الطبعة
2

روابط

# نقطة أرقم

## القوى العظمى التي تُشكّل الكون

د. مارتن ريس
أستاذ علوم الفيزياء وفلكي المملكة البريطانية

تقديم
د. محمد العوضي

ترجمة
جنات جمال
مهند التومي
د. مؤمن الحسن
د. موسى إدريس

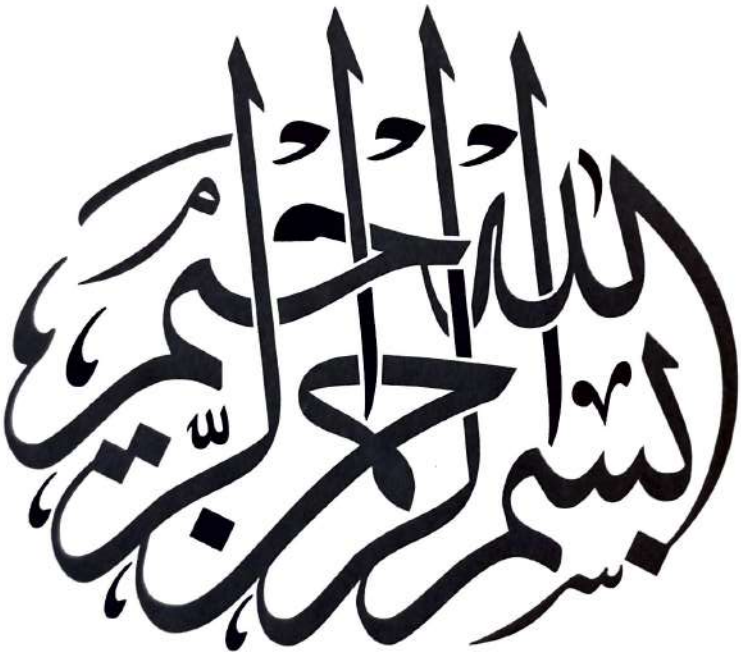
قناة أفيون المثقفين
على تلغرام

الرابط:

t.me/afyoune

فقط ستة أرقام
القوى العظمى التي تُشكّل الكون

@afyoune


بسم الله الرحمن الرحيم

# فقط ستة أرقام

## القوى العظمى التي تُشكّل الكون

# Just Six Numbers

## The Deep Forces That Shape The Universe


تأليف

د. مارتن ريس

Martin Rees

أستاذ علوم الفيزياء وفلكي المملكة البريطانية

تقديم

د. محمد العوضي

ترجمة

جنـــات جمـال  مهنـد التـومـي

د. مؤمن الحسن  د. موسى إدريس



روافد

إبداعات • دراسات • ترجمات

**فقط ستة أرقام .. القوى العظمى التي تُشكِّل الكون**

د. مارتن ريس

ترجمة: جنات جمال - مهند التومي - د. مؤمن الحسن - د. موسى إدريس

مراجعة لغوية: محمد عادل

تقديم: د. محمد العوضي

**رواسخ** 2018

420 ص ؛ 23.5 سم.

الترقيم الدولي: 978-977-6545-00-7

الطبعة الثانية: 2018

**جميع حقوق الطبع محفوظة**

1439 هـ - 2018م

RAWASEKH

رواسخ

إصدارات • دراسات • برامج

الكويت - شرق - شارع أحمد الجابر - برج الجاز

هاتف: 0096522408686 - 0096522408787

0096590963369

- مركز غير ربحي مختص في معالجة القضايا الفكرية المعاصرة وفق أسس عقلية وعلمية منهجية.
- يسعى لإيجاد خطاب علمي مؤصل من خلال تأليف وترجمة الكتب والبحوث التأصيلية والحوارية.
- يُعنى بإقامة الدورات والندوات، وإنتاج المواد المرئية النوعية.
- يستهدف بخطابه المهتمين بالمعرفة من مختلف شرائح المجتمع.

## عن المؤلف

السير واللورد والبروفيسور مارتن ريس، هو أستاذ باحث بالجمعية الملكية بجامعة كمبريدج، وأحد أهم علماء الكونيات في العالم. هو كذلك يحمل لقب «فلكي المملكة البريطانية»، وزميل الجمعية الملكية، وزميل الأكاديمية الملكية للهندسة، وزميل أكاديمية العلوم الطبية البريطانية، وزميل الأكاديمية الوطنية الأمريكية للعلوم وعدة جمعيات علمية أخرى. شارك مع العديد من زملائه من المملكة المتحدة وبقية العالم في طرح كثير من الأفكار الرئيسية في الفيزياء الفلكية، كالثقوب السوداء، وتكون المجرات، وفيزياء الطاقة العالية. وكان رئيساً سابقاً للاتحاد البريطاني لتقدم العلوم، ورئيساً لكلية ترينيتي في جامعة كمبريدج من 2004م حتى 2012م، ورئيساً للجمعية الملكية من 2005م حتى 2010م.

@afyoune

# الأرقام.. والبدائل الباردة

تعددت الأدلة التي يؤكد عليها الذين يعتقدون بوجود خالق لهذا العالم، ومن ذلك، حدوث هذا الكون وظهوره بعد العدم للاستدلال على وجود مُخرج لهذا الكون من كتم العدم، وهو ما فصّله الفلاسفة السابقون وأيدته نتائج الرصد الخاضع للحواس والعلوم التجريبية المعاصرة.

ومنهم من استدل بإمكان هذا العالم وعدم استحالة فرضه بصورة أخرى على احتياجه لمرجح، يرجح وجوده بصورته الحالية على غيرها من الصور، وقطعاً لن يكون هذا المرجح جزءًا من المادة ولا حالاً فيها.

ومنهم -وهو ما يهمنا الكلام عنه هنا- من استدل بدقة صنع هذا الكون، وجريانه وفق قوانين ثابتة لا يمكن تصور تناسق كوني بدونها على وجود صانع عالم، وضعه على هذه الصورة المتقنة.

ومما يستدل به على هذا الاتساق مجموعة القواعد والقوانين الكونية التي تشكل بمجموعها صورة الكون الذي يسحر المتأمل فيه بموضوعية، والتي لو تغير واحد منها بنسبة بسيطة جدًا لاختل نظام الكون، وزالت عنه احتمالية وجود حياة فيه، فلا يتصور وجود نظام حيوي دون وجود نظام فيزيائي متسق في نفسه، وملائم لمطالب هذا النظام الحيوي.

ومن المهم لفت الأنظار إلى أن العلماء المستدلين بهذا الدليل ليسوا غافلين عن الاعتراض الذي يوجهه الملاحدة بفرض عوالم متعددة، يكون عالمنا هو الوحيد المتقن فيها، فإن معتنق هذا الرأي وإن شكك في يقينية هذا الدليل إلا أنه لا يمكنه أن يلغي الظن القوي جدًا الحاصل به، إذ أن احتمال مصادفة هذه الصفات في هذا الكون، أو احتمال وجود عدد كبير جدًا من الأكوان يكون ضئيلًا جدًا وبصورة لا تذكر، وعلى هذا فلا يجوز ترك العمل بالظن القوي الأقرب إلى القطعية بسبب

احتمال ضعيف واهن.

ولو أن أحد المعارضين الموضوعيين واجهها في حياته لبلورة آرائه، فإنه لن يلتفت لهذه النسبة الضئيلة انقياداً لمنطق العقل في تغليب الظن الأقرب للصواب.

لكن السؤال الذي ينبغي ألا يغيب عن الأذهان هو: لماذا يُضحي الملاحدة بالدليل القوي الراجح المتسق مع التفكير المنطقي، ويختارون بديلًا احتماليًا هزيلًا يعضون عليه بالنواجذ؟!

هل نحن أمام من يناقشنا بحجج عقلية برهانية؟ أم أننا نواجه قومًا مسكونين بالدوافع النفسية المسبقة، التي سرعان ما تنكشف تحيزاتها عند إلزامها بالاحتكام إلى البراهين ومنطق العقل المبين؟

ولأجل تغليب الحق والانتصار له ينبغي أن ينتبه الفريقان إلى أن الخلاف في قوة دليل النظام خلاف على هذه الصورة المخصوصة، أما لو أضيف إلى الدليل أن هذا النظام وهذا العالم حادثان، فإن بديهة العقل تحكم باحتياجه إلى خالق منظم، إذ لابد لكل حادث من مُحدث قادر على إحداثه.

ونحن في (رواسخ)، إذ نتعاون مع (براهين) في طرح هذا الكتاب، نعلم وننوه بأن المؤلف ليس منحازًا لجانب الإيمان، لكنه من ناحية أخرى يطرح تساؤلات وجيهة ومهمة أمام الإلحاد. هذه التساؤلات التي تخص قيام بنية الكون على جملة حسابية دقيقة، اختار لها الأرقام الستة، فوجدنا فيه ترجيحًا لمنطق العقل المعزز للإيمان بالخالق الحكيم، خلافاً للامنطقية الذين يهرعون لاختيار أي قرينة هامشية مهما كانت ملتحفة بالهشاشة والضعف، لا لشيء سوى العناد المؤدلج المضاد للتنوير، ومن ثم الركون إلى الإلحاد البارد.

**د. محمد العوضي**

# مقدمة

علم الفلك هو أقدم العلوم الرقمية، كان في العصور القديمة جوهرياً لعمل التقويمات وللملاحة، والآن يواجه موجة من الاكتشاف. التركيز المتزايد على الزمن ونحن ندخل الألفية الجديدة، يعزز الاهتمام ببيئتنا الكونية. لا يزال علم الفلك هو علم الأرقام، وهذا الكتاب هو قصة ستة أرقام، والتي تعد مصيرية للكون ولمكاننا فيه.

وتعليقًا على الحدود غير الواضحة للخرائط القديمة، كتب رسامو الخرائط: «هناك تَنانين»[1]. بعدما أحاط الملاحون الأوائل بأرجاء المعمورة، وقاموا بترسيم حدود القارات والمحيطات الرئيسية، قام المستكشفون اللاحقون بملء التفاصيل الباقية. لكن لم يبق أمل في اكتشاف قارة جديدة، ولم يكن هناك مطلقًا أي توقع بأن حجم وشكل الأرض سيعاد تقييمهما بشكل جذري؛ لأن الضوء القادم من الأجرام البعيدة يستغرق وقتاً طويلًا في ارتحاله إلينا، فالتلسكوبات الحديثة الآن تذهب هي لسبر أغوار الفضاء. كما أنها أيضاً تعطينا لمحات عن الماضي السحيق، فقد اكتشفنا «حفريات» رصدت في الثواني القليلة الأولى من التاريخ الكوني. وكذلك المركبات الفضائية كشفت لنا عن وجود النجوم النيوترونية، والثقوب السوداء، والظواهر الأقصوية الأخرى، التي توسع من إدراكنا للقوانين الفيزيائية. تلك التطورات وسعت بشكل كبير آفاقنا الكونية. وقد كانت هناك محاولة لاستكشاف العالم الصغير داخل الذرة، نتج عنها رؤى جديدة عن طبيعة الفضاء على أدق المقاييس بالتوازي.

لم يتوقع غالبيتنا الصورة التي رسمتها لنا الخريطة الزمكانية؛ تلك الصورة التي

(1) جمع تنين، وجملة «هناك تَنانين» كانت متداولة بين رسامي الخرائط في القرن السادس عشر، تطلق على المناطق الخطيرة غير المستكشفة كنوع من تحذير الناس من ارتياد تلك المناطق اعتقادًا منهم بوجود مخلوقات أسطورية تقبع في هذه المناطق. (المترجم)

قدمت لنا منظورًا جديدًا عن كيف لحدث تخليقي واحد أن يُخَلِّق بلايين المجرات، والثقوب السوداء، والنجوم، والكواكب؟! وكيف للذرات أن تتجمع -سواء هنا على الأرض، أو ربما في عوالم أخرى- لتكوين مخلوقات حية معقدة بما يكفي كي تتأمل في أصولها؟

هناك علاقة وطيدة بين النجوم والذرات، وبين الكون الكبير والعالم الميكروي الصغير. وهذا الكتاب يوضح -بدون التعقيدات التقنية- القوى التي تتحكم في وجودنا، أو بالأحرى، في الكون بأكمله.

إن نشوأنا واستمرار بقائنا على قيد الحياة مرهون بوجود كون معد بعناية، كون قد يكون أوسع حتى من الكون الذي يمكننا ملاحظته فعليًا.

# الفصل الأول
# الكون والعالم الصغير

# الكون والعالم الصغير

**«إن الإنسان لينتمي -على نحو معقد- إلى تلك الحقيقة الكليّة الكاملة، ما ظَهَرَ منها وما خفي؛ فالبلانكتون(1) بوميضه الفسفوري في البحر، والكواكب الدوارة، والكون المتمدد.. كلُّ ذلك يرتبط ببعضه عبر خيط الزمن المرن، ما يجعلنا في حاجة إلى أن ننظر -على طريقة الأمواج- ابتداءً من أحواض المد إلى النجوم، ومن النجوم إلى أحواض المد مرة أخرى».**

**السجل من بحر كورتيز، جون ستاينبك** John Steinbeck

## ستة أرقام

تدعم قوانينُ الرياضيات نسيجَ كوننا، ليس فقط على مستوى الذرات، بل على مستوى المجرات والنجوم والبشر كذلك. تحدد خواص الذرات -أحجامها وكتلها، وأعداد الأنواع المختلفة منها، والقوى التي تربطها ببعضها- كيمياء عالمنا اليومي، ويعتمد وجود الذرات نفسها على ما بداخلها من قوى وجزيئات، أما ما يدرسه الفلكيون -من كواكب ونجوم ومجرات- فتتحكم فيه قوى الجاذبية، وكل شيء يحدث في حلبة كون متمدد، جُبلت فيه خصائصه لحظة الانفجار الكبير.

يتقدم العلم بتبيُّن الأنماط والتتابعات الموجودة في الطبيعة؛ حتى يتسنى تضمين ظواهرَ أكثر فأكثر داخل تصنيفات وقوانين عامة، ويهدف واضعو النظريات إلى الإحاطة بجوهر القوانين الفيزيائية في مجموعة موحَّدة من المعادلات، وفي أرقام معدودة، لا زال الطريق طويلًا، لكنّ ما تحقق من تقدم هو شيء مذهل.

يتحدث هذا الكتاب عن ستة أرقام، يبدو الآن أنها ذات أهمية خاصة وكبيرة؛ يتعلق رقمان من هذه الأرقام بـ(القوى الأساسية)، ويحدد رقمان آخران (حجم

(1) أو (العوالق)، وهي مجموعة من الكائنات الحية التي تعيش في المياه العذبة والمالحة، وتعتبر أساس العديد من الشبكات الغذائية.

كوننا)، و(قوامه المجمل)، وهل سيستمر إلى الأبد أم لا؟ ثم يحدد الرقمان الباقيان (خصائص الفضاء) نفسه:

• الكون شاسع جدًا لأنه يوجد رقم واحد ضخم شديد الأهمية في الطبيعة، يرمز له بـ(N)، ويساوي: 1.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000. يقيس هذا الرقم قوة (القوى الكهربية)، التي تربط الذرات ببعضها مقسومةً على قوى التجاذب بين الذرات. لو نقصت أصفار (N) أصفارًا قليلة لما أمكن أن يُوجد إلا كون ضئيل قصير العمر، وما كان لكائن أن ينمو إلى حجم أكبر من الحشرة، وما كان ليوجد وقت كافٍ للتطور العضوي.

• ورقم آخر هو (E)، قيمته 0.007، يحدد قدر متانة (ارتباط الأنوية) ببعضها، وكيف صُنعت كل الذرات على وجه الأرض. تتحكم قيمته في القدرة الخارجة من الشمس، والأهم من ذلك -والأكثر حساسية- هو أنه يتحكم في كيفية تحويل النجوم للهيدروجين إلى باقي ذرات الجدول الدوري. إن الكربون والأكسجين منتشران، بينما الذهب واليورانيوم شحيحان؛ ذلك بسبب ما يجري في النجوم. فلو كانت قيمة (E) 0.006 أو 0.008، لما كنا وجِدْنا.

• الرقم الكوني (Ω) أو (أوميغا)، يقيس (كمية المادة) في كوننا، من مجرات وغازات منتشرة ومادة مظلمة. يخبرنا (Ω) بالأهمية النسبية للجاذبية، وطاقة التمدد في الكون، فلو كانت هذه النسبة أعلى مقارنة بقيمتها (الحرجة)، لانهار الكوكب من زمن بعيد، ولو كانت أقل لما تكونت أيّة مجرات أو نجوم. إنَّ سرعة التمدد الأولي تبدو وكأنها مضبوطة بعناية.

• أما قياس الرقم الرابع (λ) أو (لمدا) فقد كان الخبر العلمي الأكبر في عام 1998، حيث تتحكم قوة جديدة غير متوقعة، هي (الجاذبية الكونية المضادة)، في تمدد كوننا، ذلك على الرغم من أنها لا تملك تأثيرًا واضحًا على مقياس أقل من مليار سنة ضوئية. مصير هذه القوة أن تسود أكثر من الجاذبية والقوى الأخرى بازدياد كوننا

إظلامًا وفراغاً، ومن حسن حظنا -ما فاجأ واضعي النظريات- أنّ قيمة (λ) صغيرة جدًا، وإلا لأوقف تأثيرها تكون المجرات والنجوم، ولتعطل التطور الكوني قبل أن يبدأ أصلًا.

• وضعت بذور كل البُنى الكونية -من نجوم ومجرات وتجمعات للمجرات- في الانفجار الكبير، ويعتمد نسيج كوننا على رقم واحد هو (Q)، الذي يمثل (النسبة بين طاقتين أساسيتين)، وقيمته نحو 1/100,000. فلو كان (Q) أصغر من ذلك بقليل لأصبح الكون خاملًا وخاليًا من أي بُنى، ولو كان (Q) أكبر من ذلك بكثير لأصبح الكون مكانًا مُهلكًا عاصفًا، لا يمكن فيه لأي نجم أو نظام شمسي أن يبقى على قيد الوجود، وستسوده الثقوب السوداء الهائلة.

• الرقم السادس -الهام أيضًا- كان معروفًا منذ قرون، لكن الآن يُنظر له بمنظور مختلف؛ إنه رقم (الأبعاد الفراغية) في عالمنا (D)، وهو يساوي 3. لم تكن الحياة لتوجد لو كان (D) يساوي 2 أو 4. الزمن بُعدٌ رابع، لكنه مختلف عن بقية الأبعاد من ناحية أن فيه سهمًا موجهًا، فنحن نتحرك إلى الأمام فقط، تجاه المستقبل. إن المكان بالقرب من الثقوب السوداء منحنٍ جدًا، لدرجة أن الضوء يتحرك في دوائر، ويمكن أن يتوقف الزمان تمامًا. بجانب ذلك، فقد يكشف المكان عن أعمق البُنى الموجودة على الإطلاق، وهي اهتزازات وتناغمات أشياء تسمى بـ(الأوتار الفائقة Superstrings)، في حلبة ذات عشر أبعاد، ويكون ذلك كله عند الاقتراب من وقت الانفجار الكبير، وأيضًا على مقاييس ميكروسكوبية.

قد تكون هناك علاقات بين هذه الأرقام، لكن في الوقت الحالي لا يمكننا أن نتنبأ بأحد هذه الأرقام اعتمادًا على قيم باقي الأرقام، ولا نعرف هل ستتمكن نظرية (كل شيء) من إنتاج معادلة تربط هذه الأرقام ببعضها، أو تحددها بشكل خاص؟!

لقد سلطتُ الضوء على هذه الأرقام الستة؛ لأن كل واحد منها يلعب دورًا هامًا ومميزًا في كوننا، وهي كلها معًا تحدد كيف يتطور الكون، وما الإمكانيات الداخلية

والقوى الكامنة فيه. إضافة إلى ذلك، فإن ثلاثة من هذه الأرقام -وهي تلك التي تتعلق بالكون الكبير- تُقاس الآن بدقة. إن هذه الأرقام الستة تشكل (وصفة) لكون ما. بجانب ذلك، فإن الناتج حساس لقيم هذه الأرقام، ولو تعرضت إحداها لـ(إعادة ضبط) لما كانت هناك نجوم ولا حياة. هل هذا الضبط مجرد حقيقة عمياء غشوم؟ أو مجرد صدفة؟ أم هو رزق من خالق كريم؟ أنا أرى أنه ليس هذا ولا ذاك.

قد يوجد عدد لا نهائي من الأكوان الأخرى التي تختلف فيها الأرقام، أغلبها سيكون عقيمًا أو جهيضًا؛ فما كنا لنبرز للوجود إلا في كون ذي تركيب (صحيح)، لذا من الطبيعي أن نجد أنفسنا في هذا الكون. إدراك هذه الحقيقة يطرح منظورًا جديدًا جذريًا لكوننا ولمكاننا فيه، ولطبيعة القوانين الفيزيائية، فمن المذهل أن كونًا Universe متمددًا، نقطة بدايته (بسيطة جدًا)، لدرجة أنه يمكن تحديدها بأرقام قليلة، يمكن أن يتطور ليصل إلى كوننا المنظم Cosmos[1] هذا المبني بدقة. لكن دعونا نهيئ الجو بالنظر إلى هذه البُنى على كل المقاييس، من الذرات للمجرات.

## الكون من خلال عدسة مكبرة

فلنبدأ بصورة فوتوغرافية عادية -لرجل وامرأة- التقطناها من مسافة بضعة أمتار، ثم تخيل نفس المشهد من نقاط أبعد فأبعد، كل نقطة أبعد عن سابقتها بعشر مرات؛ الصورة الثانية تُظهر رقعة العشب التي عليها يتكئان، والثالثة تظهر أنهما في حديقة عامة، والرابعة تظهر بعض المباني المرتفعة، والتالية تظهر المدينة كلها، والصورة

(1) الفرق بين الكون (Cosmos) والفضاء الكوني (Universe) أن التسمية الأولى تُعبر عن الكون المرئي لنا، أما الثانية فهي مُجمل الزمكان في كوننا، سواء أكان مرئيا (لها) -كذا- أم لا. كلمة Cosmos كانت تستعمل في الفلسفة، وهي مشتقة من أصل إغريقي بمعنى (النظام)، على عكس الفوضى، ثم أصبحت تطلق على الكون ككل -الكون المعروف- نظراً لانتظامه. أما Universe فقد كانت منذ البداية تعبر عن كل الوجود المادي: الأرض والكواكب والشمس والقمر .. إلخ. في الحقيقة كلمة (كون) باللغة العربية هي تقريباً مرادفة لـ(Universe)، أما (Cosmos) فلا يوجد لها مرادف قريب أو بعيد في اللغة العربية. والذي يظهر لنا، أن استخدام لفظة الفضاء الكوني لترجمة Universe ليس صوابًا. (المترجم)

التي بعدها تظهر جزءًا من أفق الأرض، من ارتفاع عالٍ جدًا لدرجة أننا نستطيع رؤية استدارة الكوكب، وبعد هذه الصورة بصورتين سنقابل صورة قوية اشتهرت منذ ستينيات القرن العشرين، وهي صورة كوكب الأرض كاملًا -بما فيه من قارات ومحيطات وسحب- بغلافه الحيوي كمجرد لمعة رقيقة، وفي ذلك يتناقض مع القمر بصفاته الموحشة. ثلاث قفزات أُخرى سترينا النظام الشمسي الداخلي، وفيه تدور الأرض حول الشمس، وهي أبعد عنها من عطارد والزُّهرة، والتالية سترينا النظام الشمسي بأكمله. بعد أربع صور أخرى -من منظور يبعد بضعة سنين ضوئية- تظهر شمسنا كنجم وسط جيرانها من النجوم، وبعد ثلاث صور أخرى سنرى مليارات من نجوم متشابهة في القرص المسطح لمجرتنا درب التبانة Milky Way، تمتد على مسافة عشرات الآلاف من السنين الضوئية.

بعد ثلاث قفزات جديدة ستظهر مجرة درب التبانة كمجرة حلزونية، جنبًا إلى جنب مع مجرة أندروميدا Andromeda. ومن مسافة أبعد تظهر هاتان المجرتان كمجرد اثنتين من بين مئات المجرات التي تمثل الأطراف الخارجية لتكتل مجرات فيرغو Virgo، ثم خطوة أخرى سترينا أن تكتل فيرغو نفسه ليس إلا تكتلًا متواضعاً.

حتى لو كانت عدستنا المقربة بعيدة المدى -الخيالية- لديها قوة تليسكوب هابل Hubble الفضائي، كانت مجرتنا كلها ستظهر في الصورة الأخيرة كلطخة من الضوء يصعب ملاحظتها على بعد مليارات السنين الضوئية. هنا تنتهي السلسلة، ولا يمتد أفقنا لأبعد من ذلك، لكننا احتجنا خمسًا وعشرين قفزة، كل قفزة منها أكبر من سابقتها بعشر مرات، حتى نصل إلى حدود كوننا المشاهد، بداية من مقياس (بشري) هو بضعة أمتار.

مجموعة الصور الأخرى تكبر الصورة للداخل لا للخارج؛ فمن مسافة أقل من متر سنرى ذراعًا، ومن بعد سنتيمترات معدودة -وهو أقصى ما يمكن أن تراه العين المجردة- سنرى رقعة صغيرة من الجلد، وتأخذنا الصورة التالية إلى التركيب الدقيق

للنسيج البشري، ثم إلى الخلية المفردة -عدد الخلايا في جسمنا أكثر مئة مرة من عدد النجوم في مجرتنا-.

بعد ذلك، وعند حدود ميكروسكوب قوي، سَنَسْبُر أغوار عالم الجزيئات المفردة، خيوط طويلة متشابكة من البروتينات، ولولب مزدوج من الحمض النووي DNA. يُظهر (التكبير) التالي الذرات المفردة، وهنا تتدخل ضبابية التأثيرات الكمومية، لتَحدَّ من دقة الصورة التي نحصل عليها.

لا يستطيع ميكروسكوب حقيقي أن يسبر أغوار الذرة؛ حيث يحيط حشد من الإلكترونات بالنواة ذات الشحنة الموجبة، لكن يمكن فحص البنى الثانوية التحتية- الأصغر حجمًا من النواة الذرية بمئة مرة- من خلال دراسة ما يحدث عندما تصطدم بها جزيئات أخرى مُعجَّلة إلى سرعات تقارب سرعة الضوء.

هذا هو أدق تفصيل يمكن أن نقيسه مباشرة، لكننا نظن أن البُنى التحتية في طبيعتها قد تكون (أوتارًا فائقة)، أو (رغوة كمومية Quantum Foam)، على مقاييس ضئيلة جدًا، لدرجة أنها ستحتاج إلى تكبير سبع عشرة مرة أخرى حتى تظهر.

إن تليسكوباتنا تصل لمسافة أكبر من (الوتر الفائق) -وهو أصغر بنية تحتية يُفترض أنها توجد في الذرة- برقم ذي ستين صفرًا، ستكون هناك ستون صورة في مثالنا الذي تخيلناه عن عدستنا المكبرة للعالم الطبيعي، حاليًا توفر قياساتنا ثلاثًا وأربعين منها، بين تلك الصور الستين تحيط خبرتنا اليومية بتسع منها على الأكثر -من أصغر شيء تراه عيننا حجمه ملليمتر إلى المسافة التي يطيرها المرء على رحلة جوية عابرة للقارات-، وهذا يسلط الضوء على أمر مهم ومثير، وهو واضح جدًا لدرجة أننا نتعامل معه كأنه أمر مسلم به، إن كوكبنا يغطي مدى شاسعًا من المقاييس، وتنوعًا هائلًا من البُنى التي تكبر أو تصغر كثيرًا عن حدود محسوساتنا اليومية.

## أرقام ضخمة ومقاييس متنوعة

إننا نتكون من عدد من الذرات بين ($10^{28}$) و($10^{29}$)، هذا (المقياس البشري) يقف -من ناحية عددية- في منتصف الطريق بين كتل الذرات وكتل النجوم.

سيحتاج ملء كتلة الشمس عددًا من أجساد البشر يصل إلى عدد الذرات بداخلنا تقريبًا، لكن شمسنا ليست إلا مجرد نجم عادي في المجرة التي تحتوي على مئة مليار نجم إجمالاً، وهناك على الأقل عدد من المجرات في الكون المُشاهد يساوي عدد النجوم في مجرة. وتقع أكثر من ($10^{78}$) في مجال تليسكوبنا.

إن الكائنات الحية مصوغة من طبقات متراكبة في بنية معقدة، تُجمَّع الذرات في جزيئات معقدة، وتتفاعل من خلال سبل معقدة في كل خلية، لتقود بشكل غير مباشر إلى البنية المتصلة الكلية، التي تصنع شجرة أو حشرة أو إنساناً.

إننا نقع بين الكون من جانب، والعالم المصغر من جانب، حجمنا متوسط بين الشمس التي قطرها مليار متر من ناحية، وجزيء يقارب جزءًا من مليار جزء من المتر من ناحية أخرى.

في الحقيقة إنها ليست مصادفة أن الطبيعة تحقق أقصى تعقيد فيها على هذا المقياس المتوسط؛ فأي شيء أكبر -موجود على كوكب صالح للسكن- سيكون قابلًا للكسر أو السحق بالجاذبية. لقد اعتدنا على فكرة أن العالم المصغر يصنعنا؛ فنحن ضعفاء أمام فيروسات طولها نحو جزء من مليون جزء من المتر، وجزيء هيكل DNA المزدوج الضئيل يشفر موروثنا الجيني الكامل، ومن الواضح كذلك أننا نعتمد على الشمس وطاقتها، لكن ماذا عن المقاييس الأكثر شسوعًا؟ حتى أقرب النجوم هي أبعد عنا بملايين المرات أكثر مما تبعد عنا الشمس، والكون المعروف لا يزال يمتد بمليار مرة أكثر.

هل نستطيع أن نفهم لماذا يوجد الكثير خارج نظامنا الشمسي؟ في هذا الكتاب سأذكر أمورًا عديدة تربطنا بالنجوم، وأحاجّ في ذلك بأننا لا نقدر على فهم أصولنا دون السياق الكوني.

إنّ الروابط اللصيقة بين (الفضاء الداخلي) في العالم تحت الذري، و(الفضاء الخارجي) في الكون موضحةٌ في (الشكل 1 – 1) للأوروبوروس Ouroborus، وهو ما تصفه دائرة المعارف البريطانية بأنه «الأفعى الرمزية في مصر القديمة وبلاد الإغريق، مصورة بذيلها في فمها، تفترس نفسها باستمرار، وتُولد من نفسها باستمرار... إنها تمثل وحدة كل الأشياء، المادية منها والروحية، التي لا تتلاشى أبدًا، إنما تغير شكلها بلا انقطاع، في دورة أبدية من التدمير وإعادة الخلق».

على يسار الرسم الذراتُ والجزيئاتُ تحت الذرية، وهذا هو (العالم الكمومي)، وعلى اليمين الكواكبُ والنجومُ والمجراتُ.

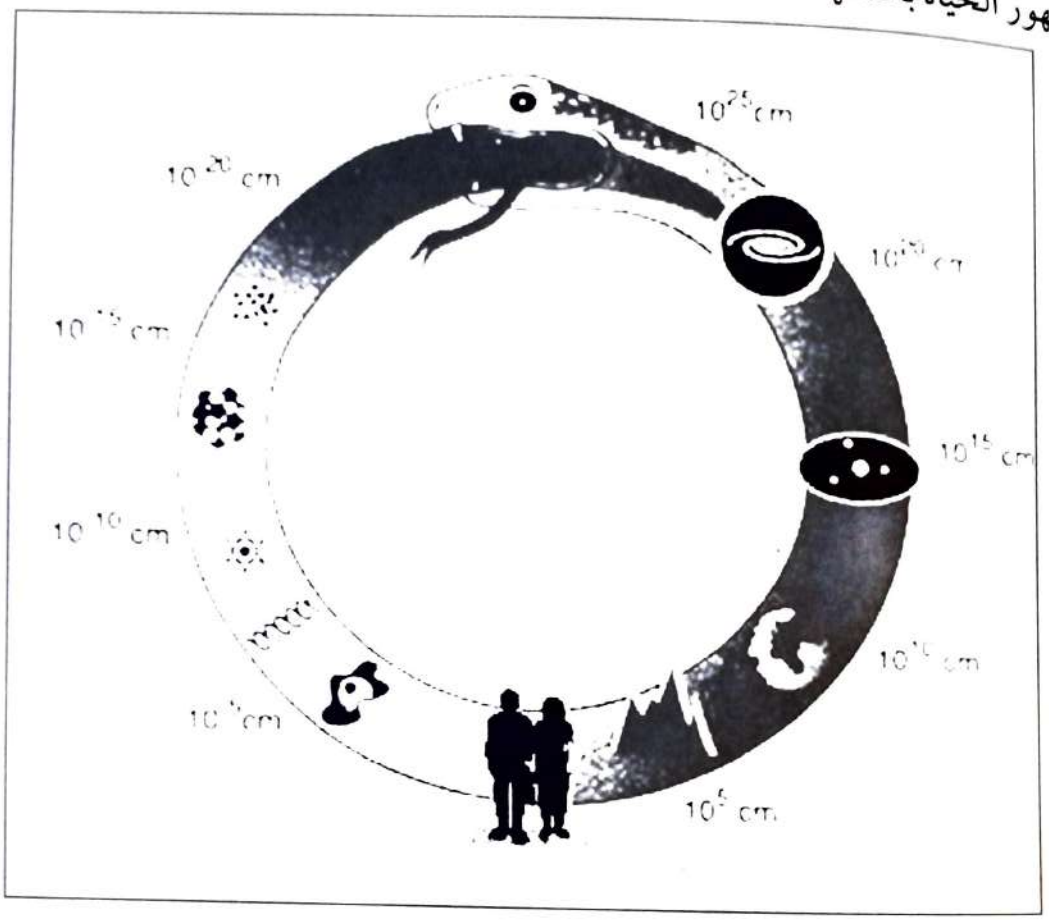
هذا الكتاب سيسلط الضوء على بعض العلاقات البينية المذهلة بين المقاييس الصغروية على اليسار، والعالم الماكروي على اليمين. إن عالمنا اليومي محكوم بالذرات، وبكيفية تجمُّعها مع بعضها لتكون جزيئات ومعادن وخلايا حية، فالطريقة التي تلمع بها النجوم تعتمد على الأنوية بداخل هذه الذرات، ويحتمل أن ما يثبت المجرات على تماسكها هو جاذبية حشد هائل من الجزيئات تحت النووية.

في أعلى الرسم –موضوع هناك بلمسة ذوقية رمزية– الاصطناع المطلق الذي لا يزال يراوغنا، بين الكون والكم. يمثل الأوروبورس مسافات تبلغ ستين أسًا للرقم عشرة، ومدى ضخم كهذا هو في الحقيقة متطلب أساسي لكون (مثير)، فلن يمكن أبدًا لكون لا يتضمن أرقامًا ضخمة أن يطور تراتبًا هرميًا معقدًا من البنى، بل سيكون مملًا، وبالتأكيد لن يكون قابلًا للسكنى.

يلزم أن تكون هناك فترات زمنية طويلة أيضًا؛ فقد تستغرق العمليات في الذرة جزءًا من مليون جزء من مليار جزء من الثانية حتى تتم، وفي النواة المركزية في كل ذرة تكون الأحداث أسرع.

إن العمليات المعقدة التي تحول الجنين إلى دم وعظم ولحم تتضمن تتابعًا من الانقسامات الخلوية، مع التمايز، وتتضمن هاتان العمليتان آلاف التكرارات والتجميعات المنظمة بدقة للذرات، ولا يتوقف هذا النشاط أبدًا طالما نأكل ونتنفس.

حياتنا ليست إلا جيلًا واحدًا في تطور البشر، وحلقةً لا تعدو كونها مرحلة واحدة في ظهور الحياة بأكملها.




شكل (1-1): الأوروبورس. هناك روابط بين عالم الجزيئات والأنوية والذرات الصغيرة (على اليسار)، والكون (على اليمين).

تقدم الفترات الزمنية الهائلة المتضمنة في التطور منظورًا جديدًا لسؤال «لماذا كوننا بهذه الضخامة؟»، فقد استغرق ظهور الحياة البشرية على الأرض 4.5 مليار سنة. قبل أن تتكون شمسنا بكواكبها أصلًا، لابد أن تكون النجوم القديمة قد حولت الهيدروجين النقي إلى كربون وأكسجين وباقي عناصر الجدول الدوري، وقد استغرق هذا عشرة مليارات سنة.

إن حجم كوننا الملحوظ -بالتقريب- هو المسافة التي قطعها الضوء منذ الانفجار

الكبير؛ على هذا فإن الكون الحالي المشاهد لابد أن يكون عرضه حوالي عشرة مليارات سنة تقريبًا.

إن هذا لاستنتاج مخيف؛ فضخامة كوننا نفسها -التي يبدو لأول وهلة أنها توضح كم نحن هَمَلٌ في الخطة الكونية- هي في الحقيقة أمر يتطلبه وجودنا أصلًا! ولا نقول بهذا أنه لا يمكن أن يكون قد وُجد كون أصغر، لكن سيستحيل وجودنا فيه.

إن اتساع الفضاء الكوني ليس سَرَفًا غير مطلوب، بل هو نتاج لسلسلة طويلة من الأحداث، التي تمتد إلى ما قبل تكوّن نظامنا الشمسي، وإلى ما قبل وصولنا إلى المشهد.

قد يبدو هذا كأنه ارتداد إلى منظور (مركزية الإنسان) القديم، وهو ما دمره اكتشاف كوبرنيكوس Copernicus أن الأرض تدور حول الشمس وليس العكس، لكن لا ينبغي أن نُهاود (تواضع كوبرنيكوس) -وهو ما يسمى أحيانًا بمذهب العادية- ونعطيه أكثر من حجمه؛ فإن الكائنات من أمثالنا تحتاج إلى شروط خاصة لتتطور، لذلك سوف يكون منظورنا -لا محالة- غير عادي لدرجة ما. لا يجب أن نتفاجأ باتساع كوننا، على الرغم من أننا قد نظل نبحث عن تفسير أعمق لخصائصه المميزة.

## هل لنا أن نطمح في فهم كوننا؟

رأى الفيزيائي ماكس **بلانك** Max Planck أن النظريات لا تُهجر إلا بعد أن يموت كل مناصريها، وأن العلم يتقدم على طريقة (الجنائز المتتالية)، لكن هذه نظرة مليئة بالسخرية المريرة؛ فالعديد من المسائل الكونية الجدلية قد حُسمت، وبعض القضايا القديمة لم تعد مثار جدل أو اختلاف، لقد غير الكثيرون منا رأيهم، وأنا منهم.

يقدم هذا الكتاب قصة كنت سأظنها -في وقت سابق- مدهشة؛ فالمنظور الكوني الذي سأطرحه هو منظور شهير يشترك فيه الكثيرون، لكن قد لا يتفق معي الكثيرون بالكامل في تفسيري. الآن، ليست هناك أفكار كونية أكثر هشاشة -وتفلّتًا من الذاكرة- من نظرياتنا حول تاريخ كوكبنا (الأرض)؛ حيث يشير علماء الجيولوجيا إلى أن القارات تتزحزح على سطح الأرض بالسرعة التي تنمو بها أظافرك، وأن أوروبا

وأمريكا الشمالية كانتا ملتحمتين منذ 200 مليون سنة، ونحن نصدقهم، على الرغم من أن فترات زمنية طويلة كهذه يصعب أن ندركها جيدًا.

نحن نصدق أيضًا قصة تطور محيطنا الحيوي -على الأقل بخطوطها العريضة-، وكيف ظهر البشر، لكن الآن، أصبحت هناك بعض الخواص الأساسية لبيئتنا الكونية، مدعومة بأدلة لا تقل صلابة عن الأدلة التي تدعم الظواهر السابق ذكرها.

إن الأدلة الملموسة الداعمة لحدوث انفجار كبير منذ (15-10) مليار سنة لا تقل قوة عن الأدلة التي يطرحها الجيولوجيون عن تاريخ الأرض، وهذا تحول مذهل، إن أجدادنا كانوا يحيكون النظريات دون أي اهتمام بالحقائق، وحتى وقت قريب جدًا لم تبدُ علوم الكون شيئًا أكثر من رياضيات تأملية.

منذ بضع سنين، كنت أثق بنسبة تسعين بالمئة أنه قد حدث انفجار كبير، وأن كل شيء في كوننا المشاهد بدأ ككرة مضغوطة من اللهب، أكثر سخونة من مركز الشمس بكثير. الآن، صارت الأدلة أقوى بكثير، والتقدم المذهل في الملاحظات والتجارب قد سلط الضوء على الصورة الكونية الواسعة خلال تسعينيات القرن العشرين، وإنني لأرفع -الآن- من درجة يقيني إلى تسع وتسعين بالمئة.

«**أكثر شيء لا يمكن فهمه عن الكون؛ هو أنه يمكن فهمه**»، هذه واحدة من أشهر حِكَم **أينشتاين**، والتي تعبر عن دهشته من أن قوانين الفيزياء -التي ضُبطت عقولنا بطريقة ما لفهمها- لا تنطبق فقط على الأرض، لكن أيضًا على أبعد مجرة.

علمنا **نيوتن** أن نفس القوة التي تجعل التفاح يسقط هي التي تمسك القمر والكواكب في مساراتها، والآن نعرف أن نفس القوة هي التي تُحْكِم رباط المجرات، وتجذب بعض النجوم إلى الثقوب السوداء، وقد تقود في النهاية إلى انهيار مجرة أندروميدا على رؤوسنا.

إن الذرات في أبعد المجرات تتطابق تمامًا مع الذرات التي يمكننا دراستها في مختبراتنا، ويبدو أن كل أجزاء الكون تتطور بطريقة مشابهة، كأنها تشترك في منشأ واحد، ولولا هذا التطابق ما كان لعلم الكون أن يصل لشيء.

تسلط بعضُ التطورات الأخيرة الضوءَ على ألغاز جديدة حول منشأ كوننا، والقوانين التي تحكمه، وحتى مصيره النهائي، وهذه منوطة بأول جزء صغير من الثانية الأولى بعد الانفجار الكبير، حيث كانت الظروف لحظة حدوثه شديدة التطرف إلى درجة عجزنا عن فهم الفيزياء المتعلقة بها، التي من خلالها نتساءل عن طبيعة الوقت وعدد الأبعاد وأصل المادة. في تلك اللحظة الأولى كان كل شيء مضغوطًا بشدة، لدرجة أن مشاكل الكون والعالم الصغير تتداخل -كما يُرمز لذلك بالأروبوروس-.

لا يمكن أن يمتدَّ الفضاء إلى ما لا نهاية، أجَل لا تزال التفاصيل غامضة، لكن يظن أغلب الفيزيائيين أن هناك نوعًا من الحبوبية على مقياس يبلغ ($10^{-33}$) سنتيمتر، وهذا أصغر بـ ($10^{22}$) مرة من النواة الذرية، وهو انخفاض كبير يساوي الارتفاع في المقياس بالانتقال من النواة الذرية إلى مدينة كبرى -من ناحية عدد الصور في المثال الذي تصورناه عن عدسة التكبير-.

هنا نصطدم بعقبة؛ فلو كانت هناك بُنى أصغر من ذلك لتجاوزت حدود فهمنا للزمان والمكان. ماذا عن البُنى الأكبر؟ هل هناك أصعدة لم يكفِ الوقت منذ الانفجار الكبير -منذ حوالي عشرة مليارات من السنين- ليصل إلينا ضوؤها؟

ببساطة لا توجد لدينا أدلة مباشرة، لكن لا حدود نظرية حول مدى كوننا فيما يتعلق بالفضاء والوقت المستقبلي، وحول ما يمكن أن يظهر لرؤيتنا في المستقبل البعيد، فلعل الكون لا يمتد فقط إلى ملايين الأضعاف أبعد من الحيز المشاهَد حاليًا، بل إلى ملايين الأسس للرقم عشرة أبعد من الحيز المشاهد.

هذا ليس كل شيء، فكوننا الذي يمتد لمسافات شاسعة أبعد من الأفق الذي نراه حاليًا، قد يكون أصلًا واحدًا من عدد يحتمل أن يكون لانهائيًا من الأكوان. وعلى الرغم من أن مفهوم (الأكوان المتعددة) هذا تخيلي، إلا أنه امتداد طبيعي للنظريات الكونية الحالية، التي تكتسب مصداقية لأنها تفسر الأشياء التي نراها بالفعل. قد تكون القوانين الفيزيائية والهندسة مختلفة في أكوان أخرى، وهذا يقدم منظورًا آخر حول القيم الهامة التي تمثلها الأرقام الستة في كوننا.

# الفصل الثاني
# بيتنا الكوني 1
## «الكواكب والنجوم والحياة»

# بيتنا الكوني 1
# «الكواكب والنجوم والحياة»

**«اللعنة على النظام الشمسي؛ أضواؤه ضعيفة، وكواكبه بعيدة، ومليء بالمذنبات.. إنه اختراع فاشل، كنت أستطيع أن أصنع واحدًا أفضل منه بنفسي».**

لورد جيفري Lord Jeffrey

## كواكب أولية

هناك سحابة ضخمة في برج أوريون Constellation Of Orion تحتوي على عدد كافٍ من الذرات لتكوين عشرة آلاف شمس. جزء منها سديم وهّاج، تسخنه النجوم الزرقاء اللامعة، أما الباقي فهو بارد مظلم مُترَّب.

داخل هذه السحابة توجد فقاقيع دافئة لا تشع ضوءًا، لكن تولد حرارة يمكن أن تشعر بها التيليسكوبات المجهزة بكاشف الإشعاع الحراري، من المقدّر لكل فقاعة بين تلك الفقاقيع أن تصبح نجمًا، لكنها حاليًا نجوم أولية Protostars، تنكمش بتأثير جاذبيتها الخاصة، وتحاط بقرص من الغاز والتراب.

هذه الأقراص ليست شيئًا مفاجئًا؛ فالسحابة المتربة في أوريون -على الرغم من أنها أكثر سمكًا من أغلب النطاقات بين النجوم- لا تزال مخلخلة قليلة الكثافة، وحتى يتكون النجمُ يلزم أن ينكمش بعض هذا الغاز انكماشًا كبيرًا، لدرجة أن كثافته تزيد بمليار مليار مرة، وسيتضخم أي لفّ طفيف خلال الانهيار -وهو النسخة الكونية من اللف التصاعدي Spin-Up الذي يحدث عندما يشد المتزحلقون على الجليد ذراعيهم إليهم- إلى أن تمنع قوى الطرد المركزي لحوق أي مادة بالنجم.

ستُترك أي مادة فائضة عن الحاجة، وستدور حول كل نجم حديث التكون، أما الأقراص الناتجة، فهي الطلائع التي تسبق تكون الأنظمة الكوكبية، سوف تتصادم

جزيئات التراب بكثرة، لتلتصق ببعضها مكونة كتلًا صخرية، وستلتحم هذه الكتل معًا لتصنع أجسامًا أكبر تندمج لتكوّن الكواكب.. هكذا تكون نظامنا الشمسي من قرص شمسي أولي Protosolar Disc.

تكونت النجوم الأخرى بطريقة مشابهة لتكون شمسنا، ولدينا كل سبب يدفعنا لتوقع أن هذه النجوم أيضًا تدور حولها حاشية من الكواكب.

لقد حلَّ هذا السيناريو -المدعوم بأدلة حقيقية من الأقراص حول النجوم حديثة التكون- محل النظريات الكوارثية Catastrophist التي اشتهرت في بدايات القرن العشرين، والتي تصورت أن تكون الكواكب حدث نادر ومميز.

كان يُعتقد أن شمسنا مرت بلقاء لصيق مع نجم آخر -وهو حدث بالغ الندرة؛ لأن النجوم في المتوسط بعيدة عن بعضها جدًا- وأن قوة جذب النجم استخرجت من الشمس خيطًا Plume من الغاز، ويُفترض أن هذا الخيط تكثف حتى كون خرزات Beads، وكل خرزة كونت كوكباً.

على كل حال لم يكن الفلكيون في القرون السابقة أكثر منا رفضًا لفكرة وجود أنظمة شمسية أخرى؛ ففي عام 1698 كتب كريستيان **هيوغينز** Christiaan Huygens -العالم الهولندي الذي له ريادة في مجال البصريات-: «لماذا لا تكون لكل واحد من تلك النجوم والشموس حاشية عظيمة مثل شمسنا، ولتلك الحاشية أقمار تقوم على خدمتها؟».

## أنظمة شمسية أخرى

الكواكب كاملة التكوين التي تدور حول النجوم الأخرى يصعب رصدها أكثر من الأقراص الطلائع التي تسبق تكوّن الكواكب نفسها، إحدى النقاط البارزة في أواخر تسعينيات القرن العشرين كانت ظهور أول دليل قوي على أن الكواكب منتشرة بالفعل.

إن المبدأ لسهل جدًا، لن يستطيع مراقب ينظر إلى شمسنا من مسافة أربعين سنة ضوئية -مثلًا- أن يرى كل الكواكب التي تدور حولها، ولو استخدم أقوى تليسكوب موجود على الأرض، لكن على أيّة حال يمكن استنتاج وجود المشتري -أثقل الكواكب- من خلال القياسات الدقيقة لضوء الشمس، هذا بسبب أن الشمس والمشتري كلاهما يدوران حول مركز كتلتهما، وهو ما يسمى بـ(**مركز الكتلة** Barycenter).

إن الشمس أضخم 1,047 مرة من المشتري، ومركز الكتلة أقرب-بنفس الدرجة- إلى مركز الشمس منه إلى مركز المشتري -في الحقيقة هو يقع تحت سطح الشمس-، نتيجة لهذا تتحرك الشمس أبطأ من المشتري بنحو ألف مرة.

إن حركة الشمس الحقيقية أكثر تعقيدًا؛ بسبب التذبذب الزائد الذي تحدثه الكواكب الأخرى، لكن المشتري هو أثقل الكواكب، وينتج التأثير السائد. بتحليل الضوء بدقة، رصد الفلكيون تذبذبات Wobbles صغيرة في حركة النجوم، هذه التذبذبات تنتج من الكواكب الدوارة حول النجوم، بالضبط كما يُحدث المشتري حركات مماثلة في شمسنا.

يُظهر طيف أضواء النجوم أنماطًا، بسبب الألوان المميزة التي تشعها أو تمتصها الذرات المختلفة -كربون وصوديوم وخلافه- التي تتكون منها النجوم، ولو تحرك نجم بعيدًا عنا يتزحزح ضوؤه إلي اليمين في المنطقة الحمراء من الطيف، مقارنة بالأضواء التي تشعها نفس الذرات في المختبر، وهذا هو (تأثير **دوبلر** Doppler Effect) الشهير -وتشبيه الضوء هنا بالطريقة التي يَغْلُظ بها صوت السرينة عند إغلاقها، عندما تنخفض نغمة الصوت Pitch-، أما لو اقترب النجم فسيتزحزح الضوء إلى اليسار في المنطقة الزرقاء من الطيف.

عام 1995 اكتشف فلكيان في مرصد جنيف Geneva، هما ميشيل **مايور** Michel Mayor، وديديه **كيلو** Didier Queloz، أن زحزحة دوبلر في 51 بيغاسي 51Pegasi -نجم قريب يماثل شمسنا- ترتفع وتنخفض بدرجة طفيفة جدًا، على الرغم

من أن النجم يتحرك في دائرة، فيقترب منا ثم يتراجع ثم يقترب مرة أخرى، هكذا بشكل منتظم، والسرعة المقدرة بشكل غير مباشر هي حوالي خمسين مترًا في الثانية.

لقد استنتجوا أن كوكبًا بحجم المشتري تقريبًا كان يدور حول النجم، دافعًا إياه إلى أن يدور حول مركز كتلة النظام بأكمله، ولو كانت كتلة الكوكب الخفي واحدًا على الألف من كتلة النجم، لأصبحت سرعة الكوكب الدورانية خمسين كيلومترًا في الثانية، أي أسرع بألف مرة من حركة النجم.

كان جيفري **مارسي** Geoffrey Marcy، وبول **باتلر** Paul Butler -اللذان يعملان في كاليفورنيا- بطلَيْ اصطياد الكواكب في أواخر تسعينيات القرن العشرين، كانت معداتهما تستطيع أن تسجل زحزحات الأطوال الموجية التي تبلغ أقل من جزء على مئة مليون جزء، وبهذا استطاعوا قياس تأثير دوبلر حتى عندما كانت السرعات جزءًا من مئة مليون جزء من سرعة الضوء -أي ثلاثة أمتار في الثانية-، وقد وجدوا أدلة على وجود كواكب حول العديد من النجوم، هذه الكواكب -المستنتجة بشكل غير مباشر- كانت كلها كواكب كبيرة مثل المشتري، لكن هذا لا يعكس إلا الحساسية المحدودة لقياساتهما.

إن كوكبًا شبيهًا بالأرض يزن أقل ببضع مئات المرات من المشتري سوف يُحدث حركات بمقدار بضعة سنتيمترات في الثانية، حينها سيكون مقدار زحزحة دوبلر نحو جزء من عشرة مليارات جزء، أي أقل بكثير من أن تلحظها وتميزها الأساليب التي اكتشفت الكواكب الكبيرة 1.

مما يجدر بنا ذكره سريعًا، أن التليسكوبات التي يستخدمها الباحثون عن الكواكب هي ذات حجم متوسط، وقطر مراياها نحو مترين. من الجميل أنه لا تتطلب كل الاكتشافات الهامة أضخم المعدات وأثمنها -لعل هذا يُجهل في غمار الضجة المحيطة بالمشروعات الكبرى-، ولا يزال العلماء المثابرون المهرة يستطيعون تحقيق الكثير بمعدات مبتكرة، حتى لو كانت متواضعة.

إن تخطيط نظامنا الشمسي الفعلي هو نتاج العديد من (الحوادث)، ولا تزال الكويكبات الصخرية التي تمر بمدار الأرض تشكل خطرًا حقيقيًا، فمثلًا، كان لتصادم كويكب قطره عشرة كيلومترات -الذي ترك حفرة هائلة تحت البحر قرب تشيكسلوب Chicxulub عند خليج المكسيك- آثار مناخية عالمية يُحتمل أن تكون قد قضت على الديناصورات منذ خمسٍ وستين مليون سنة، والتصادمات الأصغر الخطيرة بما يكفي لتحدث دمارًا محليًا هي الأكثر انتشاراً.

لكن التصادمات كانت أكثر بكثير في طفولة النظام الشمسي، لأن أكثر الأجرام الكوكبية الأولية Protoplanetary الأصلية في الكون الوليد قد دُمرت أو طُردت منه حاليًا. لقد انفصل قمرنا عن كوكب الأرض بسبب تصادم مع كوكب أولي آخر، وتشهد الحفر العميقة على سطحه بالعنف الذي شهده تاريخه القديم. وعلى الأغلب مرَّ كوكب أورانوس بتصادم محطِّم مائل بعد تكونه بقليل، وإلا فمن الصعب فهم ما يجعله يدور حول محور يقع تقريبًا على مستوى مداره بعكس الكواكب الأخر، التي يكون محورها عموديًا تقريبًا على ذلك المستوى. إن الصور التي ترسلها مسبارات الفضاء الصناعية تظهر أن كل كواكب نظامنا الشمسي -وبعض أقمارها الضخمة- هي عوالم مميزة جدًا.

من المستبعد أن يكون لدى الأنظمة الكوكبية الأخرى عددًا مماثلًا من الكواكب بنفس الوضع الموجود في نظامنا الشمسي، والعديد من تلك الأنظمة المكتشفة يوجد فيها كوكب ضخم مثل المشتري أقرب من النجم الأم، مقارنة بقرب الزهرة من الشمس -الزهرة أكثر أعضاء نظامنا الشمسي قربًا من الشمس-، وهذا يعتبر بدرجة ما تحيزًا في الملاحظة، فالكواكب الثقيلة ذات الدورات السريعة -قصيرة الفترة- أسهل أن تُستشعر، وقد يكون للكواكب الثقيلة المكتشفة رفقاء من كواكب أصغر شبيهة بالأرض.

فقط الكواكب المميزة هي التي تستطيع أن تُقِل حياة على ظهرها تماثل -بأي شكل- ما يوجد على الأرض؛ فيلزم أن تكون الجاذبية قوية بما يكفي لتمنع الغلاف

الجوي للكوكب من أن يتبخر في الفضاء -مثل ما كان سيحدث لغلاف قمرنا الجوي لو كان له واحد-، وحتى يوجد الماء على سطح هذه الكواكب يجب ألا تكون حارة ولا باردة أكثر من اللازم، وعلى هذا يلزم أن يكون الكوكب على مسافة مناسبة من نجم مستقر طويل العمر، كذلك يتعين أن تكون مداراتها ثابتة، وهو ما لن يحدث في حالة -مثلًا- لو كان طريقها يعترضه كوكب شبيه بالمشتري باستمرار في مدار شاذ.

يشير (معدل الإصابة) المرتفع الذي يحظى به صائدو الكواكب إلى أن هناك كواكب تحيط بعدد كبير من النجوم الشبيهة بالشمس في مجرتنا، من بين مليارات الكواكب المرشحة سيكون من المدهش ألا يوجد الكثير من الكواكب التي تشبه كوكب الأرض الوليد.

في الولايات المتحدة شجع الرئيس التنفيذي لناسا -الشبيه بالمسيح المنتظر- دان **غولدين** Dan Goldin على أن تصبح مهمة البحث عن كواكب شبيهة بالأرض -مهمة تكوين صورة لهذه الكواكب وليس فقط مجرد استنتاج وجودها بطريقة غير مباشرة- هي الدافع الأساسي لمشروع الفضاء.

إن مجرد رصد بقعة ضئيلة -كما يسميها كارل **ساغان** Carl Sagan «نقطة زرقاء باهتة»- لهو تحدٍ قد يستغرق خمس عشرة سنة لتحقيقه، ويلزم أن تُقام مصفوفة من التليسكوبات في الفضاء لهذا.

إن الضوء الخافت من العالم البعيد ينقل معلومات عن غطاء السحاب وطبيعة السطح -يابسة كانت أم محيطاً-، وربما التغيرات اليومية أو الموسمية، من خلال طيف ضوء الكوكب نستطيع أن نستنتج أي الغازات موجود في جوه، إن جو أرضنا غني بالأكسجين، لكن لم يكن الأمر هكذا في البداية، فلقد تحول عن طريق البكتيريا البدائية في تاريخه القديم.

إن السؤال الأهم بالطبع هو: هل حدث هذا في مكان آخر أم لا؟ حتى لو وفّرَ كوكب ما بيئة مناسبة، ما هو احتمال أن تنشأ كائنات بسيطة، وأن يتكون غلاف حيوي؟

## من المادة إلى الحياة

لم نتأكد إن كانت هناك عوالم تدور حول النجوم الأخرى إلا في آخر خمس سنوات من هذه الألفية، لكننا لم نقترب إلا قليلًا من معرفة هل يقِلّ أحدها حياة على ظهره أم لا؟ هذا السؤال في ملعب البيولوجيين لا الفلكيين، إنه من الصعب جدًا إجابته، ولا يبدو أن هناك اتفاقاً بين الخبراء.

لقد احتلت الحياة على الأرض عددًا كبيرًا من المكانات البيئية المتنوعة، وتخبرنا الأنظمة البيئية الموجودة قرب الآبار المنتجة الكبريتية Sulphurous Outwellings [1] في أعماق المحيط أن ضوء الشمس نفسه ليس ضروريّاً. لا زلنا نجهل كيف أو أين بدأت الحياة، والآن يُفضل بركان ملتهب على «البركة الصغيرة الدافئة» التي تخيلها داروين، لكن قد يكون ذلك قد حدث في الأعماق تحت الأرض، أو حتى في السُحب الجزيئية الترابية في الفضاء.

لا نعرف كذلك ما الاحتمالات التي ربما كانت تواجه حدوث ذلك هنا على الأرض، سواء أكان ظهور الحياة طبيعيًا، أم كان يتضمن سلسلة من الحوادث نادرة الوقوع، لدرجة أن شيئًا يشبهها -ولو قليلًا- لم يحدث في مكان آخر من مجرتنا. هذا سر الأهمية الكبيرة لرصد الحياة -حتى في صور بسيطة قديمة- في مكان آخر من نظامنا الشمسي، ولا يزال المريخ -مثلما كان الحال منذ القرن التاسع عشر- هو المصب الأساسي للاهتمام، وخلال السنين القادمة سيُطلق أسطول من مسابير الفضاء إلى الكوكب الأحمر، لتحليل سطحه والطيران فوقه، والعودة بعينات إلى الأرض في مهام تالية. يمكن كذلك أن تكون هناك حياة في المحيطات المغطاة بالجليد في أقمار المشتري المتجمدة -يوروبا Europa وكاليستو Callisto-، وهناك تخطيط لإنزال مسبار مصمم للغوص، يستطيع أن يستكشف تحت الجليد.

(١) الأماكن البحرية التي يفترض أنها تنتج مغذيات عضوية وثاني أكسيد الكربون بكميات هائلة، مما يشجع نمو الأحياء الدقيقة، بالتالي زيادة الإنتاج السمكي. (المترجم)

لو ظهرت الحياة مرتين في نظامنا الشمسي، فهذا سوف يوحي بأن المجرة كلها قد تكون مكتظة بالحياة، على الأقل في صورها البسيطة، واستنتاج عظيم كهذا سوف يتطلب أن يكون المنشآن مستقلين عن بعضهما، هذا شرط هام؛ فمثلًا لو كان لنيازك من المريخ أن تصدم الأرض، فلربما كنا كلنا مريخيين، والعكس صحيح، فمن المحتمل أن يكون المريخ قد ساعدته حركة المرور العكسية من الأرض.

## من الحياة البسيطة إلى الذكاء

نحن نعلم -على الأقل بالخطوط العريضة- التاريخ المعقد والمصادفات التي أدت إلى ظهورنا هنا، لقد أخرجت الكائنات البدائية الأكسجين في زفيرها على مدار مليار سنة، فبدلت جو الأرض الوليدة السام، ومهدت الطريق للحياة عديدة الخلايا.

يخبرنا السجل الأحفوري بتطور عدد هائل من الكائنات الطائرة والزاحفة خلال العصر الكامبري منذ حوالي 550 مليون عام، وشهدت الأعوام المائتان التالية اخضرار الأرض، الذي وفّرَ مسكنًا للحياة الحيوانية العجيبة، من يعاسيب بحجم النوارس، وأم أربعة وأربعين بطول متر، وعقارب وبرمائيات، وبعد ذلك الديناصورات التي تغيرت صورتها من الصورة التقليدية الباهتة الخاملة إلى الصورة النشيطة، التي مثلتها أفلام مثل الحديقة الجوراسية Jurassic Park بما يتفق مع الرأي العلمي الحالي.

لقد أبيدت الديناصورات بأكثر انقراض مفاجئ وغير متوقع، عن طريق تصادم كويكب مع الأرض، مسببًا أمواجاً مديّة هائلة، ومثيرًا غبارًا أظلم السماء لسنوات، وهذا فتح الباب أمام خط الثدييات الذي قاد إلى البشر.

حتى لو عرفنا أن الحياة البدائية كانت منتشرة، فلا تزال مشكلة الحياة الذكية قائمة، لقد سبح وزحف وطار موكب خارق للعادة من الأنواع -التي انقرض أغلبها الآن- في غلافنا الحيوي عبر تاريخه الطويل، إننا نتاج الزمن والصدفة، ولو أعيد التطور مرة أخرى سيكون النتاج مختلفًا.

لا يبدو أن شيئًا يحتِّم ظهور الذكاء، بل إن بعض كبار التطوريين يرون أنه حتى لو كانت الحياة البسيطة منتشرة في الكون، فسيكون الذكاء نادرًا لأبعد الحدود. لا زلنا لا نفهم إلا أقل القليل لدرجة أننا نعجز عن تقييم الاحتمالات، لكن لا يوجد سبب للتشكك العنيد.

إن التعقيد المذهل والرائع في التطور البيولوجي، وتنوع الحياة على الأرض، يجعلاننا ندرك أن كل شيء في العالم الجامد -بالمقارنة- بسيط جدًا، هذه البساطة -أو على الأقل البساطة النسبية- هي خاصية من خواص الأشياء التي يدرسها الفلكيون.

إن الأمور يصعب فهمُها لأنها معقدة، وليس لأنها كبيرة، وإن التحدي الكامن في توضيح كيف جمعت الذرات نفسها -هنا على سطح الأرض وربما في عوالم أخرى أيضًا- لتشكل كائنات حية معقدة بما يكفي لتتفكر في منشئها لهو أكثر تحدٍ مُخيف في علم الكون؛ لهذا السبب تحديدًا لا أظن أنه من العجرفة أن نطمح في فهم كوننا الكبير.

لا يزال مفهوم (**العوالم المتعددة**) هو ملجأ المفكرين التأمليين، كما هو الحال عبر العصور. كان العام 2000 هو الذكرى المئوية الرابعة لموت جيوردانو **برونو** Giordano Bruno بالحرق على الصليب في روما، ولقد كان يرى أن: «في الفضاء عدد لا يُحصى من الأبراج والشموس والكواكب، ولا نرى إلا الشموس؛ لأنها تشع الضوء، وتبقى الكواكب خفية لأنها صغيرة ومظلمة. هناك أيضًا عدد لا حصر له من الأراضي -لا تقل شيئًا عن أرضنا هذه- تدور حول الشمس، ولا يمكن أن يفترض شخص عاقل أن الأجرام السماوية التي قد تكون أكثر أهمية من أرضنا بكثير لن تحمل على ظهرها كائنات تشبه أو تتفوق على نظيرتها على أرضنا البشرية».

انتشرت هذه الرؤية منذ عصر (**برونو**)، ففي القرن الثامن عشر ظن الفلكي العظيم ويليام **هيرشيل** William Herschel -مكتشف كوكب أورانوس- أن الكواكب والقمر

وحتى الشمس كلها مسكونة، وفي ثمانينيات القرن التاسع عشر بنى بيرسيفال **لوويل** Percival Lowell -أحد الأمريكيين الأغنياء- مرصده الخاص في فلاجستاف Flagstaff بولاية أريزونا بهدف دراسة المريخ، لقد كان يؤمن بأن القنوات Canals كانت مشروع ري لنقل الماء من قمم الأقطاب الجليدية إلى «صحاري» المناطق الاستوائية في المريخ، والآن لا تُعتبر هذه القنوات إلا مزيجًا من التفكير التواق والخداع البصري. في 1990 عرضت مؤسسة فرنسية جائزة جوزمان Guzman التي قيمتها 100 ألف فرنك لأول من يتصل بأنواع فضائية، لكن قادتهم الحيطة والحصافة إلى استبعاد المريخ؛ فلقد رأوا أن رصد المريخيين أمر سهل جدًا!

## حضارة مشتركة مع الفضائيين؟

الآن يقود العلماء في معهد SETI في (ماونتن فيو) بكاليفورنيا عمليات البحث عن الذكاء الخارجي Searches For Extraterrestrial Intelligence، وقد رُكزت الجهود على البحث عن الإرسال اللاسلكي الذي قد يكون منشؤه صناعيّاً، وقد استخدموا العديد من التليسكوبات اللاسلكية الضخمة في أنحاء العالم. هذا الخيار مألوف بسبب القصص الخيالية؛ مثل لقاء Contact لكارل **ساجان** -الذي يؤتي فيه هذا الخيار أُكُله-، لكن ليس اللاسلكي هو قناة التواصل الوحيدة التي يمكن توقعها؛ فأشعة الليزر صغيرة القطر تستطيع أن تغطي مسافات (بين نجمية) باستهلاك القليل من الطاقة.

إننا نملك التكنولوجيا بالفعل لو شئنا أن نعلن عن وجودنا لمسافات تبعد سنوات ضوئية عديدة باستخدام أي من هاتين الطريقتين، فبالقطع سوف تكشفنا الآثار المجملة لكل محطات الإرسال اللاسلكي والرادارات وغيرها أمام أي فضائي بتليسكوبات لاسلكية حساسة. لا نعلم إلا القليل عن منشأ الحياة وقدراتها الكامنة، لدرجة أنه يصعب علينا تقييم أي وسيلة لرصد الحياة ستكون الأفضل؛ لذا فمن

المعقول أن نستخدم كل أسلوب متاح، وأن نكون منتبهين لكل الاحتمالات، لكن علينا أن نتنبه لـ(الرصد الانتقائي Observational Selection)، فحتى لو اكتشفنا شيئًا، فلا يمكننا أن نستنتج أنه (معتاد)؛ لأن معداتنا وأساليبنا تقصرنا على رصد شيء متحيز ومنتقى وغير كامل مما قد يوجد في الفضاء فعلاً.

قد لا تكون هناك حياة ذكية في أي مكان آخر، وحتى لو وجدت، فمن المحتمل أن تكون في عالم مغطى بالماء، تحظى فيه الدلافين الخارقة بحياة تأملية في المحيط، ولا تفعل شيئًا لتعلن عن وجودها. هناك احتمالات كبيرة للفشل، لكن المسح المنظم بحثًا عن العلامات الصناعية مقامرة تستحق؛ بسبب الأهمية الفلسفية لرصد أي شيء. إن إشارة واضح أنها صناعية -ولو كانت شيئًا مملًا مثل قائمة من الأرقام الأولية أو أرقام (ط Pi)- سوف توحي بأن الذكاء ليس مقصورًا على الأرض، وأنه قد تطور في مكان آخر. أقرب الأماكن المحتمل وجود الذكاء فيها بعيدة جدًا، لدرجة أن الإشارات سوف تستغرق سنين عديدة في رحلتها، لهذا السبب وحده سيكون الإرسال في اتجاه واحد في المقام الأول، وسيكون هناك وقت كافٍ لإرسال رد مدروس، لكن لا مجال لرد سريع!

أي كائنات بعيدة تستطيع أن تتواصل معنا سوف تملك بعض المفاهيم الرياضية والمنطقية التي تماثل ما لدينا، وسوف يشاركوننا في العلم بالجزيئات والقوى الأساسية التي تحكم كوننا، قد تكون بيئتهم مختلفة، وغلافهم الحيوي أكثرَ اختلافاً عما عندنا على الأرض، لكن سيكونون مصنوعين هم وكوكبهم من ذرات مثل الذرات الموجودة على الأرض. بالنسبة لهم -كما هو الحال بالنسبة لنا- ستكون أهم الجزيئات هي البروتونات والإلكترونات، إن إلكترونًا واحدًا يدور حول بروتون سيصنع ذرة هيدروجين، وتتضمن التيارات الكهربية وأجهزة الإرسال اللاسلكي سيلًا من الإلكترونات. البروتون أثقل بـ(1,836) مرة من الإلكترون، وسيكون للرقم 1,836 نفس الدلالات الضمنية بالنسبة لأي (ذكاء) عنده دافع وقدرة على

بث إشارات لاسلكية، وستكون كل القوى الأساسية والقوانين الطبيعية واحدة.

يبدو أن هذه الوحدة -التي بدونها سيصبح كوننا مكانًا أكثر إرباكًا وحيرة مما هو عليه الآن- تمتد إلى أبعد المجرات التي يستطيع الفلكيون دراستها.

على كل حال، في الفصول القادمة سوف نتأمل في (الأكوان) الأخرى التي تقع إلى الأبد خارج نطاق تليسكوباتنا، والتي فيها قد تسود قوانين أخرى.

من الواضح أن الفضائيين لن يستخدموا الأمتار أو الكيلوغرامات أو الثواني، لكننا نستطيع أن نتبادل المعلومات عن النسبة بين كتلتين -مثل النسبة بين كتلتي البروتون والإلكترون- أو طولين، وهذه كلها (أرقام خالصة) لا تعتمد على الوحدات المستخدمة، فقولنا إن عصا أطول عشر مرات من عصا أخرى هو صحيح أو خطأ؛ سواء قسنا بالأمتار أم بالأقدام أم بوحدات الفضائيين الأخرى، كما ذكر ريتشارد **فاينمن** Richard Feynman أنه سيقول للفضائيين إن طوله «سبعة عشر مليار ذرة هيدروجين» وسيفهمونه.

قد يوجد (ذكاء ما) دون أي ميل فكري تجاهنا على الإطلاق، لكن أي كائن يبث إشارة لنا يلزم أن يكون قد حقق شيئًا من السيادة والتحكم في محيطه الفيزيائي.

لو كانت لديهم أية قدرة على التفكر فبالقطع سوف يشاركوننا الفضول حول حدث (البعث) الكوني الذي بزغنا كلنا منه. وعلى الأرجح سيهتمون بمعرفة كيف بُني كوننا من نجوم ومجرات، وما الذي يحويه، وكيف يتمدد، وما مصيره النهائي. سوف تكون هذه الأمور من الثقافة المشتركة بيننا وبين أي فضائيين، وسوف يلاحظون -كما نلاحظ- أن هناك بضعة أرقام محورية في بيئتنا الكونية المشتركة.

**(فقط ستة أرقام)** هي موضوع كتابنا هذا، إنها تحدد خصائص هامة لكوننا؛ مثل كيف يتمدد؟ وهل يمكن أن تتكون كواكب ونجوم ومجرات أم لا؟ وهل يمكن أن تكون هناك كيمياء مواتية للتطور أم لا؟ بجانب ذلك، فإن كوننا حساس بشكل مذهل لهذه الأرقام، لو تخيلت بناء كون عن طريق ضبط ستة أزرار، فسيلزم أن يكون الضبط

دقيقًا حتى يُنتج كونًا يستطيع أن يقِلّ حياة. هل هذا رزق؟ هل هذه صدفة؟ هل هذه الأرقام نتاج (نظرية كل شيء Theory Of Everything)؟ ماذا تضبط هذه الأرقام بدقة؟ لا تبدو هذه التفسيرات مقنعة، لكنني أؤمن أن هذا (الضبط) الظاهر يعلن عن شيء مذهل أكثر، هو أن كوننا المشاهد -أي كل ما يمكننا أن نراه حتى حدود تليسكوباتنا- هو جزء واحد من مجموعة فيها العديد من القوانين الفيزيائية المتنوعة، هذا تخرُّص، لكنه يتفق مع أفضل النظريات الموجودة.

نحن نعلم أن هناك كواكب تدور حول نجوم أخرى، تمامًا كما تدور الأرض حول نجمنا الشمس، وقد نتساءل عن المسكن الذي توفره هذه الكواكب، هل جاذبيتها أضعف من أن تحافظ على غلاف جوي؟ هل هي حارة جدًا أم باردة جدًا؟ أم جافة جدًا لدرجة ألا يمكن أن تقل على ظهرها حياة؟

غالبًا توفر كواكب قليلة بيئة ملائمة لازدهار الحياة، لهذا فعلى المقياس الكبير، قد تكون هناك أكوان أخرى لا حصر لها، لا يمكن أن نلاحظها بسبب أن ضوءها يستحيل أن يصلنا. هل ستكون ملائمة لنوع التطور الذي حدث على كوكب واحد على الأقل يدور حول نجم واحد على الأقل في كوننا (الوطن)؟

في أغلب هذه الأكوان ستكون الأرقام الستة مختلفة، قليل منها فقط ستكون مضبوطة ضبطًا مناسبًا للحياة. لا ينبغي أن نتفاجأ إذن أنه في كوننا تبدو الأرقام مضبوطة بتدخل إلهي، أكثر من تفاجئنا بأننا نجد أنفسنا في كوكب مميز، تستطيع جاذبيته أن تحافظ على غلافه الجوي، وتسمح درجة حرارته بوجود الماء، ويدور حول نجم مستقر طويل العمر.

# الفصل الثالث

# الرقم الكبير (N)

## «الجاذبية في الكون»

# الرقم الكبير (N)
# «الجاذبية في الكون»

**«من كان سيؤمن بإمكانية وجود النملة وهي لا تزال فكرة؟ أو الزرافة وهي لا تزال في طور التخطيط؟ عشرة آلاف بروفسير فقط من أساتذة (الممكن) قادرون على أن يحذفوا نصف الغابة من الوجود».**

جون سيكاردي John Cicardi

## دقة نيوتن المتناهية

لو كان بإمكاننا التحاور مع كائنات ذكية على كوكب آخر، لكان من الطبيعي أن نبدأ بالحديث عن الجاذبية؛ تلك القوة التي تُمسك بالكواكب في مداراتها، وتحافظ على تماسك النجوم. أما على المستوى الأبعد، فإن مجرات كاملة -حشد من مليارات النجوم- محكومة بالجاذبية، وما من مادة ولا جزيء يفلت من قبضة الجاذبية، ولا حتى الضوء نفسه، إنها تتحكم في تمدد الكون بأكمله، وربما أيضًا في مصيره النهائي.

لا تزال الجاذبية تمثل لغزًا عميقًا، وهي أكثر إرباكًا من كل القوى الأساسية الأخرى في الطبيعة، لكنها أول قوة تُوصف بطريقة رياضية. أخبرنا السير إسحاق نيوتن في القرن السابع عشر أن التجاذب بين أي شيئين يتبع (قانون التربيع العكسي Inverse Square Law)، حيث تضعُف القوة بمقدار يتناسب مع مربع المسافة بين الكتلتين؛ فلو أبعدت شيئين عن بعضهما ضعف المسافة سيقل التجاذب بينهما بمقدار أربع مرات.

أدرك نيوتن أن القوة التي تجعل التفاح يسقط، وتتحكم في مسار قذيفة المدفع، هي نفسها التي تمسك القمر في مداره حول الأرض، وأثبت أن قانونه يفسر المدارات البيضاوية التي تدور فيها الكواكب، إنه مثال قوي على قدرة الرياضيات على التنبؤ

بـ(**انتظام الساعة**) في العالم الطبيعي.

(**القوانين** Principia) هو كتاب **نيوتن** العظيم، الذي نُشر عام 1687، وهو كتاب باللاتينية من ثلاثة أجزاء، مملوء بافتراضات رياضية Theorem معقدة، ذات طابع هندسي في المقام الأول. إن هذا الكتاب شاهد على الفكر العلمي البارز في الألفية؛ فعلى الرغم من الصرامة المُنفرة لكتابات **نيوتن** -وشخصيته كذلك-، إلا أن تأثيره كان هائلًا على الفلاسفة والشعراء سواءً بسواء، وانتقل هذا التأثير إلى العامة كذلك؛ فمثلًا نُشر كتاب بعنوان (**النيوتونية للسيدات** Newtonianism For Ladies) عام 1737، كما ذُكر جوهر نظريته عن الجاذبية في كتاب أكثر يُسرًا للعامة بعنوان (**نظام العالم** The System Of The World ).

في كتاب (**نظام العالم**)، تتمثل فكرة هامة -بشكل لطيف- عن طريق صورة تظهر قذائف مدفعية تُطلق من سطح جبل، وكلما أُطلقت القذيفة أسرع طارت لمسافة أبعد قبل أن تصطدم بالأرض، حتى إذا ما وصلت إلى سرعة كبيرة جدًا فستبعد الأرض عن مسار القذيفة وستدور القذيفة حول الأرض، وبالطبع كانت السرعة المطلوبة لهذا -حوالي ثمانية كيلومترات في الثانية- شيئًا تعجز عنه المدافع في عصر **نيوتن**، لكننا اليوم نعرف جيدًا الأقمار الصناعية، التي تبقى في مداراتها بسبب هذه الفكرة تحديداً.

كذلك أوضح **نيوتن** أن نفس القوة هي التي تمسك الكواكب في مداراتها البيضاوية حول الشمس، وتعمل الجاذبية على مستوى أكبر في تجمعات النجوم وفي المجرات، حيث تُمسك مليارات النجوم في مداراتها حول محور مركزي.

هناك توازن في النجوم -والشمس- بين الجاذبية التي تحافظ على تماسكها وضغط جوفها الساخن، الذي دون تأثير الجاذبية سوف يجعل النجوم تنفجر وتتناثر أجزاؤها. كذلك الحال بالنسبة للغلاف الجوي في أرضنا؛ إذ يعمل الضغط في المستوى الأرضي على موازنة الهواء فوقنا.

## الجاذبية على المستويين (الكبير والصغير)

إن لجاذبية أرضنا آثاراً أشد على الأشياء الكبيرة منها على الصغيرة، لذا عندما يستخدم منتجو (أفلام الكوارث) موديلاً لتصوير انهيار جسر أو سد -مثلًا- فعليهم ألا يصنعوه من حديد صلب وأسمنت، إنما من مواد ضعيفة جدًا تنثني أو تنكسر عندما تسقط من ارتفاع متر، ولابد أن يُصور الفيلم سريعًا ويُعرض بالحركة البطيئة ليبدو واقعيًا.

حتى عندما يتم عمل هذا بحرص، تكون هناك أشياء أخرى تكشف أننا نرى صورة مصغرة جدًا بدلًا من الشيء الحقيقي، فمثلًا، المويجات الصغيرة في خزان مياه يُرقّقها التوتر السطحي Surface Tension -القوة التي تجعل قطرات المطر متماسكة-، لكن هذا التأثير يُهمل في حالة النهر الهائج أو أمواج المحيط، ويسمح التوتر السطحي للعناكب أن تمشي على الماء، لكننا لا نستطيع ذلك.

من المهم للغاية أن تكون بالحجم المضبوط. فالحيوانات الضخمة ليست مجرد نسخ مكبرة من الحيوانات الصغيرة، لأنها تتناسب بشكل مختلف، فمثلًا، تكون أرجلها أكثر سمكًا بالنسبة لطولها، تخيل أنك ضاعفت أبعاد حيوان ما ضعفين، لكنك أبقيت على شكله كما هو، سوف يصبح حجمه ووزنه أكبر ثماني مرات ($2^3$)، ليس فقط مرتين، ولن يكبر مقطع أرجله إلا أربع مرات ($2^2$)، ما يجعلها أضعف من أن تتحمل الحيوان، وسوف يحتاج الحيوان إلى إعادة تصميم. كلما كبر الحيوان عظمت سقطته، فسوف تحتاج (جوزديلا Godzilla) إلى أرجل أكثر سمكًا من أجسامها، ولن تبقى على قيد الحياة لو سقطت، أما على النقيض، فتستطيع الفئران أن تتسلق رأسيًا، ولن تتضرر حتى لو سقطت من مسافة أكبر أضعافًا كثيرة من طولها.

كان جاليليو -الذي تُوفي في نفس عام ميلاد نيوتن- هو أول من أدرك بوضوح هذه القيود على الحجم، وكتب: «ليس للطبيعة أن تصنع أشجارًا أضخم مما هي عليه؛ لأن أغصانها حتمًا ستسقط بسبب ارتفاعها الشديد... عندما تنكمش الأجسام

لا تنكمش قواها بالتناسب، إنما تنمو القوة في الأجسام الصغيرة جدًا بنسب أكبر، وأظنُّ أن كلبًا صغيرًا قد يحمل على ظهره كلبين أو ثلاثة بنفس حجمه، في حين أشك أن حصانًا يقدر أن يحمل حصانًا واحدًا بنفس حجمه».

هناك حجج مماثلة تحدُّ من حجم الطيور -القيود على طائر الطنان الذي يستطيع أن يحوم أكثر صرامة منها على القطرس الذي ينحدر-، لكن الحدود أقل صرامة بالنسبة للكائنات السابحة، مما يسمح بوجود الحيتان الهائلة في المحيط. وعلى النقيض، فكون الكائن صغيرًا جدًا يقود إلى مشاكل من نوع آخر، فمساحة كبيرة من الجلد تتناسب مع الوزن، وهذا الجلد يجعل فَقْدَ الحرارة سريعًا، لذا سيلزم الثدييات الصغيرة والطيور أن تأكل وتقوم باستقلاب الطعام بسرعة حتى تحافظ على دفئها.

سوف تكون هناك حدود مشابهة في العوالم الأخرى، فمثلًا تخيل الفيزيائي إدوين **سالبيتير** Edwin Salpeter -مع كارل **ساغان**- بيئة الكائنات الخيالية الشبيهة بالمنطاد، التي قد تتحمل الحياة في الجو الكثيف على سطح المشتري. سوف يخوض كل جيل جديد سباقًا مع الزمن؛ حيث عليه أن ينتفخ بالهواء بدرجة كافية ليحقق الطفو، قبل أن تشده الجاذبية إلى الدمار في الطبقات المظلمة عالية الضغط في الأعماق.

## قيمة (N)؛ وسبب ضخامتها

على الرغم من أهمية الجاذبية بالنسبة لنا ولغلافنا الحيوي، ولكوننا، فإن الجاذبية في الحقيقة ضعيفة لدرجة مذهلة بالمقارنة مع القوى الأخرى التي تؤثر على الذرات، إن الشحنات الكهربية ذات (الإشارات) المتضادة تجذب بعضها بعضًا، فذرة الهيدروجين تتكون من بروتون ذي شحنة موجبة، وإلكترون واحد (سالب) محبوس في مدار حول البروتون، وطبقًا لقوانين **نيوتن** فإن أي بروتونين سيشدان بعضهما بالجاذبية، وفي نفس الوقت سيبذل كل واحد منهما قوة تنافر كهربي على الآخر، وتعتمد هاتان القوتان على المسافة بنفس الطريقة -كلاهما يتبعان قانون

التربيع العكسي-، وهكذا تُقاس قوتهما النسبية برقم هامّ هو (N)، وهو ثابتٌ مهما كانت المسافة بين البروتونين.

عندما ترتبط ذرتا هيدروجين معًا في جزيء ما، يلاشي الإلكترونان القوةَ الكهربية بين البروتونين. والجاذبية بين البروتونين أضعف بستة وثلاثين أسًا للرقم عشرة من القوى الكهربية بينهما، وهي -الجاذبية- صعبة القياس، لذا يستطيع الكيميائيون في دراستهم لكيفية ارتباط مجموعات الذرات ببعضها -لتشكل الجزيئات- أن يتجاهلوا الجاذبية وهم مطمئنون.

كيف إذن للجاذبية أن تكون -برغم هذا- سائدة، وتثبتنا على الأرض، وتمسك القمر والكواكب في مساراتها؟ هذا لأن الجاذبية تعمل دومًا على الجذب، فلو ضاعفت الكتلة ستضاعف الشد التجاذبي الذي ينتج عنها، أما الشحنات الكهربية فيمكنها أن تتنافر مع بعضها مثلما تتجاذب، وقد تكون موجبة أو سالبة. لن تبذل شحنتان ضعف القوة التي تبذلها شحنة واحدة إلا إذا كان لهما نفس (الإشارة)، لكن الأشياء التي في حياتنا اليومية تتكون من أعداد هائلة من الذرات التي تتكون من نواة موجبة الشحنة محاطة بإلكترونات سالبة، حيث تلاشي الشحنات الموجبة والسالبة بعضها بعضًا بالضبط تقريبًا، وحتى عندما نُشحن -الصعق بالكهرباء- لدرجة أن ينتصب شَعرُنا، يكون انعدام التوازن بمقدار أقل من شحنة واحدة على مليار مليار شحنة، لكن كل الأشياء لها نفس إشارة (الشحنة التجاذبية)، وهكذا (تزداد) الجاذبية -مقارنة بالقوى الكهربية- في الأشياء الكبيرة.

يختل توازن القوى الكهربية قليلًا فقط عندما يُضغط الجسم الصلب أو يتمدد، ولا تسقط التفاحة إلا عندما يتغلب مجموع الجاذبية لكل ذرات كوكب الأرض على (الضغوط الكهربية) الموجودة في السويقة الصغيرة التي تثبتها على الشجرة. الجاذبية مهمة لنا؛ لأننا نعيش على الأرض الثقيلة.

يمكننا أن نصوغ ذلك كميّاً؛ ففي الفصل الأول تخيلنا مجموعة من الصور، يُنظر إلى كل صورة منها من مسافة تبعد عشرة أضعاف مسافة النظر إلى سابقتها، والآن تخيل مجموعة من الكرات مختلفة الأحجام، تحتوي بالترتيب على 10,100,1000..... ذرة،

بعبارة أخرى، كل واحدة أثقل عشر مرات من سابقتها، ستكون الكرة الثامنة عشر في حجم حبة رمل، والتاسعة والعشرون بحجم إنسان، والأربعون بحجم كويكب كبير إلى حد ما. أمام كل زيادة بألف ضعف في الكتلة يرتفع الحجم أيضًا بألف ضعف -لو كانت الكرات متساوية الكثافة-، لكن لا يزداد نصف القطر إلا بعشرة أضعاف؛ حيث تعتمد أهمية جاذبية الكرة -التي تُقاس بمقدار الطاقة المطلوبة لنزع ذرة من شد جاذبيتها- على الكتلة مقسومة على نصف القطر 1، لهذا تزيد بمئة ضعف.

تبدأ الجاذبية على المستوى الذري -وهي متأخرة- بإعاقة مقدارها ست وثلاثون أسًا للرقم عشرة[1]، لكنها تزيد بمقدار 10 2 -أي 100 ضعف- لكل زيادة مقدارها $10^{3}$ -أي 1000 ضعف- في الكتلة، هكذا ستتدارك الجاذبية تأخرها عندما تصل إلى الشيء الرابع والخمسين (54 = 36 × 2/ 3)، الذي كتلته مثل كتلة المشتري تقريبًا، وفي الأشياء الأثقل والأضخم من المشتري ستكون الجاذبية قوية جدًا، لدرجة أن تتغلب على القوى التي تحافظ على تماسك الجوامد.

تتأثر حبيبات الرمل وقطع السكر مثلنا بجاذبية الأرض الهائلة، لكن الجاذبية الذاتية Self-Gravity[2] في تلك الأشياء مهملة. والجاذبية الذاتية ليست مهمة في الكويكبات، ولا في قمري المريخ الصغيرين -الشبيهين بحبتي بطاطا- فوبوس Phobos وديموس Deimos، لكن الأجرام الضخمة بحجم الكواكب -حتى قمرنا الضخم- ليست صلبة بما يكفي للحفاظ على شكل غير منتظم، فالجاذبية تجعلها مدورة تقريبًا، والكتل التي تزيد على كتلة المشتري تنسحق بتأثير جاذبيتها، وتتفتت إلى كثافات هائلة، ما لم يسخن المركز بما يكفي ليوفر ضغطًا موازنًا، وهو ما يحدث في الشمس والنجوم الأخرى التي تشبهها. هذا لأن الجاذبية ضعيفة جدًا لدرجة أن نجمًا عاديًا مثل الشمس يصبح بهذه الضخامة؛ ففي أي تجمّعٍ أصغر لن تستطيع

(1) تساوي $10^{-36}$ عند بدايتها على المستوى الذري. (المترجم)
(2) الشد التجاذبي، الذي تؤثر به الذرات المكونة على بعضها دون الأرض. (المترجم)

الجاذبية أن تنافس الضغط، ولا أن تضغط المادة لتجعلها ساخنة وكثيفة بما يكفي لتلمع.

تحتوي الشمس كتلة أكبر من كتلة المشتري بحوالي ألف ضعف، ولو كانت الشمس باردة لضغطتها الجاذبية إلى كثافة تبلغ مليون ضعف؛ أي إلى مادة جامدة معتادة، ولكانت قزمًا أبيض White Dwarf بحجم الأرض تقريبًا، لكنه أثقل بـ333,000 مرة. في الحقيقة تبلغ درجة حرارة لُب الشمس نحو خمسة عشر مليون درجة، أي أسخن من سطحها الوهاج بآلاف المرات، وضغط هذا الغاز الساخن للغاية (ينفخ) الشمس ويحافظ عليها في حالة اتزان.

كان عالم الفيزياء الفلكية الإنجليزي آرثر **إدينغتون** Arthur Eddington من أوائل من فهموا الطبيعة الفيزيائية للنجوم، حيث صور كم يمكننا أن نتعلم عن النجوم بمجرد التنظير، أجل لو كنا نعيش على كوكب محاط بالغمام على الدوام لما استطعنا بالتأكيد أن نحزر كم نجمًا في الفضاء، لكن التفكير المنطقي الذي يتبع النقاط التي أجملتها هنا يمكن أن يخبرنا بالضخامة التي يجب أن تكون عليها هذه النجوم، وليس صعبًا أن نمضي بهذه الحجة قُدمًا ونحدد مقدار اللمعان الذي ستبرق به هذه النجوم. لقد استنتج **إدينغتون** أنه «عندما نزيح ستار الغمام الذي يعمل تحته عالمنا المختص بالفيزياء الفلكية، وندعه ينظر إلى السماء، سوف يجد هناك آلاف الملايين من كرات الغاز الضخمة، وكلها تقريبًا بهذه الكتل».

إن التجاذب أضعف من القوى التي تحكم العالم الميكروي بمقدار الرقم (N)، أي نحو $10^{36}$، فما الذي كان ليحدث لو لم يكن بهذا الضعف؟ تخيل مثلًا كونًا ذا جاذبية أضعف بـ $10^{30}$ فقط من القوى الكهربية، ستتصرف الذرات والجزيئات مثلما تفعل في كوننا الحقيقي، لكن لن يلزم أن تكون الأشياء كبيرة جدًا لتتنافس الجاذبية مع القوى الأخرى، وسيكون عدد الذرات اللازم لصناعة نجم -مفاعل انصهار نووي محكوم بالجاذبية- أقل بمليار مرة في هذا الكون الخيالي، وستتقلص كتل الكواكب

أيضًا مليار مرة. وبغض النظر عن كون هذه الكواكب قادرة على الحفاظ على دورانها في مدارات ثابتة من عدمه، فإن قوة الجاذبية سوف تحد بقوة من إمكانيات التطور على سطحها، في عالم خيالي شديد الجاذبية، حتى الحشرات ستحتاج أرجلًا سميكة لتحملها، ولن ينمو حيوان إلى حجم يتجاوز الحشرات بكثير، حيث ستسحق الجاذبية أي شيء له نفس ضخامتنا.

سوف تتشكل المجرات بسرعة أكبر بكثير في كون كهذا، وسوف تكون مصغرة، وبدلًا من انتشار النجوم على مدى واسع، ستصبح مرصوصة متلاصقة جدًا، لدرجة أن اللقاءات اللصيقة ستكون متكررة، وهذا في حد ذاته سيمنع وجود الأنظمة الكوكبية المستقرة؛ لأن المدارات ستختل وتضطرب بالنجوم المارة، وهو أمر يصعب حدوثه في نظامنا الشمسي -من حسن حظ أرضنا-.

لكن الشيء الذي سيحول -أكثر من غيره- دون نظام بيئي معقد؛ هو الزمن المحدود المتاح للنماء، حيث ستتسرب الحرارة بصورة أسرع من هذه (النجوم المصغرة)، لذا ستكون الحيوات النجمية أقصر بمليون مرة، فيعيش النجم حوالي 10,000 سنة بدلًا من عشرة مليارات سنة، وسوف تحترق الشمس المصغرة أسرع وتستهلك طاقتها قبل أن تبدأ حتى أولى الخطوات في التطور العضوي!

لا جدال أن الظروف اللازمة للتطور المعقد ستكون أقل ملائمة لو كانت الجاذبية أقوى، مع بقاء كل الأشياء الأخرى دون تغير، ولن توجد الفجوات الزمنية الهائلة -الموجودة بالفعل في كوننا- بين العمليات الفلكية والمقاييس الزمنية الفيزيائية الدقيقة للتفاعلات الكيميائية أو الفيزيائية. على النقيض، تسمح جاذبية أضعف بنماء بُنىً أعقد وأطول عمرًا.

إن الجاذبية هي القوة المنظمة للكون، وسنرى في الفصل السابع أهميتها في السماح للبُنى بأن تنبثق من انفجار كبير كان في بدايته عديم الخواص تقريبًا. إن البُنى الكبيرة طويلة العمر لا توجد إلا لأن الجاذبية ضعيفة. نقيض ذلك، أنه كلما ضعفت

الجاذبية -بشرط ألا تكون صفرًا- كانت عواقبها أكبر وتعقدت أكثر. وليس لدينا نظرية تخبرنا بقيمة (N)، لكن كل ما نعرفه هو أنه ما كان لشيء بتعقيد البشر أن يظهر لو كانت قيمة (N) أصغر من: 1,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000,000.

## من نيوتن إلى أينشتاين

بعد مرور أكثر من قرنين على **نيوتن**، طرح **أينشتاين** نظريته عن الجاذبية، المعروفة بـ(النسبية العامة General Relativity)، وطبقًا لهذه النظرية؛ تتبع الكواكب أكثر خط مستقيم في (زمكان Space-Time) منحنٍ بسبب وجود الشمس. كثيرًا ما يقال إن **أينشتاين** أطاح بالفيزياء النيوتونية، لكن هذا اعتقاد مضلل؛ فلا تزال قوانين **نيوتن** تصف الحركات في النظام الشمسي بدقة جيدة، وأشهر تعارض لها كان شذوذًا بسيطًا في مدار عطارد حلّته نظرية **أينشتاين**، وهي مناسبة لبرمجة مسارات مسابير الفضاء إلى القمر والكواكب. لكن نظرية **أينشتاين** تتماشى -بعكس نظرية **نيوتن**- مع الأشياء التي تقترب سرعتها من سرعة الضوء، ومع الجاذبية فائقة القوة التي يمكن أن تُحدث هذه السرعات الهائلة، كذلك تتكيف مع تأثير الجاذبية على الضوء نفسه، والأهم من ذلك أن **أينشتاين** عمّق فهمنا للجاذبية؛ فبالنسبة **لنيوتن** كان لغزًا سببُ سقوط كل الجزيئات بنفس المعدل واتباعها نفس المدارات، كذلك سببُ أن قوة الجاذبية والقصور الذاتي Inertia كانتا بنفس النسبة لكل المواد، بعكس القوى الكهربية، إذ لا تتناسب (الشحنة) مع (الكتلة)، لكن **أينشتاين** بيّن أن هذا نتيجة طبيعية عن سير كل الأجساد في نفس الخط «الأكثر استقامة» في زمكان منحنٍ بتأثير الكتلة والطاقة، لهذا كانت نظرية النسبية العامة إنجازًا خارقًا من ناحية المفاهيم، وهي مذهلة بالذات لأنها وُلدت من بصيرة **أينشتاين** الثاقبة، بدلًا من أن تكون قد حفزتها تجربة علمية أو ملاحظة.

إن **أينشتاين** لم يثبت خطأ **نيوتن**، لكنه تخطى نظرية **نيوتن** بإدخالها في شيء أعمق وذي قابلية أكبر للتطبيق. وفي الحقيقة كان من الأفضل لو سُميت نظريته باسم

مختلف، حيث كان هذا سيمنع سوء الفهم الكبير الذي يحيطها ثقافياً، فبدلًا من (نظرية النسبية) تُسمى (نظرية الثبوت The Theory Of Invariance).

كان إنجاز **أينشتاين** أنه اكتشف مجموعة من المعادلات التي يمكن أن يُطبقها أي مُلاحِظ، كذلك ضمّ إليها الظرف الملحوظ؛ وهو أن سرعة الضوء -لو قيست في أي تجربة «محلية»- واحدة، مهما تحرك الملاحظ بأي طريقة.

إن تقدم أي علم يكون بتزايد النظريات العامة، حيث تضم تحت لوائها الحقائق التي كانت سابقًا تُعد غير متعلقة ببعضها، وتوسع أفق وشمولية النظريات السابقة. ويمثل الفيزيائي والمؤرخ جوليان **باربور** Julian Barbour ذلك بمثال تسلق الجبال2، وهو ما أظنه صحيحًا: «كلما تسلقنا لأعلى اتسعت رؤيتنا؛ إن كل نقطة مرتفعة تجعلنا نفهم العلاقات بين الأشياء بشكل أفضل، وأكثر من ذلك، أن التراكم التدريجي للفهم تقطعه توسعات مفاجئة ومهيبة في الأفق، مثلما نرتقي لقمة التل ونرى أشياء لم نكن لنتخيلها أثناء صعودنا، وبمجرد أن نعرف موقعنا الجديد، فإن طريقنا الذي اتخذناه إلى آخر قمة اعتليناها يصبح متضحًا، ويأخذ مكانه الشريف في العالم الجديد».

تُشكّل الخبرة حدسنا وفهمنا الفطري للأشياء، ونحن ندمج بداخلنا القوانين الفيزيائية التي تؤثر علينا مباشرة، إن قوانين **نيوتن** -بشكل ما- مَجبولة Hardwired في القرود التي تتقافز بثقة من شجرة لأخرى. لكن هناك في الفضاء البعيد تقع بيئات تختلف تمامًا عن بيئتنا، ولا ينبغي أن نتفاجأ بأن الأفكار التي يمليها علينا فهمنا الفطري المشترك تنكسر على أعتاب المسافات الكونية الشاسعة، وعند السرعات الكبيرة، وعندما تقوى الجاذبية.

إن أي كائن ذكي قادر على التجول بسرعة هائلة في الفضاء -مقيدًا بقوانين الفيزياء البسيطة فقط دون قيود التكنولوجيا الحالية- سوف يمدد من نطاق حدسه حول الزمان والمكان، ليشمل النتائج المميزة والغريبة للنسبية. لقد اتضح أن لسرعة الضوء أهمية خاصة جدًا، إذ يمكن الاقتراب منها، ويستحيل تخطيها أبدًا.

لكن (حد السرعة الكوني) هذا لا يضع قيودًا حول المسافة التي يمكنك أن تسافرها في عمرك؛ لأن الساعات تتحرك ببطء أكثر كلما ازدادت سرعة مركبة فضائية لتقارب سرعة الضوء، كذلك الزمن على ظهر المركبة سيصير أبطأ Time-Dilation، لكنك لو سافرت ذهابًا وإيابًا إلى نجم يبعد مئة سنة ضوئية، فعندما تعود ستكون قد مرت مئتا سنة على الأرض، مهما شعُرت بأنك لم تَشِخ. يستحيل أن تكون مركبتك قد قطعت الرحلة بسرعة أكبر من سرعة الضوء -كما سيقيس ذلك ملاحظ على الأرض-، لكن كلما قاربت سرعتك سرعة الضوء ستشيخ بدرجة أبطأ.

إن هذه الآثار تصادم حدسنا الأولي -ببساطة- لأن خبرتنا قاصرة على السرعات البطيئة، فسرعة طائرة الركاب هي جزء من مليون جزء من سرعة الضوء، أي أنها لا تقترب أصلًا من السرعة اللازمة لتجعل إبطاء الزمن محسوسًا، وحتى أكثر الناس إدماناً للطيران لن يكون ما بطأ من الزمن بالنسبة له أقل من مللي ثانية على مدار حياته كلها. على كل حال، الآن قد قِيس هذا التأثير الضئيل، ووُجِد أنه يتفق مع توقعات أينشتاين، وذلك باستخدام ساعات ذرية دقيقة إلى جزء من مليار جزء من الثانية.

هناك (إبطاء زمني) آخر تسببه الجاذبية؛ فبالقرب من كتلة كبيرة تتحرك الساعات ببطء، وهذا أيضًا يستحيل إدراكه تقريبًا هنا على سطح الأرض لأننا -مثلما نحن معتادون على الحركات البطيئة- لا خبرة لنا إلا بالجاذبية الضعيفة، لكن على كل حال يلزم أخذ هذا الإبطاء الزمني في الاعتبار، بجانب آثار الحركة المدارية، عند برمجة نظام الشبكة العالمية لتحديد المواقع GPS الدقيق بدرجة مذهلة.

من مقاييس قوة جاذبية جرم ما مقدارُ السرعة التي يلزم أن تُطلق بها مقذوفة لتهرب من قبضة جاذبية هذا الجرم، يلزم نحو 2 , 11 كيلومتر في الثانية للهروب من الأرض، وهذه سرعة ضئيلة مقارنة بسرعة الضوء البالغة 300 , 000 كيلومتر في الثانية، لكنها تتحدى مهندسي الصواريخ المقيدين باستخدام الوقود الكيميائي، الذي لا يحول سوى جزء من مليار جزء مما يُسمى بـ(طاقة كتلة السكون Rest-Mass Energy) -قانون

**أينشتاين** $Mc^2$، انظر الفصل الرابع- إلى قوة فعالة. سرعة الهروب Escape Velocity من الشمس 600 كيلومتر في الثانية، أي خُمس (واحد بالمئة) من سرعة الشمس.

## الجاذبية القوية والثقوب السوداء

تعمل نظرية **نيوتن** -مع بعض التعديلات البسيطة جدًا- في كل مكان من نظامنا الشمسي، لكن علينا أن نستعد للمفاجآت عندما تكون الجاذبية أقوى بكثير، ولقد اكتشف الفلكيون أماكن مثل هذه، منها مثلًا النجوم النيوترونية Neutron Stars، هذه البقايا فائقة الكثافة التي تخلفها النجوم وراءها عندما تنفجر في الانفجار النجمي Supernovae -سيُناقش أكثر في الفصل التالي-.

في المعتاد تكون النجوم النيوترونية أضخم من الشمس بـ 1,4 ضعفًا، لكن عرضها عشرون كيلومترًا تقريبًا، على سطحها تكون القوة التجاذبية أشرس بمليون مليون مرة منها على سطح الأرض، وللارتفاع عن سطح النجم النيوتروني بمللي متر واحد تلزم طاقة أكثر من الطاقة اللازمة للهروب من جاذبية الأرض تمامًا، سيصطدم قلم أُسقط من ارتفاع متر واحد بالسطح بطاقة طن من مادة TNT المتفجرة -طبعًا في الحقيقة ستسحق الجاذبية الهائلة على سطح النجم النيوتروني أي شيء مثل القلم في الحال-، وستحتاج المقذوفة أن تحقق نصف سرعة الضوء لتهرب من جاذبيته، وبالعكس فإن أي شيء يسقط سقوطًا حرًا من ارتفاع شاهق على نجم نيوتروني سوف يصطدم وسرعته أكبر من نصف سرعة الضوء.

تعجز نظرية **نيوتن** عن التصرف عندما تكون الجاذبية بقوة كتلك الموجودة حول النجوم النيوترونية، لذا سوف نحتاج إلى نسبية **أينشتاين** العامة؛ حيث ستتحرك الساعات قرب السطح بـ 10 أو 20٪ أبطأ من الساعات البعيدة، وسوف يتقوس الضوء الخارج من السطح بقوة، لدرجة أنك عندما تنظر من بعيد لن ترى نصفًا واحدًا من النجم فقط، لكنك سترى جزءًا من مؤخرة النجم النيوتروني كذلك!

الجرم الأصغر أو الأثقل من النجم النيوتروني ببضعة مرات سوف يأسر كل الضوء في محيطه، ويصير ثقبًا أسود، و«سينغلق» الفضاء المحيط به على بعضه. فلو ضُغطت الشمسُ إلى نصف قطر يبلغ ثلاثة كيلومترات ستصير ثقبًا أسود. ومن حسن الطالع أن الطبيعة قد أجرت تلك التجارب نيابة عنا؛ لأن الكون معروف بأنه يحتوي على أشياء قد انهارت و«ثقبت» الفضاء، وعزلت نفسها عن الكون الخارجي.

هناك ملايين عديدة من الثقوب السوداء في مجرتنا، كتلة كل واحد منها حوالي عشر كتلٍ شمسية Solar Mass، وهذه الثقوب السوداء هي الحالة النهائية للنجوم الضخمة، أو ربما هي نتاج تصادم النجوم. عندما تكون هذه الثقوب بمعزل في الفضاء تكون متوارية خفية، ولا تُستشعر إلا بالتأثير التجاذبي الذي تبذله على الأجرام الأخرى أو على أشعة الضوء التي تمر بقربها، والثقوب السوداء التي يسهل استشعارها هي تلك التي لديها نجم عادي يدور حولها، ليصنعا نظامًا ثنائيًا Binary System، وهذا الأسلوب شبيه بالمستخدم لمعرفة وجود الكواكب بناءً على الحركة التي تُحدثها في نجمها الأم، لكن في هذه الحالة يكون الأمر أسهل لأن النجم المرئي أقل كتلة من الشيء المعتم -بدلًا من أن يكون أثقل منه بألف مرة أو أكثر-؛ لهذا يدور حوله في مدار أكبر وأسرع.

يهتم الفلكيون دومًا بالظواهر الأكثر «تطرفًا» في الكون؛ لأنها أكثر الظواهر المُتوقع أن نتعلم منها شيئًا جديدًا تمامًا، ولعل من أكثرها إثارة للدهشة هي الومضات الشديدة بدرجة مذهلة التي تُعرف بـ(دفقات أشعة غاما Gamma-Ray Bursts)، هذه الحوادث -القوية جدًا لدرجة أنها تسطع لثوانٍ بوميض يغطي على بريق مليون مجرة كاملة بنجومها- هي على الأرجح ثقوب سوداء في طور التكون.

هناك ثقوب سوداء أضخم بكثير تقبع في مراكز المجرات، ونستنتج وجودها بملاحظة الإشعاعات الشديدة من الغاز الذي يدور حول الثقوب بسرعة تقارب سرعة الضوء، أو برصد الحركات فائقة السرعة للنجوم التي تمر بقرب الثقوب.

تدور النجوم القريبة جدًا من مركز مجرتنا بسرعة عالية جدًا، وكأنها تشعر بجاذبية كتلة معتمة، مثل ثقب أسود كتلته ككتلة 5 , 2 مليون شمس! يتناسب حجم أي ثقب أسود مع كتلته، والثقب في المركز المَجرِّي Galactic Centre نصف قطره ستة ملايين كيلومترًا، وبعض الثقوب الأخرى الشبيهة بالوحوش الحقيقية في مراكز المجرات تزن وزن عدة مليارات من الشموس، وهي بحجم نظامنا الشمسي كله، رغم ذلك فهذه الثقوب لا تزال صغيرة جدًا مقارنة بالمجرات التي تقبع في مراكزها.

على الرغم من أن الثقوب السوداء غريبة وصادمة لما يتبادر إلى حدسنا، إلا أنها في الحقيقة أسهل في وصفها من أي جرم سماوي آخر؛ فبنية كوكب الأرض تعتمد على تاريخه وعلى ما يتكون منه، وبالتأكيد ستكون الحال بالنسبة لكواكب أخرى مماثلة في الحجم تدور حول نجوم أخرى مختلفةً جدًا عن الأرض، كذلك كانت الشمس -وهي أصلًا عبارة عن كرة ضخمة من الغاز تُظهر اضطرابًا مستمرًا واستعارًا على سطحها- لتبدو مختلفة لو كانت تحتوى على (خلطة) مختلفة من الذرات.. لكن الثقب الأسود يفقد كل (ذاكرة) عن كيفية تكونه، وسرعان ما يستقر في حالة هادئة، تصفها كميّتان فقط، هما كم الكتلة التي دخلت فيه، ومقدار السرعة التي يدور بها.

في عام 1963، قبل أن تكون هناك أي أدلة على وجود الثقوب السوداء -وبالتأكيد قبل أن يطرح الفيزيائي الأمريكي جون أرشيبالد **ويلر** John Archibald Wheeler اسم **(الثقب الأسود)**- اكتشف مُنظّر نيوزلاندي اسمه روي **كير** Roy Kerr حلاً من حلول معادلة **أينشتاين** يمثل جسمًا دوارًا، وقادت الأبحاث التي قام بها آخرون إلى النتيجة المذهلة التي تقضي بأن أي شيء ينهار سوف يستقر مكونًا ثقبًا أسود، تمامًا كما وصفته معادلة **كير**.

إن الثقوب السوداء قياسية تمامًا كالجزيئات الأولية، وتخبرنا نظرية **أينشتاين** بالضبط كيف تحني وتشوه الزمان والمكان، وما الشكل الذي يكون عليه سطحها.

حول الثقوب السوداء يطيش حدسنا عن الزمان والمكان. إن الضوء يسير في

الطريق «الأكثر استقامة»، لكن في فضاء منحنٍ بقوة سيصبح هذا الطريق منحنىً معقدًا، وبالقرب من تلك الثقوب يمر الزمن ببطء شديد، بل وأبطأ من ذلك بالقرب من نجم نيوتروني، وبالمقابل إذا طِرت أو دُرت قربَ ثقب أسود، فسترى الكون الخارجي مُعجَّلًا! هناك (سطح) محدد بدقة حول أي ثقب أسود، تبدو منه -بالنسبة لملاحظ يقف على مسافة آمنة- الساعات وكأنها متجمدة؛ لأن الإبطاء الزمني يصبح قيمة لانهائية تقريبًا، وعلى نفس الحال سيبدو أي مُجرِّب يسقط في الثقب.

لا يستطيع الضوء ذاته أن يهرب من داخل هذا السطح، كما أن تشوهات الزمان والمكان أسوأ بكثير؛ فكأن الفضاء نفسه يُشفط إلى الداخل بسرعة كبيرة، لدرجة أن شعاع الضوء الذي يتجه للخارج سوف يُجرّ إلى الداخل! في الثقب الأسود، لا يمكنك أن تتحرك «للخارج» في الفضاء، أكثر مما يمكنك أن تتحرك في الزمن إلى الخلف.

الثقب الأسود الدوار يشوه الزمان والمكان بطريقة أكثر تعقيدًا، ولكي تدركها عليك أن تتخيل دوامة يدور فيها الماء نحو زوبعة مركزية، بعيدًا عن الزوبعة تستطيع أن تبحر كما تشاء، فتسير مع التيار أو عكسه، لكن اقترب قليلًا من المركز، وستجد الماء يدور بسرعة أكبر من سرعة قاربك، وستُجبَر على أن تتحرك دائريًا مع التيار، رغم ذلك ستظل قادرًا على أن تتحرك للخارج -بحركة حلزونية للخارج- كما تستطيع أن تتحرك للداخل، لكن أقرب وأقرب من المركز سيكون التيار المتجه إلى الداخل أسرع من قاربك، ولو وصلت إلى (نصف قطر حرج) ما، فلن تملك من مصيرك شيئًا، وستُسحب إلى الداخل نحو الدمار.

إن الثقب الأسود مغطى بسطح يتصرف مثل الغشاء المنفذ في اتجاه واحد فقط؛ فلا يمكن أن تُبث إشارة من الداخل إلى زملاء يراقبون من مسافة آمنة، وكل من يعبر إلى داخل السطح يُحبس، وهو مقضيّ عليه أن يُسحب إلى الداخل باتجاه منطقة -طبقًا لمعادلات **أينشتاين**- جاذبيتها «تصل إلى ما لانهاية» في زمن محدود، تقيسه ساعة العابر خلال السطح. هذه «المفردة Singularity» في الحقيقة توضح أن

الظروف تتخطى الفيزياء التي نعرفها، تمامًا مثل ما نظن أنه قد حدث في بداية كوننا. وهكذا يواجه من يسقط في ثقب أسود «نهاية الزمان». هل هذا نذير بـ(الانسحاق الشديد Big Crunch)؟ أم أن لكوكبنا مستقبلاً دائماً؟ أم هل يمكن أن تحمينا (فيزياء ما) لم نعرفها بعد من هذا المصير؟

من المشهور أن نظرية **أينشتاين** حركتها (فكرته الخلاقة) حول أن الجاذبية لا يمكن تمييزها عن الحركة المتسارعة (العجلة)، وأنها لا تُرصد في مصعد يسقط سقوطًا حرًا. على كل حال، لا يمكن التخلص من الشذوذات Non-Uniformities التي تواجه الجاذبية.

لو أن كتيبة من رواد الفضاء الانتحاريين سقطت في تشكيل منتظم سقوطًا حرًا باتجاه الأرض، فسوف تتقلص المسافات الأفقية بينهم، في حين تتزايد المسافات الرأسية؛ ذلك لأن مساراتهم كلها تتجه نحو مركز الأرض، وقوة الجاذبية تجذب بشدة أكبر هؤلاء الموجودين في أسفل التشكيل، أي الأقرب إلى الأرض. سوف يكون هناك تأثير مشابه بالنسبة للأجزاء المختلفة في جسد كل رائد فضاء؛ إذ لو سقط الرائد بقدميه أولًا، فسوف يشعر بتمدد رأسي وانضغاط عرضي، وهذه القوة المدية Tidal Force التي لا يكاد يشعر بها رواد الفضاء الموجودون في نطاق جاذبية الأرض، تصبح قوية بدرجة كارثية في الثقب الأسود، وتقود إلى الفرم و(تأثير معكرونة السباغيتي Spaghettification) قبل الوصول إلى «المفردة» المركزية، وسوف يشعر رائد فضاء يسقط باتجاه ثقب أسود ذي كتلة نجمية بآثار مدّيَّة قاسية قبل أن يصل حتى إلى سطح الثقب، وبعد أن يصل إليه سوف تتبقى بضعة مللي ثواني قبل أن يواجه المفردة -طبقًا لساعة الرائد-. لكن الآثار المدية ألطف بكثير حول الثقوب السوداء بالغة الضخامة في مراكز المجرات؛ فحتى بعد المرور إلى داخل سطح أحدها، ستتبقى ساعات عدة للاستكشاف المُريح، قبل الاقتراب من المفردة المركزية اقترابًا يسبب إزعاجًا شديدًا 3.

## الثقوب السوداء ذات الحجم الذري

للثقوب السوداء بنية نظرية مذهلة، لكنها لا تقتصر على ذلك فقط، فالأدلة على وجودها بالفعل باتت الآن قوية. إن الثقوب السوداء تتدخل في بعض الظواهر الأشد إثارة للدهشة التي نلاحظها في الكون، وهي النجوم الزائفة Quasars والانبثاق المتفجر Explosive Outbursts.

لا تزال هناك نقاشات قوية حول الطريقة التي تكونت بها الثقوب السوداء بالضبط، لكن لا غموض يحيط بالكيفية التي يمكن أن تكون الجاذبية قد تغلبت بها على كل القوى الأخرى في نجم ميت، أو في سحابة من الغاز في مركز مجرة ما.

تستلزم عمليات التكون هذه أن تكون الثقوب -على الأقل- بحجم نجم؛ لأننا قد رأينا أنه في الكويكبات والكواكب تعجز الجاذبية عن منافسة باقي القوى، ويستطيع فيزيائي -موجود على ظهر كوكب محاط بالسحاب- أن يتنبأ بأنه إذا وُجدت النجوم فعلًا فعلى الأرجح ستوجد الثقوب السوداء ذات الكتلة النجمية.

إن مستوى النجوم -الذي يحدد كتلة الثقب الأسود، الذي من الممكن أن يتكون اليوم فعلًا- ينشأ من توازن بين القوى التجاذبية والقوى الذرية، لكن لا يوجد شيء في نظرية **نيوتن** يحدد كتلة خاصة.

إن الثقوب السوداء مصنوعة من نسيج الفضاء نفسه، وطالما أن الفضاء سلسلة مستمرة مسطحة، فلا شيء سوى القياس البسيط سيحدد ما إذا كان الثقب (بعدما تكون) في حجم الذرة أو النجم، أو كوننا المشاهد.

حتى الثقب الذي بحجم الذرة قد تكون له كتلة جبل؛ حيث إن الثقوب السوداء -على حد تعريفها- تتغلب فيها الجاذبية على كل القوى الباقية، وحتى يتكون ثقب أسود بحجم الذرة يلزم أن تُضغط $10^{36}$ ذرة لتصل إلى أبعاد ذرة واحدة، وهذا المتطلب الحائل شبه المستحيل هو نتيجة أخرى من نتائج ضخامة الرقم الكوني(N)

الذي يقيس ضعف الجاذبية على المستوى الذري.

لكن ماذا عن الثقوب السوداء الأصغر من الذرة؟ هنا يوجد حد نهائي -سنذكره مجددًا في الفصل العاشر-، ينتج عن (الحبوبية الفطرية Inherent Graininess) التي يتسم بها الفضاء في أصغر مستوى.

لو أنّ ثقوبًا سوداء في حجم الذرة قد تكونت، فمن المرجح أنها لم تتكون إلا في الضغوط الهائلة التي سادت في لحظات الكون المبكرة، ولو أنها موجودة بالفعل، فستمثل هذه الثقوب المصغرة (الحلقة المفقودة Missing Link) بين الكون والعالم الميكروي.

# الفصل الرابع
# النجوم والجدول الدوري و(٤)

# النجوم والجدول الدوري و(٤)

«أرى أن عود العُشب ليس إلا من إبداع النجوم».

والت ويتمان Walt Whitman

## النجوم كـ(مفاعلات انصهار نووي)

كم عمر الأرض؟ لقد تحدد الآن -بقياس الذرات المشعة- أنه 4,55 مليار عامًا. لكن الأدلة القوية على عتاقة الأرض كانت تُذكر منذ القرن التاسع عشر، إذ يقيس الجيولوجيون المعدل الذي شكلت به التعرية والترسيب تضاريس الأرض، قدروا أن عمر الأرض لا يقل عن مليار عام، ووافقهم الداروينيون على ذلك بناءً على تخمينهم لعدد الأجيال متدرجة التطور التي يلزم أن تكون قد عاشت قبلنا.

على النقيض، حسب الفيزيائي العظيم لورد **كيلفن** Lord Kelvin أن كل حرارة الشمس الداخلية سوف تتسرب، وتنكمش الشمس في واحد بالمئة فقط من تلك المدة، وبكآبة أكد أنه: «لن يظل سكان الأرض ينعمون بالضوء والحرارة اللازمين لحياتهم لملايين السنوات القادمة، مالم تكن ثمّ مصادر نجهلها الآن تُحضر في مستودع الكون العظيم».

عرّفنا علمُ القرن العشرين أنه بالفعل يوجد مصدر كهذا مخزون في نواة الذرات، والقنابل الهيدروجينية شاهد مخيف على الطاقة الكامنة في النواة.

يمدُّ تحوّلُ الهيدروجين -أبسط الذرات، إذ تتكون نواته من بروتون واحد- إلى الهليوم -ثاني أبسط الذرات ويتكون من بروتونين ونيوترونين- الشمسَ بالوقود. وحتى الآن باءت محاولات تسخير الانصهار كمصدر للطاقة (الانصهار المحكوم Controlled Fusion) بالفشل، بسبب صعوبة الوصول إلى درجة الحرارة المطلوبة التي تبلغ ملايين الدرجات المئوية، والمشكلة الأصعب من ذلك هي تقييد هذا الغاز

فائق الحرارة فيزيائيًا في المختبر -بالطبع سوف يذيب أي وعاء صلب-، ويجب أن يُحبس بدلًا من ذلك بالقوى المغناطيسية. لكن الشمس ضخمة جدًا بما يسمح للجاذبية أن تشد إليها الطبقات العلوية الأبرد، وبهذا «تحافظ على تغطية» اللُب عالي الضغط. لقد عدلت الشمس بنيتها حتى تتولد الطاقة النووية في اللُب وتنتشر للخارج بالمعدل المضبوط اللازم لتعويض الحرارة التي فُقدت من السطح، وهي الحرارة الأساسية للحياة على الأرض.

لقد أبقى هذا الوقود على الشمس متألقة لمدة خمسة مليارات سنة تقريبًا، لكن عندما يبدأ في النفاد بعد خمسة مليارات سنة أخرى أو نحو ذلك، سوف ينكمش لُب الشمس وتتمدد الطبقات الخارجية، وبعد ذلك بمئة مليون سنة -وهي فترة بينية قصيرة مقارنة بعمر الشمس الكلي- سوف تضيء الشمس وتتمدد لتصبح نجمًا من النجوم المسماة (العملاق الأحمر Red Giant)، وتبتلع الكواكب الداخلية وتُبخر أي حياة باقية على الأرض. سوف تنفجر بعض طبقات الشمس الخارجية، لكن حينها سيستقر اللب ليصبح قزمًا أبيض يلمع ببريق أزرق خامد أقل بريقًا من البدر، في البقايا المتحمصة من النظام الشمسي.

لقد استنتج علماء الفيزياء الفلكية بحساباتهم ما هو عليه باطن شمسنا الآن، وتوصلوا إلى ما يتفق بشكل مرضٍ مع نصف قطرها وبريقها وحرارتها.. إلخ. إنهم يستطيعون أن يخبرونا -بكل ثقة- بالظروف السائدة في أعماق باطنها، ويستطيعون بحساباتهم أن يعرفوا كيف ستتطور الشمس على مدار بضعة مليارات السنوات القادمة. من الواضح أنه لا يمكن التحقق من صحة هذه الحسابات مباشرة، لكننا نستطيع أن نراقب النجوم الأخرى الشبيهة بالشمس، والتي تمر بمراحل مختلفة من تطورها الآن. ليس مما يعيقنا ويؤخرنا أننا لا نملك سوى «صورة» واحدة من حياة كل نجم، إذا كنا نملك عينة ضخمة -وُلدت في أوقات متباينة- متاحة للدراسة. وعلى نفس المنوال، لن يلبث كائن مريخي حديث العهد بالأرض كثيرًا حتى يستنتج

دورة الحياة في البشر -أو دورة الحياة في الأشجار- عندما يلاحظ أعدادًا كبيرة منهم في مراحل مختلفة من عمرهم. وحتى بالنسبة للنجوم القريبة؛ فنحن نستطيع أن نتبين أن بعضها لا يزال صغيرًا لا يزيد عمره عن المليون عام، وبعضها اقترب من نهايته، وربما يكون قد ابتلع أي حاشية من الكواكب كان قد امتلكها يومًا ما.

تنبني هذه الاستنتاجات على افتراض أن الذرات وأنويتها واحدة متطابقة في كل مكان. إن رؤية **نيوتن** العبقرية كانت في الربط بين الأدوار التي تقوم بها الجاذبية هنا على الأرض وفي المدارات السماوية، لكنه لم يتحدث إلا عن الحركات في نظامنا الشمسي فقط، وقد استغرق الأمر وقتًا طويلًا حتى أدركنا أن الجاذبية تنطبق على نجوم ومجرات أخرى.

في العصور الغابرة كانوا يعتقدون أن الحيز السماوي مصنوع من مادة خاصة هي (الأثير Quintessence) الأنقى من التراب والهواء والنار والماء، ولم تكن هناك أدنى فكرة عما تتكون منه النجوم، حتى القرن التاسع عشر. بعدها أظهر استخدام المناشير لتفريق الضوء إلى طيف من ألوان مختلفة أن الضوء الآتي من الشمس والنجوم الأخرى يحتوي على نفس الألوان التي تتميز بها الذرات المعروفة على الأرض. لا تختلف مكونات النجوم عن الذرات الموجودة هنا على «حيز ما تحت القمر».

يستطيع علماء الفيزياء الفلكية أن يحسبوا -بنفس سهولة حسابهم تطور الشمس- دورة حياة نجم بنصف كتلة الشمس مثلًا، أو ضعف كتلتها، أو عشرة أضعافها. إن النجوم الصغيرة تحرق وقودها أبطأ، وعلى النقيض فالنجوم الأثقل من الشمس عشر مرات -مثل النجوم الأربعة الزرقاء التي على شكل المنحرف في برج أوريون Orion- تسطع ببريق أقوى بآلاف المرات، وتستهلك وقودها أسرع، عمرها أقصر من الشمس بكثير، وهي تنتهي بطريقة أعنف؛ إذ تنفجر انفجارًا نجميًا Supernova، إنها تسطع لمدة بضعة أسابيع بقوة عدة مليارات من الشموس، وحينما تنفجر طبقاتها الخارجية بسرعة 20,000 كيلومتر في الثانية، تصنع موجة انفجارية

تصطدم بالغاز النجمي المحيط.

في 24 فبراير 1987 كان رائد فضاء كندي اسمه إيان **شيلتون** Ian Shelton ومساعده التشيلي في مرصد لاس كامباناس Las Campanas في شمال تشيلي يقومان بملاحظتهما المعتادة، لكنهما لاحظا لمعانا غريبًا في السماء الجنوبية، ساطعًا بما يكفي ليُرى بالعين المجردة، ولم يكن مرئيًا الليلة السابقة. لقد اتضح أن هذا هو أقرب انفجار نجمي مُشاهد في العصر الحديث، واستُخدمت كل أساليب علم الفلك الحديث في مراقبته خلال الأسابيع القليلة التي بلغ فيها اللمعان ذروته، وفي السنين التالية التي صاحبت خفوته التدريجي، مما سمح باختبار كل النظريات حول هذه الانفجارات الهائلة. إن هذا هو الانفجار النجمي الوحيد الذي يُعرف نجمه النذير Precursor؛ فلقد أظهرت الألواح الفوتوغرافية القديمة نجمًا أزرق ذا عشرين كتلة شمسية تقريبًا في موضع الانفجار.

تمثل الانفجارات النجمية أحداثًا كارثية في حيوات النجوم؛ إذ تتضمن عمليات فيزيائية خطيرة، لهذا ينظر الفلكيون للانفجارات النجمية بانبهار. لكن الفلكيين لا تعدو نسبتهم واحدًا من بين كل عشرة آلاف شخص، فما الأهمية التي تمثلها هذه الانفجارات النجمية البعيدة عن الأرض بآلاف السنين الضوئية لباقي البشر الذين يمارسون حياتهم على الأرض؟ الإجابة المذهلة هي أن هذه الانفجارات ضرورية بالنسبة لبيئة الكل؛ فمن دونها لم نكن لنوجد. لقد صنعت الانفجارات النجمية «خليط» الذرات الذي تتكون منه الأرض، والذي تنبني منه كيمياء الحياة المعقدة. منذ عهد **داروين** ونحن نعرف التطور والانتقاء الذي سبق ظهورنا، ونعرف العلاقات التي تربطنا بباقي أفراد المحيط الحيوي، والآن يتتبع الفلكيون أصل أرضنا إلى النجوم التي ماتت قبل تكون النظام الشمسي، وهذه النجوم العتيقة هي التي صنعت الذرات التي منها نتكون نحن وكوكبنا.

## خيمياء النجوم[1]

في الطبيعة توجد الذرات على اثنين وتسعين نوعًا، ممثلين في (الجدول الدوري)، ويعتمد موضع كل ذرة في الجدول على عدد البروتونات في نواتها. يبدأ الجدول بذرة الهيدروجين في الرقم 1، ويتدرج وصولًا لليورانيوم في الرقم 92. لا تقتصر أنوية الذرات على البروتونات فقط، بل توجد فيها أيضًا جزيئات من نوع آخر تسمى النيوترونات، وهذه تزن أكثر بقليل من البروتون لكنها لا تملك شحنة كهربية. يمكن لذرات بعض العناصر أن توجد في حالات متباينة تعرف بالنظائر Isotopes، وفي هذه يختلف عدد النيوترونات، مثلًا الكربون هو رقم 6 في الجدول الدوري، وفي نواته ستة بروتونات، والنظير الأكثر شيوعًا منه المعروف بكاربون 12 (C12) يحتوي على ستة نيوترونات أيضًا، لكن له نظائر تحتوي على سبعة أو ثمانية نيوترونات، تُعرف بكاربون 13 (C13)، وكاربون 14 (C14) على الترتيب.

اليورانيوم هو أثقل العناصر الموجودة في الطبيعة، ولقد صُنعت في المعامل أنوية أثقل منه تصل شحناتها إلى 114 بروتون، وهذه العناصر شديدة الثقل عرضة للانشطار، وبعضها -مثل البلوتونيام رقم 94 في الجدول- يصل عمرها لآلاف الأعوام، تلك العناصر ذات الأرقام الأكبر من 100 يُمكن تصنيعها في التجارب التي تصدم الأنوية ببعضها، لكنها تتحلل بعد فترة وجيزة.

عندما يتحول كل الهيدروجين المركزي في نجم كبير إلى هليوم -عنصر رقم2 - فإن اللُب يُجذب إلى الداخل، ويُعتصر ويسخن، إلى أن يستطيع الهليوم نفسه أن يتفاعل، ولأن أنوية الهليوم لديها ضعف الشحنة الكهربية في أنوية الهيدروجين، فإنها تحتاج إلى أن تتصادم بشكل أسرع حتى تتغلب على القوى الكهربية الأشرس من تلك

(1) يشير الكاتب إلى فكرة الخيمياء التي كان يؤمن بها الكيميائيون في العصور الوسطى وما قبلها، وهي تقوم على الاعتقاد بإمكانية تحويل العناصر الرخيصة إلى أخرى ثمينة مثل الذهب بعمليات معقدة، وهي فكرة نسفها العلم الحديث تمامًا. (المترجم)

الموجودة في الهيدروجين، وهذا يتطلب درجة حرارة أعلى. حينما يُستهلك الهليوم نفسه ينكمش النجم ويسخن أكثر وأكثر، وبينما لا يصل لب النجوم أمثال الشمس إلى درجة الحرارة الكافية للسماح بتطور هذه التحولات وتقدمها، فإن مراكز النجوم الأثقل -حيث الجاذبية أقوى بكثير- تصل إلى مليار درجة مئوية، وتطلق الطاقة الإضافية من خلال بناء كربون ذي ستة بروتونات، ثم من خلال سلسلة من التحولات تنتج الأنوية متزايدة الثقل، مثل الأكسجين والنيون والصوديوم والسليكون.. إلخ. وتعتمد كمية الطاقة المتحررة عندما تتكون نواة ما على التنافس بين القوة النووية التي تلصق بروتوناتها ونيوتروناتها المكونة للنواة ببعضها من ناحية، في مواجهة الآثار المدمرة للقوى الكهربية بين البروتونات من ناحية أخرى.

إن نواة الحديد ذات الستة وعشرين بروتونًا لأشد التصاقًا ببعضها من أي نواة أخرى، ويلزم أن تضاف الطاقة حتى تُبنى أنوية أثقل من ذلك، بدلًا من أن تطلق الطاقة وتتحرر. هكذا يواجه النجم أزمة في الطاقة عندما يتحول لُبه إلى حديد.

والعواقب وخيمة، فبمجرد أن يتجاوز اللب الحديدي حجمًا حدّيًا -حوالي 1,4 كتلة شمسية- تكسب الجاذبية المعركة، وينفجر اللب للداخل، فيصغر وصولًا إلى حجم نجم نيوتروني، ويطلق طاقة كافية لتفجير المادة العلوية في انفجار هائل، مما يصنع الانفجار النجمي.

بجانب ذلك، فإن تلك المادة قد اكتسبت -خلال هذه العملية- بنية شبيهة بقشرة البصلة؛ فلا يزال الهيدروجين والهليوم يستعران في المناطق الخارجية بينما الطبقات الداخلية الأكثر سخونة قد ارتقت مزيدًا من درجات سلم الجدول الدوري، ويحتوي الحطام المقذوف للفضاء هذا المزيج من العناصر، والأكسجين أكثرها شيوعًا، ثم يتبعه الكربون، فالنيتروجين فالسليكون فالحديد. وتتفق النسب المحسوبة -عندما نأخذ في الاعتبار كل أنواع النجوم والطرق التطورية المختلفة التي اتبعتها- مع تلك المشاهدة على الأرض.

الحديد هو العنصر السادس والعشرون في الجدول الدوري، وللوهلة الأولى قد يبدو أن الذرات الأثقل قد تمثل مشكلة لأنها تحتاج اكتسابًا للطاقة حتى تُصنع، لكن (الحرارة العالية في الانهيار، والموجة الانفجارية التي تفجر الطبقات الخارجية) كليهما ينتجان مقدارًا ضئيلًا من باقي عناصر الجدول الدوري، وصولًا إلى اليورانيوم في الرقم 92.

## النظام البيئي المجرّي

تكونت النجوم الأولى منذ حوالي عشرة مليار سنة من المادة الأولية التي تكونت من أبسط الذرات فقط، بلا كربون ولا أكسجين ولا حديد، لا ريب أن الكيمياء حينها كانت مادة مملة جدًا، وقطعًا لم تكن هناك أيّة كواكب حول تلك النجوم الأولى. قبل أن تتكون شمسنا أصلًا، يُحتمل أن تكون عدة أجيال من النجوم الثقيلة قد مرت بكامل فترة حياتها، وحولت الهيدروجين النقي إلى أحجار البناء الأساسية للحياة، وقذفتها إلى الفضاء عبر الرياح القوية أو الانفجارات. وجدت بعض تلك الذرات نفسها في سحابة بين نجمية، تمثل سديم أوريون Orion Nebula، حيث تكثف نجم جديد -منذ حوالي 5 , 4 مليار سنة- مُحاط بقرص غازي مُغبر، وأصبحت الذرات نظامنا الشمسي.

لماذا الكربون والأكسجين شائعان هكذا على الأرض بينما الذهب واليورانيوم شحيحان؟ الإجابة تتعلق بالنجوم التي انفجرت قبل تكون شمسنا. إن الأرض- ونحن أنفسنا- لرماد تلك النجوم العتيقة، ومجرتنا نظام بيئي يعيد تدوير الذرات مرارًا بين أجيال النجوم.

ذرات الكربون والأكسجين والحديد في النظام الشمسي هي البقايا الحفرية من السحابة المغبرة التي تكونت الذرات منها منذ 5 , 4 مليار سنة؛ فلقد صُنعت على أيدي النجوم الثقيلة التي قد طردت الحطام المعالَج أصلًا قبل ذلك الحين. شكلت تلك (الملوثات) ما لا يزيد عن2 ٪ من الكتلة، وظل الهيدروجين والهليوم هما الذرتان السائدتان بلا مبارز. لكن الذرات الثقيلة ممثلة بزيادة على الأرض؛ لأن

الهيدروجين والهليوم غازان متطايران هربا من كل الكواكب القريبة من الشمس، بينما على النقيض يتكون كوكب المشتري العملاق -كما عليه الحال في الشمس- من الهيدروجين والهليوم بالدرجة الأولى، لقد تكون المشترى من الجزء الخارجي الأبرد من القرص الذي أحاط بالشمس حديثة التكون، وكانت جاذبية المشترى كفيلة بالحفاظ على تلك الذرات الخفيفة.

كانت النجوم الأقدم من الشمس ستتشكل قبل أن تتعرض مجرتنا لكل هذا (التلوث)؛ بالتالي ستفتقد سطوحها العناصر الثقيلة إذا ما قورنت بالشمس. إن لضوء النجوم Starlight طيفًا معقدًا، فيه يترك كل نوع من الذرات مجموعة مميزة من الألوان -على سبيل المثال، عودتنا الإشارات على لون الصوديوم الأصفر، واللون الأزرق المميز لبخار الزئبق-.

كل الذرات الثقيلة أقل وفرة في النجوم الأقدم؛ مما يدعم هذا التصور العام للتاريخ المجري. وعلى النقيض، فإن الهليوم موفور بكثرة حتى في النجوم الأقدم، والسبب وراء ذلك -وهو ما سنناقشه في الفصل القادم- يعيدنا إلى تلك الدقائق المعدودة التي تلت الانفجار الكبير.

## الكفاءة النووية ($\varepsilon = 0.007$)

تفسير نسب الذرات المختلفة -وإدراك أن الخالق لم يحتج إلى أن يخلق الاثنين وتسعين نوعًا مختلفًا- هو نصر عظيم للفيزياء الفلكية، مع أن بعض التفاصيل لا تزال مبهمة، إلا أن جوهر الأمر يقوم على رقم واحد فقط، وهو شدة القوة التي تربط الجزيئات (البروتونات والنيوترونات) التي تكون النواة الذرية ببعضها.

تخبرنا معادلة **أينشتاين** الشهيرة $E = Mc^2$ أن الكتلة (M) ترتبط بالطاقة (E) من خلال سرعة الضوء (C)؛ وهكذا تكون لسرعة الضوء أهمية بالغة، فهي تحدد (معامل التحويل Conversion Factor)، وتخبرنا بمقدار الطاقة الذي يساويه كيلوغرام من المادة. الطريقة الوحيدة لتحويل الكتلة كاملة بنسبة100 ٪ إلى طاقة هي بوضعها مع كتلة مساوية من

(المادة المضادة Antimatter)، التي لا توجد بكثرة في أي مكان من مجرتنا -وهذا لحسن الحظ، مما يضمن بقاءنا على قيد الحياة-، إن كيلوغرامًا واحدًا من المادة المضادة سوف ينتج طاقة كالتي تنتجها محطة توليد كهرباء عملاقة طوال عشر سنين.

لكن الوقود المعتاد مثل البنزين أو المتفجرات مثل الـTNT لا يطلق أكثر من نحو جزء واحد من مليار جزء من (طاقة كتلة السكون Rest Mass Energy)؛ إذ تحدث بداخل هذه المواد عمليات كيميائية لا تغير في أنوية الذرات، وإنما تقتصر على تغيير مدارات الإلكترونات والروابط بين الذرات.

وعلى النقيض، فإن قوة الاندماج النووي رائعة جدًا؛ لأنها أكفأ بملايين المرات من أي انفجار كيميائي. إن نواة ذرة الهليوم تزن 99,3 ٪ من وزن البروتونين والنيوترونين اللذين يصنعونها، ونسبة 0,7 ٪ المتبقية تُطلق على هيئة حرارة في الأغلب؛ وهكذا يحول الوقود الذي يؤجج الشمس -أي غاز الهيدروجين الموجود في لب الشمس- ٪0,007 من كتلته إلى طاقة عندما يندمج مع الهليوم. إن هذا الرقم ε بالتحديد هو الذي يحدد كم تعيش النجوم. لا تنتج التحولات التالية للهليوم طوال طريقه إلى الحديد إلا 0,001 أخرى؛ ولهذا تكون الفترات التالية والأخيرة في حيوات النجوم قصيرة نسبيًا، بل هي أقصر من ذلك؛ لأنه في أسخن ألباب النجوم تتسرب الطاقة الزائدة متخفية في النيوترينوات Neutrinos.

تتوقف كمية الطاقة الناتجة من اندماج ذرتين بسيطتين على شدة القوة التي تمسك مكونات كل نواة ذرة ببعضها، وهذه القوة تختلف عن القوتين اللتين تحدثت عنهما من قبل -أي الجاذبية والكهرباء-؛ لأنها لا تعمل إلا في مسافة قريبة، وهي غير فعالة إلا عند أحجام مثل النواة الذرية. إننا لا نشعر بها مباشرة، بعكس ما نشعر به من قوى كهربية وتجاذبية. لكن داخل النواة الذرية تمسك هذه القوة بالبروتونات والنيوترونات معًا بقوة كافية لمقاومة التنافر الكهربي، الذي إن لم يقاوم قد يتسبب في انفجار النواة بفعل تنافر البروتونات، والفيزيائيون يسمون هذه القوة (التآثر القوي Strong Interaction).

هذه القوة الشديدة -صاحبة السيادة في العالم الميكروي- تمسك البروتونات في الهليوم والأنوية الأثقل بثبات شديد، لدرجة أن الاندماج أصبح مصدراً قويًا للطاقة، بما يكفي لتوفير الدفء المطول الآتي من الشمس، وهو ما كان يتطلبه ظهورنا للحياة. لولا الطاقة النووية لتضاءلت الشمس في غضون نحو عشرة ملايين سنة، كما لاحظ ذلك كيلفن منذ قرن. ولأن هذه القوة لا تعمل إلا في مسافات قريبة، فإن كفاءتها تتناقص في الأنوية الأكبر والأضخم؛ لهذا تصبح الأنوية الأثقل من الحديد أضعف في ارتباطها ببعضها بدلًا من أن يتزايد تماسكها.

## ضبط (ε)

القوى النووية هامة بالتأكيد، لكن ما أهمية أن تكون قوتها محددة؟ ماذا سيتغير لو كانت (ε) تساوي -مثلًا- 0.006 أو 0.008 بدلًا من 0.007؟ للوهلة الأولى قد يظن المرء أنه لن يتغير الكثير. لو كانت (ε) أصغر لقلت كفاءة الهيدروجين كوقود، ولما عاشت الشمس والنجوم لهذه الفترات الطويلة، لكن هذا في حد ذاته ليس خطيرًا؛ فعلى كل حال نحن موجودون هنا بالفعل، والشمس لم تتخطَ بعدُ نصف حياتها. لكن اتضح أن هناك آثارًا دقيقة تتأثر بحساسية بهذا الرقم، وهي تتعلق بعملية التصنيع التي تحول الهيدروجين إلى باقي عناصر الجدول الدوري.

إن الحلقة الأولى الهامة في هذه السلسلة -بناء الهليوم من الهيدروجين- تعتمد بحساسية على شدة قوة (التآثر القوي) النووية. إن نواة الهليوم تحتوي على بروتونين ونيوترونين أيضًا، وبدلًا من أن تتجمع الجزيئات الأربعة في خطوة واحدة، تُبنى نواة الهليوم على مدار مراحل من خلال الديوتريوم (الهيدروجين الثقيل) الذي يضم بروتوناً ونيوتروناً.

لو كان (الغراء) النووي ضعيفًا وكانت (ε)0,006 بدلًا من 0,007، فلن يمكن ربط البروتون بالنيوترون، وسيكون الديوتريوم غير مستقر؛ وهكذا سيُسدّ الطريق إلى

تكوين الهليوم. حينها سيكون عندنا كون بسيط مكون من الهيدروجين، الذي تتكون ذرته من بروتون واحد يطوف به إلكترون واحد، ولن تكون هناك كيمياء.

في ذلك الكون لا يزال ممكنًا أن تتكون النجوم -لو لم يتغير أي شيء آخر-، لكن لن يكون لديها أي وقود نووي، وستذوى وتبرد وينتهي بها المطاف إلى رفات ميتة، ولن تكون هناك أيّة انفجارات تقذف بالحطام إلى الفضاء حتى تتكون منه النجوم الجديدة، ولن توجد أي عناصر من تلك القادرة على تكوين الكواكب الصخرية.

في النظرة الأولى، قد يخمن المرء من هذا الاستنباط أن زيادة القوة النووية كانت لتكون في صالح الحياة؛ بجعلها الاندماج النووي أكثر كفاءة، لكننا لم نكن لنوجد لو كانت (ε) أكثر من 0 , 008؛ لأن الهيدروجين لن يبقى من بعد الانفجار الكبير. في كوننا الحقيقي يتنافر أي بروتونين بشدة، لدرجة أن قوة (التآثر القوي) لا تستطيع أن تربطهما ببعضهما دون مساعدة نيوترون واحد أو نيوترونين، لأن النيوترون يزيد من (الغراء) النووي، لكن لأنه غير مشحون فلا يُحدث تنافرًا إضافيًا.

لو كانت (ε)0 , 008، لاستطاع أي بروتونين أن يلتحما ببعضهما مباشرة، وهذا كان سيحدث بسهولة في الكون الأولي، ولم يكن ليبقَ أي هيدروجين ليوفر الوقود في النجوم العادية، ولما تكون الماء.

لذا يتطلب أي كون ذي كيمياء معقدة أن تكون (ε) بين 0.008-0.006، ولا تزال هناك بعض التفاصيل المحددة أكثر حساسية. اكتشف المنظر الإنكليزي فريد هويل Fred Hoyle بالصدفة أشهر مثال على (الضبط الدقيق Fine Tuning) عندما كان يحسب بالضبط كيف يُصنع الكربون والأكسجين في النجوم، إن الكربون -ذا الستة بروتونات والستة نيوترونات- يتكون من دمج ثلاث أنوية هليوم معًا، وفرصة اندماج الثلاثة معًا في آن واحد شبه معدومة؛ لهذا تتم العملية عن طريق مرحلة وسطية؛ فيها تندمج نواتا هليوم لتصنعا بيريليوم Beryllium -ذا أربعة بروتونات وأربعة نيوترونات- قبل أن تندمج النواة الجديدة مع نواة هليوم أخرى ليتكون الكربون.

واجهت **هويل** مشكلة أن نواة البريليوم هذه غير مستقرة، وسوف تتحلل سريعًا، مما سيجعل فرصة أن تلتصق بها نواة هليوم أخرى قبل أن تتحلل ضئيلة للغاية، إذن كيف يمكن أن يظهر الكربون؟

لقد اتضح أن لنواة الكربون خاصية مميزة، وهي وجود (رنين Resonance) ذي طاقة محددة بالضبط، وهذا الرنين يزيد من فرصة أن تمسك نواة البريليوم بنواة هليوم أخرى في الفترة القصيرة التي تسبق تحللها. لقد تنبأ هويل أن هذا الرنين سيكون موجودًا، وحث زملاءه من المجربين أن يقيسوه، ولقد اتضح أنه على صواب في النهاية. هذه الخاصية التي تبدو كأنها (حادثة غير مقصودة) في الفيزياء النووية تسمح ببناء الكربون، لكن لا يوجد تأثير مشابه يساعد الخطوة التالية، في العملية التي فيها يأسر الكربون نواة هليوم أخرى ويتحول إلى أكسجين. إن هذا (الرنين) الهام حساس جدًا للقوة النووية، ويكفي تحول بنسبة 4 ٪ لأنْ تقل جدًا كمية الكربون التي يمكن أن تُصنع. من ثم قرر **هويل** أنه لو تغيرت قيمة (ε) ولو بنسبة مئوية صغيرة لتعرض وجودنا للخطر.1

بغض النظر عن كيفية تكون العناصر، فإن أي تغير في (ε) سيؤثر على طول الجدول الدوري؛ فلو كانت القوة النووية أضعف لحركت النواة الأشد ارتباطًا ببعضها -وهي الحديد رقم 26 في جدولنا الفعلي- إلى أسفل الجدول الدوري، ولقللت عدد الذرات المستقرة عن اثنين وتسعين، وهذا سيقود إلى كيمياء فقيرة. وعلى العكس فزيادة (ε) كانت ستزيد من استقرار الذرات الثقيلة.

للوهلة الأولى يبدو أن (قائمة) أطول من ذرات مختلفة وفيرة سوف يمهد الطريق إلى كيمياء أكثر إثارة وتنوعًا، لكن الأمر ليس بهذا الوضوح والبساطة إطلاقًا، فمثلًا لن تُثرى اللغة الإنكليزية بشكل مهم لو كانت في الأبجدية حروف أكثر، وبالمثل فإنه يمكن للجزيئات المعقدة أن توجد في تنويعات لا حصر لها بالرغم من أنه ليس هناك إلا عدد قليل نسبيًا من العناصر الموفورة. لولا الأكسجين رقم 8 والحديد رقم

26 لكانت الكيمياء أكثر مللًا، ولما وجدت الجزيئات المعقدة اللازمة للحياة، وهذا آكد بكثير في حالة لو كان الكربون رقم 6 شحيحًا، لكن لن يُضاف الكثير لو زاد عدد العناصر الموفورة، أو لو كانت عندنا بضعة عناصر مستقرة زيادة عن الاثنين وتسعين الموجودين لدينا الآن.

سوف يعتمد خليط العناصر الفعلي على (ε)، لكن المذهل هو أنه ما كان ليوجد محيط حيوي قائم على الكربون لو كان هذا الرقم 0,006 أو 0,008 بدلًا من 0,007.

# الفصل الخامس

# بيتنا الكوني 2

## «ما وراء المجرة»

# بيتنا الكوني 2
# «ما وراء المجرة»

**«التلسكوب: (اسم) جهاز مستخدم، له علاقة بالعين كعلاقة الهاتف بالأذن، يمكن للأغراض البعيدة من أن تغمرنا بتفاصيلها التافهة».**

أمبروس بريس Ambrose Bierce

## الكون المجَرّي

أسلفت وصفَ تكوين ذرات الجدول الدوري، وأننا غبار نجمي -أو قُلْ بلغة أقل رومانسية (بقايا نووية)- من الوقود الذي أشعت به النجوم. تعتمد هذه العمليات على شدة (القوى النووية) الرابطة للبروتونات والنيوترونات ضمن هذه الأنوية، تقاس من خلال الرقم الكوني ($\varepsilon = 0.007$) الذي يشير إلى نسبة الطاقة المحررة أثناء الاندماج الهيدروجيني لتشكيل الهيليوم. ولكن من أين أتت البروتونات وذرات الهيدروجين في المقام الأول، وكيف تجمعت المادة الأولية لتشكل المجرات الأُول والنجوم؟ للإجابة على هذه الأسئلة، علينا توسيع آفاقنا في الزمان والمكان، لتسع العالم خارج المجرات، ولِنعد إلى الحقبة السابقة لولادة النجوم الأولى. سنواجه أعدادًا أخرى تصف الكون بأكمله، وسنكتشف اعتماد الانبثاق الكوني على تلك الأعداد دقيقة الضبط.

تتكتل النجوم في المجرات وهي الوحدة الأساسية المكونة للكون، كوننا النموذجي، هناك مئة مليار نجم تقبع في القرص الذي يدور حول (نتوء) داخلي أكثر إشعاعًا، وهناك تكون النجوم أقرب من بعضها من المتوسط. يتوارى في المركز تمامًا ثقب أسود ذو كتلة تبلغ حوالي 2.5 مليون شمس، ويستغرق الإشعاع الضوئي

حوالي 25000 سنة ليصل إلينا من مركز المجرة، فنحن على الأرض نبعد تقريبًا عن المركز أكثر من نصف المسافة الفاصلة بين المركز وحافة القرص. من موقع شمسنا، تبدو النجوم في القرص مركزة في حزمة تعبر السماء، تعرف لنا باسم درب التبانة Milky Way. تستغرق النجوم النموذجية أكثر من مئات الملايين من السنين لكي تكمل دورة واحدة حول مركز المجرة، والتي تسمى أحيانًا بالسنة المجرّية.

**أندروميدا**، أقرب المجرات المهمة إلينا في الفضاء، تبعد حوالي مليوني سنة ضوئية. ستبدو مجرتنا بالنسبة لفلكي على كوكب يدور حول أحد نجوم أندروميدا هي الأخرى كما تبدو لنا أندروميدا؛ قرصاً، يبدو مائلًا، مكوناً من النجوم ومن الغازات التي تدور حول محور مركزي.

هناك ملايين المجرات الأخرى المرئية لنا بالتلسكوبات الكبيرة، لكن ليست كلها على شكل قرص، فهناك صنف آخر مهم يدعى (المجرات الإهليلجية elliptical galaxies)، والتي لا تكون فيها النجوم مرتبة في قرص، بل تزدحم في شكل مدارات أكثر عشوائية، يشعر كل منها بشد جاذبية الآخر له.

لكن المجرات ليست متناثرة في الفضاء بشكل عشوائي، فمعظمها يكون بشكل عنقودي، أو بشكل مجموعات مترابطة مع بعضها بواسطة الجاذبية. وتضم مجموعتنا المحلية، على امتداد عدة مئات ملايين السنين الضوئية، **درب التبانة وأندروميدا**، مع 34 مجرة مشابهة -كان هذا في الإحصاء الأخير، على الأقل، حيث أن بعضها خافت الضوء جدًا، وما زلنا نكتشف أعضاءً صغيرة ضمن هذه المجموعة المحلية-.

تجذب الجاذبية أندروميدا نحونا بسرعة 100 كم/ث، خلال 5مليارات عام ستتصادم المجرتان القرصيتان، واصطدام كهذا أمر روتيني ضمن أحداث الكون؛ حيث نرى في الفضاء العميق العديدَ من المجرات الأخرى وهي تتصادم مع بعضها البعض.

المجرات شديدة التبعثر، والنجوم متناثرة جداً، وارتطام نجمين مفردين أمر نادر جداً -هذا صحيح في الأنظمة الشمسية المجاورة، لأن أقرب نجم لنا يبدو كنقطة ضوء خافتة-.

حتى عندما تتصادم مجرتان وتتحدان، سيحصل هناك عدد قليل جدًا من التصادمات النجمية، كل الذي سيحدث هو استشعار كل نجم قوى الجاذبية المتراكمة عن مكنونات المجرة الأخرى. ستتشوه المدارات إلى حد كبير، وستنتهي النجوم في سرب فوضوي واحدٍ، بدلاً من قرصين منفصلين، وهذا بالطبع تمامًا ما نسميه المجرة ذات المظهر الإهليلجي، وأظن -بالرغم من أن هذه القضية محل نزاع- أن المجرات الإهليلجية الكبيرة قد تشكلت عبر الاندماج.

## نسيج كوننا: الشبكة الكونية

تقبع مجموعتنا المحلية على حافة عنقود برج العذراء Virgo، وهو أرخبيل من عديد مئات المجرات، تقع نواته على بعد 50 مليون عام ضوئي تقريباً، وتنتظم العناقيد نفسها والمجموعات في تكتلات أكبر، يدعى أقربها لنا بـ(السور العظيم Great Wall)، وهو منظومة شبيهة بالصفيحة، مكونة من مجرات تبعد عنا حوالي 200 مليون سنة ضوئية، ويعد الأبرز من بين تلك الهيئات العملاقة.

هنالك تكتل آخر اسمه (الجاذب العظيم)، وهو يبدي قوى جاذبة تجذبنا وكامل عنقود العذراء أيضاً، بسرعة عدة مئات من الكيلومترات في الثانية.

العديد من الظواهر في الطبيعة -المعالم الجبلية، الشطآن، الأشجار، الأوعية الدموية.. وهلم جر- هي أنماط (كسرانية Fractals)، والنمط الكسراني fractal نمط ذو صفة رياضية مميزة؛ هي أن الأجزاء الصغيرة، عندما تكبّر، تماثل الكينونة الأم. إن كان كوننا كذلك، واحتوى على عناقيد العناقيد إلى لانهاية ad infinitum، فعندئذ مهما سبرت عمق الفضاء، ومهما كبرت المساحة المفحوصة، ستبقى المجرات تبدي توزعًا رقعيًا، من خلال فحص أعمق وأعمق كل ما نفعله ببساطة الاعتيان بشكل أكبر وأكبر في التسلسل العنقودي.

لكن لا يبدو كوننا هكذا؛ إذ تكشف التلسكوبات القوية عن مجرات تبعد عدة مليارات من السنين الضوئية، وضمن حجم البعد ذاك، رسم العلماء خرائط لعدد من

العناقيد الشبيهة بالعذراء، ومظاهر أكثر كالسور العظيم، لكن المسح الأكثر عمقًا لا يكشف عن أي مظاهر واضحة على مقاييس أكبر من ذلك؛ إذ يقول الفلكي من جامعة هارفرد (روبرت كيرشنر Robert Kirshner): لقد وصلنا إلى «نهاية العظمة».

صندوق حجمه 200 مليون سنة ضوئية -وهي مسافة تظل مع ذلك صغيرة إذا ما قورنت بالأفق المعروف لنا، والذي يصل بعده عنا إلى 10 مليارات سنة ضوئية- واسعٌ بما فيه الكفاية لكي يأوي البنى الأعظم، ويحتوي على عينة وافية عن كوننا. وأيًا يكن وضعه، فإن صندوقًا كهذا سيحتوي على ذات العدد تقريبًا من المجرات المتجمعة بطريقة مشابهة إحصائيًا للعناقيد، والبنى الخيطية.. إلخ، إلا أن التراتبية العنقودية باتجاه نطاقات متوسعة لا تستمر إلى اللانهاية.

فكوننا ليس بتلك الكسرية البسيطة، وفوق ذلك فإن (مقياس الصقل Smoothing Scale) صغير إذا ما قورن بالمسافات العظيمة التي يمكن لتلسكوباتنا سبرها.

خذ تلك المحاكاة للتوضيح، تخيل أنك على متن قارب في وسط المحيط، وأن نمطًا معقدًا من الأمواج يحيط بك، يمتد إلى أفق نظرك، إلا أنك قادر على دراسة الإحصائيات المتعلقة بالأمواج؛ لأن مجال رؤيتك يمتد بما فيه الكفاية ليشمل العديد منها، حتى أعظم الأمواج في المحيط أصغر بكثير من المسافة الموجودة في الأفق، وتستطيع بمخيلتك تقسيم ما تستطيع رؤيته إلى عدد من اللطخ المنفصلة، كل واحدة منها كبيرة بما فيه الكفاية لكي تكون عينة وافية.

هنالك تباين في الموقف هنا بين المعلم البحري والمعلم البري: إذ تسيطر قمة أرضية واحدة في الأراضي الجبلية على الأفق بأكمله، ولن تحصل على المتوسطات الصحيحة كما كنت ستفعل في المعلم البحري. بالفعل يمكن للمعالم أن تكون شبيهة بالنظام الكسري؛ فرياضيات الكسريات تستخدم في برامج الأنظمة التصويرية المحوسبة لكي تعرض لنا صور المعالم في الأفلام.

تشمل الأنظمة الكونية مجالًا واسعًا من الأبعاد؛ النجوم، المجرات، العناقيد، والعناقيد الضخمة. على مقياس يبلغ أقل من 1/300 من الأفق، يتباين تركيز المجرات بمعامل أكثر من 2، من مكان لمكان. على مقاييس أكبر، نجد نقصًا في التأرجح -رغم وجود قلة من المظاهر الجلية كالجاذب العظيم-.

تعد العناقيد الضخمة للمجرات -مقارنة مع مثال المحيط- مشابهة لأطول الموجات الجلية لنا، وسنرى في الفصل الثامن اعتماد ذلك المقياس على رقم كوني مفرد؛ حيث ترك (Q) بصمة في الكون الأولي، ويمكن تعقبه في أجنة العناقيد والعناقيد الضخمة -بنى تمتد إلى ملايين السنين الضوئية على امتداد السماء- إلى الزمن الذي كان فيه كامل الكون ذا حجم مجهري. ربما يكون هذا الرابط الأكثر إذهالاً بين فضاء الكون الخارجي والفضاء الداخلي للعالم الميكروي.

ربما يظن المرء في البدء أن النسيج الكوني على تلك المقاييس الكبيرة منفصل عن موطننا المحلي المسكون ضمن النظام الشمسي، وربما لا يبدو للأمر أهمية سواء احتوت المجرة على كوادرليون -وهو رقم ضخم- نجم أو مليون نجم، فضلاً عن المئة مليون نجم التي نشاهدها، ولا يهمنا إذا ما كان يمتد ليشكل عنقودًا يحتوي على ملايين المجرات بدلًا من عدة مجرات، لكن كونًا أكثر وعورة من كوننا لن يستضيف النجوم والكواكب. وعلى النقيض، فكونٌ أكثر سلاسة سيكون أكثر مللاً؛ لا مجرات ولا نجوم تتشكل، وكل المادة متبعثرة كطبقة رقيقة عديمة الشكل.

سيكون هذا محور الفصل الثامن، لكن للحظة، يمكننا أن نلاحظ تعاقبًا دوريًا لانسجام على المقياس الكبير، وهذا ما يجعل من علم الكون ممكنًا، من خلال السماح لنا بتحديد الخواص المتوسطة لكوننا؛ ديموغرافيا المجرات، الإحصاءات والعناقيد.. وهلم جر.

بغض النظر عن المجرات والعناقيد، لايزال من المفيد التفكير حول الخواص المسهلة للكون، تمامًا كما يمكننا وصف الأرض بأنها (مكورة)، بغض النظر عن

الطبوغرافيا المعقدة لجبالها وأعماق محيطاتها.

على أية حال، لن يكون من المفيد وصف الأرض بالـ«مكورة بشكل أساسي»، إن كانت جبالٌ بارتفاع آلاف الكيلومترات تشغلُ بعضها.

والأكثر من ذلك أهمية، يمكننا السؤال بكل أحقية فيما إذا كان كوننا بأكمله ساكنًا، أم يتوسع، أم أنه يتقلص؟

## الاتساع

تشكل المجرات الوحدات البنائية للكون، ومن خلال دراسة الضوء القادم منها يمكننا استنتاج كيفية حركتها. تبدو مئات المليارات من النجوم في مجرة تقليدية وخافتة جدًا، ولا يمكن للمرء رؤيتها بعينه المجردة، تسجل التلسكوبات كامل الضوء من العديد من النجوم بصورة يشوش بعضها على بعض، ويمكن تحليل هذا الضوء إلى طيف، كما علمنا كيف يمكن للضوء القادم من نجم واحد أن يكشف سرعة اتجاهه إلينا أو ابتعاده عنا، وكيف يمكن للمقاييس المتكررة أن تلتقط الحركة التذبذبية الدقيقة المحرضة بالكواكب الدوارة. بالمثل، يكشف الطيف لكامل المجرة عن سرعة حركتها، إما باتجاهنا -انزياحًا نحو المجال الأزرق من الطيف-، أو مبتعدة عنا -انزياحًا نحو المجال الأحمر-.

ربما تكون أكثر الحقائق أهمية حول الكون هي أن الضوء من جميع المجرات البعيدة ينزاح باتجاه المجال الأحمر، تبتعد جميعها عنا -باستثناء القليل من المجرات القريبة في ذات عنقودنا-. وفوق ذلك، فإن الانزياح الأحمر redshif (مقياس سرعة التباعد) أكبر بالنسبة للمجرات الأكثر بعدًا عنا. يبدو لنا أننا في كون متوسع؛ حيث تتجه العناقيد إلى الانفصال بشكل أكبر -انفصال أكثر رقة عبر الفضاء- مع مرور الزمن.

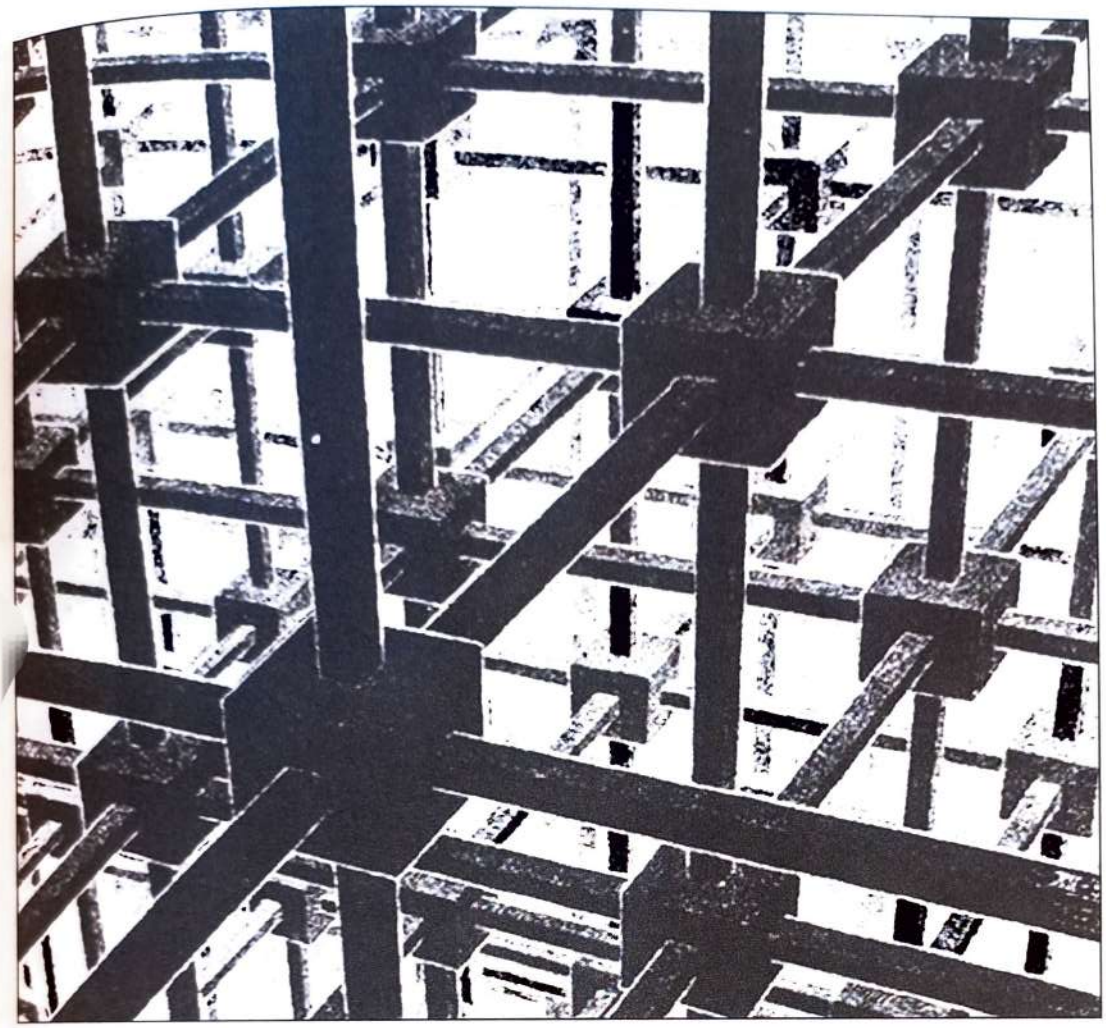
سميت العلاقة البسيطة بين الانزياح الأحمر والمسافة باسم (Edwin Hubble)،

الذي اقترح وجود هذا القانون في العام 1929، وسيشهد المراقبون للمجرات الأخرى توسعًا مماثلًا في المسافة الفاصلة بين بعضها البعض، يؤثر التوسع بطريقة (الفرشاة العريضة broad-brush)؛ فالمجرات المفردة -وحتى عناقيد المجرات- لا تتوسع بحد ذاتها، ومع ذلك سيؤثر التوسع ولو بشكل أقل على أي شيء محلي، كنظامنا الشمسي.

تخيل M. C. Escher أن القضبان المرسومة في الشكل (1-5) تتطاول بذات المعدل، ويمكن لأي مراقب على الذروة أن يراها تتباعد بسرعات تعتمد على مقدار القضبان المعترضة الموجودة. بعبارة أخرى، ستبدو سرعة الابتعاد للذرى الأخرى متناسبة مع مسافاتها، فالمجرات ليست شبيكة منتظمة -فهي في مجموعات أو عناقيد كما ذكر سابقاً-، مع ذلك يمكنها أن تتوسع من خلال تخيل أن العناقيد المجرية مرتبطة ببعضها بواسطة قضبان تتطاول بذات المعدل.

ما من شيء خاص في الذرى التي في الصورة، وبالمثل ما من شيء خاص حول موقع مجرتنا في الكون. فبالرغم من أن مجرتنا تموضعت بشكل عشوائي، إلا أننا لا نلاحظ -على أية حال- أن ذلك تم في وقت عشوائي، وسنوضح السبب في ذلك لاحقاً. لقد تقدم علم الكون لانتظام كوننا بما فيه الكفاية، وبالبناء على المقياس الكبير، لكي يتم وصفه بـ(توسع هابل) البسيط؛ حيث تبدو جميع اللطخ تتوسع بشكل مشابه.

يمكن تصوير الاتساع على أرض الواقع وكأنه (تأثير دوبلر)، لكن على المقاييس الكبيرة؛ وعندما يكون التباعد الظاهر جزءًا جيدًا من سرعة الضوء، فمن الأفضل ربط الانزياح الأحمر بالفضاء (المتطاول) أثناء سفر الضوء عبره. إن مقدار الاحمرار- بعبارة أخرى، مقدار تطاول الأطوال الموجية- يساوي عندئذ المقدار الذي توسع به الكون -الذي هو تطاول القضبان في محاكاة Escher- عندما سافر الضوء باتجاهنا.



الشكل (5- 1): تقسيمات فضاء Escher المكعب. إن كانت القضبان في هذه الشبيكة تتطاول بذات المعدل، فسيبدو أن الذرى تتباعد عن بعضها البعض في انسجام مع قانون هابل، لكنه لا توجد أي ذروة مميزة، وليس هناك من مركز.

بالطبع ربما نتساءل فيما إذا ما كان الانزياح الأحمر يشير إلى التوسع، بدلاً من بعض التأثيرات الفيزيائية المتأتية عن تباعد المسافات. لاتزال تثار احتمالية تأثير (الضوء المنهك tired light) في بعض الأحيان، رغم أن أحدًا لم يأت بنظرية قابلة للتطبيق، تتوافق وكامل الدليل -إذ عليها على سبيل المثال أن تنتج ذات التغير الكسري في الطول الموجي لضوء الألوان جميعًا، وألا يحدث تشوش على صورة

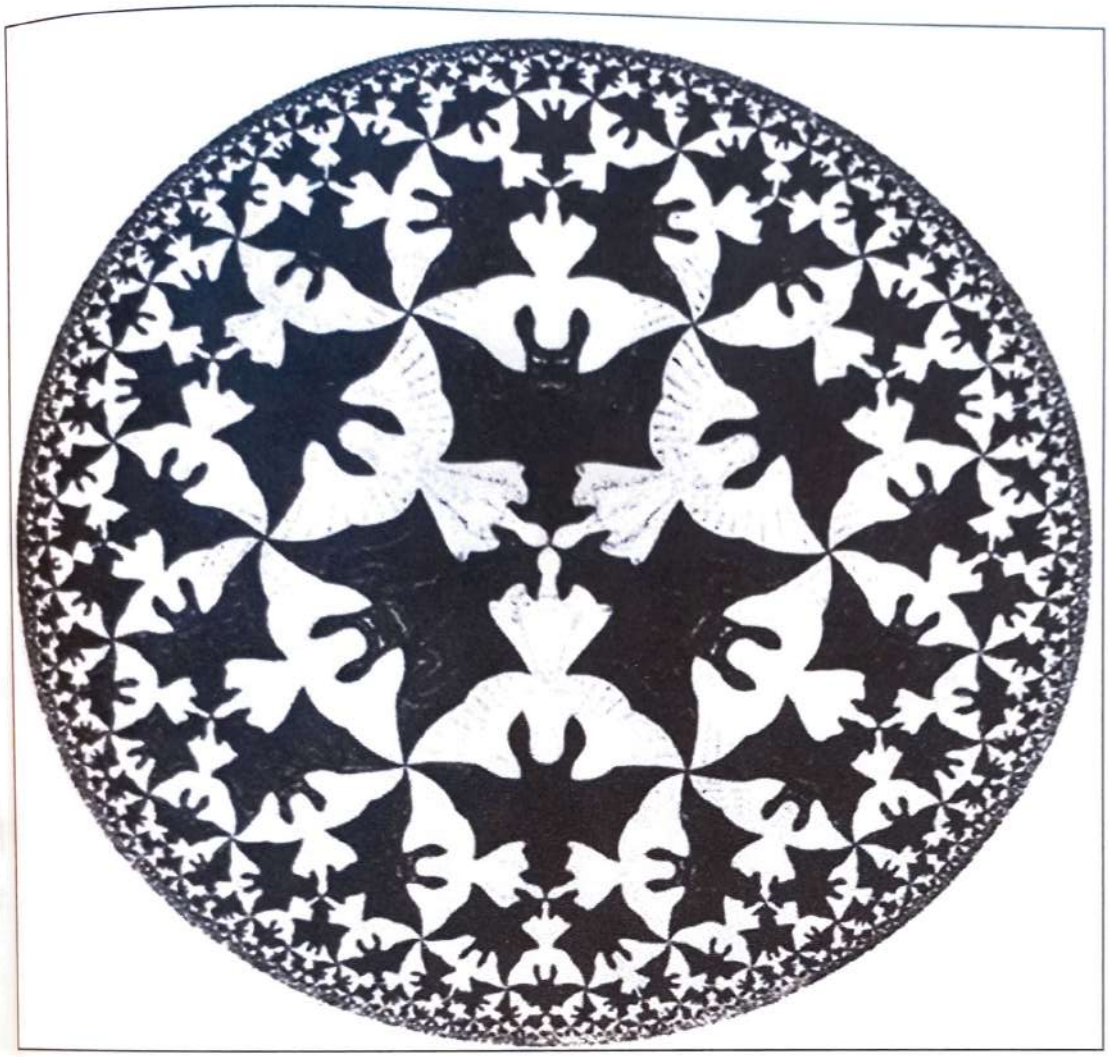
الأجسام البعيدة-.

كما سيروي لك (كون غير متوسع) تناقضات أشد شناعة من التي تحتويها نظرية الانفجار الكبير؛ فالنجوم لا تملك مخزونًا سرمديًا من الطاقة؛ حيث أنها تتطور، وتستهلك وقودها في النهاية. وعليه، فهذا هو مصير المجرات المتكونة من تكتل النجوم. ومن الممكن التأريخ لأقدم النجوم في مجرة درب التبانة، وفي المجرات الأخرى، من خلال مقارنة خصائصها مع نتائج الاحتراق المرافقة لتطور النجوم. النجم الأقدم عمره حوالي 10 مليارات سنة، وذلك متفق تمامًا مع مشهد التوسع الذي امتلكه كوننا لمدة أطول من تلك. لو كان كوننا ساكنًا، فعلى جميع المجرات -وبشكل غامض- أن تعمل وهي في موقعها الحالي -بشكل متزامن- منذ حوالي 10مليارات سنة خلت. سيحتِّم علينا (كون غير متوسع) صعوبات مفاهيمية شديدة.

بدأ التمدد بشكل شبه أكيد منذ عشرة إلى خمس عشرة مليار سنة مضت، تدور أفضل التخمينات حول اثني عشر أو ثلاثة عشر مليار سنة. هناك سببان آخران لتلك الشكوكية المستمرة حول عمر الكون: فالمسافة الدقيقة بين المجرات -على عكس سرعات التباعد- لا تنتظم بشكل أو بآخر. أيضًا، تعتمد التقديرات على مقدار سرعة -أو بطء- التمدد الحاصل في الماضي.

## النظر إلى الماضي

يسافر الضوء بسرعة محددة، بالتالي فنحن لا نرى المناطق البعيدة كما هي عليه الآن، بل كما كانت عليه في الأزمان السحيقة. في العصور الأولى، كان الكون أكثر انضغاطًا -وكانت القضبان في شبيكتنا أقصر-، من ثَمَّ تمثلُ الصورة الثانية لـ(Escher) ملائكة وشياطين المعروضة في الشكل (2-5) أفضل ما نراه في الحقيقة.



الشكل (5 – 2): لوحة (Escher) ملائكة وشياطين. بسبب سرعة الضوء المحدودة، فنحن نرى المناطق النائية كما كانت في الماضي السحيق. وباتجاه الأفق، يبدو كل شيء أكثر تجمعاً.

سنتوقع من المجرات البعيدة جدًا أن تبدو مختلفة عن تلكم القريبة منا؛ لأن الضوء سافر منذ وقت طويل، حين كانت يافعة وأقلَّ تطورًا، ولم يصلنا إلا الآن. لم تتكثف جميع الغازات البدائية إلى نجوم، فتلك التغيرات التطورية ستكون بطيئة جدًا لدرجة أنها لن تظهر إلا بعد مليارات السنين، ولاكتشاف ذاك التوجه، على المرء سبر المجرات البعيدة جدًا، والتي يكون ضوؤها قد انطلق منذ مليارات السنين.

يدور تلسكوب هابل الفضائي HST -المسمى تكريمًا باسم مكتشف التوسع الكوني- حول الأرض بعيدًا عن التأثيرات المشوشة للغلاف الجوي، وقد أنتج لنا أدق الصور للمناطق سحيقة البعد.

إن HST حساس لدرجة كبيرة، لدرجة أن الكشف المطول قدم لنا، ومن اختلاسة إلى السماء، بالضبط مئات اللطخ الخافتة، والتي ظهرت ضمن مجال رؤية صغير جدًا لا يغطي أكثر من جزء واحد بالمئة من مساحة البدر، وتلك اللطخ كانت ستظهر كالرقع الفارغة في السماء إذا ما شاهدتها بالتلسكوبات العادية.

أعتقد أن الصور المذهلة المولدة من قبل HST ستؤثر إلى حد كبير على الوعي الجماهيري، كما فعلت أول صور من الفضاء الخارجي في ستينات القرن العشرين، والتي أظهرت كامل الأرض مع كل رونقها، لتبدو ككرة أحيائية biosphere. المعالم الخافتة في تلك الصور، باختلاف أشكالها، أخفتُ بمليارات المرات من أي نجم يمكننا رؤيته بالعين المجردة، لكن كل واحدة منها عبارة عن مجرة كاملة، حجمها آلاف السنين الضوئية، والتي تبدو صغيرة جدًا وخافتة بسبب المسافة السحيقة بيننا.

تبدو تلك المجرات مختلفة عن أقرانها المجاورة لنا؛ لأنها تظهر لنا أثناء زمن تشكلها، فلم تستقر بعد إلى الشكل القرصي الدوار كما تبدو صور المجرات القريبة والمعروضة في معظم كتب الفلك. بعضها يتكون بشكل أساسي من الغازات المنتشرة، والتي لم تتجزأ بعد إلى نجوم، ومعظمها تبدو مشوشة الصورة بشكل أساسي أكثر من المجرات الموجودة اليوم -بعد التصحيح للانزياح الأحمر بالطبع-، لأن النجوم الزرقاء الهائلة، والتي يعتقد الآن موتها جميعًا، كانت لا تزال تشع عندما غادر الضوء تلك المجرات البعيدة.

تُظهر لنا صور الأماكن العميقة جداً كيف ستبدو مجرة تشبه مجرتنا (درب التبانة) عندما تشكلت النجوم لأول مرة، وكيف أشعت بنور ساطع. عندما نراقب أندروميدا، المجرة الجارة والتوأم، قد نتعجب فيما إذا كان سكانها ينظرون إلينا أيضًا بتليسكوباتهم الكبيرة! ربما هم كذلك، لكننا لن نشاهد أي تطور حالي في

تلك المجرات البعيدة؛ فنحن نراهم في لحظة تطورهم البدائية، وقبل انقضاء الوقت الكافي للعديد من النجوم كي تكمل حياتها، بالتالي فهي إلى الآن لم تملك الكمياء المعقدة، كما أن هناك القليل من الأكسجين، والكربون.. إلخ غير الكافية لإنتاج حتى الكواكب؛ وعليه فإن فرصة حدوث الحياة ضعيفة.

إننا نرى تلك المجرات في المرحلة التي كانت تجمع فيها الوحدات البنائية للأنظمة الكوكبية. وفي الحقيقة، إن الضوء الذي نلتقطه كان يقع ضمن المجال البعيد من الأشعة فوق البنفسجية، ولا يمكن لإشعاع كهذا أن يلتقط بالعين المجردة، ولا حتى أن يخترق الغلاف الجوي الأرضي، لكن الإشعاع فوق البنفسجي الشديد من تلك المجرات انزاح في الوقت الذي وصل فيه إلينا نحو الضوء الأحمر.

تكون المجرات الأشد بعدًا عنا منزاحة جدًا نحو الأحمر، كما أن الطول الموجي للضوء يتطاول بمعامل أكثر من 6، ولابد أن ذلك مقدار توسع الكون منذ انطلاق الضوء. إن كان التوسع يحصل بوتيرة ثابتة، مع المجرات غير المتسارعة وغير المتباطئة كذلك، عندئذ يُفترض أنه عندما كان الكون يساوي 6/ 1 من مقياسه الحالي -وفق مفهوم تدرج المسافة، أو القضبان في شبكة Escher، نزولًا ست مرات أصغر- كان عمره 6/ 1 من عمره الحالي. ربما تبدو تلك العبارة للوهلة الأولى معضلة؛ ألا يعني ذلك أن على المجرات التحرك مبتعدة عن بعضها البعض بسرعة 5 أضعاف سرعة الضوء إن كان الضوء استغرق 6/ 5 من عمر كوننا الحالي لكي يعود إلينا؟ لكن ما من تناقض هنا؛ فالنظرية النسبية الخاصة **لأينشتاين** تخبرنا أنه ما من شيء يستطيع التحرك بسرعة أكبر من سرعة الضوء -بالنسبة لنا- عندما يقاس الزمن بواسطة ساعاتنا. لكن النظرية تخبرنا أيضاً أن الساعة المتحركة بسرعة كبيرة تسير بشكل أبطأ؛ إذ يمكن ذلك بالفعل لساعة سريعة تسافر خمس سنوات ضوئية لكل سنة، تسجلها عندما تتحرك بسرعة تقارب الـ98 ٪ من سرعة الضوء.

يبدو أن الموقف معقد قليلاً؛ لأن سرعة التباعد لن تكون ثابتة، فالتجاذب الذي

يبديه كل شيء في الكون على كل شيء آخر يسبب التباطؤ، والذي يميل لأن يجعل من مراحل توسع الكون الأولية أقصر نسبيًّا.

لكن -وكما ناقشنا في الفصل السابع- ربما تعمل قوة أخرى على زيادة سرعة التمدد، لذا ماتزال هناك العديد من الشكوك حول مقدار العودة في الزمن -أو مقدار البعد في الفضاء- التي تقدمها لنا تلك المجرات في الحقيقة، وأفضل تخمين هو أن ضوءها انطلق عندما كان الكون في حوالي 1/10 من عمره الحالي.

تنقب الدراسات الكونية في الماضي (النجوم القديمة، العناصر الكيماوية المتشكلة عندما كانت مجرتنا فتية.. إلخ)، ووفق ذلك المفهوم فَهُم مثل الجيولوجيين أو علماء الأحافير، يحاولون استنتاج كيفية تطور الأرض أو الكائنات الحية، لكن في الحقيقة يملك علماء الكونيات ميزة عن غيرهم من العلماء الآخرين العاجزين عن القيام بالتجارب والمعتمدين فقط على الدليل التاريخي؛ إذ من خلال توجيه تلسكوباتهم تجاه الأهداف البعيدة، استطاع علماء الكون رؤية التطور الذي زعموه، جمهرات من المجرات البعيدة، المنطلق ضوؤها منذ مليارات خلت من السنين، وهو يبدو مختلفاً عن الضوء القادم من أقراننا المجاورين، وبسبب انتظام المقياس، فإن جميع أجزاء الكون لها ذات التواريخ. لذا فإن على تلك المجرات السحيقة -إحصائيًّا على الأقل- أن تبدو مشابهة لما بدت عليه مجرتنا درب التبانة ومجرة أندروميدا، وباقي الأنظمة القريبة في مليارات السنين الخالية.

يكون مجال الرؤية الخاص بالتلسكوبات مخروطيًّا وطويلًا وضيقًا، يتوسع خارج حدود الإبصار. تخبرنا الأشياء عند كل مسافة بخصائص حقبة سالفة، وبينما نسبر المسافات الأكبر، نسبر الزمن بشكل أكبر، تمامًا كما يمكن لبئر التنقيب العابر لطبقات الأرض في جليد القطب الجنوبي أن يكشف لنا تاريخ المناخ الأرضي. طاردتْ الأخطاءُ والتأجيلاتُ والكلفُ الباهظة تلسكوب (هابل)، لكنه وافى الآن، بالرغم من التأخر، الآمال التي عقدها الفلكيون عليه، فالمطابقة الفاشلة للمرايا صُححتْ

في أول رحلة إصلاح بشرية عام 1994، وطُوِّرتْ ملتقطاتُ الضوء اللوحية، ما يجعله يستطيع الاستمرار حتى عام 2010، مالم تحصل له أحداث مؤسفة، وبحلول ذلك الوقت سنكون قد وظفنا تلسكوبات فضائية أكبر. لكن وُلد جيلٌ جديدٌ من التلسكوبات الأرضية مساوٍ في الأهمية لتلكم الفضائية؛ إذ تقدم مراياها ذات القطر (10-8) أمتار مساحةَ رصدٍ أكبر بـ16 مرة من الـHST، وبهذا تستطيع جمع ضوء أكبر من المجرات الخافتة البعيدة.

لقد كان تلسكوب (Keck) في Mauna Kea هاواي هو أول أفراد ذلك الجيل الجديد من الأدوات العاملة، أما الآن فهناك العديد غيرها. الأكثر إذهالًا من بينها هو التلسكوب الضخم VLT، وهو عنقود متصل من أربعة تلسكوبات، كل منها له مرآة بـ8 أمتار، مشيدة في مرتفعات الأنديز التشيلية من قبل الاتحاد الأوربي.

دقة الصور القادمة من التلسكوبات الأرضية محدودة بسبب التأثير المشوش الناجم عن الغلاف الجوي، وهي ذات العملية التي تجعل النجوم تتلألأ، يمكن التغلب على تلك المحددات إما من خلال ربط اثنين أو أكثر من التلسكوبات مع بعضها البعض ومطابقة صورهما، أو من خلال ما يسمى (البصريات التلاؤمية adaptive optics)؛ حيث يتم ضبط وتعديل المرايا بشكل دائم بدقة، لتعوض تقلبات الغلاف الجوي.

تقدم تلك الأدوات الخارقة لقطات كونية تعود إلى زمن تشكل المجرات الأول؛ فربما تشكلت النجوم الأولى قبل التجمعات الأصغر الظاهرة من مجرات الوقت الحالي، لكنها كانت خافتة جدًا لكي تُرى. تراكمت تلك التجمعات لاحقًا في بنى أكبر، بمعدلٍ تكاثفَ فيه الغازُ إلى نجوم، وفق معدل المجرة الاستقلابي. يبدو أننا اختلسنا النظر إلى الكون عندما كان عند ربع عمره الحالي، بالرغم من أن أوائل أضواء النجوم ظهرت على ما يبدو في وقت أبكر من ذلك بكثير. وتتشكل نجوم أقل سطوعًا في هذا الوقت لاستهلاك معظم الغاز في المجرات الناضجة من قبل النجوم الأقدم.

ذلك على الأقل هو السناريو الذي يقبل به معظم علماء الكونيات، ويحتاج الإسهاب في التفاصيل إلى مراقبة أكثر وإلى فهم أعمق لكيفية تشكل النجوم. والهدف هو تكوين سيناريو لا يطابق فقط كل ما نعرف عن المجرات المعاصرة، لكنه أيضًا يأخذ في الحسبان الصور ذات التفاصيل المتزايدة لما بدت عليه فيما مضى، وكيف صارت عناقيد في الزمن الغابر. وعندما تتوفر البيانات، فربما تتفق مع العديد من النظريات الخاطئة بشكل كامل، لكن كلما تراكمت الأدلة، سنتجه مباشرة نحو الصورة الوحيدة الشارحة لعمل الأشياء.

«مع ازدياد المسافة يتلاشى حقل معرفتنا بسرعة؛ ففي النهاية نصل إلى حدود الظلمة، وهي أقصى حدود عمل تسلكوباتنا. هناك نقيس الأخيلة، ونبحث بين أخطاء القياسات الشبحية عن معالم بالكاد تكون ذات أهمية. إننا مستمرون في البحث، وسنمرّرُ أفكارنا حول مملكة الأحلام تلك، بعد استهلاك جميع الموارد التجريبية الضرورية».

تلك هي الكلمات الختامية لكتاب **هابل** Edwin Hubble الكلاسيكي تحت عنوان (**العالم السديمي** The Realm of the Nebula) 1936. كانت التقدمات الحديثة ستبهج **هابل**، بل وربما ستدهشه؛ تلك التقدمات المعزوة إلى التلسكوب الفضائي الحامل لاسمه، وإلى التلسكوبات الأرضية الحديثة الضخمة.

## قبل المجرات

ماذا عن الحقب السابقة لتشكل المجرات؟ إن أفضل دليل على أن كل شيء ظهر حقًا من (بادئة) مكثفة هو أن (فضاء ما) بين المجرات غير باردٍ تماماً؛ ذلك الدفء ناجم عن (شفق الخلق afterglow of creation). ظهر لنا هذا الشفق عبر موجات ميكروية، وهو نوع من الإشعاع المولد للحرارة، كما في فرن المايكرويف، لكنه أقل شدة. ويعود أول التقاط لتلك (الأمواج الميكروية الكونية الخلفية) إلى عام 1965،

حيث كان يعدُّ التقدم الأكثر أهمية في علم الكونيات منذ اكتشاف التوسع الكوني. أكدت القياسات اللاحقة أن لتلك الأمواج خصائص مميزة؛ إذ تتبع الفيزيائيون شدتها عند أطوال موجية مختلفة عندما رسمت لها المخططات، حتى وصلوا إلى ما يسمى (الجسم الأسود black body) أو (المنحنى الحراري).

تم ترقب ذلك المخطط بالتحديد عندما وصل الإشعاع إلى حالة توازن مع بيئته، كما يحصل في أعماق النجوم، أو في الفرن الذي يحرق بشكل ثابت ولمدة طويلة من الزمن، وتمامًا كما توقعنا؛ فالأمواج الميكروية عبارة عن آثار طور (كرة اللهب)، عندما كان كل شيء في كوننا مضغوطاً وحارًا وكثيفًا ومعتماً.

عبر القياسات الأكثر دقة، والتي جرت خلال تسعينيات القرن الماضي من قبل أقمار ناسا المستكشفة للخلفية الكونية (COBE) Cosmic Background Explorer Satellite، عندما قدمت التجارب نتائجها، أزالت بشكل مقنع (أعمدة الخطأ) الدالة على الشك، لكن بالنسبة لـ COBE فلم يكن من الممكن عرض أعمدة الخطأ أساساً؛ لأنها ستكون أقصر من سماكة المنحني. وتلك قياسات مذهلة حقاً، بلغت دقتها جزءًا في 10000، لتوكد لنا بما لا يدع مجالًا للشك أن كل شيء في الكون -كل المكونات التي تكونت منها المجرات اليوم- كان في وقت ما عبارة عن غاز مضغوط، أشدّ حرارة من نواة الشمس.

يبلغ المتوسط الحالي لحرارة الكون 2.728 درجة فوق الصفر المطلق، وذلك بالطبع بارد إلى حد شديد (حوالي -270 C°)، لكن يوجد مفهوم محدد بشكل جيد نفسر بموجبه احتواء الفضاء ما بين المجرات على الكثير من الحرارة؛ فكل متر مكعب يحتوي على 412 مليون حصة من الإشعاع، أو الفوتونات، وللمقارنة، فإن متوسط كثافة الذرات في الكون يبلغ فقط حوالي 0.2 بالمتر المكعب، هذا الرقم الأخير محدد بشكل أقل دقة؛ لأننا غير متيقنين من عدد الذرات الموجودة في الغاز المنتشر أو في المادة السوداء، لكن يبدو أن هناك حوالي 200 مليار فوتون مقابل كل ذرة

في الكون. تضاءلت كثافة الفوتونات والذرات خلال توسع الكون، لكن الانخفاض كان بذات النسبة في الاثنين، وعليه تكون نسبة الفوتونات إلى الذرات ثابتة. ولأن هذه النسبة -(الحرارة) إلى (المادة)- كبيرة جدًا، فغالبًا ما يشار إلى الكون الأول بمصطلح الانفجار الكبير Big Bang (الحار).

لم يكن الطور الحار ليستمر طويلاً، إنها دقائق فقط تجاوزت فيها درجة الحرارة المليارات، وبعد نصف مليون سنة انخفضت إلى 3000 درجة، أي أبرد بقليل من سطح الشمس. وقد ترك ذلك علامة فارقة في عملية توسع الكون؛ فقبل ذلك الوقت كان كل شيء حارًا جدًا، لدرجة رحلت فيها الإلكترونات من النواة وتحررت، لكن بعد ذلك تباطأت الإلكترونات بما فيه الكفاية، لتبقى على ارتباط بالنواة، مُشكِّلَةً الذرات معتدلة الشحنة. لم تستطع تلك الذرات أن تشع كفاية وبكفاءة مثلما كانت قادرة وقت تحرير الإلكترونات خلال المراحل الأولى الحارة. ستصبح المادة الأولى بعد ذلك شفافة؛ بعدما انقشع (الضباب)، وخلال التوسع انخفضت درجة الحرارة بشكل مطرد عكسيًا مع مقياس الكون -أي كلما تطاولت قضبان شبيكة Escher-، فما الأمواج الميكروية التي يلتقطها COBE إلا آثار للحقبة التي كان فيها ضغط كوننا يفوق بألف مرة الضغط الحالي، عند درجة الحرارة 3000 بدلًا من درجة الحرارة 2.7، وقبل أن تتشكل أي مجرة بوقت طويل. ولاتزال كثافة الإشعاع المنتشرة من كرة اللهب الأساسية -بالرغم من برودتها وتمددها- تجتاح الكون بأسره.

التشبيه المستخدم عادة بالانفجار مضلل؛ نظرًا لأنه يوصل صورة بأن الانفجار الكبير حُرِّضَ في مركز ما، لكن جل ما يستطيعه أيُّ مراقب -سواء على الأرض أو على أندروميدا أو أيّة مجرة أخرى سحيقة- هو رؤية ذات النمط المتكرر للتوسع. ربما كان الكون في يوم ما مضغوطًا لنقطة مفردة، فكل واحد فينا يملك حق الزعم بأن الكون بدأ من تلك النفطة، لكننا عاجزون عن تحديد أصل ذلك التوسع انطلاقًا من مكان محدد في كوننا الحالي.

من الخطأ التفكير في أن الضغط العالي في الكون المبكر هو (القائد) للانفجار؛ فالانفجارات تحصل نتيجة اضطراب الضغط، حيث يسبب انفجار القنابل على الأرض، أو المستعرات الفائقة supernovae في الكون، دفقة مفاجئة من الضغط الداخلي تقذف بالأنقاض نحو البيئة الأقل ضغطًا. لكن في الكون المبكر كان الضغط ذاته في جميع النواحي؛ إذ لم تكن هناك حواف، ولم تكن هناك منطقة (خالية) في الخارج.

بردت الغازات البدائية وانحلت؛ تمامًا كما يحصل لمحتويات صندوق ينفتح، كما أبطأت الجاذبية الفائقة في الحقيقة، والناتجة عن الضغط والطاقة الحرارية، من التوسع.1

هذه الصورة متناغمة، لكنها تترك لغزًا خلفها؛ فبالرغم من كل شيء -وبما أن التشبيه بالانفجار معيب- نجدها لا تفسر سبب التوسع الحاصل على الإطلاق، إذ تسلم نظرية الانفجار الكبير بأن كل شيء كان معدًا وفق الطاقة الكافية ليحصل التوسع. ويجب النظر في المراحل المبكرة المستقرة، للإجابة عن سبب حدوث التوسع أساساً، بينما لا نملك الدليل المباشر على تلك الفيزياء والفهم الوافي لها.

تم طرح اسم الانفجار الكبير لأول مرة في خمسينيات القرن العشرين، من قِبل المنظِّر الشهير بجامعة كامبردج Fred Hoyle ، والذي تم ذكره مسبقًا في الفصل الرابع لبصيرته النافذة حول نشوء الكربون، من باب الوصف الساخر لنظرية لم تعجبه؛ إذ فضل **هويل** نفسه الكون (المستتب)، والذي تنشأ فيه الذرات الجديدة والمجرات الجديدة بشكل مستمر في الفجوات الناتجة عن توسع الكون، وبذلك تظل خصالها المعتادة ثابتة.

لم يكن هناك حينها أي دليل على أي من هاتين الرؤيتين، حيث كان علم الكونيات ميدانًا للتكهنات النظرية، فلم تكن مشاهدات رصد التطور -إن وجد- كافية بعد. لكن فقدت نظرية الاستبابية steady-state theory الأفضلية حالما بزغ الدليل بأن

الكون كان في الحقيقة مختلف في الماضي. وبالرغم من إثبات خطئها، إلا أن نظرية الاستتباب كانت نظرية (جيدة)؛ إذ قدمت حلولاً جيدة، وتوقعات يمكن اختبارها، وكانت محفزةً حقيقةً للمرء، حيث تحث المراقبين على الدفع بتقنياتهم إلى الحد الأقصى. كذلك كانت نظرية (سيئة)؛ للمرونة الكبيرة التي كانت تملكها، فكان المرء قادرًا على تعديلها لتوافق أي بيانات بين يديه. كان الفيزيائي اللامع والمتغطرس Wolfgang Pauli سيسْخَر من هذه الفكرة بقوله إنها: «لا ترقى لأن تكون خاطئة حتى»، إلا أن (هويل) لم ينسجم مع الانفجار الكبير بشكل كامل، بالرغم من اعتناقه رأيًا وسطيًا، وصفه زملاؤه المتشككون بـ(الانفجار المستتب).

## التفاعلات النووية أثناء الانفجار الكبير

طبقًا لنظرية الانفجار الكبير، فقد بدأ كوننا بدرجة حرارة أعلى من قلب نجم؛ إذن، لماذا لم تتحول جميع ذرات الهيدروجين البدائية إلى حديد خلال الانفجار الكبير؟ تذكر أن نواة الحديد أكثر تماسكًا من باقي الذرات، وأن بناءها يتم في لبِّ النجوم الضخمة الأكثر حرارة. لو حصل ذلك، لما طال عمر أي نجم تواجد في كوننا الحالي؛ لأن جميع الوقود المتوافر كان سيستهلك في كرة اللهب البدائية، ويمكن أن يتواجد نجم من الحديد، لكنه سيتلاشى خلال عدة ملايين من السنين، بدلًا من مليارات السنين، كما هو الحال مع شمسنا باعتقاد **كيلفن** Kelvin.

لحسن الحظ لم تعط الدقائق الأولى من التوسع الزمن الكافي لحصول تفاعلات نووية، تُحوِّل المادة البدائية إلى الحديد، فضلًا عن الكربون والأكسجين.. وهلم جر. حولت التفاعلات حوالي 23 ٪ من الهيدروجين إلى هيليوم، لكن -بغض النظر عن الجزء اليسير من الليثيوم- لم يتشكل أي عنصر أكبر من ذلك من عناصر الجدول الدوري أثناء الانفجار الكبير بحد ذاته.

على أية حال، يقوم الهيليوم البدائي بدور مهم؛ فهو يقدم لنا دعمًا قويًا لنظرية الانفجار الكبير، فحتى أقدم الأجسام -التي شابها الكربون والأكسجين وما إلى

هنالك بنسبة أقل بمئات المرات في شمسنا- تبين احتواؤها على 23-24 ٪ من الهيليوم، ولا يوجد نجم ولا مجرة ولا سديم إلا وقد عثرنا فيه على تلك النسبة من الهيليوم. كما يبدو أيضًا أن المجرة لم تبدأ من الهيدروجين المحض، وإنما كانت خليطًا مسبقًا من الهيليوم والهيدروجين. تحتوي الطبقة الخارجية من الشمس على ما نسبته 27 ٪ من الهيليوم، وقد جاءت الزيادة البالغة 3-4 ٪ مما تم اصطناعه، بالتزامن أيضًا مع اصطناع الكربون والأكسجين والحديد في النجوم المبكرة قصيرة العمر، والتي لابد أنها شابت الغمامة المكونة لنظامنا الشمسي.[2]

نجت عدة نجوم بطيئة الاحتراق قليلة الكتلة، تشكلت قبل عدة مليارات من السنين، قبل شمسنا، بينما كانت مجرتنا فتية. واحتوت تلك النجوم على كميات كربون وأكسجين وحديد أقل بكثير، مقارنة مع الهيدروجين الذي تملكه شمسنا، وهو أمر طبيعي بالطبع إن كان الأمر كما جادل **هويل** في البدء بأن الذرات لفظت من النجوم الكبيرة وتراكمت بشكل تدريجي في سجل المجرة التاريخي.

ناقضت نظرة **هويل** فكرة George Gamow بأن كامل الجدول الدوري قد «طُبخ» في الكون المبكر. إن كان (**غامو**) محقًا، وكانت تلك العناصر تعود إلى النجوم والمجرات الأولى، فإن توافرها سيكون ذاته في كل مكان، في المجرات الفتية والمعمرة على حد سواء.

إلا أن الهيليوم هو العنصر الوحيد، وفقًا للحسابات، المتولد في الانفجار الكبير، وهذا مثير للاهتمام؛ لأنه يفسر وفرة الهيليوم في الكون وانتظام توافره. لقد حل ربط الهيليوم بالانفجار الكبير المعضلة القائمة منذ زمن طويل، وشجع علم الكونيات على أخذ اللحظات الأولى من تشكل الكون على محمل الجد.

وكفائدة إضافية، نجد نظرية الانفجار الكبير تشرح نوعاً آخر من الذرة؛ وهو (الدوتيريوم)، والمعروف أيضًا بـ(الهيدروجين الثقيل)، إذ لا تتكون ذرة الدوتيريوم من بروتون واحد فقط، بل ومن نيوترون أيضاً، والذي يضيف كتلة إضافية، لكنها

حيادية من دون شحنة. ومن دون الانفجار الكبير يعتبر وجود الدوتيريوم لغزًا؛ لأنه يتحطم داخل النجوم، بدلًا من أن تتم صناعته كوقود نووي من السهل إشعاله أكثر من الهيدروجين العادي، وبذا ستحرق النجوم المتشكلة حديثًا أي دوتيريوم موجود خلال انقباضها البدائي، قبل استقرارها على حالة الاحتراق الهيدروجيني طويلة الأمد.

تم تشكيل الهيليوم والدوتيريوم عندما كانت درجة الحرارة في الكون المنضغط -كرقم تقريبي- 3مليارات درجة، وهي حرارة أعلى بمليار مرة مما هو عليه الآن. كلما اتسع الكون يمكننا تخيل القضبان في شبيكة Escher تتطاول. (الشكل 5-1)

تتطاول الأطوال الموجية للإشعاعات بشكل متناسب مع طول القضبان، وكذلك كانت درجة الحرارة تنخفض بتطاول تلك القضبان. معنى ذلك أنه عندما كانت الحرارة حوالي 3مليارت درجة -بدلًا من 3درجات الآن- كانت القضبان أقصر بمليار مرة ($10^{9}$)، وكانت الكثافة أعلى بمعامل تكعيبي ($10^{27}$)، لكن كوننا الحالي منتشر إلى حد كبير، حوالي 0.2 ذرة بالمتر المكعب، والتي حتى إن كانت مضغوطة بواسطة هذا المعامل الضخم، ستظل كثافتها أقل من كثافة الهواء. كانت الحرارة في وقتها عالية جدًا، لدرجة هيجت حركة الذرة المفردة بشكل كبير للغاية. ويمكن للتجارب المخبرية التحري عما جرى عندما تصادمت نواتا الهيدروجين والهليوم معاً بذات الطاقة، كما لو كانا عند تشكل الهيليوم، وبالتالي فالحسابات مبنية على أسس فيزيائية مقنعة وجازمة إلى حد ما.

إن افترضنا كثافة حالية تبلغ 0.2 ذرة في المتر المكعب، فستتفق النسب المحسوبة للهيدروجين والهيليوم والدوتيريوم، والتي كانت ستظهر من كون كرة اللهب الآخذ بالبرودة مع الملاحظة العلمية. وذلك أمر سار، لإمكانية خروج الوفرة الملاحظة بالكامل خارج خط التوقعات لأي انفجار كبير، أو ربما تكون متفقة، لكن فقط لكثافة أقل بكثير، أو أكبر بكثير من المدى المسموح به من قبل الملاحظة العلمية.

كما رأينا، 0.2 ذرة في المتر المكعب هي بالفعل كثافة المجرات والغازات في كوننا الأقرب للدقة. ولهذا الأمر تطبيقات مهمة على (المادة السوداء)، كما ستتم مناقشته في الفصل القادم.

# الفصل السادس

# المادة المظلمة و(Ω)

## «التوسع المضبوط بدقة»

# المادة المظلمة و(Ω)
# «التوسع المضبوط بدقة»

**«الأبدية زمن طويل، خصوصًا المتجهة إلى النهاية».**

**وودي ألين Woody Allen**

## الكثافة الحرجة

ستموت شمسنا في غضون 5 مليارات سنة تقريبًا؛ ومعها الأرض أيضًا. وفي حوالي ذلك الوقت -زد أو انقص عدة مليارات من السنين- ستتجه نحونا مجرة أندروميدا، جارنا المجري الكبير والأقرب إلينا، المنتمية إلى ذات عنقودنا المجري، وسترتطم بمجرتنا درب التبانة.

تلك التكهنات بعيدة الأمد موثوقة؛ لاعتمادها على مسلمة عمل قواعد الفيزياء ضمن الشمس وقوى الجاذبية في النجوم والمجرات، خلال الخمسة مليارات عام القادمة، كما كانت كذلك منذ 5 إلى 10 مليارات عام خلت.

على أية حال، ما من تفاصيل كثيرة (مثيرة للاهتمام) متوقعة، إذ لا يمكننا أن نكون متأكدين من أن الأرض ستظل الكوكب الثالث قربًا من الشمس خلال الخمسة مليارات عام القادمة؛ إذ يمكن للمدارات الكوكبية أن تتصرف بشكل (فوضوي) عند تطاول الزمن. وبالتأكيد لا يمكن توقع التغير على سطح الأرض بشكل موثوق منه، خصوصًا التبدلات السريعة جدًا في كينونة المحيط الحيوي المشكَّل بأنواعنا، ولا حتى لجزء في المليون من تلك المدة الزمنية.

لم تستهلك الشمس ولا نصف وقودها بعد؛ ولا تزال تملك من العمر الشيء الكثير، وأكثر مما انقضى خلال مسار التطور البيولوجي بالكامل. كما أن المجرة

ستدوم لمدة أطول بكثير من الشمس، حتى وإن كانت الحياة الآن متفردة على الأرض، فلا يزال هنالك متسع من الوقت لكي تنتشر خلال المجرة وما وراء المجرة. ربما تؤثر تظاهرات الحياة والذكاء في النهاية على النجوم أو حتى المجرات، لكنني أتوقف هنا عن التكهن أكثر من هذا، ليس لأنه سخيف حقًا، ولكن لأنه يشرع الباب أمام مختلف السيناريوات المتصورة -الكثير منها قادم من روايات الخيال العلمي- والتي لا يمكنها توقع أي شيء. لكن على الطرف المقابل، تستند التنبؤات طويلة الأمد لكامل كوننا إلى أرضية راسخة.

ستتلاشى مجرتنا باصطدام عظيم مؤكد الحدوث خلال الخمس أو الست مليارات سنة القادمة، لكن هل سيستمر كوننا بالتوسع إلى الأبد؟ هل ستتحرك المجرات البعيدة مبتعدة أكثر وأكثر إلى الأبد؟ أم أن تلك الحركة ستنعكس في النهاية، لتنكفئ القبة الكونية على ذاتها في النهاية بأكملها (الانسحاق العظيم Big Crunch )؟

يعتمد الجواب على المنافسة بين الجاذبية وبين طاقة التوسع؛ تخيل كويكبًا كبيرًا أو كوكبًا تهشم إلى فتات، فإن تبعثرت الأجزاء بشكل سريع كفاية، فستتطاير إلى الأبد، لكن إن كان التفتت أقل عنفًا، فقد تعكس الجاذبية الحركة، لترجع الأجزاء إلى بعضها وتلتحم مجددًا. والأمر مشابه لأي ميدان كبير ضمن كوننا، فنحن نعلم سرعة التوسع الآن، لكن هل ستوقف الجاذبية ذلك التوسع؟ يعتمد الجواب على مقدار الأشياء الباذلة لقوة الجذب. سينكفئ الكون -ستتغلب الجاذبية في النهاية على التوسع مالم تتدخل قوة أخرى- إن تجاوزت الكثافة قيمة محددة حرجة.

نحن جاهزون لحساب تلك الكثافة الحرجة، إذ تبلغ قيمتها حوالي 5 ذرات في كل متر مكعب. لا يبدو ذلك كثيرًا؛ بالفعل، فذلك قريب جدًا من الفراغ التام الذي يمكن للمختبرين على الأرض الوصول إليه، لكن يمكن للكون في الحقيقة أن يكون فارغًا إلى حد أبعد من ذلك.1

افترض أن نجمنا -الشمس- مُثل ببرتقالة، والأرض بحبة قمح حجمها عدة ميلي

مترات على بعد 20 متر منها، تدور حولها؛ لك أن تتصور أنه وعلى ذات المقياس، سيكون أقرب نجم إلينا على بعد 10000 كم، ذلك هو مقدار رقة الانتشار المادي في مجرة كمجرتنا. لكن المجرات بالطبع ذات تركيز عال من النجوم بشكل خاص، فلو كانت جميع النجوم في المجرة متبعثرة خلال الفضاء بين المجري، عندئذ سيكون بُعد كل نجم عن الآخر أكبر بمئات المرات من أقرب جار له، فيما لو كانا ضمن مجرة نمطية. وفق مقياس نموذجنا، فكل برتقالة ستبعد عن الأخرى ملايين الكيلومترات عن أقرب جارة لها.

إن تفككت جميع النجوم ونُشرت جميع ذراتها بشكل متجانس خلال الكون، فسنحصل في النهاية على ذرة واحدة في كل 10 أمتار مكعبة. هناك تقريبًا ذات القدر في شكل الغاز المنتشر -لكن لا يبدو أكثر من ذلك- بين المجرات؛ إذن هناك حوالي 0.2 ذرة بشكل إجمالي في المتر المكعب، وذلك أقل بـ25 مرة من الكثافة الحرجة، البالغة 5 ذرات في المتر المكعب، والتي تحتاجها الجاذبية لتوقف التوسع الكوني.

## ما مقدار المادة المظلمة؟

إن النسبة بين الكثافة الحقيقية إلى الكثافة الحرجة رقم حاسم، يشير إليه علماء الكونيات بالرمز الإغريقي أوميغا Ω، ويعتمد قدر الكون على إذا ما تجاوزت Ω الواحد أم لا. من النظرة الأولى توحي لنا تقديراتنا حول المتوسط الفعلي للتركيز الذري في الفضاء بوصول Ω إلى 1/25 (أو 0.04) فقط، متنبئةً بتوسع كوني سرمدي، وبهامش واسع. لكن لا يجب القفز بتلك السرعة إلى تلك النتيجة، فقد أدركنا في العشرين سنة الماضية وجود أشياء أخرى في الكون أكثر مما نراه فعليّاً، فمادة غير المرئية كتلك المكونة بشكل أساسي للمادة المظلمة ذات طبيعة مجهولة لنا. ما الأشياء المشعة -المجرات والنجوم والغمامات الغازية المشعة- إلا جزء بسيط غير نموذجي لما هو موجود حقًا، ولما يمكن للسماء الكونية إظهاره، والتي هي في الحقيقة غبار لا أهمية

له يطفو على الهواء النقي الأكثر كثافة منها بكثير. معظم المادة في الكون والمساهم الأساسي في الرقم غاما، لا تصدر الضوء، ولا الأشعة تحت الحمراء أو الأمواج الراديوية، ولا أي شكل من الإشعاع؛ لذا نجد صعوبة في الكشف عنها.

يعد الدليل المتراكم اليوم على وجود المادة المظلمة يقينيًا، وتقترح الطريقة التي تتحرك بها النجوم والمجرات وجود شيء غير مرئي، لا بد وأنه يمارس عليها السحب الجاذبي. تلك هي ذات الحجة التي نستخلص منها وجود الثقوب السوداء عندما نشاهد النجم يدور حول رفيق غير مرئي، كما أنها طريقة استنتاج استخدمت في القرن التاسع عشر لاكتشاف وجود نبتون، إذ أن انحراف مدار أورانوس بواسطة قوى شادة كانت تعود لجسم بعيد غير مرئي.

في نظامنا الشمسي، هناك توازن بين ميل الجاذبية إلى توجيه الكواكب للسقوط باتجاه الشمس، وبين التأثير النابذ للحركة المدارية. بالمثل، وعلى المقياس الأكبر من ذلك بكثير على مستوى المجرة، نجد توازنًا بين الجاذبية، التي تميل لشد الأجسام إلى بعضها البعض إلى المركز، وبين التأثير الناشر الناتج عن الحركة، والذي لو لم تعمل الجاذبية لتسبب في تشتت النجوم المكونة لتلك المجرة. خلصنا إلى وجود المادة المظلمة من الحركة الملاحظة، سريعة ومثيرة للدهشة، أسرع من أن يتم موازنتها مع جاذبية النجوم والغاز المرئي.

نعلم مدى سرعة دوران شمسنا حول المحور المركزي لمجرتنا، ويمكننا قياس سرعة النجوم والغمامات الغازية في المجرات الأخرى. سرعات الدوران تلك محيرة جدًا، وخاصة تلك العائدة إلى الطبقات الخارجية التي تدور حول معظم النجوم. إن كانت النجوم والغازات الخارجية تستشعر فقط الشد الجاذبي لما نراه فقط فستهرب، تمامًا كما كان سيهرب نبتون وبلوتو من تأثير الشمس فيما لو تحركا بسرعة تساوي سرعة الأرض. تخبرنا تلك السرعات الكبيرة الملحوظة أن هناك هالة غير مرئية تحيط بالمجرات الكبرى، تمامًا كما كنا سنستنتج حال هروب بلوتو إذا

تحرك بسرعة الأرض -لكنه بقي في مداره بدلًا من الهرب- وجود صَدَفَة غير مرئية خارج مدار الأرض تضم بلوتو داخلها.

لولا وجود الكثير من المادة المظلمة لما استقرت المجرات، بل ولتطايرت متبعثرة. ما تبدو لك كصور جميلة أو لوحات فنية لأقراص حلزونية هي في الحقيقة (رواسب متلألئة) تربطها قوى جاذبة قادمة من أسراب أجسام غير مرئية ذات طبيعة غير معلومة، فالمجرات أكبر وأثقل بعشر مرات مما كنا نظن. ذات الحجة تنطبق على المقاييس الأكبر، وعلى كامل العناقيد المجرية البالغ قطر الواحد منها ملايين السنين الضوئية. ولكي تجمعهم إلى بعضهم البعض سيتطلب الأمر شدًا جاذبيًا من المادة أكبر بعشر مرات من تلك التي نراها بالفعل.

هناك بالطبع، افتراض كامن خلف استنتاج المادة المظلمة، ألا وهو معرفتنا بالقوى الجاذبة المبذولة من الأجسام المرئية، فالحركة الداخلية ضمن المجرات والعناقيد بطيئة مقارنة بسرعة الضوء، ولأنه لا يوجد تعقيدات نسبوية relativistic؛ فبإمكاننا استخدام قانون التربيع العكسي **لنيوتن**، الذي يخبرنا أنه إذا ما تحركت ضعف المسافة مبتعدًا عن أي كتلة ستصبح قوة الجذب أضعف بأربع مرات.

يذكرنا بعض المتشككين أن هذا القانون لم يختبر على أرض الواقع إلا ضمن النظام الشمسي؛ وعند تطبيق هذا القانون على مقاييس أكبر بمئات الملايين من المرات من النظام الشمسي، لن يتجاوز ذلك كونه قفزة إيمانية واضحة. بالطبع لدينا الآن أدلة مشوقة (انظر الفصل 10)، والتي -على مقياس كامل الكون- ربما تجعل من الجاذبية قوة مقهورة إثر قوة أخرى سببت التدافع بدلًا من التجاذب.

علينا إبقاء أذهاننا منفتحة -أو مفتوحة جزئيًا على الأقل- على احتمالية احتياج أفكارنا حول الجاذبية إلى إعادة تقييم. إن كانت القوة المبذولة على مسافات بعيدة أقوى مما سنستنتجه من خلال استقراء قانون التربيع العكسي -إن لم يكن الانخفاض بمقدار أربعة أضعاف عن الابتعاد بمسافة الضعف- فستكون الحالة عندئذ واضحة؛

وهي احتياجنا لإعادة النظر في المادة المظلمة، لكن علينا ألا نتخلى عن نظرية الجاذبية من دون نضال. قد يزيّن لنا فعل ذلك لو لم يكن هناك مرشحون متصورين للمادة المظلمة، لكن يبدو أن هناك عدة خيارات؛ فقط إن استطعنا استبعاد جميع هذه الخيارات، علينا عندها -في رأيي- الاستعداد للتخلص من **نيوتن وأينشتاين** 2.

هناك علامات أخرى تحكي لنا وفرة المادة المظلمة، ألا وهي قيام جميع المواد الجاذبة، سواءً كانت مضيئة أم معتمة، بحرف الأشعة الضوئية، وبذا يمكن وزن العناقيد من خلال التقاط مقدار قوة حرفها لمسارات الأشعة الضوئية المارة عبرها.

بالفعل، تمت ملاحظة انحراف الضوء بفعل جاذبية الشمس، من قبل Eddington وآخرين خلال الكسوف الشمسي الكلي في العام 1919، والذي قدم على نحو مشهور اختبارًا مبكرًا لنظرية **أينشتاين** النسبية، ليطلقها إلى عالم النجومية الواسع. قام تلسكوب **هابل** بأخذ صور مذهلة للعناقيد المجرة القابعة على بعد ملايين السنين الضوئية، وتكشف الصور الكثير من الأشعة الخافتة المستوية والمقوسة، كل واحد منها هو مجرة بعيدة، أبعد عدة مرات من العنقود بحد ذاته، والتي تعرض صورتها كما لو كانت تمر عبر عدسات مكبرة، تبدو تمامًا كنمط منتظم معرقٍ في خلفية ورق الجدران، وتتشوه عند عرضها عبر صفيحة زجاجية مقوسة. تعمل العناقيد كما (العدسات) المركزة للضوء المار عبرها. المجرات المرئية جميعًا ليست على القدر الكاف من الثقل كي تنتج تشوهًا كبيرًا كذلك. لكي ينحني الضوء بذلك القدر، ويسبب تشوهًا جليًا في صور المجرات التي في الخلفية، على العنقود احتواء كتلة تصل إلى 10 أضعاف تلك المرئية لنا. تقدم تلك العدسات الكون الشاسع للفلكيين المهتمين بكيفية تطور المجرات كفائدة إضافية، لأنها توضح لنا المجرات البعيدة، والتي لولاها لبقيت خافتة وغير مرئية.

علينا ألا نتفاجأ حقًا من اكتشاف أن المادة المظلمة، والتي تصل إلى حوالي 10 أضعاف المادة المرئية لنا، تعتبر المؤثر الجاذبي المسيطرة في الكون؛ إذ لا يوجد

شيء غير قابل للتصديق حول المادة المظلمة بحد ذاتها، لماذا يتوجب على كل شيء في الكون أن يكون مضيئًا؟ والتحدي يكمن في تضييق مدى المرشحين.

## ما الطبيعة المحتملة للمادة المظلمة؟

لا تصدر المادة المظلمة أي ضوء في الحقيقة، ولا أي إشعاع من أي نوع يمكن التقاطه، كما لا تمتص ولا تشتت الضوء؛ وذلك يعني استحالة تكونها من الغبار، نحن نعلم وجود بعض الغبار في مجرتنا، لأن الضوء النجمي مبعثر ومُوهن بالغمامات المعترضة التي تنتشر عبر حبيبات دقيقة، شبيهة إلى حد ما بتلك المنبعثة من دخان التبغ، لكن إن تراكمت الحبيبات لتزن مقدارًا كافيًا يشكل المادة المظلمة، فستحجب عنا مشاهدة النجوم البعيدة.

مشتبه به آخر؛ هو النجوم الصغيرة الخافتة التي تشكل المادة المظلمة، وهي نجوم كتلتها أقل من 8 ٪ من شمسنا، تدعى (الأقزام البنية brown dwarfs)، ولا تملك الضغط أو الحرارة الكافية لتشعل الوقود النووي الذي يبقي النجوم العادية مشعة. الأقزام البنية موجودة حقًا، عثر على بعضها كناتج ثانوي أثناء البحث عن كواكب تدور حول نجوم أسطع، والبعض الآخر -خاصة القريبة منا- تم اكتشافها من انبعاثها الضوئي الأحمر الخافت.

كم العدد الكلي للأقزام البنية المتوقع وجودها؟ تقدم لنا النظريات قليلًا من المساعدة، فقد حددت نسبة النجوم الكبيرة والصغيرة من خلال عمليات معقدة لم يتم فهمها تمامًا حتى الآن، ولا يمكن حتى لأقوى الحواسيب معرفة ما يجري عند تكاثف الغمامة بين جمية interstellar إلى جمهرات من النجوم؛ لا زال الجزم صعباً حتى اليوم، لذات السبب الذي يجعل من الأرصاد الجوية صعبة التنبؤ.

يمكن الكشف عن أفراد الأقزام البنية من خلال التكبير الجاذبي gravitational lensing؛ فإن مر أحدها من أمام نجم ساطع، ستعمل جاذبية القزم على تركيز الضوء، مسببة تكبير ضوء النجم، لذا سيلمع النجم ويخبو بطريقة مميزة إذا مرَّ

القزم من أمامه، وهذا يتطلب ارتصافًا شديد الدقة. حدث كهذا نادر جدًا، حتى إن كان هناك العدد الكافي من الأقزام البنية لتشكيل كامل الكتلة المظلمة في المجرة.

على أية حال، نفذ الفلكيون بحثًا طموحًا عن تلكم (المكبرات الميكروية) -ميكروية لكي نميزها عن ظاهرة التكبير الناتجة عن كامل العناقيد المجرية، كما أسلفنا الذكر-؛ تمت مراقبة ملايين النجوم لكي نلتقط تلك التي يتغير ضياؤها في منتصف الليل.

تتباين العديد من النجوم إلى أنواع لأسباب جوهرية: البعض منها ينبض، البعض ثائر، والبعض يدور حول رفيق له في نظام ثنائي. عثرت الأبحاث على عدة آلاف من تلك الأنواع -والتي تثير الاهتمام لدى بعض الفلكيين، بالرغم من أنها مملة للباحثين عن المكبرات الميكروية-.

في بعض الأحيان، عثر على النجوم وهي تبدي ارتفاعًا وهبوطًا في شدة الضياء، وهو أمر متوقع إن مرت الكتلة غير المرئية من أمامها وقامت بتركيز ضوئها. لايزال الأمر غير واضح فيما إن كان هناك ما يكفي من الأحداث لكي توحي لنا بوجود جمهرة (أقزام بنية)، أو أنها نجوم خافتة الإشعاع تقليدية، تمر من أمام نجوم ألمع منها، وأنها متوافرة كفاية لكي تفسر الأحداث المسجلة.

هناك العديد من المرشحين الآخرين للمادة المظلمة؛ الكواكب الباردة المتحركة في الفضاء البين نجمي، وغير المرتبطة بأي نجم، يمكن أن تتواجد بأعداد كبيرة ومن دون أن تلتقط. هنالك أيضًا الكتل شبه المذنبية المكونة من الهيدروجين المجمد، وهناك الثقوب السوداء.

## حالة الجسيمات الغريبة

سواءً اشتبهنا في الأقزام البنية أم المذنبات -أو حتى الثقوب السوداء، إن كانت بقايا لنجوم ميتة- فهي لا تشكل سوى جزء صغير من المادة المظلمة، وهذا لأن هناك

أسبابًا أقوى تدفعنا للظن بأن المادة المظلمة ليست مكونة من ذرات تقليدية على الإطلاق، اعتمدت تلك الجدلية على الدوتيريوم -الهيدروجين الثقيل-.

وكما ذكرنا في الفصل الماضي، فلابد وأن أي دوتيريوم نشاهده قد نشأ عبر الانفجار الكبير، وليس في النجوم. لم تزل الكمية الفعلية الموجودة في كوننا محط شك وجدل، لكن التقط الفلكيون بصمة طيفية للدتيريوم، تميزه عن الهيدروجين التقليدي، من الضوء القادم من مجرات بعيدة جدًا. احتاجت تلكم القياسات لقوة نوع جديد من التلسكوبات الجامعة للضوء، ذات مرايا يبلغ قطرها 10 أمتار. الكمية المكتشفة زهيدة جدًا -ذرة واحدة من بين 50.000 ذرة-.

تعتمد النسبة التي يجب ظهورها من الانفجار الكبير على مقدار كثافة الكون، وتتفق المشاهدات مع النظرية إن كان هناك 0.2 ذرة هيدروجين في المتر المكعب، ويتفق هذا بشكل جيد مع الرقم الفعلي للذرات في الأجسام المشعة -التي نصفها مجرات، والنصف الآخر غازات بين مجرية-، لكن لن يتبقى شيء للمادة المظلمة.

إن كان هناك كمية كافية من الذرات لتشكيل كامل المادة المظلمة -والتي ستكون على الأقل خمسة وربما عشرة أضعاف ما نراه حقيقة- فسيتلاشى التواؤم مع النظرية. ستتوقع عندئذ حسابات الانفجار الكبير وجود دوتيريوم أقل من ذلك، وهيليوم أكثر بعض الشيء مما نراه في الحقيقة، وسيكون منشأ الدوتيريوم عندها لغزًا. كما أن ذلك يخبرنا بأمر أكثر أهمية؛ حيث تسهم الذرات الموجودة في الكون -ذات الكثافة 0.2 متر المكعب- فقط في 4 ٪ من الكثافة الحرجة، والمادة المظلمة المهيمنة مكونة من شيء خامل فيما يتعلق بالتفاعلات النووية؛ إذ تقدم جسيمات غريبة -ليس كل شيء مكون من ذرات تقليدية على الإطلاق- المساهمة العظمى في الرقم (Ω) 3.

أحد الخيارات المطروحة هو الجزيئات المراوغة المسماة بالنوترينوات neutrinos، فهي لا تملك شحنة كهربائية، وبالكاد تتفاعل مع الذرات الاعتيادية. جميع النوترينوات التي تضرب الأرض تمر من خلالها، وخلال الثواني الأولى

بعد الانفجار الكبير، عندما تجاوزت الحرارة العشر مليارات درجة، كان كل شيء مضغوطًا لدرجة وصول التفاعلات المحولة للفوتونات -كموم الإشعاع- إلى نوترينوات إلى التوازن بسرعة كفاية، فارتبط في النتيجة عدد النوترينوات المتبقية من كرة اللهب الكونية بعدد الفوتونات.

بإمكان المرء الحساب باستخدام الفيزياء المعيارية والمتفق عليها، أنه يجب أن يتواجد 3 نوترينوات في مقابل 11 فوتونًا. هناك الآن 412 مليار فوتون في المتر المكعب، كإشعاع خلفه الانفجار الكبير، كما يوجد 3 أنواع مختلفة من النوترينوات، فيجب أن يتواجد 113 من كل نوع في السنتمتر المكعب -بعبارة أخرى، مئات الملايين من النوترينوات مقابل كل ذرة في الكون-، وبالطبع فإن أثقل الأنواع الثلاثة هو الذي يهمنا في سياق المادة المظلمة.

لأن النوترينوات تفوق في العدد الذرات بشكل مهول، فمن المحتمل أن تكون هي المادة المظلمة المسيطرة، وإن كان وزن كل واحد منها لا يتجاوز جزءًا من مئة مليون جزء مما تزنه الذرة.

قبل ثمانينات القرن الماضي، آمن الجميع بأن النوترينوات جسيمات منعدمة الكتلة، وأنها تحمل طاقة وتتحرك بسرعة الضوء، وأن تأثيرها الجاذبي منعدم الأهمية، مثل الفوتونات المتبقية من الكون المبكر، والتي نلتقطها الآن كأمواج راديوية خلفية، لا تبذل أي تأثير جاذبي مهم. لكن يبدو الآن أن النوترينوات قد تملك وزنًا، بالرغم من ضآلته حقًا.

أتى أفضل دليل على كتلة النوترينوات من تجربة Kamiokande في اليابان، باستخدام خزان مهول داخل منجم سابق للزنك. درست التجارب النوترينوات الآتية من الشمس -إذ أنها نواتج ثانوية للتفاعلات النووية الجارية في لب الشمس-، بالإضافة إلى أخريات يتم انتاجها من تصادم جسيمات سريعة جدًا (الأشعة الكونية) بغلاف الأرض الجوي العلوي.

تشير التجارب إلى وجود كتلة، ولكن ربما تكون أصغر من أن نعتبرها ذات أهمية للمادة المظلمة.4 وذلك على أية حال اكتشاف بالغ الأهمية للنوترينوات بحد ذاتها. يبدو أنها تجعل العالم الميكروي للوهلة الأولى أكثر تعقيدًا، لكن ربما تقدم الكتل دلالات إضافية على العلاقة بين النوترينوات وباقي الجسيمات.

في النهاية نحن نعلم وجود النوترينوات، على الرغم من أننا لا نعلم حتى الآن كتلتها الدقيقة، بل إن هناك قائمة طويلة من الجسيمات النظرية التي ربما تكون موجودة، وربما -إن وجدت- تكون نجت من الانفجار الكبير بأعداد كافية لتشكل المساهمة الأهم في الرقم Ω.

ما من حجة مقنعة حول المقدار المحتمل لثقل كل جُسيمة؛ تقترح أفضل التخمينات أنها أثقل بمئة مرة من ذرة الهيدروجين. إن كان هناك القدر الكافي من الجسيمات لتشكيل المادة المظلمة في مجرتنا، فلابد وأنها تصل إلى عدة آلاف في المتر المكعب في جوار الشمس، وربما كانت تتحرك بسرعة تقترب من سرعة النجم العادي في مجرتنا، حوالي 300كم/ ث.

ستسير تلك الجسيمات الثقيلة، لكنها معتدلة الشحنة الكهربائية بشكل عام -كما النوترينوات- مباشرة عبر الأرض. بالرغم من ضآلة النسب المحتملة لتفاعلها مع الذرة في المادة التي تمر عبرها، سيتواجد القليل فقط من الاصطدامات في اليوم مع كل واحد فينا -بالرغم من امتلاك أجسادنا لما يقرب من $10^{29}$ ذرة-.

من البديهي أننا لن نشعر بشيء، وعلى أية حال، فإن التجارب شديدة الحساسية قادرة على التقاط الارتدادات -أو الركلات- عندما تحصل تلك الاصطدامات في كتلة من السليكون أو أنصاف النواقل. لابد من تبريد الكواشف إلى درجة منخفضة جدًا، ويجب وضعها عميقًا تحت الأرض -على سبيل المثال، يتم تجهيزها في منجم في يوركشاير Yorkshire، وفي قناة تحت جبل إيطالي-، وبذا يقل الالتباس الحاصل نتيجة أنواع أخرى من الأحداث التي يمكن أن تحدث ضجيجًا في الإشارة الأصلية القادمة من تصادمات المادة المظلمة.

قَبِل العديد من الفيزيائيين تحدي (علم الفلك السري)، ذلك عمل دقيق وممل، لكن إن نجحوا فيه فلن يكتشفوا مكونات الكون فحسب، بل وسيكتشفون نوعًا جديدًا من الجسيمات كفائدة إضافية. فقط ذلك المتفائل جدًا سيراهن على ذلك، وإن كانت الاحتمالات ضده؛ ذلك لأننا في الوقت الحالي نفتقد النظرية التي تخبرنا عن ماهية تلك الجسيمات، لذا من الصعب تحديد مسار البحث بشكل مثالي5.

يتم دراسة عدد من المرشحين الآخرين للمادة المظلمة، ويفضل بعض المنظرين جسيمًا ذا وزن أخف، أسموه زايون axion. يشتبه آخرون بأن تلك الجزيئات قد تكون أثقل بمليارات المرات من تلك التي يتم البحث عنها الآن لهذا الغرض، وفي تلك الحالة سيكون العدد أقل بمليار مرة، مما يجعل الكشف عنها أكثر صعوبة، أو ربما تكون أكثر غرابة، على سبيل المثال، الثقوب السوداء التي بحجم الذرات، والمتكونة في ضغط الكون البدئي الفائق.

## حصر الخيارات

يمكن استبعاد بعض الخيارات المطروحة لتشكيل المادة المظلمة، كما تجري مختلف الأبحاث الجادة، وبعدة تقنيات، عن مرشحين آخرين. ربما يلتقط التكبير الميكروي الجاذبي كمية كافية من النجوم الخافتة أو الثقوب السوداء، وقد تلتقط التجارب في قعر الأنفاق الأرضية بعض الأنواع الجديدة من الجسيمات المنتشرة في طيفنا المجري؛ حتى النتائج السلبية قد تكون مثيرة للاهتمام أحيانًا، لأنها تستبعد بعض الخيارات المقبولة.

ربما يكون هناك عدة أنواع من المادة المظلمة؛ فعلى سبيل المثال، قد يكون من المفاجئ عدم وجود بعض الأقزام البنية وبعض الثقوب السوداء كمكونات لها. على أية حال، تبدو إمكانية وجود الجسيمات الغريبة كبيرة جدًا، لأن الدليل القادم من الدوتيريوم يشير إلى عدم تكون معظم المادة المظلمة من ذرات نموذجية. من المحرج أن 90 ٪ من الكون غير مفسر -والأسوء من ذلك عندما ندرك أن المادة

المظلمة قد تكون مكونة من كينونات ذات كتل تتراوح من $10^{-33}$غ (نوترينوات) وصولًا إلى $10^{39}$ (الثقوب السوداء الثقيلة)، شك يصل إلى أكثر من عشرة مرفوعة إلى القوة سبعين. ربما يتم التخلي عن تلك القضية المهمة بسبب ثلاثة هجومات شرسة:

1) قد تكون الكينونات المشكلة للمادة المظلمة قابلة للكشف بشكل مباشر؛ فقد تسبب الأقزام البنية تأثيراً جاذبيًا مكبراً للنجوم. إن كانت المادة المظلمة في مجرتنا ذات جسيمات غزيرة، فقد يتم التقاط بعضها من خلال بعض التجارب الجسورة عميقًا داخل الأرض، وأنا متفائل بأنني لو كنت أكتب هذا الكتاب في السنوات الخمس التالية، فسأقدر على الحديث عن ماهية المادة المظلمة.

2) يقوم المنظرون والمخبريون بإطلاعنا على المزيد عن النوترينوات. من الممكن -بالرغم من أنه يبدو غير مرجح- أن تكون النوترينوات على القدر الكافي من الكتلة لكي تكون مكونًا مهمًا يشكل المادة المظلمة. عندما يتم فهم فيزياء الطاقات والكثافات المتطرفة بشكل أفضل، سنعلم أي نوع آخر من الجسيمات قد تواجد حال تواجده، وسنقدر على حساب كيفية نجاة تلك الجسيمات من الثواني الأولى للكون، تمامًا كما نتوقع الآن بثقة كمية الهيليوم والدوتيريوم الناجية عن الدقائق الثلاث الأول من الكون.

3) تسيطر المادة المظلمة على المجرات. متى وكيف تشكلت، والطريقة التي شكلت فيها العناقيد تعتمد بوضوح على ماهية المكون الجاذبي المسيطر وكيفية سلوكه كلما توسع الكون. نستطيع التخمين بشكل مختلف حول المادة المظلمة؛ حساب نواتج كل منها، والنظر في أكثر النتائج مماثلة لما نشاهده. يمكن لحسابات كتلك -والمذكورة في الفصل الثامن- تقديم إشارات غير مباشرة عن ماهية المادة المظلمة.

## لماذا مادة وليست مادة مضادة؟

لا نعلم حتى الآن بالضبط ما هو نمط الجسيمات التي يحتمل أنها تواجدت في الطور المبكر جدًا للكون ولا كيف نجت. إن كان المساهم الأعظم، كما أعتقد، في الرقم Ω جاء من نوع جديد من الجسيمات، فعلى بساطة كوننا الانتقال إلى مستوى أبعد.

نحن معتادون على فكرة حقبة ما بعد الكوبرنيكية post-Copernican، والتي تقول بأننا لا نشغل موضعًا مركزيًا في الكون، بل علينا التخلي عن (الشوفينية الجسيمية particle chauvinism) أيضًا؛ فالذرات المكونة لأجسامنا، والتي تجعل كل النجوم والمجرات مرئية، بالكاد تكون مكونات زهيدة من كوننا المضبوط على المقاييس الكبيرة بواسطة مواد أخرى مختلفة -غير مرئية-. نحن نرى الرغوة البيضاء فقط، كما هي تطفو على الأعراف الموجية، لكننا لا نرى الأمواج بحد ذاتها. علينا تصور أن كوننا موطن مظلم، مكون بشكل أساسي من مواد غير معلومة.

تبدو الذرات النموذجية بأنها (أقلية) مكونة للكون، مغمورة بأنواع مختلفة من الجسيمات الناجية مباشرة من الانفجار الكبير، لكن الأمر في الحقيقة مربك للفهم أكثر من ذلك، إذ لماذا توجد الذرات أساسًا؟ لماذا لا يتركب كوننا من المادة المظلمة وحدها؟

بالنسبة لجميع أنواع الجسيمات هناك جسيم مضاد مرتبط به؛ هناك بروتون (مكون من ثلاث كواركات)، والبروتون المضاد (مكون من ثلاث كواركات مضادة)، والإلكترون المضاد هو البوزترون.

تتدمر الجسيمات المضادة عندما تلتقي بالجسيمات الاعتيادية، محولةً طاقتها ($mc^2$) إلى إشعاع. لا تتوافر المادة المضادة ككتل في أي مكان سواءً في داخل أو على السطح، ويمكن تصنيع كميات ضئيلة منها في المسرعات، حيث يتم صدم الجسيمات بعضها البعض بطاقة كافية لتشكيل أزواج الجسيمات والجسيمات المضادة. ستكون

المادة المضادة مثالية كوقود للصواريخ؛ فعندما تدمر تتحرر كامل طاقة كتلتها السكونية rest-mass، وسيعادل جزءٌ يبلغ $\varepsilon = 0.007$ ما يعادل اندماجًا نوويًا.

يمكن للمادة المضادة النجاة فقط إن تم حجبها عن المادة العادية، وإلا ستهلك نفسها من خلال توليد أشعة غاما شديدة أثناء التحطم. يمكننا القول بكل تأكيد بأن كامل مجرتنا -بجميع مكوناتها من نجوم وغازات- مكونة من المادة بدلًا من المادة المضادة؛ فعلى الدوام تختلط مكوناتها ويعاد تدويرها من خلال الولادات والوفيات النجمية، وأنها بدأت من المادة، وأن نصف المادة المضادة تلاشى في ذلك الوقت ولم يبق منه شيء، لكن على المقاييس الأكبر سيكون المزج أقل كفاءة، ولن نستطيع على سبيل المثال جحد الحدس القائل بأن (العناقيد المجرية العظيمة) تتكون بالتناوب بين المادة والمادة المضادة؛ إذ سيبدو أن هناك تحيزاً لصالح نوع واحد.

هناك $10^{78}$ ذرة في الكون المشاهد -بشكل أساسي الهيدروجين، تتكون كل ذرة منه من بروتون وإلكترون-، لكن لا يبدو أن هناك الكثير من الذرات المضادة. سيبدأ الكون الأبسط، الذي قد يتخيله المرء، من كميات متساوية ممزوجة من المادة والمادة المضادة، لكن كوننا لحسن الحظ لم يكن كذلك، ولو كان كذلك لتدمرت جميع البروتونات بالبروتونات المضادة خلال المراحل الأولى الكثيفة؛ وسينتهي الأمر بإشعاع كامل ومادة مظلمة، لكن من دون ذرات أو نجوم أو مجرات!

لِمَ انعدام التماثل هذا؟ ربما كانت كامل الـ$10^{78}$ ذرة زيادة منذ البدء، لكن هذا يبدو عدداً كبيراً غير طبيعي، ولا يمكن القبول به على أنه ببساطة جزء من (الشروط البدئية).

يشتهر العالم الروسي Andrei Sakharov على نطاق واسع لدوره في تطوير القنبلة الهيدروجينية، ولاحقًا في معارضته البارزة في السنوات الأخيرة من الاتحاد السوفييتي، كما يشتهر بمساهمة أفكاره الفذة في الكون. في العام 1967، بَحَثَ فيما إذا كان هناك عدم تماثل ضئيل خلال تبرد الكون مباشرة بعد الانفجار الكبير، يفضل

الجسيمات على الجسيمات المضادة. يمكن لاختلال التوازن ذلك خلق زيادة طفيفة من الكواركات أكثر من الكواركات المضادة، والتي ستترجم لاحقًا إلى زيادة في وجود البروتونات أكثر من البروتونات المضادة.

تتطلب فكرة **سخاروف** بشكل واضح بعض الانفصال عن التناظر التام بين سلوك المادة ومضادتها، جاء الدليل على أمر كهذا -والذي كان مفاجئًا في ذلك الوقت- في عام 1964 من عالمين فيزيائيين أمريكيين، هما James Cronin و Val Fitch اللذين درسا تحلل الجسيمات غير المستقرة المسمى K°.

لقد وجدا أن تلك الجسيمات ومضاداتها ليست صوراً مرآتية مطابقة لبعضها البعض، بل يتحللان بمعدلات مختلفة تقريبًا؛ حيث بعض اللاتناظر الطفيف تم بناؤه في القوانين الحاكمة للتحلل. ذلك يعني، بالصدفة، أنه إن حققنا اتصالاً بالفيزيائيين (الفضائيين alien) الذين قد يبلغونا بتجارب أجروها في المجرات الأخرى، فسنستطيع القول عندها فيما إذا كان أولئك الفيزيائيون مكونين من مادة أم من مادة مضادة، لكن سيكون من الحكمة التحقق من ذلك قبل اللقاء بهم!

يتضمن التحلل K° فقط القوى المسماة بـ(الضعيفة)، والتي تسيطر على الإشعاعية والنوترينوات، كما أنه لا يتضمن القوى النووية القوية. في النظرية الموحدة للقوى، مهما يكن ذلك النوع من انعدام التماثل فسوف «يرحل» من قوة إلى أخرى، مقدمًا أساسًا لفكرة **سخاروف**.

افترض وجود $10^{9}$ زوج من الكواركات، وأن انعدام التماثل قد قاد إلى وجود كوارك إضافي؛ فبينما يبرد الكون، ستتصادم جميع الكواركات المضادة مع الكواركات، محررة في النهاية كميات من الإشعاع، سيكوّن ذلك الإشعاع، بعد أن برد إلى طاقة منخفضة جدًا، الـ2.7 درجة حرارة الموجودة في الخلفية، والمنتشرة في الفضاء بين المجري، لكن لكل مليار كوارك هناك مليار كوارك مضاد سيصطدم به، وسينجو كوارك واحد؛ لأن لا نظير له يصطدم معه.

هناك بالفعل كميات من الإشعاع (الفوتونات) أكثر بمليار مرة مما يوجد من البروتونات في الكون - 412 مليون فوتون في المتر المكعب، مقارنة ب 0.2 بروتون -، وبالتالي فيمكن للذرات في الكون أن تنتج من تحيز دقيق الصغر فضل المادة على المادة المضادة.

نحن والكون المرئي من حولنا ربما وجدنا فقط لأن هناك اختلافًا في موقع الرقم العشري التاسع بين عدد الكواركات والكواركات المضادة!

يحتوي كوننا على الذرات، وليس على الذرات المضادة؛ نتيجة تحيز طفيف انتشر في المراحل المبكرة. ينطبق ذلك، بالطبع، على إمكانية ظهور البروتون -أو كواركاته المكونة- في بعض الأحيان، أو الاختفاء من دون أن يحصل ذات الشيء للبروتون المضاد. إلا أن هناك تبايناً هنا مع الشحنة الكهربائية الصافية؛ فهذه مصونة تمامًا، وإذا ما بدأ كوننا غير مشحون، فسيتواجد دائمًا إلغاء دقيق بين الشحنات الموجبة والسالبة.

لا تحيا الذرات إلى الأبد بالرغم من البطء الشديد لمعدلات التحلل؛ إذ تصل أفضل توقعاتنا لعمر الذرة إلى $10^{35}$ سنة؛ ذلك سيعني أن ذرة واحدة بشكل وسطي، ستتحلل كل سنة ضمن خزان حاوٍ على آلاف الأطنان من الماء. لا يمكن للتجارب الجارية في خزانات بذات الضخامة تلك تحت الأرض الكشف عن النوترينوات، إذ لا يمكنها الوصول إلى هذه الحساسية، لكنها تخبرنا بشكل مسبق بأن مدة حياة الذرة على الأقل $10^{33}$ سنة.

في المستقبل البعيد، ستتحول جميع النجوم إلى أقزام بيض، وإلى نجوم نيوترونية أو ثقوب سوداء. ستتحلل الأقزام البيض والنيوترونية نفسها كلما تحللت الذرات، إلا أن ذلك التآكل سيستغرق $10^{35}$ سنة، وستجعل الحرارة المتولدة عن التحلل الطويل النجم يشع كمدفأة منزلية كهربائية. ستكوِّن تلك الإشعاعات الواهية الدفء الأساسي، باستثناء بعض الهبات العرضية التالية للتصادم النجمي في المستقبل البعيد، بعد استهلاك جميع النجوم وقودها النووي.

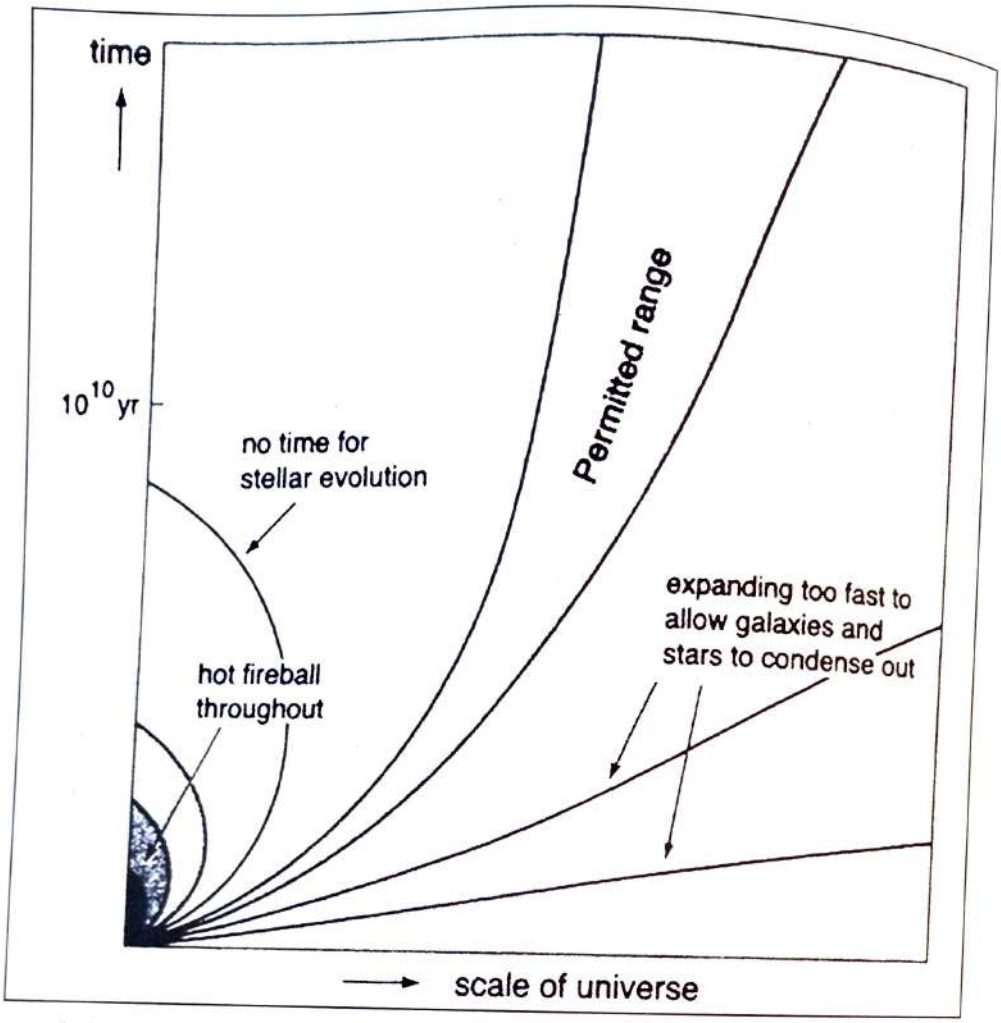
## ضبط التوسع البدئي

قد لا تساوي Ω الواحد، لكنها الآن على الأقل (0.3). من الوهلة الأولى، ربما لا يبدو ذلك مشيرًا إلى الضبط الدقيق، رغم أنه يشير إلى أن Ω كانت بالفعل قريبة جدًا من التوحد في الحقب الأول؛ ذلك لأن الفجوة بين تلكما الطاقتين تتسع، ما لم تكن طاقة التوسع وطاقة الجذب في توازن دقيق، وذلك في الحالة التي تكون فيها Ω، وتبقى، بالضبط مساويةً للواحد.

إن بدأت Ω بأقل من الواحد في الكون المبكر، فستسيطر في النهاية الطاقة الحركية بشكل كامل (بحيث تكون Ω صغيرة جدًا بالفعل)؛ وفي المقابل، إن كانت Ω بشكل أساسي أكثر من الواحد، فستسيطر الجاذبية بشكل سريع وتوقف التوسع.

يوضح الشكل (6-1) مجال «المسارات» لكوننا الفعلي، والمتسق مع دليل المادة المظلمة الذي يحدد لنا القيمة الحالية للرقم Ω.، كما يوضح الشكل أيضًا بعض الأكوان التي يستحيل فيها ظهور الحياة المعروفة. يسلط الضوء أيضًا على اللغز الأساسي: لماذا لايزال كوننا، بعد مليارات السنين، يتوسع وفق قيمة Ω غير البعيدة جدًا عن الواحد؟

هناك أساس جيد، كما رأينا في الفصل الماضي، لاستقراء الزمن رجوعًا إلى الوقت الذي كان فيه عمر الكون لحظة واحدة ودرجة حرارته 10 مليارات درجة. افترض أنك كنت (تُركِّب) الكون في ذلك الوقت؛ سيعتمد المسار الذي يسلكه على قوة الدفع المعطاة له. إنْ بدأ بسرعة كبيرة جدًا، فستكون طاقة التوسع مسيطرة، بشكل مبكر جدًا، (بعبارة أخرى، ستكون Ω صغيرة جدًا)، ولن تستطيع المجرات والنجوم سحب بعضها البعض من خلال الجاذبية، ومن ثم التكثف، سيتوسع الكون إلى الأبد، لكن لن تكون هناك حياة. في المقابل، على التوسع ألا يكون بطيئًا جدًا؛ وإلا سيتقلص الكون على نفسه من جديد، وبسرعة كبيرة أثناء الانسحاق الكبير.




الشكل (6-1): يشير المخطط إلى مختلف المسارات المحتملة للكون. بغض النظر عن الشكوكية في القيمة الحالية لـΩ، إلا أن على الشروط البدئية أن تكون شديدة الضبط وبدقة ملحوظة، لكي ينتهي كوننا في المدى المسموح به. من دون ذلك الضبط، سيكون التوسع إما سريعًا جدًا، ولن تتشكل المجرات، أو بطيئًا جدًا، وسينكمش الكون على نفسه قبل توفر الوقت لحصول أي تطور مهم. تمت مناقشة شروحات الضبط الدقيق في الفصل التاسع.

لابد وأن أي تعقيد طارئ سيغذي (انعدامات الانتظام non-uniformities) في الكثافة والحرارة -محيطنا الحيوي الخاص، على سبيل المثال، يغذي نفسه من امتصاص إشعاع الشمس الحار ويعيد إصداره إلى الفضاء البين نجمي البارد-. يمكننا الوصول إلى فكرة توسع الكون من حالة كرة النار، وأنه برد على الأقل 3000 درجة،

قبل أن تظهر أي حياة، من دون الحاجة لأن نكون ذوي مبدأ «غير بشريي التمركز anthropocentric» ولو لأدنى حد. إن كان التوسع البدئي بطيئًا جدًا ليسمح بهذا، فلن نمتلك أية فرصة للحياة.

من ذلك المنطلق، يبدو من المفاجئ أن كوننا قد بدأ من تلك الدفعة المضبوطة بعناية شديدة، والكافية بالضبط تقريبًا لموازنة نزعة الجاذبية. يبدو الأمر كالجلوس في قعر بئر وإلقاء الأحجار إلى الأعلى لكي تتوقف تماماً عند قمة البئر؛ الدقة المطلوبة مذهلة، ففي ثانية واحدة من الانفجار الكبير، لم تستطع Ω امتلاك شكل مختلف عن الموحودية، ولا بأكثر من جزء من المليون مليار (1/ من $10^{15}$) وذلك كي يظل الكون الآن، وحتى بعد 10 مليارات سنة، يتوسع بقيمة Ω، لم تفارق الواحد بشكل كبير على الأكيد.

لاحظنا مسبقًا أن على الكون المعقد تضمين «عدد كبير» N يعكس ضعف الجاذبية، وأن عليه أيضًا امتلاك قيمة ε تسمح للعمليات الكيميائية والنووية بالحصول، لكن تلك الشروط، بالرغم من أهميتها، غير كافية؛ إذ لا يمكن توفير المجال لتحرر تلك العمليات إلا في كون ذي معدل توسع مضبوط بدقة. وعليه يجب إضافة Ω إلى قائمة الأعداد الحرجة. كان لابد من الضبط المذهل القريب من الواحد في الكون المبكر. إن كان التوسع سريعًا جدًا، فلن تسحب الجاذبية المناطق إلى بعضها البعض لتشكل النجوم والمجرات، وإن كان الزخم الأولي غير كاف، فسيحصل انسحاق مبكر يقضي على التطور، وهو لا يزال في مراحله الأول.

يتفاعل علماء الكون مع هذا (الضبط) بطرق مختلفة، رد الفعل الأكثر شيوعًا هو العناد، من النظرة الأولى، وذلك للمجادلة أنه بسبب إعداد كوننا المبكر على قيمة قريبة جدًا من الواحد لـ Ω، فلابد من وجود سبب أعمق يوضح لماذا بالضبط واحد؛ بعبارة أخرى، بما أن الضبط دقيق جدًا، فلابد من أنه مطلق الكمال. يملك ذلك الاحتمال نفس أسلوب الاستنتاج الذي خدم في الحقيقة بشكل جيد في سياقات

أخرى؛ على سبيل المثال، نحن نعلم أن شحنة ذرة الهيدروجين الموجبة في النواة يتم إلغاؤها بالشحنة السالبة الخاصة بالإلكترون الذي يدور حولها، وبدقة مهولة؛ أكبر من جزء من $10^{21}$. على أية حال، ما من قياس يمكنه إخبارنا أن الشحنة الصافية على الذرة هي بالضبط (صفر)؛ هناك دائمًا بعض الهامش للخطأ. في العشرين سنة الماضية اقتَرَحَتْ ما تسمى (النظريات الموحدة الكبرى Grand Unified Theories) التي تربط القوى الكهربائية بالقوى النووية، اقترحت سببًا أعمق يفسر دقة الإلغاء، رغم أن معظم الفيزيائيين وحتى 50 عامًا خلت كانوا سيتوقعون أن الإلغاء دقيق تمامًا، مع عدم وجود أي حجة مقنعة عليه.

مفاجأة أخرى، هي أن معدل التوسع (ثابت هابل) هو ذاته في جميع الاتجاهات، ويمكن وصفه من خلال (معامل تدرج) وحيد، يصور التطاول في قضبان شبيكة Escher (الشكل 5-1).

من السهل علينا تصور الكون وهو يتمدد بشكل أسرع في جهات أكثر من أخرى؛ فكون أقل انتظامًا سيبدو أنه أكثر انفتاحاً على خيار كذلك، لكن لماذا عندما نراقب المناطق البعيدة في الاتجاهات المعاكسة، تبدو متشابهة جدًا ومتزامنة؟ أو لماذا تكون درجات الحرارة في إشعاعات الخلفية، والتي لم تتبعثر منذ أن كانت الحرارة 3000 درجة تقريبًا ذاتها في جميع أنحاء السماء؟ كما سنرى في الفصل التاسع، هناك تفسير جذّاب -يقحم ما يسمى بـ(الطور التضخمي Inflationary Phase)- في مظاهر كوننا تلك، وفي $\Omega$ المضبوطة بدقة في كوننا البدائي.

# الفصل السابع

# الرقم ($\lambda$)

## «هل التوسع الكوني في تباطؤ أم تسارع؟»

# الرقم (λ)
# «هل التوسع الكوني في تباطؤ أم تسارع؟»

**«قد يكون الكون بالضخامة التي يتحدثون عنها، لكنه لن يُفْتَقَدَ لو لم يوجد أصلا».**

بيت هان Piet Hein

## النظر في الماضي

يحوي كوننا كتلة على شكل مادة مظلمة أكثر مما يحويه على شكل ذرات عادية، لكن هناك ما يكفي لتوفير كامل (الكثافة الحدية) لجعل Ω مساوية تماماً للواحد. الكمية المستنتجة ضمن المجرات وعناقيد المجرات تبقى أقل من ذلك.

على كل حال، فإن المادة المظلمة المنتشرة بشكل متجانس في الكون لن تتدخل في الحركات الداخلية ضمن العناقيد، ولا حرف الضوء الناتج عن عناقيد المجرات، ما يضخم ويحرف صور المجرات البعيدة جداً؛ نتيجة لذلك فإنها تكون أكثر مراوغة.

المادة الحقيقية يمكنها فضح وجودها عن طريق التأثير على التوسع الكوني العام؛ هل يمكننا تبعاً لذلك أن نكتشف مقدار تغير معدل هذا التوسع؟ بالتأكيد هذا ممكن من ناحية المبدأ، فالانحراف الطيفي لجسم بعيد يخبرنا كيف كان يتحرك عندما بدأ ضوؤه رحلته، عند مقارنته مع كيفية حركته الآن. عن طريق ملاحظة الانحراف الطيفي والمسافات التي تفصلنا عن تجمع المجرات -أو أي نوع آخر من الأجسام- فإننا يمكننا استنتاج معدل التوسع في حقبة سابقة، بالمقارنة مع المعدل الحالي يمكننا أن نعرف على الأقل مقدار تغير معدل التوسع.

أي تغير في معدل التوسع سيكون تدريجياً جداً، بحيث أنه سيظهر على مستوى

عدة مليارات من السنوات؛ لذلك ليس هناك أمل في استشعاره إلا إذا أمكننا مشاهدة الأجسام التي تبعد عنا عدة مليارات من السنوات الضوئية، وهذا ليس في حد ذاته عائقاً، حيث أن التلسكوبات ذات المرايا من قياس عشرة أمتار، المجهزة بشكل ممتاز، تسبر الآن إلى حين لم يكن فيه الكون أكثر من عشر عمره الحالي. لكن الأكثر أهمية هو مشكلة إيجاد أجسام بعيدة قياسية بشكل كافٍ، وتمتاز بكونها مختلفة جوهريّاً عن نظائرها المجاورة، لتتم مشاهدتها في مرحلة مبكرة من تطورها.

الأجسام الأسهل في الكشف عند انحرافات طيفية عالية هي النجوم الفلكية البعيدة Quasars، وهي المركز عالي النشاط للمجرات، وهي أبعد ما تكون عن وصفها (شمعات قياسية)، النجوم الفلكية البعيدة التي لها انحرافات طيفية متشابهة -عند مسافات متماثلة- تظهر طيفاً واسعاً من التألق الظاهري، وأسوأ من ذلك فإن فهمنا لها هو أقل ما يمكن، فنحن لا نعرف كيف ستغير مواصفاتها بازدياد عمر الكون. المجرات نفسها مفهومة بشكل أفضل من النجوم الفلكية البعيدة -على الرغم من أنها أقل تألقاً-، ويمكننا الآن رؤيتها على شكل انحرافات طيفية متساوية في الضخامة، لكن هنا تكمن مشاكل أخرى، فهناك مجموعة كبيرة من الأنواع صعبة التصنيف، وهي تتطور كلما تقدمت في العمر. إنها تفعل ذلك نتيجة لعدة أسباب: النجوم الموجودة التي تتطور وتموت، أو النجوم الجديدة التي تتشكل من الغاز، أو أن تضاف نجوم إلى تلك المجرة التي تلتقط الجيران الأصغر منها -وهذا يسمى (تغذي المجرات على مثيلاتها galactic cannibalism)-.

المجرات معقدة جداً، متنوعة جداً، وما زالت غير مفهومة إلا بشكل ضئيل لتكون (شمعات قياسية)، فهي بعيدة كل البعد عن فهمها مثل النجوم المفردة. النجوم المفردة خافتة جداً ليتم رصدها في مسافات فلكية؛ تلسكوباتنا ترصد مجرة كاملة عن طريق التقاط الضوء المجمل القادم من مليار من مكوناتها النجمية. لكن بعض النجوم في مراحل احتضارها تنفجر على شكل انفجار نجمي supernova، وتتوهج لعدة أيام، كأنها مجرة كاملة تحوي مليارات النجوم العادية.

## البحث عن الانفجارات النجمية البعيدة

هناك نوع مميز من الانفجارات النجمية، معروف تقنياً بالنوع (Ia)، وهو يعطي انفجاراً نووياً فجائياً في مركز النجم المحتضر عندما تصل نواته المحترقة إلى ما فوق عتبة كتلة معينة، وتصبح غير مستقرة.

إنها في الحقيقة قنبلة نووية ذات نتاج قياسي، الفيزياء المتحكمة بها مفهومة بوضوح، والتفاصيل اللازمة لا تهمنا، لكن المهم هو أن النوع (Ia) من الانفجارات النجمية يمكن اعتباره (شمعات قياسية) مضيئة كفاية ليتم رصدها على هذه المسافات البعيدة. ومن مقدار الإضاءة سيكون من الممكن استنتاج المسافات؛ لذلك -من خلال قياس الانحراف الطيفي أيضاً- لربط سرعة التوسع مع المسافة في حقبة ماضية، تأمل الفلكيون أن مثل هذه القياسات ستفرق بين معدل تباطؤ قليل، متوقع إذا كانت المادة المظلمة مستخدمة بالكامل، أو معدل أكبر، فيما لو كانت كما شكك العديد من واضعي النظريات بوجود كمية كافية من المادة المظلمة لتعويض كامل (الكتلة الحدية) كما في نموذج الكون الذي وضحته أبسط النماذج النظرية.

هذه الانفجارات النجمية، وبشكل عرضي، تعطي نمطًا آخر يرتبط مباشرة مع انحرافها الطيفي؛ فالانفجارات ذات البعد الأكبر والانحراف الطيفي الأكبر تتوهج وتخمد بشكل أبطأ من الانفجارات الأقرب من نفس النوع، هذا بالضبط ما نتوقعه، فالساعة على جسم مبتعد يجب أن تتحرك بشكل أبطأ، وإذا كان يرسل أصوات «بيب» دورية، فإن تلك البعيدة منها عليها أن تسافر مسافة أطول؛ لذلك فإن فواصل وصولها ستكون متطاولة.1

توهج وتخامد الانفجار النجمي كالساعة، لذلك فإن تباطؤ هذه (المنحنيات الضوئية) منسوباً إلى انحرافها الطيفي هو ما يجب أن نتوقعه إذا كانت مبتعدة عنا. لن يكون هناك تفسير طبيعي لذلك في كون ثابت في مكانه، هذا هو الرد الأفضل لأي شك في أن الانحراف الطيفي هو نتيجة لنوع من تأثير (الضوء المنهك).

الفلك -في المصطلح الاجتماعي- علم كبير يتطلب معدات ضخمة ومكلفة، لكن برامج الباحثين نفسها لا تتطلب في العموم عمل فريق على النمط الصناعي من النوع الإلزامي في المخابر التي تستخدم مسرعات كبيرة لدراسة الجسيمات تحت النووية.

الفلكيون يمكنهم أن يعملوا بمفردهم متابعين مشاريع فردية عن طريق التنافس على وقت الرصد المتوفر على التلسكوبات الكبيرة، أو بالطبع عمل شيء مبدع بتلسكوب صغير، مثل الفلكيين الذين اكتشفوا للمرة الأولى الكواكب حول النجوم الأخرى، لكن مشروع استخدام الانفجار النجمي من أجل علم الكون يتطلب جهداً مستداماً من عدة مشاركين مستخدمين عدة تلسكوبات.

التحدي الأول كان في التقاط بعض الفوتونات -آثارًا خافتة من الضوء- من انفجار نجمي ظهر منذ بضعة مليارات من السنوات، تم اختيار الانفجارات النجمية البعيدة من خلال مسح السماء على شكل شرائح، وبشكل متكرر، بحثاً عن نقاط عرضية عابرة من الضوء في المجرات البعيدة.

تم عمل الأبحاث بواسطة تلسكوبات متوسطة الحجم، بسبب أن الأدوات الأضخم مشغولة، لدرجة أنه لا يمكن تخصيص وقت كافٍ من أجل أي مشروع فردي، حتى لو كان بأهمية هذا المشروع. كل انفجار نجمي يجب أن يرصد بشكل متكرر من أجل رسم مخطط ومنحني الضوء الخاص به، وقياس سطوعه الظاهري بأكبر دقة ممكنة. هذا يتطلب تلسكوباً من قياس عشرة أمتار على الأرض، أو تلسكوب هابل الفضائي، ثم إن تحليل كل البيانات وتقييم مقدار إمكانية الاعتماد عليها هو في حد ذاته مهمة دقيقة.

هناك ميل طبيعي لتعليق الحكم على أي ادعاء علمي جديد، خصوصاً عندما يكون غير متوقع، حتى يتم تأييده من قبل دليل مستقل. يحدث في بعض الأحيان تأخير محبط قبل حدوث ذلك؛ لهذا كان من حسن الحظ أن فريقين منفصلين كرسا نفسيهما من أجل (مشروع الانفجار النجمي الكوني).

أول مشارك جاد في هذا الحقل كان Saul Perlmutter، وهو فيزيائي يعمل في

مخبر Lawrence Berkeley، في كاليفورنيا، ربما بسبب أنه لم تكن لديه قاعدة في علم الفلك لم تردعه الصعوبات، وبدأ مشاركته حوالي 1990، ثم بشكل تدريجي جذب إليه مجموعة من المشاركين من المملكة المتحدة، وكذلك الولايات المتحدة، كما تم إنشاء مجموعة دولية أخرى لاحقاً. وهذه المجموعة الأخيرة تضمنت عدداً من الباحثين الذين أدخلوا تقنيات جديدة -تم اعتمادها لاحقاً من قبل مجموعة Perlmutter- لتصنيف الانفجارات النجمية تحت مجموعات أكثر قياسية.

وبحلول عام 1998 كان كل فريق قد اكتشف حوالي دزينة من الانفجارات النجمية البعيدة، واستجمعوا ما يكفي من الثقة ليعلنوا نتائج مؤقتة. كان هناك تباطؤ أقل مما هو متوقع لو أن Ω كانت مساوية للواحد، هذا في حد ذاته لم يكن مفاجئاً.

لم يكن هناك دليل على وجود مادة مظلمة كافية لرفع Ω فوق 0.3، على الرغم من أن ذلك كان عكس التحيز النظري القوي بأنه لو كانت Ω تساوي الواحد لكان الكون «أبسط»، لكن المفاجأة كانت أن الأمر بدا كما لو أنه لا يوجد أي تباطؤ أبداً؛ في الواقع بدا التضخم كما لو أنه يتسارع! صنفت مجلة Science الأمريكية هذا على أنه الاكتشاف العلمي رقم واحد في عام 1998 في كل مجالات الأبحاث.

هذه المشاهدات صحيحة ضمن حدود الممكن مع التلسكوبات الموجودة، فالانفجارات النجمية باهتة جداً، بحيث أنه من الصعوبة قياسها بشكل دقيق، أضف إلى ذلك أن بعض الفلكيين قلقون من أن ضباباً من الغبار المعترض قد يضعف الضوء، جاعلًا الانفجار النجمي يبدو أبعد مما هو في الواقع.

كذلك فإن القنبلة قد لا تكون قياسية تمامًا؛ على سبيل المثال فنتاجها قد يكون معتمداً على كمية الكربون.. إلخ في النجم السلف، وهو ما سيكون أقل بشكل نظامي في الأجسام التي تشكلت عندما كان الكون أصغر عمراً -بعبارة أخرى، تلك التي نرصد لها انحرافاً طيفياً كبيراً-.

لكن هناك تأكد متقاطع بين المجموعتين، كما تجري إضافة انفجارات نجمية جديدة إلى العينة المدروسة كل شهر.

## كون متسارع!

التسارع في التضخم الكوني يطرح شيئاً جديراً بالملاحظة وغير متوقع عن الفضاء نفسه؛ لابد من وجود قوة إضافية تسبب (التنافر الكوني) في الفراغ، هذه القوة يجب أن تكون متعذرة التمييز في النظام الشمسي، وليس لها أي أثر ضمن مجرتنا، لكنها يمكن أن تتغلب على الجاذبية في البيئات الأكثر تخلخلًا في الفضاء ما بين المجرات. على الرغم من السحب الجذبي للمادة المظلمة -والتي قد تسبب تباطؤاً تدريجياً عند عملها وحدها-، فإن التضخم يمكنه عندها أن يتسارع فعلًا، وعلينا أن نضيف رقماً حاسماً إلى قائمتنا لوصف هذه القوة (المعاكسة للجاذبية).

نظن عادة أن الفراغ هو (اللاشيء)، لكن إذا أمكن للمرء أن يزيل الجزيئات التي يحتويها جزء من الفضاء ما بين النجمي وأن يحصنها من الإشعاع الذي يمر منها، وأن يبردها حتى الصفر المطلق من الحرارة، فإن الفراغ الحاصل سيبقى يمارس بعض القوة المتبقية.

**أينشتاين** نفسه عرف هذا مبكرًا في عام 1917، بعد أن طور نظريته عن النسبية العامة بقليل بدأ في التفكير بكيفية تطبيق هذه النظرية على الكون. في ذلك الوقت لم يعرف الفلكيون إلا مجرتنا، والافتراض الطبيعي كان أن الكون ثابت لا يتمدد ولا يتقلص. وجد **أينشتاين** أن الكون المبني في حالة ثابتة سيبدأ فورًا بالتقلص بسبب أن كل شيء فيه يجذب الشيء الآخر؛ فالكون لا يمكنه أن يبقى في الحالة الثابتة ما لم توجد قوة خارجية تقاوم الجاذبية؛ لذلك فقد أضاف إلى نظريته رقماً جديداً، هو ما دعاه (الثابت الكوني)، ورمزه بالرقم الإغريقي (λ لمدا)، سمحت معادلات **أينشتاين** فيما بعد بكون ثابت عند قيمة مناسبة لـ λ، تجعل التنافر الكوني متوازناً مع الجاذبية تماماً. كون **أينشتاين** هذا كان متناهيًا، لكنه غير محدود؛ فأية حزمة ضوء ترسلها ستعود في النهاية وتضرب مؤخرة رأسك.

هذا ما سمي (كون أينشتاين)، ولم يعد أكثر من ذكرى بعد 1929. الفلكيون أدركوا حينها أن مجرتنا هي واحدة من العديد من المجرات، وأن هذه المجرات البعيدة كانت تبتعد عنا؛ فالكون لم يكن ثابتاً، لكنه كان يتمدد، لذلك فإن **أينشتاين** بعد ذلك فقد اهتمامه بـ λ.

في الواقع إن سيرة George Gamow الذاتية (مجرى عالمي My World Line) تسجل محادثة صنف فيها **أينشتاين** (λ) قبل ثلاث سنوات من موته على أنها «أكبر أخطائه»؛ ذلك بسبب أنه لو لم يذكره لكانت معادلاته قد التزمت بنتيجة أن الكون يتمدد -أو يتقلص-، وكان بإمكانه توقع التمدد قبل اكتشاف Edwin Hubble له.

منطق **أينشتاين** في اختراع λ كان مهجوراً لمدة 70 عاماً، لكن ذلك لم يشكك في المفهوم نفسه، على العكس يبدو λ الآن أقل ابتداعاً وخصوصية مما ظنه **أينشتاين**؛ ندرك الآن أن الخلاء الفارغ ليس بسيطاً أبداً، فكل أنواع الجسيمات كامنة فيه. كل جسيم موجود مع جسيمه المضاد، ويمكن توليدها بالتركيز المناسب من الطاقة، وعلى نطاق أصغر يمكن أن يكون الخلاء الفارغ حبكة متشابكة من الخيطان التي تغلي مظهرة البنى في أبعاد أكبر.

من منظورنا الحديث فالأحجية هي لماذا λ صغيرة جداً؟ لماذا لا يكون لكل هذه العمليات المعقدة التي تحدث حتى في الخلاء الفارغ أي تأثير نهائي أكبر؟ لماذا لا يكون الفضاء أكثر كثافة كنواة ذرة أو كنجم نيوتروني -وفي تلك الحالة فإنه سينغلق على نفسه ضمن عشرة أو عشرين كيلومتراً-؟ أو حتى لماذا لا يكون الكون كثيفاً كما كان في عمر $10^{-35}$ ثانية -وهي فترة تمت مناقشة أهميتها بالنسبة للنظريات الموحدة في الفصول اللاحقة-؟ في الواقع، إنها أقل من تلك الكثافة فائقة القدم بنسبة $10^{120}$، وربما هو الفشل الأفظع في توقع ترتيب الأهمية في كل العلم.

قيمة λ ربما لا تكون صفراً تماماً، لكنها ضعيفة جداً بشكل مؤكد، حتى أنه لا يمكنها إلا التنافس مع الجاذبية الممددة جداً في الفضاء ما بين المجرات.

بعض أصحاب النظريات اقترحوا أن الفضاء يمتلك بنية مصغرة من الثقوب السوداء الصغيرة التي تكيف نفسها لتكافئ أي طاقة أخرى في الخلاء، وتؤدي إلى أن تكون λ مساوية تماماً للصفر.

إذا كان كوننا بالفعل يتسارع، و λ ليست مساوية للصفر، فإن ذلك سيبتلع مثل هذه الحجج، ويحذرنا أيضاً من سلسلة الأفكار التي تقول «بسبب أن شيئاً ما صغير بشكل ملحوظ، فلابد من وجود سبب قوي له ليكون مساوياً للصفر».

## (λ).. لا تساوي الصفر

كانت قضية كون (λ) لا تساوي الصفر في وقت الكتابة (ربيع 2000) قوية، لكنها ليست عارمة. قد تكون هناك نزعات أو أخطاء غير مشكوك فيها في رصد الانفجارات النجمية، ولم يتم إقرارها بشكل مناسب بعد، لكن الدليل الآخر، وإن كان من النوع التقني قليلًا وغير المباشر، يدعم أن إشعاع الخلفية -وهو (الشفق) الباقي من الانفجار الكبير- ليس منتظماً تماماً في كل السماء، فهناك عدم تساوٍ بسيط في الحرارة، سببه عدم الانتظامات التي تطورت في المجرات والسحب الغازية. يمكن حساب الحجم المتوقع لأكثر حالات عدم الانتظام شهرة، فحجمها في السماء -وفيما لو كانت بعرض درجة أو درجتين عرضاً- يعتمد على كمية تمركز جاذبية كل شيء على طول خط النظر.

القياسات من هذا النوع لم تتم حتى أواخر التسعينات (تمت من مواقع الجبال العالية الجافة، ومن القارة المتجمدة الجنوبية أو من رحلات المنطاد طويلة المدة)، وهي تدل على عكس وجود كون بسيط قليل الكثافة. إذا كانت Ω حقا 0.3، وكانت λ تساوي الصفر تماماً؛ فإن أصول عناقيد المجرات ستبدو أصغر مما هي بالفعل.

على أي حال، أي طاقة كامنة في الخلاء تساهم في هذا التركيز، إذا كانت λ حوالي 0.7 فإننا سنحصل على اتساق مرض لهذه النتائج، كالذي حصلنا عليه من خلال دليل الانفجارات النجمية على تسارع التضخم.

الجاذبية هي القوة المسيطرة في الكواكب والنجوم والمجرات، لكن على المستوى الأكبر من الكون نفسه، فإن الكثافة الوسطية قليلة جداً؛ بحيث أن قوة مختلفة ستأخذ بزمام الأمور.

الرقم الكوني λ -الذي يصف أضعف وأكثر قوة غموضاً في الطبيعة- يبدو أنه يتحكم بتمدد الكون ومصيره النهائي. «خطأ» **أينشتاين** قد يثبت بصيرة نافذة في النهاية، وإذا كان كذلك، فإنه لن يكون المثال الوحيد الذي فيه لعمل **أينشتاين** أثر، فشل حتى هو في التنبؤ به.

المضمون الأكثر إثارة للدهشة في النسبية العامة، هو أنها تنبأت بوجود الثقوب السوداء، لكن موقفه كان ملخصاً من قبل Freeman Dyson2: «أينشتاين لم يكن متشككاً فقط، وإنما معادياً بالفعل لفكرة الثقوب السوداء. لقد ظن أن حل الثقب الأسود كان خللًا تجب إزالته من النظرية عن طريق صيغة رياضية أفضل، وليس نتيجة يمكن التحقق منها بالمشاهدة. لم يعبر أبدًا عن أقل تفاؤل بالثقوب السوداء، لا كمفهوم ولا كاحتمالية فيزيائية».

إذا لم تكن λ تساوي الصفر فإننا سنواجه مشكلة؛ هي لماذا تمتلك القيمة التي نلاحظها واحدة أقلَّ بقيمة عشرة مرفوعة لرقم كبير كقوة، وهو أقل بكثير من قيمتها «الطبيعية».

البنية الكونية في وقتنا الحاضر ستكون مختلفة بأقل ما يمكن، فيما لو كانت أصغر -رغم أنه بالتنبؤ طويل الأمد المناقش لاحقاً ستكون متغيرة على نحو ما-.

على كل حال، فإن قيمة أكبر بكثير من λ ستكون لها عواقب كارثية؛ فبدلًا من البقاء قادرة على التنافس مع الجاذبية بعد تشكيل المجرات، فإن القيمة الأعلى لـ λ ستغلب الجاذبية قبل ذلك خلال الأطوار عالية الكثافة، إذا بدأت λ في السيطرة قبل تكاثف المجرات في الكون المتوسع، أو أنها وفرت تنافرًا قويًا كفاية ليمزقها، فإنه لن تكون هناك مجرات. إن وجودنا يتطلب ألا تكون λ كبيرة جداً.

## المستقبل بعيد الأمد

الجيولوجيون يستنتجون تاريخ الأرض من الطبقات الرسوبية في الصخور، والمناخيون يمكنهم استنتاج تغيرات درجات الحرارة على مدى ملايين السنين الماضية عن طريق الحفر عبر الطبقات المتعاقبة من الجليد القطبي، كذلك يمكن للفلكيين دراسة التاريخ الكوني عن طريق أخذ (لقطات) من المجرات في مسافات مختلفة؛ تلك الأكثر بعدًا عنا -لها انحراف طيفي أكبر- تتم رؤيتها في مراحل أقدم من التطور.

التحدي الماثل أمام أصحاب النظريات (انظر الفصل الثامن) هو فهم المجرات وكيفية تطورها، وإنتاج محاكاة حاسوبية تطابق الواقع بشكل دقيق. معظم المجرات استقرت الآن في نضج رزين وتوازن تباطأ فيه (استقلابها)؛ حيث تتشكل بضع نجوم جديدة، وتلم بضع نجوم زرقاء لماعة. لكن ماذا عن المستقبل بعيد الأمد؟

ماذا سيحدث لو أننا عدنا عندما يصبح الكون عشر مرات أكبر عمراً -حين يكون عمره مئة مليار سنة بدلًا من عشرة مليارات سنة؟-، تخميني المفضل (قبل وجود دليل عليه) كان أن التوسع سيكون قد توقف حينها وتبعه إعادة تقلص نحو تحطم هائل؛ حيث يواجه كل ما نعرفه نفس مصير رائد فضاء يسقط في ثقب أسود. ستكون لكوننا عندها فترة حياة محددة لوجوده المستمر، كما أنه محدود في الفراغ، لكن هذا السيناريو يتطلب $\Omega$ أكبر من الواحد، وذلك عكس الدليل الذي ظهر في السنوات الأخيرة. المادة المظلمة موجودة بشكل مؤكد، لكن يبدو أنها لا توجد بكمية كافية لإيجاد كامل (الكثافة الحدية)؛ تبدو $\Omega$ أقل من الواحد، إضافة لذلك فإن تنافرًا كونيًا إضافيًا تصفه $\lambda$ قد يكون سبباً في تسريع توسع كوننا.

يبدو من المرجح أن التوسع سيستمر بلا حدود، لا يمكننا توقع الدور الذي ستبدعه الحياة لنفسها بعد عشرة مليارات سنة من الآن؛ قد تكون انقرضت، وقد تكون

تطورت لتسيطر على كامل الكون، وربما تنقض هذا التنبؤ. لكننا يمكن أن نحسب المصير النهائي للكون الساكن، حتى أبطأ النجوم احتراقاً ستموت، وكل المجرات في مجموعتنا المجاورة -مجرة درب التبانة ومجرة أندروميدا ومجموعات من المجرات الأصغر- ستلتحم في نظام واحد.

معظم الغاز الأصلي سيكون مرتبطاً ببقايا النجوم الميتة، وبعضها ستكون ثقوباً سوداء، والأخرى ستكون نجومًا نيوترونية باردة جداً، أو أقزاماً بيضاء.

بالنظر أبعد من ذلك، فإن عمليات بطيئة جداً ليتم إدراكها اليوم قد تكون واضحة لهم في ذلك الوقت. الاصطدامات بين النجوم ضمن المجرة النمطية نادرة بشكل كبير -من حسن حظ شمسنا-، لكن أعدادها قد ترتفع. الأطوار النهائية مستنفدة المصادر من مجرتنا ستضاء بشكل متقطع بتوهجات كثيفة، وكل منها يشير إلى اصطدام بين نجمين ميتين. نقص الطاقة من خلال الإشعاع الجذبي -وهو أثر توقعته نظرية **أينشتاين** في النسبية العامة- بطيء بشكل غير ملحوظ اليوم -وعدا في بعض النجوم الثنائية، حين تكون المدارات قريبة وسريعة بشكل خاص- وسيحطم مع الوقت المدارات النجمية والكوكبية. حتى الذرات قد لا تعيش إلى الأبد! النتيجة، سوف تتآكل الأقزام البيضاء والنجوم النيوترونية بسبب اضمحلال الجزيئات الأساسية المكونة لها، وستضمحل الثقوب السوداء في النهاية.

سطح الثقب الأسود متموج Fuzzy قليلًا بسبب التأثيرات الكمومية، وهكذا فإنه يشع. في كوننا الحاضر هذا الأثر أبطأ من أن يكون مثار اهتمام، ما لم توجد ثقوب سوداء بحجم ذرات فالمعدل الزمني هو $10^{66}$ سنة لاضمحلال ثقب نجمي هائل، وثقب يزن مليار شمس سيضمحل بعد $10^{93}$ سنة.

في النهاية، بعد $10^{100}$ مليار سنة، فإن البقايا الوحيدة الموجودة من المجموعة المجاورة لنا من المجرات ستكون حشداً من المادة المظلمة، وقليلاً من الإلكترونات والبوزيترونات.

كل المجرات خارج مجموعتنا المحلية ستمر بنفس الاضمحلال الداخلي، وستتحرك أبعد عنا، لكن السرعة التي ستتبعثر بها تعتمد على قيمة λ بشكل حاسم، إذا كانت λ تساوي الصفر، فإن سحب الجاذبية العادية سيبطئ التراجع، على الرغم من أن المجرات ستتحرك مبتعدة بعناد، إلا أن سرعتها (وانحرافها الطيفي) سينقص بشكل تدريجي، لكنه لن يصبح صفراً تماماً. إذا امتلك أحفادنا البعيدون تلسكوبات قوية كفاية لرصد المجرات ذات الانحراف الطيفي العالي، رغم خفوتها داخلي المنشأ وبعدها المتزايد، فإنهم سيكونون قادرين فعلًا على رصد أكثر مما يبدو في سمائنا الحالية.

بعد (لنقل) 100 مليار سنة، سنكون قادرين على رؤية ما هو على بعد 100 مليار سنة ضوئية؛ ستدخل في مجال رؤيتنا أجسام هي الآن بعيدة جداً خارج أفقنا الحالي، بسبب أن ضوءها لم يمتلك الوقت الكافي ليصل إلينا.

لكن إذا كانت λ لا تساوي الصفر، فإن التنافر الكوني سيدفع المجرات بعيداً عن بعضها بمعدل متسارع، وستختفي من مجال الرؤية بشكل أسرع؛ بسبب أن انحرافها الطيفي يزداد بدلًا من أن يتقلص. مجال الرؤية الخاص بنا سيكون محدوداً بأفق يشبه نظرة من الداخل عند أفق ثقب أسود، حين تسقط الأشياء في الثقب الأسود فإنها تتسارع وتصبح منحرفة طيفياً أكثر فأكثر، وتختفي من مجال الرؤية عندما تقترب من (سطح) الثقب.

مجرة في كون تسيطر عليه λ ستتسارع بعيداً عنا، حيث تتناهى سرعتها نحو سرعة الضوء عندما تقترب من الأفق. في الأوقات اللاحقة لن نرى أي شيء أكثر مما نرى الآن، كل المجرات -عدا أندروميدا والمجرات الصغيرة الأخرى المرتبطة جذبياً بمجموعتنا المجاورة- سيكون مصيرها الاختفاء من مجال رؤيتنا. مصيرها البعيد يقع ما بعد أفقنا، وهو غير ممكن الوصول إليه كما هي الأحداث داخل الثقب الأسود. الفضاء خارج المجرات سيتصاعد نحو الفراغ فيما تتقدم العصور.

# الفصل الثامن

# الرقم (Q)

## «التموجات البدائية»

# الرقم (Q)
# «التموجات البدائية»

«جيء بالكون إلى الوجود على حالة غير مكتملة التشكل، لكنه مُنح القدرة لتحويل نفسه من مادة غير محددة البناء، إلى نظام رائع حقاً من البنى وأشكال الحياة».

القديس أوغستين St Augastine

## الجاذبية والإنتروبيا

في الطبيعة، كما في الموسيقى والرسم، تكون النماذج الأكثر جاذبية غير كاملة الانتظام والتكرارية، وغير عشوائية، وعصية تماماً على التنبؤ، إنها تجمع كل هذه السمات. إن بيئة الكون المرئي من حولنا، والمبنية بأدق تفاصيلها، غير تامة الانتظام، ولا تتداعى في حالة تامة العشوائية.

هناك 92 نوعاً مختلفاً من الذرات في الطبيعة بدلًا من مجرد الهيدروجين والدوتريوم والهيليوم التي نتجت في الانفجار الكبير. تجد الآن بعض هذه الذرات نفسها في كائنات حية معقدة في غلافنا الحيوي الأرضي، وبعضها الآخر في النجوم، وبعضها منتشرة في الخلاءات الشاسعة بين المجرات. كذلك التباينات الحرارية هائلة أيضاً؛ فللنجوم سطوح ملتهبة، بل يكون لهبها أشد حرارة، لكن السماء العاتمة تقترب من الصفر المطلق -تصل حرارتها لـ 2.7 درجات بواسطة وهيج الموجات الميكروية الذي أتى عقب الانفجار الكبير-.

قد يبدو أن التعقيد المذهل، الذي ظهر كله من كرة نارية عديمة التشكل، يخرق مبدأ فيزيائياً مقدساً، ألا وهو القانون الثاني من الترموديناميك؛ حيث يصف هذا القانون الميل الدائم نحو الاتساق بعيداً عن النماذج والبنى. تميل الأشياء للتبرد

إن كانت حارة، وللتدفئة إن كانت باردة. يختلط الحبر والماء بسهولة، في حين أن عكس تلك العملية -تحريك سائل ملون ليصير صباغه متركزًا فقط في قطرة سوداء واحدة- سيذهلنا. تصيب الفوضى الحالات المنتظمة، لكن ليس العكس. في اللغة الاصطلاحية التقنية، لا يمكن للإنتروبيا أن تنقص، وكل نقص موضعي ظاهري يقابله دوماً زيادة الإنتروبيا في مكان آخر، والمثال التقليدي على هذا المبدأ هو المحرك البخاري، حيث تترافق دوماً حركة المكبس المنتظمة بحرارة ضائعة.

نحتاج لإعادة التفكير في بديهياتنا عندما تدخل الجاذبية في حيز العمل، فالنجوم مثلاً تتماسك داخلياً بقوة الجاذبية الباطنية، ويقابل هذا بقوة بالضغط الناتج عن الحرارة الموجودة في باطنها، الغريب هنا كما يبدو أن حرارة النجوم تزداد بخسارتها للطاقة. افترض أن مصدر الوقود الموجود في مركز الشمس قد توقف، فسيبقى سطحها ساطعاً لأن الحرارة تنتشر من اللب الأشد حرارة، لكن إن لم يجدد الاندماج النووي هذه الحرارة فإن الشمس ستنكمش تدريجيًا مع خسارتها للطاقة -وذلك في قرابة عشرة ملايين سنة، وهو ما أدركه اللورد **كالفن** في القرن التاسع عشر-.

لكن هذا الانكماش سيزيد من حرارة اللب؛ الجاذبية تشد بقوة أكبر على مسافات قصيرة، والحرارة المركزية ستزداد لتولد ضغطاً كافياً لموازنة القوة المتعاظمة التي تطبق هناك. يحدث شيء مماثل عندما يلتف قمر صناعي حلزونياً نحو مدار أدنى بسبب المقاومة الجوية، حيث ترتفع حرارته، لكن نصف الطاقة المتحررة من الجاذبية فقط تتحول لحرارة، أما النصف الثاني فيزيد من سرعة القمر؛ لأن الوجود في مدار أقرب يعني الزيادة في السرعة.

لذا، يجب ألا نتفاجأ بتكاثف النجوم الجديدة في سحابات غير منتظمة من الغاز الغباري البارد، حيث تتقلص المناطق الأكثف بسبب ثقالتها لتصبح شديدة الارتصاص، فتضيء كنجوم، وهذا ما يحدث تماماً في سحابة أوريون أو سديم النسر Eagle، لكن يبقى صعباً حساب نسب النجوم الكبيرة والصغيرة التي ستنتج عن هذه

العملية، حتى باستخدام الحواسيب الكبيرة -لسنا متأكدين لهذا السبب من عدد الأقزام البنية التي قد تساهم في المادة المظلمة في مجرتنا-.

لكن تشكُّل النجوم لا يمثل لغزاً من حيث المبدأ؛ فبمجرد أن تسيطر الجاذبية على نظام ما فإنه يتقلص بلا هوادة.

## بدءًا بالانفجار الكبير.. وصولاً إلى المجرات

خضعت سحب الغاز في مجرتنا -وفي غيرها من المجرات- لهزات عنيفة، وأعيد إنتاجها كثيراً، وهي لا تحفظ شيئاً يشير إلى أصلها، فتشكل النجوم لا يتأثر بالكون الأوسع، لكن عملية ظهور المجرات بحد ذاتها أقل صراحة من عملية تشكل النجوم، فنشأتها كانت في الكون المبكر، إذ تشكلت بأصولها ومحيطها.

لو أن كوننا بدأ كامل النعومة والاتساق، لبقي كذلك خلال تمدده، وبعد عشر بلايين سنة سيحتوي مادة سوداء ضئيلة الانتشار، وغازي الهيدروجين والهيليوم شديدي التخلخل، لدرجة وجود ذرة واحدة في كل متر مكعب. سيكون باردًا باهتًا، بلا مجرات ولا نجوم، بالتالي بلا جدول دوري ولا تعقيد، وتحديداً، بلا بشر.

لكن حتى اللاانتظامات التافهة للغاية في الأطوار المبكرة أدت إلى فرق حاسم؛ لأن تمايز الكثافة يتضخم أثناء التمدد. كل رقعة كونية أكثف من المتوسط تتباطأ أكثر؛ لأنها تشعر بمزيد من الجاذبية، ويتباطأ توسعها أكثر فأكثر في مقابل الرقعة متوسطة الكثافة. بالقياس، لو رمينا كرتين للأعلى بسرعتين مختلفتين قليلًا، لاختلف مسارهما بشكل ضئيل فقط، لكن الكرة الأبطأ ستقف تماماً وتبدأ بالهبوط، في حين أن الكرة الأسرع ستستمر صعوداً. تضخم الجاذبية التموجات الطفيفة في كرة النار التي تفتقر للمعالم تقريباً، محسنة من تمايز الكثافة، حتى تتوقف المناطق عالية الكثافة عن التوسع وتتكثف في بنى تتماسك بالجاذبية.

إن البنى الأكثر وضوحاً في الكون -النجوم والمجرات- ممسوكة مع بعضها

بالجاذبية، ويمكن لنا أن نعبر عن مدى متانة تماسكها ببعضها، أو أن نعبر بشكل مكافئ عن كمية الطاقة التي نحتاجها لكسر ترابطها وتفريقها كجزء من طاقة الكتلة ($mc^2$) التي تملكها.

وبالنسبة للبنى الأكبر في كوننا (العناقيد المجرية والعناقيد المجرية الفائقة) فإن الإجابة هي جزء من مائة ألف؛ هذا رقم صرف -نسبة طاقتين-، ونسميه (Q).

الحقيقة أن Q صغير جداً (من رتبة $10^{-5}$)، وهو ما يعني أن الجاذبية ضعيفة في الواقع تماماً في المجرات والعناقيد المجرية؛ لذا فإن نظرية **نيوتن** جيدة كفاية لوصف كيفية حركة النجوم في المجرة، وكيف تتخذ المجرة مدارًا تحت تأثير جاذبية المجرات الأخرى، والمادة المظلمة في عنقود المجرات.

إن صغر Q يعني أيضاً صلاحية التعامل مع كوننا بكونه متجانساً تقريباً، تماماً كما نعتبر أن شيئاً هو ناعمٌ ودائري لو أن طول الأمواج أو التموجات على سطحه كانت 1\100000 فقط من نصف قطره -مساوٍ لـ60 متراً لعالم حجمه بحجم كرتنا الأرضية-.

كانت التموجات لتوجد كسمة منذ البداية الأولى، قبل أن يعرف الكون شيئاً عن المجرات والعناقيد المجرية؛ ولم يكن هناك أي شيء مميز في هذه الحجوم -أو في الحقيقة، في أي من الأبعاد التي بدت مهمة في كوننا الحالي-.

التخمين الأبسط هو أن لا شيء في الكون البدئي يفضل مستوى على الآخر، لذا فإن التموجات متماثلة في كل مستوى، ودرجة الوعورة البدئية تأسست بعض الشيء عندما كان كوننا كله في الحجم الميكروي. كيف لهذا أن يحدث؟ هذا ما حاولنا حله في بقية هذا الفصل. العدد (Q) حاسم لتحديد ملمس البنية في الكون، وهو ما سيكون مختلفاً كثيراً لو أن قيمته كانت أقل بكثير أو أكبر بكثير.

## التموجات في وهيج الموجات الميكروية المتعقب

بدأ كوننا كثيفاً عاتماً كالغاز المتوهج داخل نجم، لكن -وبعد نصف مليون سنة

من التمدد- نقصت درجة الحرارة لحدود الـ3000 -أبرد بقليل من سطح الشمس-، ومع تبرد الكون أكثر، دخل في عصر الظلام بمعناه الحرفي، واستمر الظلام حتى تشكلت أول طليعة مجرة، فأضاءته من جديد.

يواجه علماء الفلك في العقد القادم تحديًا لمعرفة كيفية انتهاء عصر الظلام، ويُلقى الكثير من الأمل على تلسكوب الفضاء المفترض من الجيل التالي، حيث يفترض أن يملك هذا التلسكوب متحريات حساسة للضوء الأحمر والإشعاع تحت الأحمر، ومرآة من 8 أمتار -مقارنة مع 2.4متر لتلسكوب الفضاء **هابل**-.

إشعاع الخلفية الميكروي، الوهيج العاقب للانفجار الكبير نفسه، هو رسالة مباشرة من حقبة كانت فيها المجرات موجودة فقط في مهدها. كان قَدَرُ المناطق زائدة الكثافة -قليلًا- والتي تتوسع أبطأ من المتوسط، أن تصبح مجرات أو عناقيد؛ أما المناطق الأخرى منخفضة الكثافة قليلًا فكان قدرها أن تصبح خلاءات. يجب أن تحمل درجة حرارة الأمواج الميكروية بصمة هذه التأرجحات، وسيكون التأثير المتوقع حوالي جزء من 100000 (وهو مساو تماماً لقيمة Q، الرقم الأساسي الذي يصف مدى التموجات).

وكان النصر المحقق في علوم الكونيات في تسعينيات القرن العشرين هو وضع خريطة فعلية لطلائع البنى الكونية هذه. إشعاع الخلفية الميكروي أضعف بحوالي 100 مرة من الإصدار الأرضي (والتي تبلغ درجة حرارتها 300 فوق الصفر المطلق). التحدي التقني المخيف هو قياس الفروق الحرارية الأصغر بمائة ألف مرة، وقد حقق قمر ناسا الفضائي COBE، والذي أطلق عام 1990، دقة رائعة في إثبات أن الموجات الميكروية تملك طيف الجسم الأسود -انظر الفصل الخامس-، كما يحمل القمر المعدات الأولى الحساسة كفاية لتمييز أن الإشعاعات القادمة من اتجاهات معينة أعلى حرارة قليلًا من تلك القادمة من الجهات الأخرى. وقد مسح القمر السماء كلها وقاس الحرارة بدقة كافية لرسم خريطة اللا-اتساق فيها.

تكون القياسات من هذا النوع أفضل ما تكون حين تجرى من الفضاء؛ لأن بخار الماء في الجو يمتص بعض الإشعاعات، وقد تبع COBE مزيد من القياسات أجريت من مراصد قمم الجبال والقطب الجنوبي -حيث يكون بخار الماء أقل ما يمكن- أو من معدات تطير بالبالونات. يمكن لهذه التجارب الجديدة أن تضع خريطة لمنطقة صغيرة من السماء، وليس كلها، بخلاف ما يستطيعه القمر الصناعي، لكنها تحقق الحساسية نفسها بتكاليف أقل للغاية.

ثم أتى التقدم الكبير التالي من مركبتين فضائيتين ستحملان أجهزة كشف متطورة أكثر حساسية من COBE، والمركبتان هما: مسبار الموجات الميكروية متفاوت الجهات Microwave Anisotropy Probe (MAP) التابع لناسا، ومرقاب بلانك التابع لوكالة الفضاء الأوروبية.

ستعطي هاتان المركبتان في غضون بضعة سنوات بيانات دقيقة كفاية حول وعورة الكون الباكر على عدة مقاييس مختلفة، وذلك بغية الإجابة عن أسئلة مفتاحية حول كيفية ظهور المجرات. تحمل الموجات الميكروية الخلفية الكثير من المعلومات حول الكون البدئي الأول، إذ ستساعدنا مثلًا على تثبيت $\Omega$ و $\lambda$ و Q.

كان العثور على اللا-اتساقات في حرارة الوهيج المتعقب في مستوى جزء من مائة ألف جزء فَرَجًا بدل أن يكون مفاجئة. لو كانت نتيجة قراءة الموجات الميكروية الخلفية أن الكون الباكر أنعم، لكان نشوء العناقيد المجرية والعناقيد المجرية الهائلة أمراً محيراً؛ إذ كان لابد من وجود قوة أخرى إضافية غير الجاذبية تستطيع أن تحسن من تمايز الكثافة بشكل أسرع.

لكن الحقيقة هي أن Q تساوي فقط 1\100000، وهو المعلم الأكثر روعة في كوننا. إن أمسكت حجراً كان كروياً بدقة 1\100000، فعليك أن تتعجب من السبب الذي أفضى لهذه اللاانتظامات الصغيرة، لكنك ستتحير أكثر بالنعومة الإجمالية. نظرية (التضخم inflation) الموصوفة في الفصل التاسع هي النظرية الأمثل حول هذا، والتأرجحات في درجة الحرارة توفر الاختبارات المهمة لهذه الأفكار.

## تطور الأكوان «الافتراضية»

عندما كان عمر الكون مليون سنة، كان كل شيء يتوسع باتساق تقريباً. كيف أمكن للبنى أن تتكثف وتتطور إلى المشهد الكوني الذي نشاهده الآن؟ يمكن في هذه الأيام أن نستخدم حاسوباً لدراسة الأكوان الافتراضية. في بدء المحاكاة تتوسع المادة، لكن ليس باتساق تام، لأننا نُدخل اللاانتظامات التي تنسجم مع القيمة المحددة لـ Q كشروط بدئية.

تأتي معظم الجاذبية من المادة السوداء، وهي جسيمات صمدت من الكون الباكر، ويصعب تصادمها مطلقاً ببعضها، لكنها تتأثر بالجاذبية. لو عملت على متوسطات حجوم أكبر وأكبر، سيبدو لك الكون الأولي أكثر نعومة1، وهذا يعني أن المستويات الأصغر تتكثف أولًا حينما تكون الجاذبية هي الفاعل الوحيد عليها. تتشكل البنى الكونية هرميًا، من الأدنى إلى الأعلى. تتكاثف حشود من المادة المظلمة على المستويات تحت المجرية أولًا، ثم تندمج هذه في أجسام مجرية كبيرة، تشكل فيما بعد العناقيد المجرية. تحتاج الجاذبية لمزيد من الوقت لعكس التوسع على المستويات الكبيرة.

لكن هذا التجمع الهرمي يقود بحد ذاته لكون مظلم وعقيم، فالقليل الممتع في الكون هو ذراته، وكتلتها الكلية أقل بكثير من كتلة المادة المظلمة التي تجري في الكون مجهولة، وتشكل الذرات غازًا ممددًا يتحسس ثقالة المادة المظلمة، لكن كل شيء نراه حقاً يعتمد على هذا الغاز.

يتصرف هذا الغاز بطريقة أعقد مما تفعل المادة المظلمة؛ لأن الجاذبية هي القوة الوحيدة المؤثرة فيه. يتحسس الغاز الجاذبية، لكنه يولد ضغطاً أيضاً؛ يمنع هذا الضغط الجاذبية من دمج مكونات الغاز في تكتلات صغيرة الحجم جداً من المادة المظلمة، لكن الجاذبية تفوز على المستويات التي تفوق كتلة الشمس بمليون مرة. بالتالي فإن التكثف الغازي الذي نشأ أول مرة -الذي أنتج أول ضوء أنهى عصر

الظلام في الكون- أثقل من النجوم بمليون مرة. تشابه البرامج الحاسوبية المستخدمة لتتبع حركة الغاز تلك البرامج التي يستخدمها مهندسو الطيران لدراسة الجريان حول الأجنحة وعبر العنفات، وهذه الحسابات معتمدة بما يكفي لتكون بديلًا لاختبارات النفق الهوائي؛ لكن ومع ذلك، فإن حساب ما يحدث داخل أحد هذه السحب المنهارة على نفسها أصعب بكثير، ولا يمكن لأحد أن يقوم بمحاكاة تبدأ من سحابة واحدة وتنتهي بجمهرة من النجوم. ربما تتجزأ سحابة كتلتها الغازية مليون كتلة الشمس لمليون نجم منفصل كالشمس، أو ربما لأجسام كتلتها أقل أو أكبر. وربما أيضاً تبقى قطعة واحدة وتتقلص لنجم ضخم واحد، أو ما يعرف بالنجم الزائف (كوازار).

ربما تشكلت الأجسام الأولى حين كان عمر الكون بضعة مئات ملايين السنين فقط، وهي نسبة ضئيلة من عمره الحاضر، ثم حين صار عمره بليون سنة، ربما تشكلت البنى التي بحجم المجرات، وكل منها عبارة عن تجمع من النجوم ممسوك ببعضه بثقالته الخاصة، وبالمادة المظلمة، والتي تترتب في حشود أكبر وأثقل بعشر مرات. يستمر الغاز في الانهيار على بعضه في هذه الأجسام ويتبرد، وإن كان الغاز يدور حول نفسه فسيتموضع في قرص، ويتكاثف مشكلًا النجوم، مطلقاً بالتالي عملية متكررة من اصطناع ونشر كل عناصر الجدول الدوري.

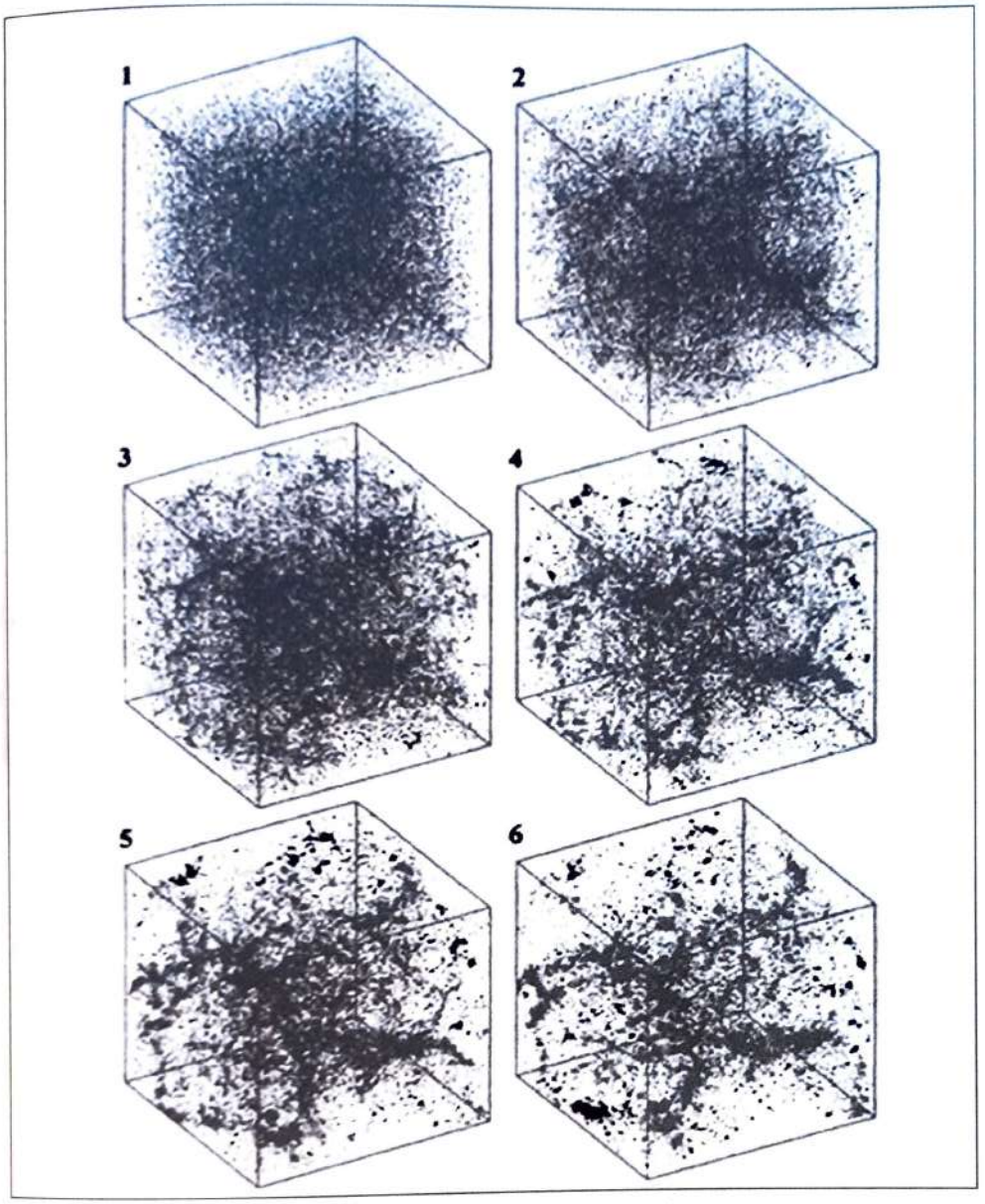
يمكن لعمليات المحاكاة الحاسوبية التي تظهر الخطوط العريضة على الأقل من هذه العمليات أن تُعرض كالأفلام، مصورة التوسع الكوني وظهور المجرات بسرعة أكبر بـ $10^{16}$ مما جرى في الحقيقة. يظهر (الشكل 8-1) ست لقطات من محاكاة واحدة.

تتكون العناقيد المجرية والعناقيد المجرية الهائلة نتاج التجمع الثقالي، تماماً كما نتجت المجرات المفردة. ولم تكن المجرات الناتجة حديثاً لتنتشر بشكل متسق تماماً، بل سيوجد البعض منها في مناطق أكثر من مناطق أخرى. وباستمرار التوسع ستعاني المناطق الكونية الحاوية على فائض الكتلة من التباطؤ الزائد، فتبدو المجرات

في هذه المناطق قريبة من بعضها بوضوح، أكثر من المعتاد 2.

كيف لنا أن نختبر فيما إن كان الكون الافتراضي هو التمثيل الدقيق حقاً لكوننا الحقيقي؟ يجب أن تقلد المحاكاة الصفات المشاهدة في المجرات اليوم، شكلها وصفاتها وحجمها، ونسب المجرات الشبيهة بالقرص إلى المجرات الإهليلجية، وطريقة تجمعها في عناقيد. وعلى المحاكاة أن تقوم بالمزيد أيضاً، إذ عليها أن تربط بين الصور التي تخبرنا كيف كانت المجرات وكيف تجمعت في عناقيد في الزمان السابق.

وكما ناقشنا سابقاً، فإن الضوء الذي يصلنا من المجرات الأبعد -والذي يمكن لتلسكوبات الجيل الجديد أن تكتشفه وتحلله- قد انطلق حينما كانت حديثة التشكل، وهي تبدو مختلفة عن المجرات الموجودة اليوم؛ حيث لم يستقر أي منها على شكل قرص يدور بانتظام، وجزء قليل من الغاز فيها فقط قد تحول إلى نجوم، معظمها صغير وتقوم باندماجات ناجحة، أو تلتهمها مجرات مسيطرة مجاورة، لبناء مجرات أكبر كالتي نراها اليوم.




الشكل (8-1): ست لقطات من محاكاة حاسوبية تظهر كيفية ظهور البنى في الكون المتوسع. أسقط التمدد الكلي في هذه الصور، ولذا فإن الصناديق تبقى متماثلة الحجم. بداية، تتألف البنية الابتدائية من لاانتظامات يمكن بالكاد إدراكها. وخلال التوسع تتلكأ المناطق الأكثف أكثر فأكثر. تعكس الكثافة مقدار النمو، حتى نصل أخيرا بالتكثف إلى بنى مترابطة ثقاليا، تندمج هذه البنى مع بعضها مشكلة المجرات، وهو شرط لازم يسبق ظهورنا.

حدث شيء أكثر إثارة كناتج ثانوي للتشكل الأولي للنجوم؛ تموضع بعض الغاز في مركز حشد جسيمات المادة المظلمة، وتقلص تحت تأثير ثقالته الخاصة، مشكلًا نجماً فائقاً أثقل بمليون مرة من النجوم الاعتيادية، وهذا الجسم الكبير يفيض بالأشعة لدرجة أن وقوده النووي لا يستمر طويلًا، ولا تنتهي حياته بانفجار، وإنما بانهيار، مشكلًا ثقباً أسود. لذا، بمجرد أن يبدأ تشكل المجرة، يتم تثبيت الفضاء بهذه الثقوب، ويستمر الغاز بالسقوط فيها محررًا قوة تفوق بالبريق كل المجرة.

تسمى هذه الأجسام الكونية بالنجوم الزائفة، أو النواة المجرية النشطة، وهي مثيرة للاهتمام لسببين: الأول أنها تعطي بريقاً أكثر من بقية المجرة بأسرها، وهي تقوم بالتالي كمسبار ينير الكون البعيد. ويكشف طيف النجوم الزائفة سحابات من الغاز على طول طريقه، ويعتبر دليلنا الأفضل حتى الآن على كمية الدوتريوم، وهو مؤشر مهم كما رأينا بما يخص نظرية الانفجار الكبير. أما السبب الثاني، فهو أنها تسمح بإجراء اختبارات مهمة على نظرية **أينشتاين** في النسبية العامة؛ فالقوة التي تطلقها تأتي من المادة التي تدور قريبة جداً من ثقب أسود، أو ربما من الثقب نفسه، والذي يدور حول نفسه. ليس هناك فرصة واقعية للحصول على صورة فعلية لهذا الجريان، حيث سيكون هذا أصعب من تصوير كوكب شبيه بالأرض حول نجم آخر، لكن الإشعاع الذي يطلقه منزاح نحو الأحمر بالجاذبية القوية -وهذا سيضاف بالطبع للانزياح الاعتيادي نحو الأحمر في الكون-.

سيكون هناك أيضاً زيادة في انزياح دوبلر بسبب السرعة الكبيرة التي يدور بها الغاز حول الثقب بالقرب منه -أحمر على الجانب الذي يتحرك مبتعداً، وأزرق على الجانب الذي يتحرك مقترباً-.

يمكن لنا باستنتاج حقول الثقالية والحركة أن نختبر فيما إن كانت الثقوب السوداء تملك الصفات الفعلية بالضبط، والتي تتنبأ بها نظرية **أينشتاين**.

## إمكانية التنبؤ

لو أراد أحدنا تلخيص الأحداث منذ الانفجار الكوني الكبير في جملة واحدة، فإن القول الأمثل يأتي بعد نفَس عميق بأن «الجاذبية، ومنذ البداية، هي من صاغت بنية الكون وحسنت من تباينه الحراري، وهو أمر أساسي مطلوب لنشوء التعقيد الذي ينطوي وجودنا عليه بعد عشرة مليارات عام، والذي نحن جزء منه».

بمجرد أن تتشكل الأنظمة الثقيلة بما يكفي لتكون ذاتية التجاذب، ينمو الانحراف عن التوازن. وعلى ذلك، ربما تطور كوننا من كرة نارية بدائية، والحرارة العالية موحدة في أرجائها، ليصير في حالة بنيوية تحتوي نجوماً شديدة الحرارة، وتشع على بقية الفضاء الخالي البارد، يهيئ هذا المسرحَ لتطور كوني يتزايد تعقيده وصولاً إلى ظهور الحياة. تصير النجوم المفردة أكثف مع تطورها، وقد ينتهي بعضها بنجوم نترونية أو ثقوب سوداء، في حين يصير انتشار المادة عموماً أضيق. تأتي هذه التعقيدات نتيجة سلسلة من الأحداث التي يمكن لعلماء الكونيات تتبعها وصولاً إلى الوسط الأولي فائق الكثافة الذي كان تقريباً بلا أي بنى.

تشبه نظرتنا لكيفية ظهور البنى الكونية النظرة الداروينية للتطور البيولوجي، وهي مخطط عام إلزامي. وكما أن انطلاق العملية التطورية لا يزال غامضًا في الداروينية، فإن الطريق الذي أدى إلى تحديد Q -والذي ربما كان اهتزازات ميكروية في الكون فائق الأولية- ما يزال محيراً، تماماً كنشوء الكائن الحي الأول على الأرض. لكن الكونيات أبسط من أحد الجوانب: فبمجرد تحديد نقطة البدء يمكننا التنبؤ بالنتائج على نطاق واسع. كل رقعات الكون الكبيرة، والتي تبدأ بالطريقة نفسها، تصل إحصائياً لنتيجة متشابهة، بعكس المضمار العام للتطور البيولوجي الحساس للحوادث -التغيرات المناخية، وصدمات الكويكبات، والأوبئة.. وما إلى ذلك-، بحيث لو قدر للأرض أن تعيد تاريخها مرة أخرى، لوصلت ربما إلى غلاف حيوي مختلف تماماً.

هذا هو السبب الذي يجعل من عمليات المحاكاة الحاسوبية لتشكل البنية مهمة للغاية؛ فالمجرات والعناقيد هي نتيجة فعل الجاذبية في اللاانتظامات الأولية -شرخ التناظر الأولي-، لا نحاول شرح الطراز التفصيلي، لكن إحصائيًا فقط؛ تماماً كما يحاول علماء المحيطات فهم إحصائيات الأمواج، وليس تفاصيل كل موجة في كل لقطة من الزمان والمكان.

نقطة البدء هي كون متوسع يصفه ( Ω و λ و Q)، والنتائج حساسة لهذه الأعداد الثلاثة الهامة التي ميزت الكون البدئي بطريقة لا نعرف كيفيتها.

## ضبط قيمة (Q)

من الواضح أن تشكل المجرات والعناقيد المجرية، والعناقيد المجرية الهائلة، يتطلب احتواء الكون على كمية كافية من المادة السوداء والذرات، ويجب ألا تكون قيمة Ω صغيرة جدًا؛ إذ لن تستطيع الجاذبية عندها بتاتاً التغلب على الضغط في كون يحتوي إشعاعات مع أشياء أخرى قليلة جداً.

يجب ألا تكون قيمة λ كبيرة جداً، فيتغلب التباعد الكوني على الجاذبية قبل أن تتشكل المجرات أصلاً. ويجب أن يتوافر ما يكفي من الذرات العادية أيضاً في غاز منتشر لتشكيل كل النجوم في كل المجرات. لكن رأينا الحاجة لشيء آخر أيضاً، وهو ما يعرف باللاانتظامات الأولية (شرخ التناظر الأولي) لإطلاق عملية نمو البنية. يقيس العدد Q مدى اللاانتظامات أو التموجات.

لا يزال غامضًا ذلك السبب الذي يجعل من قيمة Q مساوية لـ $10^{-5}$ لكن قيمته حدية؛ فلو كانت أصغر بكثير أو أكبر بكثير فإن نسيج الكون سيكون مختلفاً تماماً، وسيكون قليل المساهمة في ظهور أشكال الحياة.

لو كانت Q أصغر من $10^{-5}$ في حين بقيت الثوابت الكونية الأخرى بلا تغيير فستحتاج تجمعات المادة السوداء المزيد من الوقت لتتطور، وستكون أصغر وأقل ترابطاً، أما المجرات الناتجة فستكون بنى فقيرة يكون فيها تكوّن النجوم أبطأ وغير

فعال، وستُقذف المادة المعالجة خارج المجرة بدلاً من إعادة استخدامها في نجوم جديدة كانت ربما ستشكل أنظمة كوكبية.

لو كان Q أصغر من $10^{-6}$ فلن يتكاثف الغاز أبداً في بنى مترابطة ثقالياً، وسيبقى مثل هذا الكون المفترض مظلماً للأبد وبلا معالم، حتى لو كان الخليط الأولي من الذرات والمادة السوداء والإشعاع مماثلاً لخليط كوننا الحالي.

من جهة أخرى، فإن الكون الذي فيه Q أكبر جوهرياً من $10^{-5}$ -تُستبدل فيه الموجات كبيرة المطال بالتموجات الأولية- سيكون مكاناً عنيفاً هائجاً، وستتكثف فيه مناطق أكبر بكثير من المجرات باكرًا، ولن تنقسم إلى نجوم، أو ستنهار في ثقوب سوداء واسعة، كل واحد منها أثقل من عنقود مجري بأكمله في كوننا، وسيغدو كل غاز ناج ساخنًا، مطلِقاً أشعة إكس وغاما.

أما المجرات -إن نجحت في التشكل- فسترتبط بإحكام يفوق بكثير الربط الحقيقي لها في كوننا. ستُضغط النجوم في مسافات قريبة من بعضها، ويكثر تصادمها؛ ما يمنع نشوء نظام كوكبي مستقر. ولأسباب مشابهة فإن من غير الممكن وجود أنظمة كوكبية قريبة جداً من مركز مجرتنا، حيث تكون النجوم في حشود أكثف مقارنة مع موقعنا المتطرف.

إن Q التي تساوي 1\100000 بالصدفة تجعل من السهل على علماء الكونيات فهم كوننا أيضاً أكثر مما لو كانت Q أكبر.

إن قيمة Q الصغيرة تضمن أن تكون البنى كلها صغيرة مقارنة مع الأفق Horizon، وكذلك حقل رؤيتنا كبير كفاية ليشمل عدة رقعات patches مستقلة، كل واحدة منها كبيرة كفاية لتكون عينة عادلة.

لو كانت Q أكبر بكثير، فستتجمع العناقيد الهائلة نفسها في بنى ممتدة مد الأفق (بدلاً من كونها مقيدة -كما في كوننا- في 1 ٪ من ذلك المدى).

سيكون من غير المنطقي عندها الكلام حول خصائص النعومة المتوسطة في

كوننا المشهود، ولن يكون حتى بإمكاننا تعريف أعداد مثل Ω.

كان صغر Q -والذي بغيره لن يستطيع علماء الكونيات إحراز أي تقدم- يبدو وكأنه مصادفة مبهجة حتى وقت متأخر، لكن الآن فقط نستطيع إدراك أن ذلك لم يكن مجرد توافق بالنسبة لعلماء الكونيات؛ إن الحياة لم تكن لتتطور لو لم يكن لكوننا هذه الخاصية المبسطة.

# الفصل التاسع

# بيتنا الكوني 3

## «ما يقبع وراء الأفق»

# بيتنا الكوني ٣
# «ما يقبع وراء الأفق»

«من المؤكد أن الكون لم يخلق في الزمن، وإنما تزامنًا مع الزمن. لذلك فالذي خلق داخل الزمن خلق بعد -وقبل- زمن ما؛ بعد ذلك الذي هو ماضٍ، وقبل ذلك الذي هو مستقبل. لكن لا يمكن أن يكون هناك (ماضٍ) إذا لم يوجد (ما) عن طريق حركاته نستطيع قياس قِدَمه. فبالتزامن مع الوقت خلق العالم».

القديس أوجستين St. Augustine

## هل (الانفجار الكبير) حقيقة؟

لقد عاشت نظرية الانفجار الكبير لأكثر من ثلاثين عامًا، فيما أنه لو أجريت بعض القياسات بشكل مختلف عن الحاصل لكان من الممكن دحضها ببساطة.

وفيما يلي خمسة منها:

- كان من الممكن أن يكتشف الفلكيون جسمًا مقدار وفرة الهليوم فيه صفر، أو على أقل تقدير لا يمثل 23 ٪ بالتناسب مع كمية الهيدروجين المحيط. إذ إن انفجاراً كهذا سيمثل هلاكًا للكون في مهده، فاندماج الهيدروجين في النجوم يمكن أن يرفع معدل الهيليوم أعلى من مقدار وفرته قبل تكون المجرات، وليس ثمة طريقة لإعادة كل هذا الهيليوم إلى هيدروجين مرة أخرى.
- تبين أن البادئة الإشعاعية المقاسة بدقة بواسطة (مسبار كوبي الفضائي COBE) لديها طيف يختلف عن «الجسم الأسود» أو التكوين الحراري المتوقع 1.
- اكتشف الفيزيائيون شيئاً آخر؛ إن عدد النيترونات في الكون لا يتوافق مع نظرية الانفجار الكبير. ففي «كرة النار» المبدئية، تفوق النيوترينوات في عددها

الذرات بشكل كبير -حوالي بليون مرة- شأنها في ذلك شأن الفوتونات. لو أن النيوترين يَزِنُ جزءًا من المليون من الذرة، فإن مجموع النيوترينوات -إجمالًا- سيساهم في زيادة كتلة الكون الحالي بشكل كبير جداً، أكبر مما يحتمل وجوده -خفية- في المادة المظلمة. وكما نوقش في الفصل السادس؛ تبدو الكتلة الفعلية للنيوترينوات منخفضة للغاية -إن لم تكن صفرًا-، مما يضع النظرية في مأزق.

- من غير الممكن أن تتوافق كمية (الديوتريم) الحالية في الكون مع الكمية المتوقع صمودها وفقاً لنظرية الانفجار الكبير.
- إن اختلاف درجات الحرارة في أرجاء الكون، والذي تم الاستدلال عليه حاليا، غير متوافقة مع القيمة(Q) ، والتي -كما هو مبين في الفصل الثامن- تقدر بـ1/100.000.

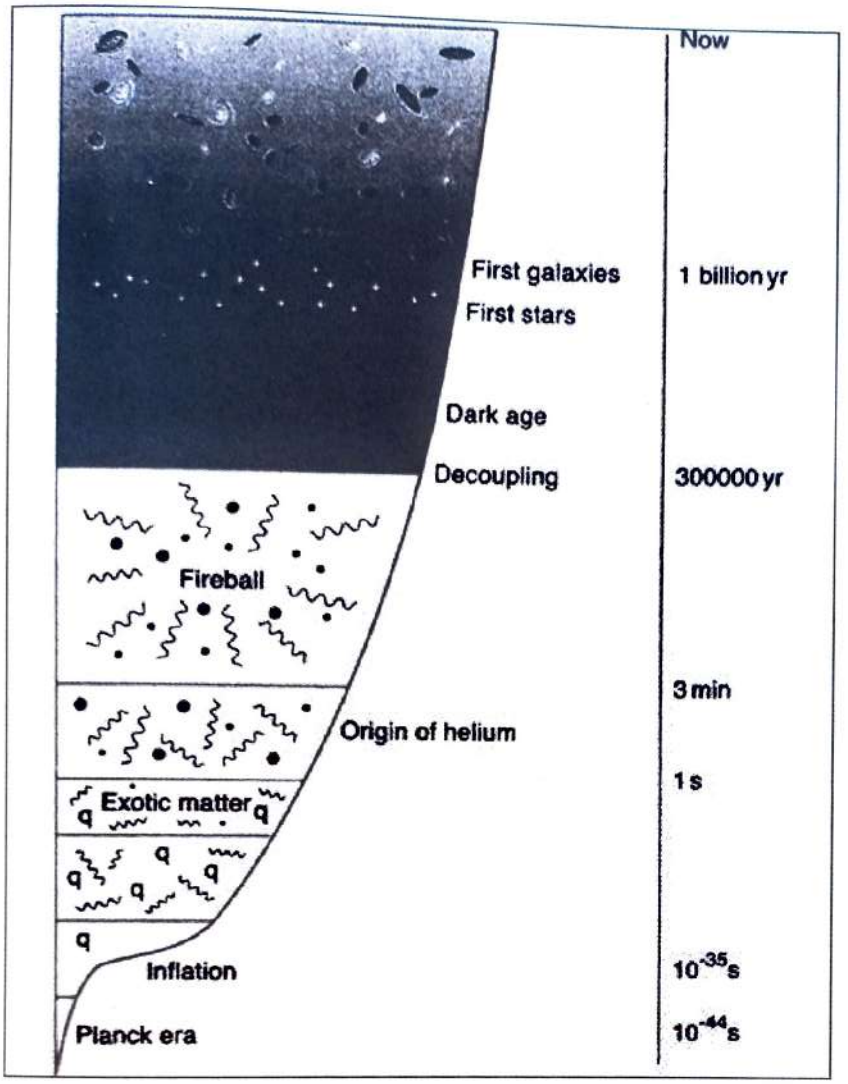
صمدت نظرية الانفجار الكبير أمام كل تلك الاختبارات! إن استنباط ما حدث أثناء نشوء الكون وتمدده يجب أن يكون متوافقاً مع ما آل إليه -مثل تكون الهيليوم-، وجدير أن يؤخذ ذلك بعين الاعتبار، كما يحدث مثلاً مع النتائج التي يتم التوصل إليها عن طريق الصخور والحفريات حول تاريخ أرضنا المبكر.

ربما يمكننا تعميق فهمنا، و«شرح» الأرقام الكونية الرئيسية، من خلال استقراء أكثر في الماضي، ليس فقط في أول ثانية من عمر الكون، بل في أول جزء ضئيل من الثانية.

يمكننا العودة بالزمن قرب الانفجار الكبير قليلًا، كي نتأكد تمامًا من فيزياء الميلي ثانية الأولي، حيث كل شيء حينها كان أكثر كثافة من أي نجم نيوتروني. بإمكاننا محاكاة ظروفٍ ساخنة وكثيفة جدًا على المستوى الميكروسكوبي، من خلال إجراء تجارب ارتطام جسيمات نشطة جداً فيما بينها. لكن هناك حدود لا يمكن تجاوزها بواسطة هذه التقنية، ولا حتى باستخدام (مصادم الهيدرونات الكبير

الضخم Large Hadron Collider)، المبني في (المنظمة الأوروبية للأبحاث النووية CERN:Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire ) في جنيف؛ حيث أننا لن نصل أبعد من مقدار الطاقة التي كانت لدى جميع الجسيمات في الانفجار الكبير خلال $10^{-14}$ من الثانية الأولى، بينما من الممكن أن تكون العديد من خصائص كوننا قد انطبعت حينما كانت الساعة الكونية تُقرأ $10^{-35}$ ثوان أو حتى أقل.

في مثل هذه السياقات، يكون لكل مقدار عشرة أضعاف على الساعة الكونية -كل صفر إضافي بعد العلامة العشرية- أحداثًا مواكبة بالتساوي، ويجب أن تحسب بالتساوي. بالتالي تعد النقلة للخلف من $10^{-14}$ ثانية إلى $10^{-35}$ ثانية أكبر من المدة الزمنية بين بداية الثلاث دقائق حينما تكون الهيليوم (حوالي 200 ثانية بعد الانفجار الكبير) والوقت الحالي ($3 \times 1017$ ثانية، أو عشرة بلايين سنة). من هذا المنظور، فإن هناك الكثير من الأحداث الغائبة عنا.




شكل (9-1): تخطيط بياني لبعض الفترات الرئيسية أثناء تمدد الكون.

## توحيد في العالم الصغير

منذ البدء كانت ألغاز الكون متداخلة تماماً، ولفحص تلك الألغاز نحتاج لربط الجاذبية، وهي القوة المهيمنة على نطاق أوسع، ببقية القوى التي تحكم الجسيمات الفردية. ما زالت هناك أمور غير مكتملة، لكن هناك العديد من القوي والجسيمات الآن -في العالم تحت الذري- التي أمكن فهمها داخل نمط معين.

في أوائل القرن التاسع عشر، أدركَ (**مايك فاراداي**) أن الكهرباء والمغناطيسية مرتبطتان ارتباطاً وثيقاً؛ حيث يولد المغناطيس المتحرك تيارات كهربية -شحنات كهربية- متحركة، وفي المقابل تصنع التيارات الكهربية مجالًا مغناطيسيًا.

هذا المبدأ يشكل أساس المحركات والمولدات الكهربية. وفي عام 1864، حوَّلَ (جيمس كلارك **ماكسويل** James Clark Maxwell) اكتشافات **فاراداي** إلى مجموعة مشهورة من المعادلات، التي فصَّلت كيف يمكن لحقل كهربي ساري أن يولد مجالًا مغناطيسيًا، والعكس. في الفضاء الفارغ، أوجدت تلك المعادلات أجوبة عن (أين تتذبذب الحقول الكهربائية والمغناطيسية؟). يُعرَّف الضوء على أنه: عبارة عن موجة من طاقة كهربائية ومغناطيسية -كما هو الحال بالنسبة لموجات الراديو والأشعة السينية.. وبقية ما نسميه الآن (الطيف الكهرومغناطيسي)-.

هذا ترك لنا قوتين مميزتين تمامًا، ينظر إليها باعتبارها قوة واحدة، وهما: الكهرومغناطيسية والجاذبية. حتى **فاراداي** كان يتوق للتوحيد بين الجاذبية والكهرومغناطيسية، على الرغم من إدراكه أن الأوان لم يحن بعد. وبعد مئة سنة، أمضى **أينشتاين** حياته ساعيًا للوصول إلى ارتباط عميق بين هاتين القوتين. كان هذا السعي دون جدوى. في الواقع، ندرك الآن فقط أن مصيره كان الفشل، لأنه لم يكن حينها يعلم أي شيء عن القوى ذات المدى القصير التي تحكم نواة الذرة، وهما: القوة «الشديدة» أو النووية التي تربط البروتونات والنيوترونات معاً في النواة الذرية، وتحدد العدد (ε)، والقوة «الضعيفة» المهمة للتحلل الإشعاعي والنيوترينوات. من وجه نظر كاتب سيرته الذاتية الأكثر تميزاً -وقسوة نوعاً ما-، الفيزيائي (إبراهام **باييس** Abraham Pais)، ربما كان **أينشتاين** يذهب للصيد على مدى السنوات الثلاثين الأخيرة من حياته.

يمثل التحدي الآن توحيد أربع قوى: ثلاثة منها تحكم العالم الصغير (الكهرومغناطيسية، القوة النووية، والقوة «الضعيفة»)، بالإضافة إلى قوة الجاذبية. ارتبطت الخطوة الأولى الحديثة تجاه هذا التوحيد بأسماء (شيلدون **جلاسهو**

Sheldon Glashow)، و(ستيڤن **واينبرج** Steven Weinberg)، في الولايات المتحدة، و(يرارد **تهوفت** Gerard t"Hooft) في هولندا، والفيزيائي الباكستاني (**عبد السلام** Abdus Salam).

كان محصلة عملهم هو إظهار أن قوى الكهرباء والمغناطيسية -اللتين وحّدهما **ماكسويل**- مرتبطتان فيما يبدو بقوة مختلفة تماماً، هي ما تسمى بالقوة «الضعيفة»، الهامة للنيوترينوات والنشاط الإشعاعي.

لقد كانت هذه القوى هي نفسها الموجودة في الكون المبكر جداً، ولم تكتسب أي منها هوية مميزة إلا بعدما برد الكون بشكل حرج لحوالي أقل من $10^{15}$ درجة حرارة -التي وصل إليها الكون عندما كان عمره $10^{-12}$ ثانية-.

يمكن لأكبر المسرعات أن تحاكي درجات الحرارة تلك، وتم تأييد (**عبد السلام**) و(**واينبرج**) عندما كشفت التجارب في CERN عن جسيمات جديدة قد تنبآ بها.

في خمسينيات وستينيات القرن العشرين، تم اكتشاف أنواع جديدة من الجسيمات، استكمالاً للأنواع المعروفة -الإلكترونات والنيترونات والبروتونات- إلا أن هذا أوقع فيزياء الجسيمات في مأزق (جمع الطوابع)، حتى تم ترتيب الجسيمات تحت الذرية في فئات، تماماً مثلما رتبت الذرات في «فترات» و«مجموعات» الجدول الدوري.

في عام 1964، اسْتَحْدَث المناظران الأمريكيان (موري **جيلمان** Murray Gell-Mann)، و(چورچ **زوايج** George Zweig) نموذج (الكوارك)، ويملك الكوارك 3/ 1 أو 3/ 2 شحنة الإلكترون.

جاء البرهان التجريبي عن طريق (چيروم **فريدمان** Jerome Friedman)، و(هنري **كندل** Henry Kendall)، و(ريتشرد **تيلور** Richard Taylor)، الذين استخدموا (مسرع ستانفورد الخطي Stanford Linear Accelerator) المجهز حديثًا لرطم الإلكترونات بالبروتونات. وجدوا أن الإلكترونات قد تبعثرت كما لو أن كل بروتون يتكون من ثلاث (شحنات نقطية)، حاملين على الترتيب 3/ 2، 3/ 2، و3/ 1 من كامل الشحنة. إحدى الجوانب غير المتوقعة لنموذج الكوارك هي أن أي كوارك معزول لا

يمكن أبداً أن يزاح من موضعه، حتى لو كانت داخل البروتون تتصرف وكأنها حرة. (جميع محاولات رصد جسيمات مشحونة بنسبة جزئية قد باءت بالفشل). بحلول أواخر سبعينات القرن الماضي، فُسِّرت غالبية «حديقة الجسيمات» في ضوء تسعة أنواع للكوارك.

ما يسمى بـ(النموذج المعياري) الذي ظهر في سبعينيات القرن الماضي حقق نظاماً رائعاً في العالم الصغير. تم توحيد القوة الضعيفة والكهرومغناطيسية، والقوية والنووية تم تفسيرهما من حيث الكواركات، التي تترابط فيما بينها بنوع آخر من الجسيمات يسمى (جلوون).

لم يَعِد أيُّ شخص بأن هذا هو آخر كلام؛ فلا يزال عدد الجسيمات الأولية كبيراً بشكل يثير الارتباك، ولا تزال المعادلات تنطوي على أرقام يجب أن تحددها التجربة، ولا يمكن الاعتماد على الأرقام النظرية فقط. بصفة خاصة، لا يحدد تأويل (الجلوون) ماهية عزم القوى النووية، الذي يتجلى بشكل حاسم في الرقم الأساسي $\varepsilon = 0.007$.

الهدف التالي بعد توحيد القوى الكهرومغناطيسية والضعيفة هو إدخال القوة النووية، بالتالي نصل إلى ما يسمى بـ(نظرية موحدة كبرى GUT) لكل القوى التي تحكم العالم الميكروفيزيقي، (على الرغم من أن هذه النظريات لا تزال غير عظيمة بما يكفي لتضمين الجاذبية، مما يشكل تحديًا كبيرًا حتى الآن).

هناك مشكلة مفادها أن التوحيد الكبير يجب أن يحدث في درجة حرارة $10^{28}$، وهذا أعلى مليون المليون مرة مما يمكن أن تصل إليه التجارب في الوقت الحاضر، ولتحقيق الطاقات المطلوبة نحن بحاجة إلى مسرع أكبر بكثير من نظامنا الشمس، بالتالي من الصعب اختبار هذه النظريات على الأرض.

ولذلك آثاره المميزة في عالمنا ذي الطاقة المنخفضة، -على سبيل المثال، البروتونات، وهي المكون الرئيسي لجميع النجوم والكواكب؛ ستتحلل ببطء شديد- وهي آثار قد تكون ذات أهمية في المستقبل البعيد، لكنها هامشية الآن. سيكون كل

شيء على الرغم من ذلك أكثر سخونة من $10^{28}$ درجة لأول $10^{-35}$ ثانية.

ربما كان الكون البدائي هو المكان الوحيد الذي يمكن أن تصل فيه درجات الحرارة إلى معدلها المطلوب لتوحيد القوى. لكن هذه «التجربة» انتهت منذ أكثر من عشرة بلايين سنة ماضية، فهل تركت أي أحافير أو آثار خلفها، تماماً مثلما بقي معظم الهيليوم في الكون منذ الدقائق القليلة الأولى؟ يبدو أنها تركت بالفعل «التحيز تجاه المادة على حساب المادة المضادة»، والذي نوقش في الفصل السادس، ما يشير إلى أنها طبعت في الفترة المبكرة جداً. بل إن الأهم من ذلك، هو النطاق الواسع للكون، وحقيقة أنه آخذ في التوسع في كل شيء، يمكن أن تكون حُدِّدت بما حدث في تلك اللحظات الأولى الوجيزة.

## مفهوم التضخم

هناك سؤالان أساسيان حول كوننا، هما: «لِمَ هو كبير جداً؟»، و«لِمَ هو آخذ في التمدد؟». يمكننا تتبع ما حدث خلال التمدد، ويمكننا استقراء الثواني القليلة الأولى في الماضي، وإثبات وتعزيز ذلك مع مقدار وفرة الهيليوم والديوتريوم. لكن ما يسمى بنظرية الانفجار الكبير هي في الحقيقة تفصيل -ناجح تمامًا- لما حدث بعد الانفجار الكبير. لا تخبرنا أي شيء عن الذي جعل التمدد ينشأ في المقام الأول؛ «لماذا يتصف كوننا بذلك التجانس الكلي الذي يجعل علم الكونيات سلسًا وقابلًا للتطويع، ويسمح مع ذلك للمجرات والعناقيد والعناقيد الفائقة أن تتشكل، وأبعد من ذلك ما الذي أوجد القوانين الفيزيائية ذاتها؟».

أحد الألغاز الأساسية -التي نوقشت في الفصل السادس- هو: لماذا كوننا يتوسع -بعد عشر بلايين سنة-، وقيمة $\Omega$ ما زالت تساوي واحداً؟ لِمَ لا ينهار منذ القدم، ولا يتمدد بسرعة كبيرة بحيث قد تطغى طاقته الحركية على آثار الجاذبية بحاصل ضرب الكثير من العشرات؟ يتطلب هذا أن تُضبط $\Omega$ بالقرب من قيمة الوحدة في الكون

البدائي الباكر. وما الذي جعل كل شيء يتمدد بهذه الطريقة الخاصة؟ لماذا، حينما نرصد أقاليم بعيدة في اتجاهات متعاكسة، تبدو متشابهة جداً؟ ولماذا درجة حرارة الشفق الميكروي تقريبًا هي نفسها في جميع أنحاء الكون؟

قد تُحل هذه الألغاز لو أن كل أجزاء الكون الحاضر قد تزامنت وتناسقت فيما بينها منذ وقت مبكر جدًا، ثم تسارعت إلى أجزاء متفرقة، وهذا هو الافتراض الرئيسي لنظرية (الكون التضخمي).

طرح هذه الفكرة الفيزيائي الأمريكي الشاب -حينها- (آلن **جوث** Alan Guth) عام 1981. وكما يحدث غالباً في العلم، فقد كانت هناك العديد من البوادر، خاصة نظريات (أليكس **ستارُبنسكي** Alex Starobinski)، و(أندري **ليندي** Andrei Linde) في الاتحاد السوفيتي، و(كاتسموتو **ساتو** Katsumoto Sato) في اليابان، إلا أن **جوث** جعل حجته واضحة بما فيه الكفاية لإقناع معظمنا أن رؤيته كانت حاسمة فعلاً.

يذكر كتابه (الكون التضخمي The Inflationary Universe2) «لحظة التجلي»، أو وقت بزوغ الفكرة في عقله، وكيف أن لفيفًا من المنظرين المفعمين بالحياة ناقشوها وطوروها أكثر من ذلك. يقدم **جوث** أيضًا رؤية سوسيولوجية صريحة إلى المشهد الأكاديمي الأمريكي، من منظور باحث شاب يسعى للحصول على مكانة مرموقة في مهنة مزدحمة جداً.

وفقًا لنظرية «الكون التضخمي» فإن سبب ضخامة كوننا، وأن الجاذبية والتمدد متوازنتان بشكل وثيق، يكمن في حدوث شيء عظيم في مرحلة مبكرة، حينما كان حجم الكون لا يرصد إلا(مجهريًا) بالمعنى الحرفي؛ حيث الكثافة الهائلة التي أدت إلى «التنافر الكوني» بعد ذلك، تحديداً مثل قوى $\lambda$ الكبيرة، التي بدأت تلعب دورها وطغت على الجاذبية العادية. بدأ التمدد في كل الأبعاد، مؤديًا إلى تسارع جامح، حتى استطاع الكون الجنين أن يتضخم بتجانس وتوازن «مضبوط بدقة» بين الطاقة الحركية والجاذبية.

كل هذا من المفترض أنه حدث خلال حوالي $10^{-35}$ ثانية من عمر الانفجار الكبير! الظروف التي كانت سائدة آنذاك أبعد ما يكون من إمكانية اختبارها تجريبياً، بالتالي فالتفاصيل متضاربة. إلا أنه يمكننا تكوين تخمينات متفقة مع نظريات فيزيائية أخرى، وعن طريق ما نعلمه عن كوننا اللاحق.

الفكرة الكامنة وراء نظرية التضخم جذابة بشكل مقنع؛ لأنها على ما يبدو تظهر كيف لكون بأسره أن يتطور من «بذرة» ضئيلة للغاية. يعتقد بأن حدوث ذلك راجع إلى أن التمدد هو أُسّيّ مضطرد النمو؛ فهو يتضاعف، ثم يتضاعف، ويتضاعف بعد ذلك مرة أخرى.

بصفة عامة لا تسفر الصيغ الرياضية -إلا إذا كانت فعلًا طويلة جداً ومعقدة- عن أرقام ضخمة. الطريقة الطبيعية الوحيدة لكي ينتج عن رقم (بسيط) رقمٌ هائلٌ مثل $10^{78}$ -العدد الإجمالي للذرات في كوننا المرصود-، هي أن يكون في حالة أُسّية (باللغة الاصطلاحية الرياضية)، بحيث يخبرنا عن عدد المرات التي يتضاعف فيها الحجم. ففي كل مرة يضاعف فضاء ما قطره، يزداد حجمه ثمانية أضعاف a factor of eight -في فضاء إقليديسي عادي-؛ وفقط مائة واحدة من تلك الأضعاف ستكون كافية للوصول إلى عدد مثل $10^{78}$!

هذا بالضبط ما يُقترح حدوثه أثناء فترة «تضخم» كوننا. حتماً إن قوة التنافر العنيف التي دفعت إلى حدوث التضخم قد تلاشت، حيث أنها سمحت للكون وقتئذ أن يتوسع بما فيه الكفاية ليستوعب كل شيء نراه الآن، ثم تركته يبدأ في مرحلة التوسع شديد التمهل بعد ذلك. تحولت الطاقة الضخمة الكامنة في «الفراغ» الأصلي إلى طاقة عادية، حيث نتجت عن حرارة كرة النار عملية التمدد الأكثر اعتيادية، والتي نتج عنها كوننا الحالي.

نوقش مفهوم التضخم بشكل مزعج منذ أن تم اقتراحه لأول مرة منذ عشرين عاماً، حيث خضع للعديد من التعديلات، بناءً على افتراضات مختلفة حول سلوك كل من

(الضغط والكثافة.. إلخ) في ظل ظروف أبعد بكثير عن أي تجربة يمكننا إجراؤها الآن بشكل مباشر. لكن ستحافظ الفكرة العامة بالتأكيد على جاذبيتها، إلا إذا ظهر تفسير أرجح. حتى هذه اللحظة، لم يقدم تفسير واحد معقول حول: لمَ كوننا كبير جداً؟ ومتماسك جداً؟ ولم يتم تقديم اقتراحات حول: لماذا الكون آخذ في التوسع بمعدل مضبوط بدقة، حيث يمكن أن تصل أبعاده لعشرة بلايين سنة ضوئية؟

## أيمكننا اختبار نظرية التضخم؟

إذا امتد سطح مجعد بمعامل ضخم، سيقل الانحناء حتى يصبح أي نتوء عن السطح غير مدرك. قياس (التسطح) في علم الكونيات هو توازن دقيق بين طاقة الجاذبية (السالبة) وطاقة التمدد (الموجبة).

هذا هو أقوى تنبؤ كامل لتفسير التضخم، فهل تحقق؟ إن أبسط نوع من الكون المسطح هو نفسه الذي يكون فيه (Ω) يعبر عن تجانس ووحدة تامة، ويبدو أن الاستنتاج الوارد في الفصل الخامس، حول أن الذرات والمادة المظلمة تشغل فقط 0.3 من الكثافة الحرجة، سيقف كحجر عثرة في وجه هذا التفسير. لذا يُصرّ المنظرون بكل حماس على ادعاء أن التمدد آخذ في التزايد؛ لأن الطاقة الملحقة بالرقم (λ) يجب أن تضاف تدريجياً بعد ذلك. يبدو أن كوننا بالفعل مسطح، (لكن أكثرنا حذراً سيقول إن الأمر ما زال غير محسوم، وينتظر الحكم النهائي فيه في غضون سنوات قليلة)، فهو «مزيج» من الأشياء التي تشكل الكثافة الحرجة، وهي: 4 ٪ ذرات، وحوالي 25 ٪ مادة مظلمة، والباقي (فراغ)!

يعد برهان (التسطح) مشجع بصورة ما، على الأقل فهو يدفعنا للقيام بمزيد من الاختبارات، خاصة «التشخيصات» التي قد تكشف عن تفاصيل ما حدث أثناء التضخم. أكثر الأفكار تفصيلًا بشأن الكون بالغ القدم لا تصل إلى العمق المطلوب؛ حيث تعد أول $10^{-35}$ ثانية من عمر الكون مبهمة وغامضة، تمامًا مثلما كانت فيزياء

أول ثانية بعد الانفجار العظيم مبهمة لدى (**جاموف** Gamow) -ورواد آخرين- عندما بدأ لأول مرة استكشاف المنشأ الكوني للعناصر.

كانت أول أفكارهم خاطئة في جوانب هامة، لكن تم تصحيحها، ووضعت على أسس راسخة خلال عقد واحد أو اثنين. ربما نستطيع أن نأمل الوصول إلى وفاق مشابه بين (فيزياء الطاقات فائقة العلو) و(علم الكونيات) في العقد المقبل.

استلزم تشكل الهيليوم في الدقائق القليلة الأولى حدوث تفاعلات نووية واصطدامات ذرية يمكننا الآن استنساخها تجريبيّاً. لكن في المقابل، فإن العمليات التي تمت خلال الحقبة التضخمية، والتي تحدد الأرقام الكونية الأساسية مثل (Q)، هي عمليات متطرفة جدًا، ولا يمكن محاكاتها على سطح الأرض، حتى في المسرعات، مما يجعل التحدي الجديد أكثر تثبيطاً للهمم. من ناحية أخرى، تلك الحقيقة تعدُّ دافعًا إضافيًا لدراسة الكون بالغ القدم. قد تقدم اختبارات أكثر حبكة لنظريات موحدة جديدة؛ لأنه السياق الوحيد حيث تكون الطاقات عالية بما يكفي لنتائج استثنائية، كالتي تظهرها هذه النظريات.

عندما يحاول علماء الفلك فهم الظواهر الكونية، فعادة ما يستخدمون الاكتشافات التي حققها علماء الفيزياء في المختبر؛ وربما بإمكانهم الآن رد الجميل عن طريق استكشاف أحد فروع الفيزياء الجديدة تمامًا. وهناك بالفعل أمثلة تدلل على هذا؛ على سبيل المثال، النجوم النيوترونية توسع معرفتنا حول المادة الكثيفة والجاذبية القوية، لكن الأكثر تطرفًا من ذلك كله هو الانفجار الكبير ذاته.

في خمسينيات القرن العشرين، كان علم الكونيات خارج الاتجاه الرئيسي للفيزياء؛ حيث القليل من «غريبي الأطوار» لم يعيروها أي اهتمام يذكر. أما الآن، فتعد القضايا الكونية ضمن اهتمامات العديد من رواد الاتجاه السائد لعلماء الفيزياء النظريين، وذلك يعطينا بالتأكيد أسبابًا للتفاؤل.

الاهتزازات المجهرية، المدموغة حينما كان كوننا أقل حجماً من كرة الجولف،

ستتضخم لدرجة أنها تتمدد الآن في جميع أنحاء الكون، خالقةً التموجات التي تتطور إلى مجرات وعناقيد مجرات. لا يزال المنظرون غير قادرين على إثبات ما إذا كانت النماذج التضخمية يمكن أن تقدم تفسيرًا بأن $Q = 10^{-5}$ ، محددين سعة هذه التموجات؛ لأن ذلك يعتمد على نوع من الفيزياء التي لا تزال قيد الاختبار. لكن بإمكاننا معرفة بعض التفاصيل -واستبعاد بعض الخيارات-، بناءً على الأشكال المختلفة للتضخم، والتي تعطي توقعات محددة ومتمايزة.

القياسات باستخدام (ماب MAP) ومركبة بلانك الفضائية (مرصد فضائي Planck-Surveyor)، والدراسات الاستقصائية عن «كيف تكون المجرات معقودة؟»، ستقدم أدلة حول المرحلة التضخمية، وستعلمنا أشياء عن الفيزياء (الموحدة الكبرى)، التي لا يمكن الاستدلال عليها مباشرة من التجارب عند مستويات الطاقة المعتادة.

إلى جانب الارتجاجات التي تتطور إلى مجرات وعناقيد، يعتقد بأن التضخم يولد موجات من الجاذبية -تذبذبات في نسيج الفضاء نفسه- تجوب أنحاء الكون بسرعة تصل لسرعة الضوء. عندما تقابل هذه الموجات الأجسامَ العالقة في طريقها تجذبها بصورة ضامة نحو اتجاه مصدر الموجه، ثم ترتد هذه الأجسام في الاتجاه المعاكس؛ وكنتيجة تهتز (الأجسام) بشكل طفيف.

هذا التأثير يكون بالغ الضآلة، ويشكل رصده في الواقع تحدياً تقنيّاً هائلاً. تم التخطيط من قبل مشروع (ليزا LISA) (اختصارًا لمصفوفة الفضاء تداخلية الليزر Laser Interferometric Space Array) الخاص بـ (وكالة الفضاء الأوروبية The European Space Agency) لنشر مجموعة من المركبات الفضائية في مدارات حول الشمس، تفصل بينها عدة ملايين من الكيلومترات، ويتم رصد المسافات البينية بأشعة الليزر، بدقة تصل لجزء على مليون من المتر.

حتى (ليزا) قد لا تثبت حساسيتها بما يكفي لاستشعار تلك الاهتزازات البدئية؛ لذا يطمئن مصمموها إلى أن إشارات أخرى ينبغي أن تكون أسهل في رصد

الاهتزازات الأولى للكون.

تتولد، على سبيل المثال، دفقة شديدة من موجات الجاذبية كلما اصطدم والتحم ثقبان أسودان. نتوقع حدوث مثل هذه التصادمات من وقت لآخر. تحتوي معظم المجرات على ثقب مركزي يساوي في ضخامته ملايين النجوم، وفي كثير من الأحيان تصطدم وتندمج أزواج من المجرات -نرى الكثير من هذه الأحداث أثناء حدوثها-، وكلما حدث هذا، تتخذ الثقوب في مركزي زوج المجرات مسارًا حلزونيًا مع بعضها البعض. لذلك ننتظر أبحاثًا تجريبية دقيقة عن حقبة التضخم في القريب العاجل. حتى لو كنا لا نعرف الفيزياء المناسب توظيفها، يمكننا حساب النتائج الكمية للافتراضات المحددة للنظرية (كقيمة Q، موجات الجاذبية.. إلخ)، ثم نقارن بين نتائجنا والمرصودات، بالتالي وعلى أقل تقدير سنقيد ونقلل الاحتمالات.

## ذخائر أخرى

أيُّ (أحفورات) لتلك الحقبة بالغة القدم ستكون مهمة جداً؛ باعتبارها تمثل حلقات مفقودة بين الكون والعالم الصغير. إحدى الاحتمالات المثيرة للاهتمام، التي لاحت في عقل **جوث** عندما كان يطور نظريته، هي أن أحاديات القطب المغناطيسي قد بقيت من الكون البدائي. أظهر **فاراداي وماكسويل** العلاقة الوطيدة بين الكهرباء والمغناطيسية، لكن كان هناك -كما أدركوا تماماً- فرق واحد رئيسي بين تلكما القوتين: الشحنات الكهربية الموجبة، والشحنات السالبة. لا تأتي الأقطاب المغناطيسية (الشمالية) و(الجنوبية) منفردة، وإنما تأتي المغانط على شكل ثنائيات الأقطاب (بقطبين) بدلًا عن أحاديات الأقطاب (بقطب واحد)؛ ولو قطعنا المغناطيس لجزئيين، لا يمكن أن نحصل على مغناطيسين أحاديي الأقطاب، سنحصل فقط على ثنائيات أقطاب صغيرة الحجم. على الرغم من عمليات البحث الكثيرة المضنية، لم يستطع أحد (اكتشاف) أحادي قطب.

تفيد النظريات الحديثة إلى إمكانية وجود أحاديات الأقطاب، لكن قد تكون ثقيلة جداً -أثقل مليون بليون مرة من البروتون-، وبسبب الكتلة العالية، قد تحتاج تركيز هائل للطاقة لتخليقها، ذلك النوع من الطاقة الذي كان سائدًا في الكون المبكر جداً، لكن ليس بعد ذلك. هناك عدد ضئيل جداً من الأقطاب الأحادية في كوننا الحاضر، تتغلغل المجالات المغناطيسية في الفضاء البين نجمي، لكن هذه المجالات ستتعطل لو وجدت تجمعات من أحاديات الأقطاب. كان جوث في حيرة بسبب عدم وجود أحاديات الأقطاب لأنه يبدو أنها حتماً تم تكونها في الكون المبكر. في الواقع، أفضل تخمين توصل له كانت كتلته الجمعية تبلغ ملايين المرات أكثر من المادة المظلمة الموجودة فعلًا. إضافة إلى أن التضخم لو حدث بعد تكون أحاديات الأقطاب، فسوف يضعف من قوة أحاديات الأقطاب المفترضة، وهذا ما يفسر غيابها الواضح حاليًا.

تكوّن أحاديات الأقطاب نوعًا من «العقدة» في الفضاء، وباللغة الاصطلاحية يطلق عليها (العيوب الطبوجرافية). الأكثر إثارة للاهتمام هو أن العيوب في شكل الخطوط، وليست في النقاط أو المراكز؛ حيث نجد أقاليم الفضاء تنعقد على هيئة أنابيب، سمكها يبدو أقل بكثير من الذرة، تكوّن حلقات مغلقة، مثل الأربطة المطاطية، وتطوف بسرعة تقارب سرعة الضوء، وإلا تمددت في جميع أنحاء الكون. لقد تكهن بعض الكسمولوجيين أن هذه العيوب في الفضاء قد تعد بذور تكون البنية الكونية، كونها نافذة المفعول في الواقع، وأدت إلى وجود (Q).

جذبت هذه الفكرة الاهتمام إليها في أوائل التسعينيات من القرن العشرين، لكن تبين أنها لم تكن متوافقة مع تفاصيل عناقيد المجرات التي تم تعيينها لاحقاً. لكن يبدو أن هذه الحلقات ما زالت موجودة، وأنها استثنائية حتى في خصائصها (أرفع من الذرة، وثقيلة جداً حتى يمكن أن يصل وزن كل كيلومتر واحد فيها بقدر الأرض)، لدرجة أنه يتعين على الفلكيين بذل قصارى جهدهم لإيجاد إحداها.

الثقوب السوداء المصغرة هي احتمالية أخرى مثيرة للاهتمام، فثقب بحجم ذرة واحدة قد يكون في ضخامة جبل. وكما رأينا في الفصل الثالث، هذا نتيجة مباشرة لـ(N) كونها كبيرة جداً، والجاذبية ضعيفة جداً بحيث لا يمكنها أن تطغى على غيرها من القوى على المستوى الذري إلا إذا تجمعت كتلة ذرات N في حجم واحد. بشكل تصوري، ولّد الكونُ المبكرُ الضغوطَ اللازمة لتكونه. وعلى الرغم من عدم توافر أيّة عملية حالية تتيح هذه الدرجة من الانفجار الداخلي، فربما أمكن فعلُ ذلك في المستقبل بواسطة تكنولوجيا فائقة، وهو احتمال رائع إذا اقترن بتكهن آخر؛ حيث يمكن -في داخل إحدى الثقوب السوداء- أن ينشأ كون جديد، ويتضخم ليكون زمكانًا -سرمديًا ربما- جديدًا ومنفصلًا عن زمكاننا.

## من لا شيء!

قد يبدو أنه أمرٌ منافٍ للمنطق؛ أنّ كونًا كاملًا بحجم عشرة بليون سنة ضوئية -وربما يتمدد لأبعد مما يمكننا إدراكه-، قد نشأ من بقعة متناهية الصغر. ما يجعل هذا ممكنًا، على الرغم من أن التضخم قد حدث، أن صافي طاقة الكون لا تزال تساوي صفراً.

كل شيء له طاقة $mc^2$، وفقًا لمعادلة **أينشتاين** الشهيرة، لكن لكل شيء أيضاً طاقة سالبة بسبب الجاذبية. نحتاج لطاقة للإفلات من جاذبية الأرض، إحراق وقود صاروخ سيكون كافيًا للوصول إلى سرعة 11.2 كيلو متر في الثانية. أما في الأسفل على سطح الأرض، فسيكون لدينا عجز في الطاقة مقارنة مع الرائد الذي في الفضاء، إلا أن هذا العجز يسمى تقنيًا بـ(طاقة الجاذبية الكامنة)، فالناتج عن مجموع طاقات أي شيء في الكون سيساوي سالب $mc^2$.

بمعنى آخر، يصنع الكون لنفسه «حفرة جاذبية» عميقة جداً؛ حيث يكون لدى كل شيء فيها طاقة جاذبية سالبة، تعوض تماماً طاقة كتلة السكون. لذا يمكن أن يساوي

مقدار طاقة التضخيم لكوننا صفراً في الواقع.

يدعي أحيانًا علماء الكونيات أن نشأة الكون كانت من «اللاشيء»، لكن ينبغي عليهم أن يعوا جيدًا ما يقولون، خاصة عند التعامل مع الفلاسفة. لقد أدركنا منذ **أينشتاين** أن الفضاء الفارغ يمكن أن يكون لديه بنية؛ بحيث يمكن أن يلتوي ويشوه، حتى لو تقلص إلى «نقطة»، فهو مبطن بجسيمات وقوى، ولا يزال هذا البناء أكثر ثراء بكثير من «اللاشيء» الخاص بالفلاسفة.

قد يصبح المنظرون قادرين، يومًا ما، على كتابة معادلات جوهرية تحكم الواقع المادي، لكن لن تستطيع الفيزياء تفسير ما الذي «أورى نار» breathes fire into المعادلات، وبثها في الكون الحقيقي. ما زال التساؤل الجوهري: «لماذا يتعين أن يكون هناك شيء ما بدلاً من العدم أو اللاشيء؟» في أعراف الفلاسفة. لكنهم على الأغلب يكونون أكثر حكمة في الرد؛ فمثلما قال الفيلسوف (لودفيج **فتجنشتاين** Ludwig Wittgenstein): «إذا لم يكن أحدٌ قادرًا على الرد، فيجب على المرء التزام الصمت».

## نحو الأكوان المتعددة

كانت التوقعات بعيدة المدى، كما خُطِّطَ في الفصل السابع، تستند في الواقع على افتراض لا يمكننا اختباره، مما يعني أن أجزاء الكون التي تتجاوز أفقنا تتشابه مع تلك التي نراها. لو أننا في منتصف محيط، فلن نتوقع أن يظهر الشاطئ أمامنا في وقت قريب، لكننا نعلم أن للمحيط نهاية، وأننا سنصل إلى اليابسة ولو بعد حين. بالمثل، قد نكون مخطئين في التفكير بأن كوننا يتوسع بانتظام لا محدود. ربما نعيش في فقاعة منخفضة الكثافة، وكبيرة بما يكفي على أن يتجاوز أفقُنا الحالي حوافها، غير أنها محاطة بفقاعات أكبر، سوف تنهار فوق رؤوسنا لا محالة.

إذا كان الأمر كذلك، فإن أحفادنا البعيدين سينقحون «توقعات» التوسع الدائم

عندما يعثرون على المواد ذات الكثافة العليا في أفقهم. إن أي تغيير جذري يتجاوز حدود أفقنا فهو غير مثبت، ومن ناحية أخرى، ليست لدينا أيّة ضمانة لاستمرار الاستقراء والبحث بدقة على طول الطريق حتى النهاية.

أهم الآثار المترتبة عن التضخم هو أنه يوسع بشدة وجذريًا وجهة نظرنا في هذا الكون. لتفسير الكون الذي نراه، يستلزم حدوث تضخم كافٍ بمقدار $10^{26}$ ذرات واقعة ضمن مدى تلسكوباتنا، لكن هذا مجرد حد أدنى. فقد يستغرق التضخم وقتًا طويلًا حالما يبدأ في التوقف، وهو ما يشير إليه المنظرون على أنه يمثل مشكلة (الخروج المشرف) للتضخم.

في الواقع، معظم النظريات تشير إلى أن عدد «المتضاعفات» ينبغي أن يكون أكبر بكثير مما هو موجود، لتفسير الكون المرصود.

في الفصل الأول، تخيلنا مشاهد متتابعة حول عالمنا، كل مشهد يؤخذ عشر مرات أبعد من سابقه. تَطلَّب منا ذلك خمسة وعشرين إطاراً لمنتهى رؤيتنا الحالية، بداية من مقياس العين البشرية المجردة. تم تعيين هذا الحد، بشكل أساسي، من خلال تعيين المسافة التي استطاع الضوء قطعها خلال عشرة بلايين سنة ضوئية أو تزيد، أي منذ تكون أوائل المجرات. لكن تصوُّرَ منظري التضخم جعل الكون أوسع بكثير؛ حيث يمكن أن يستوعب ملايين الأطر، كل نقلة ترفع بمعامل عشري، ليصل لأي «حافة». هذا الامتداد المذهل للفضاء -بالنسبة لي على الأقل- هو أمر مستحيل على الفهم؛ فالنقلة من نطاق العالم الصغير لأفقنا لا تُعدُّ شيئاً بالمقارنة مع النقلة المتجاوزة ذلك المنتهى الحقيقي لكوننا. على الرغم من أنه يعد محدودًا بصورة ما، يمتد نطاق المكان والزمان لدينا متجاوزًا ما يمكننا رؤيته؛ فالوقت الذي يستغرقه الضوء ليصل إلى «الحواف» ويرتد إلينا مرة أخرى يساوي عددًا من السنوات مكتوباً، ليس فقط بعشرة أصفار ولا حتى مائة، لكن بملايين الأصفار.

ليس هذا كل شيء؛ فحتى هذا الكون الهائل، الذي يتطلب حجمه ملايين الأرقام

للتعبير عنه، قد لا يمثل «كل شيء موجود»؛ فما نحن فيه نتيجة حلقة واحدة من التضخم، لكن تلك الحلقة -ذلك الانفجار الكبير- قد تكون مجرد حدث واحد في مجموعة لانهائية من الأحداث.

وفي الواقع، لقد تبنى -بشكل خاص- عالم الكونيات الروسي أندري لِيندي تلك النتيجة الطبيعية (للتضخم الأبدي). وفقًا لهذا السيناريو، الذي يتطلب -حتى وإن كان لا يزال تكهنيًا- افتراضات خاصة بشأن فيزياء مستوى الكثافات القصوى، قد يكون للكون ماضٍ لانهائي. تنمو البقع التي لا ينتهي فيها التضخم بالسرعة الكافية، لتوفير بذور لانفجارات عظيمة أخرى. هناك العديد من الأشكال المتغايرة بشأن هذه التكهنات، التي فيها يمكن لحلقة من التضخم أن تحدث داخل ثقب أسود، خالقة نطاقات جديدة للمكان والزمان، منفصلة عما يخصنا.

في هذه المرحلة، اسمحوا لي أن اضيف ملاحظة دلالية حول تعريف (الكون)؛ فالتعريف الصحيح للكون -بطبيعة الحال- هو: «كل شيء حولنا». وأناقش في هذا الفصل أن الكيان المسمى تقليديًا بـ(الكون) -ما يدرسه الفلكيون، أو ما أعقب انفجارنا الكبير، قد يكون واحداً من مجموعة كاملة، كل واحد فيها بدأ بانفجاره الكبير الخاص به.

قد يفضل المتحذلقون إعادة تعريف كامل هذه المجموعة كـ(كون) واحد، لكنني أظن أنه من المُربِك ترك مصطلح (الكون) لما قد ارتبط به تقليديًا. على الرغم من أن هذا سيتطلب وضع مسمى جديد: (الأكوان المتعددة)، والذي يدل على مجموع هذه (الأكوان)، وهو مفهوم سأعود إليه في الفصل الحادي عشر.

# الفصل العاشر
# ثلاثي الأبعاد.. وأكثر

# ثلاثي الأبعاد.. وأكثر

**«مدار الأرض هو نقطة الارتكاز لكل شيء؛ فلو أحطناه بمتعدد السطوح الاثني عشري، الحلقة التي ستمثل هذا ستكون المريخ، ولو أحطنا المريخ بشكل رباعي السطوح، فالحلقة التي ستمثل هذا ستكون المشتري، ولو أحطنا المشتري بمكعب، فالحلقة التي ستمثل هذا ستكون زحلاً. ارسم الآن متعدد السطوح العشريني داخل الأرض، الحلقة المحتواه فيه ستكون الزهرة، ارسم الآن شكلًا ثماني الأسطح داخل الزهرة؛ الحلقة المحتواه فيه ستكون عطارداً. لديك الآن السبب وراء عدد الكواكب».**

يوهانز كيبلر Johannes Kepler

## لمَ يُعدُّ كون 3D ، قيمة اسْتِثْنَائِيّة؟!

كوننا ثلاثي الأبعاد؛ أي أن هناك النقاط (ذات الأبعاد الصفرية)، والخطوط (ذات البعد الواحد)، والأسطح (ثنائية الأبعاد)، والأجسام الصلبة (ثلاثية الأبعاد). لكن عند هذا الحد يقف التسلسل، حتى وإن كنّا قادرين حسابيًا على تخيل فضاء بأبعاد أكثر. ما الاستثنائي بشأن العدد ثلاثة؟ منذ العصور الكلاسيكية، لاحظ اختصاصيو علم الهندسة السمات الهامة للأبعاد المختلفة؛ على سبيل المثال، في بعدين يمكننا رسم مضلع منتظم بأي عدد من الأضلاع المتساوية (مثلث متساوي الأضلاع، مربع، شكل خماسي، شكل سداسي.. إلخ). لكن في الثلاثة أبعاد، هناك فقط الخمسة «جوامد المنتظمة» الأفلاطونية، التي تكون فيها كافة الأطراف وجميع الزوايا متساوية. في الأبعاد الرباعية ستة أجسام، وفي جميع الأبعاد العليا ثلاثة فقط.

إحدى تبعات العالم ثلاثي الأبعاد أن قوى مثل الجاذبية والكهرباء تخضع لقانون التربيع العكسي، والذي يقر بأن كمية أو قوة فيزيائية معينة تتناسب عكسيًا مع مربع

المسافة إلى مصدر هذه الكمية الفيزيائية. قدّم (مايكل **فاراداي** Michael Faraday)، أثناء دراساته الرائدة في الكهرباء، طريقة تخطيطية -صحيحة جوهريًا- لفهم ذلك. فقد تصور (خطوط القوة) الناشئة عن كل كمية أو شحنة فيزيائية، وعزم القوة تبعاً لـ(تركيز) أو كثافة الخطوط. فعلى مسافة (r)، تنتشر الخطوط على مساحة متكافئة مع ($r^2$)، وعلى مسافات أكبر، تضعف القوة نتيجة لذلك، حيث يعتمد عزمها عكسيا على ($r^2$). بيد أن ثمّة اختلاف في تناسب نطاق رباعي الأبعاد مع ($r^3$)؛ حيث تصل إلى ثمانية أضعاف، وليس أربعة فقط، أي ناتجًا أكبر لو تضاعفت قيمة (r)، عندئذ ستستلزم حجة **فرداي** قانون التكعيب العكسي كنتيجة.

كما أدرك **نيوتن**، مسارات الكواكب، والمحكومة بالتوازن بين آثار الجاذبية، التي تعمل على سحبهم نحو الداخل، وبين تأثير الطرد المركزي على حركتهم. المدارات في نظامنا الشمسي مستقرة؛ بمعني أن أيَّ تغير طفيف في سرعة الكوكب من شأنه أن يؤثر بشكل طفيف فقط على مداره. لكن هذا الاستقرار لن يدوم إذا اتبعت الجاذبية قانون التكعيب العكسي -الأكثر حدة- بدلًا من اعتماد التربيع العكسي. فلو أنّ كوكبًا مداريًا تباطأ -حتى ولو بشكل طفيف- عندئذ سيغوص بسرعة كبيرة نحو الشمس، بدلًا من مجرد الانتقال إلى مدار أقرب؛ لأن قوة التكعيب العكسي ستجذبه بشدة نحو المركز. وعلى العكس، فالكوكب المداري الذي زادت سرعته بشكل طفيف، سرعان ما سيتجه إلى الخارج حلزونيًا، نحو الظلام.

اشتهر لاهوتي القرن الثامن عشر الإنجليزي (ويليام **پيلي** William Paley) بحجته حول أن التصميم الواضح في عالمنا يدل على وجود مصمم، تماماً كما للساعة صانع. لقد كان **پيلي** مدربًا بشكل جيد في الرياضيات بجامعة كامبردج، بما يكفي ليقدر الخاصية المحيرة لقانون التربيع العكسي؛ حيث أدرجه في ترسانة حجة (وجود خالق عادل) الخاصة به. جاءت معظم «أدلة التصميم» من البيولوجيا، ومنذ ذلك الحين جرى استبعادها -حتى من جانب اللاهوتيين- في مرحلة ما بعد الداروينية. قدرة

التكيف الرائعة للعين واليد.. إلى آخره، هي نتيجة الانتقاء الطبيعي، والتعايش بين الكائنات الحية وبيئتها. تبدو الآن حجة **پيلي**، حول أن قانون التربيع العكسي معتدل ومناسب بشكل خاص، هي إحدى أكثر حججه صلابة؛ فليس هناك أي مجال لانتقاء قانون قوة مفضل، ولا يمكن لأي شيء أن يتفاعل مع الكون ليؤدي إلى تغييره. كان يكتب **پيلي** منذ أكثر من قرن، وقبل إدراك أن الذرات تحتوي على إلكترونات تدور حول نواة ذات شحنة موجبة، وإلا فقد كان بإمكانه أن يعزز قضيته من خلال الإشارة إلى أنه، لأسباب مماثلة، لا وجود لذرات في كون محكوم بقانون تكعيب عكسي؛ حيث لن يكون هناك مدارات مستقرة لإلكترونات.

بالتالي هناك مشكلة ستحدث في حالة وجود أكثر من ثلاثة أبعاد مكانية. هل يمكننا العيش في عالم ذي أبعاد أقل من ثلاثة؟ أفضل حجة هنا هي بسيطة جداً: هناك قيود متأصلة بشأن الهياكل المعقدة في (الأرض المسطحة) أو في الواقع على أي سطح ثنائي الأبعاد. يستحيل الحصول على شبكة معقدة دون عبور الأسلاك، ولا يمكن لأي جسم أن تكون لديه قناة عبره -جهاز هضمي مثلاً- دون أن يكون مجوفًا. سيصير المدى أضيق وأكثر حدودًا في الأرض الخطية ذات البعد الواحد.

تلك ليست سوى أبرز الأسباب -اكتشف علماء الرياضيات أسبابًا أخرى- التي تبين كم يلائمنا العيش في فضاء ثلاثي الأبعاد، وعلينا ألا نتفاجأ كونه وجد كذلك.

## الوقت وسهامه

الوقت -بطبيعة الحال- بُعْدٌ رابعٌ نختبره. فلتحديد موقع الحدث، نحن بحاجة إلى أربعة أرقام؛ ثلاث إحداثيات مكانية، لوصف مكان الحدوث، ورابع زماني، ليخبرنا متى حدث؟ كما قال كاتب شعارات مجهول «إن الوقت هو وسيلة الطبيعة لإيقاف حدوث الأشياء دفعة واحدة».

الأحداث معلقة -أو كانت- على طول مسارات، معالمها تكات الساعة. لكن

يختلف الوقت عن الأبعاد الثلاثة الباقية؛ حيث نبدو مدفوعين تجاه طريق واحد (إلى الأمام)، أما في باقي الأبعاد، فيمكننا أن نتحرك في أي اتجاه -للشرق أو الغرب أو الشمال أو الجنوب، أو أعلى أو لأسفل-.

أفضل ما يوصف به كوننا هو كون الـ(1+3 أبعاد). أخبرنا **أينشتاين** أن المكان والزمان مرتبطان، وأن معدل مرور الوقت (مرن)؛ كونه يعتمد على كيفية تحرك ضابط الوقت، وعلى كون ضابط الوقت قريباً لكتلة كبيرة أم لا. لكن أفكار **أينشتاين** تمايز بين الزمان والمكان؛ بين ما يقبع في الفضاء، وما يكمن في الماضي أو المستقبل.

يتجه (سهم الوقت) من الماضي تجاه المستقبل. وسيختلف فيلم الأحداث اليومية بشكل غريب عند سيره بصورة عكسية للوراء؛ حيث تظهر فكرة السبب والنتيجة: قطع زجاج مكسرة، قطرات من سائل تتسارع عن عمد لتتجمع على شكل قدح من النبيذ، بخار في غلاية يتكثف إلى ماء. في رواية (مارتن **إيمس** Martin Aimas) المعكوسة زمنيا والساخرة 1(Time's Arrow) تعود سيارات الأجرة في نيويورك إلى الوراء، تاركة زبائنها الذين من المفترض أنهم يستقلونها الآن، كي يقفوا في النهاية ملوحين -بالوداع- بالامتنان لأجل هذه الخدمة.

اللاتناظر بين الماضي والمستقبل متأصل جداً في خبرتنا؛ حيث أن القليل، باستثناء بعض فلاسفة علماء الفيزياء، يتوقفون للتفكر في الألغاز التي يشكلها. يعد الأمر محيرًا؛ لأنه لا يوجد مثل هذا اللاتناظر الناشئ في القوانين الأساسية التي تحكم العالم الصغير. العالم يتغير بصورة لا رجعة فيها، على الرغم من أن القوانين الأساسية لا تمايز بين الماضي والمستقبل. إنّ فيلمًا يعرض تصادمًا بين كرتين سنوكر ليبدو سيان تقريباً إذا ما تم تشغيله للأمام أو للخلف. بالمثل، يبدو أن عالمنا قد نشأ بطريقة خاصة.

نحن عالقون في الوقت، لكن يمكننا بلوغ رؤى واضحة من منظور تخيلي، هو «خارج نطاق الوقت»، مثل مخلوقات رواية (صفارات إنذار الجبار

The Sirens of Titan) لـ(كيرت ڤانِجت Kurt Vonnegut)، الذين يرون الناس على أنهم ديدان ألفية بسيقان أطفال من جهة وسيقان مسنين من جهة أخرى! سيبدو كوننا ككيان ستاتيكي رباعي الأبعاد (الكون المُغلق)؛ وعندئذ فإن (خطوط العالم) للأجسام العادية ستختل من جهة ما نسميه المستقبل، أكثر من الجهة الأخرى، أو ما نسميه الماضي. لكن الشيء الصعب توضيحه واستيعابه هو: أيُّ الحالات (منتظمة) على الإطلاق؟ لو أن إحدى نهايات وتر طويل معقودة بنمط لافت للنظر، فسوف نندهش بنفس الدرجة ما إذا كانت العقدة جهة اليسار أو اليمين. بالمثل، في (الكون المغلق)؛ حيث يبدو المستقبل موجودًا بنفس مقدار وجود الماضي تماماً، وليس مهماً على الإطلاق تمييز ما في البداية وما في النهاية.

عندما نقول إن الكون آخذ في التوسع، فنحن نفترض مسبقًا سهم الزمن، وأن بإمكاننا تنظيم المشاهد في فيلم -أو الشرائح ثلاثية الأبعاد في (كوننا المنغلق)- لكي يصبح الكون أكثر تشتتًا كما عرفناه لاحقاً.

قد يكون اللاتناظر في الزمن مرتبط بتوسع الكون. في الواقع، وكما وصفنا في الفصل الثامن كيف للجاذبية، أثناء التوسع، أن تعزز أي تباينات للكثافة الأولية، مما يتيح نشأة بنية ككرة نار كانت تبدو أولًا بلا ملامح. في المراحل المبكرة لن يظهر هذا اللاتناظر في أي قياس محلي؛ لأن الكثافة ستكون حينئذ عالية جداً لدرجة أن العمليات الميكروسكوبية -الاصطدامات بين الجسيمات، انبعاث وامتصاص الفوتونات.. إلى آخره- ستحدث بسرعة كبيرة جداً مقارنة بمعدل التمدد. سيكون كل شيء، أثناء كل لحظة، في حالة توازن. لن تحتفظ المواد (بذاكرة) ما إذا كانت أقل أو أكثر كثافة عن السابق، ولن تحمل أي بصمة لاتجاه الزمن. لكن عندما يكون الكون أقل كثافة، ستكون هذه التفاعلات أبطأ، وعندئذ سيُحدِث التمدد فرقًا جوهريّاً.

على سبيل المثال، لو بقي كوننا عند درجة حرارة تصل لبلايين الدرجات لفترة طويلة، أو أن التفاعلات النووية حدثت بشكل أسرع، لكانت تحولت كل الذرات

إلى حديد. لحسن الحظ، كان التمدد بسرعة كافية تسمح لإخماد التفاعلات النووية قبل أن تتمكن من تحويل ثلاثة وعشرين في المائة من الهيدروجين إلى الهيليوم. هذا يجسد كيف يسمح للكون أن يتوسع بذات التوازن، لذا ما يحدث الآن ليس نفسه ما كان سيحدث في كون قابض.

كما أشار (**ساخاروف** Sakharov) لأول مرة، يعتمد وجودنا على تأثير دائم، أدى إلى ثبات فائض في المادة العادية عن المادة المضادة في مرحلة مبكرة. لو لم يحدث ذلك، لكانت تلاشت كل المادة العادية بمقدار يساوي ما دُمِّر من المادة المضادة، ليُترك الكون بلا أية ذرات على الإطلاق. حينها لن توجد نجوم، ولا التفاعلات الكيميائية التي سمحت للتراكيب المعقدة بالظهور.

ما زال الزمن يطرح تلك الألغاز التى لا يوجد بشأنها أي إجماع في الآراء على الإطلاق. أُجري استفتاء غير رسمي بين الخبراء: «هل تعتقد أن الوقت هو فعلاً مفهوم أساسي؟ هل يمكن أن يُستَمَد من مفاهيم أكثر بدائية؟» انقسمت الردود بالتساوي تماماً، بأغلبية طفيفة تميل إلى الرأي القائل بأن الوقت سيفسر ويفهم نهاية في ضوء شيء أعمق.

## نطاق أوسع للأبعاد

من المؤكد أن للزمان والمكان بنية معقدة. نحن نعلم أن الكون مُخَرَّق بالثقوب السوداء -الملايين منها داخل مجرتنا، ربما أكبر حجماً في أوساط مجرات أخرى-، حيث يتشابك فيها الزمان والمكان. لكن تلك التعقيدات مقتصرة على مناطق يطلق عليها (محلية) بالمنظور الكوني. تجانس الكون القريب من الكمال بمقاييس أكبر من العناقيد المجرية الهائلة يوحي بأن هندسة الفضاء سلسة وبسيطة بمقياس أفقنا الحاضر. وأيضا بالمثل حقيقة أن إشعاع الخلفية الميكروني الكوني لديه تقريباً نفس درجة الحرارة فوق السماء بأكملها.

رغم ذلك فقد تساءل علماء الكون ذوو الميول الرياضية حول ما إذا كانت هذه البساطة تعد مجرد وهم: ربما نحن واقعيًا نرى نفس البقعة مرارًا وتكرارًا، كما الحال في قاعة المرايا أو المشكال Kaleidoscope، وهو فضاء «مطوي» أو لديه نوع من البنية الخلوية. لو أننا فعلاً في هذا النوع الغريب من الكون، يجب أن تكون بين الخلايا على الأقل بعض النسب المئوية من بُعد مسافة أُفُقنا، بعبارة أخرى أكثر من بضع مئات الملايين من السنين الضوئية الفاصلة. نعلم هذا لأنه لو كانت الخلايا أصغر، لكنا قد رأينا بُنى مميزة مثل تجمع مجرات العذراء تكرر نفسها. لقد بزغ تقيد أقوى من قياسات (لا تجانسات) صغيرة في حرارة الخلفية الميكرونية للكون؛ حيث أنه ليس هناك أنماط متكررة في تلك الـ(لاتجانسات)، لذا يمكننا استبعاد أي خلية أقل في الحجم من أفقنا.

من ما وراء الأفق المحدد بسرعة الضوء المعروفة، تخبرنا المشاهدات بالقليل. يمكن أن يكون الفضاء ملفوفًا بطريقة معقدة على مقاييس تتجاوز عشرة بلايين سنة ضوئية بكثير. حتى يمكن أن يكون هناك تغيرات في عدد الأبعاد؛ لكننا أبدًا لن نتوصل لأكثر من إرهاصات غير مباشرة عما يحدث، لأن ذلك خارج نطاق التلسكوب.

وماذا عن المقاييس الصغيرة جداً؟ هنا، حتمًا ستتجزأ مفاهيمنا البسيطة. في الواقع، قد نحتاج للتعامل مع الأفكار المعقدة جداً، المنطوية على أبعاد إضافية، من أجل فهم صحيح للجزئيات، وللقوى، ولأرقامنا الفلكية.

## البنية المجهرية للمكان والزمان.. الجاذبية الكمومية

أمضينا قرنًا كاملًا لنعتاد على فكرة أن المواد العادية -الجوامد والسوائل والغازات- لديها بنية جزيئية أو ذرية متمايزة. يمكن أن يكون هناك تشويش على المكان والزمان كليهما؟ يبدو الفضاء سلسلة متوالية سلسة، لكن هذا فقط لأن خبرتنا، وحتى أكثر تجاربنا تطورًا وتعقيدًا، هشة جداً لتحقيق القياس الدقيق الذي قد تظهره هذه البنية.

نحن لا نعلم البنية المجهرية المفصلة للمكان والزمان، لكن تخبرنا نقاشات عامة أنه لا يمكن شطرهما قسرًا إلى أجزاء صغيرة. يمكن فقط لتفصيلة دقيقة القياس جدًا أن تفحص بعناية، عن طريق إشعاع ذي طول موجي أقصر منها. على سبيل المثال، مبنى ما لا يعرقل موجات الراديو ذات الأطوال الموجية التي تصل لعدة أمتار، لكن يشكل ظلالاً حادة في ضوء الشمس. يتكون الضوء من موجات بطول جزء من المليون من المتر، ولا شيء أصغر من ذلك يمكن تصويره بمجهر ضوئي عادي. ولكي تفحص بدقة تتطلب أطوال موجية أقصر -أو أي من التقنيات الأخرى، كالمجهر الإلكتروني-، لكن، وفقًا لنظرية الكم، تأتي الأطوال الموجية الأقصر في كمّات أكثر حيوية، أو (حِزم) من الطاقة.

يتم قياس الكم الأساسي للطاقة عن طريق ثابت بلانك -رقم سمي على اسم الفيزيائي العظيم (ماكس **بلانك** Max Planck)، الذي يعد رائداً في فكرة التكميم quantization قبل قرن من الزمان-. حتى حد معين، يمكننا فحص أدق تفصيلة على الإطلاق باستخدام كمّات quanta أكثر نشاطاً، مقرون بأقصر أطوال موجية على الإطلاق. لكن هناك حد أقصى؛ ينشأ هذا الحد عندما تكون الكمات الضرورية هي تلك التركيزات المتطرفة من الطاقة لدرجة الانخماص إلى ثقوب سوداء.

يحدث هذا في (طول بلانك) وهو أصغر $10^{19}$ مرة من البروتون؛ كمّات بهذا الطول الموجي الصغير كل يحمل طاقة بقدر كتلة السكون لـ$10^{19}$ بروتون. يستغرق الضوء حوالي $10^{-43}$ ثانية لاجتياز هذه المسافة، ويعد (زمن بلانك) أقصر فترة زمنية فاصلة يمكن قياسها. لذا حتى المكان والزمان يخضعان لتأثيرات الكم، لكن بسبب أن الجاذبية ضعيفة جداً، تأتي تلك الآثار على نطاق أضيق بكثير من الذرات العادية، عندما تكون القوى المسيطرة هي القوى الكهربية. هذا نتيجة اتساع أول رقم كوني (N).

يبدي بعض المنظرين استعدادًا أكثر من غيرهم للمضاربة، لكن حتى أجرأهم يقر

بأن (مقاييس **بلانك**) تعد العائق المطلق. لا يمكننا قياس المسافات الأقل من طول **بلانك**؛ حيث لا يمكننا التمييز بين حدثين -أو الإقرار بما جاء أولاً- عندما يكون الفاصل الزمني بينهما أقل من زمن **بلانك**. تلك المقاييس أقل من الذرات بنفس النسبة التي تكون بها الذرات أصغر من النجوم. لا يوجد أي أمل لأي قياسات مباشرة في هذا المجال؛ حيث يحتاج ذلك إلى جسيمات تحمل طاقات أعلى مليون بليون مرة مما يمكن أن تنتج في المختبر.

أهم (ركنين) في علم القرن العشرين هما: (ميكانيكا الكم)، وهي أساسية لمعرفة العالم الصغير، و(نظرية الجاذبية) **لأينشتاين**، والتي لا تشتمل على مفاهيم الكم. لكننا لا نملك إطارًا أو نطاقًا واحدًا يوفق بينهما ويوحدهما. لا يعوق هذا الافتقار عن التقدم في علوم الأرض، وإنما في علم الفلك، لأن أغلب الظواهر تتضمن إما الآثار الكمومية أو الجاذبية، لكن ليس كلاهما. لا تكاد تذكر الجاذبية، بواسطة N رقمنا الضخم، في العالم الصغير من الذرات أو الجزيئات، حيث يعد التأثير الكمّي أساسيًا. وعلى العكس، يمكن إغفال الشكوك الكمومية في العالم السماوي من كواكب ونجوم ومجرات، حيث تتولي الجاذبية السيطرة. لكن في البداية الباكرة تمامًا، كانت للاهتزازات الكمومية القدرة على هز الكون كله. على العكس من ذلك، يمكن أن تكون الجاذبية مهمة على مقياس كمي واحد. يحدث ذلك في $10^{-43}$، وهو زمن **بلانك**. لفهم اللحظات الأولى بعد الانفجار الكبير، أو قرب (أُحَادِيَّة) المكان والزمان داخل الثقوب السوداء، فنحن بحاجة لضم وتوحيدٍ بين نظرية الكم ونظرية الجاذبية.

تتلاشى البدهيات عندما نقترب من سرعة الضوء، كذلك بالقرب من الثقوب السوداء. تتلاشى أيضاً في الظروف القصوى للكون الباكر، وعلى المقياس متناهي الصغر القريب من طول **بلانك**. عندئذ يتعين علينا أن نطرح أرضًا كل ما نعرف من مفاهيم منطقية منشودة حول المكان والوقت؛ قد تظهر وتختفي الثقوب السوداء، قد

يكون للزمكان على هذا النطاق بالغ الصغر بنية تشبه الرغوة الفوضوية، بدون وجود سهم للوقت محدد بدقة. قد تفرز التقلبات نطاقات جديدة، والتي تتطور إلى أكوان منفصلة. قد يتمتع الفضاء ببنية شبكية الشكل، أو معقود البنية أشبه بلباس الحرب الحديدي المعقود. قد يصبح الوقت كالفضاء، بمعنى عدم وجود بداية للزمن.

الساحة الوحيدة الأخرى المتاحة للجاذبية الكمومية هي الأحادية المركزية داخل الثقوب السوداء المحجوبة في الأفق. من الصعب التثبّت من نظرية ليس لها أي تبعات واضحة إلا في مثل هذه النطاقات الغريبة التي يصعب الوصول إليها. أن تؤخذ على محمل الجد، يعني أن تكون جزءاً لا يتجزأ من نظرية شاملة لكافة الجوانب؛ بحيث يمكن اختبارها بالعديد من الطرق الأخرى، وإلا لابد أن ينظر إليها على أنها تشتمل على حتمية فريدة من نوعها.

يُجرى اتّباع العديد من المناهج، لكن ليس هناك وفاق عام حتى الآن بشأن الأصح بينها. راهن (ستيفن **هوكينج** Stephen Hawking) على ظهور نظرية موحدة في غضون عشرين عاماً، إلا أنه يدفع ثمن ذلك الآن بعدما مضى عشرون عامًا على هذا الرهان. النهج الأكثر طموحًا وتشجيعًا هو نظرية (الأوتار الفائقة)، التي تقفز مباشرة نحو نظرية موحدة لكل القوى، وتأتي بالجاذبية الكمومية كثمرة إضافية.

## الأوتار الفائقة

يمكن لنظرية الأوتار الفائقة، بحسب ما يزعم أنصارها، دمج القوى الثلاث التي تحكم العالم الصغير -الكهرومغناطيسية، القوة النووية، والقوة الضعيفة- فضلاً عن احتساب الجسيمات الأولية -كواركات، جلوونات.. إلخ-.

في الواقع وجود الجاذبية يعد عنصرًا جوهريًا للنظرية، ولا يعد تعقيدًا إضافيًا. تكمن فكرتها الأساسية في أن الكيانات الأساسية في كوننا ليست نقاطًا، بل حلقات وترية صغيرة، وأن مختلف الجسيمات النووية الدقيقة هي أنماط مختلفة من الاهتزاز

-التوافقيات المختلفة- لهذه الأوتار. لدى الأوتار مقياس طول **بلانك**؛ أو بعبارة أخرى، لديها عوامل عديدة أصغر عشر مرات عما يمكن أن نتحقق منه فعليّاً. علاوة على ذلك، لا تهتز هذه الأوتار في فضائنا العادي ذي الـ(3 + 1) أبعاد، لكن في فضاء ذي عشرة أبعاد.

فكرة الأبعاد الإضافية ليست بالجديدة؛ ففي عشرينيات القرن الماضي حاول كل من (ثيودور **كالوزا** Theodor Kaluza)، و(أوسكار **كلين** Oskar Klein)، توسيع نظرية الزمان والمكان **لأينشتاين** لتشمل القوى الكهربية. حاولوا تصور الحقول الكهربية، وحركات الجسيمات المشحونة عن طريق إلحاق -تخيُّل إلحاق- بنية إضافية لكل نقطة في فضائنا العادي. كان البعد الإضافي (تامًا) على نطاق ضئيل للغاية، ولم يتجلَّ لنا، بالأحرى كورقة مفردة تبدو كأنها خط أحادي البعد بعدما انطوت بإحكام تام، على الرغم من أنها في الواقع سطح ثنائي البعد. نظرية **كالوزا وكلين** واجهت صعوبات، لكن مفهوم الأبعاد الإضافية قد مر مؤخرًا بنهضة مثيرة. في نظرية الأوتار الفائقة، كل «نقطة» في فضائنا العادي هي بنية هندسية معقدة في ستة أبعاد، مَلْفُوفة على مقياس طول **بلانك**.

تنطوي جميع النظريات الفيزيائية على معادلات وصيغ وتراكيب قائمة على النواحي الفنية -لكن ليس، لحسن الحظ، الأفكار الرئيسية- المبهمة لغير المختصين. لكن، بشكل عام، قد حلت الرياضيات المشكلة بالفعل، ويمكن أن يرفع هذا الحل (من على الرف) ويُفَعَّل من قبل علماء الفيزياء.

على سبيل المثال، المفاهيم الهندسية التي وظفها **أينشتاين** في نظريته (منحنى الزمكان) كانت قد وضعت في القرن التاسع عشر، كذلك أيضًا الحال بالنسبة للغة الرياضية التي عهد إليها لوصف العالم الكمومي. لكن تطرح الأوتار الفائقة تساؤلات لا تزال تُعجِز علماء الرياضيات. على سبيل المثال، هل هناك سبب معين يحتم على كونٍ أن ينتهي به الأمر لأربعة أبعاد (ممتدة) -الزمن، بالإضافة إلى أبعاد

الفضاء الثلاثة-، بدلاً من عدد آخر للأبعاد؟ طبيعة كوننا، والقوى التي تحكمه، تعتمد تحديدًا على الأبعاد الإضافية الملفوفة. كيف لهذا أن يتحقق، وهناك الكثير من الطرق المختلفة التي بإمكانه أن يسلكها؟

بعدما أثارت نظريات الأوتار الفائقة الحماس في ثمانينيات القرن العشرين -على الرغم من أن الأفكار تعود لعقود سابقة-، استوعبت منذ ذلك الحين جهد أفواج كاملة من علماء الفيزياء الرياضية البارعين. تبع فرط الحماس هذا فترة من الإحباط، بسبب التعقيد المحير للنظرية. لكن، منذ 1995، ارتقت نظرية الأوتار الفائقة (موجة ثانية). لقد أُدرِك أنه يمكن للأبعاد الإضافية أن تلتف لتكون خمس فئات متميزة لفضاء ذي ستة أبعاد.

حتى الآن، وعلى مستوى رياضي أعمق، قد تكون تلك البُنى منفصلة، لكنها مترابطة مدمجة في فضاء ذي أحد عشر بُعدًا. فضلاً عن ذلك، يمكن توسيع مفهوم الأوتار -الكيانات ذوات البعد الواحد- لتشمل أسطح ثنائية الأبعاد (أغشية). في الواقع، في فضاء ذي عشرة أبعاد، يمكن أن يكون هناك أسطح بعدية أعلى؛ بمعنى آخر، لو سمي سطح ثنائي البعد بـ(ثنائي الأغشية)، فيمكن أن يكون هناك ثلاثي الأغشية.. وهلم جرا. مع ذلك لا يزال هناك فجوة غير موصولة بين التعقيد المُلْغز لنظرية الوتر ذي الأبعاد العشرة، وبين أيّة ظاهرة يمكننا ملاحظتها أو قياسها.

هناك تجارب سابقة لنظريات جرى اتخاذها على محمل الجد حتى بدون أدلة تجريبية مباشرة، لا سيما في الحالات التي تبدو عليها (الصحة) أو (التجانس) الفريد من نوعه، والتي تحمل في داخلها مصداقية رنانة تفرض قبولها. أبدى العديد من الفيزيائيين في عشرينيات القرن العشرين انفتاحاً تجاه نظرية النسبية العامة **لأينشتاين**، بسبب جاذبيتها النظرية الجبارة. الآن تم التأكد منها من خلال الملاحظات الدقيقة، لكن في الأيام الأولى كانت الأدلة قليلة. كان **أينشتاين** نفسه أكثر إعجابًا بتجانس نظريته عن أي تجارب لإثباتها. وبالمثل، في العصر الحاضر فقد قال رائد للفيزياء

الرياضية (إدوارد **ويتن** Edward Witten) إن: «الأفكار الخاطئة المستساغة نادرة الوجود للغاية، ولم يسبق لي رؤية أفكار خاطئة مستساغة تضاهي -من قريب أو من بعيد- فخامة نظرية الأوتار».

مع ذلك، هناك أسباب محددة تدعو للتفاؤل بشأن الأوتار الفائقة؛ أولها أن النظرية النسبية العامة **لأينشتاين**، التي تفسر الجاذبية كانحناء الزمكان ذي الأبعاد الأربعة، مدموجة حتمًا في نظرية الأوتار الفائقة، بالتالي التوليف الذي طال السعي إليه بين الجاذبية ومبدأ الكمومية سيظهر بشكل طبيعي.

بالفعل أتاحت النظرية فهماً أفضل للثقوب السوداء، وتعود القصة هنا في أوائل السبعينيات من القرن العشرين، حيث كان يدرس الفيزيائي (جيكب **بيكنستاين** Bekenstein)، الذي كان يعمل في (جامعة برنستن Princeton University)، التبعات المترتبة على الاكتشاف الجديد آنذاك، وهو أن الثقوب السوداء هي أجسام معيارية -كما سبق ذكره في الفصل الثالث-، هذا يعني أنها فقدت أي ذاكرة لكيف تم تشكلها. هناك بدت أعداد هائلة من الطرق التي تشرح كيف بُنِيت الثقوب السوداء -صخور، كواكب، غاز.. أو حتى مركبات فضائية يمكن من حيث المبدأ أن تختفي فيها-، لكن كل آثار هذا التاريخ على ما يبدو قد تم محوها. أشار **بيكنستاين** أن هذا كان مثل (زيادة الإنتروبيا entropy increase) التى تحدث عند مزج اثنين من الغازات؛ فالعديد من الحالات الأولية تؤدي إلى حالات ختامية غير قابلة للتمييز. يقابل فقد المعلومات زيادة في الإنتروبيا، وقدر **بيكنستاين** أنه قد يمكن لثقب أسود أن يكون لديه إنتروبيا كمقياس لعدد السبل المختلفة التي بها يمكن أن يتكون. ولو أن **بيكنستاين** على صواب، فإنه يمكن أن تكون للثقوب السوداء درجة حرارة.

وضعت فكرته على أرضية أكثر ثباتًا عندما حسب **هوكينج** أن الثقوب السوداء ليست سوداء تماماً، لكن تنبعث منها إشعاعات بالفعل. (يعد الانبعاث طفيفًا جدًا ليكون قابلًا للقياس في الثقوب السوداء التي قد اكتشفها الفلكيون، لكن قد تكون

ذات أهمية لو أن الثقوب متناهية الصغر بحجم الذرة -الوارد وصفها في الفصل الثالث- اكتُشِف وجودها).

عرضت نظريات الأوتار الفائقة، التي تصف بنية الفضاء على مقياس بلانك، رؤية جديدة. أوضح المناظر الأمريكي (آندرو **سترومنجر** Andrew Strominger) في عام 1996 كيف يمكن تصور الثقوب السوداء كـ(مركب) من تسلسل وتري للعناصر، وأوضح كيف يمكن حساب أعداد -إعادة تنظيمات- هذه اللبنات المكونة بالغة الصغر، التي تؤدي إلى نفس الثقب. لقد توافقت بدقة مع قيمة الإنتروبيا التي قام بحسابها كل من **بيكنستاين وهوكينج**. بالطبع هذه ليست حجة تجريبية، لكنها تعزز ثقتنا في النظرية من خلال عملية حسابية داعمة لما سبق تقديمه من بيانات، وتستند أكثر للفيزياء التقليدية، وتعمق رؤيتنا لسمة غامضة خاصة بالثقوب السوداء.

هناك أمل آخر -على الرغم من كونه في الوقت الحاضر أكثر إثارة للجدل وأقل رسوخًا-، هو أن الأوتار الفائقة قد تقدم رؤى جديدة في مفاهيم الكمومية. صرح (ريتشرد **فينمان** Richard Feynman) بأن «لا أحد يفهم فعلاً ميكانيكا الكم». فهي تعمل بشكل عجيب، يطبقها غالبية العلماء بسرعة وبدون تفكير تقريباً، لكنها ذات جوانب غامضة، حيث كشف الكثير من المفكرين، منذ **أينشتاين** وصاعداً، عن صعوبة تحملها، ومن الصعب الاعتقاد بأننا بلغنا فعلًا وجهة النظر المثلى بشأنها.

حتى لو لم نتمكن من تحقيق مقياس **بلانك** بشكل مباشر، فبعض ملامح العالم المادي التي نلاحظها -على سبيل المثال، التصادف بأن هناك ثلاث قوى أساسية في العالم الصغير- يجوز أن «تُفصل» عن نظرية الأوتار الفائقة، تماماً كما يبدو الحال بالنسبة لنظرية الجاذبية **لأينشتاين**. بالتأكيد سنكتسب الثقة في البناء الرياضي بأكمله إذا حدث ذلك. قد تقدم نظرية الأوتار الفائقة -كما يناقش في الفصل التالي- نظرية شاملة للأكوان المتعددة.

# الفصل الحادي عشر
# صدفة، أم تدبير إلهي، أم أكوان متعددة؟

# صدفة، أم تدبير إلهي، أم أكوان متعددة؟

«بالنسبة للدين، فأنا أميل ناحية الربوبية. ولكن دليلها يواجه إشكالية كبرى في مجال الفيزياء الفلكية. وجود الإله الكوني الذي خلق الكون - كما تتصور الربوبية - ممكن، وقد يُحسم في النهاية، وربما بأدلة مادية لا نتخيلها بعد».

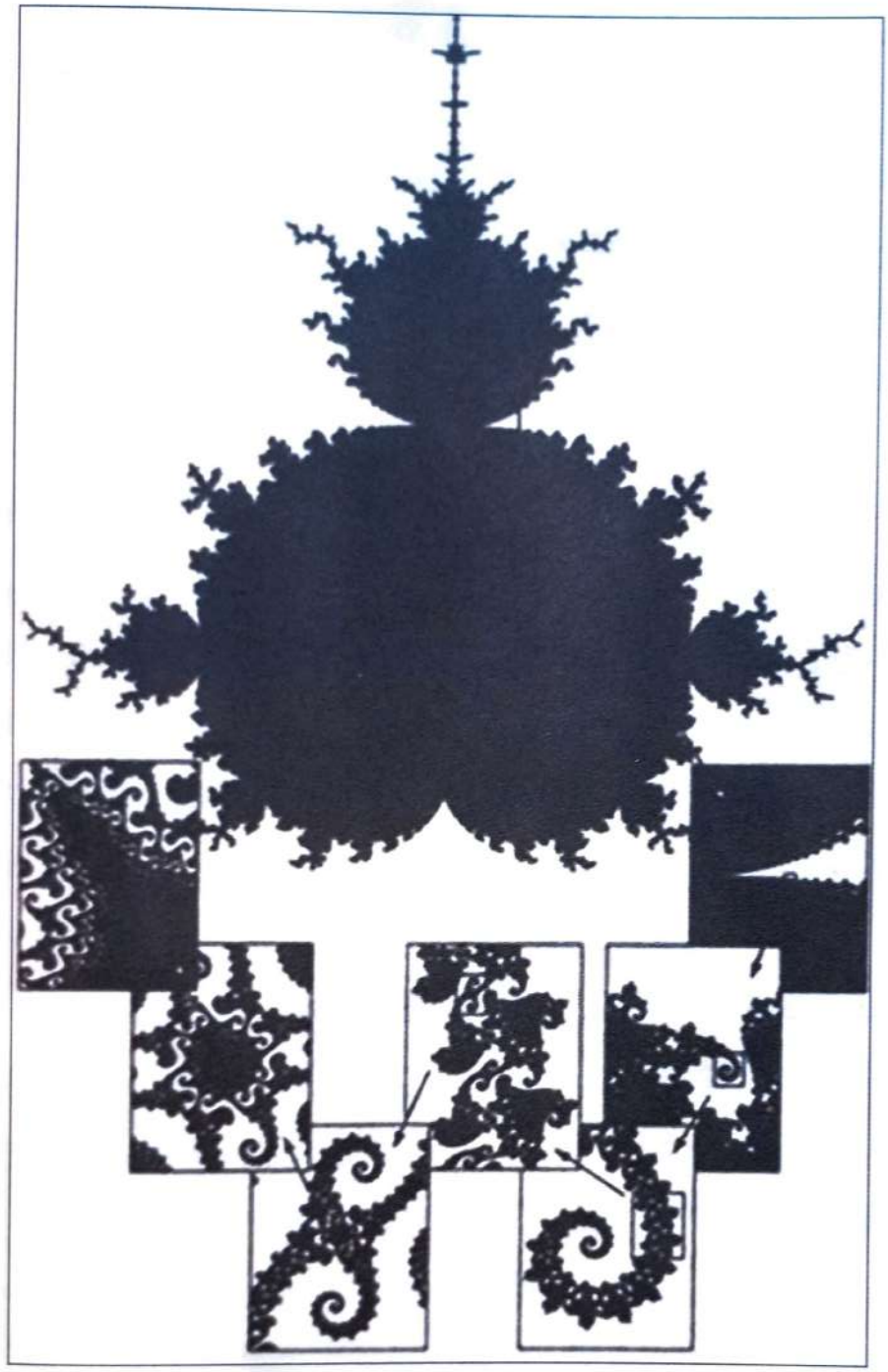
إدوارد أو ويلسون E. O. Wilson

## ما معنى الإعداد بعناية؟

في كوننا، خرج التعقيد المُعْضِل من القوانين البسيطة. لكن ذلك لا يضمن أن القوانين البسيطة قد تسمح بتبعات معقدة؛ لقد رأينا في الواقع أن الخيارات المختلفة لأرقامنا الستة من شأنها أن تسفر عن كون ممل أو عقيم. كذلك قد يكون للصيغ الرياضية تداعيات ثرية جدًا، لكنها عامة لا تملك ذلك. مجموعة ماندلبروت، على سبيل المثال، بعمقها اللانهائي لبنيتها المعقدة، تم تكويدها عن طريق خوارزمية قصيرة (انظر الشكل 11-1)، لكن خوارزميات أخرى متشابهة بشكل سطحي، تُظهر أنماطًا مملة جدًا.

هناك طرق مختلفة للتجاوب مع الإعداد الدقيق الظاهر لأرقامنا الستة، إحدى الاستجابات الواقعية أنه لم يكن ليتسنى لنا الوجود لولا أن تلك الأرقام مضبوطة بطريقة «خاصة» ملائمة. فبصورة واضحة؛ نحن هنا حاليًا، وبالتالي لا يوجد شيء نتفاجأ به. العديد من العلماء يتخذ هذا الاتجاه، لكن من المؤكد أنه لا يروقني.

أنا معجب بتعبير مجازي قدمه الفيلسوف الكندي (جون **ليزلي** John Leslie): لنفترض أنك في مواجهة النيران، خمسون من الرماة يصوبون على الهدف، لكنهم جميعًا يخفقون. لو أنهم لم يخفقوا، لما كنت على قيد الحياة الآن لتتدبر في المسألة. لكنك لن تترك الأمر عند هذا الحد؛ فأنت لا تزال في حيرتك، وسوف تسعى لفهم وإدراك أكبر لحظك الجيد هذا.



الشكل (11-1): مجموعة (ماندلبروت). مجمل النمط والسبع تكبيرات من الجزء. هذا النمط اللانهائي من التعقيد، الذي يتضمن طبقة فوق طبقة من البنية المعقدة، مكودة بواسطة خوارزمية قصيرة وبسيطة. لكن العديد من الخوارزميات التي تبدو مماثلة تتخذ أنماطًا مملة ورتيبة. الكون يخضع لقوانين تسمح بتبعات متنوعة للغاية.

يورد آخرون «ضبط» الأرقام كدليل على الخالق المحسن الذي شكل الكون بنية محددة لخلقنا، أو بلغة أخرى جعله متمحورًا حول الإنسان، للسماح للتعقيدات المعضلة أن تنكِشف. وهي الفكرة التقليدية لوليام بيلي ودعاة آخرين، يزعمون أن التصميم حجة على وجود الله. وقد تبنى العديد من العلماء البارزين واللاهوتيين أشكالاً متعددة لها، فمثلاً (چون بولكينهورن John Polkinghorne) كتب أن الكون: «ليس مجرد عالم قديم، لكنه مميز ومعد بعناية لقيام الحياة فيه؛ لأنه من صنع الخالق الذي أراد له أن يكون كذلك» 1.

إذا لم يتقبل المرء حجة «العناية الإلهية» للكون، فهناك وجهة نظر أخرى، رغم أنها لا تزال تخمينية، غير أنني أجدها جذابة بشكل مثير؛ وهي أن انفجارنا الكبير قد لا يكون الوحيد. أكوان منفصلة هدأت بشكل مختلف، لينتهي بها الحال محكومة بقوانين مختلفة ومُعَرَّفَة بأرقام أخرى. قد لا تبدو تلك الفرضية (حذرة) -في الواقع قد لا يبدو أي شيء متهورًا أكثر من الادعاء بوجود أكوان متعددة-، لكنها استنتاج طبيعي لبعض الفرضيات -وإن كانت تكهنات-، كما أنها تفتح رؤية جديدة لكوننا باعتباره «ذرة واحدة» مختارة من أكوان متعددة لانهائية.

## الأكوان المتعددة

قد يميل بعض الناس إلى رفض مثل تلك المفاهيم باعتبارها «ميتافيزيقا» -وجهة نظر ساقطة من منظور الفيزيائي-، لكنني أعتقد أن فرضية الأكوان المتعددة تدخل بجدارة ضمن نطاق العلم -رغم أنه من الواضح أنها لم تتجاوز كونها فرضية غير مؤكدة-، وسبب ذلك أننا نستطيع بالفعل تحديد التساؤلات التي يجب أن تُطرَح لكي نضعها في إطار الموثوقية، والأهم -إذ لابد لأي نظرية علمية جيدة أن تكون قابلة للدحض- أنه يمكننا تصور بعض التطورات التي قد تستبعد هذا المفهوم.

بطبيعة الحال ستواجهنا عقبة، وهي حيرتنا حيال الفيزياء المتطرفة التي طُبِقَت على اللحظات الأولى بعد الانفجار الكبير. هناك أسباب تعزز اعتبار التضخم كتفسير جاد لكوننا الآخذ في الاتساع؛ أقوى وأشمل توقع للنظرية -أن الكون يجب أن يكون مسطحاً- أظهرت صحته أحدث البيانات (إن لم يكن في أبسط الصور: ثلاثة مكونات -الذرات، المادة المظلمة، وطاقة الفراغ λ- تسهم في التسطح).

التفاصيل الفعلية للتضخم تعتمد على القوانين الفيزيائية التي كانت سائدة في أول $10^{-35}$ ثوان، حينما كانت الظروف قصوى أبعد ما يكون عن مدى التجربة المباشرة. لكن هناك طريقتان -بشكل واقعي- يمكننا من خلالهما أن نأمل تحديد ماهية تلك الظروف: **أولًا**، قد يكون الكون -الباكر جداً- ترك «حفريات» واضحة في كوننا المعاصر. مثلاً؛ عناقيد المجرات وعناقيد المجرات الهائلة بُذِرَت عن طريق تقلبات مجهرية نشأت أثناء التضخم، وخصائصها التفصيلية التي يستطيع الفلكيون دراستها الآن، تحمل دلالات عن الفيزياء الغريبة التي سادت حينما ثبتت تلك التراكيب.

**ثانياً**، قد تكسب نظرية موحدة المصداقية من خلال تقديم رؤية متبصرة جديدة في جوانب العالم الصغير الذي يبدو كيفيًا وغامضاً الآن، على سبيل المثال: الأنواع المختلفة من الجسيمات دون الذرية (الكواركات، جلوونات.. وما إلى ذلك)، وكيف تتصرف. سيكون لدينا الثقة حينها في تطبيق النظرية على حقبة التضخم.

التقدم بامتداد هذين الطريقين قد يكشف لنا وصفًا مقنعًا لفيزياء كون الدقائق الأولى، عندئذ فقط ستكون المحاكيات الحاسوبية لكيفية ظهور الأكوان من شيء بحجم مجهري قابلة للتصديق، كحسباتنا الحالية لكيفية تكون الهيليوم والديوتيريوم في الدقائق الأولى من التوسع (الفصل الخامس)، وكيف ظهرت المجرات والعناقيد من التقلبات الصغيرة (الفصل الثامن).

أظهر بالفعل (أندريه **ليندي** Andrei Linde) وآخرون -كما هو موضح في الفصل التاسع- أن بعض الافتراضات، والتي تتفق مع كل ما نعرفه، أنتجت أكوانًا متعددة

نبتت من انفجارات كبيرة منفصلة في أقاليم معزولة عن الزمكان. لا يمكن ملاحظة تلك الأكوان بشكل مباشر: لا يمكننا القول بشكل قطعي أنها وجدت «قبل» أو «بعد» أو «أثناء» تكون كوننا. الافتراضات المدخلة التي تتنبأ بوجود الأكوان المتعددة ما زالت تكهنات. لكن، لو أمكن ترسيخ هذه الافتراضات، واستندت على نظرية توضح بشكل مقنع الأشياء التي أمكننا رصدها، فينبغي علينا أن نأخذ الأكوان -غير القابلة للرصد- الأخرى على محمل الجد، تمامًا مثلما نعطي مصداقية لما تتنبأ به نظرياتنا الحالية حيال الكواركات داخل الذرات، والأقاليم القابعة داخل الثقوب السوداء.

إذا كان هناك بالفعل العديد من الأكوان، فإن السؤال التالي الذي يطرح نفسه هو: ما هو قدر التنوع الذي يظهرونه؟ تعتمد الإجابة مرة أخرى على طبيعة القوانين الفيزيائية على مستوى أعمق وأكثر توحدًا عما نفهمه حاليًا. ربما ستطرح إحدى «النظريات النهائية» صيغة فريدة من نوعها لجميع الأرقام الستة. لو افتُرِض حدوث ذلك، فإن الأكوان الأخرى -حتى وإن كانت موجودة- ستكون في جوهرها مجرد نسخة متماثلة لكوننا، وسيتضح أن الضبط البيّن لن يقل لغزًا مما لو كان كوننا الوحيد الذي يشكل كامل الواقع، وسنبقى في حيرة من أن مجموعة الأرقام المدموغة في الظروف القصوى للانفجار الكبير تكمن في نطاق ضيق؛ حيث سمحت لهذه التبعات المثيرة للاهتمام بعد عشرة بلايين عام.

لكن هناك احتمال آخر، فالقوانين الشاملة التي تسود جميع أنحاء الأكوان المتعددة قد يتبين فيما بعد أنها أكثر مرونة. قوام القوى والكتل للجسيمات الأولية (بالإضافة إلى $\Omega$ و $Q$ و$\lambda$) قد لا تكون ثابتة بشكل فريد، لكن يمكن أن تتخذ قيماً مختلفة في كل كون. ما نسميه بـ(قوانين الفيزياء) عندئذ، من منظور الأكوان المتعددة، سيكون مجرد «لوائح داخلية» يتم تطبيقها فقط داخل كوننا ونتائج تاريخه المبكر.

ثمة قياس هنا «بالمرحلة الانتقالية»، مثل ظاهرة مألوفة كتحول الماء إلى جليد. حينما تنتهي حقبة التضخم لكون معين، فإن الفضاء نفسه (الفراغ) يمر بتغير جذري.

القوى الأساسية -الجاذبية، النووية، والكهرومغناطيسية- «تجمدت» كلها، بما أن درجة الحرارة انخفضت، ضابطة القيم N وε؛ بحيث يمكن اعتبارها «عَرَضيّة»، تمامًا مثل نمط بلورات الثلج حينما يتجمد الماء. رقم Q، المدموغ عن طريق الاهتزاز الكمومي حينما كان حجم الكون مجهريًا، قد يعتمد أيضاً على كيفية حدوث هذه التحولات.

قد تُظهِر بعض الأكوان أرقامًا مختلفة من الأبعاد، اعتمادًا على كيفية التَضَامّ للتسعة أبعاد المكانية الأولية، بدلًا من التمدد. حتى في الأماكن ثلاثية الأبعاد، قد تكون هناك فِيزياء مِكْرَوِيَّة مختلفة، وربما قيم مختلفة لـ λ، ذلك يتوقف على نوع الفضاء سداسي الأبعاد، الذي تنهار فيه الأبعاد الأخرى.

يمكن أن يكون للأكوان قيم مختلفة من Ω (الذي يحدد الكثافة والمدة التي تستغرقها دوراتهم لو انفرط العقد وانهارت على بعضها مرة أخرى)، وQ (التي تقيس مدى سلاسة الكون، وعليه تحدد أي هيكل سيظهر فيه). بقدْرٍ ما، يمكن أن تتبدد الجاذبية بسبب التأثير الصادّ والتنافري «لطاقة الفراغ» (λ) التي لا تستطيع المجرات ولا النجوم تكوينها. أو قد تكون القوى النووية خارج مدى {ε بالقرب من 0.007} التي تسمح لعناصر مثل الكربون والأكسجين أن تستقر، وأن يتم تصنيعها في النجوم؛ حيث لن يوجد عندئذ الجدول الدوري ولا الكيمياء. كان يمكن أن تكون بعض الأكوان قصيرة العمر، وكثيفة جداً في جميع مراحل حياتها؛ حيث يظل كل شيء على مقربة من الاتزان، وبنفس درجة الحرارة في كل مكان.

قد تكون بعض الأكوان صغيرة وبسيطة جداً، حيث لا تسمح لأي تعقيد داخلي تمامًا. لقد أبرزتُ أن رقمًا واحدًا أساسيًا، وهو N، كبير جداً -واحد يليه 36 صفرًا- حجمه يعكس ضعف الجاذبية؛ أعداد كبيرة جداً من الجسيمات لها أن تتجمع معاً قبل أن تصبح الجاذبية مهمة. كما هو الحال، على سبيل المثال، في النجوم (وهي مفاعلات اندماجية نووية مترابطة بفعل الجاذبية). إنها نتيجة مباشرة لحجمها؛

حيث أن أعمارها طويلة جدًا، مما يتيح الوقت لعمليات التمثيل الضوئي والعمليات التطورية أن تظهر على الكواكب المناسبة في المدار من حولها.

في الفصل الثالث تخيلنا أن الكون -بسبب N- ليس ضخماً بقدر $10^{36}$، لكن كل شيء آخر -بما في ذلك الأرقام الخمسة الأخرى- ظل على حاله بدون أي تغيير، وأنه قد لا تزال النجوم والكواكب موجودة، لكنها ستكون أصغر حجماً وستتطور بصورة أسرع، فلن تسمح بمساحات الفترات الزمنية التي يتطلبها التطور، وأن الجاذبية ستسحق أي شيء كبير بما يكفي ليتطور إلى كائن معقد.

يجب أن تتضمن وصفة أي كون «مثير للاهتمام» رقمًا واحدًا ضخمًا جدًا -على الأقل-. بشكل واضح، ليس هناك الكثير مما يمكن أن يحدث في كون حدوده ضيقة وبه القليل من الجسيمات. يجب أن يحتوي كل جسم معقد على عدد كبير من الذرات؛ ليتطور على نحو متقن وتفصيلي، يجب أيضاً أن يستمر لفترة طويلة، فترة أطول بكثير جداً من الحالة الذرية الواحدة.

لكن وفرة الجسيمات، وتمدد فترات طويلة من الزمن.. ليست في حد ذاتها كافية. حتى إن كونًا كبيرًا وطويل العمر ومستقرًا مثل كوننا يمكن أن يحتوي على جزيئات خاملة فقط من المادة المظلمة، إما لأن الفيزياء تمنع الذرات العادية من أن تكون موجودة على الإطلاق، أو لأنها تباد بأعداد متساوية تمامًا من الذرات المضادة.

## لغز ($\lambda$)

تقدم هذه الأفكار التخمينية منظورًا جديدًا لـ $\lambda$، العدد الرئيسي الذي يقيس محتوى الطاقة في الفضاء الفارغ. يفترض أن تكون الطاقة التي دفعت إلى التضخم كامنة في الفراغ. هذا يعني أنه في الماضي البعيد كانت $\lambda$ أكبر ب $10^{120}$ مما يمكن أن تكون عليه اليوم. من هذا المنظور، يبدو غريبًا أن $\lambda$ يجب أن تضمحل لتصل إلى ما يقرب الصفر.

هناك ثلاثة حلول مختلفة لهذه الأحجية:

**أولها**، أن البنية المجهرية للفضاء -ربما تتضمن تجمعاً يشبه الزبد من ثقوب سوداء صغيرة مترابطة- تضبط نفسها بطريقة أو بأخرى لجعلها هكذا.

الفكرة **الثانية**، هي أن الاضمحلال عملية تدريجية، وبطريقة ما «تتعقب» كثافة المادة العادية، عندئذ لن يكون الأمر من قبيل الصدفة، بحيث يتعين على الفراغ أن يسهم الآن بنفس القدر تقريبًا كما المادة العادية، حتى تكون الـΩ حوالي 0.3، لكن الفراغ مازال يخزن ما يكفي من الطاقة لتوفير 0.7 المتبقية المطلوبة لجعل الكثافة الإجمالية تصل إلى القيمة الحرجة، المطلوبة لكون مسطح.

**الاحتمال الثالث**، أنه ليس هناك تفسير أساسي لضآلة الـ(λ) في كوننا، لكن ضبطيتها وتوالفها -مثلها في ذلك مثل الأرقام الأخرى- هو شرط أساسي لوجودنا. يمكننا أن نتصور أن الـ(λ) تعادل الجاذبية بمستوى كثافة معينة، هذا ما قد يحدث في الكون الثابت الذي كان يتصوره **أينشتاين** عندما جاء بهذه الفكرة. لذا، بينما يتمدد الكون، وتأخذ المادة العادية في الانتشار أكثر، تنخفض الكثافة في مرحلة ما أقل من المسموح، وتبدأ «قوة التنافر» في «التغلب» على الجاذبية. قد يكون كوننا تخطى تلك المرحلة، لذلك تتسارع المجرات بالفعل في انحسارها عنا. لكن تخيل كون «أُعِد» تمامًا مثل كوننا غير أن الـ(λ) كان أكبر بكثير، كان سيحدث التنافر قبل ذلك بكثير. لو أن هذا الإثقال قد حدث قبل تكون المجرات، ما كانت لتتشكل وتكون موجودة الآن، وهذا الكون سيكون مجدباً غير ذي جدوى.

في الأكوان المتعددة، يمكن أن تتنوع قيمة الـ(λ) بين العديد من القيم الممكنة، تلك التي يمكنها أن تكون إما مجموعة من الأرقام المستقلة المنفصلة -تحدد على أساس مسقط الأبعاد الإضافية-، أو سلسلة متصلة من الاحتمالات. في معظم الأكوان، ستكون الـ(λ) أعلى بكثير مما هي عليه في كوننا، لكن كوننا سيكون نموذجًا للمجموعة الفرعية التي يمكن أن تتشكل فيها المجرات.

## حجة كبلر

قد تبدو مسألة الأكوان المتعددة غامضة، حتى بالمقاييس الكونية، لكنها تؤثر على الطريقة التي يمكننا بها موازنة الدلائل الرصدية في الجدل الحالي حول (Ω) و(λ). لدى بعض المنظرين تفضيل قوي مسبق تجاه بساطة الكون، مع -تعارضًا مع أفضل دليل حالي- ما يكفي من المادة المظلمة فيما بين المجرات لجعل (Ω) وحدة تامة، الأمر الذي يفيد بأن درجة الضبط في الكون الأولي لم تكن رائعة فحسب بل مثالية تمامًا. إنهم لا يشعرون بالارتياح لكون الـ(Ω) -لِنَقُل- 0.3، وبسبب تعقيدات إضافية مثل الـ (λ) اللاصفرية. يبدو الآن -كما رأينا- أن الجنوح إلى البساطة سيصاب بخيبة أمل.

ربما يمكننا أن نربط بين الأكوان المتعددة وبين المناظرات التي وقعت قبل 400 عام؛ حيث اكتشف **كيبلر** Kepler أن الكواكب تتحرك في مسارات بيضاوية لا دائرية، وكان **جاليليو** مستاءً حيال ذلك، حيث كتب: «للحفاظ على النظام المثالي بين أجزاء الكون، فمن الضروري القول إن الأجسام المتحركة تتحرك بشكل دائري فقط».2

بالنسبة **لجاليليو**، تبدو المدارات الدائرية أكثر جمالًا وأكثر بساطة ومحددة برقم واحد فقط؛ نصف قطرها. بينما تحتاج المدارات البيضاوية لرقم إضافي لتحديد شكل (الانحراف المركزي). بيد أن **نيوتن** أظهر أن كل المدارات البيضاوية يمكن أن تفهم من خلال نظرية موحدة هي الجاذبية. ولو أن **جاليليو** كان حيًا عندما نشر كتاب (Principia) **لنيوتن**، لكانت رؤية **نيوتن** قد لاقت استحسانًا وتوافقًا من قبل **جاليليو** تجاه المدارات البيضاوية.

الارتباط واضح؛ كونٌ بـ(Ω) منخفضة، و(λ) لا صفرية.. وهكذا دواليك، قد يبدو قبيحًا ومعقداً، لكن ربما يكون هذا في رؤيتنا القاصرة فحسب. تتبع الأرض إحدى المدارات البيضاوية في لانهائية من الاحتمالات، ومدارها مقيد فقط باشتراط يتيح

بيئة مواتية لحدوث تطور -دون القرب تمامًا من الشمس ولا البعد تمامًا عنها-.

بالمثل، قد يكون كوننا واحدًا فقط من مجموعة من كل الأكوان الممكنة، مقيد فقط باشتراط يتيح ظهورنا، لذا أنا أميل إلى أن أكون متأنيًا حيال مبدأ موس **أوكام** (Occam's razor)[3]؛ فالتحيز لصالح الكون «البسيط» قد يعيبه قصر النظر، مثلما كان حال **جاليليو** في افتتانه بالدوائر.

إذا كانت هناك بالفعل مجموعة متكاملة من الأكوان، محكومة بـ«أرقام فلكية» مختلفة، فسنجد أنفسنا في إحدى المجموعات الفرعية الصغيرة وغير النمطية؛ حيث أتاحت الأرقام الستة تطورًا معقدًا. خصائص كوننا التي يبدو عليها «التصميم» لا يجب أن تفاجئنا، ليس أكثر من اندهاشنا لموقعنا الخاص في هذا الكون. نجد نفسنا على كوكب بطقس، ويدور على مسافة محددة من نجمه الأم، حتى وإن كان ذلك مكاناً «مميزاً» وغير نمطي تماماً. فقد كان من الممكن أن يختار المكان عشوائيًا في الفضاء، بعيداً عن أي نجم؛ بالفعل، كان مرجحًا أن نكون في مكان ما في فراغ بين مجري يبعد ملايين السنين الضوئية عن أقرب مجرة.

وقت كتابتي، كان الرأي بأن (الستة أرقام) هي حوادث التاريخ الكوني ليس أكثر من مجرد (حدس باطني). لكن يمكن أن يترسخ وفق التقدم المحرز في فهمنا للفيزياء المتضمنة، والأهم من ذلك لمركزها كفرضية علمية حقيقية، فهي معرضة للنقض، وسنكون بحاجة إلى البحث عن تفسير مختلف إذا تبين أن الأرقام خاصة أكثر مما يتطلبه وجودنا. لنفترض، على سبيل المثال، أن (على عكس المؤشرات الراهنة) $\lambda$ تقدر بأقل من 0.001 من الكثافة الحرجة، بالتالي ستكون عندئذ آلاف المرات أصغر مما يجب أن تكون فقط لضمان أن التنافر الكوني لم يمنع تشكل المجرات. هذا من شأنه أن يثير الشبهات أنها كانت بالفعل صفراً لسبب جوهري ما.

بالمثل، لو أن مدار الأرض كان دائريًا تمامًا -على الرغم من إمكانية وجودنا بارتياح في مدار غير مألوف متواضع على حد سواء-، لحبذ حينها هذا النوع من

التفسير الذي فضله **كيبلر وجاليليو**، بحيث تم تثبيت مدارات الكواكب بنسب رياضية محددة.

إذا كانت القوانين الضمنية هي التي تحدد جميع الأرقام الرئيسية بشكل لا نظير له، لذا فإن أي كون آخر لا يتسق رياضيًا مع تلك القوانين، وسيتعين علينا القبول بأن هذا «التجانس والتوالف» عبارة عن حقيقة عمياء، أو تدبير إلهي. من الناحية الأخرى، قد تسمح النظرية المطلقة لتطور متعدد الأكوان أن يتخلله انفجارات كبيرة متكررة، والقوانين الفيزيائية المتضمنة، المطبقة في جميع أنحاء الأكوان المتعددة، قد تسمح عندئذ بالتنوع في الأكوان المنفردة.

## الارتقاء و التوقعات.. سيرة ذاتية

تفسير الكون المبكر للغاية، وتوضيح مفهوم الأكوان المتعددة، هي تحديات للقرن المقبل. تبدو هذه التحديات أقل هولًا إذا نظرنا إلى الوراء في ما تم إنجازه خلال القرن العشرين. قبل مائة عام، كان سبب لمعان النجوم لغزًا، ولم يكن لدينا أي فكرة خارج مجرتنا (درب التبانة)، التي كان يُفتَرَض أن تكون ذات نظام استاتيكي. في المقابل، يمتد مشهدنا البانورامي الآن لعشرة بلايين سنة ضوئية، وتاريخه الذي يمكن أن يتم تعقبه إلى جزء من الثانية بعد «البداية».

لا تزال، بطبيعة الحال، المسابر الفيزيائية تقتصر على مجموعتنا الشمسية، لكن التحسينات في التلسكوبات والمجسات تسمح لنا بدراسة مجرات بعيدة جدًا، لدرجة أن ضوءها قد سافر تجاهنا لتسعين في المائة من الوقت منذ الانفجار الكبير. لقد حددنا، على الأقل الخطوط العريضة، أقصى حجم من حيث المبدأ يمكن الوصول إليه، إلا أننا نشك، متجاوزين أفقنا، أن كوننا يضم حجمًا أكبر بكثير، لكن ضوءه لم يتح له الفرصة حتى الآن كي يصل إلينا، وربما لن يصل أبداً.

نتعلم كيف ظهرت البنية الكونية، وكيف تطورت المجرات، من خلال مراقبات

تفصيلية، ليس فقط عن المجرات القريبة، لكن عن تجمعات المجرات البعيدة أيضاً، والتي تجري مراقبتها كما كانت من قبل عشرة بلايين سنة ماضية.

لم يتحقق هذا التقدم والتطور إلا بفضل الصدفة -من حيث المبدأ، رائع- حيث أن القوانين الفيزيائية الأساسية سهلة الاستيعاب، وتنطبق ليس فقط على الأرض لكن على أبعد المجرات، وليس الآن فقط، بل في الثواني القليلة الأولى لتوسع كوننا. فقط في الملي ثانية الأولى من التوسع الكوني وفي عمق الثقوب السوداء، نواجه أوضاعًا لا تزال فيها الفيزياء الأساسية غير معروفة.

لم يعد الكوسمولوجيون يتضورون جوعاً لمزيد من البيانات؛ يرجع الفضل في التطور والتقدم الحالي إلى المراقبين والتجريبيين أكثر بكثير من المنظرين النظريين. لكن في المستقبل سيكون هناك «مراقبون» نظريون غير عمليين. نتائج استقصاءات المجرات، و«خرائط» مفصلة عن الفضاء.. إلخ، ستكون متاحة إلكترونيًا لأي شخص يمكنه الوصول إليها أو تنزيلها، وسيكون هناك مجتمع أكبر بكثير قادراً على المشاركة في استكشاف بيئتنا الكونية، متحققين من «حدسهم» الخاص، ساعين لأنماط جديدة.. وهكذا دواليك.

تتحسن الترصدات بشكل مطرد، لكن فهمنا يتقدم على نحو متعرج. هناك تقدم إشاري، حيث تظهر وتختفي نظريات، لكن التدرج العام هو للأعلى. يتطلب التقدم تلسكوبات أكثر قوة، وقوة كمبيوترية محسنة، تسمح بعمليات محاكاة أكثر واقعية.

هناك ثلاثة حدود كبيرة في العلم: (الكبير جداً، الصغير جداً، والمعقد جداً). وينطوي علم الكونيات عليها جميعًا. في غضون سنوات قليلة، يجب أن تقاس الأرقام الفلكية، الـ(λ) و(Ω) و(Q)، فضلاً عن كيف كان حجم وشكل الكرة الأرضية منذ القرن الثامن عشر. وقتئذ قد نتمكن من حل مشكلة (المادة المظلمة).

لكن يبقى فهم البداية الأولية تحديًا أساسيًا، ويجب الانتظار لخروج نظرية «ختامية»، ربما ثم بديل لنظرية الأوتار الفائقة. فمن شأن هذه النظرية المنتظرة

أن تكون مؤشرًا لنهاية السعي الفكري الذي بدأ مع **نيوتن**، واستمر مع **ماكسويل** و**أينشتاين** وخلفائهم. وستعمق فهمنا للفضاء والوقت والقوى الأساسية، فضلًا عن شرح الكون الأولي جدًا، ومراكز الثقوب السوداء.

قد يكون هذا الهدف بعيد المنال؛ قد لا تكون هناك نظرية «نهائية»، أو -إن وجدت- أنها ستفوق قوانا العقلية لنفهمها. لكن حتى لو تم التوصل لهذا الهدف، لن يكون هذا إشارة إلى نهاية تحديات العلم. فضلاً عن كونه علماً «أساسيًا»، يعد علم الكونيات أضخم العلوم البيئية أيضاً. فهو يهدف لفهم كيف تطورت «كرة نارية» بسيطة إلى موطن فلكي معقد نجده حولنا. وكيف، هنا على الأرض، وربما في العديد من المحيطات الحيوية في أي مكان آخر، لمخلوقات أن تتطور، بحيث تكون قادرة على التفكير في كيفية ظهورها.

استخدم (ريتشارد **فاينمان** Richard Feynman) قياسًا بسيطًا لتقديم هذه النقطة؛ تخيل لو أنك لم تر أي شطرنج لعب من قبل، ثم من خلال مشاهدتك لعدد قليل من الألعاب، استطعت أن تستنتج القواعد. بالمثل، تعلم الفيزيائيون القوانين والتحولات التي تحكم العناصر الأساسية للطبيعة. في لعبة الشطرنج، تعلم الحركات هو مجرد تمهيد أولي، للمضي قدمًا من مبتدئ إلى أستاذ متقن كبير، بطريق القياس، حتى لو كنا نعرف القوانين الأساسية، فإن استكشاف كيف ظهرت تبعاتها على مدى التاريخ الكوني ما هو إلا سعي دائم غير متوقف. الجهل بالجاذبية الكمومية، والفيزياء النووية الدقيقة وما شابهها يشكل عائقًا أمام فهمنا «بالبداية» الكونية. لكن الصعوبات في تفسير ظواهر العالم كل يوم، والتي يرصدها الفلكيون، تنشأ من تعقيدها. كل شيء قد يكون نتيجة عمليات على مستوى ما دون ذري، لكن حتى لو كنا نعلم المعادلات ذات الصلة التي تحكم العالم الصغير، فلا يمكننا من الناحية العملية، حلها لشيء أكثر تعقيدًا من جزيء واحد فقط. علاوة على ذلك، بل ولو استطعنا، فالتفسير «الاختزالي» الناتج لن يكون مفيدًا. لنضفي معنى على ظاهرة معقدة، نستحدث

مفاهيم «ناشئة» جديدة. (على سبيل المثال: اضطراب ورطوبة السوائل، وقوام الجوامد، كل ذلك ينشأ عن السلوك الجمعي للذرات، ويمكن أن «تقيد» إلى الفيزياء الذرية، لكن تلك مفاهيم هامة في حد ذاتها، بل أكثر من ذلك، «التعايش» و«الانتقاء الطبيعي» وعمليات بيولوجية أخرى).

قياس الشطرنج يذكرنا بشيء آخر، فليس هناك فرصة لكوننا المرصود المتناهي، حتى وإن كان يمتد لعشرة بلايين سنة ضوئية من حولنا، أن يستطيع كشف كامل قواه الكامنة؛ بسبب أن أي تقدير حول كيفية إمكانية حدوث عديد من السلاسل المختلفة بشكل متسارع سيتجه نحو أعداد هائلة أكثر من التي قد صادفناها حتى الآن.

عدد ألعاب الشطرنج المختلفة، حتى بعد ثلاثة تحركات فقط من كل لاعب، تعد حوالي 9 مليون، هناك 40 تحركاً أكبر بكثير من الـ $10^{78}$ ذرة الموجودة في أفقنا. حتى لو تشكلت جميع المواد الموجودة في الكون على طاولة الشطرنج، فيستحيل لعب معظم الحركات الممكنة. وبطبيعة الحال فإن مجموعة الخيارات في لعبة الشطرنج تبدو ضئيلة للغاية بشكل واضح مقارنة بالتنوع الموجود في الطبيعة.

حتى الأنظمة غير الحية البسيطة هي «فوضوية» جداً لتكون قابلة للتنبؤ عموماً. كان **نيوتن** فعلاً محظوظاً ليجد إحدى أوجه الطبيعة القليلة التي يمكن التنبؤ بها تمامًا! تتضمن أي عملية بيولوجية مزيداً من التنوع بشكل كبير -فرع أكثر يشير في كل مرحلة يتجلى فيها التعقيد- أكثر من لعبة شطرنج. لو كان هناك ملايين الكواكب الشبيهة بالأرض في كل مجرة جميعها تأوي حياة عليها، فسيكون كل واحد منه مميزًا. (يتجاوز هذا أفقنا، مع ذلك، قد يكون هناك تمدد لانهائي بالمعنى الحرفي، حيث إن كل مجموعة ممكنة من الظروف قد تحدث، وقد تستنسخ في الواقع، بشكل متكرر لانهائيٍّ غالباً).4 هذا المنظور ينبغي أن يحذرنا تجاه النصر العلمي؛ تجاه المبالغة في كم ما نفهمه فعليًا من تعقيدات الطبيعة.

كان أحد موضوعات هذا الكتاب: الروابط الوثيقة بين العالم الصغير والكون.

رُمِز إلى ذلك بالأوروبروس Ouroboros. (شكل 1-1)

عالمنا اليومي، محكوم بالقوى ما دون الذرية بشكل واضح، ويعود سبب بقائه لمعدل تمدد الكون المضبوط بدقة، وعمليات تكوين المجرات، وتكوين الكربون والأكسجين في النجوم القديمة.. إلخ.

وضعت «القواعد»، عدداً قليلاً من القوانين الفيزيائية الأساسية؛ حيث كان ظهورنا بعد الانفجار الكبير حساسًا لـ(ستة أرقام) فلكية. لو لم تكن هذه الأرقام «تامة الضبط والدقة»، لكان التكشف التدريجي لطبقة عن طبقة من التعقيد قد آل إلى الإخماد.

فهل هناك لانهائية من الأكوان الأخرى «المضبوطة بشكل سيئ»، وبالتالي لا طائل منها؟

هل كوننا كله «واحة» في أكوان متعددة؟ أم ينبغي أن نسعى لأسباب أخرى، يتدخل فيها التدبير الإلهي لأرقامنا الستة؟

# المراجع والملاحظات

# المراجع والملاحظات

## الفصل الأول: الكون والعالم الصغير

1- Images depicting the full range of scales in our universe, from largest to smallest, were originally presented by Dutchman Kees Bieke in Cosmic View: the Universe in Forty Jumps (John Day, 1957) but were developed further, and achieved widest currency, in a film and book entitled Powers of Ten by the office of Charles and Ray Eames, together with Philip and Phyllis Morrison. (W. H. Freeman, 1985)

## الفصل الثاني: بيتنا الكوني ا

1- An alternative technique being developed is to repeatedly measure the star's position accurately enough to trace its orbital 'wobble'. (Whereas the Doppler technique measures motions along the line of sight, this method detects transverse motions in the plane of the sky.)

## الفصل الثالث: الرقم الكبير (N)

1- This is the mechanical work that must be done to remove an atom from a sphere. It can be thought of as the 'inverse square' force, scaling as (mass)/(radius)2, multiplied by the distance through which the force acts, which is proportional to (radius). It is also known as the 'binding energy'. It scales as (mass)/(radius), and therefore as (mass)2/3 because, for constant densities, (radius) scales as (mass)1/3.

2- The End of Time (Weidenfeld & Nicolson, 1999).

3- This uncertainty about extreme conditions near the singularity doesn't erode our confidence in the existence of black holes or in our understanding of their external properties. No more does the mystery of quarks reduce our confidence in the standard physics of atoms, which depends on the behaviour of electrons in orbits on much larger scales.

## الفصل الرابع: النجوم والجدول الدوري و(٤)

1- Livio et al. (Nature, 340, 281 1989) have computed just how sensitive the carbon production is to changes in the nuclear physics.

## الفصل الخامس: بيتنا الكوني ٢

1- According to Einstein's theory, the gravitational attraction depends not on density alone but on [(density)+3(pressure)/c2]. Leaving out the second term makes a factor of two difference when the pressure of radiation is important. However, we shall see in Chapter 7 that even in empty space there may be some energy. If so, it will have a pressure that is negative (i.e. like a 'tension'). The second term then cancels out the first, and causes a major qualitative change: the expansion actually accelerates rather than slows down. This counterintuitive result is important in the early inflationary universe, and also at present if the energy of empty space (lambda - see Chapter 7) is dominant.
2- There is no mixing between the Sun's centre and its outer layers, so there would be still more helium in the core, because of the spent fuel from the fusion that has kept it shining over its 4.5 billion year history.

# الفصل السادس: المادة المظلمة و(Ω)

1- The precise value of the critical density, and indeed some of the other densities quoted here, depend on the actual scale of the universe - something that is only known with 10-20 per cent precision because of the problems of determining the so-called 'Hubble constant'. These issues merit a whole book to themselves. However, I should mention, for the benefit of specialists, that the numbers quoted here correspond to a Hubble constant (in the usual units) of sixty-five kilometres per second per megaparsec.

2- A much more interesting question is whether the inverse-square law breaks down on very small scales, or - which is more or less the same thing - whether some extra 'fifth force' comes into play on scales below a few metres. Speculations connected with superstring theories (see Chapter 10) suggest that the extra spatial dimensions may conceivably manifest themselves in this way. Here again, experimental evidence is meagre, and less exact than we would wish, because gravity is so feeble between laboratory-sized objects.

3- Less deuterium when the density is higher at first sight seems a perverse result, but it's actually quite natural. The higher the density, the more often the nuclei would hit each other, and the more quickly nuclear reactions would convert hydrogen (one proton) into helium (two protons and two neutrons). Deuterium (one proton and one neutron) is an intermediate product. Not much would survive if the density were high, because the reactions would have gone so quickly that nearly all the deuterium would have been processed into helium; on the other hand, if the density were lower, we would expect more 'fossil' deuterium left over from the first three minutes of our universe's existence. The dependence is quite sensitive, so any reasonably accurate measurement of the deuterium fraction tells us the average density of atoms in the universe.

4- The evidence actually tells us the differences between the squares of the masses of two different species of neutrinos. An earlier version of Kamiokande recorded eleven events due to high-energy neutrinos from the nearby 1987 supernova، mentioned in Chapter 4; an American experiment (in a salt mine in Ohio) recorded eight more. These numbers pleased astrophysicists because they fitted well with what supernova theories predicted.
5- The next step in our theoretical understanding of sub-nuclear physics may involve a concept called 'supersymmetry'، which aims to relate the nuclear force to the other forces within atoms (and thereby give us a better understanding of our cosmic number ε). Integral to this concept are some new kinds of electrically neutral particles that would have been made in the Big Bang، and whose masses might be calculable.

## الفصل السابع: الرقم (λ)

1- The successive 'wavecrests' in the light from any atom or molecule are due to its vibrations، which are essentially a microscopic clock. The wavecrests arrive slower when the source is receding and the wavelengths are stretched.
2- From Nature's Imagination، edited by J. Cornwell (Oxford University Press، 1998).

## الفصل الثامن: الرقم (Q)

1- At first sight، this may seem contrary to the statement that Q is the same on all scales. However، Q is actually measured by the overdensity multiplied by the square of the lengthscale. According to Newton's laws of gravity، the gravitational binding energy

at the surface of a sphere depends on mass/radius. However, for spheres of different mass but the same density, mass depends on (radius)3, and so the binding energy varies as (radius)2. So the density fluctuations have smaller amplitude on larger scales.

2- One might wonder why the substructure within galaxies has been erased, whereas individual galaxies survive within a cluster of galaxies (which doesn't become a single 'supergalaxy'). This is because, in the later stages of the hierarchical clustering, the gas is too hot and diffuse to be able to condense into stars. The star formation process is 'quenched' on scales bigger than galaxies.

## الفصل التاسع: بيتنا الكوني 3

1- In particular, the intensity measured by COBE at millimetre wavelengths might have been weaker than the predicted extrapolation from what had already been reliably determined at centimetre wavelengths. Many processes could have added extra millimetre-wave radiation - for instance, emission from dust, or from stars at very high redshifts - and so we would not have been fazed if it had been more intense than a black body at these wavelengths. But it would be hard to interpret a millimetre-wave temperature that was lower than that at centimetre wavelengths.

2- The Inflationary Universe is published by Jonathan Cape, 1997.

## الفصل العاشر: ثلاثي الأبعاد.. وأكثر

1- Time's Arrow is published by Jonathan Cape, 1991.

## الفصل الحادي عشر: صدفة، أم تدبير إلهي، أم أكوان متعددة؟

1- From Quarks, Chaos and Christianity, by John Polkinghorne (SPCK Triangle Press, 1994).

2- From Dialogues Concerning the Two Chief Systems of the World, translated by S. Drake (Berkeley, 1953).

3- William of Ockham advanced the view which (translated from Latin) means 'Don't multiply entities more than is absolutely necessary'.

4- As the cosmologist John Barrow has quipped: if this statement is true, it certainly isn't original.

# الفهرس

عن المؤلف ..... 9

الأرقام.. والبدائل الباردة ..... 11

مقدمة ..... 13

## الفصل الأول الكون والعالم الصغير

الكون والعالم الصغير ستة أرقام ..... 17

الكون من خلال عدسة مكبرة ..... 20

أرقام ضخمة ومقاييس متنوعة ..... 23

هل لنا أن نطمح في فهم كوننا؟ ..... 26

## الفصل الثاني بيتنا الكوني 1 «الكواكب والنجوم والحياة»

بيتنا الكوني 1 «الكواكب والنجوم والحياة» كواكب أولية ..... 31

أنظمة شمسية أخرى ..... 32

من المادة إلى الحياة ..... 37

من الحياة البسيطة إلى الذكاء ..... 38

حضارة مشتركة مع الفضائيين؟ ..... 40

## الفصل الثالث الرقم الكبير (N) «الجاذبية في الكون»

الرقم الكبير (N) «الجاذبية في الكون» دقة نيوتن المتناهية ..... 47

الجاذبية على المستويين (الكبير والصغير) ..... 49

قيمة (N)؛ وسبب ضخامتها ..... 50

من نيوتن إلى أينشتاين ..... 55

## الفصل الرابع النجوم والجدول الدوري و(ε)

النجوم والجدول الدوري و(ε) النجوم كـ(مفاعلات انصهار نووي) ..... 67

خيمياء النجوم ..... 71

النظام البيئي المجرِّي ..... 73

الكفاءة النووية ($\varepsilon = 0.007$) ..... 74

ضبط (ε) ..... 76

## الفصل الخامس بيتنا الكوني 2 «ما وراء المجرة»

بيتنا الكوني 2 «ما وراء المجرة» الكون المجَرّي ..... 83

نسيج كوننا: الشبكة الكونية ..... 85

الاتساع ..... 88

النظر إلى الماضي ..... 91

قبل المجرات ..... 97

التفاعلات النووية أثناء الانفجار الكبير ..... 101

## الفصل السادس المادة المظلمة و(Ω) «التوسع المضبوط بدقة»

المادة المظلمة و(Ω) «التوسع المضبوط بدقة» الكثافة الحرجة ..... 107
ما مقدار المادة المظلمة؟ ..... 109
ما الطبيعة المحتملة للمادة المظلمة؟ ..... 113
حالة الجسيمات الغريبة ..... 114
حصر الخيارات ..... 118
لماذا مادة وليست مادة مضادة؟ ..... 120

## الفصل السابع الرقم (λ) «هل التوسع الكوني في تباطؤ أم تسارع؟»

الرقم (λ) «هل التوسع الكوني في تباطؤ أم تسارع؟» النظر في الماضي ..... 131
البحث عن الانفجارات النجمية البعيدة ..... 133
كون متسارع! ..... 136
(λ).. لا تساوي الصفر ..... 138
المستقبل بعيد الأمد ..... 140

## الفصل الثامن الرقم (Q) «التموجات البدائية»

الرقم (Q) «التموجات البدائية الجاذبية والإنتروبيا ..... 145
بدءًا بالانفجار الكبير.. وصولا إلى المجرات ..... 147
التموجات في وهيج الموجات الميكروية المتعقب ..... 148
تطور الأكوان «الافتراضية» ..... 151

إمكانية التنبؤ ..... 156
ضبط قيمة (Q) .....
..... 157

## الفصل التاسع بيتنا الكوني 3 «ما يقبع وراء الأفق»

بيتنا الكوني 3 «ما يقبع وراء الأفق» هل (الانفجار الكبير) حقيقة؟ ..... 163
توحيد في العالم الصغير ..... 166
مفهوم التضخم ..... 170
أيمكننا اختبار نظرية التضخم؟ ..... 173
ذخائر أخرى ..... 176
من لا شيء! ..... 178
نحو الأكوان المتعددة ..... 179

## الفصل العاشر ثلاثي الأبعاد.. وأكثر

ثلاثي الأبعاد.. وأكثر لمَ يُعدُّ كون D ثلاثة، قيمة اسْتِثْنَائِيَّة؟! ..... 185
نطاق أوسع للأبعاد ..... 190
البنية المجهرية للمكان والزمان.. الجاذبية الكمومية ..... 191
الأوتار الفائقة ..... 194

## الفصل الحادي عشر صدفة، أم تدبير إلهي، أم أكوان متعددة؟

صدفة، أم تدبير إلهي، أم أكوان متعددة؟ ..... 201
ما معنى الإعداد بعناية؟ ..... 201
الأكوان المتعددة ..... 203
لغز ($\lambda$) ..... 207
حجة كبلر ..... 209
الارتقاء و التوقعات.. سيرة ذاتية ..... 211

## المراجع والملاحظات

المراجع والملاحظات ..... 219

وصية المرحوم

السيد سليمان السيد علي الرفاعي

غفر الله له ولوالديه ولذريته

## هذا الكتاب

يكتسب هذا الكتاب قيمته العلمية لأسباب عدة أولها:
مكانة مؤلفه (مارتن ريس) الذي يعد أحد أهم علماء الفيزياء والفلك في المملكة المتحدة والعالم.

ثانيا: أنه يبحث في موضوع الثوابت الكونية أو ما يطلق عليه بـ(المكون المعرفي)، إذ لا يمكن إدراك حصيلة فهم للمادة والطاقة وصلتهما بـ(الزمكان) دون وجود هذه الثوابت وقد حصرها المؤلف في (فقط ستة أرقام)، والتي اعتبرها المسؤولة عن صفات الكون المتناسبة مع نشأة الحياة وصلاحيتها واستمراريتها.

كما يطرح الكتاب الأسئلة المحيرة ويجيب عليها...
فمن أين جاءت تلك القوانين بمعنى من الذي وضع نوتة الوجود؟
ماذا نستنتج من أن هذه الثوابت الستة لا يتوقف وجود بعضها على البعض الآخر، لكنها في الوقت ذاته يتناسب كل قانون منها مع بقية الثوابت؟
من الذي يشغل هذه (الأرقام) والقوانين والثوابت ويمسكها؟
ومن أين اكتسبت الدقة والمعيارية التي لو تغيرت تغيرا طفيفاً لما كان لهذا النظام المدهش بنجومه ومجراته أن يكون أو يستمر؟
ثم كيف نفهم ظهور الحياة من مركبات غازية لا ملامح لها ولا حياة؟!
وأيضا... لماذا وجدت تلك القوانين الستة تحديداً دون سواها من القوانين؟

وأيضا... لماذا وجدت تلك القوانين الستة تحديداً دون سواها من القوانين؟
يجيب مارتن ريس في الفصل الأخير مصدر تلك القوانين بثلاثة احتمالات: إما أن يكون وراءها المصمم الذكي (العناية الإلهية)، وإما (الصدفة)، وإما فرضية (الأكوان المتعددة).

ثالثاً: كما يزيد من أهمية هذا الكتاب وجدليته أن مؤلفه وهو العالم المرموق لا يمكن اعتباره من فئة المؤمنين بأي حال، فهو لا يعتنق أي قناعات دينية، كما صرح في مقابلة صحيفة الجارديان 6 إبريل 2011 مع إيان سامبل Ian Sample ورغم ذلك لم يستطع أن يتجاهل قوة أدلة أهل الإيمان عن نشأة الكون.

لهذه الأسباب وغيرها... ولأسلوب المؤلف المبسط في الطرح، قررنا ترجمة الكتاب وطرحه بين أيدي الباحثين عن الحقيقة ومحبي المعرفة العميقة لعله أن يكون إضافة جادة لفهم أسرار الكون.

ISBN-13: 978-9776545007
9 789776 545007

rawasekh rawasekh.kw
rawasekh rawasekh.kw
rawasekh.kw@gmail.com
WWW.RAWASEKH.COM
+965 90963369

RAWASEKH روارس
اصدارات • دراسات • برامج