطًا مباشرًا بفيزياء الكون المبكر. تكشف دراسة مفصلة تتعلق بقمة الكون الأولى وشكله واطوال موجته وكثافته عن معلومات تتعلق بهندسة الزمكان، وبالأخص أن الكون أقرب جدًا ليكون مسطحًا. ويكشف معدل الأرجحية للقمم كثافة الكون الباريونية الكاملة، بينما ينتج عن موقع القمة الثالثة أدلة حول كثافة المادة المظلمة



طيف طاقة CMB، الذي يُظهر ميزات يمكن استخدامها لتحديد كميات المادة المظلمة والطاقة المظلمة

أصل العناصر البدائية

مكتبة
t.me/t_pdf



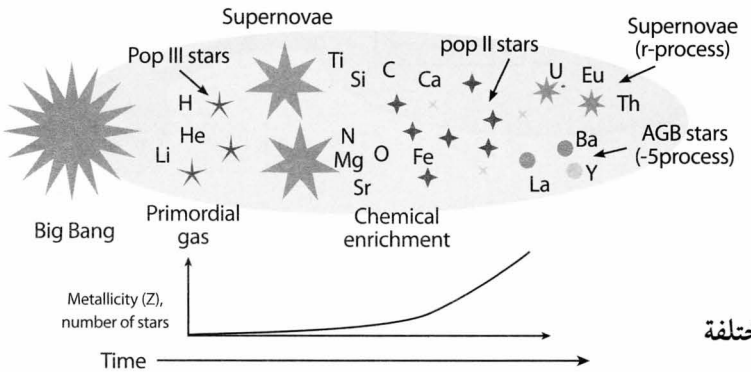
وفرة العنصر البدائي

منذُ الستينات القرن العشرين، قام علماء الفلك بقياس وفرة العناصر في الجدول الدوري، وطوّروا فكرة وجود فئتيْنِ من العناصر في الكون. في الفئة الأولى، التي تسمى العناصر البدائية، يوجد الهيدروجين، الديوتيريوم، التريتيوم، الهليوم، الليثيوم، والبريليوم. أما في الفئة الثانية، التي تسمى العناصر الثقيلة، فلدينا كل العناصر الأخرى.

العناصر البدائية: تشمل الهيدروجين، الديوتيريوم، التريتيوم، الهيليوم، الليثيوم، البريليوم.

العناصر الثقيلة: تشمل جميع العناصر بصرف النظر عن العناصر البدائية.

كما نوقش سابقًا، يُعتقد أن العناصر الثقيلة تتشكل في قلب النجوم المتطورة، ويتم إخراجها إلى الفضاء عن طريق انفجارات المستعرات العظمى، حَيثُ تختلط مع الغاز، والغبار من وسط النجوم

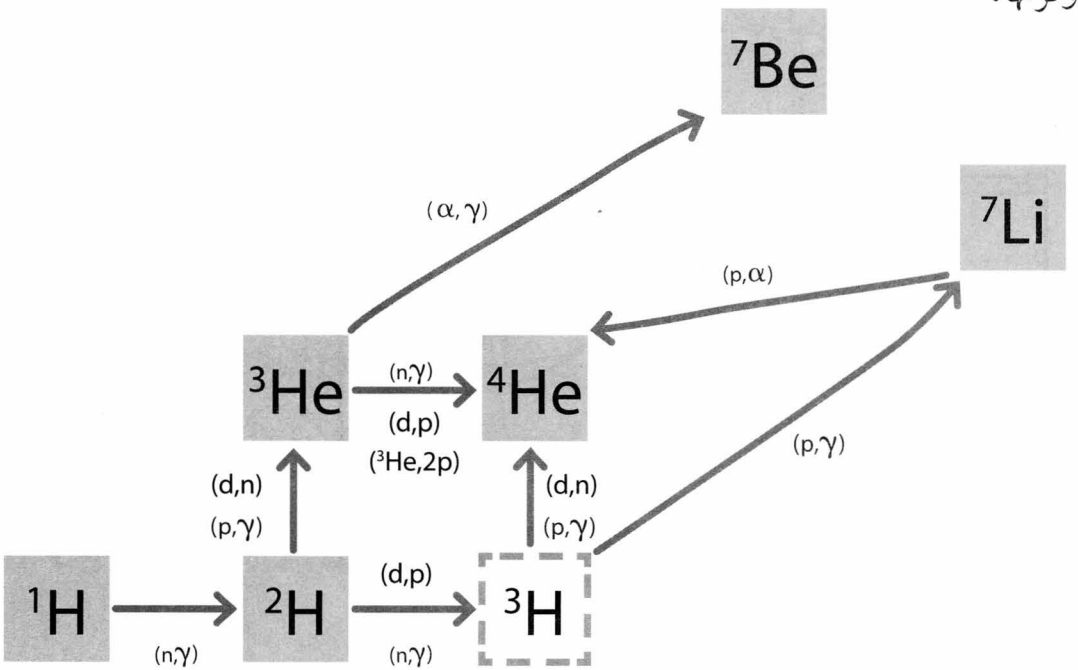


مراحل تكوين العناصر المختلفة

وتشكل في نهاية المطاف الأجيال القادمة من النجوم. بمرور الوقت، تتسبب الأجيال المتعاقبة من المستعرات العظمى في غزارة ثابتة لوفرة العناصر الثقيلة. سيكون للنجوم الأولى التي تشكلت أدنى

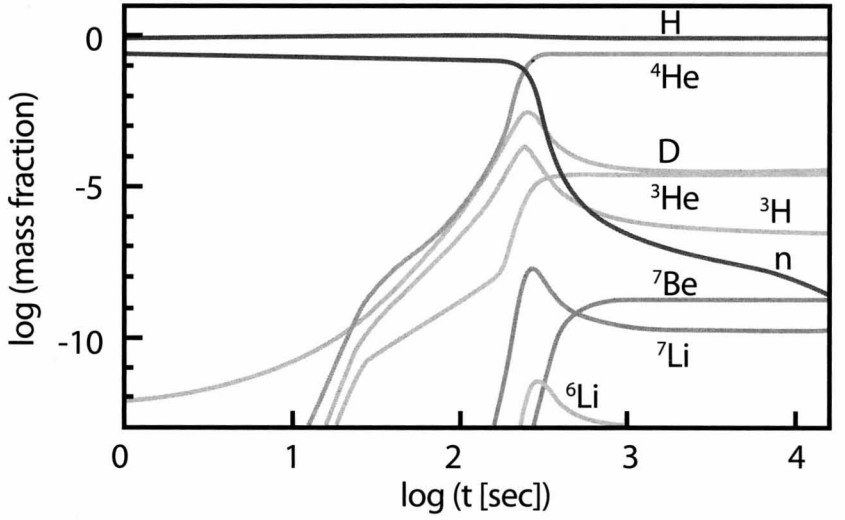
وفرة من العناصر الثقيلة، بينما من المرجح أن يكون للنجوم التي تشكلت مؤخرًا وفرة أعلى من العناصر الثقيلة. يمكن أن تختلف الوفرة من مجرة إلى مجرة، ومن منطقة واحدة في مجرة إلى أخرى، وهذا يتوقف على مستوى تكوين النجوم الذي يحدث.

أما العناصر البدائية، من ناحية أخرى، فقد تشكلت بعد الانفجار العظيم بفترة وجيزة، إذ يمكن اكتشاف وفرتها في الكون المبكر من خلال النظر إلى النجوم الأقدم والأحدث في المجرة، والتي توجد في مجموعات النجوم الكروية، في سكان الهالة من النجوم المحيطة بدرب التبانة وفي معظم المجرات الإهليلجية. إن حوالي 75 في المائة من جميع العناصر البدائية هي الهيدروجين (بروتون واحد). 25٪ هيليوم، (2 بروتون 1 نيوترون) ليثيوم (2 بروتون، 1 نيترون) والبريليوم (3 بروتونات، 2 نيوترون). لذا يجب أن يراعي النموذج الكوني الصحيح أصل هذه العناصر البدائية ووفرتها.



العصر النووي من 3 دقائق إلى 20 دقيقة

ما بين ثلاث دقائق، وعشرين دقيقة بعد الانفجار العظيم، كان الكون كثيفًا بدرجة كافية، وكانت درجات الحرارة مرتفعة بدرجة كافية، حَتى تتشكل النوى الذرية البدائية للديوتيريوم، والتريتيوم، والهليوم. في بداية هذا العصر بعد حوالي ثلاث دقائق من الانفجار العظيم، كانت درجات الحرارة أعلى من 700 مليون درجة. تم الاحتفاظ ببلازما البروتونات، والنيوترونات، والإلكترونات بالحرارة عن طريق التصادمات المستمرة مع الفوتونات الفردية من إشعاع الخلفية الكونية. كانت كثافة المادة في كل مكان في الفضاء حوالي 7×10^{-6} غرام لكل سم مكعب. يشكل هذا حوالي $1/100$ من كثافة من الهواء الذي نتنفسه، لكن كل موقع داخل الكون كان في هذه الدرجة من الحرارة والكثافة. كانت درجة الحرارة عند العتبة التي يحتوي فيها فوتونات إشعاع الخلفية الكونية على طاقة كافية لتصادم وتفتيت أي بروتونات، ونيوترونات حاولت تشكيل نوى مستقرة منخفضة الكتلة.



الوفرة البدائية المتغيرة مع توسع الكون وتبريده

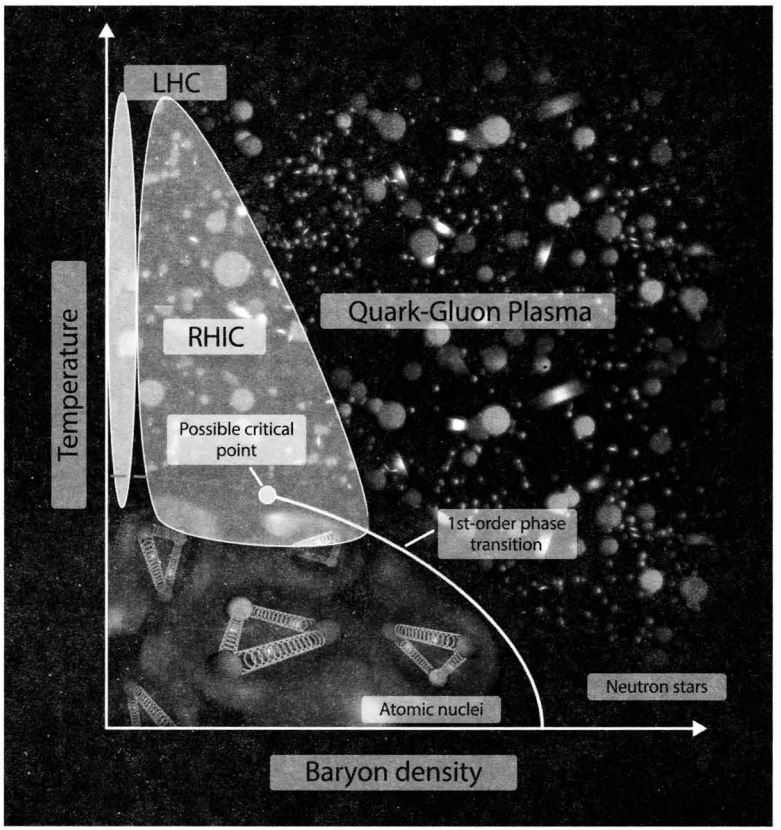
بعد حوالي ثلاث دقائق، كانت البروتونات، والنيوترونات قادرة فقط على الإندماج معاً لتشكيل الديوتيريوم، واليثيوم، والتريتيوم، ونواة الهيليوم لأن فوتونات إشعاع الخلفية الكونية تحمل طاقة أقل بكثير لتقسيم (الانشطار) المتكون النووي الجديد. مع استمرار توسع الكون، وتبريده بعد 15 دقيقة، أصبحت درجات حرارة الاصطدام وكثافة المادة منخفضة جداً لنواة أثقل بكثير من الهليوم لكي يتشكيل، وبالتالي توقفت عملية إنتاج العنصر بالقرب من عنصر البريليوم، مما يسمح بتجميد وفرة هذه العناصر. في هذه المرحلة كان لدينا بلازما تتكون من ذرة العنصر البدائي، والإلكترونات، والنيوترونات الحرة، وفوتونات إشعاع الخلفية الكونية.

البروتونات جسيمات أولية مستقرة لكن النيوترونات ليست كذلك. إن للنيوترونات نصف عمر، هو عشر دقائق، بحَيثُ بعد عشر دقائق من الانفجار العظيم، مع عدم وجود طريقة لإنتاج المزيد من النيوترونات، اختفت تلك التي بقيت من بناء العناصر البدائية قريبًا، تاركة وراءها العناصر البدائية للذرة فقط: الهيدروجين والديوتيريوم والليثيوم والتريتيوم والهليوم، جنبًا إلى جنب مع الإلكترونات، والفوتونات في إشعاع الخلفية الكونية.

إذا كنا نريد إنهاء قصة أصل مادة مألوفة في الانفجار العظيم، فقد نتوقف هنا، فقد حللنا الآن لغزًا كونيًا آخر باستخدام نموذج الانفجار العظيم، هو: لماذا تكون نسبة الهيدروجين إلى الهيليوم 3 في 1 تقريبًا في كل جسم قديم يمكننا دراسته في جميع أنحاء الكون؟ بالإشارة إلى نجوم (العصر الثالث)، لدينا أيضًا فكرة جيدة، هي ظهور العناصر الأثقل من الهليوم، لكن نظرية الانفجار العظيم تتنبأ رياضيًا بكيفية حساب درجة حرارة وكثافة الكون، وتحديدًا إشعاع الخلفية الكونية وحَتى للأحداث السابقة في التاريخ الكوني. لذلك نحن ملزمون ضمن حدود الرياضيات بالاستفسار عمّا حدث بعد أقل من ثلاث دقائق من الانفجار العظيم.

عصر ليبتون (10^{-8} ثوانٍ إلى ثانية واحدة)

لذا، ماذا حدث خلال الدقائق الثلاث الأولى بعد الانفجار العظيم؟ للإجابة عن هذا السؤال، علينا أن نتجاوز الذرات، والنواة الذرية، وأن نتحقق مما يحدث للمادة في درجة حرارة 10 مليار كلفن، عندما كان عمر الكون ثانية واحدة فقط. كما أشار الفيزيائي ستيفن وينبرغ في سبعينيات القرن الماضي، لا يمكننا القيام بذلك إلّا إذا فهمنا أولاً التركيب العميق للمادة والطاقة في عالمنا. كان وينبرج أحد الرواد في جعل التحقيق في اللحظات الأولى في التاريخ الكوني مجالاً محترمًا من التحقيقات، ليس من خلال كتاباته الفنية فحسب، بل أيضًا من خلال تعميم الموضوع من خلال كتابه (الدقائق الثلاث الأولى).



بلازما كوارك-غلوون مع تغير درجة الحرارة والكثافة الكونية

لحسن الحظ، تم توفير الأساس من قبل علماء الفيزياء الذين طوروا النموذج القياسي، الذي ناقشناه في الفصل الرابع. مصطلح (النموذج القياسي) كما رأينا هو تسمية الفيزيائيين، الذي يصف الجزيئات الأساسية الـ 13 التي تشكل إلكترونات المادة، الكواركات، النيوتريونات وبوسون هيغز في الكون، إلى جانب القوى البدائية الثلاث التي تتوسط فيها جزيئاتها الأولية الـ 12 الإضافية المسؤولة عن التفاعلات بين جسيمات المادة.

من نموذج الانفجار العظيم، عندما كان عمر الكون حوالي ثانية واحدة فقط، كانت درجة حرارة إشعاع الخلفية الكونية تقترب من عشرة مليارات كلفن. في هذا الوقت، كان الكون ساخنًا بدرجة كافية بحَيثُ يمكن للفوتونات أن تتحول إلى أزواج إلكترونية - بوزيترون، ويمكن لهذه الأزواج ان تتحطم إلى الفوتونات بحَيثُ يكون إنشاء وتدكير هذه الأزواج متوازنًا. عندما استمر الكون في التوسع والبرودة. انخفضت درجات الحرارة بعد بضع ثوانٍ دون هذا الحد، وهكذا بدأت أزواج الإلكترون - البوزيترون تتحلل، وتختفي من الكون، من ذلك الحين فصاعدًا.

خلال عصر ليبتون، تم إنتاج معظم اللبتونات الضخمة من **تاو ليبتون** بوساط إشعاع الخلفية الكونية حَيثُ بلغت كتلتها 1,8 غيغا إلكترونك فولت، لذا فإن زوجًا من جزيئات تاو - أنتيتو التي ينتجها فوتون واحد من نوع إشعاع الخلفية الكونية يتطلب طاقة فوتون قدرها 3,6 غيغا إلكترونك فولت. كانت هذه الطاقة متاحة عندما كان عمر الكون يبلغ 6×10^{-8} ثانية وعند درجة حرارة 40 تريليون كلفن.

يسمى الوقت الفاصل بين التكوين المتوازن **للتاو** والتحلل النهائي لأزواج بوزيترونات الإلكترونية، التي يبلغ الفاصل الزمني للدوران من 10^{-8} ثانية إلى حوالي ثانية واحدة بعد الانفجار العظيم، بـ (عصر ليبتون). بدأ هذا العصر بمتوسط كثافة الكون بالقرب من 100 تريليون كغم لكل سم، وهو ما يشبه كثافة النوى الذرية الكبيرة.

إن الحدث الآخر الذي وقع في حوالي ثانية واحدة بعد الانفجار العظيم وفي نهاية عصر إبتون هو أن نسبة البروتونات إلى النيوترونات أصبحت ثابتة عند نيوترون واحد لكل سبعة بروتونات. عند درجات الحرارة المرتفعة، والأوقات المبكرة، يمكن تحويل البروتونات إلى نيوترونات بواسطة امتصاص إلكترون. في هذه الأثناء، يمكن تحويل النيوترونات إلى بروتونات عن طريق امتصاص مضاد الإلكترون. كانت عملية الإنتاج والتدمير هذه متوازنة قبل ثانية واحدة بسبب وجود إلكترونات وفيرة من مضادات الإلكترونات ونيتريونات ومضاد النيوتريونات التي يتم إنتاجها بواسطة إشعاع الخلفية الكونية. تم تحديد نسبة البروتونات إلى النيوترونات في البداية بمعدل واحد إلى واحد، لكن مع تبريد الكون، انهار هذا التوازن وانتجت مضادات الإلكترونات في نهاية عصر **لبتون**. تحولت النسبة إلى نيوترون واحد لكل سبعة بروتونات خلال ما يسمى بفترة تجميد النيوترون - البروتون. ظلت هذه النيوترونات - وهي بروتونات - جزيئات حرة إلى أن انخفضت درجات الحرارة إلى أقل من 700 مليون درجة مئوية في بداية عصر التكوين النووي.

ستيفن وينبرج

ستيفن وينبرج هو عالم فيزياء نظري أمريكي، حاصل على جائزة نوبل في الفيزياء لإسهاماته مع عبد السلام وشيلدون جلاشو في توحيد القوة الضعيفة، والتفاعل الكهرومغناطيسي بين الجسيمات الأولية. ولد وينبرغ في العام 1933 في مدينة نيويورك، والتحق بمدرسة برونكس العليا للعلوم. وحصل على الدكتوراه في جامعة برينستون في العام 1957. كان بحثه الأساسي هو التحقيق في التفاعل الضعيف، الذي قاده إلى دراسات كسر التناظر التلقائي، والتطور المشترك لنظرية الكهربية الضعيفة التي تنطوي على بوسون هيغز. كان كتابه الجاذبية وعلم الكونيات ضروريًا للقراءة لعدة أجيال من علماء الفيزياء الفلكية. وفي العام 1977 أصبح كتابه الشهير: « أول ثلاث دقائق: نظرة

حديثة لأصل الكون » من أكثر الكتب مبيعًا، إلى جانب اقتباسه المقتضب: إن الجهد المبذول لفهم الكون هو أحد الأشياء القليلة جدًا التي ترفع حياة الإنسان قليلًا فوق مستوى الهزلية، ويعطيها بعض جمال الملحمة، والتي ادت إلى سنوات من النقد والرفض الديني.

درجة الحرارة الكونية

قبل أن يبلغ عمر الكون 380,000 عامًا، سيطر إشعاع الخلفية الكوني تمامًا على كيفية توسع الكون من خلال ضغطه الشديد. اتخذ هذا الإشعاع شكل جسم أسود مثالي يُعرَفْ طيفه بواسطة مقياس واحد. يمكن حساب الطريقة التي تغيرت بها درجة حرارة الإشعاع الكوني في الوقت المناسب من نظرية الانفجار العظيم. وتتبع الصيغة $T - 100\ v$ في الوقت الحالي بعد الانفجار الكبير في ثوانٍ، وT هي درجة الحرارة في كلفن لأن درجة حرارة النظام من الجزيئات يمثل متوسط الطاقة. يمكننا أيضًا كتابة هذه الصيغة من حَيثُ متوسط الطاقة لفوتونات إشعاع الخلفية الكونية وفقًا لـ

$$t = E / 0,00086$$

حَيثُ يتم إعطاء طاقة الفوتون (E) بمليارات كيكافولت الإلكترون. على سبيل المثال، بحلول نهاية عصر ليبتون في ثانية واحدة بعد الانفجار العظيم، كانت درجة الحرارة 10 مليارات كلفن، وحملت كل فوتونات إشعاع الخلفية الكونية حوالي 0,00086 كيكافولت اكترون أو 860 ألف فولت إلكتروني من الطاقة. تكون هذه الطاقة منخفضة جدًا بحَيثُ لا يمكن إنتاج أزواج الإلكترون - بوزيترون، وبالتالي فقد انتهى إنتاج أخف لبتونات (المادة) المعروفة.

عصر الكوارك (10^{-10} إلى 10^{-6} ثوانٍ)

كما رأينا في الفصل الرابع، فقد تم اختبار النموذج القياسي الذي يصف كيفية تفاعل المادة والقوى في مصادم هادرون الكبير، ووجد أنه دقيق حَتى طاقات 13 تيرا إلكترون فولت. هذا يعني أنه يمكننا التراجع عن معرفتنا بالانفجار العظيم الذي يتجاوز الحد المسموح به في ثانية واحدة.

نحن نعلم أن البروتونات، والنيوترونات تتكون من الكواركات وفقًا للنموذج القياسي. هناك ميزة مثيرة للاهتمام في قوة الغلوون التفاعلي بين الكواركات تتمثّل في أن التفاعل يضعف عندما تضغط البروتونات والنيوترونات إلى احجام صغيرة. تبدأ الغلونات والكواركات بالتصرف كغاز من الجزيئات ضعيفة التفاعل. في الوقت الذي حقق فيه الكون كثافة أعلى من 10^{-14} غم لكل سم أصبحت المادة مضغوطة لدرجة أنه على الرغم من درجة حرارة إشعاع الخلفية الكوني، بدأت البروتونات، والنيوترونات بالتحلل في بلازما كوارك - غلون. إذ حدث هذا عند طاقة تفوق 1 كيكافولت لكل جسيم، أو درجة حرارة 10 تريليون كلفن. هكذا يكون الوضع بعد حوالي 10 ثوان من الانفجار العظيم ليس بعيدا عن بداية عصر **لبتون**. على أي حال تم استكشاف بلازما كوارك - غلوون بتفصيل كبير في مصادم بروكهافن الأيوني الثقيل، الذي ساعد على ملء العديد من التفاصيل حول الحقبة المماثلة في التاريخ الكوني.

بلازما كوارك - غلون: هي حالة المادة المضغوطة بعد الكواركات، والغلونات التي يمكن أن توجد في درجات الحرارة القصوى للانفجار العظيم.

عصر القوة الكهربية الضعيفة (من 10^{-12} إلى 10^{-36} ثوانٍ)

يقع الحدث الرئيسي القادم في التاريخ الكوني المبكر عندما تبدأ القوى الكهرومغناطيسية والضعيفة لتبدو مختلفة. هذا يبشر بنهاية ما يسمى (عصر الكهربية الضعيفة)، وخلال هذه الفترة تتصرف هذه القوى بطريقة متطابقة تقريبًا بحَيثُ يصعب تمييزها عدديًا من حَيثُ قوتها. من النموذج القياسي، يحدث هذا التحول عندما تكتسب بوسن هيغز كتلة، وكتلة تفاعلها مع فيرمونات وبوزونات المادة الأخرى مما يجعلها تكتسب كتلة بدرجات متفاوتة. قبل هذا الانتقال، كانت الكواركات، والغلونات، واللبتونات، والنيوتريونات، والفوتونات، وبوزونات W وZ جميعها بلا كتل. لكن بعد هذا الانتقال، اكتسبت بوزونات W وZ الكثير من الكتلة، بينما بقيت الغلونات، والفوتونات بلا كتلة.

ما تزال تفاصيل وقت حدوث هذا الانتقال قيد التطوير، ولكن بالنظر إلى أن الكتلة المرصودة من بوسن هيغز هي 126 جيجا فولت، يبدو أن الحسابات تشير إلى أن التغيير في شكل إمكانات هيغز بوسن من الفراغ الكهربائي المتناظر إلى حالة الفراغ الحالية يحدث بين 100 و300 كيكا فولت. أيضًا، يتوقف إنتاج زوج البوزونات W وZ بمجرد انخفاض طاقة إشعاع الخلفية الكونية إلى ما يقرب من 160 كيكا فولت، لذلك يحدث التحول إلى عصر الكهربية الضعيفة بالقرب من وقت كونيّ قدره 3×10^{11} ثانية عندما تكون درجة حرارة إشعاع الخلفية الكونية قريبةً من 2×10^{15} كلفن.

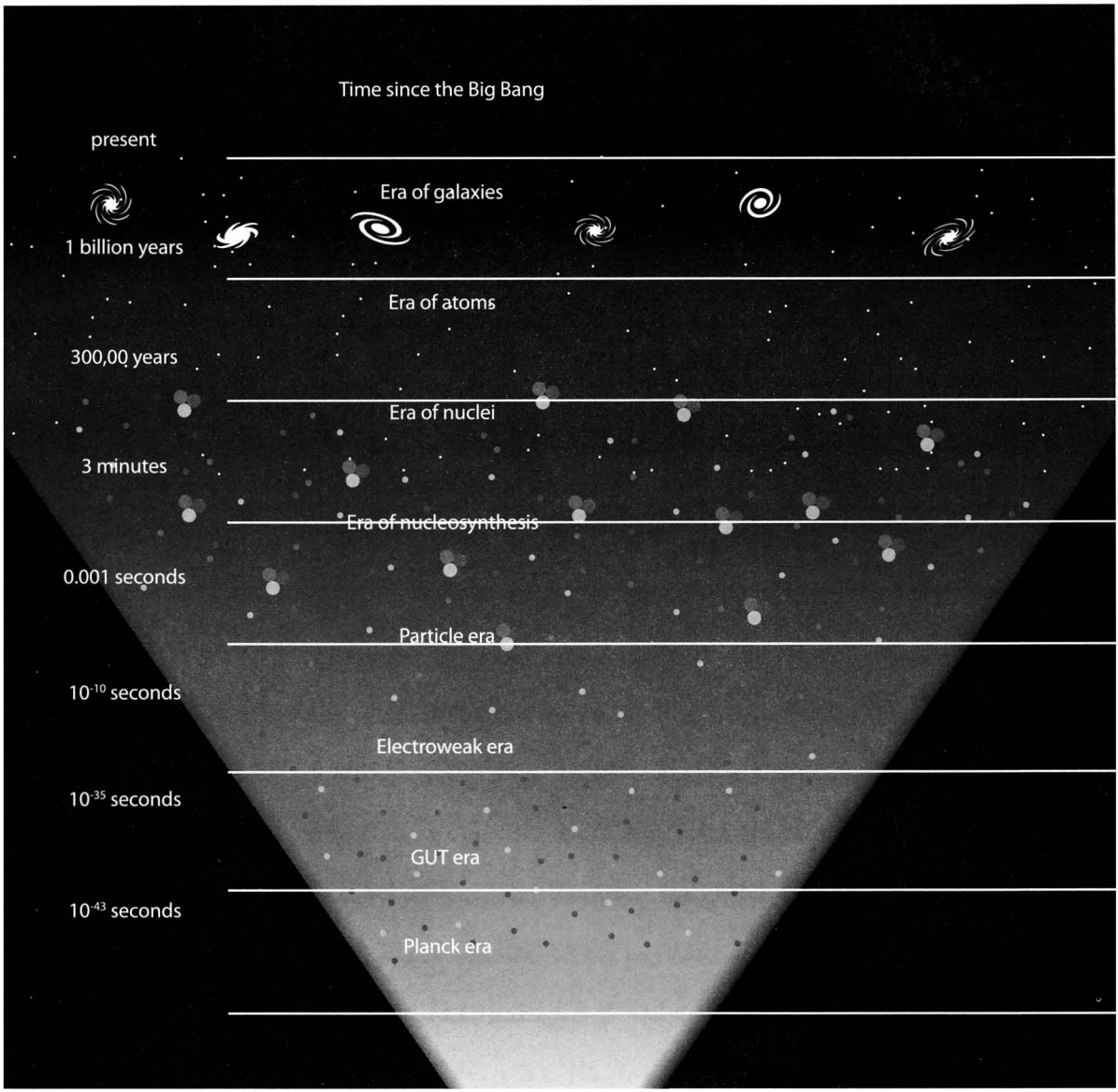
مع استمرار توسع الكون وتقدمه بالعمر، وبحلول نهاية عصر الكوارك، بدت التفاعلات الكهرومغناطيسية، والضعيفة مختلفةً بشكل تدريجي أكثر إذ أن التماثل بينهما قد تم كسره في عالم يتسم بسرعة التبريد. قبل هذا الوقت، أصبح التماثل أكثر دقةً عندما فقد بوسن هيغز كتلته بسرعة.

بفضل تطور مصادم (مسرع) هادرون الكبير (LHC)، يمكن محاكاة الظروف ومقارنتها بتوقعات النموذج القياسي. تتوافق الطاقة القصوى لمصادم هادرون الكبير البالغة 13 تيرا فولت مع درجة حرارة $1,5 \times 10^{17}$ كلفن التي تم الوصول إليها في وقت يبلغ 4×10^{15} ثانية بعد الانفجار العظيم. وهذا يعني أن نموذجنا القياسي، الذي تم اختباره، ووجد أنه دقيق تمامًا لهذه الطاقة قد فتح الآن التاريخ الكامل الانفجار العظيم بدءًا من 0,00000000000000004 بعد ثوانٍ من الانفجار العظيم في عمق عصر الكهربية الضعيفة، والمضي قدمًا إلى عصر لبتون.

كيف كان هذا الكون؟

أولًا: كانت كثافة الكون أكبر بكثير من الفراغ الوقت الحاضر القريب بـ 10^{31} جم / سم إلى 10^{31} $(1,5 \times 10^{17} / 3)^3 = 10^{19}$ جم / سم ^{3}. هذا هو أكثر كثافةً بـ 100,000 مرة من نواة ذرة متوسطة. عند هذه الكثافات، يمكن أن تحاط كتلة مجرة درب التبانة بالكامل بكرة من المادة حول قطر كوكبنا الأرض. كانت مجموعة مجرة أندروميدا، التي تقع حاليًا على بعد 2,6 مليون سنة ضوئية، عبارة عن كرة بحجم مماثل على بعد حوالي 500 كيلومتر (310 ميل). وبعبارة أخرى، فإن نظام المجرات بأكمله الذي نراه حولنا اليوم من بين عشر المجرات بقدر ما كانت عليه مجرة أندروميدا كانت قد تحطمت جميعها بشكل مادة قريبة جدًا منا في ذلك الوقت. يمكنك السفر مشيًا بسرعة مريحة من هذه المادة في إحدى المجرات إلى الأخرى في غضون بضعة أشهر.

لذلك لا يمكن تخفيف أي اختلاف في درجة الحرارة إلّا إذا كان حجم الكون أصغر من حجم الأفق الحالي في وقت معين بعد الانفجار العظيم. تؤدي هذه المشكلة، اليوم، إلى التوقع أن الأشياء البعيدة في السماء عن درجة واحدة تقريبًا لا يمكن أن تكون في اتصال حراري حَتى الآن، لأنه لم يكن هناك وقت كافٍ للتبادل بين هذه النقاط لتخفيف درجات الحرارة. الحقيقة أن بيانات مستكشف


Time since the Big Bang
present
Era of galaxies
1 billion years
Era of atoms
300,00 years
Era of nuclei
3 minutes
Era of nucleosynthesis
0.001 seconds
Particle era
10^{-10} seconds
Electroweak era
10^{-35} seconds
GUT era
10^{-43} seconds
Planck era

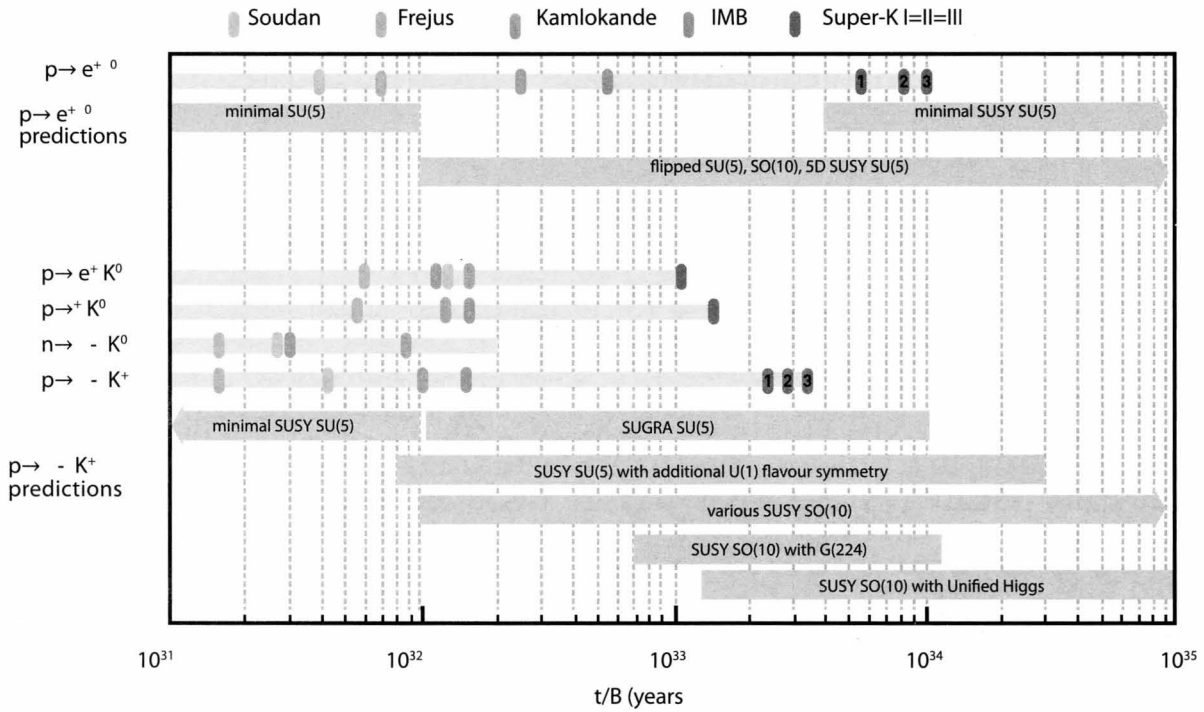
الخلفية الكوني وومستكشف ويلكنسون المتباين الخواص وإشعاع الخلفية الكونية تظهر درجة حرارة سلسة عبر السماء بأكملها تعني أنه لا بُدَّ ان تحدث عملية معينة تعمل على تجانس اختلاف درجة الحرارة تقريبًا في لحظة الانفجار العظيم نفسه، كان قد حدث حَتى قبل عصر الكهربية الضعيفة.

متى بدأت عصر الكهربية الضعيفة؟

إن الحدث التالي الذي تتنبأ به امتدادات النموذج القياسي هو توحيد القوى الثلاث فيما يسمى عصر النظرية الكبرى الموحدة. انتهى عصر النظرية الكبرى عندما أصبحت القوى القوية متميزة عن القوة الكهربائية التي تعرف عصر الكهربية الضعيفة. سنغطي هذا الحدث المهم في الفصل التالي كما سنرى، حدث هذا الانتقال بعد حوالي 10^{-36} ثوان من الانفجار العظيم. لذلك يمكننا تقدير أن عصر الكهربية الضعيفة بدأ حوالي 10^{-36} ثوانٍ إلى حوالي 10^{-12} ثانية بعد الانفجار العظيم، وفي الوقت نفسه، لدينا في الأقل مشكلتان لم نجد لهما حلاً.

المادة المظلمة

قلنا، في الأصل، إنه بغض النظر، عن الطاقة المظلمة التي تشكل حوالي 75 في المائة من الكون الحديث، فإن المادة الجاذبية المتبقية تهيمن عليها المادة المظلمة بعامل ما يقرب من خمسة أضعاف (26 في المائة مظلمة مقابل 5 في المائة عادية). إذا كانت هذه المادة المظلمة في شكل أنواع جديدة من الجزيئات، فما الذي كانت تفعله هذه الجسيمات أثناء عصر الكوارك، والصدمات الكهربائية؟ جميع الحسابات التي تمت حَتى الآن لم تدرج إلّا التفاعلات بين المسائل النموذجية العادية. ومع ذلك، ومن هذا المنظر المحدود، أدت أوصافنا التفصيلية لأحداث تفاعل الجسيمات منذُ 10 ثوانٍ بعد الانفجار العظيم إلى تنبؤات دقيقة لنسبة البروتون النيوتروني، وفرة العناصر البدائية، وعدد أجيال من اللبتونات. (وفرة العناصر تنسجم مع أكثر من ثلاثة أجيال) دون أي تصحيحات للتفاعلات مع



جزيئات المادة المظلمة. نحن نعلم، أيضًا، أن جزيئات المادة المظلمة، إذا كانت في الحقيقة جزيئات، تتفاعل بشكل ضعيف مع جزيئات النموذج القياسي، ومن المحتمل أن تكون ضخمة جدًا، وتتجاوز، في الأقل، العديد من التيرافولت لكل جزيئة.

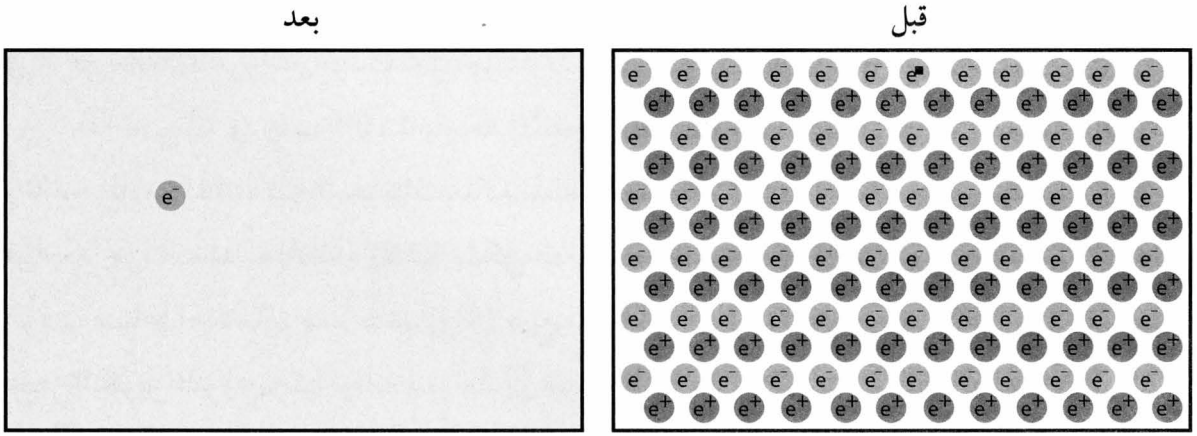
هذا يعني أنه في وقت 10^{15} ثانية بعد الانفجار العظيم وأثناء عصر الكهربية الضعيفة، أن إنتاج وتدمير المادة والمضاد للمادة لجزيئات المادة المظلمة بواسطة إشعاع الخلفية الكوني سينتهي. وتتفاعل فيما بعد جزيئات المادة المظلمة المتبقية بشكل ضعيف فحسب مع جزيئات النموذج القياسي من ذلك الوقت فصاعدًا. الأمام. يشير ذلك إلى أن جميع الأحداث التي تبدأ ببداية عصر الكوارك، وتستمر في عصر التكوين النووي، كما لو أنه لم توجد أي مواد مظلمة. لم تؤدِ جزيئات المادة المظلمة إلّا إلى التأثير

في هذه العمليات من خلال تأثيرها الجاذبي في معدل تمدد الكون في مرحلة ما خلال فترة الكهربية الضعيفة المبكرة. مع ذلك، من المحتمل أن تصبح تفاعلات المادة المظلمة مهمة، وربما تكون قد أوجدت حقبة المادة المظلمة السابقة قبل بدء عصر الكهربية الضعيفة.

تناظر المادة ومضاد المادة

تم اختبار النموذج القياسي لطاقات تصل إلى 13 تيرافولت، بحَيثُ يمكننا اتخاذ خطوة أخرى ما تزال متجذرة في البيانات التجريبية. في حدود 4×10^{-15} ثانية، نصل إلى حدود النموذج القياسي نموذج 2018 الذي تم اختباره بواسطة مصادم هادرون الكبير. وما نراه الآن – ونحن نتطلع لكون مبرد – هو فراغ كثيف (مساحة ممتلئة بالكامل المادة) من الكواركات الأولى المضادة، واللبتونات، والبوزونات معًا مع كل جزيئاتها المضادة، التي تكونت ودُمرتْ بحرية عند تفاعلها مع فوتونات الناتجة من إشعاع الخلفية الكونية.

لا توجد جزيئات جديدة متكونة في هذه الدوامة بعد فرميونات والبوزونات الأولية للنموذج القياسي. لا توجد أي جزيئات مركبة أخرى لديها أي فرصة للوجود لأن التصادمات المستمرة



تحطمها قبل أن تتمكن من الاستمرار لفترة أطول من عمر الكون في ذلك الوقت. فنحن، الآن، لدينا مشكلتان كبيرتان هما: من أين أتت الإشعاعات الخلفية الكونية، ولماذا توجد أكثر من مادة أكثر من مضاد المادة في الكون؟

يسمى معدل بارونات الفوتونات بالبارون الكوني - إلى - نسبة الكون، من خلال عمل (مسبار ويلكينسون لقياس التباين الميكرويفي) هذا العدد $1,6 \times 10^{10}$ بارون / فوتون. تعريف أكثر دقة لهذه النسبة يفسر الكثافة المتغيرة للكون في أثناء توسعه يؤدي إلى معدل كثافة الباريون إلى الفوتون، التي تبلغ قيمتها 10^{-8}. هذا يعني أن لكل 100 مليون مضاد كوارك، يجب أن يكون هناك 100 مليون زائد كوارك واحد. عندما تقارن عدد الفوتونات في إشعاع الخلفية الكوني مع عدد الباريونات (البروتونات بالإضافة إلى النيوترونات) في الكون، تكتشف أن هناك حوالي مليار فوتون في الباريون. ما يعنيه هذا هو أنه بدلاً من وجود أعداد متساوية من الباريونات (المادة)، ومضادات الباريون (المادة المضادة) في الكون، يفوق عدد الباريونات عدد الأضداد بنسبة جزء واحد في المليار. كانت هذه النسبة ثابتة بشكل أساسي حَتى قبل بدء عصر الكهربية الضعيفة. بعض هذه الفوتونات كانت مشتركة في مراحل مختلفة من إنتاج المجموعة، ولكن عندما سقطت هذه الأحداث من التوازن، لم يتغير العدد الإجمالي للفوتونات بشكل كبير. في الكون المتماثل لمادة المادة المضادة، إذا كانت هناك كميات متساوية تمامًا من المادة، والمادة المضادة، فلن يكون هناك أي شيء يُترك لتشكيل النجوم، والمجرات، سوى غاز مخفف ومبرّد من الفوتونات الكونية.

على الرغم من التحقيقات في العديد من الآليات، فإن سبب تمكن جزء الواحد في مليار من المادة أكثر من المادة المضادة لم يكن معروفًا، لم يحدث أي واحدة من هذه الآليات بعد نهاية عصر الكهربية الضعيفة في 10 ثوانٍ، ويبين الحد التجريبي الحالي الذي حددناه بمصادم هادرون الكبير

أنه لا يوجد شيء غير عادي يحدث في النموذج القياسي حَتى 13 تيرا فولت الموازي لوقت من 10^{-15} ثانية بعد الانفجار الكبير.

كان لا بُدَّ للعمليات التي أدت إلى عدم التوازي لجزء الواحد من المليار ان تعمل في وقت مبكر قبل 10^{-15} ثوانٍ بعد الانفجار العظيم. السؤال هو: كيف كانت تبدو تلك العمليات؟ في الأقل من الناحية النظرية، يبدو أن الطريقة الوحيدة التي يمكنك من خلالها إنشاء شبكة وصول من الباريون تبدأ من نظام توازن وهو إذا كانت مايسمى بـ (شروط ساخاروف الثلاثة) مقنعةً، وهو ما اقترحه الفيزيائي السوفياتي أندريه ساخاروف العام 1967:

الشرط الأول: يجب أن تكون التفاعلات مثل تحلل الجسيمات، وإنتاج الجسيمات التي بطبيعتها قادرة على إنتاج باريونات أكثر من مضادات البرونات.

الشرط الثاني: تناظر C – وتناظر CP – يجب أن يخترق – C التناظر هو بيان أنه إذا كان لديك رد فعل تنتج فيه جزيئات الموجبة الشحنة جزيئات سالبة الشحنة، يجب أن يكون هناك، أيضًا، تفاعلات تنتج فيها الجسيمات سالبة الشحنة،

نظرًا لأن المادة، والمادة المضادة لهما شحنة معاكسة، يجب عدم مواجهة التفاعلات التي تنتج أكثر من مضادات المادة التي تخلق المزيد من التفاعلات المنتجة مضادات أكثر من الباريونات (عن طريق تبديل قيم الشحنة من C = موجب إلى C = سالبة)، وإلّا فسيظل رقم الباريون الصافي بالضبط صفر. يبين مبدأ التناظر إذا تم عكس كل من شحنة (C) وتماسك (P) من الجزيئات في عملية ما، فأنت ما تزال تحصل على العملية المسموح بها. وأيضًا لا بُدَّ من انتهاك تكافؤ الشحنة. أما مبدأ التكافؤ فيشير إلى تكافؤ الشحنة التي يجب انتهاكها لإنتاج باريونات أكثر من مضادات الباريونات، لأنه لا يمكن إلغاء التماسك أو التكافؤ بين الباريونات ومضادات الباريونات.

الشرط الثالث: يجب أن تكون التفاعلات غير متوازنة. هذا يعني أن التفاعلات التي تخلق الباريونات لا يمكن موازنتها تمامًا عن طريق التفاعلات التي تنشئ مضادات الباريونات. إذ يتم تحقيق هذا الشرط بسهولة من خلال تمدد الانفجار العظيم، لأنه يجعل الكون أكثر برودة وأقل كثافة بصورة مستمرة مع مرور الوقت. هذا يسبب بعض ردود الفعل مثل إنتاج مزدوج لتجربة بدايات الطاقة حَيثُ يمكن للمجاميع أن تتحلل ولكن لايمكن إعادة تكوينها. على سبيل المثال، عند الحاجة إلى فوتون مع طاقة حوالي 1 ميكا فولت لإنتاج إلكترون ومضاد إلكترون عندها تتجمع وتتفكك هذه الجزيئات، لكن عندما تقل درجة الحرارة عن 1 ميكا فولت، لايمكن إنتاج مثل هذه الأزواج، لذلك تفقد هذه الجسيمات توازن التكوين والتفكك مع اتساع الكون وتبريده.

شروط ساخاروف:

الشرط الأول: اختراق رقم بايرون

الشرط الثاني: اختراق التناظر وتكافؤ التناظر

الشرط الثالث: الحراري اللامتكافيء

بالنسبة للشرط الأول، لا يحتوي النموذج القياسي على العمليات التي تغير رقم باريون. البروتونات هي الأكثر استقرارًا بين جميع الباريونات، ولذا فإن تغيير رقم الباريون يجب أن يعني، ضمنًا، تحلل البروتونات. تتحلل البروتونات إلى نيوترونات، لكن بما أن كلا الجسيمين عبارة عن باريونات، فإن رقم الباريون يبقى كما هو قبل التحلل وبعده. حاليًا، تم قياس الحد الأدنى لنصف عمر البروتونات على نحو 10 سنوات. سيكون التحلل المفضل في ميزون بأي (Pi meson)

محايدًا، ومضادًا للإلكترون. عندئذٍ يتحلل pi meson إلى فوتونين، لذا فإن رد فعل التحلل النهائي للبروتون ينطوي على مضاد للإلكترون وفوتونين. ينتقل رقم بايرون من واحد إلى صفر، لذلك لا يتم حفظ رقم البايرون هناك. مع ذلك، يوجد عدد من آليات تحلل البروتون المقدمة في نظرية التوحد الكبرى، ونظرية التناظر الفائق، لكن لم يتم التحقق منها تجريبيًا حَتى الآن. يمكن القضاء على بعض الإصدارات غير الناجحة من هذه النظريات لأنها تسبب فعليًا تحلل البروتون بشكل أسرع مما تسمح به الحدود العليا الحالية.

أما الشرط الثاني: فهو اكتشاف انتهاك التناظر CP في العام 1964. في تحلل الميزونات المحايدة (kaons). هناك اثنان من هذه الميزونات مع كتل باقية متطابقة بحجم 497 ميكافولت. ومع ذلك، فإن أحد أنواع الميزونات، (يطلق عليه الميزونات القصيرة) التي يبلغ نصف عمرها 9×10^{-11} فقط بينما الكاون الآخر، يسمى - الكاون الطويل الذي يبلغ نصف عمره 5×10^{-8} ثانية. والنتيجة هي أنه يتم إنتاج بارونات في التحلل أكثر بقليل من مضادات الباريون، ولكن يكون المعدل أصغر من أن يفسر عدم التوازن الكوني المقاس بالمليار الواحد.

أما الشرط الثالث: فهو - حالة عدم التوازن - إن معدل تمدد الكون يجب أن يستمر بشكل أسرع من وقت تحلل التفاعل بحَيثُ لا يتمكن إنتاج الجسيمات المضادة للجسيمات، التي يحاول الحفاظ على الأرقام متساوية - من مواكبة حدوثها المتناقص لإنتاجها الزوجي عندما يبرد الكون. يمكن لهذا الشرط أن يكون على الأقل مقنعًا من حَيثُ مبدأ الانفجار العظيم طالما هناك طاقة مطلوبة لهذه العملية، حَيثُ يتحقق التوازن فوقها مؤقتًا، لكن لا يوجد توازن دونه للحفاظ على وفرة مادة مساوية للمادة المضادة.

حاليًا، لا توجد آليات يتم التحقق منها تجريبيًا داخل النموذج القياسي أو علم الكونيات - الانفجار العظيم، بحلول بداية عصر الكهربية الضعيفة الذي يستوفي شروط

ساخاروف، ويسمح بتفضيل المزيد من المادة على المادة المضادة في مستوى 1: 1 مليار اللازمة لحساب الكون المهيمن عليها.

أندريه ساخاروف

المعروف باسم **أبو القنبلة الهيدروجينية السوفيتية** وُلد في العام 1921، وكعالم فيزياء نووية عمل على أجهزة الإندماج في أواخر الأربعينيات. في العام 1950، اقترح مفهوم **توكاماك** للانصهار المتحَكم فيه، والعودة إلى شغفه الأول في علم الكونيات - بحلول العام 1965. وكان مفتونًا بشكل خاص بفيزياء الانفجار العظيم، ومشكلة عدم تناسق المادة المضادة في الكون الحديث، ما أدى إلى نشره ما يسمى بشروط ساخاروف في العام 1967. وقد دفعه هذا أيضًا إلى التفكير في علم الكونيات الغريبة الذي كانت فيه نظرية الشحن والتكافؤ مقنعة عن طريق اقتراح كونين مرتبطين بتفرد الانفجار العظيم، كون تسيطر فيها المادة، والآخر تسيطر فيه مضاد اللمادة.

مشكلة الأفق

كان الكون يتوسع بمعدل هائل خلال بدايات الانفجار العظيم، مما أدى إلى بعض القضايا الصعبة مع الآفاق الكونية، وتوحيد المادة، والإشعاعات الخلفية الكونية خلال التمدد. في أثناء عصر الكهربية الضعيفة، عندما كان عمر الكون يبلغ 4×10^{-15} ثوانٍ فقط، من كل نقطة في الفضاء، يمكنك الحصول على معلومات من جيرانك فحسب إذا كان جيران أقرب من $3 \times 10^{10} = 0,0001 \times 4 \times 10^{-15}$ سم. عندما يكون داخل نصف قطر الأفق، والكثافة المقدرة في هذا الوقت، سيكون هناك، فقط، حوالي 18000 كغم أي (680 , 39 رطل) من المادة. لا يكفي هذا لجعل أي شيء مثيرًا للاهتمام، لكنه كبير بما فيه الكفاية ليكون لديك عدد مذهل من الجسيمات الأولية التفاعل بمعدل كبير مع بعضها البعض.

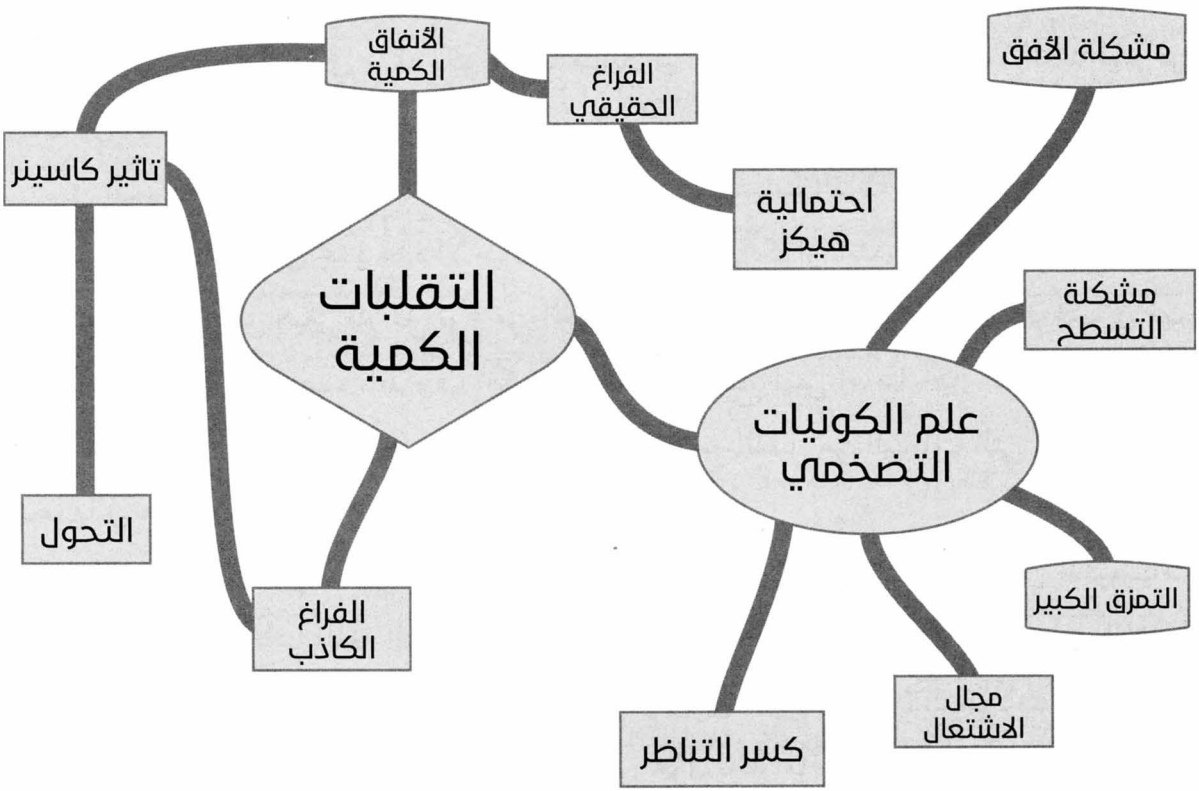
البحث عن مضادات المادة الكونية

يمثل الإدراك الذي نعيشه في عالم تسيطر عليه المادة مع وجود مادة مضادة ضئيلة أو معدومة بصورة متساوية مشكلةً في علم الكونيات منذُ اكتشاف بول ديراك في العام 1928 للمادة المضادة، واكتشاف كارل بوس اندرسون للبوزيترون في دراساته الكونية في العام 1932. ينتج عن الاتصال بين المادة، والمادة المضادة موجة من فوتونات أشعة كَاما. إذا كان هناك أي احتياطات (مخزونات) كبيرة من المادة المضادة داخل درب التبانة فإن هذا الإشعاع يمكن اكتشافه بسهولة. ومع ذلك، فإن كل ما نلاحظه هو كمية صغيرة من المادة المضادة تنتج من تصادمات الجسيمات الفردية في الفضاء. تتمثل المقترحات الخاصة بمعالجة مسألة المادة المضادة المفقودة هو أن المادة، والمادة المضادة قد فصلتا في الفضاء بطريقة بحَيثُ قد تكون أقرب التركيزات هي مليارات السنين الضوئية من الأرض، ولا يمكن اكتشافها. لا توجد آلية فيزيائية معروفة يمكنها القيام بهذه المزحة، الأمرالذي دفع علماء الكون للنظر في تفسيرات أخرى. وفي الوقت نفسه، على الرغم من أن عمليات البحث عن إشعاع تدمير أشعة كَاما لم تتوصل إلى أي انبعاث يمكن اكتشافه، فإن علماء الفيزياء النظرية مثل **أندريه ساخاروف** في الستينيات من القرن العشرين اعتبروا أن العمليات القريبة من الانفجار العظيم، نفسه، منحازة لكوننا لصالح المادة الطبيعية. يمكن أن تكون هناك آليات داخل النموذج القياسي، أو ما وراءه والتي تسبب تحلل الجزيئات بطريقة تنتج فيها المادة المضادة أكثر من المادة الطبيعية.

مكتبة
t.me/t_pdf

فاز بول ديراك بجائزة نوبل للفيزياء عام 1933 عن عمله في النظرية الذرية ، ولكن قبل ذلك ربما يكون قد اكتشف اكتشافًا أكثر أهمية وهو وجود المادة المضادة

علم الكونيات التضخمي



التناظرات:

كنا قد بدأنا في الفصل السابق رحلتنا إلى الانفجار العظيم ووصلنا إلى عصر الكهربية الضعيفة – الأفق التجريبي الحالي للبحث في وقت 4 10^{-15} x ثانية بعد الانفجار العظيم. وصلنا أيضًا في وقت قد بدأ فيه تحدي فهمنا التقليدي لمكونات الكون إذ أننا لا نعرف من أين أتت فوتونات إشعاع الخلفية الكونية التي تهيمن على محتوى جسيم مادة كونية بأكثر من مليار إلى واحد، ولا ندري لماذا نجت ذرات من المادة في ما قد يكون كونًا متماثلًا في المادة، والمادة المضادة. ليس لدينا فهم عن وقت وزمان وصول جسيمات المادة على الساحة، لتصبح الشكل السائد للمادة في الكون.

في النموذج القياسي نفسه، لا يوجد فهم للعديد من الكميات القابلة للتعديل في هذه النظرية. على سبيل المثال، ما الذي يحدد عدد الأجيال من اللبتونات، والكواركات، أو ما الذي يحدد الطريقة التي يتفاعل بها بوس هيغز مع كل نوع من الجزيئات لمنحها كتلها الفريدة. إذا كنا نرغب في فهم الأسباب الكامنة وراء هذه الظروف الكونية، فمن الواضح ليس امامنا خيار سوى استكشاف مشهد أكثر بعدًا، يتم ملؤه إلى حد كبير بالأفكار النظرية مع القليل من البيانات التي لا جدال فيها لدعمها في هذا الوقت.

تناولت لغة التناظر، التي واجهناها في الفصل السابع، التحقيقات الكونية في السبعينيات من القرن العشرين لأنها اللغة التي يستخدمها علماء الفيزياء لوصف القوى، والجزيئات اللازمة لإنشاء الأحداث والظروف الفيزيائية للكون المبكر، إذ يرى الفيزيائيون أن التحولات بين القوى، والجزيئات عبارة عن سلسلة من تحولات الطور، مثل تحوّل بخار ماء المبرد إلى سائل في درجة حرارة واحدة، ثُمَّ تجميده إلى جليد في انخفاض درجة حرارة ثابت. ومع توسع الكون وتبريده، يُنظر إليه

أيضًا على أنه قد مر بسلسلة من الحلقات المتجمدة في درجات حرارة محددة (الطاقات) التي تنكسر فيها مختلف التناظرات من بين الجزيئات والقوى على التوالي مع توسع الكون وتبريده بلا هوادة.

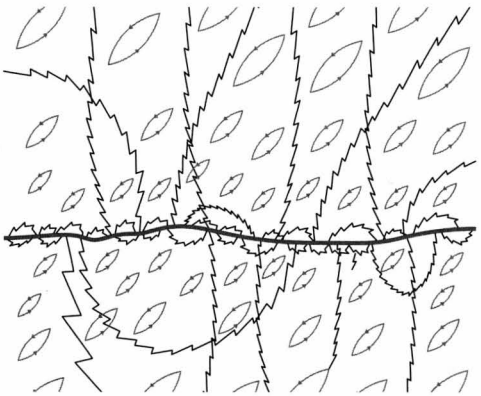
في عالم اليوم، كل من U (1) و SU (2) و SU (3) تماثلات مكسورة، لأن القوى الثلاث التي تمثلها - القوى الكهرومغناطيسية، والقوى الضعيفة، والقوية - لها نقاط قوة، وسلوكيات مختلفة.

ولكن خلال عصر الكهربية الضعيفة، عندما تم تسخين الكون إلى حوالي تريليون كلفن، أصبحت القوى الكهرومغناطيسية، والضعيفة متشابهة. وأصبح الكون في اللغة الجديدة غير متماثل للقوة الكهربية الضعيفة التي يمثلها التماثل SU (2) x U (1)، لكنه بقي (مكسورًا) لقوة الكهربائية الضعيفة، والقوى القوية المتمثلة في التماثل SU (3) وهذا هو السبب في أنه في هذا الوقت وقبل ذلك كان هناك أساسًا قوتان متميزتان يمثلهما U (1) x SU (2) و SU (3)، وما تحقق في منتصف سبعينيات القرن الماضي هو أن مجموعة التماثل مثل SU (5) تضمنت التماثلات لـ U (1) و SU (2) و SU (3)، وهكذا أصبح من الممكن الآن تصور تطور جديد لأحداث كسر التماثل في الكون المبكر.

في درجات الحرارة المرتفعة جدًا، يمكن وصف الفيزياء بتماثل SU (5) الكامل الذي يوحد القوى القوية، والضعيفة، والكهرومغناطيسية بالكامل. استمر هذا الحال حَتى تمدد الكون، وتم تبريده بحَيثُ اقتحمت SU (5) التماثلين SU (3) و U (1) x SU (2) المنفصلين بحَيثُ أصبحت القوى القوية متميزة عن قوة الكهربية الضعيفة، وقد حدد هذا بداية عصر الكهربية الضعيفة. ثُمَّ في 1 تريليون كلفن تجزأ التماثل الكهربائي للـ U1 × SU (2) إلى أجزاء منفصلة من SU (2) و U (1) بحَيثُ أصبحت القوى الضعيفة والكهرومغناطيسية قابلة للتمييز الآن، مما أدى إلى نهاية عصر الكهربية الضعيفة.

الفراغ الحقيقي

عندما نفكر في المساحة الفارغة، فإننا نتخيل حالة يتم فيها إزالة جميع الجزيئات الأولية، وإزالة جميع الحقول الحرة أيضًا، مثل الحقول الكهرومغناطيسية، تاركةً وراءنا لا شيء، باستثناء النسيج الثلاثي الأبعاد. تقول النسبية العامة إن هذا الفراغ الثلاثي الأبعاد هو أيضًا خيال، لأنه تجسيد لحقل الجاذبية. إذا حاولت إزالة ترابط المجال الجاذبي خلال هذا الفراغ، فلن تنجح إلّا في إبادة المساحة نفسها. لكن حَتى قبل أن نذهب إلى هذه الميكانيكا الكمومية المتطرفة، ولَا سِيَّما نظرية مجال الكم، فإنها تقول إن هذا الفراغ مليء بمجيء وذهاب الجسيمات الافتراضية التي لا تعد، ولا تحصى، أي حرفيًا الأشياء المتصاعدة في الليل.

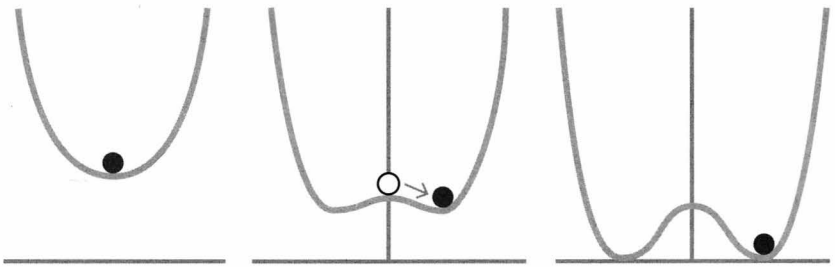


الفضاء الفارغ مليء بعمليات افتراضية تؤثر على الأنظمة الكمومية مثل الجسيمات والذرات

الفراغ الخاطئ

نتذكر من الفصل الخامس أنه في نظريات التوحيد الكبرى، يتم كسر التناظر بين القوى القوية، والقوة الكهربائية الضعيفة بفعل (بوسون هيجز) الفائق الكتلة. هذا البوسون، مثله مثل كل الجسيمات الأخرى، هو كم من مجاله الخاص، تمامًا كما هي الفوتونات كميدان الحقل الكهرومغناطيسي. دائمًا ما يكون للحقول الكهرومغناطيسية مصدرٌ، سواء أكان إلكترونًا مشحونًا، أم ذرة مشحونة، أم جهازًا إذاعيًا يبث الأخبار المسائية. ومع ذلك، فإن بوزونات هيغز أعضاء في فئة من الجسيمات التي لها يبلغ دورانها صفرًا. عندما نمثل هذه الحقول رياضيًا في لغة النسبية العامة، فهي تكون موجودة طوال الزمكان، وليست معزولة عن مصدر معين. في كل سنتيمتر مكعب من

المساحة، هناك أيضًا قطعة من حقل (هيجز) تختبئ بعيدًا. ولأنه يحتوي على نفس الخصائص في كل مكان في الفضاء، فانه يتفاعل مع المادة بالضبط بنفس الطريقة، سواء أكانت المادة على الأرض، أم في أقصى مجرة يمكننا أن نرى.



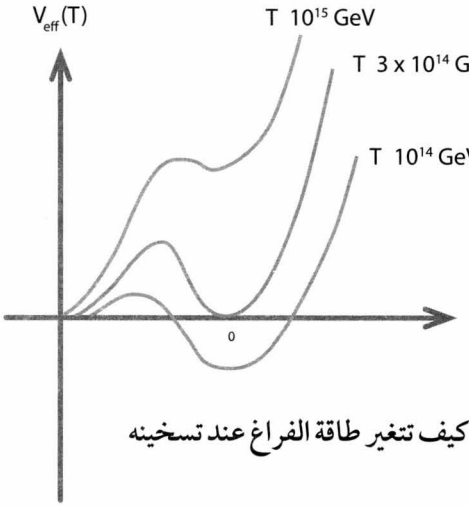
يتم تحديد طاقة الفراغ بواسطة مجال هيغز مما يتسبب في أن يكون الفراغ غير مستقر

لكن يمكن أن تتفاعل حقول هيغز، وخاصة الجزيئات الكميّة التي تتكون منها (بوزونات هيغز)، مع نفسها. يعمل هذا التفاعل الذاتي كطاقة محتملة، فكلما زاد تفاعلها مع بعضها البعض، زادت الطاقة الكامنة. من خلال آليته، يمكن أن تحتوي المساحة الفارغة على جزيئات افتراضية طبيعية تأتي وفقًا لمبدأ عدم اليقين لـ هيزنبيرغ، ولكن يمكن أن يكون لها متوسط الطاقة الكامنة أيضًا، بسبب حقل هيغز الأساسي، حَيثُ يتم تمثيل طاقة فراغ هيغز، رياضيًا، من خلال ما يسمى بطاقة هيغز المحتملة، ولها بعض الميزات المثيرة للاهتمام التي تعتمد على طاقة التفاعل. يمكن تغيير طاقة التفاعل هذه عن طريق زيادة، أو تقليل طاقة تصادم الجسيمات الأخرى في الفضاء، بمعنى آخر، درجة حرارة النظام الكمي. يُظهر الرسم البياني في الصفحة السابقة بعض إمكانات هيجز التمثيلية بالقرب من وقت إصدار واحد لحدث كسر التماثل لنظرية التوحيد الكبرى.

عندما تكون درجة الحرارة (الطاقة) عالية جدًا، تكون أدنى نقطة في الشكل بالمنحنى العلوي عند $\phi = 0$. نظرًا لأن كتلة بوزون هيغز تعتمد على الـ ϕ، فإن هذا يعني عدم وجود أي كتلة لبوزون هيغز في درجات الحرارة العالية جدًا التي تزيد عن 1015 كيكافولت. هذا يعني أن الجزيئات التي

تتفاعل معها أيضًا ليس لها أي كتلة، وبالتالي نحن في حالة التماثل الصافي لـ SU (5)، عند انخفاض درجة الحرارة إلى القيم التي تقل عن 3 × 1014 كيكافولت يكتسب هيغز بوز كتلة تساوي $\phi = \phi 0$. عند التبريد المتزايد، نظرًا لعدم وجود حالات طاقة منخفضة لحقل هيغز، يتم تعليقها على قيمة ϕo. من ذلك الوقت فصاعدًا، تحدد الفيزياء من خلال هذه القيمة الكلية لـ هيغز، التي تحدد مدى اختلاف القوى القوية، والضعيفة. في الواقع، تبدو الأمور أكثر تعقيدًا من هذا الأمر، كما قد نتوقع. إذا كانت إمكانات هيغز تحتوي على أي اهتزازات مثلها مثل التعرجات الظاهرة تظهر في الشكل إلى اليسار، يحدث شيء مثير للاهتمام للغاية، هو أن النظام (الكون) يستمر في البرودة.

يمكن للنظام أن يبدأ في الحالة المتماثلة بطاقة عالية مقاربة من $\phi = \phi$، لكن حقل هيغز قادر على التغيير بشكل أسرع مما تستطيع الجسيمات مواكبة ذلك. عندما تستقر جزيئات هيغز في الحد الأدنى من الطاقة عند $\phi = \phi o$، بالقرب من $\phi = 0$. يوضح الرسم التخطيطي ادناه أن فراغ نظام الجسيمات قد يبقى عالقًا في الحد الأدنى من الفراغ الحقيقي بينما يبقى حقل هيغز ثابتًا في الحد الأدنى الآخر. حَيثُ تفصل الجزيئات بواسطة حاجز الطاقة. يقول الفيزيائيون إن الحالة $\phi = \phi o = \phi$ هي فراغ حقيقي بينما تمثل الحالة $\phi = 0$ هي فراغ خاطئ. إذًا السؤال هو كيف يتفاعل نظام الجسيمات مع هذا.

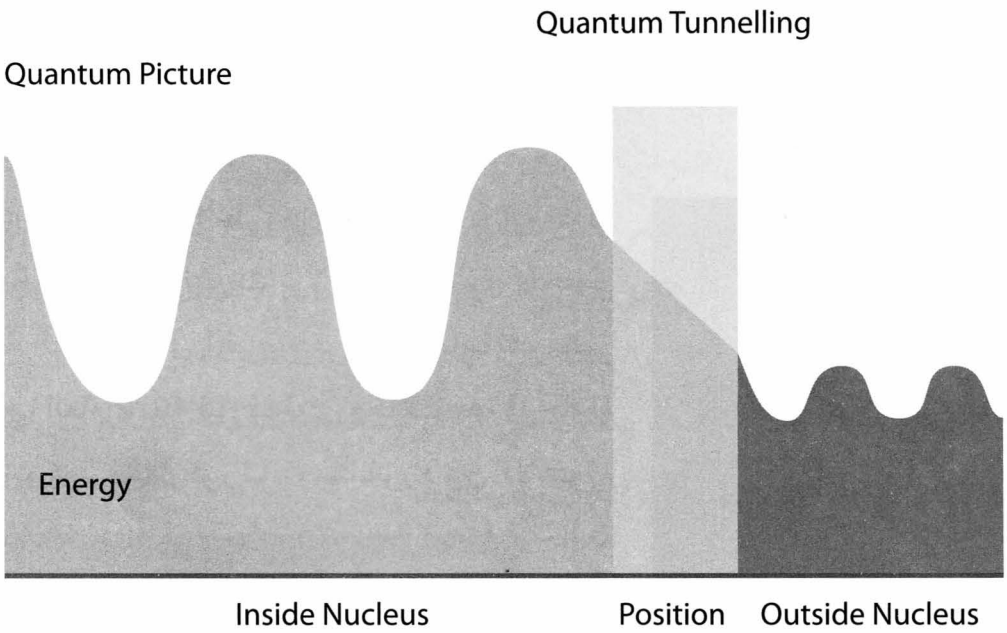


كيف تتغير طاقة الفراغ عند تسخينه

يمكننا إذن نسخ سلوكه من نماذج التحلل الإشعاعي حَيثُ تقوم النواة بإخراج جزيئات (الفا) فجأة بواسطة عملية تسمى النفق الكمي. حَيثُ يعتمد الوقت الذي يستغرقه النفق عبر حاجز الطاقة على ارتفاع طاقة الحاجز وطاقة الجسيم.

انفاق الكم

في ميكانيكية الكم، عندما تمرّ الجسيمات مثل الإلكترون، عبر حاجز في الفيزياء الكلاسيكية، ينبغي صدها. وفقًا لمبدأ عدم اليقين لهايزنبرغ، فإن للجسيم بعض الاحتمالات المحدودة للتغلب على الحاجز المعروف باسم الأنفاق.

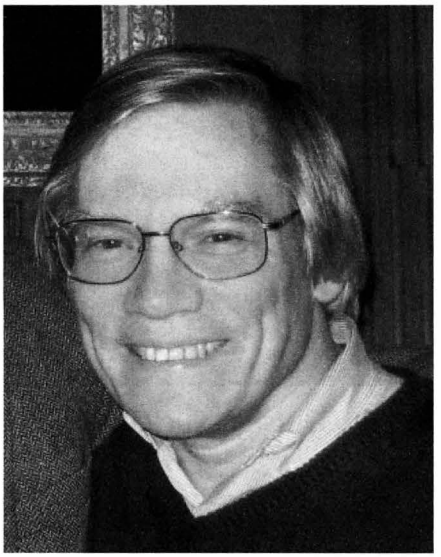


كلما زاد الفرق في الطاقة بين الحالتين، كلما استغرق الأمر وقتًا أطول حَتى يتخذ النظام نفقًا إلى حالة الطاقة المنخفضة التي تتكون من نواة منفصلة وجسيم ألفا. ويُعتقد أن هذا ينطبق على نظام هيغز للجزيئات. في نهاية المطاف، ستتخذ الجسيمات نفقًا في الفراغ الخاطئ خلال حاجز هيغز للطاقة، وتصل إلى الفراغ الحقيقي. إن أبسط طريقة لتحقيق ذلك تتضمن تشكيل فقاعات الفراغ

الحقيقي داخل الفراغ الخاطئ. حَيثُ تندمج الفقاعات، وهذا يكمل الانتقال من الفراغ الخاطيء إلى الفراغ حقيقي. ولكن، كيف ينطبق هذا على علم الكونيات؟

درس الفيزيائي **آلان غوث** في جامعة ستانفورد بين عامي 1979 و1981 كيفية تطبيق تأثير هيغز في مجال الطاقة الفراغية في نظرية الوتر على علم الكونيات، والانفجار الكبير، إلّا أنه قد فوجئ بشدة بما اكتشفه لأسباب تقنية، ويعتقد أن هذه الطاقة الفراغية هي ليست بسبب بوزون هيغز العادي، وإنما بسبب حقل عددي آخر يسمى حقل التضخم.

آلان غوث



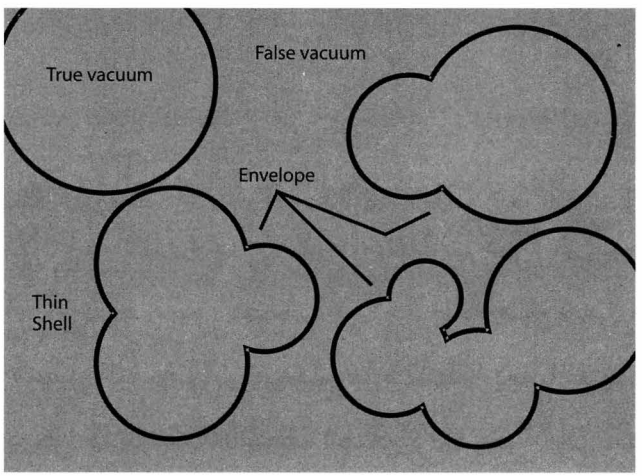
وُلد عالم الفيزياء النظري الأمريكي آلان غوث في العام 1947 في نيو برونزويك بولاية نيوجيرسي، وحصل على درجة الدكتوراه في الفيزياء من معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا العام 1972 قبل قبوله في وظائف عدة في جامعة برينستون وكولومبيا وكورنيل وستانفورد بين الأعوام 1972 و1979. في أثناء وجوده في جامعة كورنيل وجامعة ستانفورد، قام بدراسة عواقب انتقال المرحلة في الكون بعد انتهاء فترة دراسة نظرية التوحيد الكبرى مباشرة. فقد اكتشف مع هنري تاي أنه مع انتقال الفراغ الخاطئ إلى الفراغ الحقيقي، يتوسع الفضاء بشكل كبير ويضخّم نطاقات هائلة. هذا التضخم من شأنه أن يقلل من عدد الأقطاب الأحادية المغناطيسية في الكون، ويأخذ أيضًا بنظر الاعتبار تساوي الزمكان في الوقت الحالي، بالإضافة إلى حل مشكلة الأفق في نفس الوقت. لهذا العمل وغيره من الأعمال المتعلقة بعلم

الكونيات التضخمي الفضل لحصول على جائزة كافلي في العام 2014، مع أندريه ليندي، وأليكسي ستاروبينسكي.

حقل التضخم هو: حقل عددي نظري قد يؤدي إلى التضخم الكوني في الكون المبكر.

الانفجار الكوني التضخمي

تو جد علاقة مباشرة بين قيمة مجال التضخم، ϕ، والثابت الثابت الكوني لأينشتاين A. عندما يكون $\phi = 0$ كما هو الحال في الفراغ الحقيقي، يكون للثابت الكوني قيمة صفرية، وبالتالي يتمدد الكون وفقًا لمعدل توسع هابل الطبيعي الذي تنبأ به فريدمان (حلول الانفجار العظيم) لكن عندما لا يكون ϕ صفرًا، يخضع الكون النفق الكمي باتجاه الفراغ الحقيقي. خلال هذا الوقت، لن يكون الثابت الكوني صفرًا على الإطلاق، وهذا يعني أنه بدلاً من التمدد الخطي بمعدل هابل مع تقدم الكون بالعمر، سوف يتوسع الكون بمعدل أُسّي كما هو متوقع في نموذج أينشتاين دي سيتر الكوني عندما يتضاعف حجمه مع مرور كل فاصل زمني.



مثال على كيفية تغير الفراغ الزائف إلى الفراغ الحقيقي من خلال تكوين فقاعات مدمجة

يوفر هذا تفسيرًا لسبب احتفاظ إشعاع الخلفية الكونية بنفس درجة الحرارة عبر السماء بأكملها اليوم. كل ما نراه من حولنا قد نشأ من رقعة **كمية** صغيرة من الزمكان قبل التضخم، حَيثُ كانت درجة الحرارة والخصائص الفيزيائية للمادة والإشعاع متشابهة جدًا.

بمجرد اكتمال النفق الكمي، يستأنف تمدد هابل العادي حَيثُ وصلت طاقة الفراغ إلى قيمة الصفر مرة أخرى. أصبحت هذه الفترة من المضاعفة المعروفة باسم **التضخم الكوني**. إذ إن خواصه، ومدته المحددة هي موضوع دراسة كبيرة، ليس لأن الملاحظات الكونية قد تساعد على تحديدها فحسب، لكن، أيضًا، لأن لها تطبيقات عاجلة على النظريات التي توحد قوى الطبيعة. رأى العالم غوث، مباشرةً، كيف حلّت هذه الآلية مشكلتين رئيسيتين في علم الكونيات، هما مشكلة التسطيح ومشكلة الأفق.

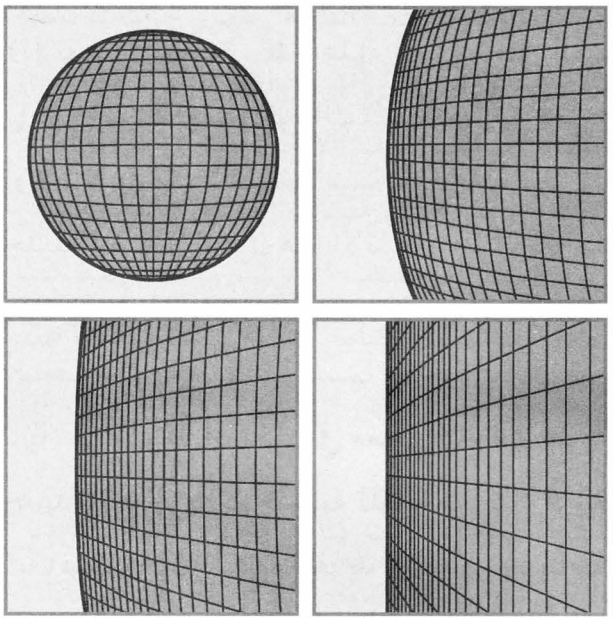
تتعلق مشكلة التسطيح بالنماذج الكونية الحالية المبنية على الملاحظات التي تُظهر كوننا بأن له هندسة مسطحة جدًا في (الزمكان). لكن كيف يمكن لها أن تكون مسطحة جدًا اليوم؟ يفهم الجواب من التضخم عن طريق التماثل (التشبيه) مع سطح جسم كروي، يبدو السطح منحنيًا للغاية لتبدأ، ولكن إذا قمت بتوسيع حجم السطح الكروي بصورة هائلة، فإن سطحه يبدو أكثر تسطحًا أثناء تطوره. هذا هو ما يفعله التضخم لزمكان أولي للغاية عن طريق توسيع نطاقه بشكل هائل.

أما المشكلة الثانية فهي تنطوي على درجة حرارة الخلفية الكونية اليوم، والتي هي على نحو سلس للغاية لتحسين جزء واحد من 100,000. لا يعد هذا ممكنًا بنظر علم الكونيات (الانفجار العظيم) العادي، لأنه لا ينبغي أن تكون مناطق السماء البعيدة عن درجة واحدة على اتصال حَتى الآن، وبالتالي يجب أن تظهر اختلافات كبيرة من درجة الحرارة الاسمية 2,7 كلفن الفعلية.

إن ما يفعله التضخم هو أخذ بقعة صغيرة من الكون أثناء ما يمكننا الآن التفكير فيه باعتباره (عصر التضخم) وتضخيم هذه المنطقة بمضاعفتها حَتى تصبح ابعد بكثير من حدود أفقنا اليوم. يمكن لهذه البقعة (المنطقة الصغيرة المضخمة) أن تكون آلاف أو ملايين المرات أكبر من مسافة أفقنا

البالغة 14 مليار سنة ضوئية، ومِنْ ثَمَّ نرى درجة حرارة ثابتة داخل بقعنا الصغيرة، وفي بقع أخرى بعيدة جداً من الفضاء، يمكن أن تبلغ درجات حرارتها الحالية 3,2 كلفن أو 0,5 كلفن من التي تحددها الاختلافات الإحصائية التي استمرت خلال عصر التضخم.

نفق الكم



يعتمد الوقت الذي يقضيه الكون في مرحلة مضاعفة العصر التضخمي على مدى سرعة الانتقال من الفراغ الخاطئ إلى الفراغ الحقيقي، وهذا يعتمد على فرق الطاقة المحتمل بين حالتي الفراغ. أظهرت الحسابات الأولية التي أجراها غوث آلان أنه في حالة وجود تناظر طاقة كبرى SU (5) بالقرب من طاقة تبلغ حوالي E (GUT) = 10^{15} GeV في وقت 10^{-35} ثانية بعد الانفجار العظيم، ومِنْ ثَمَّ يمكن تمديد فترة المضاعفة اعتمادًا على الشكل الدقيق لإمكانات هيغز، إلى E = 10^{14} كيكافولت بعد بعض 10^{-33} ثانية. إذا بدأت الجسيمات عند 0 = 10^{-33} سم (المسماة مقياس بلانك) بعد فقط 100 ضعف من **الطي الإلكتروني** أو 2^{144} ضعف بين 10^{-35} و10^{-34} ثانية، سيكون معدل انفصالها هو $105 = 2^{144} \times 10^{-33}$ = (t) كم. لاحظ أنه بحلول

هذا الوقت 10^{-34} ثانية يبلغ حجم الأفق من 10^{-24} سم فقط وهو أصغر بكثير من حجم المادة الذي انبثقت منه هذه القطعة الكمومية بعد التضخم.

إعادة التسخين والخروج الذكي

كانت هناك مشكلة في الفكرة الأصلية لـ (علم الكونيات التضخمي) إذ لم يكن هناك طريقة ذكية لإيقاف هذا التضخم ومِنْ ثَمَّ الانتقال إلى توسع هابل الطبيعي الذي تنبأ به علم الكونيات (الانفجار العظيم). قدم علماء الفيزياء مثل ألكس فيلينكين، وبول شتاينهارت، وأندريه ليندي نماذجًا جديدة لعلم الكونيات التضخمي مع تأثير إضافي، ربما يحل مشكلة الخروج الرائعة.

أولًا: لا يتحكم التضخم بنسبة من مجال هيغز العادي للقوى الكهربية الضعيفة، ولكن بمجال جديد للتضخم. يكون هذا الانشطار ضروريًا، بسبب تفاعل جسيمات هيغز الهائلة المتوقعة مع المادة بقوة بحَيثُ قد ينفجر الكون بدلًا من أن يتوسع. لذا كان لا بُدَّ من اقتراح مجال جديد ذو تفاعل أضعف بكثير مع المادة للتسبب في تكوين التضخم.

ثانيًا: من المتوقع أن تكون في معظم إنتاجات نظرية التوحد الكبرى، ونظرية التناظر الفائق عائلات جديدة من جزيئات ضخمة للغاية مع كتل قريبةٍ من نظرية التوحد الكبرى للطاقة تبلغ 10^{15} كيكافولت. إن الشيء الفريد في هذه الجزيئات هو أنها تحتوي على ميزات كل من اللبتونات، والكواركات، وبالتالي غالبًا ما تسمى جزيئات اللبتوكوارك. بسبب هذه الخصائص المختلطة، يمكن لهذه الجزيئات تحويل الكواركات إلى اللبتونات والعكس صحيح، وبالتالي انتهاكها الحفاظ على رقم الباريون. بمرور الوقت، يمكنها أن تتسبب في تحلل البروتونات مع بقية عالم الجزيئات حولنا.

أخيرًا، أدت التقلبات الكمومية في مجال التضخم إلى ارتفاع إنتاج مجاميع الجسيمات الهائلة (المجاميع المضادة للجسيمات). يبدو هذا بمثابة كسر لقوة مجال التضخم، ما تسبب في انخفاض

قوة التضخم عند تقدمه، ونتيجة لذلك، أدى تدمير مجاميع الجسيمات الفائقة الكتلة أيضًا إلى نشوء إشعاع الخلفية الكوني وكذلك الأنواع الأساسية من جزيئات النموذج القياسي عند إعادة تسخين الكون، ولكن ليس بنفس طاقة نظرية التوحد الكبرى. لم يكن تحلل جزيئات هيغز الهائلة وبوزونات اللبتوكوارك متناظرًا، لكن في هذا الوقت يعتقد ان تناظر المادة والمادة المضادة هو الذي حصل.

التقلبات الكمية

انطلاقًا من مبدأ عدم اليقين لهيزنبيرغ، فإن التغيرات المؤقتة في كمية الطاقة / ظهور جزيئات نشطة من لا شيء. لأنها تسمح بتشكيل الأزواج الجسيمات ومضادات الجسيمات من الجزيئات الافتراضية. أيضًا، أدت التقلبات الكمومية (الكم) في مجال التضخم إلى مجموعة من الاختلافات في كثافة الكتلة عبر كل رقعة تمدد، والتي أصبحت بمثابة بذور البنية التي نراها في مطياف الخلفية الكونية متباين الخواص، وفي مجاميع المجرات في الكون اليوم. في الواقع، فإن الطيف الذي تم رصده مستشكف الخلفية الكونية متباين الخواص من قبل بلانك ومسبار ويلكنسون متباين الخواص يطابق تمامًا علم الكونيات التضخمي ويُعتبر بمثابة دلالة قوية على النظرية.

أدلة على التضخم

خلال عصر نظرية التوحد الكبرى التي سبقت **التضخم**، كانت كثافة المادة في هذه المقاييس والطاقات عرضةً لتغيرات في القوة تمليها ميكانيكا الكم. مع تقدم التضخم، تم توسيع هذه التقلبات في الكثافة بشكل كبير مما أدى إلى مجموعة من المخالفات في توزيع المادة. من المتوقع ان تتبع قوة هذه المخالفات على مستويات مختلفة طيفًا معينًا. سوف يعكس هذا الطيف من الاختلافات نفسه على إشعاع الخلفية الكونية، وخاصة على نطاقات الزاويّة الكبيرة التي تتجاوز 1 درجة. كانت الدراسات التفصيلية لبيانات بلانك وومسبار ويلكنسون بحلول عام 2006 قادرة على التأكيد بأن المخالفات المقاسة في الخلفية الكونية لها بالضبط الطيف الذي تنبأ به التضخم. لا يوجد تفسير بسيط آخر حاليًا

لهذه الملاحظة. في الواقع، تم العثور على الطيف التضخمي أيضًا في تجمع المجرات التي تم قياسها بواسطة مسح (سلوون Sloan) الرقمي للسماء.

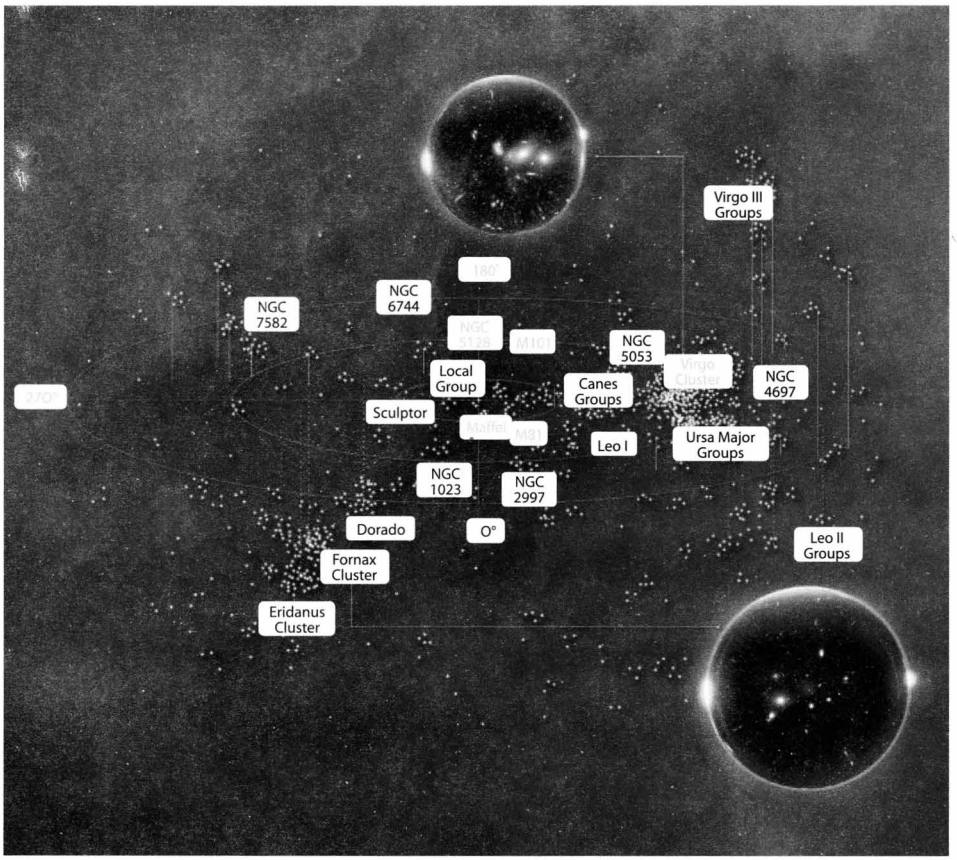
نأمل أن نحصل على اختبارات مستقبلية للمرحلة التضخمية في التمدد الكوني من خلال كشف وقياس في نماذج استقطاب الخلفية الكونية. يتم إنتاج هذه الاختبارات عندما تقوم الفوتونات الموجودة في إشعاع الخلفية الكونية بتشتيت المخالفات في الزمكان الناتجة عن الإشعاع الجاذبي. سيكون الكشف عن هذه المخالفات بالكمية الصحيحة دليلًا قويًا، ليس للتضخم فحسب، بل، أيضًا، للإشعاع الجاذبي الذي كان متوفرًا بشكل كبير قبل 10^{-34} ثانية من الانفجار العظيم. تم تقديم تأكيد أولي لتأثير الاستقطاب هذا في العام 2014 بواسطة تجربة **تصوير خلفية الاستقطاب الكوني الخارج المجرة الثاني** BICEP2 المتكون من (عشر جامعات في أمريكا الشمالية تعمل معًا)، لكن تم اعتباره دليلًا غير مقنع بعد بضع سنوات.

الطاقة المظلمة

قد لا يتوجب علينا النظر في عصر التضخم فحسب لرؤية ظاهرة عمل **الطاقة الفراغية**، بل إنّ اكتشاف الطاقة المظلمة في البيانات من ويلكنسون وبلانك، إلى جانب اكتشاف التوسع المتسارع الذي اكتشفته دراسات السوبرنوفا (المجرات فائقة الكتلة) من النوع 1A، يشير إلى أننا نعيش حقبة تضخمية جديدة. قد يكون السبب إما انكماشًا جديدًا في مجال التضخم البدائي المحتمل ϕ، أو قد يرجع سببه إلى مجال عددي كوني آخر.

تظهر عواقب التوسع المتسارع اليوم أن تكون شديدة إلى حد ما. وإذا ما استمرت دون تغيير فمن المقدر أنه خلال 50 مليار عام، ستكون درب التبانة هي المجرة المرئية الوحيدة المتبقية في منطقتنا. إن جميع المجرات الأخرى التي تحيط بنا الآن قد تم سحبها من خلال التوسع المسرَّع للفضاء

بحَيثُ تكون مسافاتها بعيدة جدًا لدرجة يمكن ملاحظتها. إذا استمرت العملية إلى ما بعد هذه النقطة في المستقبل البعيد، فسيستمر تأثير تمدد الفضاء بقوة بحَيثُ يتم شق طريق درب التبانة ومِنْ ثَمَّ تمدد النجوم والكواكب الفردية، وأخيرًا حَتى الأنظمة الذرية سوف تتمدد وتتفكك لأن الزمكان نفسه سيستمر بالتفكك. يطلق علماء الفلك تسمية (التمزق العظيم) على هذا المستقبل المخيف. ومع ذلك، لكي يحدث هذا التمزق، سيتعين على حالة الفراغ الخاطئة الحالية أن تستمر لعشرات المليارات من السنين والتي ستكون درجة من الاستقرار لا يمكن تصورها. بدلاً من ذلك، من المحتمل جدًا



أن تتحلل حالة الفراغ الكاذبة هذه التي نعيشها اليوم إلى حالة فراغ حقيقية حَيثُ يجد مجال التضخم الجديد طريقه إلى مستوى طاقة منخفض وبصورة ثابتة.

قياس الفراغ

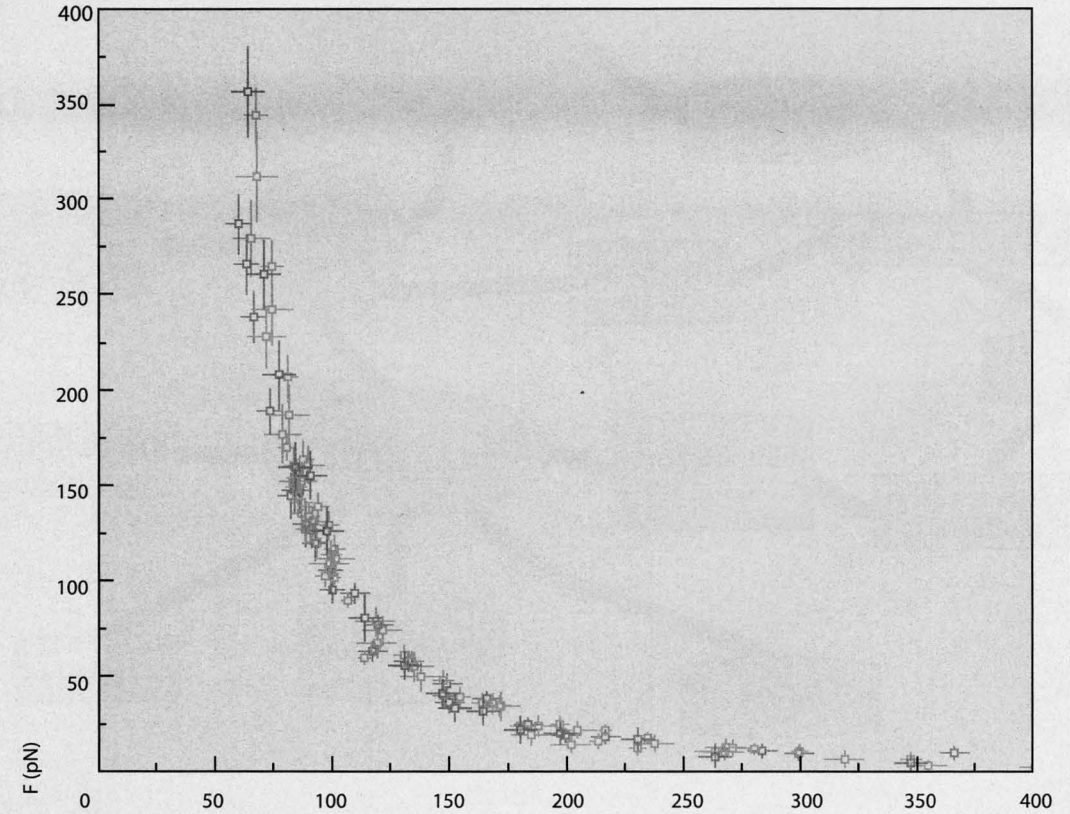
عندما يتوحد مبدأ عدم اليقين لهيزنبيرغ والنظرية النسبية، يستبدل عدم التاكد في قياس فضاء فارغ للحصول بالضبط على طاقة صفر بجسيمات افتراضية وعمليات تحمل طاقة وكتلة لفترة قصيرة من الزمن في بحر متقلب باستمرار من العمليات المخفية. تحسبْ تأثيرات هذه العمليات الافتراضية بدقة في النموذج القياسي، وقد تم قياسها مباشرةً في خصائص الجسيمات مثل الإلكترونات. تواجه الإلكترونات انخفاضًا طفيفًا لطاقاتها في داخل الذرة، مسببة ما يسمى **بانزياح لامب**.

ويمكن إيجاد مثال آخر مثير لوجود فراغ الجسيم الافتراضي هذا في تأثير **كازيمير**. يتم تقريب لوحين موصلين متوازيين بصورة قريبة جدا من بعضهما الآخر، بناءً على ترتيب ميكرومتر. إذ أن الفراغ الظاهري خارج هذين اللوحين هو أمر طبيعي. ومع ذلك، فإن الفراغ بين الألواح يغلق جميع العمليات الافتراضية التي لها أطوال موجية مماثلة للانفصال. وهذا يعني وجود عمليات افتراضية التي تجري بين اللوحين اقل مما في خارجها. وهذا يسبب قوة جاذبية بين اللوحات التي يمكن حسابها بدقة باستخدام نموذج الفراغ الافتراضي.

إن أحد الأسئلة المثيرة للاهتمام هو فيما إذا كان من الممكن القيام بأي شيء مفيد باستخدام تأثير كازيمير، هل يمكنك استخدامه للعمل به وتوليد طاقة من خلال (سرقة) طاقة من الفضاء الفارغ؟ ونظرًا لأن قوة كازيمير تنافرية وتعتمد فقط على الانفصال، يتم تصنيفها كقوة محافظة. هذا يعني أنه لا يوجد طريق عبر الزمن، أو الفراغ يؤدي إلى إنتاج الطاقة الصافي. كانت هناك العديد من المقترحات الخاصة بالأنظمة التي تستفيد من طاقة الفراغ التي تسمى (الطاقة الصفرية)، إلّا أن هذه المقترحات كانت دائمًا ما تدحَضْ عند دراسة مفصّلة لعملية استخراج الطاقة المفترضة.

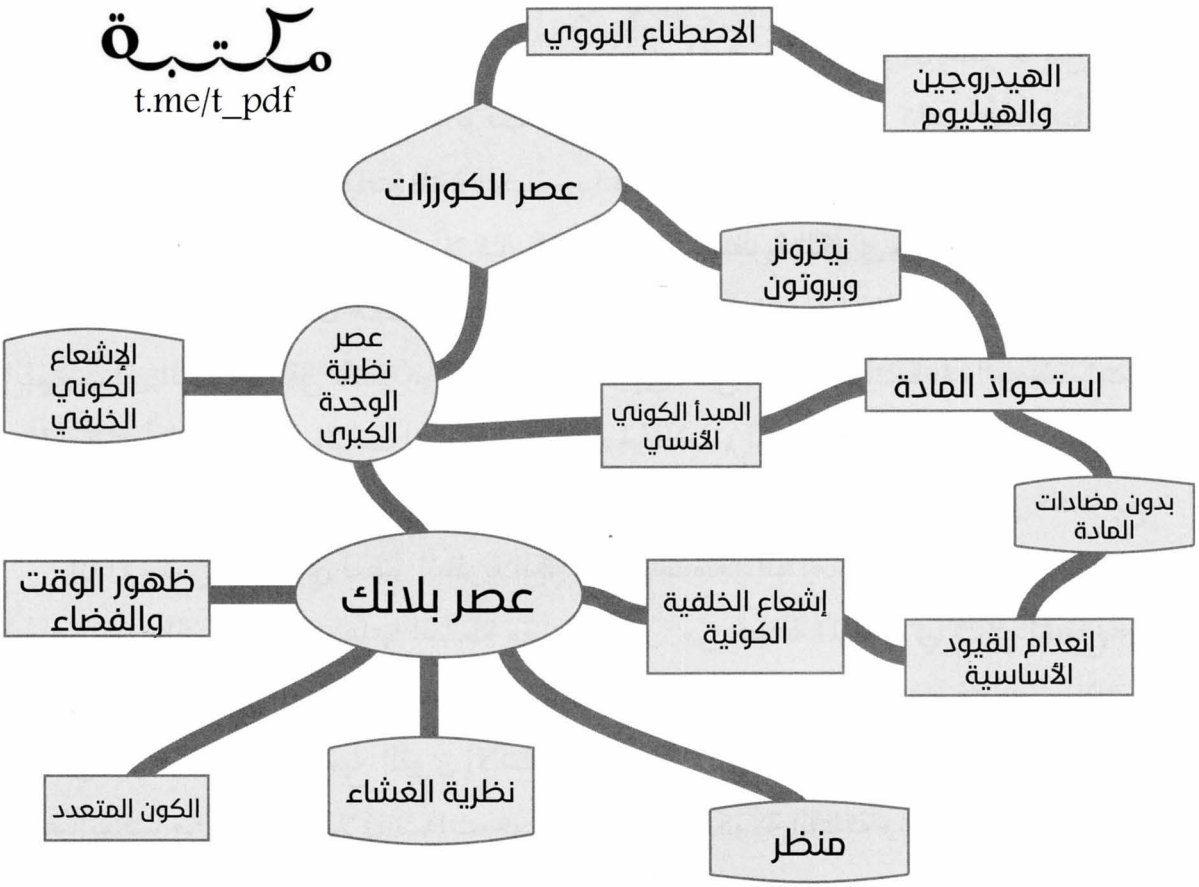
الطاقة الصفرية: في ميكانيكا الكم، وهي أقل طاقة ممكنة للنظام الفيزيائي في حالته الأرضية. ما يزال وجود طاقة أكثر من المسموح بها في الفيزياء الكلاسيكية بسبب مبدأ عدم اليقين.

أشار أليخاندرو رودريغيز من جامعة برينستون إلى وجود تطبيق واحد ممكنه العمل بالفعل. يشتمل هذا التطبيق على إنشاء آلات وأجهزة النانو – منخفضة الاحتكاك. عادة ما يتم تصنيع هذه الأجهزة في المقاييس التي بدأت فيها قوة **كازيمير** لتصبح مهمة بالمقارنة مع قوى الاحتكاك. يمكن تصميم جاذبية **كازيمير** الخفيفة بدقة لتعمل كقوة تنافرية، ويمكن بعد ذلك استخدامها للتغلب على بعض الاحتكاك العادي بين الأجزاء النانوية، وبالتالي زيادة كفاءتها.



أصل وتطور الكون

مكتبة
t.me/t_pdf



عصر النظرية الكبرى إندماج القوى الأربع

بعد 10^{-37} ثوانٍ من الانفجار الكبير في عصر ظهور النظرية التوحيد الكبرى، نستنتج أن التفاعلات الثلاثة للنموذج الكهرومغناطيسي القياسي النموذجي، والضعيفة، والقوية قد اندمجت معًا كقوة واحدة. كيف بدا الكون بعد ذلك الإندماج؟ كان الزمكان في حالة الفراغ الحقيقية لفيزياء النظرية الكبرى الموحدة، لذلك كان الكون يتوسع بمعدل ثابت تمامًا مثل توسع هابل بعد نهاية عصر التضخم.

اقترح بعض علماء الكونيات، مثل روجر بينروز في (**فرضية الماضي**)، أن عصر ما قبل التضخم كان لديه عجز قليل للغاية مقارنة بالوقت الذي سبق اكتمال التضخم. كانت جسيمات المادة في ذلك الوقت تتألف من جسيمات فائقة الكتلة ربما فقط من بعض الأصناف مثل بوسونات X و Y والكواركات، التي كانت، جميعها، بلا كتل تحت تناظرات النظرية الكبرى، التي تمثل القوى القوية، الكهربائية الموحدة. ربما كان هناك عدد أقل بكثير من فوتونات إشعاع الخلفية الكونية، ما يجعل نسبة الفوتون إلى الباريون أقل بكثير من 1: 1 مليار الحالي. هل كانت هناك مادة، أو جسيمات مادة مظلمة؟ تتنبأ النظريات في الوقت الحاضر بمثل هذه الحالات، لكن التجارب وحدها هي التي يمكن أن تمنحنا الثقة بأن المبادئ الأساسية وراء التناظر الفائق، ومنافسيها تسير على الطريق الصحيح.

إن الأساس الجوهري لعصر النظرية الكبرى الموحدة هو الطبيعة الغامضة للجاذبية، والفضاء الخاص بها، التي تُنتج تشوهاتها النشطة مصدرًا وفيرًا من الطاقة المجانية في شكل إشعاع جاذبي يمكن أن يأتي منه كل الفيزياء المتبقية. ولهذا السبب، فإن الخطوة التالية في وصفنا يجب ألّا تتضمن أقل من التوحيد الكامل لجميع القوى الأساسية الأربع، بما في ذلك الجاذبية في نظرية واحدة متسقة منطقيًا يمكننا من خلالها إطلاق تنبؤات حول هذه الحالة الكونية الفتاكة والغامضة. لهذا نحتاج إلى نظرية تصف الجاذبية، والفضاء كظاهرة كمية – فيزيائية.

لا ندري كيف ستبدو هذه النظرية المسمى بـ (الأم كل النظريات)، ولا نعلم ماهي أنواع الرياضيات التي ستحتاجها، لكن الفيزيائيون يشعرون أن هناك العديد من القرائن المنتشرة، وضمن الأوصاف التي بحوزتنا بالفعل. يجب أن يبدأ حقل الجاذبية (الزمكان) ببطء شديد، ووصف كمي، ثُمَّ ينتهي به المطاف، وكأنه زمكان عام ونسبي عادي. كما يجب أن يكون شكل الزمكان هو متوسط عدد الحالات الكمية التي لا حصر لها لهندستها. وفي أي مقياس يتوقع أن تكون مثل هذه التأثيرات مهمة لعلم الكونيات؟ من المتوقع عمومًا، على مقياس بلانك، توفير وصف ميكانيكي كمي جديد للجاذبية، والزمكان.

وحدات بلانك

ستكون الصفة الأساسية لدمج النظرية النسبية مع ميكانيكية الكم هي تقدير المجال الجاذبي بصورة كمية (يقسم إلى وحدات صغيرة ولكن قابلة للقياس، أو مايسمى وحدات كميّة). عمومًا، سيحدد ذلك بحدوث هذا في مقاييس فيزيائية مُعرَف عنها بوحدات بلانك للكتلة والطاقة والزمن والفراغ المقترحة اساسًا كوحدات طبيعية للفيزياء عام 1899 من قبل ماكس بلانك. يمكن تكوين هذه الوحدات باستخدام ثابت نيوتن للجاذبية G، وسرعة الضوء C وثابت بلانك h بالمجاميع المناسبة لتكوين الوحدات الفيزيائية المناسبة كما يأتي:

عندما تستخدم القيم لهذه الثوابت، فستحصل على:

طول بلانك $Lp = 1,6 \times 10^{-33}$

كتلة بلانك $mp = 2,2 \times 10^{-5}g$

زمن بلانك $s\ tp = 5,4 \times 10^{-44}$

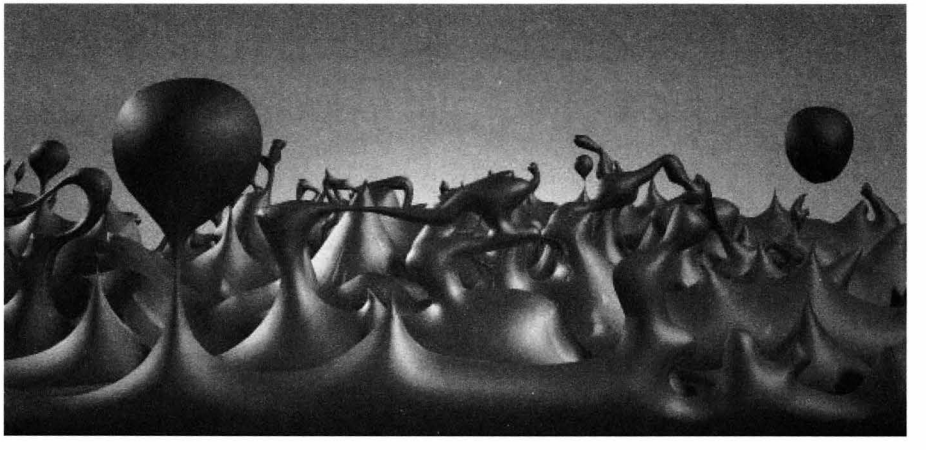
درجة حرارة بلانك $Tp = 1,4 \times 10^{32}k$

طاقة بلانك $Ep = mpc^2 = 2,0 \times 10^{16}$ or $1,3 \times 10^{19}$

عند مقارنة هذه الوحدات مع قياسات عصر نظرية التوحد الكبرى 10^{15} كيكافولت و10^{-37} ثانية قبل بداية عصر التضخم الكوني، ومن الواضح جدًا انه عن طريق عصر نظيرة التوحد الكبرى، سنكون قريبين جدًا من المقياس الجاذبي نفسه الذي يعرض صفات كمية.

يعتبر عصر نظرية التوحد الكبرى ناتجًا بين عصر التضخم في 10^{-37} ثانية وحوالي 10^{-43} بعد الانفجار العظيم، مع عصر بلانك التي تظهر بوقت اقل من 10^{-43} ثانية في حال كون الزمن نفسه فكرة ذات معنى. إن الاختلاف في القياس بين قياس بلانك عند 10^{-33} سم وقياس نظرية التوحد الكبرى عند 10^{-27} سم هو عامل قياس من مليون واحد. يعني هذا أن أثناء معظم نظرية التوحد الكبرى، يبقى الزمكان سلسًا كالنظر لقطعة ورق مجعدة من مسافات بعيدة للعديد من الكيلومترات، عندها سنرى تفاصيل أكثر عن الورقة المجعدة بحَيثُ تصبح هذه التفاصيل مشكلة جادة لوصف ديناميكية جزيئات النموذج القياسي. طبقًا إلى نظرية النسبية العامة، فإن هذه التغييرات الانحنائية تمثل الطاقة، المتمثلة للجزيئات والمجالات البسيطة للطاقة الحرة البحتة.

يعتبر الالتواء الهندسي للفضاء الفارغ الآن مصدر طاقة لخلق مهما كانت حالات الجزيئات الثابتة التي تتبعها النظرية الفيزيائية. إن فهم طريقة عمل تقلبات الانحناءات هذه بصورة دقيقة سيؤثر على



تصور جون ويلر مقياس بلانك على أنه رغوة كمية للالتواءات الزمكان

المجالات الكمية، وسنكون بحاجة لنظرية زمكان تامة. كان هذا منذُ ثلاثينيات القرن العشرين، بمثابة جزءًا من الكأس المقدسة (الهدف المقدس) لعلماء الفيزياء. مايعنيه هذا لنظرية كون الانفجار العظيم قد كان بمثابة تخمين (تكهنات) عميق وطويل نتيجة البحث عن نظرية جاذبية كمية كاملة.

عصر بلانكا (10^{-43} ثوان وما بعدها)

إن الخصائص الفيزيائية لهذه الحالة عادةً ما تكون غير معروفة إلى حد كبير. عندما نقيس خصائص المادة، وحالاتها، يمكننا اختيار استخدام الفوتونات للتفاعل مع المادة. يمكننا من خصائص الضوء الراجع أن نستنتج حالة تلك المادة أو الكائن. من المعروف في ميكانيكا الكم أن عملية الملاحظة هذه تتداخل مع حالة المادة وخصائصها، التي تتم دراستها، ويتم تعيين حد من مبدأ عدم اليقين الخاص بـ هيزنبيرغ فيما يتعلق بمدى تفصيل المعلومات. تتمثل إحدى المشكلات الرئيسية في أن الطول الموجي للضوء يحدد المقياس لمدى ضآلة التفاصيل التي يمكن رؤيتها أو قياسها، هي مشكلة مألوفة للعلماء الذين يستخدمون المجاهير (التلسكوبات) الضوئية العادية. ومع ذلك، كلما كانت التفاصيل التي تحتاج إلى قياس أكثر دقة، كلما كان الطول الموجي الأقصر هو الصحيح. نظرًا لأن طاقة الضوء تزداد كلما انخفض طول الموجة فسيصبح بالإمكان قياس خصائص الجسيم الكمومي بدقة باستخدام أعلى طاقة ضوئية متاحة.

على سبيل المثال، عند استخدام الفوتون عالي الطاقة لقياس الموضع الدقيق للإلكترون، فإن التفاعل بين الفوتون، والإلكترون يعيق حركة الإلكترون بطريقة لا يمكن تصحيحها، وهذا ما حصلنا عليه من مبدأ (عدم اليقين لهيزينبيرغ). على اية حال، الفيزياء الكمية هي التي تضع حدًا لمدى إمكانية معرفة كل من موقع، ومكان أي جسيم كمومي في وقت واحد وبدقة. إذا كان حقل الجاذبية الكوني الذي نسميه أيضًا الزمكان يتبع قواعد كمية مماثلة، فإن الموقف سيكون عمليًا من الناحية

النظرية تمامًا كما هو الحال بالنسبة لميكانيكا الكم العادية، ولكن يبدو أن هذا ليس هو الحال الحقيقي. عندما يصبح الزمكان كميًا لا يمكن لنا أن نؤدي حَتى هذا القياس البسيط، وكما هي الحال، يحدد مقياس بلانك حدّاً لما نستطيع أن نعرفه عن الزمان، والفضاء.

يتعين على الفوتون الذي نحتاج استخدامه منْ أَجل استكشاف الحالات الكمومية بالقرب من مقياس بلانك أن يحمل طاقة تبلغ 10^{-19} كيكافولت منْ أَجل أن يكون طول الموجة البالغ 10^{-33} سم

لمحة من عصر بلانكا الذي تطور بنظرية الجاذبية الكمومية

صغيرًا بما يكفي لرؤية هذه التفاصيل. إلّا أن الفوتون الذي يحمل هذا القدر الكبير من الطاقة يتحول على الفور إلى ثقب أسود كمي مع كتلة 10^{-5} غم. في العام 1975، اقترح الفيزيائي **ستيفن هوكينج** أن الثقوب السوداء يمكن أن تتبخر من خلال عملية ميكانيكية الكم، التي ينبعث منها بخار مستمر من الإلكترونات، ما تسبب في فقدان الثقب الأسود لكتلته. يتبخر ثقب أسود كمي بواسطة آلية هوكنز بعد 10^{-43} ثانية، وتكون المعلومات التي نجمعها من الفوتون الأصلي مخلوطة ومبعثرة تماماً. تم اقتراح هذا الاحتمال، لأول مرة، بواسطة عالم الفيزياء الروسي ماتفي برونشتاين في ثلاثينيات القرن العشرين. وفي الآونة الأخيرة، ادعى كارلو روفيلي من جامعة بيتسبيرغ أنه قد بيّن وفقًا لنطاق بلانك، انه لا يمكن وصف الأنظمة الديناميكية على أنها متطورة من حَيثُ الكمية الزمني الشامل الذي نحن غالبا ما نشير إليها بالرمز t.

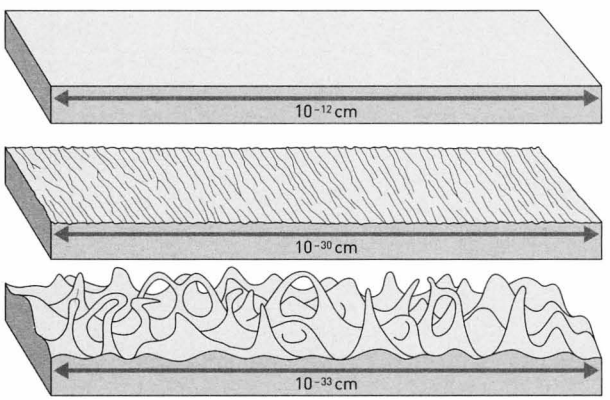
لا يوجد وقت مطلق يمكن من خلاله تعريف المعادلة باستمرار لوصف تطور أي حالة كمية. عندما تصل إلى مقياس بلانك في 10^{-33} سم و10^{-43} ثانية، بإمكانك تنفيذ اختبار جزيئات وساعات اصغر حجمًا من الظواهر التي تحاول فيها صياغة قوانين الكم، وهذا يشبه محاولة قطع 3 مم (1/8) في ثقب ذو بواسطة إزميل طوله 5 سم (2 بوصة) أو كمحاولة الشعور برمال الشاطئ عبر قفاز شتوي. الغريب في الأمر أن الكثير من الأفكار المتعلقة بعصر بلانك القديم تنطبق أيضًا مباشرة على البنية العميقة للزمكان في كون اليوم.

إذا كان للجاذبية الكمية في مقياس بلانك المفترض للفيزياء نفس النوع من الرياضيات مثل ميكانيكا الكم العادية، ونفس المجال الكمي للديناميكا الكهربائية والذي يمثل مجال الجاذبية الكمي هو الزمكان نفسه. وقياسًا على ذلك، مثلما يطلق على الكونتا الكهرومغناطيسية للحقل الكهرومغناطيسي اسم الفوتونات، ويطلق على الكمية في الحقل الجاذبي (كرافيتونز) أي الجاذبية. على عكس الفوتونات، التي لها دوران كمي واحد، الجرافيتونات هي أيضًا بوزونات، لكنها تحتوي

على دورانين، ويُعتقد، أيضًا، أنها جسيمات بدون كتلة تتحرك بسرعة الضوء. علينا أن نتعامل مع الوضع الحالي للزمكان على يوجد بأشكال مزدوجة. إن هندسة الزمكان في أي مقياس هو متوسط العديد من الحالات المختلفة لهندسة الزمكان.

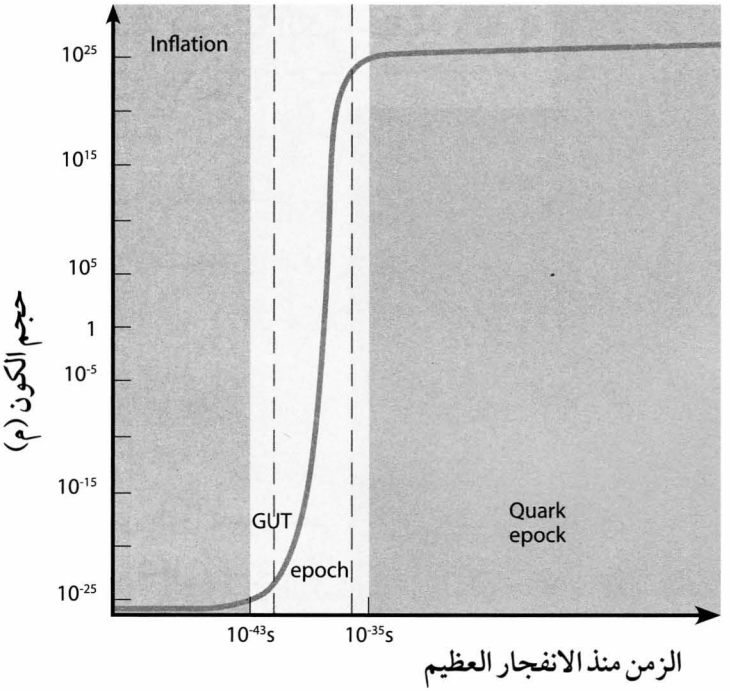
نظرًا لإمكانية انحناء هندسة الزمكاني الكمي بشكل كبير، وتغير الشكل الثلاثي الأبعاد لانحناء الفضاء بسرعة تتراوح من 10^{-33} سم خلال 10^{-43} ثوانٍ، يمكن لهذه التغييرات أن تنتقل عبر الزمكان حَيثُ تحدد موجات الجاذبية بواسطة سحابة متحركة من الكرافيتونز، وتمثل تغيرات الطاقة أقرب إلى $E = mc^2$. سوف تتحلل هذه الجاذبية ذات الطاقة العالية إلى مجموعة متنوعة من حالات الجسيمات، عند وجودها مع طاقات تتراوح بين 10^{-19} كيكافولت ومقياس النظرية الكبرى عند 10^{15} GeV، في الأساس، اكتشفنا ما اقترحه فيزيائيون سابقون، هو أن الطبيعة الحقيقية للمادة هي أنها سمات لهندسة الزمكان، نفسه. هنا خلال عصر بلانك، نرى هذه الوحدة كاملة مع انحناء في الزمكان المنتج للجسيمات، والجسيمات بالمقابل تُنتج انحناءً.

بناءً على مقياس الجاذبية الكمية، يمكننا، أيضًا، التفكير في الزمان على أنه يتكون من بقع لا حصر لها، لها درجات حرارة مختلفة، ومحتوى جزيئي مختلف. تبدأ هذه التصحيحات في النهاية في



وفقًا لجون ويلر ، على النطاقات الكبيرة ، قد يكون الزمكان سلسًا ولكن مع اقترابنا من مقياس بلانك ، تظهر الطبيعة الكمومية المتقلبة للزمكان

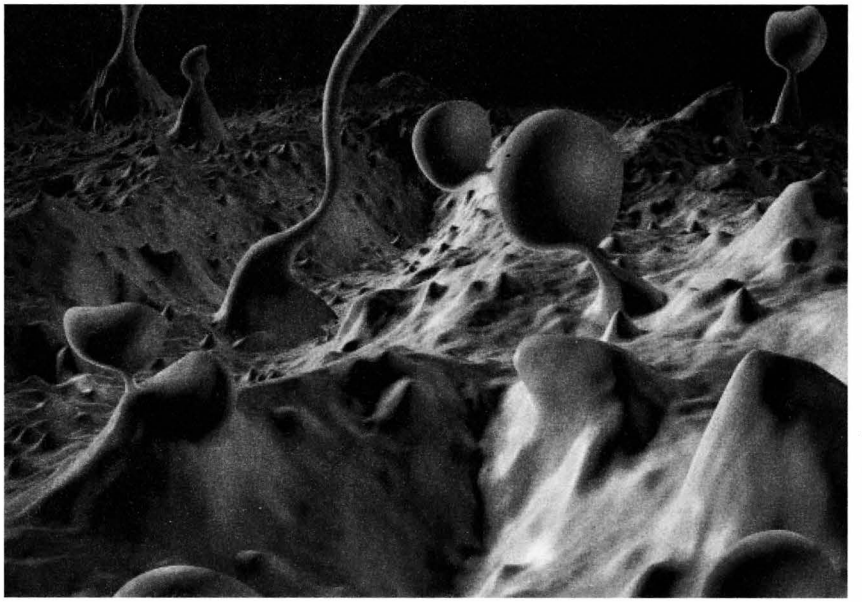
التوسع حَتى نصل إلى نهاية عصر النظرية الكبرى، وعند هذه النقطة تزداد نطاقاتها بشكل كبير مع بدء عصر التضخم. بعد التضخم، يتبقى لنا بقع لا حصر لها، إذ الخصائص ما تزال ثابتة داخلها مع اختلافها إحصائيًا من واحد إلى آخر. إن الكون الحالي الملحوظ هو بقعة صغيرة واحدة من هذه البقع الهائلة، وهذا هو السبب في أن الخلفية الكونية لها تقريبًا نفس درجة الحرارة في جميع الاتجاهات. اعتمادًا على الفترة الزمنية التي استغرقتها فترة التضخم، من المتوقع أن يصل حجم البقعة قبل التضخم إلى 10^{-26} أمتار فقط، في حين بلغت بعد التضخم 10^{24} مترًا، ومن المتوقع ان تصل اليوم إلى حوالي 10^{28} ملايين سنة ضوئية. 102 سيكون هذاابعد عنا بحوالي 10^{-25} مرة من ابعد الكواركات. ان كوننا الذي نشاهده هو حرفيًا مجرة نقطة في عالم بعيد المنال، مع ذلك، وبصورة احصائية، فإنه ما يزال مشابهًا لما نراه حولنا اليوم.



حساب التغير في مقياس الكون
قبل التضخم وبعده

وفقًا لعلم الكونيات التضخمي، ما تزال المسافات بين البقع الحالية الشاسعة الناشئة عن الانفجار العظيم تتزايد بصورة هائلة في الفراغ الخاطئ، لذلك لن تكون هناك فرصة لرؤيتها على الإطلاق، بغض النظر عن عمر الكون. قد نأمل أن نرى حدود الرقعة الحالية التي نعيش فيها فحسب، التي من خلالها يتسع أفق الكون المرئي بسرعة الضوء فحسب.

الوصف أعلاه للجاذبية الكمية المطبقة على علم الكونيات هي ليست إلّا تقريب الأفكار المختلفة التي تنشأ من البحث عن نظرية موحدة للجاذبية الكمية التي تصف النموذج القياسي متضمنةً النسبية العامة والجاذبية. يجب أن تفسر هذه الأفكار بعض المخالفات المحيرة التي تستمر في الظهور في الفيزياء وعلم الكونيات، متمثلةً بالمادة المظلمة، والطاقة المظلمة، واختلال توازن المادة المضادة، وتفاصيل علم الكونيات التضخمي. هناك طريقتان رئيسيتان نشأتا على مدار الخمسين عامًا الماضية (جاذبية الكم الحلقية) ونظرية الأوتار الفائقة. لكن، أولًا، دعونا نستكشف البنية العميقة لهذه الأفكار.



تظهر إحدى طرق تصور عصر بلانكا على شكل رغوة ثلاثية الأبعاد للفضاء مع اتصال معقد

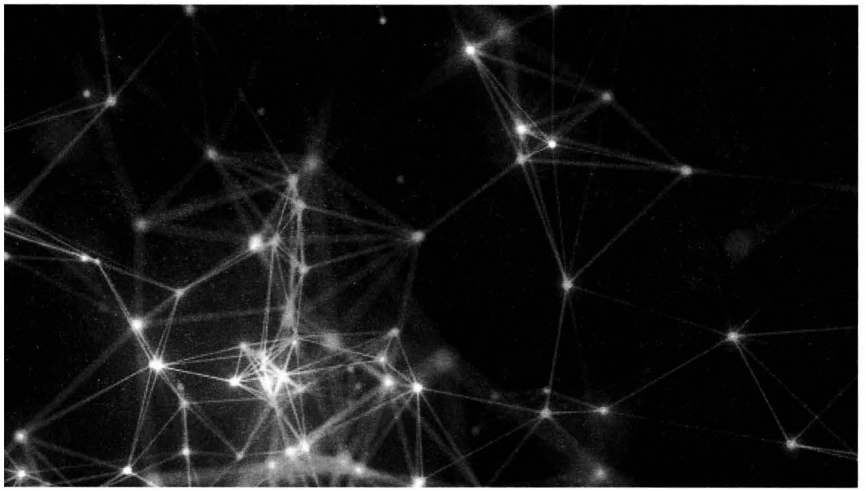
الخلفية المستقلة وغير المستقلة

كما علمنا في الفصل الثالث، يعتقد السير **إسحاق نيوتن** أن هناك إصلاحًا ثابتًا للمكان والزمان المطلقيْن اللذين ابتعدا عن حركة الأجسام، إذ يمكن للمرء أن يعزو مختلف النظم المنسقة لتحديد مواقع الزمان والمكان. من ناحية أخرى، اقترح **ليبنيز** أن المكان، والزمان ليس لهما تعريفات ثابتة، لكنهما من سمات التفاعلات بين الأجسام. وقال إن فكرة المكان، والزمان هي في الواقع، تنشأ عن العلاقات بين الأجسام ولا توجد قبل ذلك. إن وجهة النظر السابقة هي أساس النظريات الكلاسيكية النيوتونية، فيما أصبحت وجهة النظر الأخيرة المعارضة لوجهة نظر النسبية والتي وأدت إلى نسبية إينشتاين. لكن الفيزياء النيوتونية كانت أسهل بكثير في التطور، باستخدام الرياضيات، وباستخدام الإطار الزمني، والفضائي المطلق مقارنة بالزمكان النسبي، لذلك تطورت الفيزياء النيوتونية بسرعة، وهيمنت على العالم العلمي حَتى العقود الأولى من التسعينات.

اقترح جوتفريد فيلهلم ليبنيز أن المكان والزمان نشأ من التفاعل بين الأجسام

عندما طور أينشتاين النسبية الخاصة في العام 1905 والنسبية العامة في العام 1915، كانت وجهة نظره أن الفضاء النيوتوني، والوقت كانا خصائص مطلقة للعالم لا وجود لهما. كل شيء هو مراقِب معتمد. علاوة على ذلك، فإن فكرة الفضاء نفسه هي خيال. بدلاً من ذلك، فإن الأشياء الوحيدة الموجودة هي الكائنات (المواد)، وكما أكد **لايبنيز**، فإن المكان والزمان يمكن استخلاصهما من العلاقات بين هذه الكائنات دون الحاجة إلى أي مكون آخر. ان نجاح نسبية أينشتاين من خلال اختبار تجريبي واسع دعم هذه الفكرة التأسيسية حول المكان والزمان.

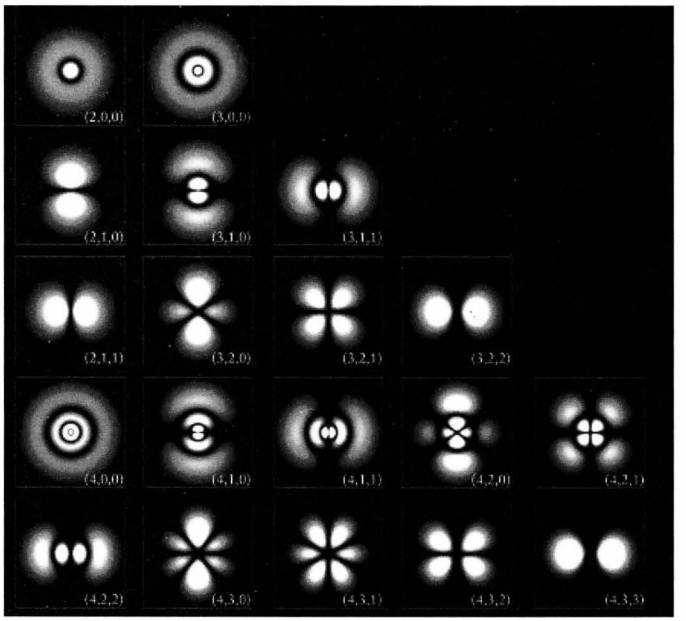
يقول المفهوم النسبي للمكان والزمان المجسد في مفهوم الزمكان الذي اقترحه هيرمان مينكوفسكي، إن الأجسام تتحرك على طول الخطوط العالمية، وهذه العلاقة بين هذه الخطوط العالمية هي التي تعطينا تجربة الفضاء، والوقت كسمات حقيقية للكون. يمكننا أن نتخيل أن هذه الخطوط العالمية مضمنة في بعض الأشكال الهندسية المستمرة ذوات الأبعاد الأربعة، (ويصفها علماء



شبكة الأحداث المتصلة بخطوط العالم تخلق ما نعتقد أنه فضاء، لكن الفضاء لا يوجد مسبقًا

الرياضيات بأنها متعددة الجوانب) مثل الخط المرسوم على ورقة ثنائية الأبعاد، لكن نسبيًا (لا يتطلب منا ذلك) سوى تقاطعات هذه الخطوط العالمية، التي تسمى (الأحداث)، التي تحدد إحداثيات فريدة من نوعها. ان الزمكاني النسبي هو في الواقع قليل الكثافة سُكّانيًا من خلال نقاط تنسيق لعدد محدود من التفاعلات بين الأجسام. وهذا لا يشبه التركيب الرياضي للزمكان الذي يحتوي على نقاط التناسق المتعددة المطلقة. ومع ذلك، فمن خلال الزمان المادي الذي أوجدته الخطوط العالمية المتقاطعة العديدة، والهندسة الداخلية لهذه الخطوط العالمية، يمكننا استنباط الخواص الهندسية العالمية للنظام الفيزيائي التي يفسر فيها انحناء الخط النسبي بالنسبة لخطوط العالم الأخرى على أنه قوة جاذبية.

نسمي هذا إطارًا مستقلاً عن الخلفية، لأن النسبية لا تتطلب وجودًا مسبقًا لنقاط تنسيق الزمان والمكان منْ أَجل تحديد العلاقة النسبية بين الأجسام وطبيعة سلوكها. إن النقاط المنسقة في الخلفية المتعددة التي لا تتزامن مع الأحداث المادية لا تؤثر في فيزياء هذه الأجسام. بالنسبة للحسابات التي تنطوي على الجاذبية، تعتبر الرياضيات المستمدة من وجهة النظر النسبية هذه ضرورية للغاية لفهم العديد من ظواهر الجاذبية الغريبة. ومع ذلك، يوجد نظام نظري رئيسي واحد يعتمد على خلفية زمكانية موجودة مسبقًا: هي ميكانيكا الكم.



يتم تحديد السحب الإلكترونية داخل الذرات فقط من خلال مواقعها المكانية ثلاثية الأبعاد

يتطلب كل نظام كمي مع توصيفه الرياضي مجموعة من الإحداثيات الثابتة في المكان والزمان. تأتي هذه الإحداثيات من نظام مرجعي محدد من قبل المراقب، وهي ضرورية لتحديد حالة الجسيمات يُطلق على مجموع جميع الحالات المحتملة لنظام ما تسمى (وظيفة الموجة).

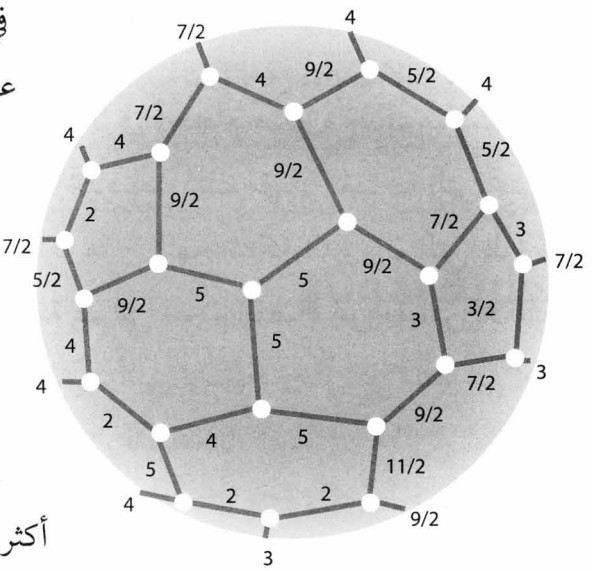
إن النموذج القياسي الشامل هو في الواقع بيان شبه نسبي لطريقة سلوك الجسيمات، والذي يستعير مبادئ النسبية الخاصة، ومن خلالها يُستخدم مبدأ تكافؤ كتلة الطاقة، $E = mc2$، والأدوات الأخرى لهذه النظرية لإنشاء نظرية مجال الكم النسبي. لكن نظرًا لأن الجاذبية لا تلعب أي دور في تحديد الحالة الكمومية للجسيم، فإن النموذج القياسي يعمل كما لو كان الزمكان مسطحًا تمامًا، يعمل كسقالات (هياكل حديدية لحمل الأشخاص) تسهل العمليات الحسابية فحسب. يعتبر النموذج القياسي هو نظرية معتمدة الخلفية، لأنه يتطلب زمكان موجودًا مسبقًا لصياغة خصائص الجسيمات وتفاعلاتها. إن التباين بين النظرية غير المستقلة عن الخلفية المستقلة لنظرية النسبية العامة، وميكانيكا الكم المعتمد على خلفية النموذج القياسي هو السبب الرئيسي وراء عدم إدخال هاتين النظريتين الأساسيتين للعالم المادي في صيغة أكثر توحدًا. سننظر، الآن، في نهجين حديثين في عرض بعض احتمالات مواجهة هذا التحدي التوحيدي.

جاذبية الكمية الحلقية

إن أساس **جاذبية الكمية الحلقية** (LQG) هو افتراض ما يلي:

- النموذج القياسي صحيح هو نقطة بيانات مهمة.
- النظرية الصحيحة تصف المكان، والزمان، والمادة هي الخلفية المستقلة النظرية التي تتبع مباديء النسبية.
- المقياس الذي يجب أن تعمل فيه النظرية قريب من مقياس بلانك.
- ولا توجد أبعاد إضافية للزمكان وراء الأبعاد الأربعة التي نعرفها مسبقًا.

في التسعينيات من القرن العشرين، ابتكر اثنان من علماء الفيزياء النظرية، وهما الأمريكي لي سمولين، والإيطالي كارلو روفيلي طريقة جديدة للنظر في مشكلة التوحيد التي تعتبر امتداد لجهود جون ويلر، وروجر بنروز في الستينيات. لقد ألقيا نظرة فاحصة طويلة على أساس الزمكان ضمن منظور العلاقة بين لايبنز، وإينشتاين، وتبعا الرياضيات لما بدا أنه نهايته المنطقية. يجب بناء الزمكان من شيء أكثر بدائية من الفراغ والزمان.



لي سمولين

لي سمولين هو عالم فيزياء نظري أمريكي وُلد في مدينة نيويورك العام 1955، وحصل على الدكتوراه في الفيزياء من جامعة هارفرد في العام 1979. منذُ بداية مسيرته البحثية تقريبًا، اضطر إلى البحث عن قضايا في نظرية الجاذبية الكمية، مع وجهة نظر معينة مفادها أن نظرية الأوتار لم تكن هي الطريقة الصحيحة نظرًا لاعتمادها في الخلفية على زمكان موجود مسبقًا. جنبًا إلى جنب مع كارلو روفيلي، وتيد جاكوبسون، وأبهاي أشتيكار، قام سيمولين بتطوير صيغة جديدة تمامًا للجاذبية كمية تستند إلى الأفكار التي اقترحها روجر بنروز في السبعينيات. منذُ إعلان جاذبية الكم الحلقية في العام 1994، كان ناقدًا صريحًا لنظرية الأوتار، ومطورًا مبتكرًا للاختبارات الرصدية للجاذبية الكمومية.

بنية الفضاء في كون اليوم

باستخدام مقياس بلانك، يصبح وقت الفضاء متحللاً في أحجام صغيرة جدًا، بحَيثُ وفقًا لمنظور العلاقة، يرتبط ببعضه البعض من خلال علاقات تحدد بعد ذلك مقدار المساحة التي تحتوي عليها هذه النقاط. لقد استخدمت هذه الأحجام - كتناظرها - لنهج شبكة الدوران التي طورها **روجر بنروز** في نظريته المعاصرة. يمثل كل قمة في الشبكة كم من حجم الفضاء على مقياس بلانك. تم رسم العلاقات بين هذه المجلدات كمجموعة من الخطوط التي تربطها. ومثلَّ كل سطر كم أولي من المساحة (AJ)، التي تم اشتقاق حجمها من فهرس (J) وفقًا لمعادلة القياس:

$$A_J = 8\pi l^2 \sqrt{J(J+1)}$$

حَيثُ الرمز l طول بلانك $1,610^{-33}$ سم

عندها كان مقدار المساحة المرتبطة بالحجم مجرد مجموع عناصر المساحة التي يحملها كل من الخطوط المتصلة بحجم القمة. وكان الحجم الكلي للمساحة، أيضًا، مجرد مجموع عدد القمم. يتم حساب مستويات الطاقة فحسب داخل الذرة من حَيثُ مؤشر الطاقة، وكذلك المساحة المرتبطة بهذه النظرية الكمية للفضاء، المتمثلة بالرمز J في صيغة AJ

إذا كنت تريد تتبع حلقة من خلال إحدى هذه الشبكات الدورانية التي بدأت، وانتهت على نفس حجم القمة، فستجد أن هذه الحلقة ترضي نظرية الجاذبية الكمية المسماة **معادلة ويلر ديويت**، التي طُوِّرتْ في فترة الستينيات. هذه الحلول هي التي اعطت هذه النظرية الكمية اسمها، لأنها ضرورية لدمج الوحدات الكمية للومكان كما جربنا بشكل كلي متكامل من حَيثُ مساحة وحجم الزمكان كما هو الحال لخطوط المجال حول المغناطيس (التي تظهر اتجاه قوة المغناطيس)، هذه هي نظرية جديدة، إذ هناك حاجة إلى مزيد من العمل لربط هذا الوصف للجاذبية والزمكان مع النموذج

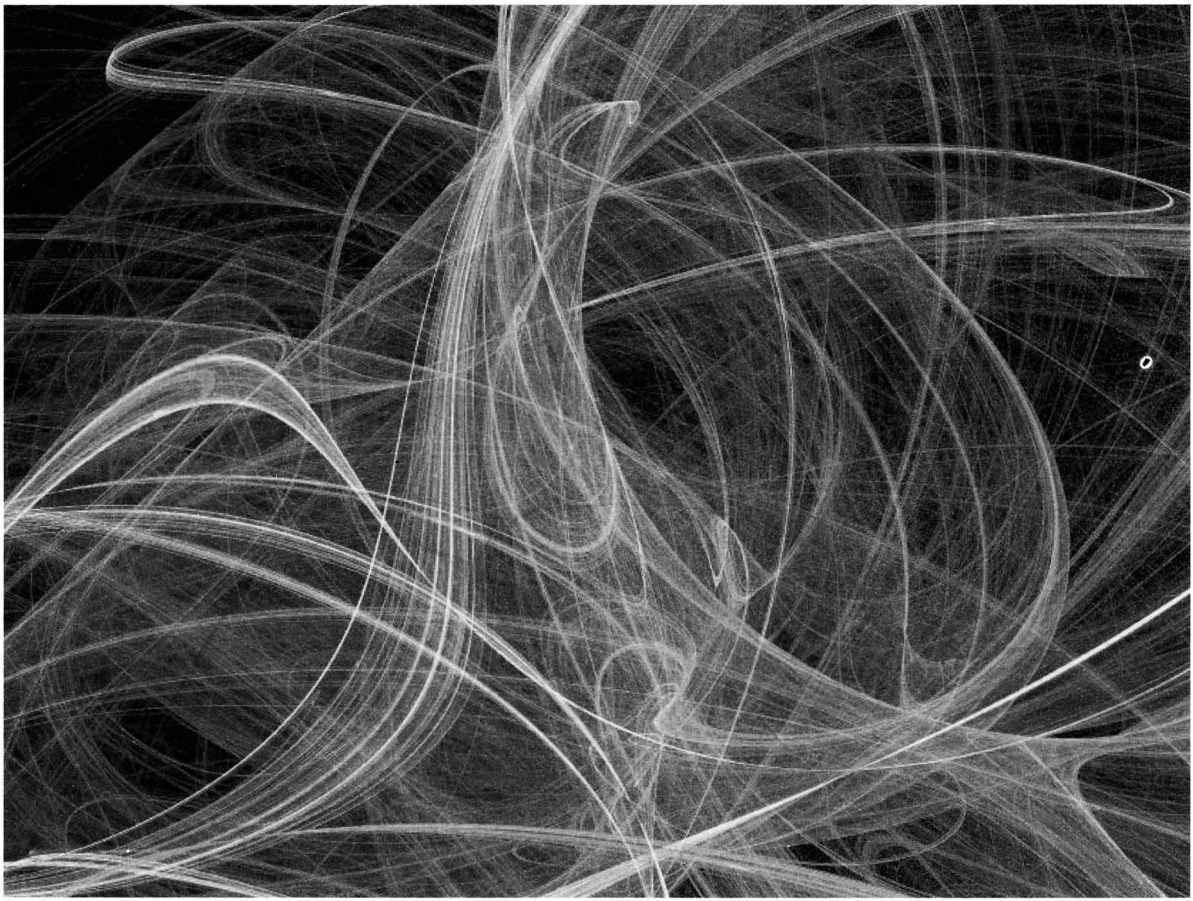
القياسي. بصرف النظر عن الجاذبية، لا توجد طريقة حالية للانتقال من الجاذبية الكمية (LQG) إلى جزيئات ومجالات النموذج القياسي الفعلي. النظرية الجاذبية الحلقية هي ليست سوى نظرية للزمكان والجاذبية. لذا، فهي نظرية صارمة لزمكان رباعي الأبعاد، ولم يتضح بعد كيف تؤدي معادلات الجاذبية الكمية إلى معادلات تشبه معادلات أينشتاين للجاذبية في النسبية العامة بمقاييس أكبر بكثير.

نظرية الأوتار

طوِّرتْ نظرية الأوتار في أوائل الثمانينيات حَيثُ كان العمل على التناظر الفائق كان في الوقت تقريبًا يتسارع. ومع ذلك، على الرغم من التناظر هو مفهوم مستقل عن نظرية الأوتار، فإن نظرية الأوتار، إلى حد كبير – تعتمد على وجود التناظر الفائق للاتصال بالنموذج القياسي للعالم الذي نعيش فيه.

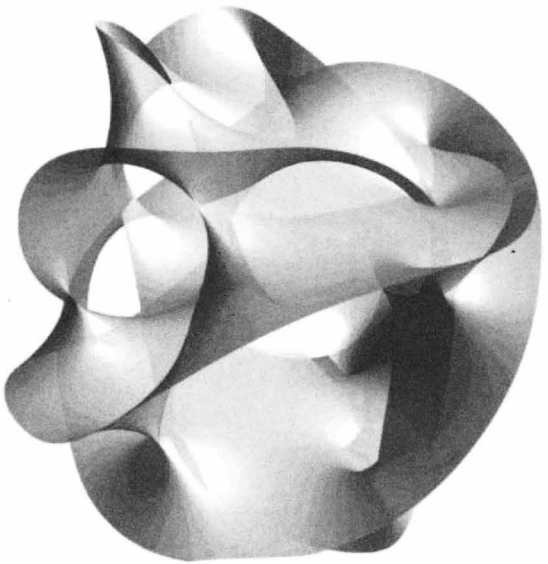
في العام 1982، طورَ **جون شوارز ومايكل جرين** منهجًا رياضيًا للجزيئات الأساسية التي استبدلَ فيها الجسيم بحلقة اهتزازية أحادية البعد. ما لم تمثله هذه الحلقة ماديًا هو أمر غير مهم، لذا يمكن تحديد البنية الداخلية للجسيم وحدها بهذه الطريقة الرياضية. ومع ذلك، فإن الجسيم ينتقل الآن عبر الزمكان كأنبوب اهتزازي بدلاً من كتلة رياضية ذات الخط العالمي البسيط. أدى هذا التغيير في تمثيل تركيب الجزيئات إلى مزيد من التطورات. إن واحدة من أكبر هذه التطورات هو عدم إمكانيتك إنشاء نظرية الكم لهذه الجسيمات السلسلة إلّا إذا قمت بتوسيع أبعاد الزمكان إلى عشرة أبعاد. ونظرًا لأن أربعة من هذه الأبعاد تشير إلى فضائنا ووقتنا العاديين، فإنه يتوجب أن تبقى هذه الأبعاد كبيرة جدًا وربما مطلقة، ولكن يجب أن تكون الأبعاد الستة الأخرى أصغر من النطاق الذري. كان حجم هذه الأبعاد مرتبطًا بالشّد في الاوتار، ولأسباب متعددة التبسيط، اعتُبر عمومًا، أن هذه الأبعاد كانت محدودة وجزءًا من مقياس بلانك في الطول. في نهاية الأمر، كان هذا المقياس الطبيعي الوحيد الذي يوفره الكون للأشياء الصغيرة.

سرعان ما أدرك أيضًا أن هذه الأبعاد الستة المدمجة يمكن لها ان تشكل تكوينات هندسية خاصة بها تسمى مسافات Calabi – Yau (متعدد الشُعبْ) كان لكل من هذه التكوينات تماثلات خاصة بها حَيثُ كانت التماثلات مرتبطة مباشرة بعدد الفرميونات والبوزونات، وخصائصها، على سبيل المثال، تم العثور على عدد من الثقوب الطوبوغرافية في هذه الأشكال الهندسية تسمى جنس لتكون مرتبطة بعدد مجاميع الجسيمات الأساسية في النموذج القياسي.



بعد جهد كبير في الثمانينيات والتسعينيات، حدد باحثون آخرون ما مجموعه خمسة تركيبات منفصلة لنظرية الأوتار بعشرة أبعاد تضمنت التناظر الفائق، لذلك لم تقدم (نظرية الأوتار الفائقة المتناظرة) نظرية واحدة موحدة فقط، ولكن يمكن الاختيار خمساً منها فقط. اكتشف الفيزيائي إدوارد فيتن أن نظريات الأوتار الخمسة هذه يمكن توحيدها في نظرية واحدة، تسمى نظرية (M)، التي وصفت أساساً عملية التوحيد من خمس وجهات نظر مختلفة، وبإضافة بُعد آخر للزمكان لما مجموعه 11، مرة أخرى سننهي جهدنا بنظرية واحدة موحدة.

ماذا تمثل هذه الأبعاد المضافة بالفعل؟ لدينا حدس جيد حول الأبعاد الثلاثة للفضاء، والبعد الوحيد للوقت، لكن هذه الأبعاد المضافة تختلف عن الزمان الطبيعي للزمكان، إذ أن البعد الزمني هو عن أحد أبعاد الفضاء. كما لاحظ الفيزيائي ستيفن فاينبرج العام 1985، في كتابه: (**التناظر التام**) لـ (**هينز باغز**) تحدثت عن الأبعاد الإضافية الستة التي اختتمت بها، لكن هذا ليس بالضرورة الطريقة التي يفكر بها المرء في النظرية التي صيغت في أربعة أبعاد الآن. لكن ربما يُفكر أحد عن النظرية المتكونة من أربعة أبعاد ولكن ببعض المتغيرات الإضافية التي يمكن تفسيرها في بعض الحالات على أنها إحداثيات ذوات أبعاد إضافية لكنها ليست ضرورية. لكن في الواقع لا يمكن حدوث هذا في بعض الحالات.



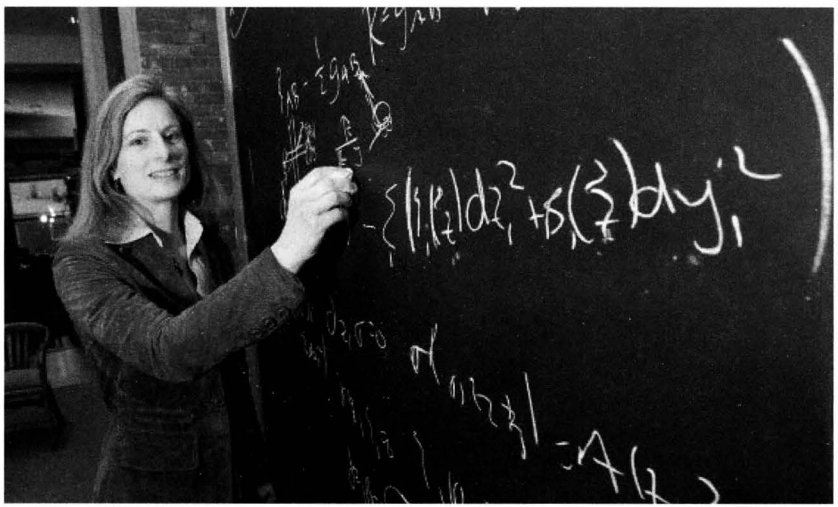
قد تكون الأبعاد الإضافية للفضاء صغيرة للغاية ومحدودة، مما يحدد هندستها الخاصة

تم أجريت بعض التحسينات على هذه النظرية بمجموعة متنوعة من المنظرين، بما في

ذلك الفيزيائية ليزا راندال، التي ربطت هذه النظرية مع الإعداد الكوني. للقيام بذلك، يجب النظر في مجموعات فرعية من الفضاء تسمى branes (غشاءات). في أبسط الحالات، احتل عالمنا زمكان غشائي رباعية الأبعاد داخل هذه الساحة ذات الأحد عشر بعداً والتي تسمى المساحة الأعظم.

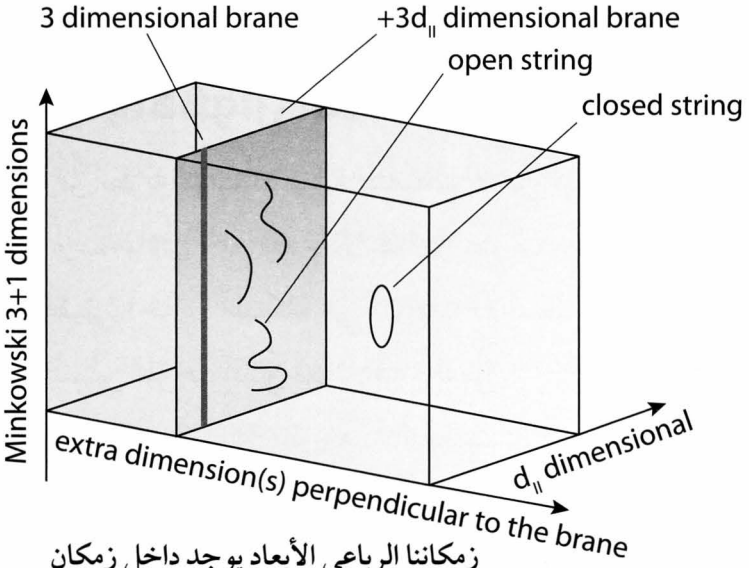
ليزا راندال

ذهبت ليزا راندال، وهي عالمة فيزياء أميركية وُلدت في كوينز نيويورك العام 1966، للحصول على درجة الدكتوراه في الفيزياء من جامعة هارفرد العام 1987 مع هاورد جورجي أحد مطوري نظرية التوحيد الكبرى. أصبحت راندال أول أستاذ دائمي للفيزياء في جامعة برينستون، وعادت إلى جامعة هارفرد في العام 2001. كانت نشطة في البحث عن عواقب نظرية M – التي طورها الفيزيائي إد ويتن في التسعينيات، وقامت مع رامان ساندروم بتطوير نظرية **راندال – ساندروم** للهندسة خماسية الأبعاد التي أدت إلى تحقيقات كونية مبنية على أساس 3 + 1 أبعاد غشائية. وكانت راندال أيضًا مشهورة في مجال العلوم، وقد تم اختيارها من قبل مجلة تايم في العام 2007 كواحدة من أكثر 100 شخص تأثيرًا.



ساعدت ليزا راندال في تطوير شكل واحد من أشكال نظرية التوحيد الكبير

توجد جميع جزيئات ومجالات النموذج القياسي فقط داخل هذه الغشاءات حَيثُ يتم فتح الأوتار كغشاءات في نهايات مفتوحة متجذرة في اساس الزمكان الرباعي الأبعاد. يحتوي الجسيم على امتداد ضعيف جدًا للجزء الأكبر بكمية محدودة بواسطة مقياس بلانك. وتكون الجاذبية، ممثلة في نظرية الأوتار بواسطة حلقة مغلقة، حرة التنقل في جميع أنحاء الجزء الأكبر. ولهذا السبب تكون جاذبيتنا



زمكاننا الرباعي الأبعاد يوجد داخل زمكان
أحادي عشر الأبعاد يسمى (الأضخم)

كقوة ضعيفة من الناحية الكونية. والسبب هو أن معظم قوة الجاذبية يضيع في الاهتزاز بين الأبعاد العليا للجزء الأكبر. هناك ميزة أخرى مثيرة للاهتمام من لعلم الكون الغشائي هي أنها توفر منظورًا جديدًا لحدث الانفجار العظيم نفسه. يطلق عليها اسم الانفجار الكبير الملتهب، حَيثُ تشعر هذه الأكون الغشائية بسحب جاذبي ضعيف فيما بينها. إذا كانت على وشك الاصطدام، فستقوم بتحويل كميات هائلة من الطاقة إلى جزيئات ومجالات خلال كل الزمكان، مما يخلق حدث الانفجار العظيم.

في الوقت الحالي، تعاونت نظرية الأوتار وونظرية الجاذبية الكمية في مجموعة متنوعة من العمليات المتعلقة بفيزياء الثقب الأسود، لكن بينما توفرنظرية الأوتار وسيلة ممكنة للمحاسبة عن جوانب النموذج القياسي وليس الجاذبية، تقدم نظرية الجاذبية الكمية وصفًا مفصلاً للجاذبية والزمكان وليس للنموذج القياسي، أو ملحقاته الأخرى. وفي الوقت نفسه، لدينا مجموعة متنوعة من الطرق الجديدة لوصف الأحداث المبكرة المتوقعة في تاريخ كوننا بالقرب من عصر بلانك.

التضخم الأبدي والأكوان المتعددة

كان الانتقال – وفق نظرية كوث الأصلية للتضخم – من فراغ خاطئ إلى فراغ حقيقي أشبه بالفقاعات داخل مشروب غازي. مع تقدم الانتقال، ستوسع هذه الفقاعات وتتصادم وتندمج لتشكيل عالم فراغنا الحقيقي الحالي. المشكلة هي أن هذه الاصطدامات ستخلق عالمًا غير متجانس جدًا على عكس العالم النسبي الموحد الذي نعيش فيه بالفعل.

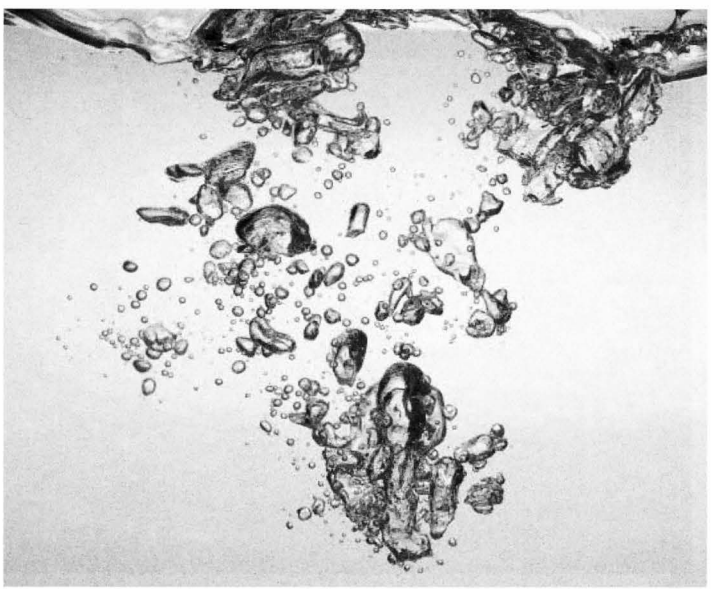
وفقًا لنظرية التضخم الجديدة، التي طورها أندريه ليندي في 1982 وأندرياس ألبريشت بول جي شتاينهارت، وآل ميكس فيلينكين، تستمر المرحلة التضخمية من توسع الأكوان إلى الأبد في معظم أنحاء الكون. نظرًا لأن لتوسع المناطق بسرعة هائلة، فإن معظم حجم الكون، في أي وقت، ما يزال منتفخًا. تظهر داخل هذا الجزء الضخم أكوان الفقاعة الفردية من فراغ النظرية الكبرى، لكن ما زالت بينهما مساحة تتوسع أضعافًا مضاعفة في حالة الفراغ الكاذبة. تنتج نظرية التضخم الأبدية عالمًا افتراضيًا مطلقًا حَيثُ يكون فيه عالمنا المرئي عبارة عن قطعة صغيرة متلاشية داخل أحد أكوان تلك الفقاعات.

تشير البيانات عن الخلفية الكونية المقدمة من قمر بلانك إلى إزالة النماذج الخطية للتضخم، إلّا أنها تتضمن أيضاً شروط بدء التضخم الأكثر تعقيداً، والتي ربما تقود إلى تضخم اقل. نتيجة لذلك،

إن فكرة التضخم الأبدية تبدو أنْ لا تكون مبررة، وتقترح دراسات المادة داخل أكوان الفقاعات الفردية إلى أنها مليئة بالخصائص الفردية (الثقوب السوداء). لذلك، لم يعد وجود أكوان متعددة من أكوان الفقاعات المنفصلة مدعوماً في علم الكون التضخمي. لكن ما تزال نظرية الأوتار بحاجة لمثل هذا الاحتمال.

المناظر والأكوان الطبيعية

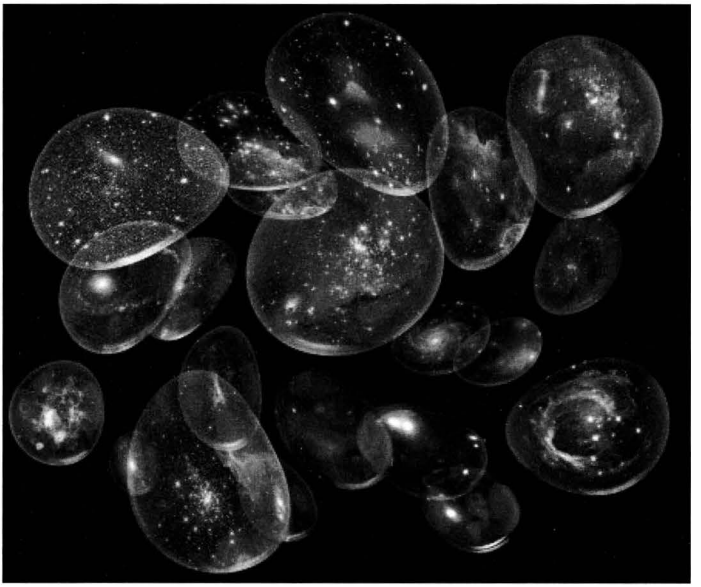
أدّت نظرية الأوتار ونظرية التناظر الفائق إلى تطوير نظرية الأوتار الفائقة. هذه هي الخطوة التالية بعد تطوير الامتدادات الفائقة البحتة للنموذج القياسي مثل MSSM المبين في الفصل الخامس. وهو يصف الفيزياء التي تمتد عبر صحراء الجسيمات بأكملها بين 100 تيرافوات و10–15 كيكافولت، وتصل إلى للطاقة 101 كيكافولت وفق مقياس بلانك. ومع ذلك، عند محاولة إجراء عمليات حسابية محددة لربط عدد حالات الجسيمات وتفاعلاتها، يصبح العدد الكبير لفضاءات متعددة الشُعبْ المحتملة مشكلة. عن طريق بعض الحسابات، هناك 10500 طريقة مختلفة يمكن من خلالها تغليف هذه الفضاءات، ما يعني على الأقل، ان العديد من الحلول المختلفة للنماذج القياسية لا بُـدَّ أن تبدو لما عليه في عالمنا ذي الأبعاد الأربعة. تسمى هذه المجموعة من الاحتمالات بالمناظر. من المفترض أن يختار عالمنا أكـوان



المناظر هذه التي أراد إظهارها في كون الانفجار العظيم أو بالقرب منه. لا يوجد، حاليًا، أي تحديد معروف للطريقة التي سيتم بها هذا الاختيار بشكل طبيعي، ولهذا نظرًا لطبيعة النظرية الإحصائية، فإن أحد الحلول الشائعة حاليًا، يتمثّل بالسماح لكل هذه الاحتمالات بالوجود في أكوان متعددة من الأكوان المحتملة.

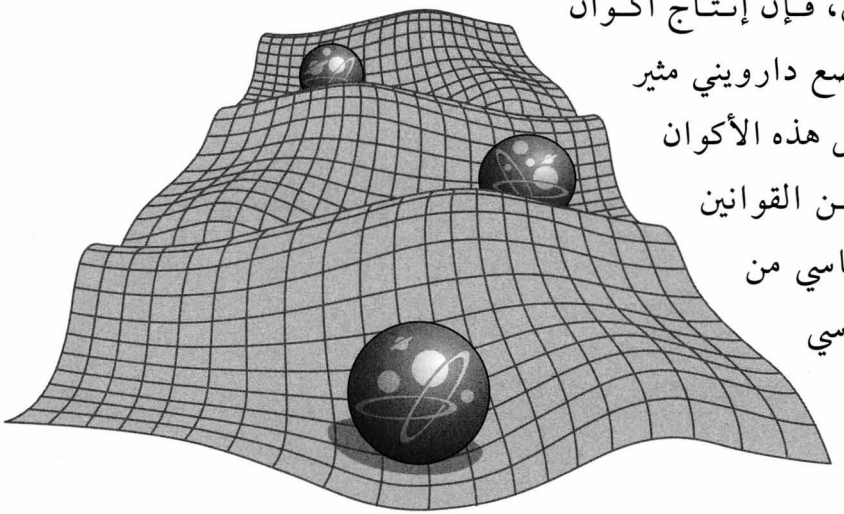
اكوان الفقاعات والأكوان المتعددة

هناك طرق أخرى لتكوين الكون التي تتضمن أكوان الفقاعات تبدأ بالأشكال الفردية داخل كوننا، التي تسمى الثقوب السوداء. وفقًا لبعض النظريات التي طورها ليونارد سوسكيند في الثمانينيات، والتسعينيات من القرن العشرين، وفي نطاق الجاذبية الكمّية، تتشكل أجزاء من الزمكان بصورة مستمرة وتنفصل بعد ذلك تشكل كون فقاعي منفصل. تبقى معظم هذه الأكوان الفقاعية اكوانًا ضمن نطاق بلانك والتي سوف تختفي في نهاية المطاف. ومع ذلك، قد يتوافق الأكوان الفقاعية الأخرى مع نوع من حالة بداية تكوينها وتتوسع لتصبح أكوانًا كبيرة مثل كوننا.



هناك نصوص أخرى لهذه الفكرة ضمن نطاق الثقوب السوداء، حَيثُ يمثل التفرد الكوني فعلياً كون الفقاعة المنفصل عن عالمنا. فإن هذا التفرد الكوني يترك وراءنا، بالضبط على جانبنا، افق الحدث (الحدود التي لا

يمكن للإشعاع، بما في ذلك الضوء الهروب منه). ولكنه ينفصل داخل كون الفقاعة عن زمكاننا بسرعة ليصبح الانفجار العظيم الخاص به، ما يؤدي إلى تضخم الزمكان، ولا يمكن أن يكون هناك أي اتصال بين عالمنا، وهذا الكون الجديد، لأن زمكانه يفصل تماماً عن عالمنا من خلال ظهور أفق الحدث، والحالة التفردية التي لا يمكن اختراقها من جانبنا لاستخلاص البيانات.



حسب رأي لي سمولين، فإن إنتاج أكوان الفقاعات هذه يؤدي إلى وضع دارويني مثير للاهتمام. حَيثُ يقترح أن تحمل هذه الأكوان الجديدة بعض المعلومات عن القوانين الفيزيائية والنموذج القياسي من عالمنا. لأن النموذج القياسي وشكلنا بالنسبة للجاذبية يفضّلان إنشاء ثقوب سوداء ذوات كتلة نَصِّية وفائقة الكتلة، ستفضّل هذه الأكوان الجديدة أيضًا تكوينها، وبالتالي فإن أكوان الفقاعات العديدة الناتجة عن زمكاننا ستولد بدورها مجموعاتها الشاسعة من الثقوب السوداء، والجيل القادم من اكوان الفقاعات متصفًا أيضًا بقوانيننا الفيزيائية لأن قوانيننا المادية تفضل تكوين حياة حقيقة. فإن أكوان فقاعات المتعددة لسمولين التي تفضل حياة ستفوق في نهاية المطاف عدد الأكوان الفاشلة التي لا تقوم بها عملية الداروينية الكونية.

المبدأ الأنثروبولوجي (المبدأ الإنساني)

تبدو نظرية الأوتار، في علم الكونيات التضخمي، بحاجة إلى أكثر من كون من بين عدد كبير من الأكوان الأخرى الممكنة. يرجع السبب في ذلك إلى أن هذه النظريات تعبر عن نفسها من حَيثُ المعادلات التي لها ثوابت قابلة للتعديل. بالنسبة لكوننا، يتم تحديد هذه الثوابت من خلال الملاحظة، لكن المعادلات نفسها توفر إمكانية لانهائية من الحلول المتكافئة بصوة تامة، ولكل منها مجموعة من الثوابت القابلة للتعديل. إذا كان كل حلّ من هذه الحلول ينطبق على كونه الخاص، فعندئذٍ لدينا رياضيات متعددة من كون واحد قابل للتخزين المؤقت لمجموعة ممكنة من الثوابت القابلة للتعديل. وقد يصبح السؤال، كيف نجد أنفسنا في هذا الكون بالذات؟

تتطلب الحياة كما نعرفها، والحياة الوراثية المستندة إلى الكيمياء العضوَية بالتحديد ضبطًا دقيقًا لعدد قليل من المقاييس الأساسية في الطبيعة مثل قيمة سرعة الضوء، ومقياس ثابت بلانك، وثابت جاذبية نيوتن. تحدد الكميات الأخرى بعض العلاقات مثل العلاقات الميكانيكية الكمية مثل عدد جزيئات النموذج القياسي ومجالاته، إلى جانب قيم أكثر من 24 ثوابت داخل النموذج القياسي التي يحتويها حاليًا، على يتم تعيينها من خلال الملاحظة المباشرة. لقد كان لغزًا واضحًا كما يشير **جون ويلر**، كيف أن: « الكون رآنا نأتي من فترة وجيزة بعد الانفجار العظيم ».

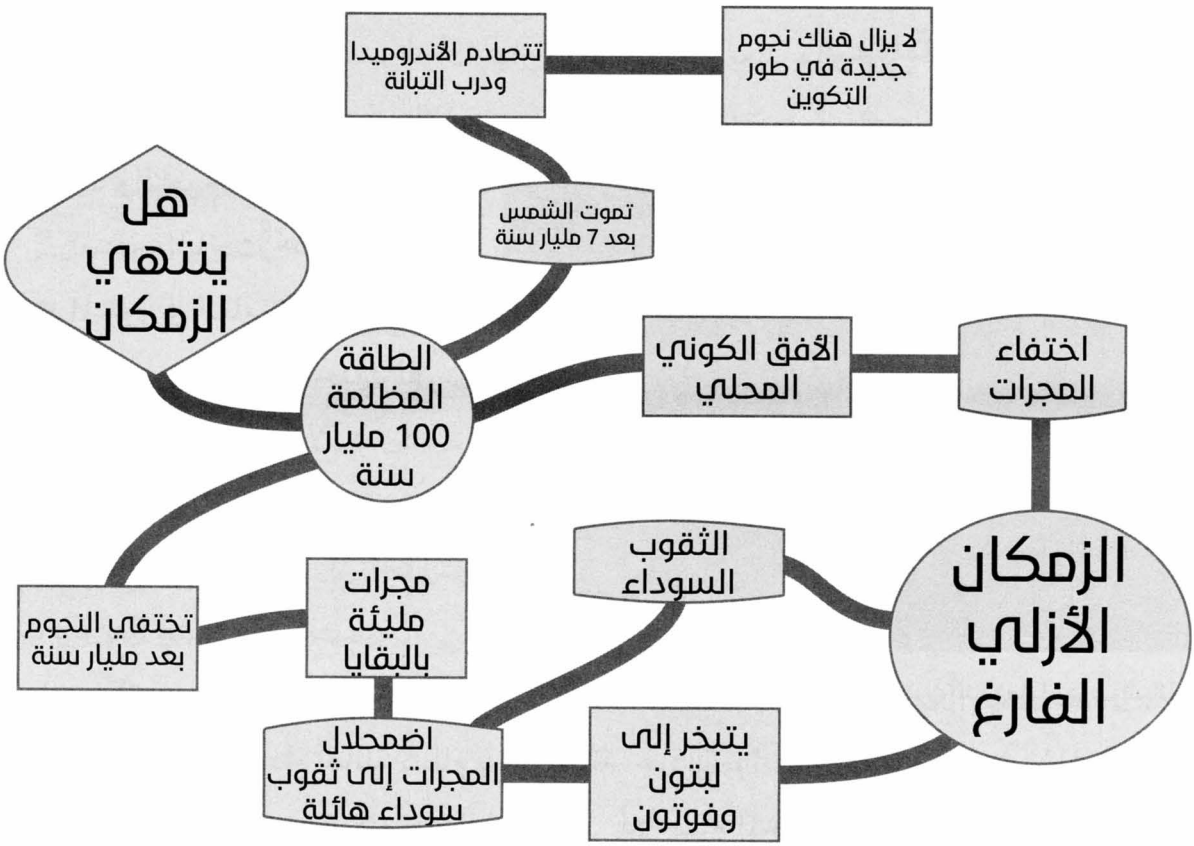
يتضمن أحد الحلول لمشكلة الكون المثالي ما يسمى بالمبدأ الكوني القوي للأنثروبولوجيا (الإنساني). ينص هذا المبدأ على أنه في الواقع قد يكون هناك عدد لا نهائي من الأكوان المنفصلة الموجودة بطريقة ما من الأكوان المتعددة، ويمثل كل منها مجموعة محددة لكن عشوائية من الثوابت الأساسية، والنماذج القياسية. سيكون معظم هذه الأكوان قاحلة (مجدبة) وقاسية لنوع حياتنا ولكن سوف تكون الأكوان الأخرى مناسبة لنوع حياتنا. أو أشكال الحياة الأخرى، مع الثوابت الصحيحة والعدد الصحيح فقط من جزيئات ومجالات النموذج القياسي. في معظم الحالات، تكون انت بحاجة

إلى ما يقارب 10 في المائة، من القيم المعروفة لإنشاء كون قابل للحياة. إذا كانت قوة الجاذبية قوية جدًا، ستتطور النجوم سريعًا إلى أقزام بيضاء قبل أن تظهر الحياة على أي كواكب مدارية. وإذا كان ثابت بلانك كبيرًا جدًا، فستكون الذرات غير مستقرة، ولن تظهر كيمياء الحياة أبدًا.

على أي حال، توجد هذه الأكوان خلف كوننا المرئي في زمكاننا الرباعي الأبعاد، أو مفصولة عنا كأنواع أخرى من الغشاءات ضمن كتلة من أحد عشر بعد، ولا يمكن ملاحظتها تمامًا. في الواقع، نظرًا لأن منطقتنا الزمكانية مفصولة عن منطقة تلك الغشاءات الفضائية، ليس هناك طريقة للحصول على معلومات عن وجودها. هذا يعني أنها تتجاوز المنهج العلمي لدراسة وإثبات وجودها. يبدو أنه لا توجد طريقة لاختبار المبدأ الأنثروبي (الإنساني) الذي لا يؤدي إلى نقاشات دورية أو تجارب تتجاوز التنفيذ العلمي، أو التقني في عالمنا.

يقترح المبدأ الكوني الأنثروبي القوي أنه قد يكون هناك عدد لا نهائي من الأكوان

المستقبل البعيد



القادم من الأحداث

بينما كان الفيزيائيون والفلكيون يواصلون الكشف عن تفاصيل أصل كوننا وتطوّره حَتى الوقت الحاضر، كان فلكيون آخرون يستطلعون ما يُحتمل وجوده في هذا الكون في المستقبل البعيد. في باديء الأمر تجاهل فريدمان ببساطة هذه الأزمان السحيقة في وصفه للكونيات. إذا كان الكون مسطحًا أو محدبًا بصورة سلبية، فإنه سيستمر بالتوسع إلى ما لانهاية بصورة سلبية أيضًا، لكنه إذا تحدب بصورة إيجابية فمن المقدر له أن ينهار في مستقبل غير بعيد يقدر بأقل من 100 مليار سنة من الآن. إن ما تم تجاهله في الأعمال الناتجة من الحلول الرياضية يشمل أي تفاصيل حول مستقبل تطور المجرات والنجوم وحَتى الحياة نفسها.

محاكاة الاصطدام بين أندروميدا ودرب التبانة

استنتج الباحث **جمال إسلام** في بحثه المنشور في العام 1977 في جامعة كارديف، أحداثًا أساسية تحدث لكون مقدر له أن يتوسع إلى الأبد. كانت فكرة البحث الأساسية هي تضاعف التغييرت الصغيرة لتتحول إلى أحداث أساسية بعد عشرة مليارات سنة، من ضمنها الانعكاس الجاذبي للمجرات، وتكوين الثقوب السوداء الهائلة كنظام يفقد الطاقة الجاذبية بواسطة إشعاع موجات الجاذبية. حَتى الأحداث المتوقع وقوعها قليلًا، مثل النفق الكمي للأجسام المجهرية لديها وقت لكي تكمل تحولها ضمن وقت يقاس بكوكول بليكسس 10 مليارات سنة.

وضع العالم الفيزيائي فريدمان في بحثه المنفرد المشهور (الزمن بدون نهاية: الفيزياء، وعلم الحياة في كون مفتوح) نظرةً متفائلة على الذوبان المخيف والمتسارع للنجوم والمجرات والمادة لحياة عضوية عند مرور الآيونات. وكذلك ذكر فريدمان في مقالته إن الاستنتاج العام للتحليل هو أن الكون المفتوح لا يحتاج إلى تطور لحالة هدوء أبدية. فالحياة والتواصل يستمران إلى الأبد، مستفيدين من مخزون دائمي للطاقة إذا افترضنا أن قوانيين القياس صالحة.

المستقبل القريب

في غضون مليارات السنوات القليلة القادمة سيتغير الكون كنجم عملاق أحمر مثل نجم بيتليكس، وانتاريس، واركيروس، ويصبح (سوبر نوفا الأشعة الفائقة)، ويقوم نظامنا الشمسي بعمل مدارات متعددة حول مركز درب التبانة. ومن المحتمل أن المجرات الصغيرة مثل سُحب ماجلان ستفترَسْ بواسطة درب التبانة وتختفي كنظام مجري منفصل إلى الأبد.

تشير المعلومات والتوقعات الإلكترونية الآن، بأن درب التبانة، ومجرة أندروميدا سوف يتصادمان ويندمجان ويشكلان مجرة عملاقة في غضون 4 مليارات سنة. وسوف تنفجر المجرة المتنامية الكتلة بصورة مؤقتة مثل نظام **سيفيرت**، كما هو الحال بالنسبة للثقبين الأسودين الهائلين في الإندماج النواتي المجري الحالي. وسوف تسيطر المجرة الانشطارية الجديدة المسماة ميلكوميديا على ديناميكية الـ 54 مجرة في المجموعة المحلية، وبحلول 150 مليار سنة سوف تنجو فقط مجرة **الميلكوميديا** بعد فترات متعددة من التصادم.

مكتبة
t.me/t_pdf

موت النجوم

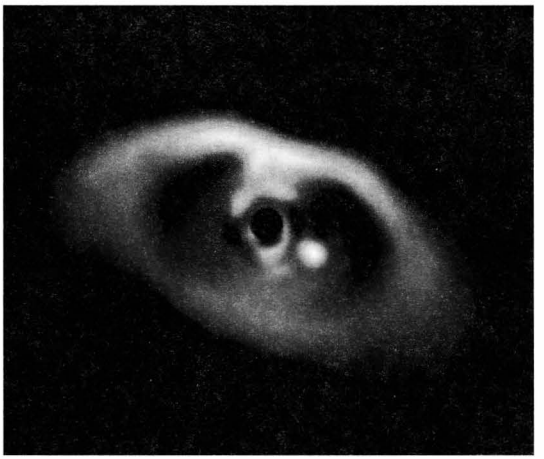
في نهاية الأمر، فإن النجوم تكبر وتموت. إن نشاهده في الكون المرئي من مجرات انشطارية كثيرة لها نجومها القديمة التي تخلو من الكثير من الغازات السماوية، والغيوم امتدادًا إلى أجيال جديدة. تستمر النجوم في كتلة شمسنا إلى 12 – 15 مليار سنة قبل تحولها إلى سدم كوكبية، ونجوم قزمية باردة بيضاء اللون. لكن تشكل أصغر النجوم المألوفة والقابلة على الالتحام الحراري النووي فقط 6٪ من كتلة شمسنا. بإمكان هذه النجوم الحمراء الصغيرة العيش بين 10 إلى 20 مليار سنة قبل أن تصبح أجسامًا بطيئة باردة. سوف يصل نجم بروكسيما سينتوري، وهو نجم قزمي احمر قريب لهذه المرحلة بحوالي 4 مليون سنة. وذلك بإمكاننا أن نتخيّل بأن كوننا المرئي، بعد مليارات السنوات القليلة – سوف تختفي منه حَتى النجوم الحمراء القزمية (الصغيرة) وسوف يصبح في النهاية اسود للأبد. هذه هي أكثر النظرات تحفظًا على مستقبل كوننا مبنية على مانعرفه حاليًا حول تكوين النجوم، وتطورها في كوننا.

العملاق الأحمر: هو نجم عملاق مضيء في المراحل النهائية للتطوير النجمي، وهي في حالة استخدام آخر ماتبقى من وقود الهيليوم، وقد توسع، وأشع ضوءًا في الجزء البرتقالي للطيف الشمسي.

السديم الكوكبي: صدفية غازية دائرية الشكل مطرودة من قبل نجم أحمر عملاق.

القزم الأبيض: هو ماتبقى بعدما تخلص النجم الأحمر العملاق من غلافه الجوي الخارجي كسديم كوكبي، وتفتته إلى لب أبيض اللون، كثيف شديدة الحرارة.

حالما تختفي الأضواء، سيكون هناك ومضات يومية من أشعة كَاما، وكذلك إشعاعات جاذبية تمر من خلال الفضاءات المظلمة مثل نجوم النيترون، وتتصادم الثقوب السوداء متبعة رقصاتها الجاذبية المتنوعة. هذا ما نراه اليوم، وسيكون في المستقبل القريب عدد كافٍ من نجوم النيترون، والثقوب السوداء في نظام ثنائي لتكوين هذا المشهد.



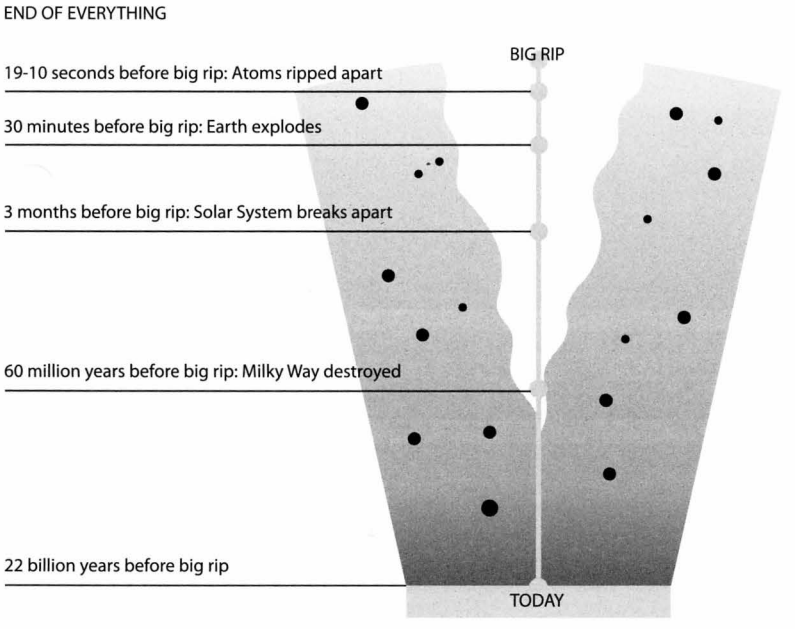
بقايا قزم أسود نموذجي لنجم ميت

لكن هناك، أيضًا، ظاهرة محتملة أخرى ربما يكون لها تأثير جذري في ما نراه اليوم. نتيجة لذلك، لن نستمر أكثر من 65 بليون سنة أخرى. إذا استمرت الطاقة المظلمة في كوننا بالنمو في قوتها، فإن الانفصال المتسارع للمجرات في الفضاء سوف يسبب في النهاية لجيراننا التلاشي بصورة جذرية في 50 بليون سنة. وتصبح مجرة أندروميدا ودرب التبانة (ميلكوميديا) بالنتيجة المصدر الوحيد للضوء في كوننا في الـ 60 مليار سنة القادمة. وحَتى بالقرب من مجموعة المجرات الفائقة مثل (العذراء) في الـ 110 مليون سنة، وسديم كوما في 330 مليون سنة ضوئية، ستكون بعيدة جدًا، سيكون ضوؤها بعد الـ 60 مليار سنة أفقًا كونيًا مرئيًا في ذلك الوقت ولايمكن رؤيته مطلقًا من الأرض. بين هذا الأفق والأرض، فإن كوننا المرئي سوف يتشكل بواسطة القليل من الأجزاء الصغيرة من المجرات الحالية القريبة منا في الوقت الحاضر، التي يمكن عدها (احصاؤها)، الآن، كونها تحتوي على عشرات أو ربما بعض المئات من المجرات المتبقية، وليس عشرات الملايين من المجرات التي تشكل الآن مشاهد ما وراء المجرات.

التصدع الكبير

إذا استمرت الطاقة المظلمة بالنمو في قوتها من دون حد، فإن المقياس الذي يوجد فيه أفق الكون المرئي سوف سيستمر بالانكماش، أولاً إلى نطاق ما بعد المجرات في 60 مليار سنة، وبعد ذلك النطاقات المتسارعة للنظام المجري، والشمسي، والكواكبي والذري في غضون 65 مليار سنة. ولذلك يخمن البعض، بل يتنبأون بأن التصدع هو جزء من الفضاء نفسه في مقياس الجاذبية الكمي.

تبدو المسألة مثيرة للسخرية، لأن النجوم ما تزال غنية ومضيئة في مقدمة ذلك الحدث، فربما تتحول سماء ليلية، كالتي نتمتع برؤيتها الآن، بسرعة خلال فترة الألفية إلى منظر أحمر خافت من النجوم الهاربة من موقعنا. خلال دورة الحياة (حياة البشر)، ستظهر موجة من النجوم الحمراء لتقترب منا بنجوم أقل احمرارًا من النجوم الأبعد التي أصبحت أعتم بسرعة، كما يتحول طيفها إلى الأشعة فوق الحمراء. وفي اللحظات الأخيرة سوف تتحول الكواكب البعيدة أيضًا إلى نجوم حمراء – إلى أن تصل كارثة توسع الفضاء إلى الأرض نفسها. بعد فترة قصيرة من الزمن عندما نجد أنفسنا وحيدين في هذا الكون، سيبدأ تركيب الأرض الذري وأجسامنا بالتوسع حَتى يُقضى علينا.



يمكن تأجيل هذا التنبؤ المزعج تقريبًا بصورة غير قطعية في حال تبدد الظاهرة المسؤولة عن الطاقة المظلمة بتحويل الفراغ الكاذب الحالي إلى فراغ حقيقي واطئ الطاقة في النقطة، التي سيصل التوسع المتسارع فيها إلى نهايته في ملايين السنين القليلة القادمة.

على أي حال، فإنه ليس من الواضح ما هو الاختلاف بين الفراغ الكاذب، والفراغ الحقيقي الحاليين. إذا كان الأمر في ترتيب أقل من كتل النيترونات، والقليل من عشرات الفولتيات الإلكترونية، فإن التغيير القليل سوف يظهر على الفيزياء الحالية للكون. على أي حال، إذا كان اختلاف الطاقة مختلفًا مع الطاقات النووية للميكافولت أو كتلة جزيئة الطاقات للكيكافولت فإن كوننا سوف يتحول مباشرةً كنموذج قياسي جديد يحل محل الكون القديم. لن يمثل النموذج القياسي الجديد شيئًا كالكون الذي تعتمد عليه حياتنا العضوية. ولكي تتوسع الفقاعات الكونية للفراغ الحقيقي بسرعة الضوء، فهي سوف تصدم أي أشكال مالوفة للمادة التي تمسها، بضمنها الأرض وشكل حياتنا في الكون.

الانجماد الكبير

إذا لم يتمزق الفضاء إلى جزأين في الـ 65 مليار سنة في التصدع الكبير، فإن هناك احتمالات أخرى يمكن أن نأخذها بنظر الاعتبار. تفقد أجريت العديد من الحسابات التحقيقية التي أدت إلى منظر أكثر عتمةً بعد مرور أشواط هائلة من الوقت مقيسًا بالكوكل بيكسل.

بعدما تتحول كل النجوم إلى كتلة باردة، وإلى بقايا كثيفة مثل الأقزام السوداء، والثقوب السوداء، ونيترونات النجوم، ستصبح مجرتنا مقبرة ظلماء للمادة المتولدة غير المضيئة. سيكون هناك بعد 100 تريلون سنة تقريبا تصادم بين هذه البقايا مسببًا النجوم المستعرة Supernovae وبعد 10^{30} ترليون سنة، سوف تخرج معظم البقايا السماوية، مثل (نيترونات النجوم، والأقزام البيضاء،

والثقوب السوداء) جاذبيًا من مجرتها بتصادمات قريبة. وسوف يتم استيعاب البقايا الناجية بواسطة الثقوب السوداء المجرية خلال الانبعاث الثابت للإشعاع الجاذبي الذي يسبب تشتتًا مداريًا.

لن تكون هذه المقبرة الكونية المتولدة المرحلة النهائية في تاريخ المستقبل الكوني، لكنها ستكون مجرد نقطة انعكاس لوقت أطول يسمى فترة الثقب الأسود. بعد 10^{70} سنة سوف تتبخر كل بقايا الثقوب السوداء بواسطة آلية هوكنك تاركةً خلفها الجزيئات الأولية مثل (الألكترونس، وبوسترونز، والنيترونز). وبعد 10^{70} سنة سوف تتبخر أيضًا الثقوب السوداء الهائلة في كوننا الحالي وفقًا لآلية هوكنك.

حالما تتبخر بقايا الثقوب السوداء، فإننا نكون قد دخلنا فترة طويلة لا يمكن تخيلها تسمى الفترة المظلمة. ما يترك في ذلك الوقت هو مجرد كون متوسع خالٍ من المواد باستثناء بلازما الإلكترون،

اكتشف ستيفن هوكنك أن الثقوب السوداء تفقد كتلتها من خلال عملية تُعرف الآن باسم (إشعاع هوكنك)

والبوسترون، والفوتون، والنيترونات التي تمثل موت حرارة الكون. لم تعد هناك أي طريقة لتوليد الطاقة المستخدمة في الكون لأن (انتروبي – العجز)، الآن وصل اعلى مستوياته إذا وجب تحول ذلك على هذه الفترات الزمنية وحَتى الإلكترونات، والبوسترونات، والنيترونات التي لا تعتبر جزيئات أولية، فإنها ربما تتشتت إلى أجزائها، التي تشبه الفوتونات فرضياً في كل صفاتها.

الأبدية

تشير القياسات الحالية لكتلة قمة الكوارك وهيكزً بوسون، أن عدم استقرار فراغنا الحالي. في مفهوم النفق الكمي، يمكن نقل حالة فراغنا الكاذب الحالي إلى فراغ صحيح بـ 10^{139} سنة. وبعد 10^{1026} سوف تتحول كل الجزيئات الكبيرة من كتلة بلانك إلى ثقوب سوداء مباشرةً. وبعد 10^{102656} سوف يخلق الكون الفارغ، المتوسع بصورة تلقائية أكوانًا متشابهة بواسطة النفق الكمي. وسوف تستمر هذه الأكوان ليتكون انفجارها العظيم الخاص بها.

النهاية

توضح النماذج الكونية الحالية بأن حجم كوننا هائل جدًا، وربما يكون مطلقًا لكل النوايا والأهداف. يصف الانفجار العظيم كوننا على انه في حالة توسع مستمر قد يستمر إلى مستقبل غير محدد. إذا كانت هذه هي الحالة ونفترض مانعرفه عن الأبدية والنموذج القياسي في الوقت الحاضر، فإن شيئًا واحدًا يكون صريحًا بصورة لا يمكن تجنبها. وهو: في التوسع الهائل لأبدية الزمن القادم، يدور كوننا السماوي الحالي في الـ 100 ترليون سنة الأولى للأبدية ليُتبع بظلام دامس وتامّ، بحَيثُ لا يمكن لنا أن نفعل أي شيء حيال ذلك. من المحزن جدًا أن نتخيّل دورة هذه الحياة كمجرد ومضة عابرة تاتي من الأعماق الأبدية للظلام والأزمان.

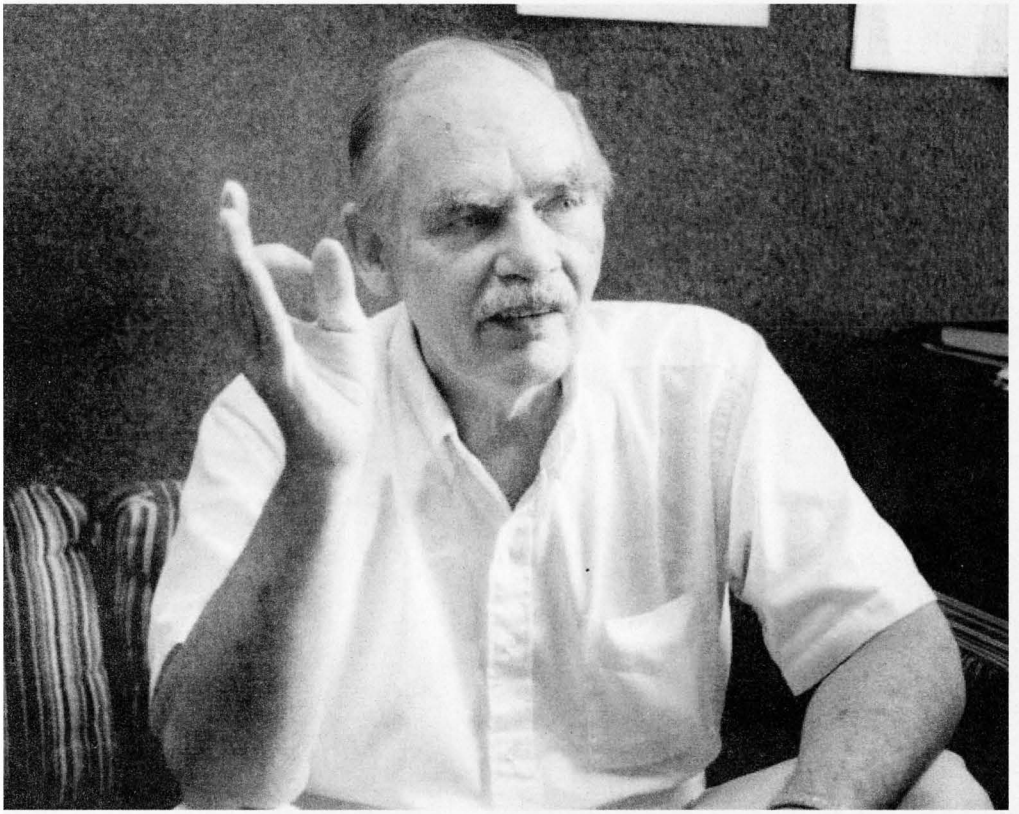
أفكار مبكرة عن المستقبل

قبل تأكيد حدوث نموذج الانفجار العظيم الحالي نظريًا للتنبأ بتوسع مستقبلي مطلق للكون، كان بحوزتنا العديد من نماذج فريدمان التي تنبأت بإعادة الانهيار الكوني النهائي المسمى **التصدع الكبير**. بناءً على أفضل القيم المتوفرة للمقياسات الكونية للكثافة وثابت هابل في فترة الستينات، فقد اقترحت بعض الحسابات بأننا تقريبًا في الثلثين الأخيرين باتجاه نقطة التوسع الأقصى، وهو الوقت الذي خُمن فيه حدوث التصدع الكبير الذي سيكون في 40 مليار سنة أخرى. وقد انتهى خيار **التصدع الكبير** حالما حصلت القياسات الدقيقة لعلم الكونيات الحالي، بدءًا من تسعينات القرن الماضي، وقد تم التوصل إلى أن إعادة الانهيار باتت تقريبًا مستحيلة خصوصًا عند معرفة طبيعة الطاقة المظلمة.

قبل بداية العصر الحديث لعلم الكون الفيزيائي، ابتداءً من فترة التسعينات، كانت فكرة المستقبل البعيد مرتبطة بصورة كبيرة بكتاب الأساطير والأفكار الدينية. حَيثُ عُرض الكون الدوراني في الأفكار الهندية بفترة ثمانية مليار سنة لكل دورة، بينما ذهبت الأديان الغربية نحو فكرة نهاية الإنسانية في مايسمى العودة الثانية (عودة السيد المسيح) الذي يُتوقع حدوثه في المستقبل القريب، لكن لم تكن هناك إشارة دينية عما يحدث لباقي الكون.

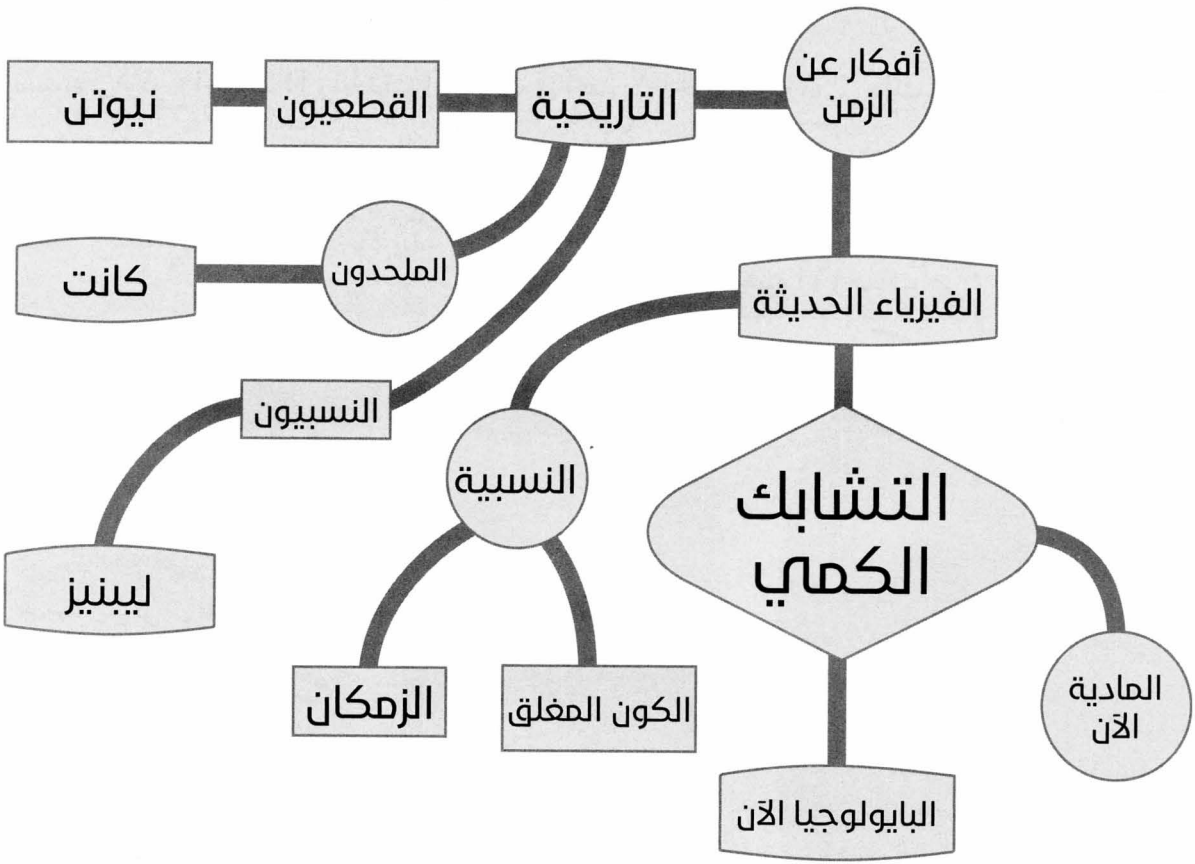
ومن بين مؤلفي القصص الأسطورية، تعرفنا على الأرض البعيدة التي تبعد 30 مليون سنة من الآن. إنه كوكب معزول في القصة الأسطورية ماكنة الزمن لـ جي أتج ويلز، إلّا أنه لم يُذكر أي تعليق عن الكون الواسع. ومن الممكن أن نجد نهاية الكون في واحدة من أحدث القصص العلمية (كتاب صناعة النجوم) لـ Olaf Stapledon 1937. يفضل هذا الكاتب قصة James Blish انتصار الزمن 1958 ورواية مايكل موركوك 1965 (العالم المقسم)، إذ أنها الأعمال الأولى الأدبية التي استخدمت المصطلح الكون المتعدد، الذي ترجع أهمية استخدامه إلى الكونيين الحديثيين. في القصص

العلمية الحديثة، نجد مستقبلات بعيدة مطوّرة بواسطة فريدريك بوول في العالم في نهاية الزمن (1990)، وروايات ستيفن باكستر الملحمية الرائعة (الخاتم) (1994) والزمن: المتنوع (1999).



كثيرًا ما كتب فريدريك بول، مؤلف الخيال العلمي الرائد، عن المستقبل البعيد واستكشاف مفهوم الكون المتعدد في رواياته

الزمن


أفكار عن الزمن
التاريخية
القطعيون
نيوتن
الملحدون
كانت
النسبيون
ليبنيز
الفيزياء الحديثة
النسبية
الزمكان
الكون المغلق
التشابك الكمي
المادية الآن
البايولوجيا الآن

مفاهيم زمنية

لقد اتبعت المناقشة الكاملة لعلم الكونيات عرضين تاريخيين: الأول هو التاريخ البشري لاكتشافه، الذي بدأ بتنبؤات قديمة وتطورعبر آلاف السنين إلى الوصف المادي الحالي المفصّل لعلم الكون (**الانفجار العظيم**). أما التاريخ الثاني فهو التاريخ المادي للكون نفسه بدءًا من التغييرات المعقدة أثناء عصر بلانك إلى الانحلال المادي العميق الذي ينتظر الكون في المستقبل البعيد الذي لا يمكن تخيله. يتضمن هذان الوصفان فكرة تشابك الأحداث في سلسلة سببية رتبت في الوقت المناسب (الحدث A تسبب في وقوع الحدث B والحدث B تسبب في حدوث الحدث C وما إلى ذلك). على الرغم من أننا قد وصفنا الأفكار في نظرية الجاذبية الكمية التي تقدم أفضل ما لدينا في فهم أصل ومعنى الفضاء، إلّا أننا لم نقدم أي وصف لأصل الزمن ولماذا يبدو وكأنه ظاهرة وصفة للعالم مختلفة عن الفضاء.

ظهرت ثلاثة أوصاف في القرون الحديثة لأصل الزمن، هذه الأوصاف هي:

الوصف المطلق

اقترح السير إسحاق نيوتن أن الزمان والمكان مطلقان، إذ يوجد إطار خارجي موجود مسبقاً للزمن، والمكان يعمل خلف الكواليس ويسمح للقوانين والنظريات الفيزيائية بعمل تنبؤات رياضية دقيقة حول الأنظمة الديناميكية.

الوصف النسبي

اقترح جوتفريد فيلهلم لايبنيز عدم وجود إطار نيوتوني مطلق. أي يُستمَدّ المكان والزمان والمفاهيم من العلاقات بين الأجسام على حد سواء. إذ لا وجود للزمان والمكان بدون الأجسام.

الوصف اللا جودي

اقترح عمانويل كانت 1788 في نقده للعقل الخالص أن كلًّا من الزمان، والمكان مجرد حدس مسبق (مشتق من التفكير الذهني بدلًا من التجربة) يسمح لنا بتنظيم التجارب الحسية في نموذج ذي مغزى من العالم حَيثُ يمكننا العمل من خلاله. تعكس هذه النظرة الفكرة التي اقترحها المفكر السوفسطائي أنتيفون في بداية القرن الخامس قبل الميلاد: الوقت ليس حقيقة، لكنه مفهوم أو قياس.

الفيزياء الحديثة

يعتبر الزمن أحد أقدم الألغاز في عالمنا حَيثُ عانى منه الإنسان منذُ آلاف السنين خصوصًا عندما ينتابنا الشعور العميق بأنه يسير من الماضي إلى المستقبل. قد زودنا ظهور العلوم الفيزيائية الحديثة، على ما يبدو، بأدوات جديدة لاستكشافه. يعد الزمن في مجال الفيزياء رمزًا رياضيًا في المعادلات التي غالبًا ما يمثلها الحرف t فهي علامة ملائمة لوصف طريقة تغيير نظام المادة والطاقة. إن أول ميزة محيرة للغاية للزمن كمتغير فيزيائي، هي أن جميع التصورات الرياضية للقوانين، أو النظريات الفيزيائية تُظهر أن t مستمر وسلس، ويمكن تقسيمه بلا حدود إلى فواصل زمنية أصغر. تعتبر هذه المعادلات أيضًا، خالية من الزمن، وذلك لسهولة تدوينها على ورقة وتقديم وصف دقيق لـ طريقة تغيير النظام من البداية إلى النهاية بناءً على الظروف الحدودية المحددة، على سبيل المثال (t = 0) لكن تظهر المعادلات هذه العملية على أنها (كلها مرة واحدة). لذا يجب على المستخدم إدراج القيمة الخاصة لـ t التي تمثل اللحظة الحالية.

ومع ذلك، جلبت النسبية معها طريقة جديدة للنظر إلى المكان والزمان كعضويْن في سلسلة الزمكان المترابطة بواسطة الخطوط العالمية للجزيئات، وكمراقبَين في الكون، وخلال الزمكان، شوهدت جميع الأجسام من منظور الكل في زمن واحد، واقصت أي ذكر للزمن بصورة مطلقة.

كان هذا الكون المغلق عبارة عن جسم كامل رباعي الأبعاد، ويمكن أن يشّق بصورة عمودية على المحور الزمني للكشف عن مكان وجود الأشياء في الفضاء ثلاثي الأبعاد في لحظة معينة. لكن لم يكن هناك تفسير لسبب انشقاق الزمكان في لحظة معينة، وليس في لحظة أخرى. وفقًا لميكانيكا الكم، يوصف تطور نظام في الفضاء، لفواصل زمنية متعاقبة، لكن يوجد أي اختلاف بين أي فاصل زمني سوى نقاط البداية (و(النهاية) والأماكن التي يتفاعل فيها مع بيئته. لا تقدم النظرية النسبية

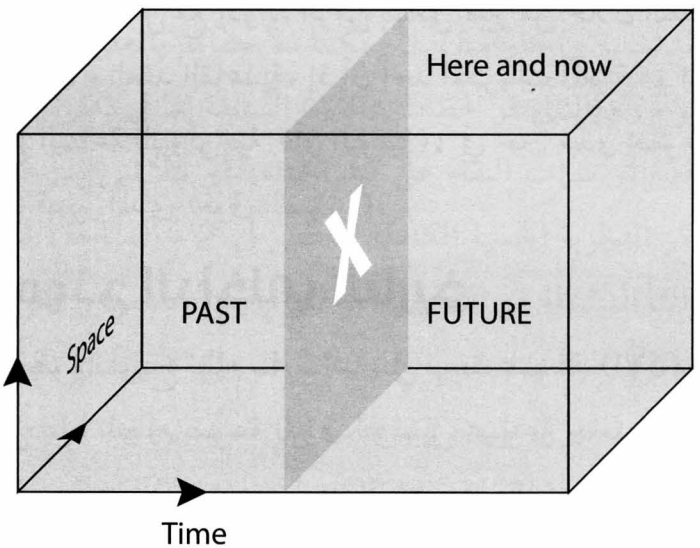
ولا ميكانيكا الكم تفسيرًا لسبب وجود الزمن، ولا لسبب الشعور السائد بين البشربوجود شيء مختلف عن اللحظة الراهنة في كل التاريخ الكوني داخل الكون المغلق.

العكس: يمكن وصف إطلاق هذا الصاروخ رياضيًا ، لكن لا توجد لحظة زمنية تفضيلية على أخرى

مكتبة
t.me/t_pdf

الحاضر المخادع

إذا تم تحديد جميع المعادلات والعروض النسبية للعالم المادي من خلال بيان رياضي خالٍ من الزمن متمثلًا في نموذج الكون المغلق للزمكان، من أين تأتي تجربة (الآن) التي سببت وقتًا محددًا بطريقة رياضية، سميت t = t now، لكي تتمييز عن كل الأوقات الأخرى التي تحدد النظام؟ تعمل النسبية، والفيزياء الحديثة على دمج الزمن في إطار الزمكان الأبدي والخلود، وبالتالي، لا تقدم تفسيرًا للزمن بخلاف البعد الرابع الضروري الذي ينظم التغيرات في النظم الفيزيائية (الحالات) في الفضاء. وهي رؤية شبيهة بالكانتية الخاصة بالزمن، ولكنها تستند إلى أحداث خارجية قابلة للقياس. هناك شعور بأن الفيلسوف كانت كان على صواب، وهذا ينطوي على طريقة إدراك أدمغتنا للزمن. إن إدراك الزمن، مهما كان مثيرًا للاهتمام كموضوع للبحث، فهو ليس الزمن المادي الذي تلعب فيه الأحداث دورها في الكون.



في وجهة نظر الكون النسبي للزمكان، يعتمد مفهوم (الحاضر) كليًا على المراقب

الآن (الأحيائية)

بفضل الدراسات المتطورة في أبحاث الدماغ، خلال السنوات الأخيرة، حدد الباحثون ما بين ثانيتين إلى ثلاث ثوان كحد أقصى لما يشهده معظم الناس بمفهوم (**الآن**) وما يسميه العلماء (**بالحاضر المخادع**). خلال هذا الوقت، لا بُدَّ أن يظهر كمٌ هائل من النشاط العصبي في إنتاج الخلايا العصبية التي تصل سرعتها إلى 10 سم / مللي ثانية (ألف ثانية). لا يقتصر الأمر على دمج المعلومات الحسية معًا لكل جسم في مجالك المرئي، وترابطها مع غيرها من الحواس، لكن يتوجب الأمر تنشيط أو تعطيل عشر مناطق من الدماغ المتخصصة لتحديث نموذج عالمك بطريقة متسقة إلّا أنّ هذه العملية ليست ثابتة.

يبين العالم سيباستيان ساوير، وزملاؤه في جامعة لودفيغ ماكسيميليانس في ميونيخ أن المتأملين يمكن أن يزيدوا بشكل كبير من شعورهم بمفهوم (الآن) إلى 20 ثانية.

يتم التعامل مع إدراك الزمن بشكل كبير من خلال النظام الموزع الذي يشمل القشرة الدماغية والمخيخ، والعقد القاعدية. إذ أن أحد المكونات المعينة هو **النواة فوق الحركية**، وهي المسؤولة عن إيقاع الساعة البيولوجية (أو اليومية)، في حين تبدو مجموعات الخلايا الأخرى قادرةً على ضبط وقت قصير المدى (فوق الصوتية).

النموذج الداخلي للتاريخ

يقوم نموذج نظام بناءنا الداخلي بربط مجموعة (الآن) العصبية مع تدفق سلس من الزمن، إذ يعمل هذا النظام بسرعة البرق لتوصيل مجموعة جامدة من المدخلات الحسية بمجموعة أخرى، ويحتفظ بكلتا الحالتين في نظرتنا الواعية (للعالم). يزودنا هذا بشعور مرور مجموعة من الظروف إلى مجموعة ظروف أخرى وهو الأمر الذي يشكّل (الآن) القادمة. ومنْ أَجل الانتقال من لحظة إلى

أخرى، يستطيع عقلنا أن يتفاعل بسرعة، ويفك البيانات ويُقحَم مع ما يحتاج إليه. على سبيل المثال، ضمن نطاق عالمنا المرئي، لا تحتوي النقطة التي يتصل فيها العصب البصري بشبكية العين على خلايا ضوء حسية. وبالتالي تُخلق بقعة عمياء في مجال رؤيتنا، لكنك لا تلاحظها أبداً بسبب إقحام الدماغ عبر هذه البقعة لملء المشهد. ويحدث الشيء نفسه في هذا البعد الزمني بمساعدة نموذجنا الداخلي لتحويل تصوراتنا المتشابكة بسرعة إلى تجربة سلسة كفلم يصور المكان الذي تطير فيه كرة سريعة في اللحظة القادمة. تستطيع الظروف العصبية مثل السكتات الدماغية، أو المواد الكيميائية للعقاقير العقلية إلى تعطيل هذه العملية.

يتوقف العديد من مرضى الفصام عن إدراك الوقت كتدفق للأحداث المرتبطة بالسببية. قد تلعب هذه العيوب في الإدراك الزمني دورًا في الهلوسة والأوهام. توجد انحرافات أخرى أكثر اعتدالاً يمكن أن تؤثر في شعورنا بتدفق الزمن. على سبيل المثال، خلل التوتر (dischronometria) هي حالة اختلال وظيفي في المخيخ حَيثُ لا يمكن للفرد تخمين مقدار الوقت الذي انقضى بدقة.

ونظرًا للحجم الهائل للبيانات الداخلية والخارجية، لا يمكننا الاحتفاظ بالعديد من هذه اللحظات المتتالية في وعينا بنفس الوضوح، وبالتالي تمر لحظات (**الآن**) السابقة إما في ذاكرة قصيرة المدى إذا اتسمت ببعض سمات العاطفية أو سمات البقاء على قيد الحياة، أو تتلاشى بسرعة إلى النسيان التام. على سبيل المثال لن تتذكر التجربة الحسية الكاملة للغطس في حمام السباحة، لكنك إذا دُفِعتَ، أو أُصِبتَ، فسوف تتذكر تلك السلسلة من اللحظات بوضوح حَتى بعد مرور سنوات.

يعادل جانب بناء النموذج من عقلنا في الوقت المناسب قدرة التعرف على الأنماط في الفضاء. حَيثُ يبحث عن أنماط في الوقت المناسب للعثور على الارتباطات التي تستخدم بعد ذلك لبناء توقعات حول (ما يأتي بعد ذلك). ومن المثير للدهشة، عندما تكتسب هذه الميزة يقينًا أكثر من دليل حواسنا غير الناقصة، يقول علماء النفس مثل ألبرت باورز من جامعة ييل بأننا في الواقع نعاني من

الهلوسة. في الحقيقة يعاني أكثر من 15 بالمائة سكان العالم من الهلوسة السمعية (الأغاني، اصوات الكلام، والأصوات الأخرى) في وقت ما في حياتنا عندما يسمع الدماغ الصوت مباشرةً لأنه كان متوقعًا بقوة على أساس أدلة أخرى.

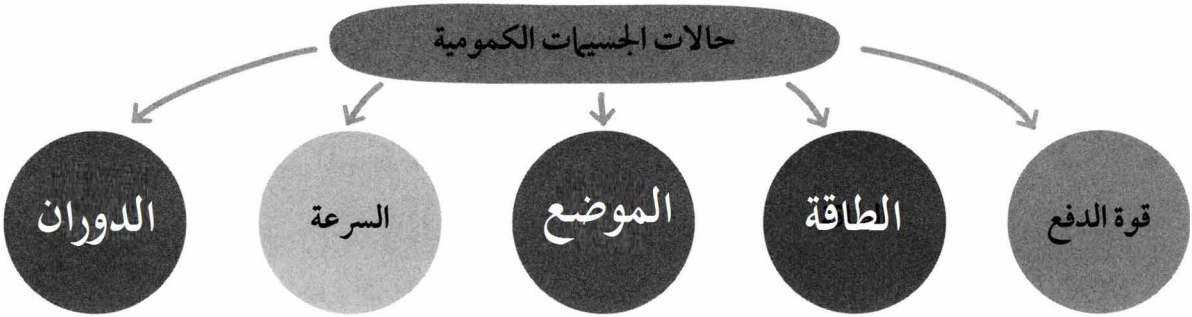
الآن المادية

عرّف الفيلسوف وليام جيمس **الحاضر المخادع** بأنه النموذج الأولي لجميع الأوقات المتصورة ... واقصر مدة نكون فيها عقلانيين بصورة مباشرة ومستمرة. إن تلاعب الدماغ في صنع النموذج الداخلي والبيانات الحسية يخلق (**الآن**) كظاهرة نواجهها، إلّا أن العالم المادي خارج تعداد عقلنا الجماعي لا يعمل من خلال أنظمته العصبية الخاصة لخلق (**الآن**) الكونية. لذلك، فيما يتعلق بالفيزياء، فإن فكرة (**الآن**) غير موجودة، فنحن نعرف حَتى من النظرية النسبية أنه لا يمكن أن يكون هناك (**الآن**) موحدة ومتزامنة تمتد على أجزاء كبيرة من الفضاء أو الكون. حَتى أينشتاين نفسه لاحظ ... أن هناك شيئًا ما أساسيًا بالنسبة لـ (الآن) الذي تقع خارج نطاق العلوم. إذا أردت أن تُعرف (**الآن**) بمجموعة من الأحداث المتزامنة التي تغطي الفضاء، فإن النسبية تضع نهاية على تلك الفكرة لأن نتيجة للحركات النسبية والتسريعات لكل المراقبين، لا يمكن أن يكون هناك (**الآن**) متزامنة تمكن جميع المراقبين في جميع أنحاء الكون مواجهتها. وأيضًا، لا يوجد تدفق للوقت، لأن النسبية هي نظرية لخطوط عالمية، وتواريخ كاملة للجسيمات الموجودة في الكون المغلق في الفضاء. ومع ذلك، تبين لنا نظرية الكم بعض الاحتمالات الجديدة.

كما رأينا في الفصول السابقة، قد يتم بناء ما نسميه (فضاء) كنسيج من عدد كبير من الأحداث الكمية الموصوفة بالجاذبية الكمية. يمكن، أيضًا، إنشاء الوقت من خلال توليف الأحداث الأولية التي تظهر على مقياس الكم. يشبه هذا إلى حد كبير، ما نسميه (درجة الحرارة). درجة الحرارة هي

مقياس لمتوسط طاقة الاصطدام لمجموعة كبيرة من الجزيئات، ولكن لا يمكن تحديدها على هذا النحو على نطاق الجسيمات الفردية.

يمكن وصف النظام بالكامل من خلال حالته الكمية، وهو إجراء أسهل بكثير عندما يكون لديك



عشرات الذرات أكثر مما يكون لديك تريليونات، لكن يبقى المبدأ نفسه. تصف هذه الحالة الكمية طريقة تصنيف عناصر النظام في الفضاء ثلاثي الأبعاد، ولكن بسبب مبدأ عدم اليقين الخاص بهيزنبيرغ، ينتشر موقع الجسيم بسرعة معينة بدلاً من موضعه في موقع محدد. من الخصائص المرتبطة بالجزيئات الكمية أنه يمكن لحالاتها (الدوران، والسرعة، والموقع، والطاقة، والزخم) أن تصبح متشابكة. ما يعنيه هذا هو أنه إذا قمت بوضع جزيئتين قريبتين من بعضهما في نفس الحالة (تسمى التشابك) فإن خواصهما الكمية ترتبط ببعضهما البعض ثُمَّ تفصل، وستبقى خواصهما مرتبطة عبر مسافات أكبر بكثير من حجم النظام الأصلي. أظهرت مجموعة بحوث مثيرة للاهتمام أجراها عالم الفيزياء **سيث لويد** في جامعة هارفرد في العام 1984 أن يكون هذا الطريقة التي تتطور فيها النظم إلى حالة توازن. بمرور الوقت، تصبح الحالات الكمومية لعدد الجسيمات مرتبطة ومشتركة بالمجموعة الأكبر. يذهب هذا الاتجاه للترابط المتزايد إلى بطريق واحد فقط، ويحدد (سهم الوقت) على مقياس الكم.

التشابك الكمي

عندما تتفاعل الأنظمة الكمومية – مثل تصادم الجسيمات – فإن ذلك التفاعل يسبب الترابط بين الجسيمات المعنية. لذا يمكن ان يقال عنها متشابكة أو عشوائية. يمكن أن ينتج هذا التشابك في ظروف تجريبية. بمجرد حدوث التشابك، فإن أي قياس مصنوع ناتج من جسيم واحد، مثل الزخم الزاوي، يعطي معلومات حول الزخم الزاوي للجسيم الآخر، بصرف النظر عن مدى اختلافهما. دعا أينشتاين هذا **بالعلم المجحف البعيد**. لكن يبقى القياس عملية نشطة تعمل على تغيير النظام الذي يتم قياسه. وتلغي عملية القياس أيضًا جميع البيانات المتعلقة بالجوانب الأخرى للجسيم مثل الدوران. لذا فإن قياس دوران جسيم واحد متشابك لا يخبرك شيئًا عن الزخم الزاوي للآخر. في ميكانيكا الكم، إذا لم يتم بالفعل قياس خاصية ما، فلا حاجة لوجودها.

مكتبة
t.me/t_pdf

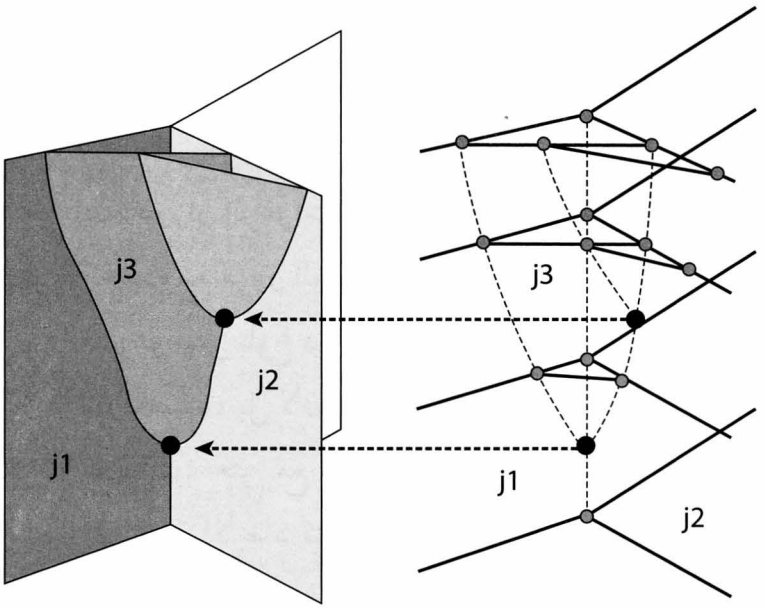
سهم الزمن

من الناحية الكونية، توضح مجموعة متنوعة من التدابير أن الأحداث مرتبطة بالزمن بصيغة: ماضٍ، وحاضر، ومستقبل. ينتج هذا الترتيب من مجموعة متنوعة من التدابير البيولوجية والديناميكية الحرارية، والكونية للأنظمة المغلقة التي تغير حالاتها عمومًا من النظام إلى الاضطراب، وفقًا للقانون الثاني للديناميكا الحرارية. تسمى هذه الحالات بأسهم الزمن، وهو مصطلح اطلقه السير آرثر إدينغتون، في كتابه 1928 (**طبيعة العالم المادي**). إمكاننا دائمًا رؤية أنظمة تتطور من حالة مرتبة إلى حالة مضطربة، مثل ذوبان مكعب الثلج إلى الماء، لكننا لا نرى الماء يتحول فجأة إلى مكعب ثلجي منظم.

بسبب الحاجة لبيانات اقل لتمييز حالة مرتبة من حالة مضطربة، يرى الفيزيائيون وجود علاقة مباشرة بين (اضطراب النظام) ومحتواه المعلوماتي يطلق عليها اضطراب شانون Shannon

Entropy. عندما يزداد الاضطراب ويصبح النظام أكثر عشوائية، تزداد كمية المعلومات في الحالة المضطربة أيضًا. إن الانتروبي (الاضطراب) هو مقياس لمستوى الاضطراب في النظام المغلق. حَيثُ كلما يزداد احتمال حدوث حدث أو حالة يزداد الانتروبيا (الاضطراب) والمعلومات التي يحتوي عليها. تلعب قضايا الاضطراب هذه، ومحتوى البيانات دورًا كبيرًا في دراسة الثقوب السوداء، ونظرية الجاذبية الكمية التي تؤدي فيها مساحة سطح الثقب الأسود دوراضطرابه، وهو مرتبط بعدد بتات المعلومات التي يمكن تخزينها في أفقها المحدد بمقياس بلانك.

الاضطراب: هي قياس مستوى الاضطراب في نظام مغلق.



في حلقة الجاذبية الكمية، وشبكات الدوران ثلاثية الأبعاد تصبح الرغاوي تدور رباعية الأبعاد

الوقت كمفهوم مادي

لا توجد مناقشات حول الزمن نفسه في نظرية الأوتار الفائقة، التي تفترض، ضمنيًا، وجود مسبق لزمكان نسبي خاص توجد وتتحرك فيه الأوتار. حظيَّ ظهور الوقت في الوقت الحاضر كمفهوم مادي باهتمام كبير في نظرية جاذبية الكمية الحلقية فحسب، التي ناقشناها في الفصل الثاني عشر.

كما ناقش الفيزيائيون النظريون لي سمولين، وكارلو روفيلي، فإنه يتم بناء الزمكان على مستوى الكم مما يسمى شبكات الدوران. مثل نموذج (قطع لعبة اطفال) Tinkertoy، تتكون هذه الشبكات من العقد التي تمثل احجام الكمية للفضاء وفقًا لمقياس بلانك، مرتبطةً بالعلاقات التي تمثلها الحواف التي تحمل وحدات مساحة. في هذا المستوى، يتم إنشاء الفضاء على مستوى الكم من شبكة هذه النقاط من احجام وعلاقات الحواف. يمثل كل من هذه الشبكات حالة من الفضاء، لكن هذه الحالات هي جزء من شبكة رباعية الأبعاد تسمى **دوران الرغوة**، التي تمثل طريقة إعادة ترتيب الروابط لنفسها في شبكة دوران واحدة إلى شبكة دوران أخرى، على طول سلسلة من التغييرات. **دوران الرغوات** هي النسخة الكمية للزمكان ذي البعد الرابع المنظم لشبكات الدوران وهو ما نحدده مع مرور الوقت في زمكان النسبية التقليدي والواسع النطاق.

العلم هو ليس بلوغ درجة اليقين. بل هو إيجاد طريقة موثوقة للتفكير أكثر من غيرها. ليس لأنه غير مؤكد فحسب، بل لأن نقص اليقين من أسباب ذلك. (الفيزيائي النظري كارلو روفيلي)

ومع ذلك، حَتى مع نظرية الجاذبية الكمية، لا يوجد أي تفسير لسبب معاملة تنظيم شبكات الدوران ثلاثية الأبعاد كتنظيم زمني لأشياء ثلاثية الأبعاد بدلاً من مجرد تركيب فضائي رباعي الأبعاد. وغالبًا ما يطلق على هذه المشكلة بمشكلة الزمن، حَيثُ تحدٍ واضح لجميع إصدارات نظرية الجاذبية الكمية تقريبًا. توجد فكرة واحدة عن الزمن، هي أن معادلة ويلر – ديويت، التي ناقشناها

سابقًا باعتبارها اصل حلول الدوران في الجاذبية الكمية تعتبر الزمن كمتغير خارجي. لذا يظهر الزمن كمتغير داخلي فحسب. هذا يعكس فكرة عدم وجود (زمن) خارج الكون بمفهومنا، ولكن يوجد شيء يختبره المراقبون داخل الكون فحسب، من خلال استخدام أنظمة فرعية مختلفة تسمى (ساعات).

ايكاترينا موريفا

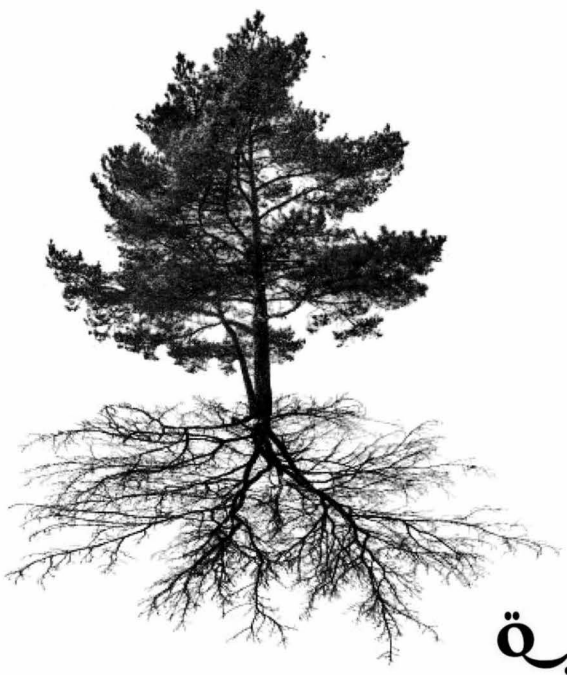
ولدت إيكاترينا موريفا في مدينة موراشي في روسيا في العام 1981. تخرجت في الفيزياء الهندسية في معهد موسكو للفيزياء الهندسية، روسيا في العام 2004، وحصلت على درجة الدكتوراه في الفيزياء والرياضيات في العام 2007. من العام 2005 إلى 2011 كانت بدرجة أستاذ مساعد في قسم الفيزياء النظرية والتجريبية. ومنذُ العام 2012، كانت باحثة في المعهد الوطني لأبحاث القياس Istituto Nazional di Ricerca Metrologica، إيطاليا، تورينو. تشمل اهتماماتها البحثية معلومات الكم والتصوير المقطعي الكمي وتشفير الكم و، أسس ميكانيكا الكم.

كان **دوون بيج، ووليام ووترز** – علماء الفيزياء النظرية – **أول من اقترحا عام 1983** فكرة عدم وجود زمن خارجي، بل هو شيء يتم إنشاؤه بواسطة التكوينات الداخلية للمادة. وقامت الفيزيائية إيكاترينا موريفا باختبار هذه الفكرة في معهد الوطني لأبحاث القياس في إيطاليا. أظهرت النتائج عدم حدوث تغييرات عند قياس استقطاب نظام متشابك من فوتونين، بسبب قياس (خصائص الاستقطاب) لكلا الفوتونيْن خارج النظام المتشابك.

هذا هو منظور (المراقب الفائق) في عالم **ويلر دي وت** Wheeler – DeWitt. ومع ذلك، عندما تم قياس استقطاب فوتون واحد من داخل النظام، يصبح المراقب متشابكًا معه. عند مقارنة هذا القياس باستقطاب الفوتون الثاني داخل النظام أيضًا، يكون الفرق هو مقياس الوقت. هذا

يؤكد أن الوقت هو خاصية ناشئة لنظام متشابك كما يتصورها نظام (الساعات) داخل الكون، لكن ليس عن طريق ساعة خارجية بالنسبة لنظام Wheeler – DeWitt **ويلر دي وت.**

تشير مثل هذه التجارب، على المستوى الكمي، إلى أن منظور الكون المغلق للنسبية خاطئ. يعتمد هذا المفهوم على مخطط زمكان مع وجود فراغ على المحور الأفقي، وزمن على المحور العامودي. لكن هذا لا يمكن أن يكون صحيحًا، لأنه إذا كان الوقت ظاهرة طارئة، فلا يوجد محور زمني محدد جيد للرسم عاموديًا في تمثيل الكون المغلق. بدلًا من ذلك، نحن نواجه فكرة أنه على الرغم من إمكانية إعادة بناء الماضي من خلال الفيزياء والسجلات الكلاسيكية للمعلومات المخزنة (الصور الفوتوغرافية، وما إلى ذلك)، فإن المستقبل يتحدد عن كثب بالاحتمالات والمبادئ الموجودة في ميكانيكا الكم.



الحاضر هو عندما تصبح القدرات الميكانيكية الكمية للمستقبل متبلورة إلى يقين الماضي. اقترح الفيزيائي جورج إليس في العام 2009 هذا كمفهوم بلورة الكون المغلق، وهو ما يتوافق مع ما اقترحه لي سوملين مؤسس نظرية الجاذبية الحلقية، وهو: أن المستقبل ليس حقيقيًا الآن، ولا يمكن أن تكون هناك حقائق محددة حول مسألة المستقبل. ماهو حقيقي هو العملية التي يتم فيها إنشاء الأحداث المستقبلية من الأحداث الحالية.

مكتبة
t.me/t_pdf

الوقت المادي كظاهرة طارئة

إن الفكرة التي تقول أن الوقت ليس خاصية أساسية للطبيعة بل فكرة طارئة تشبه مفهوم درجة الحرارة التي عُرِفَتْ جيدًا لمجموعات كبيرة من الجزيئات، لكن لا معنى لها بالنسبة للجزيئات الفردية، إذ إنها قياس لمتوسط الطاقة الحركية للجزيئات. ومن الأمثلة الأخرى للظواهر الطارئة هي الخصائص المعروفة للمياه السائلة، والاضطرابات وضغط الهواء وقوس قزح، وحَتى الوعي بمفهوم الحياة. وتعتبر فكرة التنظيم الذاتي هي من أقرب الأمثلة على الظواهر الطارئة. لدينا عكس ذلك الكائنات الفردية (الطيور) التي تعمل بشكل جماعي من خلال تطبيق قاعدة بسيطة (ابق على مقربة من جارك، عندما يتحرك، تتحرك أنت أيضًا).

هناك آلية أخرى لظهور الزمن، تتم عن طريق عملية تسمى نفق الكم في التحولات الذرية والنووية التي تظهر في التحولات (أو الانشطار) لنواة معينة. على سبيل المثال، تبعث نواة البولونيوم 212 نواة الهيليوم تلقائيًا في عملية تسمى **تحلل ألفا**. يبلغ الوقت الذي يجب أن تنتظر فيه للحصول على مجموعة من نوى البولونيوم حوالي 2 , 0 ميكروثانية. إذ لا يُسمح لجسيمات ألفا من نواة البولونيوم بالهروب بشكل كلاسيكي، لأنه ينتهك الحفاظ على الطاقة. لا تملك جسيمات ألفا ما يكفي من الطاقة للتحرر من النواة، لكن يُسمح لها بالهروب ميكانيكيًا بسبب **مبدأ عدم اليقين** في مفهوم هيزنبيرغ. بمعنى آخر، لا يمكنك بالفعل معرفة ما إذا كان جسيم ألفا في موقع محدد في النواة بالضبط لديه الطاقة التي يحتاجها للهروب. يعتمد الوقت اللازم للهروب النواة والنفق على اختلاف الطاقة من خلال حاجز الطاقة. كلما كان الفرق في الطاقة أكبر، كلما استغرق الأمر وقتًا أطول. يمكن العثور على التطبيق الخاضع للنفق الكمومي في مجهر المسح النفقي، الذي يمكنه اكتشاف الذرات الفردية في عدد من الأنظمة المختلفة عن طريق الكشف عن تيار نفق الإلكترون.

ووفقًا لستيفن هوكينج، قد تكون هناك عملية نفق مماثلة وقعت في الانفجار العظيم في حالته الأولية، التي ربما كانت مشابهة للصفات الفضائية لشبكات الدوران في نظرية الجاذبية الحلقية، وربما يكون الزمكان الكوني في حالة فضاء رباعية أبعاد تامة. قد تكون رغوة الدوران التي ناقشناها سابقًا كجسيم شبه فضائي تام رباعي الأبعاد. لكن بعد ذلك، من خلال حدث نفقي، فإن أحد الأبعاد الشبيهة بالفضاء نفقَ (اتجه إلى الأسفل) في بُعد يشبه الزمن، عندها بدأ الزمن بصورة فعلية جدًا. ومنذُ ذلك الحين، قد يفترض المرء أن عملية التشابك الكمي كونت أحداثًا وأنظمة فرعية تسمى **الساعات** التي يمكن من خلالها تفسير تغييرات الحالة على أنها تغييرات مستمرة شبيه بالزمن بين تلك الحالات. عند أخذ فكرة هوكنز بجدية أكثر، ربما يكون حدث النفق، كواحدة من الشذوذات (الاشياء غير المنتظمة) بحَيثُ قد تبقى بعض مناطق الفضاء الرباعية الأبعاد غير متأثرة، بينما قد تتكون بعض الفقاعات الفضائية للزمكان الحقيقي باتجاه زمن معين.

يظهر نفخة الزرزور كيف ينشأ التعقيد من البساطة

مكتبة | سُر مَن قرأ
#901
telegram @t_pdf

يمثل هذا الكتاب مقدمة متكاملة للطلبة وغير الطلبة، إذ يزودك بكل المفاهيم التي تحتاجها لفهم كل ما يتعلق بالكون.

هذا الكتاب مليء بمخططات مفيدة، وفصول تاريخية سهلة الفهم، مما يُسهّل فهم عمل الكون أكثر من أي طرح سابق.

يصف هذا الكتاب أهم الأفكار في مجال الكون، منها النظرية النسبية العامة، ونظرية النموذج القياسي، ونظرية الكمية الجاذبية، والتناظر الفائق.

وأخيراً يشمل هذا الكتاب كل نطاق الكون.

- ماهي المادة المظلمة؟
- كيف تتفاعل الجزيئات؟
- لماذا يتوسع الكون؟
- ماذا يحدث عندما تتصادم المجرات؟

عند انتهائك من قراءة هذا الكتاب، سيكون بإمكانك الإجابة عن بعض الأسئلة، مثل:

ISBN 978-9922-601-90-8
9 789922 601908
MANA للنشر والترجمة
العراق - بغداد - المنصور
darmanairaq@gmail.com
دار الكتب العلمية للطباعة - النشر والتوزيع
العراق - بغداد - شارع المتنبي
07819141219 | 07702931543
darktbalmya@yahoo.com