# كاتي ماك

ترجمة: سحر توفيق
مراجعة: أ.د. فتح الله الشيخ

دراسات

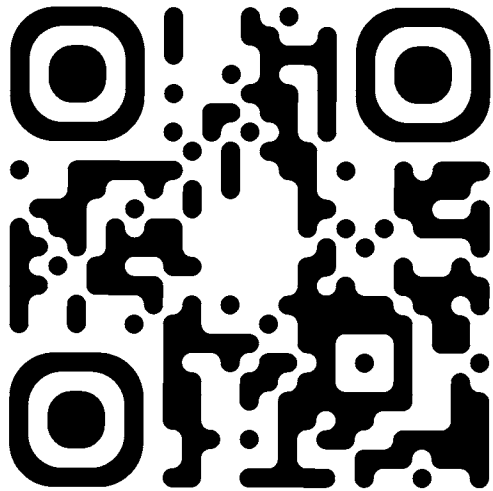
مكتبة

# نهاية كل شيء

من منظور الفيزياء الفلكية



العلوم



سجل في مكتبة
اضغط الصفحة
SCAN QR

# نهاية كل شيء

## (من منظور الفيزياء الفلكية)

عنوان الكتاب: نهاية كل شيء (من منظور الفيزياء الفلكية)
THE END OF EVERYTHING
(ASTROPHYSICALLY SPEAKING)
المؤلفة: كاتي ماك KATIE MACK
ترجمة: سحر توفيق
مراجعة: أ.د. فتح الله الشيخ
مراجعة لغوية: شيرين يونس
إخراج داخلي: رشا عبدالله

المحروسة

قطعة رقم 7399 ش 28 من ش 9 - المقطم - القاهرة
ت، ف:- 002 02 28432157

mahrousaeg
almahrosacenter
almahrosacenter
www.mahrousaeg.com
info@mahrousaeg.com
mahrosacenter@gmail.com

رئيس مجلس الإدارة: فريد زهران
مدير النشر: عبدالله صقر

رقم الإيداع: ١٧٠٦٨/ ٢٠٢٤
الترقيم الدولي: 978-977-894-002-2

جميع حقوق الطبع والنشر باللغة العربية
محفوظة لمركز المحروسة

2024

**Copyright © 2020 by Dr. Katie Mack**

All rights reserved, including the right to reproduce this book or portions thereof in any form whatsoever. For information, address Scribner Subsidiary Rights Department, 1230 Avenue of the Americas, New York, NY 10020.

مكتبة
t.me/soramnqraa

# نهاية كل شيء
# (من منظور الفيزياء الفلكية)

كاتي ماك

ترجمة

سحر توفيق

مراجعة

أ.د. فتح الله الشيخ

الطبعة الأولى 2024

مكتبة
t.me/soramnqraa

دار الكتب والوثائق القومية

**بطاقة فهرسة**
**فهرسة أثناء النشر إعداد إدارة الشئون الفنية**

ماك، كاتي، 1993 - ....
نهاية كل شيء: (من منظور الفيزياء الفلكية)
كاتي ماك؛ ترجمة: سحر توفيق؛ مراجعة فتح الله الشيخ.-ط1
القاهرة: مركز المحروسة للنشر والخدمات الصحفية والمعلومات، 2024
272ص؛ 14.5×21.5 سم
تدمك 978-977-894-002-2
1 - الفلك- الطبيعة
2 - الفيزياء الكونية
أ- توفيق، سحر (مترجمة)
ب- الشيخ، فتح الله (مراجع)
ج- العنوان
523.01
رقم الإيداع 2024/17068

إلى أمي
التي كانت تدعِّمني دائمًا، منذ البداية

# المحتويات


**الفصل الأول: مدخل إلى الكون** ..... 13
مرحبًا بكم في نهاية الزمان 15
البحث 17
القياس الكَمِّيُّ للهَلاك الكوني 19
تحذير مُفسِد 26

**الفصل الثاني: منذ الانفجار الكبير حتى الآن** ..... 29
رؤية الانفجار الكبير 36
خلفية الموجات الكونية الدقيقة (موجات الميكروويف الكونية) 38
في البداية 49
عصر النظرية الموحدة الكبرى 53
التضخم الكوني 57
عصر الكوارك 62
التخليق النووي للانفجار الكبير 64

سطح التَّشتُّت الأخير 66
الفجر الكوني 67
عصر المجرات 69

**الفصل الثالث: الانسحاق العظيم** ..... 71
ماذا سيحدث 82
فتنة غير المرئي 90

**الفصل الرابع: الموت الحراري** ..... 95
رسم خريطة للسماء العنيفة 96
شكل الكون 99
الفضاء ليس فارغًا تمامًا 102
جهاز المشي الكوني اللا متناهي 107
الأفول البطيء حتى السواد 114
إنتروبيا قصوى 123

**الفصل الخامس: التَّمزُّق الكبير** ..... 135
اللا ثابت الكوني 137
خارج حافة الخريطة 141
التمزق الكبير 144
سُلَّم إلى السماء 148
ضوء النجوم النووي الحراري الساطع 152
كومة من الكَمّ 155
الفشار الكوني 158
فوضى التوسع 160

**الفصل السادس: اضمحلال الفراغ** ..... 163
حالة الكون 169
التماثل المخيف 172
كون منحدر زلِق 177
فقاعة من الموت الكَمّي 180
ركل عش الدبابير 183
الاختراق النفقي إلى الهاوية 184
صغيرة ولكنها مميتة 187
متعة عدم المعرفة 192

**الفصل السابع: الارتداد** ..... 195
ضعف الجاذبية الذي لا يُحتمل 197
إفساح المجال 202
تصفيق كوني 206
دورة ثم دورة أخرى 210

**الفصل الثامن: مستقبل المستقبل** ..... 219
لمس الفراغ 228
المنظر من الحقل الأيسر 234
آلات الاكتشاف 237
من خلال زجاج داكن 244
المشهد الطويل 248
246

**الفصل التاسع: خاتمة** ..... 251

شكر وتقدير ..... 259
مسرد بالمصطلحات والأسماء ..... 263
نبذة عن المؤلفة ..... 267
نبذة عن المترجمة ..... 269
نبذة عن المراجع ..... 271

تعبِّر المؤلِّفة عن امتنانها لمؤسَّسة ألفريد بي. سلون، وبرنامج الفهم العام للعلم؛ للدَّعم السَّخيِّ من أجل بحث وكتابة هذا الكتاب.

# الفصل الأول
# مدخل إلى الكون

يقول البعض إن العالم سينتهي بحرائق هائلة
والبعض يقول بشتاء جليدي
ولأنني ذُقتُ الكثير من القنوط
فأنا مع أولئك الذين يفضِّلون النار
لكن، لو كان للدنيا أن تَفنَى مرتين،
أظن أنني عرفت ما يكفي من الكراهية
لأقول عن الدمار الجليدي، إنه...
رائع أيضًا
وسوف يكون كافيًا

**روبرت فروست، 1920**

كان السؤال عن الكيفية التي سينتهي بها العالم موضوعَ تكهُّنات ومجادَلات لدى الشعراء والفلاسفة عبر التاريخ. الآن، وبفضل العلم، بالطبع، نعرف الإجابة: إنها النار. النار بكل تأكيد. حيث إن الشمس، بعد حوالي

خمسة مليارات سنة، سوف تتضخَّم حتى تبلغ مرحلة العملاق الأحمر، وتبتلع مدار عطارد، وربما كوكب الزهرة، وتترك الأرض صخرةً متفحِّمةً هامدة مغطَّاة بالحمم المنصهرة. حتى هذه البقايا العقيمة الملتهبة من المحتمل أن تنتهي في نهاية المطاف إلى الطبقات الخارجية للشمس وتتناثر ذَرَّاتها في الغلاف الجوي المتهرِّئ للنجم المحتضر.

إذن: هي النار. استقرَّ الأمر. كان فروست على حقٍّ في المرة الأولى.

لكنه لم يكن يفكر بالعمق الكافي. أنا عالمة متخصِّصة في الكون. أدرس الكون ككلٍّ، على أوسع نطاق. ومن هذا المنظور، العالم عبارة عن ذَرَّة غبار لطيفة صغيرة ضائعة في كونٍ واسعٍ ومُتنوِّع. وما يهمني، على المستوى المهني والشخصي، هو سؤال أكبر: كيف سينتهي العالم؟

نحن نعلم أن له بداية. منذ حوالي 13.8 مليار سنة، تحوَّل الكون من حالة من الكثافة لا يمكن تصوُّرها، إلى كرة نارية كونية شاملة، إلى مائعٍ طنَّان مُدَمدِم من المادة والطاقة، وهو ما وضع بذور النجوم والمجرَّات التي نراها حولنا اليوم. تشكَّلَت الكواكب، وتصادَمَت المجرات، وملأ الضوء الكون. وفي كوكب صخري يدور حول نجم عادي بالقرب من حافة مجرَّة حلزونية تطوَّرَت الحياة، وأجهزة الكمبيوتر، والعلوم السياسية، وتذييلات طويلة منتصبة على قدمين تقرأ كتب الفيزياء من أجل الاستمتاع.

ولكن، ماذا بعدُ؟ ماذا يحدث في نهاية القصة؟ إن موت كوكب، أو حتى نجم، قد يكون من الممكن -من حيث المبدأ- النجاةُ منه. في غضون مليارات السنين، لا يزال من الممكن للبشرية أن تظل موجودة، في شكلٍ ربما لا يمكن التَّعرُّف عليه، تغامر للوصول إلى أماكن بعيدة في الفضاء، وإيجاد منازل جديدة وبناء حضارات جديدة. لكنَّ موت الكون هو أمرٌ نهائي. فماذا يعني بالنسبة لنا، ولكل شيء، إذا كان كل شيء سينتهي في النهاية؟

# مرحبًا بكم في نهاية الزمان

على الرغم من وجود بعض الأبحاث الكلاسيكية (والمسلية للغاية) في الأدبيات العلمية، إلا أنني واجَهتُ مصطلح "علوم النهاية الأخيرة" أو "العلوم الأخروية" ("eschatology") لأول مرة، وهو دراسة نهاية كل شيء، من خلال القراءة عن الدين.

في العديد من ديانات العالم، توفِّر العلوم الأخروية -أو بشكل أكثر تحديدًا: العلم المختص بنهاية العالم، أو "يوم القيامة"- طريقة لوضع دروس اللاهوت وتوصيل معانيها في سياق قوَّة ساحقة. ورغم كل الاختلافات اللاهوتية بين المسيحية واليهودية والإسلام، فإن رؤية مشتركة لنهاية الزمان تجمع بينها، وهي رؤية تؤدي إلى إعادة هيكلة نهائية للعالم، وفيها ينتصر الخير على الشَّرِّ ويُكافأ أولئك الذين يفضِّلهم الله[1]. ولعل الوعد بالدَّينونة النهائية يعمل على التعويض بطريقة أو بأخرى عن الحقيقة المؤسفة المتمثِّلة في أن عالمنا المادي القاصر وغير العادل والتعسفي لا يمكن الاعتماد عليه لجعل الوجود جيدًا ويتمتع بالجدارة لأولئك الذين يعيشون باستقامة. بنفس الطريقة التي يمكن بها إنهاء الرواية أو تدميرها بأثر رجعيٍّ من خلال الفصل الختامي لها، يبدو أن العديد من الفلسفات الدينية تحتاج إلى أن ينتهي العالم، وأن ينتهي "على نحوٍ عادلٍ"، حتى يكون له معنى في المقام الأول.

بالطبع، ليست كل العلوم الأخروية تتركَّز حول الثواب والعقاب، وليست كل الأديان تتنبَّأ بنهاية الزمان على الإطلاق. ورغم الضجيج الذي أثير في أواخر ديسمبر 2012[2]، كانت رؤية المايا للكون رؤية

---

(1) أما كيفية توزيع هذه المكافآت، ولمن، فليست الأمر المشترك بين تلك الأديان.

(2) وفق عقيدة المايا، يُقسَّم الزمن إلى وحدات أكبرها حقبة تبلغ 5,126 سنة، وكان تاريخ 21 ديسمبر 2012 يحدِّد نهاية إحدى تلك الحقب، وأقيمت احتفالات في بلدان كانت جزءًا من

دوريَّةً، كما هو الحال في التقاليد الهندوسية، مع عدم تحديد "نهاية" مُعيَّنة. الدورات الزمنية في تلك التقاليد ليست مجرد تكرارات، ولكنها مشحونة باحتمال أن تكون الأمور أفضل في المرة القادمة: كل معاناتك في هذا العالم سيئة، لكن لا تقلق، سوف يأتي عالَمٌ جديد، وسوف يخلو من الآلام، أو ربما سوف يكون أفضل، نتيجة مظالم الزمن الحاضر. من الناحية الأخرى، فإن القصص العلمانية عن النهاية تمتدُّ من وجهة النظر العدمية القائلة إن لا شيء يهم على الإطلاق (وأن العدم هو الذي يسود في النهاية) إلى فكرة التكرار الأبدي، حيث كل ما حدث سيحدث مرة أخرى. بنفس الطريقة تمامًا، إلى الأبد[1]. والواقع أن هاتين النظريتين المتعارضتين ظاهريًّا ترتبطان بفريدريك نيتشه، الذي، بعد إعلان موت أي إلهٍ قد يجلب النظام والمعنى للكون، راح يتصارع مع نتائج العيش في كون يفتقر الوصول إلى الخلاص النهائي[2].

بالطبع، لم يكن نيتشه هو الوحيد الذي فكَّر في معنى الوجود. من أرسطو إلى لاو تزو إلى دي بوفوار إلى كابتن كيرك إلى بافي قاتلة مصَّاصي الدماء[3]؛ الجميع تساءلوا في وقتٍ ما: "ما معنى كل هذا؟"، وحتى كتابة هذه السطور لم نتوصَّل بعدُ إلى توافق في الآراء.

---

حضارة المايا في أمريكا الوسطى (المكسيك وجواتيمالا وهندوراس والسلفادور). وتنبَّأ كثيرون بأن نهاية هذه الحقبة تعني أحداثًا يتحوَّل فيها العالم على نحوٍ كارثي، وقد تعني نهاية العالم. لكن العلماء رفضوا مثل هذه التنبؤات وأكَّدوا أنها تُعتبَر تحريفًا لثقافة المايا التي لا تقول بمثل هذه النبوءات والتي يدحضها العلم. [المترجمة]

(1) تمَّ تبنِّي هذا الرأي أيضًا، على الرغم من عدم استكشافه بالتفصيل الفلسفي، في المسلسل التلفزيوني الكلاسيكي في أوائل العقد الأول من القرن الحادي والعشرين Battlestar Galactica.

(2) في مقال بعنوان "Art as Redemption" ("الفن من أجل الخلاص")، يؤكد نيتشه أن لجوء البشر إلى الإبداع الفني والأدبي هو محاولة للوصول إلى الخَلاص. [المترجمة]

(3) كابتن كيرك Captain Kirk: شخصية خيالية من مسلسل Star Trek؛ بافي Buffy قاتلة مصَّاصي الدماء: كانت شخصية خيالية في مسلسل Buffy the Vampire Slayer. [المترجمة]

سواء كنَّا ننتمي إلى دين أو فلسفة معيَّنة أم لا، سيكون من الصعب إنكار أن معرفة مصيرنا الكوني لها بعض التأثير على كيفية تفكيرنا في وجودنا، أو حتى على كيف نعيش حياتنا. إذا أردنا أن نعرف إذا كان لما نفعله هنا أهمية في نهاية المطاف، فإن أول شيء نسأل عنه هو: كيف سينتهي الأمر في النهاية؟ إذا وجدنا الجواب على هذا السؤال، فإنه يقودنا مباشرة إلى السؤال التالي: ماذا يعني هذا بالنسبة لنا الآن؟ هل لا يزال علينا أن نخرج القمامة يوم الثلاثاء المقبل إذا كان الكون سيموت يومًا ما؟

لقد قمت بنفسي بالتنقيب في النصوص اللاهوتية والفلسفية، وبينما تعلَّمتُ الكثير من الأشياء الرائعة من دراستي، فإن معنى الوجود لم يكن -لسوء الحظِّ- واحدًا منها. ربما كانت قدراتي قاصرة عن الوصول إلى هذه المعرفة. إن الأسئلة والأجوبة التي جذبتني دائمًا هي تلك التي يمكن الإجابة عليها بالملاحظة العلمية والرياضيات والأدِلَّة المادية. على الرغم من أن فكرة تدوين القصة بأكملها ومعنى الحياة مكتوبة في مرة واحدة وإلى الأبد في كتابٍ تبدو شديدة الجاذبية، فقد كنت أعلم أنني لن أتمكن أبدًا من قبول نوع الحقيقة التي لا يمكنني استخلاصها رياضيًّا.

## البحث

على مدى آلاف السنين منذ بدأت البشرية تفكِّر لأول مرة في فَنائها، لم تتغير المضامين الفلسفية للسؤال، لكن الأدوات التي لدينا للإجابة عليه تغيَّرَت. اليوم، أصبح السؤال عن المستقبل والمصير النهائي للواقع كله سؤالًا علميًّا راسخًا، وأصبحت الإجابة عنه في متناولنا. لم يكن الأمر كذلك دائمًا. ففي زمن روبرت فروست Robert Frost، كانت المناقشات لا تزال محتدمة في علم الفلك حول ما إذا كان الكون في حالة ثابتة، موجودة دون تغيير إلى الأبد. لقد كانت فكرة جذَّابة،

أن يكون وطننا الكوني مستقرًّا ومضيافًا: مكانًا آمنًا لنكبر فيه. لكن اكتشاف الانفجار الكبير وتوسُّع الكون أدَّى إلى استبعاد تلك الفكرة. إن عالمنا يتغيَّر، وقد بدأنا للتَّوِّ في تطوير النظريات والملاحظات لفهم كيفية حدوث ذلك بالضبط. إن التطورات التي حدثت في السنوات القليلة الماضية، وحتى في الأشهر الأخيرة، أتاحت لنا أخيرًا رسم صورة للمستقبل البعيد للكون.

أريد أن أشارك تلك الصورة معك. إن أفضل القياسات لدينا تتوافق فقط مع عدد قليل من السيناريوهات النهائية لنهاية العالم، والتي قد يتمُّ تأكيد أو استبعاد بعضها من خلال الملاحظات التي نقوم بها الآن. إن استكشاف هذه الاحتمالات يعطينا لمحةً عن طريقة عمل البحث العلمي للوصول إلى الحد الأقصى من المعرفة، ويتيح لنا رؤية الإنسانية في سياق جديد يمكن، في رأيي، أن يجلب نوعًا من الفرح حتى في مواجهة الدمار الشامل. نحن كائنات مُعلَّقة في توازُنٍ دقيق بين الوعي بضآلتنا المطلقة والقدرة على الوصول إلى ما هو أبعد من حياتنا الدنيوية، إلى الفضاء الخالي، لحلِّ الألغاز الأكثر جوهرية في الكون.

وباستدعاء مقولة لتولستوي، كل كون سعيد هو نفس الشيء؛ وكل كون غير سعيد هو تعيس بطريقته الخاصة. في هذا الكتاب أصِف كيف يمكن لتعديلات صغيرة في معرفتنا الحالية القاصرة للكون أن تؤدِّي إلى مسارات مختلفة تمامًا في المستقبل، من كونٍ ينهار على نفسه، إلى كون يمزِّق نفسه، إلى كونٍ يستسلم بدرجات إلى فقاعة الهلاك المتمدِّدة التي لا مفرَّ منها. بينما نستكشف تطوُّر فهمنا الحديث للكون ونهايته الآخرة، ونتعامل مع ما يعنيه ذلك بالنسبة لنا، سنواجه بعضًا من أهم المفاهيم في الفيزياء ونرى كيف ترتبط هذه المفاهيم ليس فقط بالكوارث الكونية[1]، ولكن أيضًا بفيزياء حياتنا اليومية.

مكتبة
t.me/soramnqraa

(1) نهاية العالم؟

## القياس الكَمِّيُّ للهَلاك الكوني

وبطبيعة الحال، بالنسبة للبعض منَّا، فإن النهاية الكونية للعالم هي بالفعل مَصدَر قَلقٍ يومي.

أتذكَّر بوضوح اللحظة التي اكتشفت فيها أن الكون قد ينتهي في أية لحظة. كنت أجلس على أرضية غرفة معيشة البروفيسور فيني Professor Phinney مع بقية طلاب صفٍّ علم الفلك في المرحلة الجامعية في ليلة الحلوى الأسبوعية، بينما كان الأستاذ يجلس على مقعدٍ وقد وضع ابنته البالغة من العمر ثلاث سنوات على حِجره. وأوضح أن التَّوسُّع المفاجئ في الفضاء للكون المبكِّر، التضخُّم الكوني، كان لا يزال لغزًا، لدرجة أنه ليس لدينا أي فكرة عن سبب بدايته أو سبب انتهائه، وليس لدينا وسيلة للتأكد من أنه لن يحدث مرة أخرى، في الوقت الآني. ليس ثمة ضمان بأن انشطارًا سريعًا لا نجاة منه للفضاء لا يمكن أن يبدأ فورًا، في غرفة المعيشة تلك، بينما كنا نأكل الكعك ونشرب الشاي ببراءة.

أُصبت بصدمة تامة، كما لو لم يَعُد من الممكن لي الوثوق بصلابة الأرضية تحتي. لقد حُفِرَت في ذهني إلى الأبد صورة تلك الطفلة الصغيرة الجالسة هناك، تتململ بلا مبالاة في كونٍ فقد استقراره فجأة، بينما افتعل البروفيسور ابتسامة وانتقل إلى موضوع آخر.

الآن، بعد أن ترسَّخَت مكانتي بين العلماء، أفهم هذه الابتسامة المفتَعَلة. قد يكون من المثير على نحوٍ مُبالَغ فيه أن نفكر في عمليات قوية جدًّا ولا يمكن إيقافها، ومع ذلك يمكن وصفها وصفًا رياضيًّا دقيقًا. لقد تمَّ تحديد المستقبل المحتمل لكوننا وحسابه ووضع الاحتمالات الممكنة في الاعتبار بناءً على أفضل البيانات المتاحة. قد لا نعرف على وجه اليقين إن كان من الممكن حدوث تضخُّم كوني جديد عنيف في الوقت الحالي، ولكن إذا حدث ذلك، فلدينا المعادلات

جاهـزة. هـذه فكـرة مؤكَّـدة للغايـة عـلى نحـوٍ مـا: رغـم أننـا البـشر الضعفـاء العاجزيـن ليـس لدينـا أي فرصـة للتأثـير (أو الفاعليـة) عـلى نهايـة الكـون، فيمكـن لنـا أن نبـدأ عـلى الأقـل في فهمهـا.

يشـعر العديـد مـن الفيزيائيـين الآخريـن بالسـأم مـن موضـوع اتِّسـاع نطـاق الكـون، ووجـود قـوى أقـوى مـن أن نفهمهـا. يمكنـك اختـزال ذلـك كلـه في الرياضيـات، وتعديـل بعـض المعـادلات، ومواصلـة يومـك. لكـن الصدمـة والـدُّوار الناتجَـيْن عـن إدراك هشاشـة كلِّ شيء، وعجـزي أنـا نفسي ضمـن ذلـك- كل ذلـك تـرك بصماتـه عـلى نفسي. ثمـة شيء مـا في اغتنـام الفرصـة للخـوض في ذلـك المنظـور الكـوني يثـير الشـعور بالرعـب والأمـل في ذات الوقـت، مثـل حمـل طفـل حديـث الـولادة والشـعور بالتـوازن الدقيق بـين هشاشـة الحيـاة ومـا تحملـه مـن إمكانيـات هائلـة لم نتصوَّرهـا بعـدُ. يُقـال إن رواد الفضـاء يعـودون مـن رحلاتهـم في الفضـاء بمنظـور متغـيِّر للعـالم، إنـه "تأثـير النظـرة العامـة"، حيـث يمكنهـم، بعـد أن رأوا كوكـب الأرض مـن أعـلى، أن يدركـوا تمامًـا مـدى هشاشـة واحتنـا الصغـيرة ومـدى مـا ينبغـي أن نكـون عليـه مـن اتحـاد كنـوع، وربمـا باعتبارنـا الكائنـات الوحيـدة المفكـرة في الكـون.

بالنسـبة لي، التفكـير في الدمـار النهـائي للكـون هـو مجـرد تجربـة مـن هـذا القبيـل. هنـاك تَـرَف فكـري في القـدرة عـلى تأمُّـل أقـصى بُعـد في عمـق الزمـن، وفي امتـلاك الأدوات اللازمـة للتحـدث عنـه بشـكل متماسـك. عندمـا نطـرح السـؤال: "هـل يمكـن أن يسـتمر كل هـذا إلى الأبـد؟"، فإننـا نؤكـد وجودنـا ضمنيًّـا، ونمـدُّه إلى أجـلٍ غـير مسـمى في المسـتقبل، ونقـوم بتقييـم تراثنـا وفحصـه. إن الاعـتراف بنهايـة نهائيـة يمنحنـا السـياق، والمعنـى، وحتـى الأمـل، والمفارقـة أنـه أيضًـا يتيـح لنـا التراجـع عـن اهتماماتنـا اليوميـة التافهـة، وأن نعيـش في ذات الوقـت عـلى نحـوٍ أكـثر اكتـمالًا في نفـس اللحظـة. ربمـا هـذا هـو المعنـى الـذي نسـعى إليـه.

نحن بالتأكيد نقترب من الإجابة. وسواء كان العالم، من المنظور السياسي، قد ينهار أو لا ينهار في أية لحظة، فإننا من الناحية العلمية نعيش عصرًا ذهبيًّا. في الفيزياء، تتيح لنا الاكتشافات الحديثة والأدوات التكنولوچية والنظرية الجديدة تحقيقَ قفزات كانت مستحيلة في السابق. فقد كنا نعمل على تحسين فهمنا لبداية الكون لعقودٍ من الزمن، لكن الاستكشاف العلمي لكيفية نهاية الكون يشهد الآن نهضة جديدة. إن النتائج الحديثة للغاية التي خرجت إلينا من التلسكوبات القوية ومصادمات الجسيمات particle colliders توحي بإمكانات جديدة مثيرة (وإن كانت مرعبة)، وقد غيَّرَت وجهة نظرنا حول ما هو مُحتمَل، أو غير مُحتمَل، في المستقبل البعيد لتطوُّر الكون. هذا مجال يُحقِّق تقدُّمًا رائعًا ومدهشًا، ويعطينا الفرصة للوقوف على حافة الهاوية لنحدق في الظلام المطلق. لكن هذا يحدث فقط، كما تعلمون، بشكل كمِّي.

إن دراسة الكوزمولوچيا (علم الكون)، كفرع علمي من فروع الفيزياء، لا تتعلق حقًّا بالبحث عن المعنى في حد ذاته، ولكنها تتعلق بالكشف عن الحقائق الأساسية. ومن خلال القياس الدقيق لشكل الكون، وتوزيع المادة والطاقة داخله، والقوى التي تَحكم تطوُّره، نجد تلميحات حول البنية الأعمق للواقع. قد نميل إلى ربط التقدم الكبير في الفيزياء بالتجارب في المختبرات، لكن الكثير ممَّا نعرفه عن القوانين الأساسية التي تحكم العالم الطبيعي لا يأتي من التجارب نفسها، بل من فهم علاقتها بملاحظة السماء. فعلى سبيل المثال، يتطلب تحديد بنية الذَّرّة أن يقوم الفيزيائيون بربط نتائج تجارب النشاط الإشعاعي بأنماط الخطوط الطيفية في ضوء الشمس. ويفترض قانون الجاذبية الكونية، الذي وضعه نيوتن، أن القوة التي تجعل كتلةً تنزلق إلى أسفل على مستوى مائل هي نفسها التي تحافظ على القمر والكواكب في مداراتها. أدَّى هذا، في نهاية المطاف، إلى نظرية

النسبية العامة لأينشتاين، وهي إعادة صياغة مذهلة للجاذبية، والتي لم يتم تأكيد صحتها من خلال القياسات على الأرض، ولكن من خلال ملاحظة الخواص المدارية لعطارد والمواقع الواضحة للنجوم أثناء كسوف الشمس الكلي.

اليوم، نجد أن نماذج فيزياء الجسيمات التي طوَّرناها عبر عقود من الاختبارات الصارمة في أفضل المختبرات الأرضية غير مكتملة، وأننا نحصل على هذه الأدِلَّة من السماء. إن دراسة حركات وتوزيع المجرَّات الأخرى -التَّجمُّعات الكونية مثل مجرَّتنا، درب التبانة، التي تحتوي على مليارات أو تريليونات من النجوم- قد أوضحت لنا ثغرات كبيرة في نظرياتنا لفيزياء الجسيمات. نحن لا نعرف حتى الآن ما هو الحل، ولكن من المؤكد أن استكشافاتنا للكون ستلعب دورًا في حل هذه المشكلة. لقد أدى الدمج بين الكوزمولوچيا وفيزياء الجسيمات إلى إتاحة قياس الشكل الأساسي للزمكان، وجَرد مكوِّنات الواقع، وإلقاء نظرة فاحصة متعمِّقة في ماضي الزمن إلى عصر سبق وجود النجوم والمجرات من أجل تتبُّع أصولنا، ليس فقط ككائنات حية، ولكن كمادة في الأساس.

بطبيعة الحال، يسير الأمر في الاتجاهين. فبقدر ما يُثري علم الكون الحديث فهمنا للجسيمات الصغيرة جدًّا، فإن نظريات وتجارب الجسيمات يمكن أن تمنحنا نظرة ثاقبة إلى طريقة عمل الكون على المستويات الأكبر. يرتبط هذا النهج الذي يجمع من أعلى إلى أسفل ومن أسفل إلى أعلى بجوهر الفيزياء. بقدر ما تدفعك الثقافة الشعبية إلى الاعتقاد بأن العلم يدور حول لحظات اكتشاف وانقلابات مفاهيمية مذهلة، فإن التقدم في فهمنا يأتي في أغلب الأحوال من أخذ النظريات الموجودة، ودفعها إلى أقصى ما يمكن أن تصل إليه، ومراقبة نقطة انهيارها. عندما كان نيوتن يدحرج الكرات أسفل التلال أو يراقب الكواكب وهي تتحرك عبر السماء، لم يكن من الممكن أن

يخمِّن أننا سوف نحتاج إلى نظرية للجاذبية يمكنها أيضًا التعامل مع تشوُّه الزمكان بالقرب من الشمس، أو قوى مذهلة للجاذبية داخل الثقوب السوداء. لم يكن ليحلم أبدًا بأننا يمكن يومًا أن نأمل في قياس تأثير الجاذبية على نيوترون واحد[1]. ولحسن الحظ، فإن الكون، لأنه كبير جدًّا حقًّا، يمنحنا الكثير من البيئات المتطرفة للمراقبة. بل وأيضًا يمنحنا القدرة على دراسة الكون المبكر، وهو الزمن الذي كان فيه الكون بأكمله بيئة متطرفة.

***

ملاحظة سريعة حول المصطلحات. كمصطلح علمي عام، يشير مصطلح كوزمولوچيا (علم الكون) إلى دراسة الكون ككل، من البداية إلى النهاية، بما في ذلك مكوِّناته، وتطوُّره مع مرور الوقت، والفيزياء الأساسية التي تحكمه. في الفيزياء الفلكية، عالِم الكوزمولوچيا هو أي شخص يدرس أشياء بعيدة جدًّا حقًّا؛ ذلك أن: 1) هذا يعني النظر إلى قَدرٍ كبير للغاية من الكون، و2) في علم الفلك، الأشياء البعيدة هي أيضًا بعيدة في الماضي، حيث إن الضوء الذي يصل إلينا منها يسافر لفترة طويلة، وأحيانًا على مدى مليارات من السنين. يدرس بعض علماء الفيزياء الفلكية بوضوحٍ تطوُّر الكون أو تاريخه المبكر، بينما يتخصَّص البعض الآخر في الأجسام البعيدة (المجرات، عناقيد المجرات، وما إلى ذلك) وخصائصها. وفي الفيزياء، يمكن لعلم الكون أن ينحرف إلى توجُّه أكثر نظرية بكثير. على سبيل المثال، يدرس بعض علماء الكوزمولوچيا في أقسام الفيزياء (على عكس أقسام علم الفلك) صِيَغًا

(1) نفعل ذلك بتنطيطها، فعلاً. في البداية نبرِّد النيوترونات لتصل إلى الصفر المطلق تقريبًا، ثم نبطئها لسرعة النَّطِّ، ثم نقوم بتنطيطها لأعلى وأسفل مثل كرة الطاولة على مضرب. وهذا أيضًا نفهم منه شيئًا حول الطاقة المعتمة؛ الشيء الغامض الذي يجعل الكون يتمدَّد بسرعة أكبر. الفيزياء جامحة.

بديلة لفيزياء الجسيمات التي ربما كانت تنطبق على الجزء الأول من مليار من مليار من الثانية من وجود الكون. ويدرس آخرون تعديلات على نظرية أينشتاين للجاذبية، والتي يمكن أن تتعلَّق بأشياء افتراضية مثل الثقوب السوداء التي لا يمكن أن توجد إلَّا في أبعاد أعلى من الفضاء. بل إن بعض علماء الكوزمولوچيا يدرسون أكوانًا افتراضية كاملة هي بوضوح ليست ضمن كوننا -أكوان يتَّسِم الكون فيها باختلاف تام في الشكل، وعدد الأبعاد، والتاريخ- بهدف الحصول على نظرة ثاقبة للبنية الرياضية للنظريات التي قد نكتشف يومًا أن لها صِلة بنا[1].

ثمرة كل ذلك أن الكوزمولوچيا تعني الكثير من الأشياء المختلفة بالنسبة لكثير من الناس المختلفين. فعالِم الكون الذي يدرس تطوُّر المجرَّات قد يشعر بكثير من الضياع عند الحديث مع عالِم كون يدرس الطريقة التي يمكن بها لنظرية المجال الكمّي أن تجعل الثقوب السوداء تتبخر، والعكس صحيح.

أمَّا بالنسبة لي، فأنا أحب كل هذا. لقد عرفت بوجود ما يُسمَّى بالكوزمولوچيا لأول مرة عندما كنت في العاشرة من عمري تقريبًا، من خلال مصادفتي وتعرُّفي على كتب ومحاضرات ستيفن هوكينج. كان يتحدث عن الثقوب السوداء والزمكان الملتوي والانفجار الكبير وجميع أنواع الأشياء التي جعلتني أشعر وكأن عقلي ينقلب رأسًا

(1) يُنتج أصحاب نظرية الأوتار الكثيرَ من هذه النظريات. (نظرية الأوتار هي مصطلح شامل للنظريات التي تحاول الجمع بين الجاذبية وفيزياء الجسيمات بطرق جديدة، ولكن معظم العمل الذي تمَّ إنجازه لتطويرها يعتمد الآن على نظائرها الرياضية بدلًا من أي شيء يتعلَّق بالعالم "الحقيقي"). في بعض الأحيان عندما أكون في محادثات حول نظرية الأوتار، يجب أن أقاوم الرغبة في رفع يدي وتوضيح أن أيًّا من هذه الحسابات لا يتعلق بكوننا، فقط في حال كان أي شخص في الغرفة مرتبكًا كما كنتُ في البداية عندما بدأت حضور محاضرات نظرية الأوتار.

على عقب. لم أتمكن من الحصول على ما يكفي. عندما اكتشفت أن هوكينج يصف نفسه بأنه عالِم كوزمولوچي، أدركت أن هذا هو ما أردت أن أكون عليه. وعلى مَرِّ السنين، قمت بإجراء أبحاث عبر نطاق هذا العلم بكامله، تنقَّلتُ ذهابًا وإيابًا بين أقسام الفيزياء وعلم الفلك، لأقوم بدراسة الثقوب السوداء، والمجرَّات، والغاز بين المجرَّات، وتعقيدات الانفجار الكبير، والمادة المعتمة، واحتمال أن الكون قد يختفي فجأة من الوجود[1]. حتى إنني انخرطت في فيزياء الجسيمات التجريبية لفترة من الوقت، في شبابي الضائع، وأنا ألعب بأشعَّة الليزر في مختبر للفيزياء النووية (على الرغم مما قد تقوله السِّجلَّات، فإن الحريق لم يكن خطئي) وأقوم بالتجديف في قارب قابل للنفخ حول كاشف نيوترينو تحت الأرض مملوء بالماء يبلغ ارتفاعه 40 مترًا (لم يكن هذا الانفجار خطئي أيضًا).

في هذه الأيام، أصبحتُ راسخةً في التنظير، وهذا على الأرجح أفضل للجميع. هذا يعني أنني لا أقوم بإجراء ملاحظات أو تجارب أو تحليل للبيانات، على الرغم من أنني أقوم في كثير من الأحيان بالتنبؤ بما قد تراه الملاحظات أو التجارب المستقبلية. وأعمل بشكل أساسي في مجال يسمِّيه الفيزيائيون الفينومينولوچيا أو علم الظواهر، أي المسافة بين تطوير نظريات جديدة والجزء الذي يتمُّ اختبارها فيه فعليًّا. وهذا يعني أنني أجد طرقًا جديدة ومبتكَرة لربط الأشياء التي يفترضها أصحاب النظرية الأساسية حول بنية الكون مع ما يأمل علماء الفلك الذين يقومون بالرصد والفيزيائيون التجريبيون رؤيته في بياناتهم. هذا يعني أنني لا بُدَّ أن أتعلم الكثير عن كل شيء[2]، وهذا أمر ممتع للغاية.

---

(1) هذا، بالطبع، أحد أكثر الأشياء الممتعة للغاية التي عملت عليها، ومن هنا جاء هذا الكتاب. ولستُ متأكِّدةً لماذا أحب ذلك كثيرًا. قد تكون علامة سيئة.

(2) ونحن نتحدث هنا عن الكون؛ لذا فأنا أقصد كل شيء حقًّا.

## تحذير مُفسِد

هذا الكتاب بالنسبة لي ذريعة للتَّعمُّق في مسألة أين سيذهب كل هذا، وماذا يعني كل ذلك، وما الذي يمكننا أن نتعلَّمه عن الكون الذي نعيش فيه من خلال طرح هذه الأسئلة. لا توجد إجابة واحدة مقبولة لأيٍ من هذه الأسئلة، فسؤال مصير الوجود كله لا يزال مفتوحًا، وهو مجال لبحث نَشِط يمكن أن تتغير فيه الاستنتاجات التي نستخلصها تغييرًا جذريًّا استجابةً لتعديلات صغيرة للغاية في تفسيراتنا للبيانات. في هذا الكتاب، سوف نستكشف خمسة احتمالات، تمَّ اختيارها بناءً على أهميتها في المناقشات الجارية بين علماء الكون المحترفين، وسوف نبحث في أفضل الأدِلَّة الحالية المؤيدة أو المعارضة لكل منها.

يقدم كل سيناريو أسلوبًا مختلفًا تمامًا لنهاية العالم، ويقدِّم تفسيرًا له عملية فيزيائية مختلفة تحكمه، لكنها جميعًا تتَّفق على شيء واحد: ستكون هناك نهاية. في كل قراءاتي، لم أجد بعدُ اقتراحًا جدِّيًّا في الأدبيات الكونية الحالية يدور حول إمكانية أن يستمر الكون دون تغيير إلى الأبد. على أقل تقدير، سيكون هناك تحوُّل يؤدي، بشكل عام، إلى تدمير كل شيء؛ ممَّا يجعل الأجزاء التي يمكن ملاحظتها من الكون على الأقل غير صالحة للسكن لأي بنية منظمة. ولهذا الغرض؛ سأسمي ذلك نهاية (مع الاعتذار لأية دفقات واعية مؤقتة من التَّقلُّبات الكمِّيَّة العشوائية[1] التي قد تقرأ هذا). عدد قليل من السيناريوهات تحمل إشارة إلى احتمالية أن يجدد الكون نفسه، أو حتى يكرر نفسه، بطريقة أو بأخرى، ولكن هل من الممكن لذاكرة ما، ذاكرة ضعيفة للتكرارات السابقة، أن تستمر بأي شكل من

(1) يرجى الاستمرار حتى الفصل 4، عندما يحصل مجتمع "دماغ بولتزمان" Boltzmann Brain على حقه المستحق.

الأشكال؟ هي مسألة نقاش مستمر بقدر من الكثافة، وكذلك السؤال حول ما إذا كان أي شيء مثل الهروب من نهاية العالم الكونية يمكن أن يحدث من حيث المبدأ. ما يبدو على الأرجح هو أن نهاية جزيرة وجودنا الصغيرة المعروفة باسم الكون المرئي ستكون هي النهاية حقًّا. أنا هنا لأخبرك، من بين أمور أخرى، كيف قد يحدث ذلك.

فقط لجعل الجميع على نفس الصفحة، سنبدأ بمتابعة سريعة للكون منذ البداية وحتى الآن. ثم سنصل إلى التدمير. في كل فصل من الفصول الخمسة، سنستكشف إمكانية مختلفة للنهاية، وكيف يمكن أن تحدث، وكيف ستبدو، وكيف تقودنا معرفتنا المتغيرة بفيزياء الواقع من فرضيَّةٍ إلى أخرى. سنبدأ بالانسحاق الكبير، وهو الانهيار المذهل للكون الذي سيحدث إذا حدث أن مسار التَّوسُّع الكوني الحالي انقلب إلى العكس. ثم يأتي فصلان لنهاية العالم المدفوعة بالطاقة المعتمة، أحدهما يتوسَّع فيه الكون إلى الأبد، ويتحوَّل ببطء إلى الفراغ والظلام، والآخر فيه يُمزِّق الكون نفسه حرفيًّا. التالي هو اضمحلال الفراغ، وهو الإنتاج التلقائي لفقاعة الموت الكَمِّيَّة quantum bubble of death[1] التي تلتهم الكون. أخيرًا، سنغامر بالدخول إلى المنطقة التأملية للكوزمولوچيا الدورية، بما في ذلك النظريات ذات الأبعاد الإضافية للفضاء، والتي قد يتمُّ طمس كوننا فيها عن طريق الصدام بعالَمٍ موازٍ... مرارًا وتكرارًا. ويجمع الفصل الختامي كلَّ ذلك مع تحديث من خبراء عديدين، وهم الذين يعملون حاليًّا على أحدث السيناريوهات التي تبدو أكثر قبولًا الآن، وما يمكن أن نتوقَّع معرفته من التلسكوبات والتجارب الجديدة لإجابة السؤال مرة واحدة وإلى الأبد.

---

(1) من الناحية الفنية يُطلَق عليها "فقاعة الفراغ الحقيقي"، والتي، لكي نكون منصفين، تبدو أيضًا مشؤومة للغاية.

مـاذا يعنـي ذلـك بالنسـبة لنـا كبـشر، أن نعيـش حيواتنـا الصغـيرة في كل هـذه المسـاحة الشاسـعة غـير المدروسـة، هـذا سـؤال آخـر تمامًـا. سـنقدِّم مجموعـة مـن وجهـات النظـر في الخاتمـة، ونتنـاول مـا إذا كان الوعـي نفسـه يمكـن أن يبقـى منـه أي نـوع مـن المـيراث الـذي يسـتمر إلى مـا بعـد تدميرنـا[1].

لا نعـرف حتـى الآن مـا إذا كان الكـون سـينتهي بالنـار أم الجليـد أم شيء أكـثر غرابـة. مـا نعرفـه هـو أنـه مـكان هائـل وجميـل ورائـع حقًّـا، ويسـتحق أن نبـذل قصـارى جهدنـا لاستكشـافه، عندمـا يكـون ذلـك لا يـزال في مقدورنـا.

(1) مُفسِد آخر: لا يبدو رائعًا.

# الفصل الثاني
# منذ الانفجار الكبير حتى الآن

البدايات تنطوي على النهايات... وتستلزمها

**آن لِكي Ann Leckie, Ancillary Justice**

أحب القصص عن السفر عبر الزمن. من السهل أن نتبادل المراوغات حول فيزياء آلات الزمن أو أن نجفل أمام المفارقات المختلفة التي تظهر أمامنا. ولكن هناك شيء جذَّاب في الفكرة التي تقول إننا قد نجد بطريقة ما خدعةً يمكن بها فتح باب الماضي والمستقبل أمام المعرفة والتدخل، لتتيح لنا الخروج من قطار "الآن" هذا، المنطلق بسرعة فائقة نحو مصير غير معروف. يبدو الزمن الخَطِّيُّ شديدَ التقييد، لدرجة الهدر والعبث- لماذا يجب أن يضيع كل هذا الزمن، ولماذا نفقد كل تلك الاحتمالات إلى الأبد، فقط لأن الساعة تقدَّمَت ببضع درجات؟ ربما اعتدنا على القَيْد الزمني الصارم، ولكن ذلك لا يعني أننا لا بُدَّ أن نحبه.

لحُسن الحظ، يمكن لعلم الكون أن يساعد. ليس بالمعنى العملي بالطبع، فنحن لا نزال نتحدث عن فرع عِلميٍّ شبه سرِّي من فروع

الفيزياء، فرع علمي مقصور على فئة مُعيَّنة، وهذا الفرع لن يمكِّنَكَ بأي حال من الأحوال من استعادة المظلَّة التي تركتها في القطار بالأمس. لكن بالأحرى، سوف يساعدك بمعنى أن تظل حياتك كما هي رغم أن كل شيء آخر يتعلق بالوجود في المطلق قد تغيَّر إلى الأبد.

بالنسبة لعالم الكونيات، الماضي ليس عالمًا ضائعًا لا يمكن الوصول إليه. إنه مكان حقيقي، ومنطقة من الكون يمكن ملاحظتها، وهو المكان الذي نقضي فيه معظم يومنا في العمل. يمكننا، ونحن نجلس في هدوء على مكاتبنا، أن نشاهد تطوُّر الأحداث الفلكية التي حدثت منذ ملايين أو حتى مليارات السنين. وهذه الحيلة لا يختصُّ بها علم الكون وحده، ولكنها متأصِّلة في بنية الكون الذي نعيش فيه.

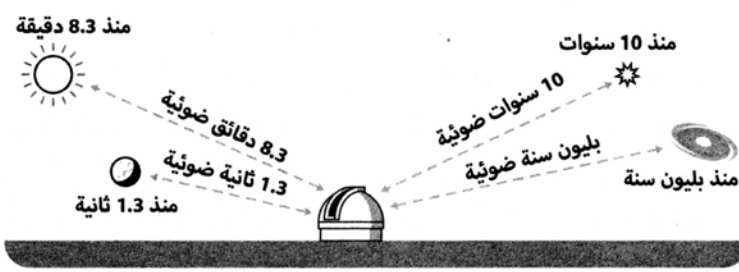
يعود الأمر كله إلى حقيقة أن الضوء يستغرق وقتًا للسفر. سرعة الضوء سريعة، حوالي 300 مليون متر في الثانية، ولكنها ليست لحظية. في الحياة اليومية، عندما تقوم بتشغيل مصباح يدوي، فإن الضوء الخارج منه يغطِّي قَدَمًا واحدة تقريبًا في النانو ثانية، ويستغرق انعكاس هذا الضوء عن أي شيء تضيئه وقتًا مماثلًا للعودة إليك. والواقع أنك عندما تنظر إلى أي شيء، فإن الصورة التي تراها، هي فقط ما يصل إلى عينيك من الضوء المنعكس منها، وقد أصبحت قديمة بعض الشيء بحلول الوقت الذي تصل فيه إليك. هذا الشخص الذي يجلس أمامك في المقهى هو، من وجهة نظرك، على بُعد عددٍ من النانو ثانية في الماضي، وهو ما قد يفيد إلى حدٍّ ما في شرح تعبيراته التَّوَّاقة وحِسِّ عفا عليه الزمن. كل ما تراه هو في الماضي، بالنسبة لك. إذا نظرتَ إلى القمر، فإنك ترى صورته منذ أكثر من ثانية بقليل. أما الشمس فهي على بُعد أكثر من ثماني دقائق في الماضي. والنجوم التي تراها في سماء الليل هي في أعماق الماضي، ربما من بضع سنوات فقط وحتى آلاف السنين.

قد يكون مفهوم هذا النوع من تأخُّر سرعة الضوء مألوفًا لك بالفعل، لكن آثاره عميقة. فهو يعني أنه يمكننا، كعلماء فلك، أن ننظر إلى السماء ونشاهد تطوُّر الكون يحدث أمامنا، منذ بداياته المبكِّرة وحتى يومنا هذا. ونحن نستخدم وحدة "السنة الضوئية" في علم الفلك ليس فقط لأنها ملائمة في ضخامتها (حوالي 9.5 تريليون كيلومتر، أو 5.9 تريليون ميل)، ولكن أيضًا لأننا ندرك عن طريقها كم من الزمن قطعه الضوء من الشيء الذي ننظر إليه. فالنجم الذي يبعد عنا 10 سنوات ضوئية هو 10 سنوات في الماضي من وجهة نظرنا. والمجرَّة التي تبعد عنَّا 10 مليار سنة ضوئية هي 10 مليار سنة في الماضي. وبما أن عمر الكون يبلغ حوالي 13.8 مليار سنة فقط، فمن الممكن، عن طريق مشاهدة تلك المجرة التي تبعد 10 مليارات سنة ضوئية، أن نتعرَّف إلى ظروف الكون الذي نعيش فيه عندما كان لا يزال في شبابه. وبهذا المعنى، فإن النظر إلى الكون هو بمثابة النظر إلى ماضينا.

هناك تحذير مهمٌّ لهذا، وإذا لم أذكره سيكون تقصيرًا مني. على وجه الدقة، لا يمكننا رؤية ماضينا على الإطلاق. إن تأخُّر سرعة الضوء يعني أنه كلَّما كان الشيء على مسافة أبعد، فهو أكثر بُعدًا في الماضي، وهذه العلاقة صارمة: لا يتوقَّف الأمر على أننا لا نستطيع رؤية ماضينا نفسه، بل أيضًا لا يمكننا رؤية تلك المجرات البعيدة في الوقت الحاضر. كلما كان الشيء بعيدًا، كلما كان أكثر بُعدًا على الخطِّ الزمني للكون.

فكيف نتعلم أيَّ شيء مفيد عن ماضينا إذا كنا نرى فقط ماضيًا لبعض المجرَّات الأخرى، منذ زمن طويل وعلى مسافة بعيدة للغاية؟ يوصلنا هذا إلى مبدأ مركزي للغاية في علم الكون، حتى إنه يُسمَّى حرفيًّا المبدأ الكوني *cosmological principle*. ببساطة، إنها فكرة أن الكون، في الواقع، متماثل في كل مكان. من الواضح أن هذا ليس صحيحًا على المقاييس البشرية -سطح الأرض يختلف بدرجة كبيرة للغاية عن الفضاء السحيق أو مركز الشمس- ولكن على هذا النوع

مـن المقاييـس الفلكيـة الكبـيرة التـي يمكـن فيهـا اعتبـار مجـرَّات كاملـة بُقعًـا غـير مثـيرة للاهتـمام بمفردهـا، فـإن الكـون يبـدو نفـس الـشيء في كل اتجـاه، وهـو مكـوَّن مـن المـواد نفسـها[1]. ترتبـط هـذه الفكـرة ارتباطًـا وثيقًـا بمبـدأ كوبرنيكـوس، وهـو المفهـوم الهرطقـي القديـم الـذي ذكـره نيكـولاس كوبرنيكـوس في القـرن السـادس عـشر والـذي يقـول إننـا لا نحتـلُّ "مكانًـا خاصًّـا" في الكـون، ولكننـا فقـط في نقطـة عامـة ربمـا اختـيرت عشـوائيًّا. لذلـك عندمـا ننظـر إلى مجـرة تبعـد مليـار سـنة ضوئيـة، ونراهـا كـما كانـت قبـل مليـار سـنة، في كـونٍ كان أصغـر بمليـار سـنة مـن كوننـا هنـا والآن، يمكننـا أن نكـون واثقـين تمامًـا مـن أن الظـروف هنـا قبـل مليـار سـنة ربمـا كانـت مماثِلـةً إلى حـدٍّ كبـير. ويمكـن بالفعـل اختبـار هـذا بالملاحظـة، بدرجـة مـا. توصَّلَـت دراسـات توزيـع المجـرَّات في جميـع أنحـاء الكـون إلى أن التَّماثُـل الضمنـي في المبـدأ الكـوني موجـود في كل مـكان بحثنـا فيـه.




الشـكل 1: زمـن سـفر الضـوء. أحيانًـا نعـبِّر عـن المسـافات بالثـواني الضوئيـة والدقائـق الضوئيـة والسـنوات الضوئيـة لأنهـا توضِّـح المـدة التـي قطعهـا الضـوء حتـى يصـل إلينـا؛ وبالتـالي توضِّـح إلى أي مـدى ننظـر إلى المـاضي. (ليـس هنـاك أي مـن الرسـوم التوضيحيـة هنـا مقابـل مقيـاس!).

---

(1) تتجاهـل قصـص الخيـال العلمـي هـذا. هنـاك جـزء مبكِّـر مـن مسلسـل سـتار تريـك بعنـوان Star Trek: The Next Generation، وفيـه يسـافرون بالمصادفـة مليـار سـنة ضوئيـة في ثـوانٍ قليلـة، والمـكان الـذي يَصِلـون إليـه هـو هاويـة مـن نـوعٍ مـا، تتـلألأ بطاقـة زرقـاء، وفكَّـروا، لـو أنهـا موجـودة حقًّـا لـكان بمقدورنـا تمامًـا أن نراهـا بالتلسـكوب.

نَخلُص من ذلك بأننا إذا أردنا أن نعرف المزيد عن تطوُّر الكون نفسه، والظروف التي نشأت فيها مجرَّتنا درب التبانة، فكل ما علينا فعله هو: **أن ننظر إلى شيء بعيد للغاية**.

وهذا يعني أيضًا أن علم الكون ليس لديه مفهوم محدد جيدًا لـ "الآن". أو بالأحرى، "الآن" الذي تعيشه هو أمر خاص جدًّا بك، وبمكانك، وبما تفعله[1]. ماذا يعني أن نقول "إن السوبر نوفا (أو المستعر الأعظم) ينفجر الآن"، ما دمنا نرى ضوءه الآن، ويمكننا أن نشاهد النجم ينفجر الآن، ولكن هذا الضوء كان يسافر إلينا منذ ملايين السنين؟ إن الشيء الذي نشاهده هو أساسًا في الماضي بالكامل، ولكن "الآن" لهذا النجم المنفجر غير قابل للرصد بالنسبة لنا، ولن نتلقى أي معرفة عنه لملايين من السنين، مما يجعله، بالنسبة لنا، غير قابل للرصد "الآن"، بل في المستقبل.

عندما نفكر في أن الكون موجود في "الزمكان" - وهو نوع من "الشبكة" الشاملة المحيطة بكل ما حولنا، والتي تحتوي ثلاث محاور مكانية، ومحور رابع هو الزمن - يمكننا فقط أن نفكر في الماضي والمستقبل كنقاط متباعدة على نفس النسيج، ممتدة عبر الكون منذ بدايته وحتى نهايته. بالنسبة لشخص يجلس في نقطة أخرى على هذا النسيج، فإن الحدث الذي يمثل جزءًا من المستقبل بالنسبة لنا قد يكون من الماضي البعيد بالنسبة له. وإذا كان ثمة ضوء آتٍ (أو أية معلومات آتية) من حدث لن نراه لآلاف السنين فإنه يتدفَّق بالفعل عبر الزَّمكان نحونا "الآن". فهل هذا الحدث في المستقبل، أم في الماضي، أو ربما كليهما؟ كل هذا يتوقَّف على المنظور.

---

(1) يمكن أن نشكر النسبية على هذا. تقول النسبية الخاصة أن الزمن يمر ببطء أكثر بالنسبة لنا عندما نتحرك بسرعة؛ والنسبية العامة تقول إنه يبطئ عندما نقترب من جسم هائل.

بقدر ما يصعب التَّأمُّل إذا كنت معتادًا على التفكير في عالَمٍ ثلاثيِّ الأبعاد[1]، يجد علماء الفلك أن سرعة الضوء اللا متناهية هي أداة مفيدة للغاية. وهذا يعني أنه بدلًا من البحث عن مجرد أدِلَّة عن الماضي البعيد للكون -آثاره وبقاياه- يمكننا فقط أن ننظر إليه مباشرة ونشاهده يتغيَّر بمرور الزمن. يمكننا أن ننظر إلى الكون وهو يبلغ من العمر ثلاثة مليارات سنة فقط، أثناء عصر نهضة تشكُّل النجوم، عندما كانت المجرَّات تتفجَّر بالضوء (لكن ليس الفن والفلسفة)، ويمكننا أن نرى كيف خَفَت هذا التألُّق في الدهور الفاصلة. بل ويمكننا أن ننظر إلى أبعد من ذلك، ونرى المادة تدور في ثقوب سوداء هائلة في كونٍ عمره أقل من 500 مليون سنة، عندما كان ضوء النجوم قد بدأ للتَّوِّ في اختراق الظلام بين المجرات.

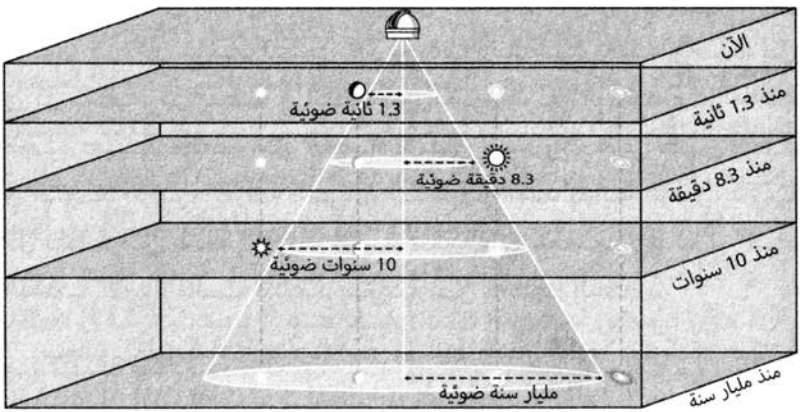
وقريبًا، باستخدام التلسكوبات الفضائية الجديدة، سنكون قادرين على مراقبة بعض المجرات الأولى التي تشكَّلَت في الكون، تلك التي تشكَّلَت عندما كان عمر الكون بضع مئات الملايين من السنين فقط. ولكن إذا كانت تلك المجرات هي الأولى، فماذا سيحدث لو نظرنا إلى مسافة أبعد في الماضي؟ هل يمكننا أن ننظر بعيدًا جدًّا إلى زمن لم توجد فيه المجرات بعد؟ نحن نخطط للقيام بذلك. قد تكون التلسكوبات الراديوية التي يجري بناؤها الآن قادرة على رؤية المادة التي وُلِدَت منها المجرات الأولى، وذلك من خلال استغلال التفاعل العرضي بين الضوء والهيدروجين. ومن خلال النظر مباشرة إلى الهيدروجين، المادة التي ستصبح يومًا ما نجومًا ومجرَّات، يمكننا مشاهدة أول هياكل تتشكل في الكون.

---

(1) كان دوك براون في فيلم Back to the Future يتحدث إليك عندما أعلن: "إنك لا تفكِّر بناء على أربعة أبعاد!".

ولكن ماذا لو نظرنا إلى أبعد من ذلك في الماضي؟ ماذا لو نظرنا إلى زمن ما قبل النجوم، وقبل المجرات، وقبل الهيدروچين؟ هل يمكننا رؤية الانفجار الكبير نفسه؟

نعم. يمكننا.




الشكل 2: **رسم تخطيطي للضوء المتحرك عبر الزَّمكان**. في هذا الرسم البياني، يتحرك الزمن للأمام في اتجاه صاعد، ونحن نعرض بُعدين فقط للمكان وليس الأبعاد الثلاثة كلها. يتمُّ تمثيل مواقع أربعة أجسام ثابتة في الفضاء بخطوط عمودية متقطِّعة، تُحدِّد نفس الموقع في أوقات مختلفة. و"المخروط الضوئي" هو المنطقة التي يمكننا رؤيتها في الماضي من المَرصَد، وهو يشمل كل شيء قريب منَّا بما فيه الكفاية بحيث كان للضوء وقتٌ كافٍ للوصول إلينا منذ انبعاثه. يمكننا أن نرى مجرَّة على بُعد مليار سنة ضوئية كما كانت قبل مليار سنة، لكننا لا نستطيع أن نرى كيف تبدو "الآن"، لأن نسخة "الآن" في تلك المجرة تقع خارج مخروطنا الضوئي.

## رؤية الانفجار الكبير

هناك صورة شائعة للانفجار الكبير على أنه نوع من الانفجار- أي حريق هائل مفاجئ للضوء والمادة انتشر عبر الكون من نقطة واحدة. لم يكن الأمر كذلك. لم يكن الانفجار الكبير انفجارًا داخل الكون، بل كان توسُّعًا للكون. ولم يحدث ذلك عند نقطة واحدة، بل في كل نقطة. كل نقطة في الفضاء في الكون اليوم -بقعة على حافة مجرة بعيدة، قطعة من الفضاء البيني للمجرات على نفس البُعد في الاتجاه الآخر، الغرفة التي وُلِدَت فيها- عند بداية الزمن، كانت كل نقطة من هذه النقاط قريبة بما يكفي للمسها، وفي نفس تلك اللحظة الأولى، كانت تتباعد بسرعة عن بعضها البعض.

منطق نظرية الانفجار الكبير بسيط جدًّا. الكون يتوسَّع -يمكننا أن نرى أن المسافات بين المجرات تتَّسِع بمرور الوقت- ممَّا يعني أن المسافات بين المجرات كانت أصغر في الماضي. يمكننا، كتجربة فكرية، إرجاع التَّوسُّع الذي نراه الآن، واستقراء ماضيه عبر مليارات من السنين، حتى نصل إلى لحظة لا بُدَّ أن المسافة بين المجرات فيها كانت صفرًا. لا بُدَّ أن الكون المرئي، الذي يشمل كل ما يمكننا رؤيته اليوم، كان موجودًا ضمن حيِّز أصغر بكثير، وأكثر كثافة وسخونة. لكن الكون المرئي هو مجرَّد جزء من الكون، الجزء الذي يمكننا رؤيته الآن. نحن نعلم أن الفضاء يمتدُّ إلى أبعد من ذلك بكثير. في الواقع، بناءً على ما نعرفه، من الممكن تمامًا، وربما من المحتمل، أن يكون الكون لا نهائيًّا في حجمه. ممَّا يعني أنه كان لا نهائيًّا في البداية أيضًا. فقط أكثر كثافة.

هذا ليس من السهل تصويره. اللا متناهيات صعبة بهذه الطريقة. ما معنى أن يكون الفضاء لا نهائيًّا؟ ماذا يعني أن الفضاء اللا نهائي يتمدَّد؟ كيف يمكن أن تزداد لا نهائية الفضاء اللا متناهي؟

أخشى أنني لا أستطيع مساعدتك في هذا.

ببساطة، لا توجد طريقة سهلة للاحتفاظ بفضاء لا مُتناهٍ في دماغٍ متناهٍ. ما يمكنني قوله هو أن هناك طرقًا للتعامل مع اللا متناهيات في الرياضيات والفيزياء، وهي طرق منطقية ولا تنتهك أي شيء. ولأنني من علماء الكوزمولوچيا، فإنني أعمل انطلاقًا من الافتراض الأساسي القائل بأنه يمكن وصف الكون باستخدام الرياضيات، وإذا نجحت هذه الرياضيات وكانت مفيدة في التعامل مع مشكلات جديدة، فسوف أتبعها[1]. أو، على نحو أكثر دقّة، إذا نجحت الرياضيات ونجح أيضًا افتراض مختلف إلى حد ما (على سبيل المثال، أن الكون ليس لا نهائيًا تمامًا ولكنه كبير جدًا بحيث لا يمكننا أن ندرك حدوده على الإطلاق) فيمكن استخدام ذلك أيضًا، لكنه لا يُحدِث فَرْقًا في خبراتنا أو أي شيء يمكننا قياسه بأي شكل من الأشكال، ومن ثم قد نتمسَّك أيضًا بالافتراض الأبسط في الوقت الحالي. إذن: الكون لا نهائي. يمكننا العمل مع هذا التصور.

على أية حال، عندما نتحدث عن نظرية الانفجار الكبير، ما نقوله حقًّا هو: بناءً على ملاحظاتنا عن التمدد الحالي وتاريخه، يمكننا أن نستنتج أنه كان ثمة وقت كان فيه الكون، كل مكان من الكون، أكثر سخونة وأكثر كثافة ممَّا هو عليه اليوم[2]. يُطلق على هذا أحيانًا

---

(1) أتحدث بنوع من الطيش هنا، لكنها نقطة هامة نوعًا. حتى الآن، في الفيزياء، معظم ما فعلناه هو وصف الكون باستخدام تركيبات رياضية نسميها "أمثلة" أو "قوالب"، ونستخدم تجارب وملاحظات لاختبار وتحسين تلك الأمثلة، حتى نصل إلى مثال يبدو متناسبًا مع الملاحظات على نحو أفضل من الأمثلة أو القوالب الأخرى. وهنا نبدأ في محاولة كسر المثال. ليس الأمر أننا فقط نثق بأن الرياضيات أساسية في فهم الكون، بل إنه فيما يبدو لا توجد وسيلة أخرى يمكن تقبُّلها عقليًا تُمكِّننا من التعامل مع تلك الأشياء.

(2) "لقد كان كوننا بكامله في حالة ساخنة وكثيفة، ثم بدأ منذ حوالي 14 مليار سنة..." نعم، قدَّمَت الفرقة الغنائية Barenaked Ladies الصورة بفهم صحيح: الواقع أن أغنية التتر الأول للمسلسل التليفزيوني The Big Bang Theory (نظرية الانفجار الكبير) هي ملخَّص جيد

اسم "الانفجار الكبير الساخن"، في إشارة إلى الفترة الزمنية الكاملة التي كان فيها الكون حارًّا وكثيفًا، والتي نعرف الآن أنها الفترة من العام صفر إلى العام 380,000 تقريبًا[1].

يمكننا حتى أن نضع مقياسًا لما تعنيه عبارة "ساخن وكثيف"، وتتبع تاريخ الكون رجوعًا من الكون البارد واللطيف الذي نستمتع به الآن إلى جحيم "قدر الضغط" الشديد لدرجة أنه يحطِّم فهمنا لقوانين الفيزياء.

ورغم ذلك، فهذا ليس مجرد تمرين نظري. إن استقراء التمدد رياضيًّا واستخلاص درجات أعلى من الضغط والحرارة هما نفس الشيء؛ أما رؤية هذا الجحيم الكوني مباشرة[2]، فهو شيء آخر.

## خلفية الموجات الكونية الدقيقة (موجات الميكروويف الكونية)

إن قصة انتقالنا من التفكير في الانفجار الكبير إلى رؤيته هي قصة كلاسيكية عن اكتشاف طريف جاء مُصادَفةً في علم الكون. في عام 1965، كان عالم فيزياء يُدعَى چيم بيبلز Jim Peebles في جامعة برينستون يجري الحسابات مُحاوِلًا العودة إلى ماضي التوسع الكوني، وفجأة يصل

---

جدًّا للنظرية نفسها.

(1) بالطبع، هذا كان قبل أن تكون "السنوات" شيئًا، حيث كان قبل أن يكون هناك كوكب يدور حول نجم، ممَّا يحدِّد وحدة زمنية. لكن يمكننا أن نأخذ وحداتنا الزمنية ونستقرئ بها الماضي، ونضع تسميةً لكل الثواني وهي تتراكم لتصبح سنواتٍ وتعطينا أرقامًا، لتكون ملائمة لوعينا.

(2) لقد اخترعتُ هذا المصطلح حالاً، وأشعر بأنني فخورة للغاية بنفسي. (الكلمة التي استَخدَمَتها المؤلِّفةُ هنا هي infernoverse، وهي دمج لكلمتين هما: inferno وuniverse، والتي قُمتُ بترجمتها هنا إلى "الجحيم الكوني". [المترجمة]).

إلى استنتاج مذهلٍ مفادُه أن الإشعاع الناتج عن الانفجار الكبير لا يزال يتدفَّق عبر الكون اليوم. علاوة على ذلك، ينبغي أن يكون من الممكن اكتشافه. فقام بحساب التردد المتوقَّع لهذا الإشعاع وكثافته وتعاون مع زميليه روبرت ديك Robert Dicke وديفيد ويلكنسون David Wilkinson للبدء في تركيب أداة لقياسه. في هذه الأثناء، لم يكن قد وصل إلى علمهم أنه، على الطريق المؤدِّي إلى مختبرات بيل، كان اثنان من علماء الفلك هما أرنو بنزياس Arno Penzias وروبرت ويلسون Robert Wilson يستعدَّان للقيام ببعض الأبحاث الفلكية باستخدام كاشف الميكروويف الذي كان يُستخدَم في السابق لأغراض تجارية. (موجات الميكروويف هي ببساطة نوع من الضوء على الطيف الكهرومغناطيسي، ذات تردُّد أعلى من الراديو ولكنه أقل من الأشعة تحت الحمراء أو الضوء المرئي). لم يكن لدى بنزياس وويلسون أي اهتمام بالتطبيقات التجارية، وإنما كانا حريصَيْن على دراسة السماء، وعندما كانا يختبران ويحاولان تقييم أداة بحثهما، وجدا طنينًا غريبًا في البثِّ. من الواضح أن مثل هذا الطنين لم يتداخل مع استخدام التليسكوب من قبل، حيث كانت تُكتشَف إشارات اتصال مرتدَّة عن بالونات الغلاف الجوي المرتفعة؛ لذلك كان يتجاهلها المستخدمون. ولكن هذا كان من أجل العلم، وكان لا بُدَّ من تحديد الأمر. ظل الطنين يظهر بغَضِّ النظر عن الاتجاه الذي يوجِّهان الكاشف نحوه، وبكل المقاييس، لم يكن ملائمًا بأي حال.

يُعدُّ التداخُل مع التلسكوب مشكلةً شائعة أثناء مرحلة المعايَرة عند القيام بالرصد، ويمكن أن يحدث بطرق عديدة. قد يكون هناك كابل مفكوك في مكان ما، أو تداخُل لاسلكي قادم من جهاز إرسال قريب، أو أي عدد من المضايقات الميكانيكية الصغيرة. (وثمة تقدُّم كبير حديثًا في علم الفلك الراديوي يختصُّ باكتشاف أن الدفقات الإشعاعية المثيرة التي شاهدها تلسكوب باركس الراديوي كانت في الواقع ناتجة

عـن فـرن ميكروويـف مفـرط النشـاط في غرفـة الطعـام). فحـص بنزيـاس وويلسـون كل بوصـة مـن الراصـد، بـل واهتـمَّا باحتـمال أن يكـون مصـدر الطنـين مجموعـة صغـيرة مـن الحـمام تعشِّـش في الهـوائي[1]. لكـن مهـما فعـلَا، لم يتمكَّنـا مـن إيقـاف الطنـين، ولم يَجِـدَا أي تدخـل يمكـن أن يفسِّر ذلـك. لذلـك كان عليهـما أن يأخـذا في الاعتبـار احتماليـة أن يكـون ذلـك قادمًـا مـن الفضـاء بالفعـل، ومـن كل اتجـاه في السـماء. لكـن مـاذا يمكـن أن يكـون؟ أي شيء يـأتي مـن الكواكـب أو الشـمس لا بُـدَّ أن يظهـر فقـط في أوقـات واتجاهـات معيَّنـة، وحتـى الانبعاثـات مـن مجرَّتنـا درب التبانـة لـن تكـون موحَّـدة بالكامـل.

دخل فريق برينستون. بطريقة غير مباشرة.

ولنرجـع للـوراء لحظـة، كانـت حسـابات بيبلـز تقـول إنـه إذا كان الكون سـاخنًا في كل مـكان في زمـن مبكِّـر، فينبغـي أن نكـون حاليًّـا غارقـين في الإشـعاع المتبقـي منـه. وإليـك مـا كان يفكـر فيـه. إذا كان النظـر بعيـدًا يعنـي النظـر بعيـدًا في المـاضي، وإذا كان هنـاك وقـت في المـاضي البعيـد عندمـا كان الكـون في الأسـاس كـرة ناريـة كبـيرة تشـكِّل كل شيء، فمـن الممكـن أن تنظـر إلى أبعـد مـن ذلـك بحيـث تـرى جـزءًا مـن الكـون لا يـزال مشـتعلًا. أو، عندمـا نفكـر في الأمـر بطريقـة أخـرى: هـذا الكـون الـذي مـن الممكـن أن يكـون لا نهائيًّـا، إذا كان كلـه متوهِّجًـا بالإشـعاع قبـل 13.8 مليـار سـنة، فمـن المفـترض أن تكـون هنـاك أجـزاء منـه بعيـدة جـدًّا لدرجـة أن الإشـعاع الصـادر عـن هـذا التَّوهُّـج يصـل إلينـا فقـط الآن، بعـد أن سـافر عـبر الفضـاء الـذي يسـتمر في التوسـع والتبريـد طـوال هـذا الزمـن. في أي اتجـاه ننظـر إليـه، إذا نظرنـا بعيـدًا بمـا فيـه الكفايـة، فسـنرى

(1) مـن المؤسـف أن هـذا الخيـط مـن التحقيـق لم ينتـهِ بخـيرٍ بالنسـبة للحمائـم، التـي كانـت في الواقـع بريئـةً تمامًـا مـن أي فِعـل خاطـئ.

ذلك الكون الناري البعيد. نحن لا ننظر إلى أجزاء من الفضاء تتميز بأي اختلاف، بل ننظر بالأحرى إلى **زمن** كان فيه **كل** الفضاء مشتعلًا.

لذلك؛ لا بُدَّ أن هذه الخلفية الإشعاعية تأتي من كل مكان. ولا بُدَّ أنها تأتي من كل مكان بغضِّ النظر عن مكان وجودك، لأنه يمكنك دائمًا النظر بعيدًا بما يكفي لرؤية المرحلة الساخنة من الكون. إن ارتباط سرعة الضوء بالزمن تمنحك هذا مجانًا. كل نقطة في الفضاء هي مركز مجالها الخاص في زمن يزداد عمقًا باستمرار، ويحدُّه غلاف من النار.

أدرك بيبلز ذلك، وكما يفعل الفيزيائيون عادة، تحدث مع زملائه عن أفكاره المذهلة للغاية. حتى إنه قام بتمرير نسخة أوَّليَّة من ورقة بحثية وصف فيها ما يعتزم هو وزملاؤه القيام به للكشف عن هذا الإشعاع. ومن هنا، انتقل الخبر لمسافة 60 كيلومترًا إلى مختبرات بيل، عبر اثنين منفصلين من الفيزيائيين، وطائرة، وبورتوريكو.

ذهب أحد الحاضرين في حديث بيبلز، كين تيرنر Ken Turner، لزيارة تلسكوب أريسيبو الراديوي، وفي رحلة العودة بالطائرة، أجرى محادثة مع زميله الفلكي برنارد بيرك Bernard Burke حول مدى روعة اكتشاف هذا الإشعاع للانفجار الكبير. بعد عودته إلى المكتب، تلقَّى بيرك مكالمة هاتفية من بينزياس بشأن بعض الأعمال غير ذات الصِّلة، وحدث أنه أشار إلى حديث الطائرة[1]. في هذه النقطة، ليس

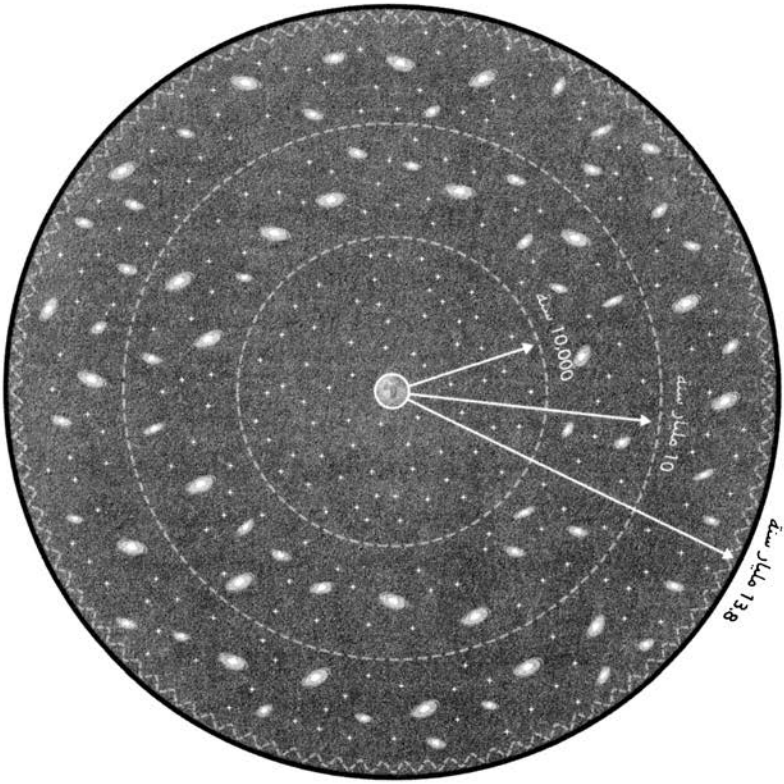
(1) لم أكن أعلم أي شيء عن هذه القصة فيما عدا موضوع الحمائم، عندما صادفت برنارد بيرك قبل سنوات قليلة في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا. كنا نتبادل الحديث كما يفعل الفيزيائيون عادة، وكان يخبرني عن بعض الأعمال السابقة التي لم أتابعها جيدا، وفي نفس النقطة اكتشفت أنه كان يتحدث عن حديثه التليفوني مع بنزياس وبدون قصد كشف حقيقة أنه كان الحافز الذي أدى لواحد من أهم الاكتشافات في تاريخ الفيزياء. وحدث أمر مماثل لي في مؤتمر منذ عدة سنوات عندما التقيت بتوم كيبل Tom Kibble الذي وضع الكثير من التنظير حول بوزون هيجز Higgs boson. ما نتعلمه من هذه القصة هو: استمع إلى الأساتذة الكبار؛ فقد يكون لديهم ما يقدم بهدوء ثورة في الحقل العلمي لدراستك بكامله.

أمامي سوى أن أفترض أن بنزياس كان عليه أن يجلس قليلًا، لأنه عرف الآن أنه وويلسون أصبحا للتَّوِّ، من بين جميع البشر، أوَّلَ مَن يرى الانفجار الكبير الفعلي. استغرق الأمر بضعة أيام، وتحدَّث مع زميله، ثم اتصل هاتفيًّا بروبرت ديك، الذي استدار على الفور إلى بيبلز وويلكينسون وقال: "لقد سبقونا".

وقد سبقوا بالفعل. فاز بنزياس وويلسون بجائزة نوبل لعام 1978 عن أول ملاحظة لما أصبح يُعرَف باسم الخلفية الميكروية الكونية (*cosmic microwave background*)[1].

لقد أصبحت الخلفية الإشعاعية الميكروية للكون، أو CMB، واحدة من أهم الأدوات المتوفرة لدينا لدراسة تاريخ الكون. وليس من السهل التعبير عن مدى أهميتها، سواء باعتبارها مجموعة بيانات فلكية أو كإنجاز تكنولوچي. يمكننا الآن جمع وتحليل ورسم خريطة لتوهُّج الكون المبكر الحار. وأول ما تخبرنا به هذه الخلفية هو أن الفرضية القائلة بأن الكون المبكر كان عبارة عن جحيم كبير، يتوهَّج بالحرارة، قد تأكَّدَت تمامًا.

(1) الخلفية الميكروية الكونية cosmic microwave background: في سياق تأليفي لهذا الكتاب، شعرت بكثير من الإثارة عندما سمعت بفوز بيبلز بجائزة نوبل عام 2019 لوضعه، جزئيًّا، الجانب النظري لهذا الاكتشاف. وبالتالي، ربما ثمة بعض العدالة في النهاية. ليس فقط من أجل الحمائم.




الشكل 3: **خريطة كرتونية للكون المرصود:** وعلى مسافات مختلفة من وجهة نظرنا على الأرض، يمكننا رؤية العصور المختلفة في الماضي. تمَّ وضع تسمية لزمن الاسترجاع (عدد السنوات قبل اليوم) لكل دائرة حولنا في هذا المخطَّط. إن أبعد ما يمكننا رؤيته، حتى من حيث المبدأ، يتوافق مع المسافة من الأرض التي يمكن أن يقطعها الضوء من حيث يغادر تلك النقطة منذ بداية الكون حتى يصل إلينا الآن. وهذا يحدِّد مجالًا من حولنا يُعرف باسم الكون المرصود.

ولكن كيف نعرف على وجه اليقين أن ضوء الخلفية الذي نرصده هو في الواقع ناتج عن الكرة النارية البدائية، وليس، مثلًا، من مجموعة من النجوم الغريبة البعيدة أو شيء من هذا القبيل؟ لقد اتَّضح أن طيف الضوء -الطريقة التي يكون بها أكثرَ أو أقلَّ سطوعًا عند قياسه بتردُّدات مختلفة- ينطوي على الحقيقة واضحة.

لنفترض أن لديك مدفأة، وقمت بوضع قصبة التقليب المعدنية في النار حتى تبدأ في التوهج باللون الأحمر. هذا التوهج الأحمر ليس من خواص المعدن نفسه، بل هو ظاهرة تحدث لأي شيء يتم تسخينه (دون أن يشتعل باللهب). ويُسمَّى هذا التوهج "الإشعاع الحراري"، ويعتمد لونه فقط على درجة الحرارة. فالشيء المتوهِّج بلون أزرق أكثر سخونة من المتوهِّج بلون أحمر. والواقع أنك إذا تمكَّنتَ من رؤية ضوء الأشعة تحت الحمراء، فسترى الإشعاع الحراري يأتي من الناس والطعام الدافئ والأرصفة الغارقة في ضوء الشمس طوال الوقت. يخرج الإشعاع الحراري البشري عند التردد المنخفض للأشعة تحت الحمراء لأننا أكثر برودةً بكثير من اللهب المكشوف، إلا إذا كانت الأمور تسير بشكل سيئ للغاية بالنسبة لنا.

ومع ذلك، فإن اللون الذي تراه لا يمثِّل كامل الضوء الناتج. فبصرف النظر عن أشعة الليزر، فإن أي شيء يصدر عنه ضوء يأتي على مجموعة من الترددات (أو الألوان) المختلفة، واللون الذي يظهر للعين هو فقط اللون الذي يكون الضوء فيه أكثر كثافة (ولهذا السبب تكون المصابيح المتوهجة ساخنة عند اللمس: على الرغم من أن معظم الضوء الذي تنتجه مرئي، إلا أنها تنتج الكثير من الضوء الإضافي ضمن الأشعة تحت الحمراء من الطيف مما يضيف حرارة للمسها). بالنسبة لأي إشعاع حراري، بما في ذلك الإشعاع المنبعث من قصبة تقليب النار في المدفأة، والناس واللهب الأزرق الصغير على مواقد الغاز، تتغير شدة الضوء حسب التردد بنفس الطريقة

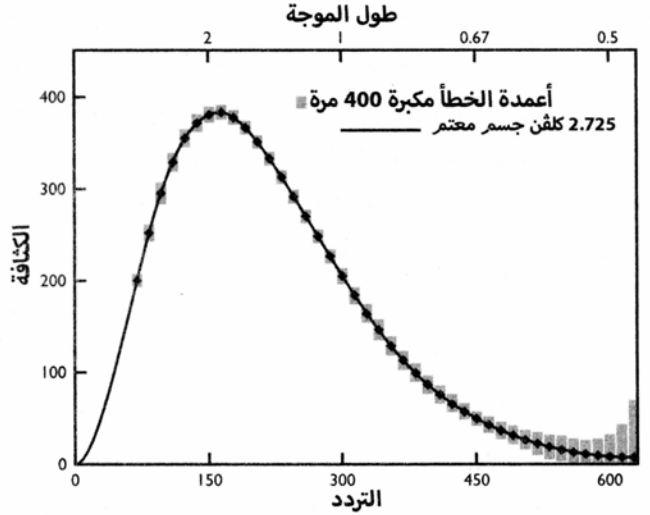
تمامًا. ويكون الضوء أكثر سطوعًا عند بعض ألوان الذُّروة اعتمادًا على درجة الحرارة، ويخفت بسرعة بالنسبة للألوان الموجودة على كلا الجانبين. إن الرسم البياني الذي يصوِّر كيفية ارتفاع وانخفاض شدة الإشعاع حسب التردد يعطي شكلًا نسميه **منحنى الجسم الأسود**- وهو منحنى يُعاد إنتاجه بواسطة أي شيء يتوهَّج لأنه ساخن[1]. وقد اتضح أنه إذا قمت بقياس شدة الخلفية الميكروية الكونية عند ترددات مختلفة، فستحصل على المنحنى الأكثر دقَّةً ومثالية لجسمٍ أسود يُقاس في الطبيعة على الإطلاق. الطريقة الوحيدة لتفسير ذلك هي أن الكون نفسه كان حارًّا للغاية في كل مكان منه.

تقول الأسطورة إنه في المرة الأولى التي عُرِضَت فيها هذه النتيجة كرسم بياني في مؤتمر، ابتهج الجمهور بالفعل. كان جزء من حماسهم بالتأكيد هو أن القياس كان مثيرًا للإعجاب ودقيقًا للغاية وملائمًا تمامًا للنظرية (وهذا من الجيد دائمًا رؤيته.) لكنني متأكدة تمامًا من أن ثمة جزءًا آخر هو حقيقة أن الناس أدركوا أنهم كانوا **يرون الانفجار الكبير. يرونه** بالفعل. أنا، شخصيًّا، لا زال هذا الأمر يدهشني.

وبصرف النظر عن غرابة الأمر، فإن إشعاع الخلفية الميكروية الكونية يمنحنا نافذة لا تُقدَّر بثمن نرى منها اللحظات الأولى للكون، ونرى كيفية نموِّه وتطوُّره بمرور الزمن. كما أنه يعطينا بعض التلميحات حول أين ستتجه الأمور، كما سنرى في الفصول اللاحقة.

---

(1) تأتي تسمية "الجسم الأسود"، أو blackbody، من فكرة أن أحد الموجودات -"شيئًا" ما- يمتصُّ تمامًا كل الضوء الذي يصطدم به ويعيد بثَّه كحرارة خالصة. لا تفعل معظم الأشياء ذلك بدقَّة، بالطبع؛ فالأشياء تعكس بعض الضوء، والبعض يتمُّ امتصاصه بدون إعادة بثِّه. لكن معظم المواد عند تسخينها تتوهَّج عند مستوى مُعيَّنٍ بطريقة يمكن التعرف عليها باعتبارها الشكل الأقصى لمنحنى الجسم الأسود.



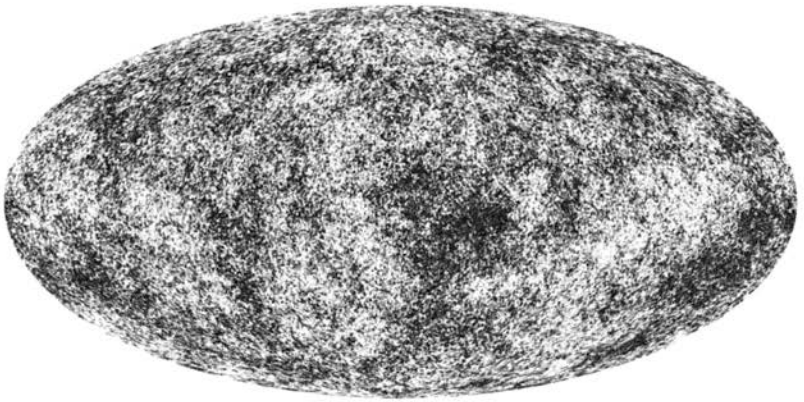

الشكل 4: **طيف الجسم الأسود للخلفية الميكروية الكونية:** يشير ارتفاع المنحنى إلى شدَّة الإشعاع عند تردُّد مُعيَّن أو طول موجي مُعيَّن. يظهر حول نقاط البيانات أشرطة خطأ تشير إلى أوجه عدم اليقين في القياس، ولكن مع تكبير حجم أوجه عدم اليقين 400 مرة بحيث لا تكون جميعها مختفية تمامًا خلف اتِّساع الخط، وهو الطيف الذي تتوقَّعه لشيء يتوهَّج عند درجة حرارة 2.725 كلفن (-270° درجة مئوية).

ومع ذلك، عندما نقوم بعمل خريطة لإشعاع الخلفية الميكروية الكونية يظهر فيها التنوع اللوني للضوء عبر السماء، فإنها تبدو في الواقع مُمِلَّة للغاية؛ فهي تقريبًا نفس اللون تمامًا في كل مكان. ومع ذلك، فإن الانحرافات الدقيقة التي يمكنك اكتشافها، رغم صِغَرها، تخبرنا بالكثير. عندما يرتفع التباين بدرجة كافية للحصول على قليل من التنوع اللوني، يمكن لعلماء الفلك رؤية أن إشعاع الخلفية الميكروية الكونية يبدو مُبقَّعًا بعض الشيء، كما لو قام شخص ما

برسم نُقَطيٍّ تجريدي على السماء بفرشاة كبيرة بحجم البدرَ كما نراه من الأرض. تتجمَّع هذه البقع في كتل من لون واحد في بعض الأماكن وتختلط في أماكن أخرى، وتكون بعض البقع أكثر احمرارًا بعض الشيء، وبعضها أكثر زُرقةً قليلًا[1]. تكشف التَّنوُّعات اللونية عن الأماكن التي كانت فيها البلازما الكونية البدائية المضطربة أكثرَ برودةً أو أكثر سخونة قليلًا، وذلك بسبب تغيُّرات طفيفة جدًّا في الكثافة؛ كل نقطة لها كثافة تنحرف عن المتوسط بما لا يزيد عن جزء واحد من 100,000 (للحصول على فكرة عن شكل جزء واحد من 100,000، قُم بإفراغ علبة صودا في حوض السباحة بالفناء الخلفي).

يمكننا، من خلال حسابات دقيقة، معرفة كيف من المقرر أن تنمو هذه الاختلافات الصغيرة في الكثافة بمرور الوقت، بدءًا من ومضات ضئيلة، وعلى مدى آلاف السنين، تنمو إلى مجموعات كاملة من المجرات. إن انهيار الجاذبية شيء قوي. إذا كان لديك القليل من المادة الأكثر كثافة من المادة المحيطة بها، فسوف تسحب المزيد من تلك الأماكن الأقل كثافة، ممَّا يزيد من التباين، وممَّا يسحب أكثر، وهكذا. فالغني يزداد غِنًى و الفقير يزداد فقرًا.

(1) الضوء كله في الجزء الميكروي من الطيف، ومن ثم عندما نقول "أكثر احمرارًا" فهذا يعني أنه إشعاع ميكروي ذو تردُّد أقل، و"أكثر زُرقة" يعني أنه إشعاع ميكروي أكثر تردُّدًا، لكن عندما نرسم الخرائط نقوم بالفعل باستخدام ألوان مثل الأحمر والأزرق، والسبب -كما تعلم-: العين البشرية.



الشكل 5: الخلفية الميكروية الكونية. هذه خريطة بتردُّدات الموجات الميكروية للسماء بأكملها مُسقَطة على شكل بيضاوي في إسقاط مولڤيده (مع إزالة الانبعاث من مجرتنا)[1]. تشير المناطق الداكنة إلى انبعاث ميكروويف أكثر برودة قليلًا (تردُّد أقل أو أكثر احمرارًا) أما المناطق الفاتحة فتشير إلى انبعاث أكثر سخونة قليلًا (تردُّد أعلى أو أكثر زُرقةً). ويشير كلاهما، على التوالي، إلى أجزاء من الكون المبكِّر كانت أكثر أو أقلَّ كثافة بدرجة طفيفة من المحيط بها، بمستوى جزء واحد من 100,000 جزء.

باستخدام المحاكاة الكمبيوترية التي تبين مرور مليارات السنين في غضون ثوانٍ، يمكننا أن نشاهد رقعة من المادة أكثر كثافة بدرجة ضئيلة من تلك المجاورة لها تسحب ما يكفي من الغاز المحيط بها لتشكِّل النجم الأول في الكون. تتشكَّل هذه النجوم ضمن المجرات الأولى، التي تتجمع في عناقيد من المجرات، والتي تقوم بشكل جماعي بتحويل خليط البُقَع من إشعاع الخلفية الكونية الميكروية إلى الشبكة الكونية التي نراها الآن: ترتيب معرَّق من العُقَد والخيوط والفراغات

(1) إسقاط مولڤيده Mollweide projection: هو إسقاط خرائطي بيضاوي الشكل متساوي المساحات يستخدم عمومًا لتصميم خريطة العالم أو السماء الليلية. [عن ويكيبيديا- المترجمة]

التي ترسمها المجرات الساطعة على طولها، مثل قطرات الندى على شبكة العنكبوت. إذا قارنت نتائج إحدى عمليات المحاكاة هذه بخريطة فعلية للكون، حيث تمثل كل مجرة نقطة واحدة في خريطة عملاقة ثلاثية الأبعاد، ستجد أنها تبدو متفقة على نحو مدهش لدرجة أنك لن تتمكن من معرفة الفرق.

وهكذا. الانفجار الكبير حدث بالفعل. لقد رأينا ذلك، وقمنا بحسابه، والفيزياء تعطينا المزيد من الأدِلَّة. الآن، دعونا نجتمع جميعًا في وهج الجسم الأسود الكوني ونروي قصة أصل الكون.

## في البداية

ليس كل التاريخ الكوني مرئيًا بشكل مباشر مثل الخلفية الميكروية الكونية. من الصعب للغاية ملاحظة بضع مئات الآلاف من السنين قبل نهاية مرحلة الكرة النارية، ونصف مليون سنة أو نحو ذلك مباشرة بعدها. في الحالة الأولى، سبب ذلك هو وجود الكثير من الضوء (تخيَّل أنك تحاول النظر عبر جدار من النار) وفي الحالة الثانية، بسبب قِلَّة الضوء (تخيَّل أنك تحاول النظر إلى بعض ذَرَّات الغبار في الهواء بينك وبين جدار من النار). لكن إشعاع الخلفية الميكروية الكونية، الموجود في المنتصف، يمنحنا مرتكَزًا قويًّا للاستقراء في كل اتجاه، والآن لدينا سرد مُقنِع لكيفية تطوُّر الكون مع مرور الزمن، بداية من الجزء الأول من مليار من مليار من مليار من الثانية وحتى وصولنا إلى اليوم، بعد 13.8 مليار سنة.

هلَّا فعلنا؟

في البداية، كان هناك التَّفرُّد[1].

(1) التفرُّد singularity: وفقًا لنظرية الانفجار الكبير، التفرُّد الكوني هو تلك النقطة من

حسنًا ربما. التَّفرُّد هو ما يفكر فيه معظم الناس عندما يفكرون في الانفجار الكبير: نقطة كثيفة لا متناهية انفجر منها، إلى الخارج، كل شيء في الكون. لكن التَّفرُّد ربما لم يكن نقطة، بل يمكن أن يكون مجرد حالة كثيفة لا متناهية من كونٍ كبير لا مُتناهٍ. وكما سبق الذِّكر، لا يوجد انفجار بالتحديد، لأن الانفجار يعني توسُّعًا في شيء ما، وليس توسُّعًا في كل شيء. إن فكرة أن كل شيء بدأ بحالة متفرِّدة تأتي من ملاحظة التَّوسُّع الحالي للكون، وتطبيق معادلات أينشتاين للجاذبية، والاستقراء بالعودة إلى الماضي. لكن هذا التَّفرُّد ربما لم يحدث أبدًا. إن ما يعتقد معظم الفيزيائيين أنه قد حدث، بعد جزء من الثانية من أيًّا ما كان "البداية" الحقيقية، كان عبارة عن توسُّع فائق مثير أدَّى فعليًّا إلى محو كل أثر لكل ما حدث قبله. لذا فإن التفرد هو إحدى الفرضيات التي قد تكون بداية كل شيء، لكننا لا نستطيع التأكد حقًّا.

هناك أيضًا سؤال حول ماذا كان "قبل" التفرد. قد يكون هذا السؤال، اعتمادًا على مَن تسأل، هراءً غير متماسك (لأن التفرد كان بداية الزمان وكذلك المكان، لذلك لم يكن له "قبل")، أو أحد الأسئلة الأكثر أهمية في علم الكون (لأن التفرد ربما كان نقطة النهاية لمرحلة سابقة من الكون الدوري: مرحلة تنتقل من الانفجار الكبير إلى الانسحاق الكبير وتعود مرة أخرى إلى الأبد). سنتحدث عن هذا الاحتمال الأخير في الفصل السابع، ولكن في الأثناء، ليس هناك الكثير لنقوله عن التفرد بخلاف أنه ربما حدث. حتى لو كنا نثق في أنفسنا بالعودة بالتوسع إلى تلك النقطة، فإن التفرد يمثِّل حالة من المادة والطاقة شديدة للغاية بحيث لا يمكن لأي شيء نعرفه حاليًّا من الفيزياء أن يصفها.

---

تاريخ الكون التي كان فيها الكون كله مضغوطًا في نقطة واحدة على الأقل من الكثافة اللا متناهية، والحرارة اللا متناهية، والتقوُّس اللا متناهي. [المترجمة]

بالنسبة للفيزيائي، التفرد هو أمر مَرَضِيٌّ. إنه مكان في المعادلات حيث تذهب بعض الكمية التي تتصرف عادةً بشكل جيد (مثل كثافة المادة) إلى ما لا نهاية، وعند هذه النقطة لم تعد هناك أي طريقة لحساب أشياء لها أي معنى. في معظم الأحيان، عندما تواجه حالة تفرد، فهذا يعني أن ثمة خطأ ما في حساباتك، وأنك بحاجة إلى العودة إلى لوحة الرسم. العثور على نقطة تفرُّد في نظريتك يشبه جعل نظام الملاحة بواسطة الأقمار الصناعية يوجِّهكَ إلى حافة بحيرة، ثم يطلب منك تفكيك سيارتك، وإعادة تجميعها كقارب، والتجديف بقارب السيارة الجديد الخاص بك إلى الجانب الآخر. ربما تكون هذه هي الطريقة الوحيدة للوصول إلى المكان الذي تحاول الذهاب إليه، ولكن الأرجح هو أنك اتَّخذتَ منعطفًا خاطئًا في مكانٍ ما قبل بضعة أميال في الوراء.

ومع ذلك، من الناحية العملية، لا يتطلب الأمر شيئًا مختلًّا بوضوحٍ مثل التَّفرُّد الحقيقي لإهدار الفيزياء كما نعرفها. ففي أي وقت يكون لديك الكثير من الطاقة في مساحة صغيرة جدًّا، يكون عليك أن تتعامل مع كلٍّ من ميكانيكا الكم (النظرية التي تحكم فيزياء الجسيمات) والنسبية العامة (نظرية الجاذبية) في نفس الوقت. في الظروف العادية، أنت تتعامل فقط مع هذا أو تلك، لأنه عندما تكون الجاذبية مهمَّة، فذلك يكون عادةً لأن لديك شيئًا ضخمًا، لذا يمكنك تجاهل الجسيمات الفردية، وعندما تكون ميكانيكا الكم مُهمَّة، على معدل الجسيمات، فأنت تتعامل مع كتلة صغيرة جدًّا؛ ممَّا يجعل الجاذبية جزءًا لا أهمية له من التفاعل. لكن في حالة الكثافات القصوى، عليك التعامل مع الاثنين، وهما لا يعملان معًا بشكل جيد على الإطلاق. تتضمَّن الجاذبية القصوى أجسامًا ضخمة محدَّدة جيدًا تشوِّه الفضاء وتغيِّر من تدفُّق الزمن؛ بينما تسمح ميكانيكا الكم بمرور الجسيمات عبر الجدران الصلبة أو بأن تكون موجودة فقط

كسحب احتمالية غامضة. إن عدم التوافق الأساسي بين نظرياتنا حول الأشياء الضخمة جدًّا والصغيرة جدًّا هو أحد الأشياء التي تشير إلى الاتجاه الذي يجب أن نسير فيه لإنشاء نظريات جديدة أكثر اكتمالًا. ولكنه أيضًا غير مناسب عندما نحاول تفسير الكون المبكر جدًّا.

بدون نظرية كاملة للجاذبية الكَمِّيَّة (التي توفِّق بين فيزياء الجسيمات والجاذبية)، ستظل قدرتنا على استقراء الكون بطريقة منطقية محدودة. سنصل حتمًا إلى اللحظة التي تنتهي قبلها كل الرهانات. خلال تلك الفترة، تكون الكثافات عالية بما يكفي بحيث نتوقَّع أن تتنافس تأثيرات الجاذبية الشديدة مع الإبهام المتأصل في ميكانيكا الكَمِّ، ونحن لا نعرف ما يجب فعله في هذا السيناريو. هل تتشكل الثقوب السوداء المجهرية (بسبب الجاذبية القوية) ثم تظهر وتختفي من الوجود بشكل عشوائي (بسبب عدم اليقين الكمي)؟ هل يكون للزمن أي معنى عندما يكون التنبؤ بشكل الفضاء لا يزيد عن رمية النَّرد؟ إذا قُمتَ بالتكبير حتى مقياس صغير بدرجة كافية، فهل يتصرف المكان والزمان كجسيمات منفصلة، أو ربما موجات تتداخل مع بعضها البعض؟ هل توجد ثقوب دودية؟ هل توجد تنانين؟ ليس لدينا أي فكرة.

ولكن لأننا بحاجة إلى تحديد مدى الاضطراب الذي نحن فيه، وفي أي لحظة يبدأ هذا الاضطراب، فإننا نسمِّي هذا "الزمن بلانك"[1]، وهو يشمل الوقت من صفر إلى حوالي 10-43 ثانية. إذا لم تكن على دراية بالترميز، فإن 10-43 ثانية تساوي ثانية واحدة مقسومة على 10 00000000000000000000000000000000000000000000 (أي 1 أمامه

(1) سُمِّي باسم ماكس بلانك Max Planck، أحد مؤسِّسي نظرية الكم. وهناك أيضًا طاقة بلانك، وطول بلانك، وكتلة بلانك، ولها جميعًا تعريفات من خلال تركيبات متعددة للثوابت الجوهرية، وأحدها هو ثابت بلانك، الذي يُعتبر مركزيًّا لأي شيء ذي طبيعة كمِّيَّة. وإذا وجدت ثابت بلانك في معادلاتك، فإنك تعرف أن الأشياء يمكن أن تصبح غريبة.

43 صفرًا). ويكفي أن نقول إن هذا مقدار صغير لا يمكن تصوُّره من الوقت. ولكي نكون واضحين، لا يعني ذلك أننا بالضرورة نستطيع تفسير كل شيء، بدءًا من الزمن بلانك وما بعده، ولكننا حاليًّا لا نستطيع بالتأكيد تفسير أي شيء قبله.

لتلخيص ما وصلنا إليه حتى الآن: ربما كانت هناك حالة تفرُّد. إذا كان الأمر كذلك، فقد أعقبته مباشرة حقبة لا يمكننا أن نقول الكثير عنها، تُسمَّى الزمن بلانك.

في الحقيقة، لا يزال الجدول الزمني بأكمله للكون المبكِّر عبارة عن تقديرات، وأنا أعترف بذلك بسهولة، وهو أمر لا ينبغي لنا أن نثق به تمامًا. إن الكون الذي يبدأ بنقطة تفرد ويتوسع من هناك يمر بنطاق شديد لا يمكن تصوره من درجات الحرارة، بداية من اللا نهاية عند نقطة التفرد إلى البيئة المريحة واللطيفة للكون اليوم، والتي تقع عند حوالي 3 درجات فوق الصفر المطلق. ما يمكننا فعله هو التوصل إلى استنتاجات حول ما ستكون عليه الفيزياء في كل تلك البيئات، ومن ثم نحصل على الترتيب الذي أقدِّمه في هذا الفصل. وعلى الرغم من أن نظرية الانفجار الكبير القياسية للتوسع المطَّرد من حالة التفرد تواجه بعض المشاكل الرئيسية (والتي سنتطرق إليها قريبًا)، إلا أنه لا يزال بإمكاننا تعلم الكثير عن كيفية عمل الفيزياء من خلال التفكير في ما يمكن أن يحدث إذا كانت النظرية القياسية صحيحة.

## عصر النظرية الموحدة الكبرى

تقول القصة القياسية للانفجار العظيم إنه، بعد زمن بلانك، يأتي عصر النظرية الموحدة الكبرى ([GUT]). (أنا أستخدم مصطلح "عصر" هنا للإشارة إلى شيء يستمر حوالي 10-35 ثانية، ومصطلح GUT يعني

شيئًا لا علاقة له بالتشريح البشري[1]. ترمز الأحرف "GUT" إلى النظرية الموحدة الكبرى، وهي النظرية الفيزيائية الفاضلة والمثالية للنظرية "الموحدة" التي تصف كيف عملت جميع القوى في فيزياء الجسيمات معًا في ظل الظروف القاسية للكون في تلك المرحلة المبكرة. ورغم أن الكون كان يبرد بسرعة، إلا أنه كان لا يزال ساخنًا جدًّا، لدرجة أن كمية الطاقة في كل نقطة في الفضاء كانت أعلى بأكثر من تريليون مرة من الطاقة الناتجة عن أقوى الصدامات في مصادمات الجسيمات الأكثر تقدُّمًا. ولسوء الحظ، وجزئيًّا بسبب عامل التريليون الذي يمنعنا من إجراء اختبارات تجريبية؛ فإن النظرية لا تزال قيد البحث حاليًّا. لكن بالنسبة لنظرية ليست تحت أيدينا حاليًّا، يمكننا أن نقول الكثير عنها، وكيف تختلف عمَّا نراه اليوم.

في الحياة اليومية في الكون الحديث، هناك دور مميز لكلٍّ من القوى الأساسية في الطبيعة. فالجاذبية تُبقينا على الأرض، والكهرباء تمنحنا الإضاءة، والمغناطيسية تلصق قائمة التسوق الخاصة بنا على الثلاجة، والقوة النووية الضعيفة تضمن أن مفاعلنا النووي في الفناء الخلفي يظلُّ متوهجًا باللون الأزرق الثابت اللطيف، والقوة النووية القوية تمنع بروتونات ونيوترونات أجسامنا من التحلل إلى الأجزاء المكوِّنة لها. لكن القوانين الفيزيائية التي تحكم كيفية عمل هذه القوى، وكيفية تفاعلها مع بعضها البعض، وتحكم حتى إذا كان من الممكن التمييز بينها، تعتمد على الظروف التي يتم قياسها فيها. على وجه التحديد، الطاقة المحيطة، أو درجة الحرارة. عند الطاقات العالية بدرجة كافية، تبدأ القوى في الاندماج والتجمع؛ ممَّا يعيد ترتيب تركيبة التفاعل بين الجسيمات وقوانين الفيزياء نفسها.

---

(1) الأحرف GUT هي اختصار Grand Unified Theory والتي تعني النظرية الموحَّدة الكبرى، لكن gut كلمة بالإنجليزية تعني "أمعاء"، والمؤلِّفة تقول لنا هنا إن هذا المعنى الأخير ليس هو المقصود هنا. [المترجمة]

من المعروف منذ بعض الوقت أن الكهرباء والمغناطيسية، حتى في ظل الظروف اليومية، هما جانبان لنفس الظاهرة؛ ولهذا السبب توجد المغناطيسات الكهربائية، ويمكن للدينامو توليد الكهرباء. هذا النوع من التوحيد يشبه الحلوى بالنسبة للفيزيائيين. عندما يكون ممكنًا لنا أن نأخذ ظاهرتين معقَّدتين ونقول: "في الواقع، عندما تنظر إليهما بهذه الطريقة، تجد أنهما نفس الشيء"، فإننا ننفجر بالبهجة الفيزيائية. من بعض النواحي، هذا هو الهدف النهائي للفيزياء النظرية: إيجاد طريقة لأخذ كل الأشياء المعقدة الفوضوية التي نراها حولنا وإعادة ترتيبها على هيئة شيء جميل ومضغوط وبسيط، والذي قد يبدو معقدًا بسبب منظورنا الغريب منخفض الطاقة.

عندما يتعلق الأمر بقوى فيزياء الجسيمات، فإن هذا المسعى يسمَّى التوحيد الكبير Grand Unification. استنادًا إلى النظرية والتقديرات الاستقرائية المبنية على الأدلَّة التي نراها في التجارب المعملية، يُعتقد أنه عند درجة عالية جدًّا من مختلف أنواع الطاقة، فإن كُلًّا من الطاقة الكهرومغناطيسية والقوة الضعيفة والقوة القوية تجتمع معًا لتشكِّل شيئًا آخر تمامًا، حتى يصبح من غير الممكن التمييز بينها؛ فهي جميعًا جزء من نفس النوع من المزيج الكبير للطاقة والجسيمات الذي تحكمه النظرية الموحدة الكبرى. كان هناك عدد قليل من النظريات الموحدة الكبرى التي تم تطويرها واقتراحها، ولكن صعوبة تقييم معدلات الطاقة التي يحدث عندها التوحيد تجعل من الصعب تأكيدها أو استبعادها، لذلك سنطلق على هذا "مجال البحث النشط" الذي سوف يقدر كثيراً أي تمويل إضافي ترغب في تقديمه إليه. مكتبة سُر مَن قرأ

قد تلاحظ أن الجاذبية ليست مدعوَّةً إلى حفلة النظرية الموحدة الكبرى. لجلب الجاذبية إلى الصورة، نحتاج إلى شيء أكبر وأكثر توحيدًا حتى من النظرية الموحدة الكبرى؛ نحتاج إلى نظرية كل شيء

(المعروفة أيضًا باسم TOE [Theory of Everything]). هناك اعتقاد عام بين الفيزيائيين أنه في وقت ما من زمن بلانك، كانت الجاذبية موحَّدة بطريقة ما مع القوى الأخرى (إلى جانب التنانين أو أيٍّ ما كان يحدث حينئذ). ولكن، كما ناقشنا من قبل، فإن النسبية العامة وفيزياء الجسيمات لا يحبَّان العمل معًا في شكلهما الحالي؛ ولذلك فقد كان تقدُّمنا نحو نظرية كل شيء TOE أقلَّ، مقارنة بالنظرية الموحدة الكبرى GUT. كثير من الناس يضعون رهاناتهم على أن نظرية الأوتار هي النظرية النهائية لكل شيء. ولكن إذا كنت تعتقد أن التحقق من النظرية الموحدة الكبرى تجريبيًّا أمر صعب، فقد يكون اختبار نظرية كل شيء في الواقع مستحيلًا، على الأقل بأي تكنولوجيا يمكننا تصوُّرها حاليًّا. تحتدم المجادلات من وقت لآخر حول ما إذا كان هذا هو الحال، وهل ينبغي اعتبار النظريات غير القابلة للاختبار تنتمي إلى العلم. لا أعتقد أن الوضع خطير إلى هذا الحد. ذلك أن علم الكون قد يقدم حلولًا (و... لا، أنا لا أقول ذلك فقط لأنني من علماء الكون). في حالات معيَّنة، مع قليل من الإبداع، هناك بعض الاحتمالات المغرية لاختبار تنبُّؤات نظرية الأوتار والأفكار ذات الصِّلة بما نرصده في الكون. إذا نجحنا في اجتياز بعض أحداث النهاية الكونية في الفصول القليلة القادمة، فسنرى كيف يمكن لعلم الكون أن يرينا المزيد عن البنية الأساسية النهائية للكون والتي تربط كل شيء بقوس، أكثر ممَّا يمكن أن نرى من أي تجربة للجسيمات.

ولكن دعونا نعود إلى قصتنا. لقد نجونا للتَّوِّ من مخاض اضطراب جاذبية بلانك الزمنية/الكمية، وها نحن نستمتع بوحدة القوة الأساسية لعصر الوحدة الكونية الكبرى التي تحتاج لدرجة أقل قليلًا من التأمل.

## التضخم الكوني

ما حدث بعد ذلك لا يزال موضِعَ نقاش، ولكن شبه الإجماع في علم الكون هو أنه في وقتٍ ما في تلك اللحظة تقريبًا شهد الكون فجأة طفرة كبرى اعتُبرت أُمَّ كل طفرات النمو- وهي عملية نسمِّيها التضخم الكوني *cosmic inflation*. حيث، لأسباب ما زلنا نحاول فهمها، اتَّجه توسُّع الكون فجأة إلى مستوى عالٍ جدًّا، مع زيادة حجم المنطقة التي ستصبح يومًا ما كونَنا المرئي بأكمله بعامل يزيد عن 100 تريليون تريليون (أي $10^{26}$). أدَّى ذلك بالطبع إلى وصوله إلى حجم كرة الشاطئ تقريبًا، ولكن ذلك كان مبهرًا للغاية لأن نقطة البداية كانت أصغر من أي جسيم معروف بشكل لا يمكن تصوره، وأن النمو قد حدث على مدار ما يقارب $10^{-34}$ من الثانية.

جاءت نظرية التضخم لتحلَّ بعض المشكلات المعقدة للغاية في النموذج القياسي للانفجار الكبير. إحدى تلك المشكلات تتعلَّق بالتوحيد الغريب للخلفية الميكروية الكونية، وأخرى تتعلق بعيوبه الصغيرة.

مشكلة التوحيد هي أن الكوزمولوچيا القياسية لنظرية الانفجار الكبير لا تقدم أي تفسير لكيفية أن الكون المرئي بأكمله، بما في ذلك الأجزاء الموجودة على جوانب متقابلة من السماء، قد انتهى لأن يكون بنفس درجة الحرارة في الأزمنة المبكرة. عندما ننظر إلى شفق الانفجار الكبير، نراه كما هو في كل مكان وبدقة عالية للغاية، وعندما تفكر في الأمر، تجد أنها صدفة غريبة حقًّا. عادة، يمكن لشيئين أن يصبحا بنفس درجة الحرارة إذا كانا في الحالة التي ندعوها بالتوازن الحراري الديناميكي. وهذا يعني أن هناك طريقة تجعلهما يتبادلان الحرارة، وأن لديهما الوقت اللازم للقيام بذلك. إذا تركت فنجانًا من القهوة في الغرفة لفترة كافية، فسوف تتفاعل القهوة والهواء الموجود في الغرفة، وفي النهاية ستحصل على قهوة بدرجة حرارة الغرفة وغرفة

أكثر دفئًا بدرجة طفيفة للغاية. المشكلة في الصورة القياسية للكون المبكر هي أنها لا تتضمن موقفًا يمكن فيه لجزأين بعيدين من الكون أن يتفاعلا ويتوصَّلا إلى اتفاق حول درجة الحرارة. إذا أخذنا نقطتين على جانبين متقابلين من السماء وتوصلنا إلى مدى تباعُدهما الآن، وإلى أي مدى كانتا متباعِدَتَيْن في البداية، قبل 13.8 مليار سنة، يصبح من الواضح أنه لم يكن هناك أي وقت في تاريخ الكون كانتا فيه قريبتين بدرجة تكفي لأن تنتقل أشعة الضوء ذهابًا وإيابًا بينهما لتنفيذ عملية التوازن الحراري. إن شعاع الضوء الذي بدأ من إحدى تلك النقاط عند بداية الكون لن يكون لديه الوقت حتى خلال 13.8 مليار سنة لتغطية المسافة اللازمة للوصول إلى النقطة الأخرى. إنهما، وكانتا دائمًا، خارج أفق بعضهما البعض: ليس لديهما القدرة على التواصل بأي شكل من الأشكال[1]. لذا، فإما أن تكون هذه هي المصادفة الأكثر ضخامة في الكون، أو أن شيئًا قد حدث في وقت مبكر وأدى إلى حدوث التوازن.

إن مشكلة العيوب أسهل نوعًا في التعبير عنها. وتنحصر المسألة فقط في هذا السؤال: من أين أتت تلك التَّقلُّبات ضئيلة الكثافة في الخلفية الميكروية الكونية، ولماذا هي على هذا النمط؟

---

(1) في هذا التفسير المبسط ثمة دِقَّة تنطوي على غموض كان يزعجني دائمًا. أقول لك من ناحية إن هذه المناطق لم تتواصل أبدًا في تاريخ الكون، ولكني أقول لك أيضًا إن الكون بدأ بتفرُّد حيث، كما يمكن أن نفترض، كانت جميع المسافات بين الأشياء صفرًا. السبب في أن ذلك لا يحلُّ المشكلة هو هذا: خُذ نقطتين على جانبي السماء الآن، وسوف نقول، على سبيل الجدل، إنهما كانتا على مسافة صفر عند الزمن صفر. المشكلة هي أنه في كل مرة بعد الصفر، لم تكن هذه الأجزاء على اتصال، ولم يكن من الممكن أن يكون بينها أي تبادل للمعلومات (مثل شعاع ضوء يحمل معلومات حول درجة الحرارة). ويمكن أن تقول: ماذا عن الصفر نفسه؟ بينما يمكننا تسمية اللحظة الأولى بالصفر، فقد كانت حرفيًا صفر زمن. بدأ الزمن عند التفرد. ومن ثم، لم يكن هناك أي وقت لتبادل المعلومات (لأنه لم يكن هناك أي زمن) وكل لحظة بعد ذلك تنطوي على مشكلة "التباعد الشديد بحيث لا يمكن التواصل".

نظرية التضخم الكوني تحلُّ هاتين المشكلتين، إلى جانب عدد قليل من المشكلات الأخرى. الفكرة الأساسية هي أنه كان هناك وقت في الكون المبكر، بعد التفرد ولكن قبل نهاية مرحلة الكرة النارية البدائية، كان فيه الكون يتوسَّع بسرعة مذهلة. يساعد هذا من خلال إتاحة فترة مبكرة استطاعت فيها منطقة صغيرة جدًّا الوصول إلى التوازن، وبعد ذلك سيأخذ التوسع السريع تلك المنطقة الصغيرة المستقرَّة جيدًا ويدفعها للتمدد حتى تغطي عالمنا المرصود بأكمله. تخيل أنك تأخذ لوحة تجريدية معقَّدة وتقوم بتضخيمها بشكل كبير بحيث يصبح المشهد الذي تراه بكامله لونًا واحدًا فقط. لقد ركَّز التوسع بشكل أساسي على جزء من الكون كان صغيرًا بما يكفي ليصبح بنفس درجة الحرارة بالفعل، وجعل الكون المرئي بأكمله من تلك المنطقة فقط.

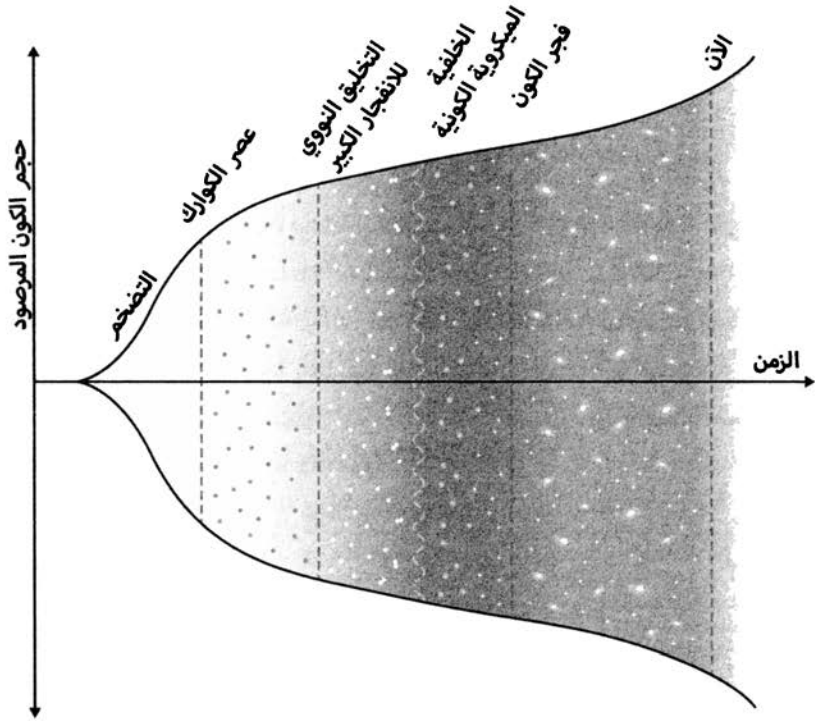
وإذا استحضرنا القليل من فيزياء الكَمِّ سنجد أن التضخم يفسر أيضًا تقلبات الكثافة بشكل ملائم. الفرق الأساسي بين فيزياء العالم دون الذري وفيزياء الحياة اليومية هو أنه على مستوى الجسيمات الفردية، تضفي ميكانيكا الكم عدمَ اليقين الجوهري الذي لا مفرَّ منه على كل تفاعل. ربما تكون قد سمعت عن مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج: إنها فكرة أن هناك حدًّا لدقَّة أي قياس، لأن عدم اليقين المتأصل في ميكانيكا الكم سوف يشوِّه النتيجة دائمًا بطريقة أو بأخرى. إذا قمت بقياس موضع جسيم بدقة شديدة، فلن تتمكَّن من تحديد سرعته، والعكس صحيح. حتى لو تركت الجسيم بمفرده، فإن جميع خصائصه ستكون عُرضةً لقدر ما من التحول العشوائي، وفي كل مرة تقيسه، سوف تحصل على إجابة مختلفة قليلًا.

كيف يرتبط هذا بالخلفية الكونية الميكروية؟ الفرضية هي أن التضخم كان مدفوعًا بنوع من مجال الطاقة معرض للتقلبات الكمِّيَّة: قفزات عشوائية لأعلى ولأسفل. هذه التقلبات، التي عادة ما تكون

مجرد ومضات سريعة الزوال على نطاق مجهري، تغير الكثافة على المستويات الصغيرة التي تحدث فيها، ثم تتمدَّد إلى مناطق كبيرة بما يكفي لتصبح تِلالًا ووديانًا كبيرة في توزيع كثافة غاز الكون البدائي. إن البقع الصغيرة التي نراها في الخلفية الميكروية الكونية تكون منطقية تمامًا إذا كانت هي التطور الطبيعي، على مدى مئات الآلاف من السنين، للتقلبات المحددة في أول $10^{-34}$ ثانية من الكون. وهذه البقع الصغيرة نفسها هي التي نَمَت في النهاية لتتكون منها جميع المجرات وعناقيد المجرات التي نراها اليوم.

إن حقيقة أن توزيع أكبر الهياكل في الكون يمكن أن يتمَّ تصميمه تمامًا وفقًا للاهتزاز الدقيق للمجال الكَمِّيِّ هو أمرٌ لا يتوقف عن إثارة دهشتي. إن الروابط بين علم الكون وفيزياء الجسيمات ليست أكثر وضوحًا أبدًا، أو أكثر إثارة للدهشة البصرية، منها عندما ننظر إلى الخلفية الميكروية الكونية.

لكننا نتقدم على أنفسنا. فوفق كل هذا، لا تزال الخلفية الكونية الميكروية على بُعد أحقاب كثيرة. فنحن لم نستطع تغطية سوى $10^{-34}$ ثانية، ولا يزال هناك الكثير من القصص لنرويها.




الشكل 6: **الجدول الزمني الكوني**: بعد البداية مباشرة، زاد حجم الكون المرئي بسرعة أثناء التضخم. ومنذ ذلك الحين كان الكون يتوسَّع (بمعدل أبطأ). في هذا الشكل تحديد لبعض اللحظات المهمة في تاريخ الكون.

وعندما انتهى التضخم، أصبح الكون الطفل فائق التمدد وأكثر برودة وخواء مما كان عليه عندما بدأ. وأعادته عمليةٌ تُسمَّى "إعادة التسخين" إلى درجة حرارة عالية في كل مكان، وعند هذه النقطة استمرت المسيرة العادية من التمدد والتبريد المطَّرِد.

## عصر الكوارك

في حين أنه من المحتمل أن الكون قبل التضخم كان محكومًا بنظرية موحدة كبرى، فإن الكون ما بعد التضخم كان يقترب من قوانين الفيزياء التي نراها اليوم. ومع ذلك، كان ما يزال أمامه طريق طويل. في هذه المرحلة، بينما انفصلت القوة النووية القوية عن حزب فيزياء الجسيمات الشامل الخاص بالنظرية الموحَّدة الكبرى، لم تكن القوى الكهرومغناطيسية والنووية الضعيفة قد تميَّزَتا بعد؛ لقد كانتا لا تزالان مندمجتين معًا بطريقة ما كقوة واحدة "كهروضعيفة". لكن الجسيمات بدأت في الظهور من "الحساء" البدائي، وتحديدًا الكواركات والجلونات quarks and gluons.

في أيامنا هذه، الكواركات هي الأكثر شيوعًا كمكوِّنات للبروتونات والنيوترونات (والتي تُسمَّى معًا هادرونات). الجلونات هي "الغراء" الذي يربط الكواركات معًا عبر القوة النووية القوية، ومن هنا اسمها مناسب تمامًا. إنها جيدة جدًّا في ربط الكواركات معًا، حتى إن الكواركات موجودة عادة على شكل ثنائي أو ثلاثي أو حتى في بعض الأحيان رباعي وخماسي، وقد ثبت أنه من المستحيل العثور على كوارك واحد معزول. واتضح أنه إذا كان لديك كواركان مرتبطان معًا (في جسيم غريب يسمى الميزون)، فيجب عليك استخدام قدر كبير من الطاقة لفصلهما، بحيث إنه قبل أن تتمكن من الفصل بينهما، فإن الطاقة التي استُهلِكَت تلقائيًّا في هذه العملية تنتج كواركين آخرين. تهانينا! لقد أصبح لديك الآن اثنان من الميزونات.

ومع ذلك، في الكون المبكر جدًّا، لم تكن القواعد المعتادة تنطبق على الكواركات المفردة أكثر مما تنطبق على أي شيء آخر. لم تكن قوى الطبيعة تعمل بموجب قوانين مختلفة فحسب، بل كان الكون يحتوي على مزيج مختلف من الجسيمات، وكانت درجات الحرارة

مرتفعة جدًّا، لدرجة أنه لم يكن من الممكن أن توجد حالات ترابط الكواركات في شكل مستقر. كانت الكواركات والجلونات تقفز بحرية في مزيج معكَّر ساخن يُسمَّى بلازما كوارك-جلون، وهو نوع مشابه للجزء الداخلي من النار، لكنه نووي.

استمر "عصر الكواركات" هذا حتى وصل الكون إلى مرحلة النضج وبلغ عمره ميكروثانية واحدة. في ذات الوقت، حيث في مكان ما (ربما عند علامة 0.1 نانو ثانية) انقسمت القوة الكهروضعيفة إلى قوة كهرومغناطيسية وقوة نووية ضعيفة. في ذلك الوقت أيضًا، حدث شيء ما أدَّى إلى التمييز بين المادة والمادة المضادة (التوأم الشرير للمادة السعيد بالفَناء)؛ ممَّا أتاح لمعظم المادة المضادة في الكون أن تفنى[1]. أما كيف ولماذا يحدث ذلك بالضبط، فهو أمر لا يزال لغزًا، ولكن حيث إننا مادة، يمكننا أن نكون سعداء بحدوث ذلك، لذلك نحن لا نصطدم باستمرار بجسيمات المادة المضادة ونختفي في نفثة من أشعة جاما.

وعلى النقيض من عصر النظرية الموحدة الكبرى، فإننا في الواقع نعرف الكثير عن عصر الكواركات وبلازما الكوارك-جلون. تطورت النظرية بشكل جيد جدًّا وهي أقل ابتعادًا عن فيزياء الجسيمات القياسية مقارنة بالنظرية الموحدة الكبرى، والتجارب تؤكد التنبؤات التي نقوم بها عندما نبدأ من نظريات القوة الكهروضعيفة ونستقرئ الدلائل من هناك. لكن الإنجاز الحقيقي هو أننا نستطيع بالفعل إعادة صنع بلازما الكوارك-جلون في المختبر. يمكن لمصادمات الجسيمات، مثل مصادم الأيونات الثقيلة النسبي (RHIC) ومصادم الهادرونات الكبير (LHC)، عن طريق تحطيم أنوية الذهب أو

(1) اليوم، نجد المادة المضادة في أنواع مُعيَّنة من تفاعلات الجسيمات، لكنها ملحوظة في الغالب لأنه عندما يلتقي جسيم مضاد للمادة بجسيم مادة عاديٍّ، يفنيان، حيث يدمِّر كُلٌّ منهما الآخر؛ ممَّا يؤدِّي لخلق دفقة من الطاقة.

الرصاص معًا بسرعات عالية للغاية، إنتاج كريات نارية صغيرة جدًّا ساخنة وكثيفة للغاية لدرجة أنها تسحق جميع الجسيمات معًا، وتملأ المصادم في لحظات بحالة بلازما الكوارك-جلون. ومن خلال مشاهدة الحطام وهو "يتجمد" ويتحول إلى هادرونات عادية، يستطيع العلماء دراسة خصائص هذه المادة الغريبة بالإضافة إلى الطريقة التي تعمل بها قوانين الفيزياء في ظل تلك الظروف القاسية.

وإذا كانت رؤية الخلفية الميكروية الكونية تعطينا لمحة عن الانفجار الكبير، فإن مصادمات الجسيمات عالية الطاقة تعطينا لمحة عن الحساء البدائي[1].

## التخليق النووي للانفجار الكبير

بعد مرحلة بلازما كوارك-جلون، بدأ الكون يبرد بدرجة كافية لتتشكل بعض الجسيمات المألوفة. وفي حوالي عُشر ملِّلي ثانية، تشكَّلَت البروتونات والنيوترونات الأولى، تليها الإلكترونات بعد فترة وجيزة؛ ممَّا أدَّى إلى وضع اللبنات الأساسية للمادة العادية. وفي مكان ما بعد دقيقتين تقريبًا، برد الكون إلى درجة مريحة تبلغ مليار درجة مئوية، وهي درجة حرارة أعلى من مركز الشمس ولكنها باردة بما يكفي للسماح للقوة القوية بجمع تلك البروتونات والنيوترونات الجديدة اللامعة معًا. وهذه شكَّلَت أول نواة ذَرِّيَّة مترابطة: شكل من أشكال الهيدروجين يُسمَّى الديوتيريوم (بروتون واحد مرتبط بنيوترون واحد؛ ومن الممكن في الواقع اعتبار البروتون الواحد نواة أيضًا، لأنه مركز ذَرَّة

(1) وهي أيضًا، بالمصادفة، تمنحنا فكرة عن النهاية الأخرى للزمن: لقد أظهرت لنا اكتشافات باهرة حديثًا دليلًا على أن نهاية الكون قد تأتي بطريقة غير متوقَّعة على الإطلاق، وقد تحدث في أية لحظة. لكن سوف أغطي هذا فيما بعد في الكتاب؛ لا داعي للتَّسرُّع. ربما سنتمكَّن من الوصول حتى الفصل السادس.

الهيدروچين). وسرعان ما كانت النوى تتشكَّل يمينًا ويسارًا. بدأت أجزاء من البروتونات والنيوترونات في الانضمام معًا لتكوين نوى الهيليوم والتريتيوم وقليل من الليثيوم والبريليوم. استمرت هذه العملية، التي تسمى التخليق النووي للانفجار الكبير، لمدة نصف ساعة تقريبًا، حتى برد الكون وتوسَّع بدرجة كافية بحيث أصبحت الجسيمات قادرة على الابتعاد عن بعضها البعض بدلًا من الاندماج معًا.

إحدى أهم وسائل التدليل على صحة نظرية الانفجار الكبير هي حقيقة أننا نجد تطابقًا وثيقًا بين ملاحظاتنا في الكون والوفرة المحسوبة للعناصر التي نتوقَّعها من الانفجار الكبير بناءً على تقديراتنا لدرجة حرارة وكثافة تلك الكرة النارية البدائية. الاتفاق ليس مثاليًا -هناك بعض الالتباس المستمر حول وفرة الليثيوم والذي قد يدلُّ أو لا يدلُّ على المزيد من الأحداث الغريبة التي حدَثَت في الكون المبكِّر- ولكن مع الهيدروچين والديوتيريوم والهيليوم، ومع قياس الكمية التي نراها بالفعل هناك ومقارنتها بما نحسب أنه ما ينبغي أن يحدث إذا دفعت الكون بأكمله إلى فرن نووي ينتج عنه نوع جميل للغاية من التوافق.

وبغضِّ النظر عن ذلك، فإن حقيقة أن كل الهيدروچين الموجود في الكون قد أُنتج في الدقائق القليلة الأولى يعني أن جزءًا كبيرًا جدًّا مما صُنعنا منه أنتَ وأنا كان موجودًا في الكون بشكل أو بآخر تقريبًا منذ وطوال فترة وجود الكون. ربما تكون قد سمعتَ عبارة "نحن مصنوعون من غبار النجوم" (أو "أشياء نجمية" إذا كنت ساجان[1])، وهذا صحيح تمامًا إذا استخدمنا **الكتلة** في القياس. إن جميع العناصر الأثقل في جسمك -الأكسچين، والكربون، والنيتروچين، والكالسيوم، إلخ...- أُنتِجَت في وقت لاحق، إما في مراكز النجوم أو في الانفجارات النجمية. لكن الهيدروچين، رغم أنه الأخف، هو أيضًا أكثر العناصر

(1) كارل ساجان (Carl Sagan 1934 -1996)، كان فلكيًّا وعالِمَ كون أمريكيًّا. [المترجمة]

وَفـرَةً في جسـمك مـن حيـث **العـدد**. لـذا، نعـم، أنـت تحمـل في داخلـك غبـار الأجيـال القديمـة مـن النجـوم. ولكنـك أيضًـا، بنسـبة كبـيرة جـدًّا، تتكـوَّن مـن المنتجـات الثانويـة للانفجـار الكبـير الفعـلي. ولا تـزال مقولـة كارل سـاجان الأكـبر قائمـة، بـل حتـى وبدرجـة أكـبر: "نحـن وسـيلة يعـرف بهـا الكـون نفسـه".

## سطح التَّشتُّت الأخير

بعـد التخليـق النـووي للانفجـار الكبـير، بـدأت الأمـور في الجحيـم الكـوني تسـتقر نسـبيًّا. في تلـك المرحلـة، كانـت عمليـة امتـزاج الجسـيمات قـد اسـتقرَّت إلى حـدٍّ مـا، وسـيظل الأمـر كذلـك حتى ظهـور النجـوم الأولى، بعـد ملايـين السـنين. لكـن لمئـات الآلاف مـن السـنين، كان الكـون لا يـزال عبـارة عـن بلازمـا سـاخنة طنَّانـة تتكـون في الغالـب مـن نـوى الهيدروچـين والهيليـوم والإلكترونـات الحـرة، مـع تطايـر الفوتونـات (جسـيمات الضـوء) فيـما بينهـا.

وبمـرور الوقـت، أعطـى توسُّـع الكـون مجـالًا لـكل تلـك الإشـعاعات والمـادة للانتشـار. أتخيـل أحيانًـا أننـي قـد مـررت بتلـك المرحلـة مـن الكـون المبكـر فيـما يشـبه رحلـة مـن مركـز الشـمس إلى الخـارج، ولكـن بـدلًا مـن التحـرك عـبر الفضـاء، فإنـك تتحـرك عـبر الزمـن. تبـدأ في مركـز الشـمس، حيـث الحـرارة والكثافـة عاليـة جـدًّا لدرجـة أن النـوى الذريـة تندمـج معًـا لتكويـن عنـاصر جديـدة. وداخـل الشـمس معتـم بالضـوء، حيـث تقفـز الفوتونـات باسـتمرار مـن الإلكترونـات والبروتونـات بعنـف شـديد لدرجـة أنهـا قـد تسـتغرق مئـات الآلاف مـن السـنين مـن الانتشـار المسـتمر حتـى يصـل أحـد الفوتونـات إلى السـطح. في النهايـة، وبينـما نتحـرك نحـو الخـارج، تصبـح البلازمـا أقـلَّ كثافـة ويكـون الضـوء قـادرًا عـلى الانتقـال لمسـافة أبعـد بـين الانتشـارات. وعـلى السـطح، يمكـن أن يتدفـق بحريـة إلى الفضـاء.

وبطريقة مماثلة، فإن الرحلة عبر الزمن من الدقائق القليلة الأولى للكون حتى حوالي 380 ألف سنة لاحقة تأخذ الكون بأكمله من تلك البلازما الكثيفة الساخنة إلى غاز تبريد من البروتونات والإلكترونات التي يمكن أن تجتمع أخيرًا لتكوين ذرّاتٍ محايدة، ممَّا يتيح للضوء الانتقال بحرية فيما بينها بدلًا من الارتداد المستمر عن الجسيمات المشحونة. نحن نطلق على نهاية هذه المرحلة من الكرة النارية في بداية الكون اسم "سطح التَّشتُّت الأخير" (surface of last scattering)، لأنه نوع من السطح الزمني الذي ينتقل فيه الضوء من كونه حبيسًا في البلازما إلى السفر لمسافات طويلة عبر الكون.

هذا ما نراه عندما ننظر إلى الخلفية الإشعاعية الميكروية للكون: اللحظة التي تحدد نهاية الانفجار الكبير الساخن، والانتقال إلى كونٍ يكون فيه الفضاء مظلمًا وصامتًا وينتقل الضوء من خلاله. إنها أيضًا بداية العصور المظلمة الكونية، وهو الوقت الذي يبرد فيه الغاز ببطء ويتكثف في كُتَلٍ، منجذبًا إلى ومضات الكثافة الصغيرة التي تنشأ عن تلك التقلبات الأولية. في وقتٍ ما بعد مرور مائة مليون عام، تصبح إحدى تلك الكتل كثيفة جدًّا لدرجة أنها قادرة على الاشتعال لتشكِّل نجمًا، ويبدأ الفجر الكوني رسميًّا.

## الفجر الكوني

إن التحول من كون مظلم وغازي إلى كون متلألئ بضوء المجرات والنجوم كان مدفوعًا، إلى حدٍّ كبير، بنوع من المادة الغريبة جدًّا لدرجة أننا لم نتمكن من إعادة تكوينها حتى في أقوى مصادمات الجسيمات. ففي خليط الإشعاع وغاز الهيدروجين وعناصر بدائية أخرى كانت هناك مادة نعرفها اليوم باسم المادة المعتمة dark matter. وهي ليست معتمة حقًّا، ولكنها بالأحرى غير مرئية: يبدو أنها غير راغبة في التفاعل مع الضوء بأي شكل من الأشكال. فهي لا تبعث الإشعاع،

ولا تمتصُّه، ولا تعكسه. إن أي شعاع ضوئي يتجه نحو كتلة من المادة المعتمة، على حدٍّ علمنا، يمر عبرها مباشرة. ولكن ما تتألق فيه المادة المعتمة حقًّا[1] هو قدرتها على الجاذبية. عندما تحاول المادة العادية أن تتكثَّف في كتلة تسحبها جاذبيتها الخاصة، فإن تلك المادة لديها الضغط الخاص بها، وتقاوم بالمقابل. لكن المادة المعتمة يمكن أن تتكثَّف دون الشعور بهذه القوة. أحد الآثار الجانبية لعدم التفاعل مع الضوء هو عدم التفاعل كثيرًا مع أي شيء على الإطلاق، لأنه في معظم الظروف، تأتي الصدامات بين جزيئات المادة من التنافر الكهروستاتيكي، الذي يحتاج إلى التفاعل مع الضوء لكي يحدث. (الفوتونات هي جسيمات من الضوء، ولكنها أيضًا حاملة للقوة الكهرومغناطيسية، لذلك إذا كان هناك شيء غير مرئي، فإنه لا يتعرض للجذب أو التنافر الكهرومغناطيسي.) لا كهرومغناطيسية، لا ضغط.

حدثت الومضات الصغيرة الأولى من المادة عالية الكثافة بناء على التقلبات في نهاية التضخم، وقد احتوت تلك الومضات الصغيرة على مزيج من الإشعاع والمادة المعتمة والمادة العادية. ولأن المادة العادية كان لها ضغط واختلطت بالإشعاع، ففي البداية كانت المادة المعتمة فقط هي القادرة على التجمع معًا بسبب الجاذبية دون الارتداد على الفور. وفيما بعد، عندما توسَّع الكون أكثر وتدفَّق الإشعاع بعيدًا عن المادة التي تبرد، تمكن الغاز من السقوط في آبار الجاذبية تلك، وبدأ في التكاثف على هيئة نجوم ومجرات. وحتى اليوم، فإن بنية المادة على المقاييس الأكبر -الشبكة الكونية من المجرات وعناقيد المجرات- مدعومة بشبكة من كتل وخيوط المادة المعتمة. في الفجر الكوني، بدأت تلك الكتل والخيوط غير المرئية في التَّوهُّج أوَّلًا، حيث اشتعلت النجوم والمجرات وأشرقت، متألِّقةً على طول الشبكة مثل الأضواء الخيالية في الظلام.

---

(1) آسفة جدًّا.

## عصر المجرات

جاء التحول الكبير التالي للكون عندما كان هناك قدر كبير من ضوء النجوم يتدفق عبر الفضاء لدرجة أنه كان قادرًا على تأيين الغاز المحيط الذي أصبح محايِدًا في نهاية مرحلة الكرة النارية الكونية. أدَّى هذا الضوء النجمي المكثف إلى إعادة تفكيك ذرات الهيدروچين إلى إلكترونات وبروتونات حرة؛ ممَّا أدَّى إلى خلق فقاعات عملاقة من غاز الهيدروچين المتأيِّن تحيط بعناقيد المجرات الأكثر سطوعًا. كانت تلك الفقاعات المتوسعة عبر الكون بمثابة علامة على عصر إعادة التأيُّن ("إعادة" لأن الغاز كان قد تأيَّن أثناء الانفجار الكبير في البداية، ثم ها هو الآن يتأيَّن مرة أخرى بواسطة النجوم). إن هذا التحول، الذي اكتمل عند علامة المليار سنة تقريبًا، هو الآن أحد حدود علم الفلك الرصدي، وقد بدأنا للتو في فهم كيف ومتى حدث ذلك. وفي ما يقرب من 13 مليار سنة منذ ذلك الوقت، استمرَّت الأمور بنفس الطريقة تقريبًا: تتشكَّل المجرات وتتَّحِد، وتتراكم الثقوب السوداء هائلة الكتلة في مراكز المجرات، وتولد نجوم جديدة وتعيش حياتها.

***

وهكذا، ها نحن هنا. الكون كما نراه اليوم عبارة عن شبكة واسعة وجميلة من المجرَّات التي تسطع في الظلام. يدور عالمنا الجميل ذو اللونين الأزرق والأبيض حول نجم أصفر متوسط الحجم في مجرة يمكن اعتبارها، بأي معنى واضح، قريبة من المتوسط. وفي حين أننا لم نجد بعدُ إشارات واضحة، فإن هذه المجرة غير الملحوظة ربما تعجُّ بالحياة، حيث إن حطام المستعرات الأعظم التي انفجرت منذ فترة طويلة تخلق المكونات الأساسية للحياة في كل من العوالم المنتشرة حول مائة مليار نجم. وفقًا للتقديرات الحالية، فإن ما يصل

إلى واحد من كل عشرة أنظمة نجمية يشمل كوكبًا بالحجم المناسب والمسافة المناسبة بينه وبين نجمه ليحتفظ بالماء السائل على سطحه- وهي إشارة، وإن لم تكن مؤكدة، إلى أن الحياة يمكن أن تجد طريقة للازدهار. وفي تريليون مجرة أخرى مرئية عبر الكون المرصود، يمكن أن يكون هناك عددٌ لا يُحصَى من الأنواع الحية الأخرى، مع حضاراتها وفنونها وثقافاتها ومساعيها العلمية، وكلها تحكي قصصها عن الكون من وجهات نظرها الخاصة، وتكتشف ببطءٍ ماضيها البدائي. وفي كل من هذه العوالم، ثمة مخلوقات تشبهنا أو لا تشبهنا، ربما تحاول اكتشاف الطنين الخافت لخلفية الموجات الميكروية الكونية، وتستنتج حدوث الانفجار الكبير والمعرفة المذهلة بأن كوننا المشترك لا يعود في الزمن إلى الوراء أبدًا، ولكن كانت لديه لحظة أولى، وجسيم أول، ونجم أول.

وتلك الكائنات الأخرى، مثلنا، قد تصل إلى نفس الإدراك: أن الكون غير الثابت، والذي كانت له بداية مميزة، لا بُدَّ أيضًا، حتمًا، أن تكون له نهاية.

# الفصل الثالث
# الانسحاق العظيم

دعنا نبدأ بنهاية العالم، لماذا لا نفعل؟ فلننتَهِ من ذلك لننتقل إلى أشياء أكثر أهمية.

**نورا كيتا چيميسين** N. K. Jemisin, ***The Fifth Season***

في ليلة مُظلِمة خالية من القمر في فصل الخريف، في نصف الكرة الشمالي، ابحث عن الشكل W العريض لكوكبة كاسيوبيا (ذات الكرسي Cassiopeia). انظُر بإمعان في المساحة الموجودة أسفله لبضع ثوان، وإذا كانت السماء مُظلِمة بدرجة كافية، فسترى ضبابية خافتة غامضة في مثل عرض البدر تقريبًا. وهذا الضباب هو مجرَّة أندروميدا (المرأة المسَلسَلة Andromeda)، وهي عبارة عن قرص حلزوني ضخم يتكون من حوالي تريليون نجم وثقب أسود فائق الضخامة، تندفع جميعها نحونا بسرعة 110 كيلومتر في الثانية.

في مدى أربعة مليارات سنة تقريبًا، ستصطدم مجرة أندروميدا بمجرتنا درب التبانة؛ مما سيخلق عرضًا ضوئيًا رائعًا. ستُقذف النجوم على نحوٍ عشوائي خارج مداراتها، لتشكِّل تيارات نجمية تمتدُّ عبر الكون في أقواس رشيقة. سيؤدي التصادم المفاجئ للهيدروجين في كلتا المجرَّتين إلى حدوث انفجار بسيط لولادة النجوم. سوف يشتعل الغاز حول الثقوب السوداء المركزية الهائلة التي كانت نائمة قبل ذلك، والتي ستتجمَّع في منتصف كل شيء وتلتفُّ ببعضها. سوف تخترق دفقات من الإشعاع المكثف والجسيمات عالية الطاقة التشابك الفوضوي للغاز والنجوم، في حين سوف تصبح المنطقة الوسطى من مجرة ميلك-دروميدا الجديدة مُشِعَّة من جديد بوهج الأشعة السينية الساخنة لدوَّامة من المادة المنكوبة التي تسقط في الثقب الأسود الهائل الجديد.

وحتى في خضمِّ هذا الرتل من الحطام المجراتي الهائل، فإن المسافات الشاسعة بين النجوم ستجعل التأثيرات المباشرة على النجوم غير مُحتمَلَة: فمن المحتمل أن يظل النظام الشمسي ككل على قيد الحياة، بشكل أو بآخر. لكن ليس الأرض. بحلول ذلك الوقت، ستكون الشمس قد بدأت بالفعل في الانتفاخ لتصل إلى حجم العملاق الأحمر؛ مما يؤدي إلى تسخين الأرض بما يكفي لتصل حرارة المحيطات إلى الغليان ويصبح السطح معقَّمًا تمامًا وخاليًا بالتالي من أي احتمال للحياة. ومع ذلك، إذا تمكَّنت أي قاعدة أمامية للإبداع البشري من الحفاظ على وجودها في النظام الشمسي للمراقبة، فإن الجمع بين المجرَّتين الحلزونيتين العظيمتين سيكون بمثابة عملية مذهلة وجميلة، ستستمر على مدى مليارات السنين. وعندما يهدأ تقاذف الجسيمات ونيران المستعر الأعظم، ستصبح الكتلة الناتجة عبارة عن مجموعة إهليلجية عملاقة من النجوم القديمة والمحتضرة.

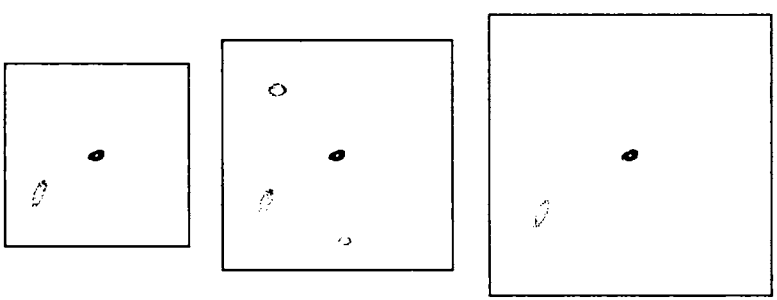
***

بقدر ما في اندماج المجرات من حالة كارثية بالنسبة لأولئك الذين يعيشون داخلها، إلا أنه يُعدُّ حدثًا يوميًّا بالمعنى الكوني، والغريب أنه يبدو جميلًا إذا نظرنا إليه من زاوية رؤية بعيدة للغاية. المجرات الكبيرة تمزِّق المجرات الأصغر وتلتهمها، كما أن الأنظمة النجمية المجاورة تتَّحِد مع بعضها البعض. وهناك أدِلَّة على أن مجرتنا درب التبانة قد استهلكت العشرات من جيرانها الأصغر حجمًا، ولا يزال بإمكاننا رؤية أذيال من آثار النجوم ترسم أقواسًا عملاقة حول قرص مجرتنا مثل الحطام الناتج عن حادث صدام بين النجوم.

ومع ذلك، في جميع أنحاء الكون، تتزايد ندرة حدوث مثل هذه الصدامات. الكون يتوسع: الفضاء نفسه -أي المسافة بين الأشياء، وليس الأشياء الموجودة فيه- يكبر. وهذا يعني أن المجرات الفردية المنعزلة ومجموعات المجرات تتباعد أكثر فأكثر في المتوسط. لا يزال من الممكن حدوث عمليات اندماج داخل كل مجموعة وكل عنقود. مجموعة جيراننا المباشرين من الأنظمة النجمية، أعضاء ما نطلق عليه تسمية لطيفة هي: "المجموعة المحلية"، هي عصابة من غوغاء المجرات الصغيرة وغير المنتظمة التي يهيمن عليها الحلزونان العملاقان، ومن المقدَّر لنا جميعًا أن نصبح لطيفين ومتمتِّعين بارتياحٍ عاجلًا أم آجِلًا. ومع ذلك، قُم بالمغامرة أبعد من ذلك، إلى ما هو أبعد من بضع عشرات الملايين من السنين الضوئية، وسيبدو أن كل شيء ينتشر ويتوسع.

والسؤال الكبير، على المدى الطويل، هو: هل سيستمر هذا التوسع إلى أجل غير مسمى، أم أنه سيتوقف في نهاية المطاف، ثم يستدير، ويتسبب في انهيار كل شيء معًا؟ كيف نعرف حتى أن التوسع يحدث بالفعل؟

عندما تكون في كون يتوسع بنفس الطريقة في كل اتجاه، فإنه لا يبدو توسُّعًا في حَدِّ ذاته، بل يشبه الظاهرة الغريبة المتمثِّلة في انحسار كل شيء آخر عنك... أينما تكون. ومن وجهة نظرنا، نرى المجرات البعيدة كلها تبتعد عنَّا، كما لو أن نوعًا من القوة التنافرية يصدر عنَّا. ولكن إذا كنا فجأة في مجرَّة على بعد مليار سنة ضوئية من هنا، فسنرى نفس الظاهرة: درب التبانة وكل شيء آخر خارج مسافة معيَّنة سوف ينحسر عن تلك النقطة. هذا السلوك هو نتيجة غير بديهية نوعًا لأن الفضاء يكبر بنفس الطريقة، وبنفس المعدل، في كل مكان.



الشكل 7: رسم توضيحي للتوسع الكوني. هنا، يُمثل الحجم المتزايد للكون في ثلاث لحظات مختلفة من خلال الحجم المتزايد للمربع من اليسار إلى اليمين. مع مرور الزمن، تبتعد المجرات عن بعضها البعض، لكنها لا تكبر مع توسع الفضاء.

والنتيجة هي أن كل نقطة في الكون هي حلقة الوصل لما يبدو أنه تنافُر موحَّد قوي. الواقع أن الكون ليس له مركز. ولكن كل واحد منَّا هو مركز الكون الذي يمكن ملاحظته[1]. ومن وجهة نظرنا،

(1) أن تكون أنتَ مركز الكون الخاص بك قد تبدو فكرة جذَّابة في البداية، حتى تتحقق من أن الدليل الذي يُرصد لذلك هو أن كل شيء يحاول الابتعاد عنك بأسرع ما يمكن.

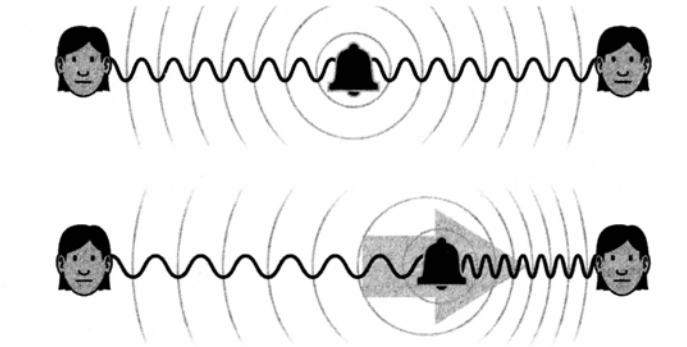
فإن جميع المجرات الأبعد من جيراننا القريبين تبتعد عنَّا بأسرع ما يمكن. هذا لا يختص بنا؛ إنها الكوزمولوچيا.

كان اكتشاف التوسُّع الكوني أصعب ممَّا تعتقد. في حين أن المجرات الأخرى غير مجرَّتنا كانت مرئيَّةً من خلال التلسكوبات منذ القرن الثامن عشر، إلا أن مسافاتها كبيرة جدًّا وحركاتها بطيئة جدًّا (كما تبدو لنا من خلال مقاييس الزمن البشرية) حتى إن تحديد كيفية حركتها بالنسبة لنا، بل وأنها مجرات أصلًا، استغرق أكثر من قرنين من الزمان. وحتى الآن، لا تستطيع أقوى التلسكوبات رؤية الحركة مباشرة، ولا تبدو المجرات أبعد في كل مرة ننظر فيها. ولكن يمكننا اكتشاف ذلك عن طريق استخلاصه بعناية من بعض الخواص -خواص المجرات- التي قد تبدو غير ذات صِلة: لون الضوء الصادر عنها.

إذا كنت قد سمعت يومًا ارتفاعًا ثم هبوطًا مفاجئًا لصوت "ڤووو... ووو!" صادرًا عن سيارة سباق تمرُّ بجوارك، أو التغير في النغمة عندما تقترب صفارة الإنذار وتنحسر، فأنت على دراية بظاهرة دوبلر[1]. إن تأثير دوبلر من النوع الذي يمكن أن تواجهه عادة هو ظاهرة ارتفاع حدَّة الصوت عندما يتحرك الجسم الذي يُصدِره نحوك، وانخفاض حدَّة الصوت عندما يتحرك مبتعدًا. يتعلق الأمر بالطريقة التي تتراكم بها موجات الضغط في الهواء عند الاقتراب وتمتد عند الابتعاد؛ ممَّا يؤدي إلى تغير تردد الصوت الذي تسمعه. ذلك أن التردد، على أية حال، هو مدى سرعة الأمواج التي تضربك واحدةً تلو الأخرى. في الصوت، هذه هي موجات الضغط، والتردد الأعلى هو طبقة صوت أعلى.

---

(1) تأثير دوبلر Doppler effect: وتسمى أيضًا إزاحة دوبلر Doppler shift، هو ظاهرة تغيرُّ التردد في موجات الصوت بالنسبة لمراقب يتحرك بالنسبة لمصدر صوت الموجة. وقد سُمِّيَت باسم الفيزيائي كريستيان دوبلر Christian Doppler الذي وصف هذه الظاهرة في عام 1842. [المترجمة]



الشكل 8: رسم توضيحي لإزاحة دوبلر. عندما يكون مصدر الصوت ثابتًا، يكون التردد الذي يسمعه مراقبان ثابتان هو نفسه. عندما يتحرك مصدر الصوت، يتمدَّد الصوت إلى تردُّدات أقل بالنسبة للراصد الذي ينحسر المصدر عنه، وينضغط إلى ترددات أعلى بالنسبة للراصد الذي يقترب الصوت منه. الأول يسمع نغمة منخفضة، بينما يسمع الأخير نغمة عالية.

والحق أن الضوء يفعل شيئًا مشابهًا. فالضوء الذي يتحرك نحوك بسرعة سوف يتحوَّل إلى تردد أعلى، والضوء الذي يتحرك مبتعدًا سوف يتحوَّل إلى تردد أقل. بالنسبة للضوء، يتوافق التردد مع اللون؛ لذلك يبدو هذا التحول وكأنه تَغيُّر في اللون. يمتدُّ الطيف الكهرومغناطيسي إلى ما هو أبعد من المرئي، ولكن باختصار، عندما تحدث إزاحة دوبلر للضوء، يُسمَّى التحول لأعلى الإزاحة الزرقاء (لأن الضوء المرئي عالي التردد يقع على الطرف الأزرق من الطيف)، والتحول للانخفاض يُسمَّى الإزاحة الحمراء. يمكن للضوء المرئي ذي الإزاحة الزرقاء الشديدة أن يصل إلى أشعة جاما، بينما يظهر الضوء ذو الإزاحة الحمراء الشديدة كإشارة راديو. وتُعدُّ هذه الظاهرة من أهم الأدوات وأكثرها تنوُّعًا في علم الفلك، فهي تتيح لنا أن نرى، فقط من لون نجم أو مجرة، إذا كانت تتحرَّك نحونا أو تبتعد عنَّا.

وبطبيعة الحال، في الممارسة العملية، الأمر ليس بهذه البساطة (الفيزياء الفلكية يمكن أن تكون محبِطة هكذا). بعض النجوم والمجرات أكثر احمرارًا، بطبيعتها، من غيرها. كيف يمكن إذن معرفة ما إذا كان الشيء أحمر لأن هذا لونه، أو أحمر لأنه ينحسر؟[1]. والحل هو أن الضوء ليس لونًا واحدًا أبدًا، بل منتشر عبر التَّرَدُّدات، أي الطيف. ترجع الأنماط المميزة في طيف النجم إلى امتصاص أو انبعاث نقاط من الضوء بواسطة عناصر كيميائية مختلفة في الغلاف الجوي للنجم. عندما يمر الضوء من خلال منشور، تظهر ألوان مختلفة بكثافات مختلفة، وتظهر خطوط أو فجوات داكنة عند تلك الترددات المحددة حيث قامت الذرات الموجودة في الغلاف الجوي للنجم بامتصاص الضوء- أُزيل الضوء عند تلك الترددات بواسطة الغاز قبل أن يصل إليك. تنتج هذه الخواص نوعًا من الرمز الشريطي أو الباركود الفريد لكل عنصر، مع نمط من الخطوط التي يمكن لعلماء الفلك التعرف عليها بنظرة واحدة. لذلك، على سبيل المثال، سيظهر الضوء الذي يمرُّ عبر سحابة من الهيدروجين بنمط محدَّد يشبه أسنان المشط من الخطوط الداكنة عندما ينتشر عبر جميع الترددات. ونحن نعرف من خلال الاختبارات المعملية أين ينبغي أن تكون الخطوط، وكيف لا بُدَّ أن يبدو النمط، ويمكننا تكرار العملية مع الأنماط الخاصة بالعناصر الأخرى أيضًا. إذا كان للنجم نمط يشبه المشط يمكن التعرف عليه في طيفه، ولكن الخطوط تظهر بتردُّدات "خاطئة"، فهذا يشير إلى أن الضوء الصادر من النجم قد تغيَّر بسبب حركة النجم. إذا انزاح كلُّ خَطٍّ بنفس الطريقة إلى ترددات أقل، فهذه إزاحة حمراء والنجم يتحرك بعيدًا. إذا انزاح كلُّ خطٍّ للأعلى، فهذا تحوُّل إلى اللون الأزرق والنجم يقترب. ونتعرف من مدى إزاحة الخطوط على مدى سرعة تحرك النجم.

---

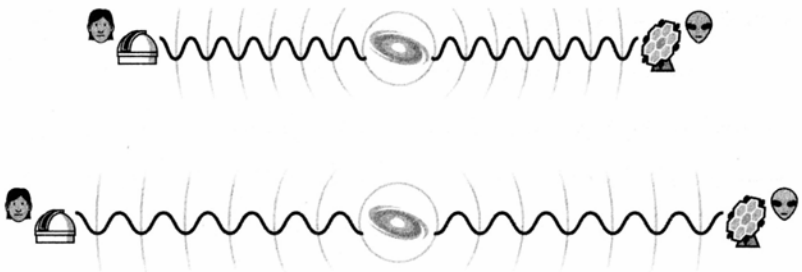
(1) وأحيانًا نقابل مشكلة مماثِلة مع "صغير" مقابل "بعيد".

لقد أصبح علماء الفلك متمرسين جيدًا بهذا النوع من القياس. تُعَدُّ الإزاحة الحمراء أو الإزاحة الزرقاء الآن أحد أكثر الأشياء التي يمكن ملاحظتها بشكل مباشر حول أي مصدر للضوء في الكون، بشرط أن يؤخذ طيف له أي نمط خطي يمكن التعرف عليه. ويمكننا استخدامه لمعرفة كيف تتحرك النجوم داخل مجرتنا بالنسبة لنا، أو للكشف عن التذبذبات الصغيرة لأحد النجوم تأثرًا بالسحب الناتج عن مدار كوكب حوله.

وعندما يتعلق الأمر بالمجرات البعيدة، يمكننا الآن استخدام الإزاحة الحمراء لقياس ليس فقط كيفية حركتها بالنسبة لنا -نحونا أو بعيدًا عنَّا، ومدى سرعتها أو بطئها- ولكن أيضًا مدى بُعدها عنَّا أثناء هذه الحركة. كيف يحدث هذا؟ إن توسُّع الكون يعني أنه مهما كانت المجرة تتحرك عبر فضائها الخاص، فإن حقيقة أن الفضاء يتوسع في المسافة بيننا وبينها تعني أنها، بشكل عام، سوف تتحرك بعيدًا عنَّا. ومدى سرعة ابتعادها عنَّا يعتمد على مدى بُعدها عنَّا الآن.

في عام 1929، كان عالِم الفلك إدوين هابل Edwin Hubble ينظر إلى الإزاحة الحمراء في المجرات عندما لاحظ نمطًا مدهشًا رغم بساطته. لاحظ هابل أن المجرات البعيدة لديها، في المتوسط، إزاحات حمراء أعلى. أتاحت لنا هذه العلاقة تأكيد توسُّع الكون، بالإضافة إلى رسم خريطة لتطوره. وبترجمة الإزاحات الحمراء إلى سرعات، فإن النمط الذي اكتشفه هابل يعني أنه كلَّما كانت المجرة أبعدَ، زادت سرعة ابتعادها عنَّا.

مكتبة
t.me/soramnqraa



الشكل 9: التوسع الكوني والإزاحة الحمراء. مع توسع الكون، يتمدَّد الضوء القادم من المجرات البعيدة بسبب التوسع الكوني. وهذا يعني أننا، مع استمرار توسع الكون، سوف نرصد الضوء القادم من مجرة بعيدة بطول موجي أطول (إزاحة نحو الأحمر). ولأن التوسع يحدث في كل مكان، فإن مراقبًا آخر يراقب مجرة بعيدة في مكان آخر في الكون سيرى أيضًا ضوء تلك المجرة ينزاح نحو الأحمر.

تخيَّلْ تَمَدُّد قطعة من قماش مطاطي بين يديك (فقط التمدد، وليس الارتداد. نحن نتحدث عن العلم)، بينما تقوم بإبعاد يديك عن بعضهما البعض، فإن كل تجعيدة من المطاط تتحرك بعرض إصبع واحدة مبتعدة عن التجعيدة المجاورة لها، لكنَّ الضفتين في الطرفين المتقابلين ستتباعدان بقدر بضعة أقدام في نفس القدر من الزمن. إذا كان الفضاء يتوسَّع بشكل موحد في جميع الاتجاهات، فلا بُدَّ أن علاقةً من نفس النوع مستمرة، وهذا بالضبط ما وجده هابل في ملاحظاته. رياضيًّا، يمنحنا هذا قاعدة بسيطة ومريحة: السرعة الظاهرية للمجرة تتناسب طرديًّا مع مسافة بُعدها. وهذا يعني، أوَّلًا، أن الأشياء الأبعد تتحرك بعيدًا بشكل أسرع. وثانيًا: هناك رقم واحد يمكنك به مضاعفة مسافة أي مجرة للحصول على سرعتها. وفي حين أن بيانات هابل هي التي أثبتت العلاقة نهائيًّا وأنتجت تقديرًا لذلك العدد، فقد كان عالِم الفلك والكاهن البلجيكي جورج ليميتر Georg-es Lemaître قد تنبَّأ بالتناسب نظريًّا قبل بضع سنوات. ومن ثم،

تُعرف العلاقة باسم قانون هابل-ليمتر[1]. أما ثابت التناسُب (الرقم الذي تُضرب به المسافة) فيُسمَّى ثابت هابل.

الجزء الحاسم بالنسبة لنا هنا هو العلاقة بين الإزاحة الحمراء والمسافة. وهذا يعني أنه يمكننا النظر إلى مجرة بعيدة، وقياس مدى الإزاحة الحمراء، وتحديد مدى بُعد المجرة بالضبط بناء على ذلك. (مع بعض الإجراءات الفنية)[2].

لكن الإزاحة الحمراء مرتبطة أيضًا بالزمن الكوني. إن توسُّع الكون يجعل الكثير من الأشياء غريبة في علم الفلك، وأحدها هو أننا نستخدم ما هو في الأساس لون، مكتوبًا كرقم، للدلالة على السرعة والمسافة و"العمر الذي كان فيه الكون في الوقت الذي كان ذلك الشيء فيه مضيئًا". الفيزياء متهورة.

وإليك كيف يمكن هذا. إذا قِسنا الإزاحة الحمراء لمجرة ما، سوف نعرف مدى سرعة ابتعادها عنَّا، ويمكننا استخدام قانون هابل-ليمتر لمعرفة المسافة بيننا وبينها. ولكن نظرًا لأن الضوء يستغرق وقتًا لينتقل إلينا، ولأننا نعرف سرعة الضوء؛ فإن معرفة المسافة تخبرنا أيضًا بالمدة التي قطعها الضوء في طريقه. وهذا يعني أننا بقياس الإزاحة الحمراء للمجرة نستطيع معرفة المدة التي مضت منذ غادر

---

(1) في العادة يُسمى قانون هابل فقط من جانب مجتمع علماء الفلك، لكن في 2018 صوتت الجمعية الفلكية الدولية للاعتراف الرسمي بمساهمة ليمتر بإضافته إلى الاسم. وكعالمة نظرية أنا شخصيًا أؤيد هذا القرار.

(2) في الكون "القريب"، حيث سرعات الانحسار صغيرة، تصبح هذه مجرد مسألة قسمة بسيطة: السرعة مقسومة على ثابت هابل تساوي المسافة. وبالنسبة للمصادر الأبعد، يصبح الأمر أكثر تعقيدًا بسبب حقيقة أن ثابت هابل ليس في الواقع ثابتًا على كل الزمن الكوني، والتناسُب ليس تناسُبًا محدَّدًا بصرامة عندما تكون السرعة عالية جدًّا. ومن الآمِن أن نفترض بشكل عام أنه إذا بدا أي شيء في الكوزمولوچيا فائق البساطة، فذلك مسألة تقريبية، مسألة خاصة، أو هي النظرية النهائية لكل شيء التي كنَّا نبحث عنها طوال حياتنا. (ولا أراهن على الخيار الثالث).

الضوء المجرة. وبما أننا نعرف عمر الكون الآن، فيمكن معرفة كم كان عمر الكون عندما أرسلت تلك المجرة الضوء الذي نراه.

وبأخذ كل هذا في الاعتبار، يمكن لعلماء الفلك استخدام الإزاحة الحمراء للإشارة إلى الأحقاب السابقة للكون. "الإزاحة الحمراء العالية" تعني أن ذلك حدث منذ فترة طويلة عندما كان الكون فتيًّا؛ أما "الإزاحة الحمراء المنخفضة" فهي أحدث. الإزاحة الحمراء 0 (صفر) تعني الكون المحلي في زمننا هذا؛ الإزاحة الحمراء 1 ترجع إلى ما قبل سبعة مليارات سنة. في النهاية العليا، الإزاحة الحمراء 6 تعني أن الكون لم تمر عليه سوى مليار سنة أو نحو ذلك من حياته، وبداية الكون، إذا تمكَّنَّا من رؤيتها، سيكون لها إزاحة حمراء لا نهائية.

ومن ثم: المجرة ذات الإزاحة الحمراء العالية هي مجرة بعيدة كانت موجودة عندما كان الكون فتيًّا، والمجرة ذات الإزاحة الحمراء المنخفضة هي كائن قريب نسبيًّا يعيش في ما يُعرف بالكون "الحديث" أساسًا.

إن العلاقة بين المسافة والعمر والإزاحة الحمراء مفيدة بشكل لا يصدَّق في علم الكون. لكنها تعتمد على حقيقة أن سرعة الابتعاد تزداد دائمًا مع المسافة بطريقة معروفة. ماذا لو تباطأ التوسُّع فجأة؟ ماذا لو توقَّف، وعَكَس مساره؟ إحدى النتائج هي أن هذا من شأنه أن يلقي بقواعدنا الأساسية لقياس المسافة إلى سلَّة المهملات، ويزعج كثيرين من علماء الفلك. وثمة نتيجة أخرى لا تقلُّ أهمية، اعتمادًا على مَن توجه إليه سؤالك: هي أن ذلك سيؤدي إلى هلاك الكون وكل شيء فيه.

# ماذا سيحدث

بما أننا عرفنا أن الكون 1) بدأ بانفجار كبير، و(2) أنه يتوسَّع حاليًّا، فإن السؤال المنطقي التالي هو ما إذا كان الكون سيدور ويعود على نفسه، لينتهي في أزمة كارثية كبرى. بدءًا من بعض الافتراضات الفيزيائية الأساسية والمعقولة، يبدو أن ليس هناك سوى ثلاثة احتمالات لمستقبل الكون المتوسِّع، وكلها مناظرة على نحو مباشر تقريبًا لما يمكن أن يحدث لكرة عند قذفها في الهواء.

أنتَ واقفٌ بالخارج، على كوكب الأرض. وها أنت ترمي كرة بيسبول إلى الأعلى على نحو مباشر. ولنَقُل، جدلًا، إن لديك ذراعًا جيدة بدرجة تفوق ما هو إنساني، (وأن مقاومة الهواء لا اعتبار لها.) ماذا سيحدث؟

في الحالة المعتادة، ترتفع الكرة للأعلى لفترة من الوقت، استجابة للدفعة الأولية التي قدَّمتَها لها، لكنها، بمجرد أن تترك يدك، تبدأ في التباطؤ في صعودها بسبب سحب جاذبية الأرض[1]. وفي النهاية، تتباطأ الكرة كثيرًا لدرجة أنها تتوقَّف في الهواء وتعكس مسارها، وتعود لتسقط نحوك ونحو الكوكب الذي تقف عليه. لكن إذا رميت الكرة بسرعة لا تُصدَّق -وبالتحديد، بسرعة 11.2 كم/ثانية، وهي سرعة الهروب من الأرض- فيمكنك من حيث المبدأ إعطاء الكرة دفعة كبيرة لدرجة أنها تترك الأرض بالكامل، وتتباطأ قليلًا طوال الوقت، ولا تستقرُّ إلَّا عند بُعد لا نهائي في المستقبل (أو، ربما، عندما تصطدم بشيء آخر). إذا رميتَها على نحو أسرع حتى من ذلك، فسوف تنفصل تمامًا عن الأرض وتبتعد إلى الأبد.

---

(1) مبدئيًّا، الأرض والكرة كلٌّ منهما تمارس نوعًا من الجذب على الأخرى، لأن الجاذبية ثنائية الاتجاه، لكن كمية الحركة التي تواجهها الأرض نتيجة سحب جاذبية كرة البيسبول... غير ذات أهمية.

تتبع فيزياء الكون المتوسع مبادئ مشابهة جدًّا. هناك الدفعة الأولية (الانفجار الكبير) التي أدَّت إلى التوسع، ومن تلك النقطة فصاعدًا، تعمل جاذبية كل الأشياء الموجودة في الكون (المجرات والنجوم والثقوب السوداء، إلخ) ضد التوسع، وتحاول إبطاءه. وسحب كل شيء معًا مرة أخرى. والحق أن الجاذبية قوة ضعيفة للغاية، وهي الأضعف بين جميع قوى الطبيعة، ولكنها أيضًا ذات نطاق لا نهائي وجذَّابة دائمًا؛ لذا فحتى المجرات البعيدة لا بُدَّ أن تنجذب تجاه بعضها البعض. وكما هو الحال في مثال لعبة البيسبول، ينتهي السؤال إلى: هل كانت الدَّفعة الأولية كافية لمواجهة كل تلك الجاذبية؟ ليس علينا حتى أن نعرف ما هي الدَّفعة الأولية؛ فإذا قمنا بقياس سرعة التوسع الآن، وقمنا كذلك بقياس كمية المادة في الكون، فيمكننا تحديد هل جاذبيتها ستكون كافية لإيقاف التوسع في النهاية. وبدلًا من ذلك، إذا تمكَّنَّا من استنتاج سرعة التَّوسُّع في الماضي البعيد، يمكننا تحديد كيفية تطور التوسع بمرور الزمن من خلال مقارنة هذا الرقم مع سرعة التوسع اليوم[1].

إذا كان مُقدَّرًا لكوننا أن يعاني يومًا ما من انسحاق كبير، فسيتم رؤية التلميح الأول من خلال مثل هذا الاستدلال. قبل أن يبدأ الانهيار، سيكون بمقدورنا أن نرى أن التوسع كان أسرع في الماضي وكان يتباطأ، بطريقة معيَّنة تعجِّل بالهلاك. وبمرور الوقت، وبدرجة متزايدة من اليقين، سنرى علامات الانهيار الوشيك قبل عدة مليارات من السنين من بدايته الفعلية.

(1) قد تتساءل إن كان يمكننا قياس التوسع الآن وبعد عشر سنوات قادمة، ونرى مدى التغير فيه. لسوء الحظ، لا تمكننا التكنولوجيا الحالية من قياسات بهذه الدقة، لكن في العقود القادمة، قد نتمكن من القيام بمثل هذه المقارنة.

ولكن قبل أن نبدأ في تحليل البيانات، دعونا نتوقَّف لنسأل كيف سيبدو الانتقال إلى عالم منكمش وفي طريقه للانهيار النهائي، بمجرد أن يبدأ. هذا بالفعل ما أنتَ هنا من أجله، على أية حال.

في الوقت الحالي، كلما كان الجسم بعيدًا؛ زادت سرعة انحساره عنَّا؛ وبالتالي زادت إزاحته نحو الأحمر (قانون هابل-ليمتر). في الكون المقدَّر له الانهيار، سيستمر هذا النمط حتى يتوقَّف التوسع تمامًا- تلك لحظة الذروة في التوسع. ولكن بما أن سرعة الضوء تمنعنا من رؤية الكون بأكمله في وقت واحد، فإننا سنظل نلاحظ ابتعاد الأجسام البعيدة لفترة طويلة بعد أن تبدأ انحسارها في الواقع. ورغم أن الأجسام البعيدة تندفع نحونا بسرعة أكبر من الأجسام القريبة، إلا أننا في البداية نرى السلوك المعاكس. كل مجرَّة قريبة، خارج جوارنا الكوني، ستبدو وكأنها تتجه نحونا ببطء. كما هو الحال مع مجرة أندروميدا، سوف يتحول ضوؤها إلى اللون الأزرق. وفيما يتخطى ذلك، ستكون هناك مسافة يبدو فيها كل شيء في حالة توقف، في حين تبدو الأشياء البعيدة تنزاح نحو الأحمر، ويبدو أنها تنحسر. مع مرور الوقت، تقترب المجرات القريبة ذات الإزاحة الزرقاء بشكل أسرع وأسرع، وتتحرك الدائرة المتوقفة للخارج. وسرعان ما سنتوقف جميعًا عن القلق بشأن ما يحدث للأجسام البعيدة، حيث يصبح من المستحيل تجاهُل اندفاع المجرات القريبة منَّا إلى منطقتنا من الفضاء، أو على الأقل ينبغي الحذر بشدة من مثل هذا التجاهل.

قد نشعر بالاطمئنان قليلًا (ولو بسذاجة) من حقيقة أننا سنكون قد اكتسبنا بعض الخبرة بمثل هذه الأشياء بحلول ذلك الوقت: في هذا السيناريو، تأتي أولى علامات الانهيار بعد وقت طويل من اصطدامنا بمجرة أندروميدا (المرأة المسلسلة). حتى مع أكثر التقديرات تشاؤمًا، فإن أي حدث من أحداث الانسحاق الكبير لا يمكن أن يحدث إلَّا بعد عدة مليارات من السنين في المستقبل- كوننا موجود منذ 13.8 مليار

سنة، وفيما يتعلق بإمكانية الانهيار المستقبلي، فمن المؤكَّد أنه لا يزال في أواسط العمر.

وكما سبق الذِّكر، من غير المرجَّح أن يؤثِّر اصطدام مجرة أندروميدا ودرب التبانة على النظام الشمسي مباشرة. لكن بداية الانهيار الشامل قصة أخرى تمامًا. في البداية، قد يبدو الأمر متماثِلًا إلى حدٍّ ما: تتصادم المجرات ويُعاد ترتيبها، وتشتعل النجوم الجديدة والثقوب السوداء، وتنطلق بعض الأنظمة النجمية إلى الفضاء. ولكن مع مرور الوقت، سوف يصبح من الواضح بشكل متزايد ومرعب أن شيئًا مختلفًا تمامًا يحدث.

مع اقتراب المجرات من بعضها البعض وتكرار اندماجها على نحوٍ متزايِدٍ، ستنفجر المجرات عبر السماء بالضوء الأزرق للنجوم الجديدة، وسوف تخترق نفاثات عملاقة من الجسيمات والإشعاع طريقها عبر الغاز البيني للفراغات بين المجرات. وقد تولد كواكب جديدة مع تلك النجوم الجديدة، وربما سيكون لدى بعضها الوقت لتطوير الحياة، وذلك رغم أن التردد المرعب للمستعرات العظمى (السوبر نوفا supernovae) في هذا الكون الفوضوي المنهار قد تؤدي إلى تعريض الكواكب الجديدة لإشعاع تطهيري. سوف يتزايد عنف تفاعلات الجاذبية بين المجرات وبين الثقوب السوداء المركزية فائقة الكتلة؛ ممَّا يؤدي إلى قذف النجوم خارج مجراتها لتنتهي بالوقوع في جاذبية مجرات أخرى. لكن حتى في هذه المرحلة، ستكون الصدامات بين نجوم فردية نادرة، وسيظل الأمر كذلك حتى وقت متأخر جدًّا من الأحداث. ويأتي تدمير النجوم من خلال عملية أخرى، وهي عملية تضمن أيضًا، وبقدر كبير من الدقة، تدمير أي حياة كوكبية قد لا تزال باقية.

وإليك كيف يحدث هذا.

إن توسُّع الكون كما يحدث اليوم يفعل أكثر من مجرد بسط ضوء المجرات البعيدة على مساحة أكبر. فهو أيضًا يتمدد ويخفِّف من شفق الانفجار الكبير نفسه. أحد أقوى الأدلة على الانفجار الكبير، والذي نوقش في الفصل السابق، هو حقيقة أننا نستطيع رؤيته فعليًّا، ببساطة من خلال النظر بعيدًا بما فيه الكفاية. إن ما نراه، على وجه التحديد، هو وهج خافت، يأتي من جميع الاتجاهات، للضوء الذي أُنتج في زمن طفولة الكون. هذا الوهج الخافت هو في الواقع رؤية مباشرة لأجزاء من الكون بعيدة جدًّا لدرجة أنها، من وجهة نظرنا، لا تزال **مشتعلة**؛ فهي لا تزال تعيش المرحلة المبكرة الساخنة من وجود الكون، عندما كان كل جزء من أجزاء الكون حارًّا وكثيفًا ومعتمًا بالبلازما المتدفقة، مثل قلب النجم. إن الضوء المنبعث من تلك النار التي اشتعلت حتى انطفأت منذ فترة طويلة كان في طريقه إلينا طوال هذا الزمن، وها هو يصل لتَوِّه قادمًا من نقاط بعيدة للغاية.

إن ما يجعلنا نشعر بأن تلك خلفيَّة منتشرة منخفضة الطاقة (خلفية الموجات الميكروية الكونية) هو أن توسُّع الكون أدَّى إلى تَمدُّد وفصل الفوتونات الفردية حتى أصبحت الآن مجرد جزء من السكون الباهت. وترجع حقيقة أنها تظهر على شكل ميكروويف إلى الإزاحة الحمراء الشديدة. يمكن لتوسع الكون أن يفعل الكثير، بما في ذلك أخذ حرارة جحيم لا يمكن تصوره وتخفيفها وتمديدها حتى تصبح مجرد همهمة خافتة من موجات الميكروويف نشعر بها فقط كلمحة خفيفة من الكهرباء الساكنة (الاستاتيكية) على تلفزيون تناظري قديم الطراز.

إذا انعكس توسُّع الكون، فإن انتشار الإشعاع سينعكس أيضًا. وفجأة، تتحول الخلفية الكونية الميكروية، ذلك الطنين منخفض

الطاقة غير الضار، بالإزاحة الزرقاء، وتتزايد طاقتها وكثافتها بسرعة في كل مكان، وتتجه نحو مستويات غير مريحة على الإطلاق.

ولكن حتى تلك اللحظة لا نصل بعد إلى ما يقتل النجوم.

اتَّضح أن هناك شيئًا يمكن أن ينتج إشعاعًا بطاقة أعلى من تركيز الشفق القادم من الفضاء نفسه وهو مشتعل. فمع تطوُّر الكون على مَرِّ الزمن، أخذ ما كان في بداية الكون عبارة عن مجموعة موحَّدة من الغاز والبلازما واستخدم الجاذبية لتجميع هذا الغاز في النجوم والثقوب السوداء[1]. لقد كانت تلك النجوم ساطعة منذ مليارات السنين، ترسل إشعاعها ليتبدَّد في الفراغ، لكن ليس ليختفي. وحتى الثقوب السوداء حظيت بفرصة للتألق، فأنتجت الأشعة السينية عندما تزداد حرارة المادة التي تسقط فيها وتنتج نفثات الجسيمات عالية الطاقة. إن الإشعاع الناتج عن النجوم والثقوب السوداء أكثر سخونة من المراحل النهائية للانفجار الكبير، وعندما ينهار الكون من جديد، تتكثف كل هذه الطاقة أيضًا. لذا، فبدلًا من أن يكون الانهيار عمليَّةً تناظُريَّة على نحوٍ لطيف من التمدد والابتراد يتبعها الاندماج والتسخين، فإن الانهيار في الواقع أسوأ بكثير. إذا طُلب منك الاختيار بين أن تكون عند نقطة عشوائية في الفضاء بعد الانفجار الكبير مباشرة، أو قبل الانسحاق العظيم مباشرة، فاخترْ الخيار الأول[2]. إن الإشعاع المتجمِّع من النجوم ونفثات الجسيمات عالية الطاقة، عندما يتكثف فجأة ويتحول مع إزاحة زرقاء إلى طاقات أعلى بسبب الانهيار، سيكون من شدة الكثافة لدرجة أنه سيبدأ في إشعال أسطح النجوم قبل وقت طويل من صدام النجوم نفسها ببعضها. وسوف

---

(1) وأشياء أخرى صغيرة مثل الكواكب والناس، لكن من أجل أغراض هذه المناقشة، يمكننا أن نتجاهل هؤلاء.

(2) باقتباس العنوان الرائع الذي قدَّمَته الفرقة الغنائية الأسطورية D:Ream: "things can only get better" ("لن يتجه كل شيء إلا إلى الأفضل").

تـؤدي الانفجـارات النوويـة لتمزيـق الأجـواء النجميـة، وتفتـق النجـوم ومـلء الفضـاء بالبلازمـا السـاخنة.

في هـذه المرحلـة، تصبـح الأمـور حقًّـا سـيئة للغايـة. لا يمكـن لأي كوكـب ظـلَّ عـلى قيـد الحيـاة كل هـذه المـدة أن يبقـى دون أن يحـترق عندمـا تنفجـر النجـوم نفسـها نتيجـة ضـوء الخلفيـة. مـن هنـا، تصبـح شـدة إشـعاع الكـون عاليـة جـدًّا بحيـث يمكـن مقارنتهـا بالمناطـق المركزيـة لأنويـة المجـرة النشـطة، وهـي الأماكـن التـي تنطلـق فيهـا الجسـيمات عاليـة الطاقـة وأشـعة جامـا بعيـدًا عـن الثقـوب السـوداء الهائلـة بقـوة كبـيرة تُنتـج نفثـات إشـعاع يبلـغ طولهـا ألـف سـنة ضوئيـة. ولا نسـتطيع أن نتأكـد مـمَّا يحـدث للـمادة في بيئـة كهـذه، بعـد اختزالهـا إلى جزيئاتهـا المكوِّنـة لهـا. فالكـون المنهـار سـيصل في المراحـل النهائيـة إلى كثافـات ودرجـات حـرارة تتجـاوز مـا يمكننـا إنتاجـه في المختـبر أو وصفـه بنظريـات الجسـيمات المعروفـة. ولـن يكـون السـؤال المثـير للاهتـمام هـو "هـل سـينجو أي شيء؟" (لأنـه مـن الواضـح جـدًّا عنـد هـذه النقطـة أن الإجابـة عـلى ذلـك هـي "لا" قاطعـة)، ولكـن السـؤال هـو: "هـل يمكـن للكـون المنهـار أن يرتـدَّ ويبـدأ مـن جديـد؟".

سـوف تظـل الأكـوان الدوريـة التـي تنتقـل مـن الانفجـار إلى الانسـحاق وتعـود مـرة أخـرى تتمتـع بجاذبيـة معيَّنـة إلى الأبـد في تنسـيقها. (وسـوف نستكشـف هـذه الأمـور بمزيـد مـن التفصيـل في الفصـل السـابع.) بـدلًا مـن أن تبـدأ مـن لا شيء ثـم تصـل إلى النهايـة الكارثيـة، مـن حيـث المبـدأ، يمكـن للكـون الـدوري (الـذي يـدور دائمًـا في حلقـة لا نهايـة لهـا) أن يقفـز عـبر الزمـن بشـكل اعتباطـي بعيـدًا في كل اتجـاه، مـع إعـادة تدويـر لا نهايـة لهـا ودون تبديـد.

بالطبـع، مثـل كل شيء في الكـون، يتبـيَّن أن الأمـر أكـثر تعقيـدًا بالفعـل. فاسـتنادًا إلى نظريـة أينشـتاين للجاذبيـة والنسـبية العامـة، فـإن أي كـون

يحتوي على كمية كافية من المادة له مسار محدد. يبدأ بالتفرد (حالة كثيفة لا نهائية من الزمكان) وينتهي بالتفرد. ومع ذلك، لا توجد آلية في النسبية العامة للانتقال من تفرُّد النهاية إلى تفرُّد البداية. وهناك سبب للاعتقاد بأن نظرياتنا الفيزيائية كلها، بما في ذلك النسبية العامة، لا يمكن لأيٍّ منها وصف ظروف أي شيء يقارب هذا النوع من الكثافة. لدينا فهم جيد جدًّا لكيفية عمل الجاذبية على المقاييس الكبيرة، وبالنسبة لحقول الجاذبية الضعيفة نسبيًّا (ها!)، لكن ليس لدينا أي فكرة عن كيفية عملها على المقاييس الصغيرة للغاية. والحق أن أنواع قوى المجال التي قد تواجهها عندما ينهار الكون الذي يمكن رصده بأكمله إلى نقطة دون ذَرِّيَّة هي كلها أنواع لا يمكن حسابها. ويمكننا أن نكون واثقين تمامًا من أنه في هذا الموقف بالذات، لا بُدَّ أن تصبح ميكانيكا الكَمِّ مُهِمَّة وأن تفعل **شيئًا** ما لتحويل الأشياء إلى فوضى، لكننا بصراحة لا نعرف ما هي.

مشكلة أخرى في عالم الانسحاق-الانفجار المرتد هي مسألة ما الذي يجعله يصل إلى الارتداد. هل يبقى أي شيء من دورة إلى أخرى؟ إن عدم التماثل الذي ذكرته بين الكون الشاب المتوسع والكون القديم المنهار، فيما يتعلق بالمجال الإشعاعي، يحتمل أن يكون في الواقع مشكلة كبيرة هنا، لأنه يعني ضمنًا أن الكون يصبح (بالمعنى الدقيق، المادي، وذي المغزى) أكثرَ فوضويَّةً مع كل دورة. وهذا يجعل الكون الدوري أقلَّ جاذبية من وجهة نظر بعض المبادئ الفيزيائية المهمة للغاية والتي سنناقشها في الفصول اللاحقة، ومن المؤكد أنه من الأصعب أن يتناسب مع بيئة لطيفة وأنيقة تعتمد على تقليل إعادة الاستخدام وإعادة التدوير.

## فتنة غير المرئي

ارتداد أو عدم ارتداد، الكون الذي يحتوي على الكثير من المادة وليس متوسعًا بما يكفي مقدر له الانسحاق؛ لذا فإن التحقق ممَّا وصلنا إليه فيما يتعلق بهذا التوازن يبدو فكرة جيدة. لسوء الحظ، فإن قياس محتوى المادة في الكون أمر معقَّد بسبب حقيقة أنه ليس من السهل رؤية كل المادة، كما أن تحديد مقدار وزن المجرة عندما يكون كل ما لديك هو صورة لها قد يكون أمرًا صعبًا في أحسن الأحوال. منذ سنوات العَقد 1930، كان من الواضح أن الاكتفاء بإحصاء المجرات والنجوم يعني فقدان شيء مهم. درس عالم الفلك فريتز زويكي Fritz Zwicky حركات المجرات الطائفة في عناقيد المجرات ولاحظ أنها تبدو وكأنها تتحرك بسرعة كبيرة جدًّا، وينبغي أن تنطلق إلى الفضاء الفارغ، مثل الأطفال في لعبة دوَّارة الخيل الخشبية وهي تدور بسرعة كبيرة. واقترح أنه ربما كانت هناك بعض "المادة المعتمة" غير المرئيَّة التي تربط كل شيء معًا. طافت هذه الفكرة بين المجتمع الفلكي كاحتمال مثير للقلق حتى وقتٍ ما في السبعينيات، عندما جاءت ڤيرا روبين Vera Rubin وأثبتت مرَّةً واحدة وإلى الأبد أن الأكوام الكاملة من المجرَّات الحلزونية لم يكن لها أي معنى دون بعض الأشياء الإضافية غير المرئية.

منذ زمن روبن، تعزَّزَت الأدِلَّة على وجود المادة المعتمة، ويرجع ذلك جزئيًّا إلى أننا نعرف الآن مدى أهميتها في بداية الكون، ولكن بقي من الصعب للغاية اكتشافها بشكل مباشر، بسبب عدم اهتمامها على ما يبدو بالتفاعل مع ما لدينا من أجهزة رصد الجسيمات. الفكرة الرئيسية تنحصر في أن المادة المعتمة هي نوع من الجسيمات الأساسية غير المكتشَفة بعدُ والتي لها كتلة (حيث إن لها جاذبية) ولكن ليس لها أي علاقة بالكهرومغناطيسية أو القوة النووية القوية.

وتشير النظريات إلى أنها قد تكون قادرةً على التفاعل مع جزيئات أخرى عبر القوة النووية الضعيفة؛ مما يفتح بعض الاحتمالات للكشف عنها، ولكن سيكون من الصعب العثور على الإشارة، ولم نرها بعدُ. ما رأيناه بالفعل هو قدر هائل من الأدِلَّة على تأثير الجاذبية على النجوم والمجرات، وعلى قدرة النجوم والمجرات على التشكل من الحساء البدائي في المقام الأول. كما وجدنا ما هو أفضل من ذلك، وهو أنه يمكننا رؤية دليل على وجود المادة المعتمة في شكل الفضاء نفسه.

كانت إحدى أفكار أينشتاين الثاقبة (من بين أفكار كثيرة) هي أن الجاذبية لا تُفهم بشكل أفضل على أنها قوة بين الأجسام، بل على أنها انحناء الفضاء حول أي شيء له كتلة. تخيَّل أنك تُدَحرِج كرة تنس على سطح الترامبولين (النَّطَّاط). الآن ضَعْ كرة البولينج في المنتصف. إن الطريقة التي تسقط بها كرة التنس باتجاه كرة البولينج، أو طريقة انحنائها أثناء مرورها بجانبها، هي تشبيهٌ جيد لكيفية تَحرُّك الأجسام عبر الفضاء في وجود كُتَل كبيرة. شكل الفضاء نفسه يتسبب في انحناء مسار الجسم. لكن ليس فقط مسارات الأجسام الضخمة هي التي تتأثر بانحناء الفضاء، فحتى الضوء يستجيب لشكل الفضاء الذي يتحرك خلاله. وكما يمكن لكابل الألياف الضوئية المنحني أن يجعل الضوء بداخله ينعطف، فإن مساحة انحناء الجسم الضخمة يمكن أن تتسبب في انحناء الضوء حوله. تصبح المجرات وعناقيد المجرات عدسات مكبِّرة مشوِّهة للأجسام الموجودة خلفها. تأتي بعض الأدِلَّة الأكثر إقناعًا لدينا بشأن المادة المعتمة من اكتشاف أن تأثير "عدسة الجاذبية" أقوى ممَّا يمكن تفسيره بكتلة الأشياء التي يمكننا رؤيتها بالفعل؛ فبعض الكتلة يرجع إلى شيء غير مرئي. لقد اتَّضح وجود الكثير من المادة المعتمة هناك. إن المحاولات الأولى لوزن المادة في الكون من خلال النظر فقط إلى الأشياء المرئية أعطتنا حسابًا غير

دقيق إلى حدٍّ كبير. وبعد وقت قصير من دراسات فيرا روبين، أصبح من الواضح أن الغالبية العظمى من المادة في الكون مُعتِمة.

ولكن حتى عندما تمَّ حساب المادة المعتمة بشكل صحيح، كان من الصعب تحديد ما إذا كانت كثافة المادة في الفضاء تقع على جانب أو آخر من "الكثافة الحَرِجة" التي وضعت الحدود بين الكون المنهار والكون المتوسع إلى الأبد. لم يكن تحديد محتويات الكون سوى جزء واحد من المشكلة؛ وكان الجزء الآخر هو معرفة مدى سرعة توسُّع الكون بالضبط، أو، بدلًا من ذلك، كيف تغير التوسع على مَرِّ الزمن الكوني. وتبين أن هذا أمر لا يُستهان به.

وللحصول على قياس جيد لمعدل التوسع الكوني على مدى جزء معقول من تاريخ الكون، تحتاج إلى مسح عدد ضخم من المجرات، على نطاق من المسافات. بعد ذلك، بالنسبة لكل مجرة، عليك معرفة شيئين: سرعتها وبُعدها المادي الفعلي عنَّا. في عام 1929، استطاع علماء الفلك التوصل إلى معدل التوسع "المحلي" باستخدام قانون هابل-ليميتر (رغم أن الرقم الدقيق للتناسب كان موضِعَ جدل لعقود من الزمن بعد ذلك، وما زال موضعًا لبعض الجدل). لكن للإجابة على سؤال الانسحاق الكبير، نحتاج إلى معرفة معدل التوسع عبر مساحة كبيرة من الزمن الكوني، وهو ما يعني مسافة هائلة في الفضاء. لا يمثل هذا مشكلة كبيرة بالنسبة للجزء الخاص بسرعة المجرة من المعادلة، حيث يمكن تحديد ذلك باستخدام قياسات الإزاحة الحمراء، والتي تكون بشكل عام واضحةً ومباشرة بدرجة معقولة. ومع ذلك، فإن قياس المسافة بدقة على مدى مليارات السنين الضوئية أمر أصعب بكثير.

إن دراسة المسافات وسرعات المجرات باستخدام الصور المأخوذة من لوحات فوتوغرافية في أواخر أعوام العقد 1960 قادت علماء الفلك إلى القول بثقة متزايدة، رغم أن قدرًا كبيرًا من الارتياب لا يزال

باقيًا، بأننا في الواقع محكوم علينا بالانهيار. دفع هذا بعض علماء الفلك إلى كتابة بعض الأوراق البحثية المثيرة للغاية التي تتعمَّق في ما سيكون عليه الأمر بالضبط. لقد كان التهور عنوان ذلك الوقت.

ومع ذلك، في أواخر التسعينيات، أتقن علماء الفلك طريقةً أكثر دِقَّة لقياس توسع الكون، تتضمَّن ربط عدة طرق لقياس المسافة الكونية وتطبيقها على النجوم المنفجرة البعيدة للغاية. وأخيرًا، يمكنهم أخذ القياس الحقيقي للكون وتحديد مصيره النهائي مرة واحدة وإلى الأبد. وكانت نتيجة ما وجدوه صدمة للجميع تقريبًا، وأدَّت إلى حصول ثلاثة من قادة الفريق على جائزة نوبل، وأحدثت فوضى كاملة في فهمنا للأعمال الأساسية للفيزياء.

إن حقيقة أن هذا الاكتشاف يشير إلى أننا في مأمن بشكل شبه مؤكَّد من الموت الناري في انسحاق كبير قد تبيَّن أنها مجرد عزاء بارد[1]. فالبديل عن الانهيار هو التوسع الأبدي، والذي، مثل الخلود، يبدو جيدًا فقط حتى تفكر فيه حقًّا. فمن الناحية المشرقة، نحن لسنا محكومًا علينا بالهلاك في جحيم كوني مروع. أما على الناحية المظلمة، فيبدو أن المصير الأرجح لهذا الكون الذي نعيش فيه، بطريقته الخاصة، هو مصير أكثر إزعاجًا بكثير.

(1) نتيجة فهمنا الحالي، ليس من المستحيل إعادة الانهيار. وإذا كانت الطاقة المعتمة، والتي سنناقشها في الفصل التالي، تنطوي على خصائص غريبة وغير متوقَّعة على وجه الخصوص، فمن الممكن أن تؤدي إلى عكس توسُّعنا. لكن، حتى الآن، يبدو أن الدليل لا يشير في ذلك الاتجاه.

# الفصل الرابع
# الموت الحراري

فالنتين: الحرارة تمتزج مع الخليط.
(إشارة إلى الهواء الموجود في الغرفة، في الكون).
توماسينا: نعم، يجب أن نسرع إذا أردنا الرقص.
**توم ستوبارد، أركاديا *Tom Stoppard, Arcadia***

من أولى ذكرياتي في علم الفلك موضوع لغلاف مجلة ***Discover*** في عام 1995، والذي يعلن عن "أزمة في الكون". كان يظهر في البيانات شيء مستحيل: يبدو الكون أصغر سنًّا من بعض نجومه.

إن جميع الحسابات الدقيقة لعمر الكون، المستندة إلى التقدير القائم على أدِلَّة البيانات الحالية للتوسع الحالي الذي يعود إلى الانفجار الكبير، تشير إلى أن عمر الكون كان في مكان ما على مقربة من 10 أو 12 مليار سنة، بينما أظهرت قياسات أقدم النجوم في العناقيد القديمة القريبة منَّا رقمًا أقرب إلى 15 مليار سنة. ولكن تقدير أعمار النجوم ليس دائمًا علمًا دقيقًا، بالطبع؛ لذلك كانت هناك

فرصة لظهور بيانات أفضل والتي قد تُبيِّن أن النجوم أصغر سنًا قليلًا مما تبدو عليه؛ مما يعني حذف مليار أو مليارين من السنوات في التناقض. لكن تمديد عمر الكون للوصول إلى حلٍّ لهذه المشكلة من شأنه قد يخلق مشكلة أكبر. كان جعل الكون أقدم سِنًّا يتطلب إلغاء نظرية التضخم الكوني، وهي واحدة من أهم الاكتشافات في دراسة الكون المبكر منذ اكتشاف الانفجار الكبير نفسه.

سوف يستغرق الأمر ثلاث سنوات أخرى من البحث في البيانات، ومراجعة النظريات، وإنشاء طرق جديدة تمامًا لقياس الكون قبل أن يتمكَّن علماء الفلك من العثور على حلٍّ لا يؤدي إلى انهيار الكون المبكر. وقد حطم كل شيء آخر. في النهاية، جاءت الإجابة في نوع جديد من الفيزياء محبوك بنسيج الكون ذاته، قد يؤدي إلى تغيير نظرتنا للكون بشكل جذري ويعيد كتابة مستقبله بالكامل.

## رسم خريطة للسماء العنيفة

العلماء الذين اكتشفوا حلَّ أزمة تحديد عمر الكون في أواخر التسعينيات لم يكونوا يحاولون إحداث ثورة في الفيزياء. لقد كانوا يحاولون الإجابة على سؤال يبدو مباشرًا: ما مدى سرعة تباطؤ توسُّع الكون؟ كان من المعروف في ذلك الوقت أن توسع الكون قد بدأ بسبب الانفجار الكبير، وأن جاذبية كل شيء بداخله تعمل على إبطائه منذ ذلك الحين. سنعرف عن طريق قياس رقم واحد -ما يُسمَّى بمُعامل التباطؤ- مدى التوازن بين قوة الدفع الخارجية الناتجة عن الانفجار الكبير والسحب الداخلي لجاذبية كل شيء يتكون منه الكون. كلما ارتفع مُعامل التباطؤ، زادت قوة ضغط الجاذبية في مقابل التوسع الكوني. يشير الرقم الكبير إلى أن الكون محكوم عليه بالانسحاق الكبير؛ بينما يشير الرقم المنخفض إلى أنه على الرغم من تباطؤ التوسع، فإنه لن يتوقف تمامًا أبدًا.

بالطبع، لقياس التباطؤ، عليك أن تجد طريقة لقياس مدى السرعة التي كان الكون يتوسع بها في الماضي، ومقارنة ذلك بمدى سرعة توسُّعه الآن. لحسن الحظ، هذا الأمر برُمَّته حيث يمكننا رؤية الماضي مباشرة من خلال النظر إلى الأشياء البعيدة، إلى جانب الجزء الذي نرى فيه أن توسع الكون يجعل كل شيء يبدو وكأنه يتحرك بعيدًا عنَّا، يعني أن هذا ممكن تمامًا. كل ما علينا فعله هو النظر إلى شيء قريب، وشيء بعيد جدًّا، لنرى مدى سرعة ابتعاد كل منهما عنَّا، ثم تطبيق بعض الحسابات الرياضية. بسيطة!

من الناحية العملية، الأمر ليس بسيطًا على الإطلاق، لأنه يجب عليك معرفة المسافات وكذلك الإزاحة الحمراء، ومن الصعب قياس المسافات عبر الفضاء السحيق. ولكن يكفي أن نقول إن القياس ممكن، وإن كان صعبًا للغاية. ولحسن الحظ، يمتلك علماء الفلك مجموعة أدوات واسعة ومتنوعة لقياس الأشياء في الكون، وفي هذه الحالة يتبيَّن أن الانفجارات النووية الحرارية الكارثية للنجوم البعيدة تؤدي الغرض تمامًا!

التفسير المختَصَر هو أن أنواعًا معيَّنة من السوبر نوفا (المستعرات العظمى) تُحدث انفجارات يمكن التنبؤ بخصائصها لدرجة أنه يمكننا استخدامها كعلامات للمسافات في الكون. إنها تنطوي على الموت العنيف للنجوم القزمة البيضاء، والتي، عندما لا تكون مشغولة بالانفجار، تكون نوعًا من البقايا النجمية التي تبرد ببطء، وهو ما سوف تصير إليه شمسنا في النهاية بعد أن تمر بمرحلة العملاق الأحمر القاتل لكواكبه. وعندما ينمو القزم الأبيض إلى كتلة حرِجة معيَّنة (إما عن طريق سحب المادة من نجم مرافق أو عن طريق الاصطدام بقزم أبيض آخر)[1]، فإنه ينفجر. يُطلق على هذا النوع

(1) من الغريب، اعتبارًا لهذه الكتابة، أننا لا نزال غير متأكدين بما لا يدع مجالاً للشك أي

مستعر أعظم من النوع 1a (one-a supernova)، وهو يُنتج نوعًا مميزًا من ارتفاع السطوع وانخفاضه، وطيفًا واضحًا من الضوء يمكننا تمييزه بشكل موثوق عن الحرائق الكونية الأخرى. من حيث المبدأ، إذا كنت تفهم فيزياء هذا النوع من الانفجارات جيدًا، فأنت تعرف مدى سطوعه عن قرب، واعتبارًا لمدى سطوعه من كل تلك المسافة حتى هنا، يمكنك استنتاج مدى بُعد مسافة انتقال الضوء (نطلق على هذه الطريقة اسم "الشمعة القياسية" لأنها أشبه بما لو كان لديك مصباح كهربائي حيث تعرف القوة الكهربائية الدقيقة. وبمجرد الحصول على هذه المعلومة، يمكنك دائمًا استنتاج المسافة باستخدام حقيقة أن المصباح سيبدو باهتًا عندما يكون بعيدًا بقيمة معامل مربع المسافة. ونقول "شمعة" بدلًا من "المصباح الكهربائي" فقط لأنها تبدو أكثر شاعرية بهذه الطريقة).

بمجرد قياس المسافة، عليك أن تعرف مدى سرعة انحسار المستعر الأعظم. حيث يمكنك استخدام الإزاحة نحو الأحمر للضوء من المجرة التي انفجر فيها النجم، ومن ذلك تعرف مدى سرعة حدوث التوسع الكوني في تلك المرحلة. استخدم المسافة وسرعة الضوء لمعرفة المدة التي مضت منذ أن حدث هذا الأمر برُمَّته، وسيكون لديك قياس لمعدل التوسع في الماضي.

في عام 1998، بعد سنوات قليلة فقط من المقال الذي نشرته مجلة ديسكفر والذي دقَّ ناقوس الخطر بشأن عمر الكون، توصَّلَت مجموعتان بحثيتان مستقلتان تجمعان ملاحظات عن المستعرات العظمى البعيدة إلى نفس النتيجة غير المعقولة على الإطلاق. وهي أن معامل التباطؤ هذا -الذي يقيس مدى سرعة تباطؤ معدل التوسع- كان سلبيًّا. ولم يكن التوسع يتباطأ على الإطلاق. بل كان يتسارع.

---

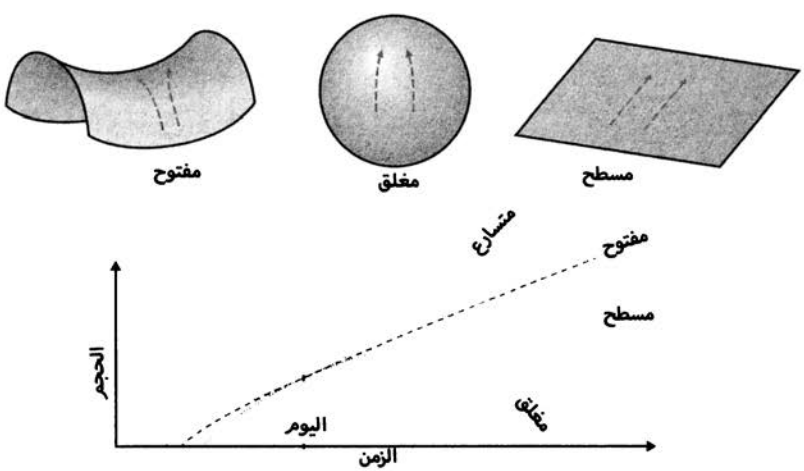
هذه الأحوال هي الآلية الرئيسية التي يحدث بها ذلك. فنحن فقط نرى النجم ينطفئ ونعرف على الأقل نجمًا قزمًا واحدًا حدث له ذلك.

# شكل الكون

كما ناقشنا في الفصل السابق، إذا كان الكون يتحكَّم في تصرُّفاته، فإن الفيزياء الأساسية المختصة بتوسُّع الكون يجب أن تكون في مثل بساطة رمي كرة في الهواء. ارمِها ببطء شديد، ستصعد للأعلى قليلًا، ثم تتباطأ، وتتوقف، ثم تسقط لأسفل مرة أخرى: هذا يشبه كونًا يحتوي ما يكفي من المادة (أو فيه التوسع الأوَّلي للانفجار الكبير ضعيف بدرجة كافية) بحيث تنتصر الجاذبية وتعيد الكون إلى الانهيار. قُم برمي الكرة بسرعة هائلة لا يستطيعها الإنسان، وقد تفلت من جاذبية الأرض وتنجرف في الفضاء إلى الأبد، وتتباطأ دائمًا: كون متوازن تمامًا بين التوسع والجاذبية. أمَّا رميها بشكل أسرع من ذلك فيعني أنها سوف تفلت وتبحر في الفضاء إلى الأبد، وتقترب من سرعة ثابتة عندما يصبح تأثير جاذبية الأرض أقل فأقل: هذا مثل الكون الذي يستمر في التوسع إلى الأبد، ولا يحتوي على ما يكفي من المادة فيه. لتغيير التوسيع أو حتى إبطائه كثيراً.

كل نوع من أنواع الكون المحتملة هذه له اسم وهندسة مُعيَّنة. والهندسة ليست الشكل الخارجي للكون بمعنى أنه على شكل كرة أو مكعَّب أو شيء من هذا القبيل. إنها خاصية داخلية، شيء يمكن أن نعرف منه كيف تكون حركة أشعة الليزر العملاقة أثناء انطلاقها عبر الكون على مدى نطاقات هائلة (ذلك أنه، إذا أردت قياس إحدى خواص الفضاء، فمن الأفضل أن تفعل ذلك باستخدام أشعة ليزر عملاقة). يُسمَّى الكون الذي مصيره إلى الانسحاق الكبير بالكون "المغلق"، لأن حزمتين من أشعَّة الليزر مندفعتين من مدفعين متوازيين سوف تنحنيان في نهاية المطاف كلٌّ منهما تجاه الأخرى، وهو نفس الشيء الذي يحدث لخطوط الطول على الكرة الأرضية. ما يحدث في الحالة الكونية هو أن هناك الكثير من المادة في الكون المغلق؛ ممَّا

يجعل **الفضاء بأكمله** منحنيًا إلى الداخل. أما الكون المتوازن تمامًا فهو "مسطَّح" لأن الأشعة ستبقى متوازية إلى الأبد، بنفس الطريقة التي يظل بها خطان متوازيان متوازيَيْن على ورقة مسطحة. ويُطلَق على الكون الذي يتمتع بتوسع أكبر من الجاذبية اسمَ كون "مفتوح"، وفي هذه الحالة، وربما خمَّنتَ بالفعل، سوف تتباعد حزمتا أشعة الليزر عن بعضهما البعض بمرور الوقت. ويمكن أن نرى تناظر السطح ثنائي الأبعاد هنا على شكل السرج: حاول رسم خطوط متوازية على سرج (أو، إذا لم يكن لديك سرج في متناول يديك، يمكنك استخدام شريحة من رقائق البطاطس المنثنية) وسوف يتباعدان كلَّما تقدَّمَا. ما تمثِّله هذه الأشكال هو "الانحناء واسع النطاق" للكون - وهو مقدار تشوُّه (أو عدم تشوُّه) الفضاء ككلٍّ بسبب المادة والطاقة الموجودة بداخله.




الشكل 10: الأكوان المفتوحة والمغلقة والمسطحة وتطوُّرها عبر الزمن. توضح الرسوم البيانية في الأعلى شكل الفضاء لثلاثة نماذج كونية مختلفة. في الكون المفتوح، تتباعد أشعَّة الضوء المتوازية بمرور الزمن. وتتباعد هذه الأشعة في الكون المغلق. وتظل متوازية في الكون المسطح. وتتوافق الأشكال الهندسية

المختلفة مع مصائر مختلفة للكون كما هو موضَّح في الرسم البياني. في الحالة المغلقة، هناك ما يكفي من الجاذبية لتسبِّب انهيار الكون من جديد، بينما في الحالة المفتوحة، ينتصر التوسع ويتوسع الكون إلى الأبد. أما الكون المسطح المتوازن على نحوٍ تامٍّ فيستمر في التوسع ولكنه يتباطأ دائمًا في معدل توسُّعِه. ومع ذلك، إذا كان الكون يحتوي على طاقة معتمة، فمن الممكن أن يتسارع توسعه (بينما تظل هندسة الفضاء مسطحة).

أول شيء مشترك بين كل هذه الاحتمالات هو أنها جميعها منطقية، متوافقة مع القوانين الفيزيائية؛ وهي متَّسِقة جيدًا مع معادلات أينشتاين للجاذبية. والشيء الآخر المشترك بينها هو أن التوسع في يومنا هذا يتباطأ بالنسبة لها جميعًا. وفي الوقت الذي أُجريت فيه قياسات السوبر نوڤا، لم يكن ثمة آلية فيزيائية معقولة لجعل أي كون يتسارع في توسُّعه. لقد كان الأمر غريبًا تمامًا كما لو كنت ترمي كرة في الهواء فتتباطأ قليلًا ثم تندفع فجأة في الفضاء دون سبب. هذا غريب تمامًا باستثناء فيما يتعلق بـ **"الكون بأكمله"**.

فُحِصَت القياسات وأُعيد فحصها، لكنها استمرت في إجبار الفيزيائيين على التوصل لنفس النتيجة؛ فالتوسع يتسارع.

كانت تلك أوقات مفعمة باليأس، وتطلَّبَت اتخاذ إجراءات يائسة. يائسة للغاية، في الواقع، لدرجة أن علماء الفلك استشهدوا بوجود مجال طاقة كوني شاسع يمكن أن يجعل الفراغ الخاوي للفضاء نفسه له دفع ذاتي إلى الخارج في جميع الاتجاهات؛ وهي خاصية لم تُكتشف من قبل للزمكان من شأنها أن تجعل الكون يتوسع إلى الأبد، كل ذلك من تلقاء نفسه، من مصدر حاضر دائمًا للطاقة، لا ينضب أبدًا. إنه **ثابت كوني**.

## الفضاء ليس فارغًا تمامًا

على عكس معظم المراجعات الضخمة لأساسيات الفيزياء، لم يكن الثابت الكوني فكرة جديدة على الإطلاق. لقد كانت تلك الفكرة في الواقع من بنات أفكار أينشتاين[1]، وتتناسب بشكل جيد مع معادلاته للجاذبية التي تَحكُم تطوُّر الكون. لكنها كانت مبنيَّةً على فكرة خاطئة للغاية، والحق أنها، في المقام الأول، ما كان ينبغي تدوينها على الإطلاق.

كان قلب أينشتاين في المكان الصحيح. كان الغرض من الثابت الكوني هو إنقاذ الكون من انهيار كارثي. أو بشكل أكثر دقَّة، من أن يكون قد تعرَّض بالفعل لانهيار كارثي. وحيث كان خبيرًا في كل ما يتعلق بالجاذبية، فقد عرف أينشتاين أن جميع البيانات المتاحة تشير إلى استنتاج غير مريحٍ مفادُه أن الجاذبية كان يجب أن تدمر الكون منذ فترة طويلة. كان ذلك في عام 1917، أي قبل نصف قرن من القبول واسع النطاق لنظرية الانفجار الكبير، عندما كان يُعتقد إلى حدٍّ كبير أن الكون ثابت وغير متغير. يمكن للنجوم أن تحيا وتموت، وقد تتعرَّض المادة لبعض إعادة الترتيب، لكن الفضاء يظل فضاء، فهو مجرد خلفية لحدوث الأشياء الأخرى. لذلك عندما رأى أينشتاين أن هناك نجومًا في السماء ليلًا، تبدو ثابتة، عرف أن الكون في ورطة. لقد رأى أن كل واحد من تلك النجوم لا بُدَّ أن يجذب كل النجوم الأخرى بجاذبيته، وتتقارب معًا ببطء مع الزمن. ولن يفيد النجوم الأخرى أن تكون بعيدة جدًّا أيضًا؛ ذلك أن الجاذبية قوة لا نهائية وجاذبيتها بحتة. (تجدر الإشارة إلى أن هذا كان قبل أن يتضح وجود مجرات أخرى بشكل فعلي، وإلا لكان قد طبق الحجة على المجرات بدلًا من

(1) رغم أن الاعتراف بذلك قد يثير الشعور بالإحباط لدى بعض الفيزيائيين، كانت لديه كثير من الأفكار الجيدة جدًّا.

ذلك. وستكون المشكلة هي نفسها). في كون لا يتغير، لا يمكنك أبدًا أن تكون بعيدًا بما فيه الكفاية عن شيء ما حتى لا تشعر بجاذبيته، فعند مستوى معيَّن، سوف يؤدي هذا الجذب إلى تجمُّعكما بمرور الزمن. أظهرت حسابات أينشتاين نفسها أن أي كون مأهول بأجسام ضخمة لا بُدَّ أن يكون قد انهار على نفسه بالفعل. إن وجود الكون في حدِّ ذاته كان تناقضًا.

وبطبيعة الحال، بدا هذا سيئًا. ولحسن الحظ، وجد أينشتاين مجالًا في نظريته الخاصة بالنسبية العامة لإضافة تعديل صغير لإنقاذ الكون. لا شيء في الفضاء يمكنه أن يقاوم جاذبية النجوم، لكن ربما الفضاء نفسه يستطيع ذلك. لقد طوَّر أينشتاين بالفعل معادلة جميلة لوصف كيفية استجابة شكل الفضاء لجاذبية كل الأشياء الموجودة في الكون. كل ما كان عليه فعله للتأكد من أن الجاذبية لن تؤدي إلى انهيار الفضاء على الفور هو أن يقرر أن معادلته غير مكتملة، وأن يستخدم مصطلحًا يمكن أن يمدَّ الفضاء بين الأجسام الجاذبة، ويوازن بشكل مثالي الانكماش الذي قد تُسبِّبه الجاذبية. لم يكن المصطلح يمثِّل مكوِّنًا جديدًا للكون، بل إحدى خواص الفضاء نفسه، حيث تحتوي كل قطعة من الفضاء على نوع من الطاقة الطاردة لها. عندما يكون لديك مساحة كبيرة من الفضاء وليس الكثير من المادة (كما هو الحال في الفضاء بين النجوم أو المجرات)، فإن هذه الطاقة التنافرية يمكن أن تتعارض مع الجاذبية.

نجاح! أدَّت المعادلة فعلها. لقد وصفت بشكل جيد الكون الساكن الذي لا يؤدي فيه وجود نجوم أو مجرات أخرى إلى انهيار الكون بأكمله على الفور. لقد فعلها أينشتاين مرة أخرى.

لكن ثمة مشكلة واحدة: الكون ليس ساكنًا. أصبح هذا واضحًا للمجتمع الفلكي بعد بضع سنوات، عندما تبيَّن أن اللطخات الغامضة

في السماء والتي كانت تسمَّى سابقًا "السُّدُم الحلزونية" هي في الواقع مجرات أخرى. وبعد فترة وجيزة، استخدم هابل الانزياح الأحمر لتلك المجرات لإظهار أن الكون يتوسع بالفعل. في حين أن الكون الساكن، الذي ينطوي على جاذبية جذابة، هو فقط محكوم عليه بالفناء، فإن الكون المتوسع يمكن إنقاذه، على الأقل مؤقتًا، من خلال توسعه. قد تؤدي الجاذبية إلى إبطاء التوسع، وقد تقلبه في النهاية، لكن الكون يمكن أن يستمر على ما يرام لعدة مليارات من السنين على طفرة النمو الأولية والتأثيرات المستمرة لهذا التوسع (كيف بدأ التوسع هي قصة أخرى تمامًا، ولكن كل ما نحتاجه لهذه المشكلة تحديدًا هو ألا يكون الكون محكومًا عليه بالهلاك التام لدرجة أنه سيحترق بالكامل، ويمكن أن يفيد الثابت الكوني أو التوسع في ذلك).

كان اكتشاف توسع الكون يعني رؤية جديدة تمامًا لعلم الكون وبعض الإحراج لأينشتاين. لقد قام على مضضٍ بإزالة مصطلح الثابت الكوني من معادلاته وتجوَّل في محاولة لإحداث ثورة في مجال آخر من مجالات الفيزياء الأساسية. وهكذا سارت الأمور، حيث أصبح تطور الكون منطقيًّا بدرجة معقولة، حتى أدَّت قياسات المستعرات العظمى (السوبر نوفا) إلى إثارة الفوضى مرة أخرى في 1998. وكان التوسع المتسارع يعني ضرورة إحياء الثابت الكوني، والعزاء الوحيد هنا هو أن الوقت قد فات بالنسبة لأينشتاين ليقول: "لقد قلت لك ذلك".

إن مجرد كون الثابت الكوني يتيح للكون التسارُع في توسُّعه لا يعني اعتباره حلًّا جيدًا ومعقولًا على نطاق واسع[1]. من وجهة النظر النظرية، لا يوجد شيء يفسر لماذا يجب أن يكون لمصطلح الثابت الكوني القيمة التي يتمتع بها. لماذا يجب أن يكون موجودًا على

(1) يمكنك أن تعرف أنك في مجال متطلِّب للغاية عندما يكون مجرد إنقاذ الكون غير كافٍ.

الإطلاق، إلا كتعديل ملائم لكن مثير للريبة لمعادلاتنا؟ وإذا كان ينبغي أن يكون لدينا ثابت كوني، فلماذا ليس بقيمة أكبر؟ إحدى الطرق الطبيعية الأكثر منطقية لكي يكون للكون ثابت كوني هي أن يُشتقَّ الثابت من طاقة الفراغ في الكون؛ طاقة الفضاء الفارغ التي تمثِّل أشياء غريبة مثل الجسيمات الافتراضية التي يمكن أن تتقلَّب كمِّيًّا داخل وخارج الوجود. لكن حسابات طاقة الفراغ المطلوبة لنظرية المجال الكَمِّيِّ تعطينا عددًا أكبر بـ 120 مرة من القيمة التي يبدو عليها الثابت الكوني الموجود بالفعل في الفضاء. وإذا لم تكن على دراية بهذا المصطلح، فإن رُتبة أُسِّيَّة واحدة تعني ضرب الرقم في 10. وتصبح المائة رُتبتَيْن أُسِّيَّتَيْن. والقيمة الأُسِّيَّة 120 هي 10 مرفوعة للأُسِّ 120. يبدو هذا تناقضًا كبيرًا حتى في الفيزياء الفلكية، حيث نتعامل أحيانًا مع الأرقام بسرعة وبلا مبالاة. لذا، إذا لم يكن الثابت الكوني هو طاقة الفراغ الكمِّيَّة التي يعرفها ويحبها جميع مُنظِّري المجال الكمي، فما هو؟

يتضمن أحد الحلول المقترحة "لمشكلة الثابت الكوني" تلك فرضية تقول إن الثابت صغير في كوننا المرئي، ولكنه قد يأخذ قيمًا أخرى في الأماكن البعيدة. والحق أن وجودنا حيث نحن الآن هو مجرد مصادفة (أو ليس مصادفة، بل ضرورة، إذا كانت القيم المختلفة إلى حدٍّ كبير للثابت الكوني ستكون معادية بطريقة ما لتطوُّر الحياة والذكاء، ربما عن طريق جعل الفضاء يتوسع بسرعة كبيرة بحيث لا يمكن أن تتشكَّل المجرات). وثمة احتمالية أخرى، هي أنه ليس ثابتًا كونيًّا على الإطلاق، ولكنه نوع من مجال الطاقة الجديد يحاكي الثابت الكوني في الكون، والذي قد يتغير بمرور الوقت، وفي هذه الحالة هناك احتمال أنه تطور إلى ما هو عليه لسبب آخر.

ولأننا لا نعرف إذا ما كان هذا ثابتًا كونيًّا بالفعل أم لا، فإننا نطلق عمومًا على أي ظاهرة مفترضة يمكن أن تجعل الكون يتسارع في

توسُّعه اسم **الطاقة المعتمة**. ولإضافة المزيد من المصطلحات إلى هذا الخليط، غالبًا ما تُسمَّى الطاقة المعتمة المتطورة (أي غير الثابتة) "**الجوهر**"، نسبة إلى "العنصر الخامس"، وهو شيء يتسم بالغموض كان التفلسف حوله شائعًا في العصور الوسطى، ولم يُحدد على نحو أكثر دقَّة حتى الآن. والشيء اللطيف فيما يتعلق بفرضية الجوهر هو أنها يمكن أن تقودنا إلى نظرية لها بعض أوجه التشابه مع التضخم الكوني في بداية الزمن. نحن نعرف أن أيًّا ما كان السبب في التضخم الكوني قد توقَّف في النهاية؛ لذلك ربما كان من الممكن أن يكون ثمة مجال مماثِل مُسبِّب للتوسع المتسارع قد أصبح يعمل منذئذ؛ ممَّا أدَّى إلى التسارُع الذي نراه اليوم.

(أحد الجوانب السلبية لفرضية الجوهر هو أن الطاقة المعتمة التي تتغير بمرور الوقت يمكن نظريًّا أن تدمر الكون بعنف. على سبيل المثال، إذا تحوَّل أي شيء يؤدي لتسريع التوسع الآن إلى العكس، فقد يتسبَّب ذلك في توقف الكون وانهياره؛ مما يؤدي إلى انسحاق كبير على أية حال. من حسن الحظ أن ذلك يبدو غير محتَمَل إلى حدٍّ كبير، رغم أننا لا نستطيع نفيه بالكامل).

على أية حال، واستنادًا إلى الملاحظات في الوقت الحالي، يبدو بالفعل بدرجة كبيرة أن الطاقة المعتمة ثابت كوني: خاصية ثابتة للزمكان والتي أصبحت مؤخرًا (أي في مليارات السنين القليلة الماضية) تهيمن على تطور الكون. في العصور المبكرة، عندما كان الكون أكثر اندماجًا، لم تكن ثمة مساحة كافية للثابت الكوني (فهو من خواص الفضاء الفارغ) للقيام بالكثير، لذلك كان التوسع في ذلك الوقت يتباطأ. تمامًا كما كنا نتوقع. ولكن منذ حوالي خمسة مليارات سنة، أصبحت المادة منتشرة جدًّا بسبب التوسع الكوني العادي، لدرجة أن تمدُّد الفضاء المتأصل الناجم عن الثابت الكوني بدأ يصبح ملحوظًا حقًّا. يمكننا الآن قياس حركة انفجارات السوبر نوفا البعيدة جدًّا لدرجة

أنها انتهت قبل أن يبدأ التوسع في التسارع؛ مما يعني أنه يمكننا تتبُّع متى كان الكون يتباطأ، وبدرجة دقيقة تقريبًا متى تحوَّل إلى التسارع. لا تزال الطاقة المعتمة مجالًا ديناميكيًّا جديدًا. لكن حتى الآن، هناك ثابت كوني يتناسب تمامًا مع البيانات.

وإذا تابعنا ذلك حتى عواقبه المستقبلية، سنجد أنه ينطوي على مفارقة. حيث يبدو لنا الآن أن المصطلح الذي استخدمه أينشتاين لإنقاذ الكون سوف يؤدي في نهاية المطاف إلى هلاكه.

## جهاز المشي الكوني اللا متناهي

ستكون نهاية العالم المستحثَّة بثابت كوني نهاية بطيئة ومؤلمة، تتميز بزيادة العزلة، والتَّحلُّل بلا رحمة، والتلاشي في الظلام على مدى دهور. وهذا، بمعنى ما، لا يُنهي الكون تمامًا، لكنه يُنهي كل شيء فيه، ويجعله لاغيًا وباطلًا.

السبب الذي يجعل الثابت الكوني يقضي على الكون هو أنه بمجرد أن يبدأ، فإن التوسع المتسارع لا يتوقف أبدًا.

***

ربما يكون الكون المرصود حاليًّا أكبر مما تعتقد. يشير الجزء "القابل للرصد" إلى المنطقة الواقعة لدينا داخل **أفق الجسيمات**. نحن نعرِّف هذا بأنه أبعد ما يمكن أن نراه؛ نظرًا للقيود المتمثلة في سرعة الضوء وعُمْر الكون. فحيث إن الضوء يستغرق وقتًا للانتقال، والأشياء البعيدة هي، من وجهة نظرنا، أبعد في الماضي، فلا بُدَّ أن تكون هناك مسافة تتوافق مع بداية الزمن نفسه. المسافة التي إذا انطلق منها شعاع ضوئي في اللحظة الأولى، فسوف يستغرق عمر الكون بأكمله

للوصول إلينا. وهذا ما يحدِّد أفق الجسيمات، وهو أبعد ما يمكننا رصده من أي شيء على الإطلاق، حتى من حيث المبدأ. فإذا كنا نعلم أن عمر الكون حوالي 13.8 مليار سنة، فإن المنطق يخبرنا أن أفق الجسيمات يجب أن يكون مجالًا نصف قُطره 13.8 مليار سنة ضوئية. لكن هذا بافتراض وجود كون ثابت. في الواقع، بما أن الكون يتوسع طوال ذلك الوقت، فإن شيئًا قريبًا بما يكفي لإرسال ضوئه إلينا قبل 13.8 مليار سنة أصبح الآن أبعد كثيرًا- حوالي 45 مليار سنة ضوئية. لذلك يمكننا تعريف الكون المرئي أو المرصود بأنه كرة يبلغ نصف قطرها حوالي 45 مليار سنة ضوئية، ويتمركز حولنا[1].

وأقرب ما يمكن أن نصل إليه لرؤية تلك "الحافة" هو إشعاع الخلفية الكونية الميكروي، الذي يأتي ضوؤه من أفق الجسيمات تقريبًا. ولكن بالقرب منَّا قليلًا، يمكننا أيضًا رؤية المجرات القديمة التي تبعد الآن أكثر من 30 مليار سنة ضوئية. لكن الضوء الذي نراه من تلك المجرات بدأ في الانتقال عبر الكون قبل وقت طويل من وصولها إلى تلك المسافات المذهلة. إذا لم يكن الأمر كذلك، فلن نكون قادرين على رؤيتها على الإطلاق، لأن الضوء القادم منها الآن[2] لا يمكن أن يصل إلينا أبدًا. من الواضح أنه في الكون المتوسِّع بانتظام، حيث تنحسر الأشياء البعيدة بسرعة أكبر، فمن المحتَّم وجود مسافة تكون سرعة الانحسار الظاهرية بعدها أسرع من سرعة الضوء؛ لذلك لا يمكن للضوء أن يلحق بها.

ربما تقول: "انتظِر! لا شيء يستطيع الانتقال أسرع من الضوء!" وهذا معقول فعلًا، لكنه لا يؤدي في الواقع إلى تناقُض. في حين أنه لا

---

(1) إذا كنت جالسًا في مجرة مختلفة في مكان مختلف من الكون، سوف تعيِّنُ الكون المرصود من ناحيتك أيضًا ككرة يبلغ نصف قطرها حوالي 45 مليار سنة ضوئية، مركزها موقعك. "الكون المرصود" (أو الكون المرئي) هو مفهوم ذاتي متمركز حرفيًا حول الذات.

(2) كما رأينا في الفصل الثاني، من الصعب للغاية تحديد "الآن".

يوجد شيء يمكنه الانتقال أسرع من الضوء عبر الفضاء، إلا أنه لا توجد قاعدة تحدُّ من السرعة التي يمكن أن تحدث بها الأشياء ليحدث بينها تباعُد لأنها ظلت ثابتة ساكنة في فضاء يتوسع بينها.

إن المسافة التي تبتعد بها المجرات عنَّا حاليًّا بسرعة أكبر من سرعة الضوء تُعتبر قريبة بشكل مدهش؛ نظرًا للمدى الذي يمكننا رؤيته فعليًّا. نحن نسميها نصف قُطر هابل Hubble radius، وهي تبعد عنَّا بمقدار 14 مليار سنة ضوئية تقريبًا. ذكرت في الفصل الثالث أنه يمكننا تحديد المسافة إلى الأجسام من خلال عوامل إزاحتها نحو الأحمر، أي مقدار انزياح ضوئها نحو الجزء الأحمر من الطيف (تردُّد منخفض/طول موجي طويل)، نتيجة توسُّع الكون. أي جسم في نصف قُطر هابل ستكون له إزاحة نحو الأحمر بمقدار 1.5 تقريبًا؛ ممَّا يعني أن موجة الضوء، والكون نفسه، يمتدُّ إلى ضعفين ونصف طوله الأصلي منذ انبعاث الضوء[1]. ولكن حتى تلك المسافة التي لا يمكن تصوُّرها على الإطلاق، عندما نتحدث بالمصطلحات الكونية، هي قاب قوسين أو أدنى. لقد رأينا مستعرات عظمى فردية تصل إلى إزاحة إزاحة حمراء بمقدار 4 تقريبًا. وأبعد المجرات التي رأيناها كانت بقِيَم إزاحة إزاحة حمراء تصل إلى 11، بينما الخلفية الكونية الميكروية هي عند إزاحة نحو الأحمر بمقدار 1,100 تقريبًا.

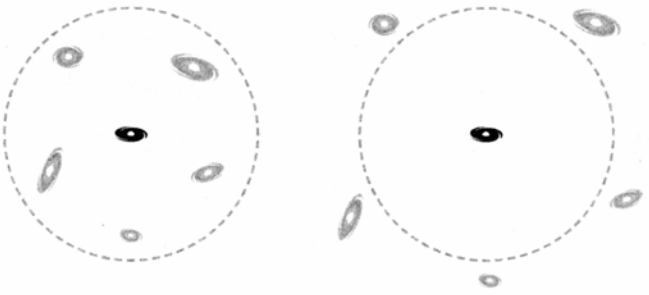
إذن، كيف يمكننا أن نرى الكثير من الأشياء البعيدة جدًّا لدرجة أنها تبتعد عنَّا بسرعة أكبر من سرعة الضوء، والتي في الواقع كانت كذلك دائمًا؟ إذا كان شيء يتحرَّك بعيدًا بسرعة أكبر من سرعة الضوء، فإن شعاع الضوء المنبعث منه لا يقترب منَّا، بل يبتعد عنَّا أكثر. والخدعة هي أن الضوء الذي وصل إلينا غادر المصدر منذ فترة

(1) معامل زيادة الحجم النسبية للكون هي 1 زائد الإزاحة نحو الأحمر، ومن ثم فإن أي شيء قريب، عند معدل إزاحة نحو الأحمر بمقدار الصفر، هو في كون بنفس حجم كوننا.

طويلة، عندما كان الكون أصغر وكان التَّوسُّع يتباطأ في الواقع. لذا فإن شعاع الضوء الذي بدأ ينبعث حَمَلَه تمدُّد الفضاء بعيدًا عنَّا (على الرغم من انبعاثه في اتجاهنا) وفي النهاية كان قادرًا على "اللحاق" مع تباطؤ التوسع ووصل إلى جزء من الكون قريب بما يكفي لأن تكون سرعة الانحسار أقلَّ من سرعة الضوء. فدخل إلى نصف قُطر هابل الخاص بنا من الخارج.

تخيَّل أنك تقف في منتصف جهاز مشي طويل للغاية يسير بسرعة أكبر من سرعتك في الركض. حتى لو كنت تركض بأقصى سرعة لك، فسوف تتراجع إلى الخلف. ولكن إذا لم تنجرَّ إلى الخلف كثيرًا، وإذا تباطأت سرعة جهاز المشي بدرجة كافية، فيمكنك في النهاية تعويض الأرض المفقودة والبدء في المضي قُدمًا قبل السقوط من النهاية الخلفية. لذا، إذا كنت في كون يتباطأ توسُّعه، فستتمكن من رؤية المزيد والمزيد من الأشياء البعيدة مع مرور الزمن، حيث يلحق الضوء الصادر من الأجسام البعيدة بالتوسع. وبمرور الزمن، تنمو "المنطقة الآمنة" التي تكون فيها سرعة التوسع أقلَّ من سرعة الضوء، نصف قُطر هابل، وتحتوي الأجسام التي كانت خارجها في السابق. إن آفاقنا[1]، إذا جاز التعبير، تتسع.

(1) نصف قطر هابل ليس أفقًا على وجه التحديد، بالمعنى الفيزيائي للكلمة. لكن أفق الجزيئات هو كذلك، فهو حدٌّ لا يمكن لنا أن نحصل على معلومات حول أي شيء خلفه. أما نصف قطر هابل فهو مجرد نصف قُطر فيه سرعة التوسع الحالية هي سرعة الضوء، لكنه يتغير بمرور الوقت، وكما سبق أن ناقشنا، فإن الأشياء يمكن أن تعبر خلاله. وأحيانًا يدعونه بالأفق، لكنَّ كوزمولوچيين كثيرين سوف يستشيطون غضبًا إذا استخدمت هذا المصطلح.




الشكل 11: نصف قُطر هابل الآن وفي المستقبل. مع تسارُع توسع الكون، فإن المجرات الموجودة حاليًا داخل نصف قطر هابل سوف تصبح خارجه. وفي النهاية، لن تكون هناك مجرات مرئية خارج مجموعتنا المحلية.

لكن الطاقة المعتمة تدمِّر كل شيء. وبسبب الطاقة المعتمة، لم يعُد التوسع يتباطأ، بل هو في الواقع يتسارع منذ خمسة مليارات سنة تقريبًا. وبينما لا يزال نصف قطر هابل ينمو من الناحية الفنية من حيث الحجم المادي، فإنه ينمو ببطء شديد لدرجة أن التوسع يسحب الأجسام المرئية سابقًا إلى خارجه. يمكننا أن نرى أجسامًا بعيدة جدًّا كان ضوؤها يعبر داخل نصف قطر هابل قبل بدء التسارع، لكن أي شيء لا يقع ضوؤه في المنطقة الآمنة الآن سيظل غير مرئي إلى الأبد. (المزيد عن ذلك لاحقًا).

حتى بدون تعقيدات الطاقة المعتمة، قد يكون الكون المتوسع شيئًا يصعب على رؤوسنا أن تحيط به[1].

حقيقة أن الكون يتوسع تعني أنه كان أصغر في الماضي: حسنًا.

(1) ليس حرفيًا، طبعًا. فسوف يكون لفُّ أدمغتنا حوله مستحيلاً، ولا يمكن أبدًا أن ننصح به.

وحقيقة أنه كان أصغر في الماضي تعني أن شيئًا بعيدًا الآن كان أقرب في الماضي: فليكن.

وهذا بدوره يعني أن هناك مجرَّة بعيدة جدًّا يمكننا رؤيتها حاليًّا، كانت منذ مليارات السنين قريبة نوعًا ما: صحيح.

ومنذ زمن طويل أطلقت تلك المجرة شعاعًا من الضوء كان في الأصل يتحرك بعيدًا عنَّا على نحو مباشر، على الرغم من توجيهه في اتجاهنا، ولكنه من وجهة نظرنا حينئذ بدا أنه توقف واستدار وقد وصل حالًا إلينا: بالتأكيد، من وجهة نظر معيَّنة، قد يكون ذلك منطقيًّا.

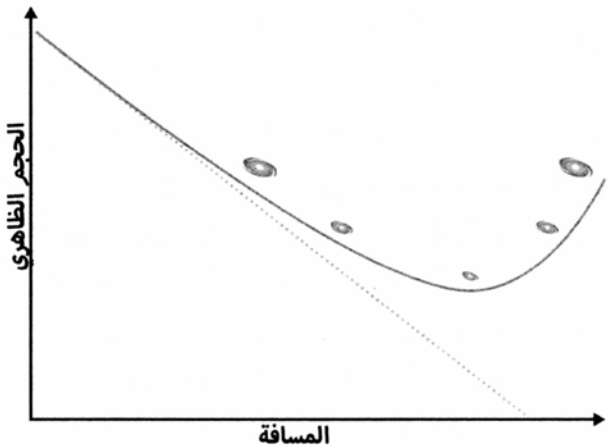
**لكنه يصبح أكثر غرابة.**

أنا آسفة على هذه الصرخة. أنا آسفة بالفعل. لكنني لن أقوم بتلطيف ذلك. الكون غريب جدًّا وهذا الكون المرصود بنصف قُطر هابل بكامله فيه هو جزء كبير من ذلك، ويجعل أشياء غريبة للغاية تحدث. والآن سأخبركم بواحدة من أكثر الغرائب المذهلة التي أعرفها عن الكوزمولوچيا. أنت تعلم كيف أن الشيء عندما يكون بعيدًا يبدو أصغر؟ هذا طبيعي تمامًا. كلما كان الشيء أبعد، بدا أصغر. يبدو الناس من الطائرات في غاية الصِّغَر. يمكنك تغطية المباني البعيدة بإبهامك. الجميع يعرف هذا.

إلا هناك في الكون؟ ليس هكذا بالضبط.

لبعض الوقت، تبدو الأشياء البعيدة أصغر، بالتأكيد. تبدو الشمس والقمر بنفس الحجم بالنسبة لنا، لأنه على الرغم من أن الشمس أكبر بكثير، إلا أنها أيضًا بعيدة جدًّا. وعلى مدى العديد من مليارات السنين الضوئية، كلَّما كانت المجرة أبعد، كلما بَدَت أصغر. كما يمكن أن تتوقَّع. ولكن في مكان ما على مقربة من نصف قُطر هابل، تنعكس هذه العلاقة. فوراء تلك المسافة، كلما كان الشيء أبعد، كلما بدا أكبر! وهذا أمر مريح للغاية بالنسبة لنا نحن الفلكيين، بطبيعة

الحال، لأنه يسمح لنا برؤية البنية والتفاصيل في مجرات بعيدة جدًّا عنَّا، وذلك في إطار كونٍ معقول قد يبدو أشبه بنقاط متناهية الصغر. ولكن إذا فكرنا في الأمر كثيرًا، فإنه لا يزال يبدو وكأن الهندسة تعمل بطريقة غير معقولة على الإطلاق.




الشكل 12: الحجم الظاهري للمجرات البعيدة (بافتراض نفس الحجم المادي) كدالَّة لمسافة البُعد عنَّا. على مسافة معينة، تبدو المجرة البعيدة أصغر حجمًا، ولكن في مرحلة ما، ينقلب هذا الأمر، وتبدو المجرة الأبعد أكبرَ في السماء. ويشير الخط المنقَّط إلى كيفية ارتباط الحجم الظاهري بالمسافة في الكون الساكن.

ويرتبط سبب هذا الانعكاس بالسبب الذي يجعلنا نرى الأشياء التي تتحرك حاليًّا بعيدًا عنَّا بسرعة أكبر من سرعة الضوء. في الماضي، عند انبعاث الضوء، كانت هذه الأشياء أقرب. كانت في الواقع قريبة جدًّا لدرجة أنها كانت تغطي مساحة أكبر من السماء. ورغم أنها

بعيدة جدًّا الآن، فإن "اللقطة" التي أرسلتها إلينا كانت تنتقل طوال ذلك الوقت، وقد وصلتنا الآن للتَّوِّ، وهي تُظهر لنا الصورة الشبحية لشيء أقرب بكثير. وكلَّما عُدتَ بالزمن إلى الوراء، كلما كان الكون أصغر؛ لذا، فبعد نقطة معيَّنة، فإن التوازن بين "الكون كان أصغر في الماضي" و"الضوء يستغرق قدرًا مُعيَّنًا من الزمن للوصول إلينا" هو مثل مجرة أكثر ابتعادًا من مجرة أخرى الآن ربما كانت في الواقع **أقرب** عندما انبعث ضوؤها.

هل ترى؟ لقد حذَّرتُكَ من أن الأمر سيكون غريبًا.

على أية حال، إذا كان هذا كله مربكًا للغاية ومحيِّرًا للعقل، فلا بأس بذلك وهو طبيعي تمامًا. ربما تحاول خطَّ بعض الرسومات على المناديل، ثم تمدُّ المناديل في كل اتجاه أثناء الركض على جهاز المشي اللا متناهي بسرعة قصوى على مدار مليارات السنين، ونأمل أن يكون ذلك منطقيًّا حينئذ. وفي نفس الوقت، لا بُدَّ أن نعود إلى ما يعنيه كل هذا بالنسبة لمستقبل الوجود. لأنه في الحقيقة ليس جيدًا.

## الأفول البطيء حتى السواد

إن التأكيد على أن "الطاقة المعتمة تدمِّر كل شيء" ليس مبالَغة. ومن المفارقة أن الكون الذي يتسارع توسُّعه هو عالَم يتقلَّص فيه التأثير الذي تمارسه الأشياء الموجودة فيه. فالمجرات البعيدة تُسحب خارج نصف قُطر هابل بسبب التوسع الكوني وسوف تضيع بالنسبة لنا. أما المجرات التي يمكننا رؤية ماضيها البعيد الآن، فسوف تتلاشى ببطء في الظلام مثل الصور الفوتوغرافية القديمة المتحللة. وفي جوارنا الكوني، بعد اندماج مجرَّتَي درب التبانة وأندروميدا، ستصبح مجموعتنا المحلية الصغيرة من المجرات أكثر انعزالًا باطِّراد، حيث ستصبح محاطَةً بالظلام والضوء البدائي المحتضر. وفي جميع أنحاء الكون، غير

المرئي لنا، سوف تندمج مجموعات وتجمعات أخرى من المجرات لتشكِّل كُتَلًا إهليلجية عملاقة من النجوم، تحترق بشكل ساطع في بداية الاندماجات العنيفة ولكنها تضمحل في النهاية لتصبح جمرات، ولن يصل توهُّجها أبدًا إلى ما هو أبعد من الفضاء الخاوي لحوض توسعها الخاص.

وفي نهاية المطاف، ستحتضر كل مجرة عملاقة جديدة وحيدة تمامًا. لن يقترب أي شيء مرة أخرى لجلب إمدادات جديدة من الغاز لتغذية نجوم جديدة. النجوم التي لا تزال ساطعة ستحترق وتنفجر على شكل مستعر أعظم، أو في أغلب الأحيان، سوف تنسلخ عن طبقاتها الخارجية لتصبح مخلفات بطيئة الاحتراق، وتبرد تدريجيًّا على مدى مليارات أو تريليونات من السنين. وسوف تنمو الثقوب السوداء لبعض الوقت. وسوف يبتلع بعضُها ما يوازي مجرَّاتٍ من البقايا النجمية الميتة؛ وبعضها سيتوقف نموُّه، مع عدم اقتراب أي مادة جديدة بما يكفي لاستهلاكها.

وعندما تتلاشى النجوم جميعًا وتضمحلُّ في الظلام، يبدأ الانحلال النهائي.

تبدأ الثقوب السوداء بالتَّبخُّر.

كان يُعتقد في البداية أن الثقوب السوداء أبدية، أي أنها قادرة على النمو عن طريق استهلاك المواد الأخرى، ولكنها غير قادرة على فقدان أي كتلة على الإطلاق. فمن المنطقي أن شيئًا معروفًا بحقيقة أنه حتى الضوء لا يمكنه الإفلات منه سيكون حفرة لا نهاية لها ولا رجعة منها. لكن ستيفن هوكينج قد حسب في السبعينيات أن التأثيرات الكَمِّيَّة على أفق الثقب الأسود تجعله يتوهج بشكل خافت. ويحمل التوهج الطاقة -أو الكتلة بشكل مكافئ- فينكمش الثقب الأسود. تسير هذه العملية ببطء في البداية، ثم بشكل أسرع وأكثر سطوعًا وسخونة حتى الانفجار النهائي والاختفاء في النهاية. وحتى الثقوب السوداء الهائلة

الموجـودة في مراكـز المجـرات، والتـي تبلـغ كتلتهـا ملايـين أو مليـارات المـرات كتلـة الشـمس، مُقـدَّر لهـا أن تتـلاشى وتختفـي في نهايـة المطـاف.

وسـوف تعـاني المـادة العاديـة -التـي تتشـكَّل منهـا النجـوم والكواكـب والغـاز والغبـار- مـن مصـير مماثِـل، وإن كان أقـلَّ دراماتيكيـة.

مـن المعـروف أن معظـم جسـيمات المـادة، عنـد مسـتوى مـا، تكـون غـير مسـتقرَّةٍ. وإذا تُرِكَـت بمفردهـا لفـترة كافيـة، فإنهـا تتحلَّـل إلى أشـياء أخـرى، وتنخفـض كتلتهـا وطاقتهـا في هـذه العمليـة. النيوتـرون، عـلى سـبيل المثـال، سـوف يضمحـلُّ في النهايـة إلى بروتـون وإلكـترون ونيوتريـنو مضـاد. ورغـم أننـا لم نشـهد أبـدًا اضمحـلال البروتـون تجريبيًّـا، إلا أن لدينـا مـن الأسـباب مـا يدعـو للاعتقـاد بـأن ذلـك يمكـن أن يحـدث أيضًـا، إذا كنـت عـلى اسـتعداد للانتظـار حـوالي $10^{33}$ عامًـا. عنـد تلـك النقطـة، حتـى ذرات الهيدروچـين، التـي ظلـت باقيـة باعتبارهـا الـذرات الأكـثر عـددًا في الكـون منـذ الانفجـار الكبـير نفسـه، سـوف تختفـي أخـيرًا مـن الوجـود.

إن المسـتقبل البعيـد لكـون تحكمـه الطاقـة المعتِمـة في شـكلٍ ثابـتٍ كـونيٍّ هـو مسـتقبل الظـلام والعزلـة والفـراغ والاضمحـلال. لكـن هـذا التـلاشي البطـيء هـو مجـرد بدايـة النهايـة النهائيـة: المـوت الحـراري.

***

قـد يبـدو تعبـير "المـوت الحـراري" تسـمية خاطئـة لحالـة الكـون الـذي هـو أكـثر بـرودة وأكـثر قتامـة مـن أي شيء آخـر في تاريـخ الخلـق. لكـن في هـذه الحالـة، مصطلـح "الحـرارة" هـو مصطلـح فيزيـائي تقنـي، لا يعنـي "الـدفء"، بـل هـو بالأحـرى "الحركـة غـير المنتظمـة للجسـيمات أو الطاقـة". وهـو ليـس مـوت الحـرارة، بـل المـوت بالحـرارة. إنـه الاضطـراب

على وجه الخصوص هو الذي يقتلنا؛ ولهذا السبب علينا أن نتوقَّف لحظة للحديث عن الإنتروبيا[1].

في كل العلوم، ربما تكون الإنتروبيا واحدة من أكثر الموضوعات أهمية وتنوُّعًا وغموضًا بدرجة مأساوية. وهي تظهر في كل مكان، ليس فقط في فيزياء كل شيء من البالونات وحتى الثقوب السوداء، ولكن أيضًا في علوم الكمبيوتر، والإحصاء، وحتى الاقتصاد وعلم الأعصاب. عادة ما يتمُّ تفسير الإنتروبيا من حيث الفوضى. كلما كان النظام أكثر اضطرابًا، كلما زادت الإنتروبيا. كومة من قطع لغز الصورة المقطَّعة بها إنتروبيا أعلى من اللغز المكتمل؛ تحتوي البيضة المخفوقة على إنتروبيا أعلى من البيضة السليمة. في الحالات التي لا تكون فيها "الفوضى" خاصية واضحة على الفور، يمكنك التفكير في الإنتروبيا كمقياس لمدى حرية عناصر النظام أو انطلاقها بلا قَيْد. ولكي نصوِّر ذلك على نحوٍ محسوس، نقول إن لغز الصورة المقطَّعة المكتمل يحتوي على إنتروبيا منخفضة لأن هناك طريقة واحدة فقط لترتيب جميع القطع وجعل اللغز كاملًا، في حين أن كومة قطع الصورة يمكن أن تكون في أي عدد من التشكيلات ومع ذلك فهي تشكِّل كومة بنجاح.

ورغم أن الأمر ليس واضحًا تمامًا في هذه الأمثلة، إلا أن الإنتروبيا المرتفعة ترتبط أيضًا بارتفاع درجة الحرارة. هذا منطقي إذا فكَّرت في الفرق بين كتلة من الجليد وسحابة من البخار. لكي تكون جليدًا، يجب أن تكون جزيئات الماء مُرتَّبة في بنية بلَّوريَّة، بينما تكون

---

(1) الإنتروبيا entropy: مصطلح علمي يرتبط غالبًا بحالة من الفوضى أو العشوائية أو الارتياب. ويستخدم المصطلح في مجالات عديدة ومتنوعة، وهو مبدأ أساسي في القانون الثاني للديناميكا الحرارية، والذي يقول إن إنتروبيا أي نظام معزول في تطوُّر عشوائي لا يمكن أن تقلَّ بمرور الزمن. ونتيجة لذلك؛ فإن الأنظمة المعزولة تتطور نحو درجة تعادُلٍ ديناميكي حراري، حيث تصبح الإنتروبيا هي الأعلى. وسوف أستخدم في ترجمتي الكلمة الشائعة للتعبير عنها في العربية: إنتروبيا. [المترجمة]

جزيئات البخار حرة في التَّحرُّك في ثلاثة أبعاد. ولكن حتى مجرد تبريد البخار قليلًا يُقلِّل من "إنتروبيته"، لأن الجزيئات تتحرك بشكلٍ أقلَّ: فهي مقيدة أكثر، أو أقل فوضى.

الشيء المهم في الإنتروبيا، من الناحية الكونية، هو أنها ترتفع بمرور الوقت. ينصُّ القانون الثاني للديناميكا الحرارية[1] على أن الإنتروبيا الإجمالية، في أي نظام معزول، يمكن فقط أن تزيد، ولا تنقص. بعبارة أخرى، لا يظهر النظام تلقائيًّا من العدم، وإذا تركت شيئًا ما لفترة كافية، فسوف يتحلَّل حتمًا ويتحول إلى حالة فوضوية. أي شخص حاول الحفاظ على مكتبه مُرتَّبًا سوف يفهم هذا، القانون الطبيعي الأكثر بديهية وجنونًا في الكون.

أمَّا إن كان من الممكن اعتبار الكون نفسه نظامًا معزولًا، فهي مسألة بحاجة إلى بعض المناقشة، لكن اعتباره كذلك يقودنا إلى استنتاج أن مستقبل الكون من المحتَّم أن يكون الفوضى والتدهور المتزايد. والواقع أن القانون الثاني يُعتبر أساسيًّا ولا مفرَّ منه، وقد تمَّ إلقاء اللوم عليه لاعتباره سبب مرور الوقت نفسه.

قوانين الفيزياء بشكل عام لا تأخذ اتجاه الزمن بعين الاعتبار؛ في معظم الحالات، لا يحدث أي فَرق بالنسبة للفيزياء عند عكس المعادلات الخاصة بالوقت. الجزء الوحيد من الفيزياء الذي يبدو أنه يهتمُّ بالاتجاه الذي يسير فيه الزمن هو الإنتروبيا. في الواقع، قد يكون السبب الوحيد الذي يجعلنا نتذكَّر الماضي وليس المستقبل هو أن الفكرة القائلة بأن "الأمور لا يمكن إلا أن تسوء" هي حقيقة شاملة للغاية لدرجة أنها تشكل الواقع كما نعرفه.

---

(1) القوانين الأخرى أقل إثارة على نحو ما، رغم أنها تبدأ بالصفر فعلاً، فقط لتكون غريبة الشأن. وهي بإيجاز: 0) إذا كان شيء واحد في اتزان حراري مع شيء آخر، وإذا كان هناك شيء ثالث في توازن مع هذا الآخر، فإنها جميعًا في توازُنٍ مع بعضها البعض. 1) الطاقة محفوظة وآليات الحركة الدائمة إلى الأبد مستحيلة (آسفة). 3) عندما يقترب شيء ما من درجة حرارة الصفر المطلق، تقترب إنتروبيته من قيمة ثابتة.

"لكن انتظر!" قد تقول: "لقد أكملتُ ترتيب قطع لغز الصورة المقطعة! لقد وضَعتُ نظامًا! هل استطعتُ للتَّوِّ أن أعكس سهم الزمن؟!".

ليس تمامًا. فلغز الصورة المقطعة ليس نظامًا معزولًا، ولا أنت كذلك. على وجه التحديد، يمكن لأي زيادة في الإنتروبيا أن تنعكس بجهد كافٍ. سيكون الأمر صعبًا للغاية، لكن يمكنك أن تعيد بيضة بعد خلط بَياضها وصفارها إلى حالتها الأصلية إذا خصَّصت ما يكفي من الوقت وبعض المعدات المعملية المتطورة على نحو فائق. لكن الإنتروبيا الإجمالية سترتفع دائمًا. في حالة لغز الصورة المقطعة، يتطلب الجهد الذي تبذله لتجميع القطع معًا إنفاقًا للطاقة، ممَّا يعني أنك تقوم باستهلاك الكيمياء الغذائية وإنتاج الحرارة والفضلات (مثل ثاني أكسيد الكربون، كما تعلم) في بيئتك. يؤدي ذلك إلى زيادة حرارة الغرفة، وخلق نفايات جُسَيميَّة، وربما يؤدي إلى تجعُّد قميصك الذي ترتديه. لا أعرف ما الذي يمكن أن تفعله آلة إعادة البيض لحالته الأصلية في الأشياء المحيطة بها، لكنني واثقة تمامًا من أنني لا أريد أن أكون في غرفة مغلقة معها أثناء تشغيلها.

وهذا، بالمناسبة، هو السبب في أن ترك باب الثلاجة مفتوحًا سيؤدي في النهاية لجعل المطبخ بأكمله أكثر سخونة، ولماذا يمكن أن تساهم مكيِّفات الهواء في ظاهرة الاحتباس الحراري. كل محاولة لإخضاع جزء من العالم لإرادتنا تخلق فوضى في مكان آخر، وغالبًا ما يكون ذلك على شكل حرارة.

وبقدر ما يحتوي هذا على تطبيقات مثيرة للاهتمام بالنسبة للبيض والثلاجات ومكيِّفات الهواء، إلا أن الأمر يصبح أكثر غرابة عندما نضيف الثقوب السوداء إلى هذا المزيج.

في سنوات العَقد 1970، كان الفيزيائيون يتحدثون كثيراً عن الإنتروبيا وكيف أن إنتروبيا الكون بأكمله لا بُدَّ أن تتزايد بمرور الوقت، وماذا يمكن أن تكون الآثار المترتبة على ذلك. في نفس الوقت، كان ذلك الشاب الذي لم يشتهر بعدُ، ستيفن هوكينج Stephen Hawking، وحتى باحث ما بعد الدكتوراه الأصغر سنًّا جاكوب بيكنشتاين Ja-cob Bekenstein يفكران في الثقوب السوداء ويتساءلان عمَّا إذا كانت مكبَّات نفايات الزمكان الغريبة تلك، والتي لا مفرَّ منها، قد تعيث فسادًا في القانون الثاني للديناميكا الحرارية. ماذا لو، على سبيل المثال، استخدمت جهاز إعادة البيض لحالته الأصلية لتصحيح البيضة، ثم احتفظت بالبيضة بينما ألقيتَ بمختبر تصحيح البيض الساخن الفوضوي بأكمله إلى أقرب ثقب أسود؟ هل سيؤدي ذلك إلى خفض الإنتروبيا الإجمالية للكون عن طريق إعادة البيضة إلى حالتها الأصلية مرة أخرى والتخلص من كل الإنتروبيا التي خلقتها في هذه العملية؟ على أية حال، فإن الثقب الأسود يُعرَّف بأنه شيء لا يمكن حتى للضوء الهروب منه، وهو جسم ضخم ومضغوط للغاية لدرجة أن جاذبيته تحوِّل اتجاه أشعة الضوء الصادرة لتعيد إرسالها فتغوص مرة أخرى نحو التفرد المركزي[1]. وفيما وراء أفق الحدث للثقب الأسود، نقطة جاذبية اللا عودة، لا شيء -لا الضوء، ولا المعلومات، ولا الحرارة- يمكن أن يهرب بمجرد دخوله. هل يمكن أن يكون إخفاء الإنتروبيا خلف آفاق حدث الثقب الأسود هو الجريمة المثالية؟

أيًّا كان الجزء الآخر من الفيزياء الذي يتعيَّن عليك كسره، فلا تراهن ضد القانون الثاني للديناميكا الحرارية. تبيَّن أن حلَّ مشكلة

(1) التفرُّد singularity: في النسبية العامة، التفرُّد المجرد هو فرضية خاصة بتفرد جاذبية ليس لها "أفق حدث". والتفرد في الثقب الأسود مغلق بالكامل بحدود تُعرف بأفق الحدث، وداخل أفق الحدث هذا يكون انحناء الزمكان الناتج عن التفرد قويًّا للغاية حتى إن الضوء لا يتمكن من الهروب منه. [المترجمة]

إنتروبيا الثقوب السوداء يغيِّر كل شيء كنَّا نظن أننا نعرفه عن الثقوب السوداء، ولا يغير أي شيء على الإطلاق عن الإنتروبيا. لا يمكنك إخفاء الإنتروبيا في الثقوب السوداء، لأنها تمتلك إنتروبيا خاصة بها؛ ممَّا يعني أن لها درجة حرارة (فهي تنتج حرارة.)؛ ممَّا يعني أنها ليست سوداء على الإطلاق.

ما توصَّل إليه بيكنشتاين وهوكينج في النهاية فيما يختص بالثقوب السوداء هو أن الثقب الأسود لا بُدَّ أن تكون له إنتروبيا مرتبطة به، حتى يوجد وفقًا للقانون الثاني. وبما أن هذه الإنتروبيا لا بُدَّ أن تزيد في كل مرة يبتلع فيها شيئًا ما، فمن المنطقي أن تكون الإنتروبيا مرتبطة بحجم الثقب الأسود نفسه، وعلى وجه التحديد، فهي مرتبطة بإجمالي مساحة سطح أفق الحدث. إذا ألقيت ثلاجة في ثقب أسود، فسوف تزداد كتلته بمقدار كتلة الثلاجة؛ ممَّا يزيد من حجم الأفق، وبالتالي مساحة السطح[1].

حقيقة أنه لا يمكن أن يكون لديك إنتروبيا دون أن تكون لك درجة حرارة، تعني أن الثقوب السوداء لا بُدَّ أن تشِعَّ شيئًا ما (على وجه التحديد، جسيمات وإشعاعًا). والمكان الوحيد الذي يمكن أن تشِعَّ منه هو عند أفق الحدث أو خارجه مباشرة، حيث إننا لا نزال غير قادرين على إخراج أي شيء بمجرد دخوله. لذلك لا بُدَّ أن شيئًا غريبًا يحدث هناك.

لحسن الحظ، إذا كنا بحاجة إلى الغرابة في الفيزياء، فيمكننا دائمًا الاعتماد على عالم الكَمِّ ليقدِّم لنا شيئًا جيدًا. في هذه الحالة، استفاد هوكينج من الغرابة الكمِّيَّة للجسيمات الافتراضية، وهي أزواج من

(1) هذا ليس سطحًا حقيقيًا، بل هو بالأحرى مجال في الفضاء محدد بالمسافة من مركز الثقب الأسود حتى نصف قطر شفارتزشيلد، وهو ما نسميه المسافة من التفرد حتى الأفق. ونصف قطر شفارتزشيلد ينتمي على نحو مباشر لكتلة الثقب الأسود.

جسيمات الطاقة الإيجابية والسلبية التي تقفز داخل وخارج الوجود من فراغ الفضاء نفسه[1]. والفكرة هي أن هذا "الفشار" الزَّمكاني يحدث طوال الوقت، وفي كل مكان، ولكن عادة لا يكون له أي تأثير على أي شيء لأن الجسيمين سيظهران ويُفنيان بعضهما البعض على الفور، ويعودان إلى حالة الانعدام مرة أخرى. ولكن، كما قال هوكينج، بالقرب من الثقب الأسود، يمكن أن تكون ثمة حالة يسقط فيها الجسيم الافتراضي سلبي الطاقة عبر الأفق، تاركًا الجسيم الافتراضي إيجابي الطاقة مجرَّدًا تمامًا لدرجة أنه يصبح حقيقيًّا ويتجول بلا هدف. وسوف تنقص كتلة الثقب الأسود قليلًا عندما تمتصُّ تلك الكمية الضئيلة من الطاقة السلبية، ونفس الكمية من الطاقة الإيجابية ستبدو وكأنها تُشِعُّ من أفق الثقب الأسود. ونظرًا لأن هذه الجسيمات الافتراضية تظهر دائمًا في كل مكان من الفضاء، فإن أي ثقب أسود لا يسحب المادة من بيئته سوف تنزف كتلته تدريجيًّا من خلال عملية التبخر تلك طوال الوقت.

ورغم ما يبدو من تعقيد في هذا، إلا أنه لا يزال صورةً مُبسَّطة إلى حدٍّ كبير، تهدف إلى التقاط الفكرة الأساسية فقط دون الدخول في تعقيدات تقنية، وهو تفسير يُستخدم طوال الوقت. لكنه لم يكن مُرضِيًا على الإطلاق بالنسبة لي، لأنه يبدو أنه يتطلب سقوط جسيمات الطاقة السلبية على نحو مميز نحو الثقب، وارتحال جسيمات الطاقة الإيجابية بعيدًا عن الثقب الأسود بما يكفي من الطاقة للهروب. اتَّضح أنه على الرغم من التحدث بهذه المصطلحات للجمهور العام، لم يرغب هوكينج أبدًا في أن يُؤخذ هذا التفسير حرفيًّا، والتفسير الحقيقي يتضمن حساب وظائف الموجة والتَّشتُّت الذي تتعرض له

(1) الجسيمات الحقيقية لن يكون لها طاقة سلبية، لكن تلك جسيمات افتراضية، والتي هي فقط كائن من نوع مختلف تمامًا، ولا ينبغي أن نخلط بينها وبين الجسيمات سلبية الشحنة مثل الإلكترونات.

الموجات بالقرب من الثقب الأسود. والحق أنني لا أستطيع الدخول بالفعل في ذلك دون قدر هائل من الحسابات الرياضية ومستوى من عرض الفيزياء الذي ربما يتطلب محاضرات أسبوعية لمدة فصلين أو ثلاثة فصول دراسية، لكنني أخبركم عنه لأنه إذا أزعجني، فقد يزعجك أيضًا، وأردت أن أؤكد لك أنه على الرغم من عدم كفاية القياس الشائع، فإن الحساب الكامل يكون منطقيًّا إذا قمت به بصرامة، باستخدام النسبية العامة ونظرية المجال الكمي.

كان الهدف من هذا التحويل هو القول إنه يمكننا أن نفترض بأمان أنه عند مواجهة الموت الحراري، تتبخَّر الثقوب السوداء بالفعل، ولا تترك شيئًا سوى القليل من الإشعاع الذي ينتشر عبر الكون الفارغ بشكل متزايد. أتمنى أن يساعد ذلك.

بالإضافة إلى ذلك، بصرف النظر عن القضاء على جميع الثقوب السوداء في نهاية المطاف، فإن قدرة الآفاق على الإشعاع، وحساب إنتروبيا الأشياء التي تحتوي عليها، هي في الواقع جزء أساسي من الموت الحراري؛ لأن كوننا المرئي له أفق أيضًا، ونحن داخله.

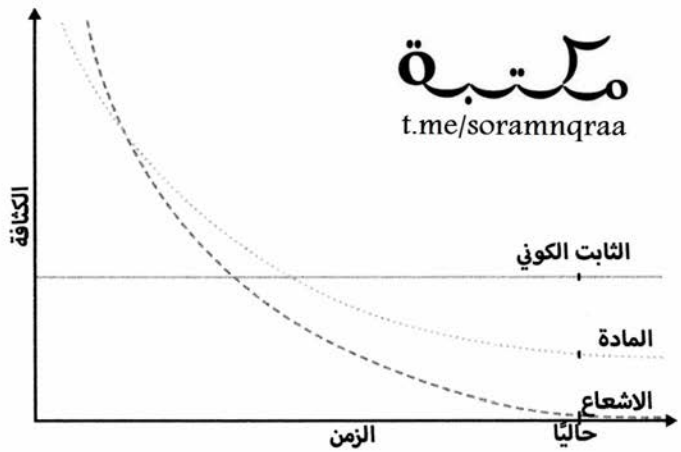
## إنتروبيا قصوى

إن الكون الواقع تحت سيطرة الثابت الكوني هو كون يتطوَّر بلا هوادة نحو الظلام والفراغ. مع تسارُع التوسع، هناك المزيد من المساحة الفارغة، وبالتالي المزيد من الطاقة المعتمة ممَّا يسبِّب المزيد من التوسع، إلى ما لا نهاية. في نهاية المطاف، عندما تحترق النجوم وتتحلل الجسيمات وتتبخر الثقوب السوداء كلها، يصبح الكون في الأساس مساحة فضاء ليس فيها سوى ثابت كوني، يتوسع بمعدل أُسِّي. نحن نسمي تلك المساحة بفضاء دي سيتر *de Sitter space*، وهذا الفضاء يتطور بنفس الطريقة التي نعتقد أن الكون المبكر قد تطوَّر

بها أثناء التضخم. فقط، توقف التضخم في النهاية. إذا كانت الطاقة المعتمة حقًّا ثابتًا كونيًّا، فلا يمكن أن يتوقف التوسع، وبدلًا من ذلك سيستمر الكون في التوسع، بمعدل أُسِّي، إلى الأبد.

فهل ينتهي كون مثل هذا حقًّا، فقط إذا استمر في التوسع؟ للإجابة على ذلك، علينا أن نتعمق أكثر في الإنتروبيا وسهم الزمن.

مكتبة
t.me/soramnqraa




الشكل 13: كثافة المادة والإشعاع والثابت الكوني مع مرور الزمن. ولأن كثافة الطاقة المعتمة (في شكل ثابت كوني) لا تتغير مع توسُّع الكون، بينما تخِفُّ كثافة كل شيء آخر، فإنها تهيمن على كثافة الطاقة في الكون. اليوم، تشكِّل الطاقة المعتمة حوالي 70 بالمائة من الكون، بينما تشكِّل المادة حوالي 30 بالمائة، والإشعاع كمية ضئيلة للغاية.

في كل مرة يحترق نجم أو يتحلل جسيم أو يتبخر ثقب أسود، فإنه يُحوِّل المزيد من المادة إلى إشعاع حر، ينتشر عبر الكون على شكل حرارة: طاقة نقية مُعَربِدة بلا نظام. إن اختزال شيء ما في إشعاع حراري يعني زيادة إنتروبيا هذا الشيء إلى الحدِّ الأقصى، لأنه لا توجد

الآن أي قيود على تدفق الطاقة. عندما يصبح الكون أكثر فراغًا، يصبح هذا الإشعاع أكثر تخفيفًا؛ لذلك قد تعتقد أن إجمالي الإنتروبيا يجب أن ينخفض مع انخفاض درجة الحرارة. لكن هذا لا يحدث.

الطريقة التي يحدث بها ذلك هي كما يلي: عندما يصل الكون إلى حالة من التوسع الأُسّي الثابت، يمكنك تحديد نصف قُطر (من مكانك، أينما كنت) بعده تختفي بقية الكون إلى الأبد. إنه أفق حقيقي بمعنى أنه لا يمكن لأي شيء بعده أن يصل إليك. وقد اتضح أن هذا الأفق، مثل أفق الثقب الأسود، له أيضًا إنتروبيا مرتبطة به، ومن ثم درجة حرارة. الفرق هو أنه بدلًا من خروج الحرارة كما هو الحال مع الثقب الأسود، فإنها تدخل. ودرجة الحرارة صغيرة جدًّا -حوالي $10^{-40}$ درجة فوق الصفر المطلق- ولكن عندما يتحلل كل شيء آخر، فإن هذا الإشعاع هو الشيء الوحيد الموجود لاحتواء كل الإنتروبيا في الكون. وعندما يصل الكون إلى حالة دي سيتر النقية هذه، فإنه يصبح كونًا من الإنتروبيا القصوى. ومن تلك النقطة فصاعدًا، ليس ثمة طريقة أمام الإنتروبيا الإجمالية للكون للزيادة؛ مما يعني، بالمعنى الحقيقي للغاية، أن سهم الزمن قد.... ذهب.

يجب أن أُكرِّر هنا أن سهم الزمن والقانون الثاني للديناميكا الحرارية جزء لا يتجزأ من عمل الكون، لدرجة أنه إذا لم تكن هناك طريقة لزيادة الإنتروبيا، **فلن يحدث شيء**. من المستحيل أن تكون أية هياكل منظَّمة موجودة، أو أن يحدث أي تطور، أو أن تحدث أي عمليات ذات معنى من أي نوع. إن الجزء الضروري من أي شيء يحدث بالفعل هو انتقال الطاقة من مكان إلى آخر. إذا لم تتمكن الإنتروبيا من الارتفاع، فلا يمكن للطاقة أن تتدفق من مكان إلى آخر دون أن تتدفق عائدة على الفور؛ مما يؤدِّي إلى محو أي شيء قد يبدو أنه قد حدث بالصدفة. إن تدرُّجات الطاقة هي أساس الحياة، ولكنها أيضًا أساس أي هيكل أو آلة أخرى تؤدي أي نوع من العمل. لا يمكن

أن توجد تدرُّجات الطاقة في كونٍ هو مجرد حمَّام حراري عملاق (ولكنه شديد البرودة.) الحرارة عديمة الجدوى. الحرارة هي الموت.

***

**هناك بعض المحاذير.**

ولكي نكون واضحين، هذه ليست محاذير من نوع "حسنًا، من الناحية الفنية، هناك هذه التفاصيل الصغيرة"، ولكنها محاذير من نوع "يا إلهي، هذا يغير كل شيء".

هذه المرة، تعود الغرابة إلى قسم من الفيزياء يسمَّى الميكانيكا الإحصائية؛ وهو ما نستخدمه عندما نحتاج إلى الحديث عن شيء مثل درجة الحرارة، والتي هي في الواقع مجرَّد مقدار الحركة في نظام من الجسيمات، دون تجشُّم مشقَّة وصف مسار كل جسيم على حدة. الميكانيكا الإحصائية هي المكان الذي يتألق فيه القانون الثاني حقًّا، لأنها تتيح لك وصف نظام كبير معقَّد من حيث خاصية مهمَّة واحدة: الإنتروبيا الخاصة به. ولكنه يقدم أيضًا نوعًا من "الخروج". تلك النقطة حول كيف أن القانون الذي لا مفرَّ منه للكون هو الزيادة الدائمة للإنتروبيا؟ هذا لا ينطبق من الناحية المبدئية إلا على نطاقات كبيرة بما فيه الكفاية بشكل عام. على المستوى الكمي، أو حتى على المعدلات الكبيرة إذا انتظرت لفترة كافية، فإن التقلبات غير المتوقعة، من وقت لآخر، ستقوم تلقائيًا بتحويل جزء من النظام إلى حالة إنتروبيا أكثر انخفاضًا على نحو عشوائي. وكلما كان النظام أكبر؛ قلَّ احتمال أن تفعل التقلبات الكثير من أي شيء على الإطلاق، ولكن في كون يتوسع على نحو أبدي ولا يحتوي إلا على ثابت كوني، هناك الكثير من الوقت والمساحة للانتظار، وحتى حدوث أحداث ذات احتمالية منخفضة للغاية. من غير المرجَّح أن يظهر حوت ووعاء

مـن زهـور البتونيـا فجـأة إلى الوجـود في فضـاء فـارغ تمامًـا، ولكـن مـن حيـث المبـدأ، إذا انتظـرت لفـترة كافيـة، فقـد يحـدث ذلـك.

قـد يكـون هـذا مفيـدًا. إذا كان أي شيء يمكـن أن يظهـر إلى الوجـود تلقائيًـا بعـد المـوت الحـراري، فلـماذا لا يظهـر كـون آخـر؟

الفكـرة ليسـت بعيـدةً المنـال كـما تبـدو. هنـاك مبـدأ في الميكانيـكا الإحصائيـة يقـول إن أي ترتيـب سـبق أن حـدث لنظـام مـن الجسـيمات مـن الممكـن أن يحـدث مـرة أخـرى، طالمـا انتظـرت لفـترة كافيـة. لنفـترض أن لديـك صندوقًـا مملـوءًا بغـاز مـن الجزيئـات المتحركـة عشـوائيًا، وقُمـتَ بالتقـاط لقطـة سريعـة لهـا في لحظـة واحـدة وقُمـتَ بتحديـد التشـكيل الـذي كانـت فيـه. إذا قُمَـت بملاحظـة الصنـدوق لفـترة طويلـة جـدًا، في النهايـة سـوف تجـد الجزيئـات في ذلـك التشـكيل مـرة أخـرى. وكلـما قلَّـت احتماليـة اتخـاذ نفـس الهيئـة، كلـما اسـتغرق الأمـر وقتًـا أطـول؛ لـذا فـإن حدثًـا نـادرًا جـدًا مثـل تجمُّـع جميـع الجزيئـات في الزاويـة اليمنى السـفلية مـن الصنـدوق سيسـتغرق وقتًـا أطـول بكثـير قبـل أن يظهـر مـرة أخـرى، ولكـن مـن حيـث المبـدأ، هـي فقـط مسـألة وقـت. وهـذا مـا يُسـمَّى **تكـرار بوانكاريـه** *Poincaré recurrence*. إذا كان لديـك قـدر لا نهـائي مـن الوقـت للعمـل بـه، فـإن أي حالـة يمكـن أن يكـون فيهـا النظـام هـي حالـة **سـوف** يعـود إليهـا مـرة أخـرى، لعـدد لا نهـائي مـن المـرات، مـع وقـت تكـرار يتحـدد بمـدى نـدرة أو خصوصيـة هـذا التشـكيل. وفي أحـد الأمثلـة اللافتـة للنظـر، قـام الفيزيائيـون أنتـوني أجوايـر Anthony Aguirre، وشـون كارول Sean Carroll، وماثيـو چونسـون (الابـن) Matthew John-son- قامـوا ذات مـرة بحسـاب أنـه إذا كنـتَ عـلى اسـتعداد للانتظـار عـلى مـدى زمنـي يقـارب تريليـون تريليـون مـرة عمـر الكـون، فيمكنـك مشـاهدة بيانـو كامـل يتجمَّـع تلقائيًـا فيـما يبـدو أنـه صنـدوق فـارغ.

إن كـون مـا بعـد المـوت الحـراري هـو في الأسـاس صنـدوق كبـير جـدًا جـدًا ويتَّسـم بـدفء قليـل جـدًا، مـع تدخُّـل الميكانيـكا الإحصائيـة لتمـد

بالتقلبات العشوائية. إذا كان الانفجار الكبير حالة كان الكون فيها ذات يوم، وكان كون ما بعد الموت الحراري أبديًّا (أبديًّا لدرجة أنه، بعد فقدان سهم الزمن، يصبح الماضي والمستقبل بلا معنى)، فلا يوجد سبب يمنع انفجارًا كبيرًا من أن يتأرجح خارجًا من الفراغ ليبدأ الكون من جديد.

انتظر، رغم ذلك. الأمر يصبح أكثر غرابة. وأكثر خصوصية.

إذا كان من الممكن تكرار كل حالة كان عليها الكون من خلال تقلبات عشوائية، فهذا يعني أن هذه اللحظة يمكن أن تحدث مرة أخرى، **الآن حالًا**، نفس اللحظة تمامًا، بنفس التفاصيل كاملة. لا يتوقف الأمر على أن ذلك يمكن أن يحدث مرة أخرى، بل يمكن أن يتكرر على مدى عدد لانهائي من المرات.

هذا الاحتمال ذو أهمية خاصة لعالم الكون أندرياس ألبريشت Andreas Albrecht، الذي كتب عمَّا أطلق عليه "حالة توازن دي سيتر". الفكرة الأساسية لهذه الصيغة من التوازن الخاص بفضاء دي سيتر هي أنه من الممكن اعتبار أصل كوننا وكل ما يحدث فيه هو نتيجة لتقلبات عشوائية ناتجة عن الكون المتوسِّع إلى الأبد والذي لا يحتوي إلا على ثابت كوني. من وقت لآخر، يتقلب الكون خارج الحمام الحراري إلى حالة بداية ذات إنتروبيا منخفضة جدًّا، ثم يتطور للأمام (مع إنتروبيا متزايدة) حتى يصل إلى الموت الحراري الخاص به، ويتحلل مرة أخرى إلى خلفية كون دي سيتر. ومن وقت لآخر، لا ينتج التَّقلُّب انفجارًا كبيرًا، بل يعيد خلق يوم الثلاثاء الماضي- على وجه التحديد، تلك اللحظة التي اصطدمت فيها إصبع قدمك بطاولة المطبخ وسكبت كوبًا كاملًا من القهوة على الأرض. تلك اللحظة. وكل لحظة أخرى من حياتك. وكل لحظة أخرى من حياة كل شخص آخر.

إذا كان هـذا يبـدو وكأنـه صـورة مألوفـة بشـكل غامـض للديسـتوبيا، فربمـا يكـون السـبب أنـه يشـبه بشـكل مثـير للقلـق تجربـةً فكريـة كابوسـية اقترحهـا فريدريـك نيتشـه لأول مـرة في أواخـر القـرن التاسـع عـشر. يقـول في كتابـه *The Gay Science* (العلـم المَـرِح) مـا يـلي:

**مـاذا لـو في يـوم مـا أو ليلـة مـا، اسـترق شـيطان التسـلل إلى وحدتـك القصـوى، وقـال لـك: "هـذه الحيـاة كـما تعيشـها الآن وكـما عِشـتَها، سـوف يكـون عليـك أن تعيشـها مـرة أخـرى ومـرات لا حـصر لهـا؛ ولـن يكـون هنـاك شيء جديـد فيهـا، ولكـن كل ألم وكل فـرح وكل فكـرة وكل تنهيـدة وكل شيء صغـير للغايـة أو عظيـم في حياتـك- سـوف يعـود إليك، كل ذلـك بنفـس التتابـع والتسلسـل، حتـى هـذا العنكبـوت وضـوء القمـر هـذا الـذي يسـقط مـن بـين الأشـجار، وحتـى هـذه اللحظـة، وأنـا نفـسي. السـاعة الرمليـة الأبديـة للوجود تنقلـب رأسًـا عـلى عقـب مـرارًا وتكـرارًا، وأنـت معهـا، لأنـك ذَرَّة مـن الرمـل!".**

**ألا تطـرح نفسـك أرضًـا وتـصرُّ بأسـنانك وتلعـن الشـيطان الـذي قـال ذلـك؟ أو هـل مـررت ذات مـرة بلحظـة مثـيرة عندمـا فكـرتَ أنـه كان يمكـن أن تجيبـه فيهـا: "أنـت إلـه، ولم أسـمع قـطُّ شـيئًا أكـثر سـموًّا". إذا اسـتحوذت عليـك هـذه الفكـرة، فقـد تُغـيِّرك تمامًـا، أو ربمـا تسـحقك. والحـق أن السـؤال في كل شيء وجميـع الأحـوال: "هـل ترغـب في ذلـك مـرةً أخـرى وأن يتكـرر مـرَّاتٍ لا حـصر لهـا؟!" سـيكون هـو الثقـل الأعظـم الـذي يجثـم عـلى أفعالـك. أو إلى أي مـدى عليـك أن تكـون مسـتعدًّا لنفسـك وللحيـاة حتـى لا تتـوق إلى شيء أكـثر حماسًـا مـن هـذا التأكيـد والختـم الأبـدي النهـائي؟**

يا له من أمر ثقيل!.

بالنسبة لنيتشه، فإن المغزى من هذا الاقتراح لا علاقة له بالديناميكا الحرارية، بل يتعلق فقط بفحص معنى وهدف وتجربة الحياة كإنسان. ومن المحتمل أنه لم يتخيل أبدًا أن مثل هذا السيناريو يمكن أن يكون صحيحًا فعليًا وبكل تفاصيله، كما تقترح فرضية توازن دي سيتر.

يمكنك أن تحتجَّ بأن هذه السيناريوهات ليست هي نفس الشيء بالضبط. إن التقلُّب الكمِّيَّ الذي يعيد خلق تجربتك في اصطدام إصبع قدمك قد ينتج شيئًا يشبهك تمامًا في كل التفاصيل، لكنك، ككيان، ستكون ميتًا منذ فترة طويلة بحلول ذلك الوقت. لكن هذا يثير أسئلة حول ما يعنيه ذلك لك. هل التشكيل الدقيق للذَّرَّات هو أنت، أم أن هناك، في وعيك، شيئًا لا يوصف، شيئًا مستمرًا ولا يمكن أبدًا إعادة تكوينه قطعة قطعة؟ هذا هو نفس السؤال الذي يثير نقاشات ساخنة بين مُحبِّي الخيال العلمي حول الانتقال الآني، وما إذا كان الكابتن كيرك قد قُتل بوحشية في كل مرة دخل فيها إلى شعاع النقل الآني، ليتم استبداله بمحتال مستنسخ منه ظنَّ نفسه خطأ أنه هو. من غير المرجَّح أن نجيب عن مثل هذا السؤال هنا.

لكنه يثير مشكلة أخرى في سيناريو إعادة الميلاد عن طريق التقلُّب الكمِّيِّ، وهو سيناريو له علاقة كبيرة بمسألة الناقل كما هو الحال مع حوت العنبر ووعاء زهور البتونيا، وكلها ملفوفة في نوع من أحادية الأنا الخاصة بميكانيكا الكم. إنها مشكلة تُسمَّى أدمغة بولتزمان Boltzmann Brains.

الفكرة هي أنه إذا كان من الممكن للكون بأكمله أن يتقلَّب خارجًا من الفراغ عن طريق ميكانيكا الكم، فإن الرُّجحان يزداد بالنسبة لقيام مجرة واحدة فقط بذلك، لأن المجرة الواحدة أقل تعقيدًا

وتتطلَّب أشياء أقل لتظهر فجأة. وإذا كان احتمال ظهور مجرة واحدة أكثر رُجحانًا، فثمة رُجحان أكبر في ظهور مجموعة شمسية واحدة، أو كوكب واحد. في الواقع، الأرجح حتى من كل ذلك بكثير هو أن الشيء الوحيد الذي يتقلَّب خارج الفراغ هو دماغ بشري واحد، دماغ يحتوي على جميع ذكرياتك وهو في طَوْر تخيُّل أنه يعيش في عالم يعمل بشكل مثالي، وأنه يجلس حاليًّا في مقهى ويكتب كلمات الفصل الرابع من كتاب عن نهاية الكون.

مشكلة دماغ بولتزمان هي التأكيد على أن هذا الدماغ البائس، محكوم عليه بالتقلُّب الكمِّيِّ عائدًا مرة أخرى إلى الفراغ تقريبًا فور خلقه، وهذا من المرجح أن يحدث أكثر بكثير من أن يحدث للكون بأكمله، وإذا أردنا استخدام التَّقلُّبات العشوائية لبناء كوننا، علينا أن نتقبل الاحتمال الأرجح وهو أننا نتخيل الأمر برُمَّته فحسب.

هذه المسألة لم تصل بعدُ إلى تسوية. ورغم أن ألبريشت كان من أوائل الأشخاص الذين اقترحوا مشكلة دماغ بولتزمان في هذا السياق، إلا أنه الآن قد أصبح في جانب ترجيح فكرة قيام كون دي سيتر بخلق حالة منخفضة للغاية من الإنتروبيا مثل الانفجار الكبير بدلًا من أن يخلق شيئًا صغيرًا في الكون على حافة إعادة الاستيعاب. الحجَّة الأساسية هي أن خلق حالة منخفضة الإنتروبيا قد يبدو أنه يتطلب الكثير من طاقة التقلُّب الكمِّي، لكنه في الواقع لا يأخذ سوى القليل من الإنتروبيا الكلية من النظام. يتخذ العديد من علماء الكون النهج المعاكس ويقولون إنه من الأسهل التقلب إلى حالة لا تزال فيها إنتروبيا عالية نسبيًّا بدلًا من إنشاء جيب تكون فيه الإنتروبيا منخفضة جدًّا. إن حلَّ هذا السؤال يمكن أن يمنحنا فهمًا لسيناريو واحد لأصل الكون بأكمله، كما يمنحنا بعض راحة البال فيما يتعلق بمصيرنا المحتمل المتمثل في تكرار لحظاتنا الأكثر إثارة للإحباط إلى الأبد.

بالنسبة لبعض علماء الكون، فإن فهم كيف بدأنا بحالة منخفضة الإنتروبيا في الكون المبكر، وتحديد ما إذا كان يتعيَّن علينا القلق بشأن أدمغة بولتزمان أو تكرارات بوانكاريه، هي أسئلة تهزُّ أُسس نموذجنا الكوني. كانت محاولة إيجاد طريقة لإنشاء حالة أولية منخفضة الإنتروبيا مهَّا دلافع البعض إلى افتراض تواريخ كونية جديدة تمامًا (كما سنناقش في الفصل السابع)، رغم أن المشكلة بعيدة جدًّا عن الحل. واحتمالية التقلُّبات مزعجة جدًّا لتصوُّرنا المعقول عن الكون، لدرجة أن شون كارول وصفها بأنها "غير مستقرَّة معرفيًّا". لا يعني ذلك أنها لا يمكن أن تكون صحيحة، ولكن إذا كان الأمر كذلك، فلن يكون هناك أي منطق، وربما نتخلَّى عن محاولة فهم الكون على الإطلاق. هيئة المحلفين ما زالت منعقدة حول هذا الموضوع.

إذا لم تكن منزعجًا جدًّا من احتمال ظهور أدمغة واعية بدون أجساد تقفز داخل وخارج الوجود، فإن احتمال حدوث تقلُّبات عشوائية نادرة يمكن، بمعنى ما، أن يستخلص بعض النظام من الفوضى العدمية للموت الحراري. ولكن حتى في هذه الرؤية المتفائلة للغاية، فإن الكون الذي يهيمن عليه ثابتٌ كونيٌّ يُنذِر بلا شك بالهلاك لأي كائن يعيش فيه، حيث إن كل بنية متماسكة على الإطلاق تتجه بلا مِراء إلى التحلل وفراغ الظلام والوحدة. قبل اكتشاف الطاقة المعتمة، توصَّل فيزيائيون مثل فريمان دايسون Freeman Dyson إلى مقترحات تخمينية مفادها أن الآلة التي تتباطأ حساباتها باستمرار يمكن أن تستمر لفترة طويلة على نحوٍ لا يمكن تقديره في المستقبل الكوني[1].

(1) يمكنك أن تتعرف على اسم دايسون من الفكرة التي جاءت في الخيال العلمي باسم "كرة دايسون" Dyson sphere؛ كرة ذات ضخامة هائلة بُنيت حول نجم لالتقاط مائة بالمائة من إشعاعاته بغرض الحصول على الطاقة اللازمة لحضارة متقدمة لكائنات فضائية. وقد عادت مسوح المراقبة لكرات دايسون، والتي تبحث عن الحرارة المهدرة المتوقع ان تنبعث منها في الأشعة تحت الحمراء، عادت دون نتيجة حتى الآن.

ولكن حتى هذه الآلة المثالية ستكون عرضة للتآكل الإنتروبي عبر القانون الثاني، وسوف تتفكَّك في نهاية المطاف إلى حرارة مُهدَرة في مواجهة أفق دي سيتر. تعتمد الجداول الزمنية لتحقيق أقصى قدر من الإنتروبيا -الموت الحراري الحقيقي والخالد- على تقديرات زمن اضمحلال البروتون، والتي لا تزال غير مؤكَّدة. ومع ذلك، فمن المحتمل أن يكون أمامنا ما يقرب من $10^{1000}$ عام أو نحو ذلك قبل أن نتلاشى نحن وجميع نُظم التفكير الأخرى من إمكانية الذاكرة.

يمكن أن يكون الأمر أسوأ.

مع استمرار الطاقة المعتمة، فإن الثابت الكوني اللطيف والثابت والذي يمكن التنبؤ به هو أفضل السيناريوهات. ولا تُستبعد الاحتمالات الأخرى، وأحدها، الطاقة المعتمة الشبحية، يؤدِّي إلى شيء أكثر دراماتيكية، وأكثر مباشرة، وبمعنى ما، أكثر نهائية بكثير: التَّمزُّق الكبير the Big Rip.

# الفصل الخامس
# التَّمزُّق الكبير

ما زلتُ أفكِّر في ذلك النهر في مكان ما، حيث تتحرك المياه بسرعة كبيرة. وهذان الشخصان في الماء، يحاولان التمسك ببعضهما البعض، يتماسكان بأقصى ما يستطيعان، ولكن الأمر في النهاية أكثر من اللازم. التيار قوي جدًّا. عليهما أن يفترقا، ثم ينجرفان بعيدًا. هكذا هو الحال معنا.

كازو إيشيجورو Kazuo Ishiguro، ***Never Let Me Go***

يمكن القول جدلًا إن الطاقة المعتمة كظاهرة كونية هي أهم شيء في العالم، ومع ذلك فإن دراستها صعبة للغاية. وبقدر ما نعرف، فهي موجودة في كل مكان من العالم، بنفس الانتظام تمامًا، مضفَّرة داخل نسيج الفضاء نفسه، وتأثيرها الوحيد هو تمديد الفضاء تدريجيًّا بحيث لا يكون لها أي تأثير يمكن اكتشافه على أي نطاق أصغر من المساحات الشاسعة بين المجرات البعيدة. يرى الفيزيائيون الذين

يدرسون المادة المعتمة الأمر أسهل كثيرًا؛ فرغم كونها غير مرئية على الإطلاق مثل الطاقة المعتمة، إلا أن وجود المادة المعتمة يظهر جيدًا من خلال التجمع حول كل مجرة أو عنقود من المجرات رأيناها على الإطلاق، وهي تهيمن على مجال الجاذبية، وتتسبَّب في انحناء الضوء، وتغير مسار التاريخ الكوني منذ البداية ذاتها. أما الطاقة المعتمة، من الناحية الأخرى، فهي فقط... تتوسَّع.

وهذا لا يمنعنا من دراستها. لدينا في الأساس وسيلتان للتعامل مع الطاقة المعتمة: تاريخ توسع الكون، والطريقة التي نَمَت بها المجرات وعناقيد المجرات على مَرِّ الزمن. بالنسبة لكلا الأمرين، نحن ننظر إلى المسافة والماضي، ونتتبَّع تطوُّر الكون مع مرور الزمن. ولكن بغَضِّ النظر عن الطريقة التي ننظر بها، فإننا نحاول اكتشاف التأثيرات الصغيرة باستخدام إحصائيات وإشارات ضعيفة.

على الرغم من صعوبة هذه الأنواع من الدراسات، إلا أنها تستحق بذل الجهد، نظرًا لأن الطاقة المعتمة هي العنصر المهيمن في الكون ولأنها علامة أكيدة على بعض عناصر الفيزياء الجديدة التي تتجاوز فهمنا الحالي.

هذا، بالإضافة إلى الحقيقة التي تعتمد على ما سوف يظهر لنا من ماهية الطاقة المعتمة، فإنها قد تدمِّر الكون بعنفٍ وعلى نحوٍ لا مفرَّ منه في وقت أسرع بكثير ممَّا يتخيَّله أي شخص. لماذا انتظار التلاشي البطيء للموت الحراري، إذا كان بإمكانك الحصول على نهاية العالم بالطاقة المعتمة على نحو مفاجئ ودراماتيكي مثلما نسمِّيه عن حقٍّ بالتَّمزُّق الكبير؟ لن يكون فقط نوعًا من الدمار الذي لا مهرب منه، سواء كان ذلك بسبب تقلُّبات ميكانيكية كَمِّيَّة أم لا، بل سيكون أيضًا نوعًا من الدمار الذي يمكن أن يمزِّق نسيج الواقع نفسه؛ ممَّا

يجعل أي كائنات مفكرة في الكون عاجزة بينما تراقب عالمها يتفتق من حولها.

هذا الاحتمال المنذر ليس فكرةً هامشية غريبة. الواقع أن أفضل البيانات الكونية المتوفرة لدينا لم تفشل فقط في استبعاد ذلك، بل إنه، أيضًا، مرجَّح في بعض وجهات النظر؛ لذا فإن الأمر يستحق إنفاق بعض الوقت في استكشاف ما يمكن أن يفعله بنا هذا الأمر بالضبط.

## اللا ثابت الكوني

غالبًا ما يُفترض أن الطاقة المعتمة هي ثابت كوني يعمل على تمديد الفضاء إلى الخارج؛ ممَّا يؤدي إلى تسريع التَّوسُّع الكوني عن طريق إكساب الكون بعض الميل المتأصِّل للانتفاخ. هذا وصف جيد جدًّا على المعدلات الكبيرة. ولكن الثابت الكوني ليس له أي تأثير داخل المجرات، أو المجموعات الشمسية، أو على مقربة من المادة المُنظَّمة بشكل عام. ويمكن أن يُنظر إليه بشكل أكثر دقة على أنه قوة للعزل- إذا كانت مجرتان بعيدتين بالفعل عن بعضهما البعض، فإنهما تصبحان أكثر بُعدًا، وتصبح المجرات المنفردة أو العناقيد أو مجموعات المجرات أكثر فأكثر عُزلةً بمرور الزمن. كما أنها، في وجود الثابت الكوني، تتشكَّل على نحو أبطأ قليلًا ممَّا يمكن أن يحدث في ظروف أخرى. ما لا يستطيع الثابت الكوني فعله هو تفكيك أي شيء هو بالفعل، وبأي معنى، بنية متماسكة. وبالتالي، فإن **الذي جمعته الجاذبية، لا يفرقه الثابت الكوني**[1].

(1) التعبير الأصلي إشارة لآية الزواج في الكتاب المقدس: "فَالَّذِي جَمَعَهُ اللهُ لاَ يُفَرِّقُهُ إِنْسَانٌ"، إنجيل متى (19-6). [المترجمة]

السبب وراء هذه النعمة الصغيرة فيما يتعلق بالثابت الكوني (الذي، لكي نكون منصفين، سوف يدمِّر الكون كله في النهاية رغم كل شيء) يكمن في الجزء "الثابت" من القصة. إذا كانت الطاقة المعتمة ثابتًا كونيًا، فإن سِمَتها المميزة هي أن كثافة الطاقة المعتمة في أي جزء معين من الفضاء تكون ثابتة مع مرور الزمن، حتى مع توسع الفضاء. والثابت هو فقط كثافة المادة نفسها، في أي حجم معين من الفضاء، أما معدل التمدد فهو ليس ثابتًا. هذا منطقي على نحوٍ ما، إذا كانت كمية محددة من الطاقة المعتمة مخصَّصة تلقائيًا داخل كل جزء من الفضاء، لكن لا يزال الأمر **غريبًا للغاية**، لأنه يعني أنه كلما أصبح الفضاء أكبر، تزداد كمية الطاقة المعتمة للحفاظ على الكثافة ثابتة. ويعني ذلك أيضًا أنه إذا قمت برسم كرة بحجم مُعيَّن في أي مكان من الكون وقمت بقياس كمية الطاقة المعتمة داخل الكرة، ثم فعلت نفس الشيء في وقت ما في المستقبل، فستحصل دائمًا على نفس الرقم، بغضِّ النظر عن مدى توسع الكون الخارجي في الأثناء. وإذا كانت كرتك الأصلية تحتوي على عنقود من المجرات وكمية معينة من الطاقة المعتمة، فخلال مليار سنة ستظل كمية الطاقة المعتمة في تلك المنطقة كما هي؛ لذا إذا لم تكن كافية لإثارة الفوضى في عنقود المجرات من قبل، فلن تكون كافية أيضًا في المستقبل. إن التوازن بين المادة والطاقة المعتمة في تلك الكرة لا يتغير بشكل كبير حتى بينما يبدو أن بقية الكون تزداد فراغًا بلا هوادة.

وهذا أمر مطمئن. إذا كنت كتلة من المادة في الكون، وترغب في تكوين مجرة مستقرة لطيفة مرتبطة بالجاذبية، فيمكنك أن تطمئنَّ إلى أنه بمجرد جمع ما يكفي من المادة معًا لبناء شيء ما، فإن الطاقة المعتمة لن تدمر كل هذا العمل الشاق.

إلا إذا كانت الطاقة المعتمة أقوى من الثابت الكوني.

كما ناقشنا في الفصل السابق، فإن الثابت الكوني هو مجرد احتمال واحد للطاقة المعتمة. كل ما نعرفه حقًّا عن الطاقة المعتمة هو أنها شيء يجعل الكون يتوسع بشكل أسرع. أو بتعبير أدقَّ، أنها ذات **ضغط سلبي**. ومفهوم "الضغط السلبي" غريب للغاية، لأننا عادة نفكر في الضغط كشيء يدفع إلى الخارج. لكن في طريقة النسبية العامة الخاصة بأينشتاين للتفكير في الكون، الضغط هو مجرد نوع آخر من الطاقة، مثل الكتلة أو الإشعاع، ومن ثم فالجاذبية من خصائصه. وفي النسبية العامة، جذب الجاذبية يحدث فقط نتيجة لانحناء الفضاء.

هل تتذكَّر صورة كرة البولينج التي أحدَثَت انبعاجًا في سطح النطاط (الترامبولين) كنظير لتأثير المادة على انحناء الفضاء؟ إذا وضعت النسبية العامة في اعتبارك، سيكون الانبعاج أعمق إذا كانت الكرة أكثر ضخامة، ولكن أيضًا إذا كانت ساخنة، أو إذا كان ضغطها الداخلي مرتفعًا؛ لذا فإن الضغط، مثل أشكال الطاقة الأخرى، يشبه الكتلة إلى حدٍّ كبير في تأثيره. ومن منظور الجاذبية، الضغط يجذب. عندما تحسب تأثير الجاذبية لكتلة من الغاز، على سبيل المثال، عليك أن تأخذ في الاعتبار ليس كتلتها فحسب، بل ضغطها أيضًا، وكلاهما يساهم في تأثير الجاذبية الذي يحدثه الغاز على الأشياء المحيطة به. والواقع أن الضغط يساهم في انحناء الزمكان أكثر مما تساهم به الكتلة.

ماذا يعني ذلك بالنسبة لشيء له ضغط سلبي؟ إذا كان ضغط مادة غريبة من نوع ما سالبًا، فهذا يعني أنه يمكن أن يلغي كتلة المادة بشكل فعَّال، على الأقل فيما يتعلق بتأثيرها على انحناء الزمكان. إذا كتبت ضغط وكثافة الطاقة المعتمة على شكل ثابت كوني، بالوحدات المناسبة، ستجد أن الضغط هو سالب الكثافة بالضبط.

نتحدث عادة عن العلاقة بين كثافة المادة وضغطها باستخدام رقم يسمَّى **معادلة مؤشر الحالة** (equation of state parameter)، ويُكتب بالرمز *w*، وهو يساوي الضغط مقسومًا على كثافة الطاقة، في الوحدات التي تكون فيها هذه المقارنة منطقية. نحن هنا مهتمُّون بمعادلة حالة الطاقة المعتمة، والتي، مع مرور الزمن الكافي، ستكون معادلة لحالة الكون بأكمله، حيث تصبح الطاقة المعتمة أكثر أهمية في الكون المتوسِّع بينما يتلاشى كل شيء آخر. فإذا كانت القيمة المُقاسَة لـ *w* = -1 بالضبط، فهذا يعني أن الضغط والكثافة متقابلان تمامًا، وأن الطاقة المعتمة هي ثابت كوني. وبما أن كثافة الطاقة في الثابت الكوني تكون دائمًا موجبة، يبدو للوهلة الأولى كما لو أنها ينبغي أن تكون في مثل خصائص المادة وأن تزيد من الجاذبية التي تبطئ توسُّع الكون. ولكن الضغط السلبي يُعطى وزنًا أكبر في المعادلات؛ ولذلك فإن كل ما يفعله الثابت الكوني في النهاية هو المساهمة في تسريع التوسع الكوني.

وهو يفعل ذلك بطريقة يمكن التنبؤ بها على الأقل. إن كثافة الطاقة الإجمالية للثابت الكوني، مع قيمة *w* = -1، تكون ثابتة تمامًا بمرور الزمن مع توسع الكون، دون زيادة أو نقصان. فإذا كان للطاقة المعتمة أي قيمة أخرى لـ *w*، فلن يكون هذا هو الحال. لذلك من المهم معرفة ما نتعامل معه هنا حقًّا.

في السنوات التي تلت اكتشاف الطاقة المعتمة لأول مرة، كان من الواضح أن هناك شيئًا ما يجعل توسع الكون يتسارع؛ ممَّا يعني أنه لا بُدَّ من وجود شيء ما سلبي الضغط. اتَّضح أن أي شيء له قيمة *w* أقل من -3/1 يعطي ضغطًا سلبيًّا وتوسُّعًا متسارعًا. لكن معرفة قيمة *w* يمكن أن تُعرِّفنا إن كانت الطاقة المعتمة هي ثابت كوني حقيقي (*w* = -1 دائمًا)، أم أنها نوع من الطاقة المعتمة الديناميكية التي قد يتغير تأثيرها على الكون بمرور الزمن؛ لذلك أخذ علماء الفلك

يبحثون عن طريقة لتحديد قيمة $w$ بدقة. إذا تبيَّن أن الطاقة المعتمة ليست ثابتًا كونيًّا، فقد يشير ذلك إلى أننا لم نكتشف فقط نوعًا جديدًا من الفيزياء التي تؤثر على الكون، بل نوعًا له ميزة إضافية تتمثل في كونه شيئًا لم يتوقعه حتى أينشتاين[1].

لبضع سنوات، كان هذا هو اسم اللعبة: قُم بقياس $w$، واكتشِف ماذا يحدث للطاقة المعتمة. أُجريت القياسات، وكُتِبَت الأوراق، ورُسِمَت مخططات توضِّح قيم $w$ التي تتفق مع البيانات. بدت حالة الثابت الكوني وكأنها هي الفائزة.

لكن في أواخر التسعينيات وأوائل العقد الأول من القرن الحادي والعشرين، أشارت مجموعة صغيرة من علماء الكون إلى فرضية رئيسية لم تسبق مناقشتها، كان زملاؤهم يضعونها في حساباتهم. لقد كانت فرضية معقولة تمامًا، لأن إهمالها يمكن أن ينتهك بعض المبادئ الراسخة للفيزياء النظرية، والتي تعتبر أساسية جدًّا لدرجة أن ليس هناك مَن يرغب في الإخلال بها. لكن هذه المبادئ لم تكن مطلوبة في البيانات، وفي النهاية، كعلماء، ينبغي أن يكون ولاؤنا الأول للبيانات. حتى لو كان ذلك يعني إعادة كتابة مصير الكون.

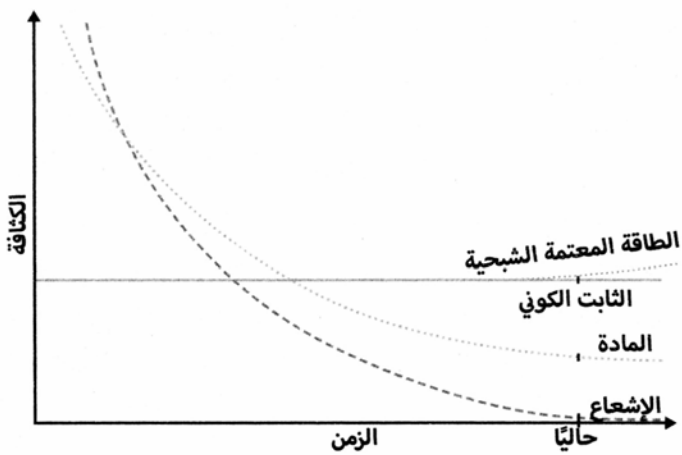
## خارج حافة الخريطة

كان السؤال البسيط الذي طرحه عالم الفيزياء روبرت كالدويل Robert Caldwell وزملاؤه هو: ماذا لو كانت قيمة $w$ أقل من -1؟ إذا كانت مثلًا -1.5؟ أو -2؟ حتى هذه اللحظة، كان يُعتقَد عمومًا أن مثل هذا الاحتمال من الغرابة والشذوذ بحيث لا يمكن أخذه في الاعتبار. كانت المخططات الموجودة في الأوراق التي توضِّح المنطقة

(1) بما يعني أنه كان مخطئًا في شيء ما.

"المسموح بها" لـ $w$ القائمة على البيانات تميل إلى التوقف فجأة عند -1. قد ينتقل المحور من -1 إلى 0، أو من -1 إلى 0.5، لكن -1 كان جدارًا صلبًا، بنفس الطريقة التي قد تضع بها جدارًا صلبًا عند 0 عند تخمين طول شخص ما.

ولكن عندما نظر كالدويل إلى المشكلة، أشارت جميع ملاحظات $w$ إلى قيمة -1 أو شيء قريب جدًّا منها؛ مما أوحى بأنه قد تكون هناك قِيَم أقل من -1 تسمح بها البيانات أيضًا، فقط إذا قام شخص ما بالتحقق منها.




الشكل 14: تطور الطاقة المعتمة في شكل ثابت كوني أو في شكل طاقة معتمة شبحية، مقارنة بالمادة والإشعاع. في حين يحتفظ الثابت الكوني بكثافة ثابتة مع توسع الكون، ففي حالة الطاقة المعتمة الشبحية، تزداد الكثافة.

هذه الطاقة المعتمة الافتراضية التي فيها $w$ أقل من -1، أطلق عليها كالدويل اسم "الطاقة المعتمة الشبحية" (phantom dark energy)، وستكون غير متَّسِقة على الإطلاق مع المبادئ النظرية الهامة المذكورة

أعلاه- وعلى وجه التحديد "حالة الطاقة السائدة" التي تقول، تقريبًا، إن الطاقة لا يمكن أن تتدفَّق على نحوٍ أسرع من الضوء[1]. يبدو هذا شرطًا معقولًا تمامًا لفرضه على الكون، لكنه يختلف اختلافًا طفيفًا عن العبارة المعتادة التي تقول إن الضوء (أو أي نوع من المادة) لسرعته حدٌّ نهائي، وهذا في الوقت الحالي ليس مبدأ فيزيائيًّا مثبتًا بقدر ما هو فكرة جيدة جدًّا. ربما هو يتَّسم بالمرونة؟

مضى كالدويل وزملاؤه قُدُمًا، وقاموا بحساب القيود بناءً على مجموعة كاملة من احتمالات قيمة $w$. لم يجدوا فقط أن القيم الأقل من -1 كانت متَّسِقة تمامًا مع البيانات، بل وجدوا أيضًا، من خلال عملية حسابية بسيطة ومباشرة، أنه إذا كانت $w$ أقل من -1 بدرجة متناهية الصغر، فإن الطاقة المعتمة سوف تُمزِّق الكون بأكمله، وسوف تفعل ذلك في وقت محدود ويمكن حسابه.

أريد فقط أن أتوقف للحظةٍ لأقول إن هذه الورقة البحثية، التي تحمل عنوان: "Phantom Energy: Dark Energy with $w < -1$ Causes a Cosmic Doomsday" ("الطاقة الشبحية: الطاقة المعتمة ذات قيمة $w < -1$ تسبِّب يوم القيامة الكوني")، هي إحدى أوراقي المفضلة على الإطلاق في الفيزياء. ليس من المعتاد في كثير من الأحيان أن تقوم بإجراء بعض التعديلات التي تبدو خفيفة للغاية على المنظور الحالي، وتحويل المؤشر للأسفل بمقدار ضئيل، وتكتشف أن هذا يدمر الكون بأكمله. ليس هذا فحسب، بل إنه يوفِّر لك طريقة حساب دقيقة لكيفية حدوث تدمير الكون، ومتى، وكيف سيبدو عندما ينهار كل شيء.

وهو على النحو التالي.

---

(1) في 1999، كتب كالدويل، شارحًا سبب تبنِّي مصطلح "شبحية" في أول ورقة تلمس هذه الفكرة، قائلًا: "الشبح شيء ظاهر للنظر أو لأحاسيس أخرى لكن ليس له وجود مادي؛ فالكلمة وصف ملائم لشكل من الطاقة جاء وصفه بالضرورة من جانب فيزياء غير تقليدية".

يمكنك التفكير في الأمر على أنه تفكُّك.

أول ما يدخل في تلك العملية هو الأشياء الأكبر حجمًا والأضعف في علاقتها بما حولها. عناقيد المجرات العملاقة، التي تتدفَّق فيها مجموعات من مئات أو آلاف المجرات ببطء حول بعضها البعض في مسارات طويلة متشابكة، تبدأ في اكتشاف أن هذه المسارات تزداد طولًا، وأن المساحات الواسعة التي تجتازها المجرات على مدى ملايين أو مليارات السنين تزداد اتساعًا؛ ممَّا يتسبَّب في انجراف المجرات الموجودة على الأطراف ببطء بعيدًا إلى الفراغات الكونية المتنامية. وحتى عناقيد المجرات الأكثر كثافة، سرعان ما تجد نفسها تتبدَّد بلا هوادة، ولم تَعُد المجرات المكوِّنة لها تشعر بأي سحب مركزي.

من وجهة النظر داخل مجرتنا، ينبغي أن يكون فقدان العناقيد هو أول علامة شؤم على أن التمزق الكبير يحدث. لكن سرعة الضوء تؤخِّر هذا الدليل حتى نشعر بالفعل بالتأثيرات الأقرب كثيرًا لنا. عندما تبدأ مجموعتنا المحلية، برج العذراء، في التَّبدُّد، والتي كانت حركتها في الابتعاد عن مجرة درب التبانة بطيئة من قبل، تبدأ في اكتساب السرعة. لكن هذا التأثير خفيف للغاية، على أية حال. أما التأثير التالي، فهو ليس كذلك.

لدينا بالفعل مسوح فلكية للسماء بكاملها، مسوح قادرة على قياس مواقع وحركات مليارات النجوم داخل مجرتنا[1]. ومع اقتراب التمزق الكبير، بدأنا نلاحظ أن النجوم الموجودة على حواف المجرة لا تأتي في مداراتها المتوقَّعَة، بل تنجرف بعيدًا مثل الضيوف في حفلة

(1) أحدث تلك المسوح، وقد أُطلِق عليه جايا Gaia، ينتج خرائط دقيقة للغاية للنجوم في مجرتنا، ويقدم لنا رؤية دقيقة على نحوٍ مُدهِش إلى تاريخنا الكوني. ولم يتقرر بعدُ ما سوف يقدِّمه لنا من معلومات حول مصيرنا.

عند نهاية المساء. بعد فترة وجيزة، تبدأ سماؤنا الليلية تزداد ظُلمةً، حيث تتلاشى مجرة درب التبانة العظيمة الممتدة عبر السماء. المجرة تتبخَّر.

ومن هذه النقطة، تتسارع وتيرة التدمير. نبدأ في اكتشاف أن مدارات الكواكب ليست كما ينبغي أن تكون، ولكنها بدلًا من ذلك تتَّجه نحو الخارج ببطء. قبل أشهر فقط من النهاية، بعد أن نكون قد خسرنا الكواكب الخارجية أمام السواد الكبير والمتزايد، تنجرف الأرض بعيدًا عن الشمس، وينجرف القمر بعيدًا عن الأرض. نحن أيضًا ندخل الظلام، وحدنا.

هدوء هذه العزلة الجديدة لا يدوم.

عند هذه النقطة، فإن أي هيكل لا يزال سليمًا يعاني تحت ضغط المساحة المتوسعة داخله. من الأعلى، يصبح الغلاف الجوي للأرض أكثر رقَّةً. وتستجيب الحركات التكتونية داخل الأرض بشكل عشوائي لقوى الجاذبية المتغيرة. وعندما تكون أمامها ساعات فقط، لا يمكن للأرض أن تتماسك: ينفجر كوكبنا.

ومن الممكن، من حيث المبدأ، أن يكون حتى تدمير الأرض قابِلًا للنجاة، إذا كنت قد انسحبت بالفعل، بعد تفسير العلامات، إلى كبسولة ما من تلك الكبسولات الفضائية المدمجة[1]. لكن هذا الإرجاء قصير الأجل. فقبل مرور وقت طويل، لن تتمكن القوى الكهرومغناطيسية التي تجمع ذرَّاتك وجزيئاتك معًا من الصمود في وجه الفضاء المتوسع باستمرار داخل كل المادة. في الجزء الصغير الأخير من الثانية، تتشقَّق الجزيئات، ويلحق الدمار بأي كائن مفكِّر لا يزال صامدًا، يتمزَّق ذَرَّة ضمن ذَرَّة من الداخل.

---

(1) عندما يكون الخطر هو الفضاء نفسه، سترغب في أن تكون داخل هيكل يحتوي داخله أقل مساحة ممكنة.

بعد هذه النقطة لا توجد إمكانية لمشاهدة الدمار، لكنه مستمر رغم ذلك. بعد ذلك تكون النَّوى نفسها، المادة فائقة الكثافة الموجودة في مراكز الذرات، هي التالية. تُستأصَل من الثقوب السوداء مراكزها ذات الكثافة المستحيلة. وفي اللحظة الأخيرة، يتمزَّق نسيج الفضاء نفسه.

| الزمن منذ الآن | الحدث |
|---|---|
| ≥ 188 مليار سنة | التمزق الكبير |
| **الزمن قبل التمزق الكبير** | |
| 2 مليار سنة | عناقيد المجرات تنمحي |
| 140 مليون سنة | تدمير مجرة درب التبانة |
| 7 شهور | انفصال المجموعة الشمسية |
| ساعة واحدة | انفجار الأرض |
| $10^{-19}$ ثانية | تفكُّك الذَّرَّات |

شكل 15: التسلسل الزمني للتمزق الكبير (بناء على أسوأ سيناريو حالي لقيمة *w*)، مستمد من *Caldwell, Kamionkowski, Weinberg, 2003*. سيكون الزمن حتى التمزق الكبير على الأقل 188 مليار سنة. يشير الجدول إلى لحظات الدمار على أساس طول الزمن تقريبًا قبل حدوث التمزق الكبير.

لسوء الحظ، قد لا نتمكن أبدًا من القول على وجه اليقين إننا في مأمن من التَّمزُّق الكبير. المشكلة هي أن الفرق بين الكون الذي قُدِّر له الموت الحراري والكون الموجه قَدَرًا نحو التمزق الكبير قد يكون غير قابل للقياس حرفيًا. إذا كانت الطاقة المعتمة ثابتًا كونيًا، فإن معادلة معامل الحالة *w* تكون مساوية تمامًا لـ -1، ويحدث الموت الحراري. فإذا كانت *w* على الإطلاق أقل من -1 حتى بجزء واحد من مليار مليار، فإن الطاقة المعتمة تكون طاقة معتمة شبحية، قادرة

على تمزيق الكون. ولأنه من المستحيل قياس أي شيء بدقة كاملة وخالية من أي شك؛ فإن أفضل ما يمكننا القيام به على الإطلاق هو القول إنه إذا حدث التمزق الكبير، فسيكون ذلك بعيدًا جدًّا في المستقبل بحيث ستكون جميع الهياكل في الكون قد اضمحلّت بالفعل حين يحدث؛ ذلك أنه، حتى مع الطاقة المعتمة الشبحية، كلما اقتربت $w$ من -1، كلما ابتعد حدوث التمزق الكبير في المستقبل. في آخر مرة قمت بحساب أقرب احتمال لحدوث التمزق الكبير، بناءً على بيانات 2018 الصادرة عن القمر الصناعي بلانك، حصلت على رقم يقارب 200 مليار سنة.

يا للهول!.

ولكن بالنظر إلى العواقب المحتملة، سواء بالنسبة للكون أو لمنظومة الفيزياء نفسها، فإننا في المجتمع الفلكي نعطي أولوية عالية جدًّا لمعرفة موقعنا الحالي على المقياس من $w = -1$ حتى الموت الكوني العنيف[1]. لا يمكننا قياس $w$ بشكل مباشر، ولكن يمكننا تحديد قياسه، بشكل غير مباشر، عن طريق قياس معدَّل التوسع السابق للكون ومقارنته بأفضل النماذج النظرية لدينا لما كان يمكن أن تفعله الأنواع المختلفة من الطاقة المعتمة. لقد تطرَّقنا بعض الشيء إلى هذا الأمر في الفصل السابق، ولكن اتَّضح أنه حتى مجرد تحديد معدَّل التوسع السابق هو أكثر صعوبة بكثير ممَّا يبدو أنه يمكن أن يكون. من حيث المبدأ، هناك عدة طرق للوصول إلى $w$، وبعضها يمكن القيام به بطرق دقيقة لا تتطلب حساب معدل التمدد على مسافات محددة. لكن أكثر الطرق المباشرة للتعامل مع الطاقة المعتمة هي معرفة تاريخ توسعنا الكامل. ويتضح أن كل أشكال الغرابة في علم

(1) لو سألت زملائي، سوف يزعمون أن دافعهم الحقيقي هو فهم طبيعة الطاقة المعتمة لأنها توفِّر لنا معلومات حول الفيزياء الأساسية وحول نموذجنا الكوني. لكنني أعرف أن الأمر في الواقع يرجع إلى الرعب.

الكون تتصادم معًا إذا حاولت القيام بشيء بسيط مثل الإجابة على سؤال: "كم تبعد هذه المجرة؟".

## سَلِّم إلى السماء

من أجل إجراء مقارنة ذات مغزى لمعدلات توسع الفضاء المحلي بين نقطتين متباعدتين في الكون، عليك أوَّلًا أن تعرف بالضبط مدى بُعد كل منهما. وهذا ليس بالأمر الكبير بالنسبة لشيء على الأرض، أو حتى شيء قريب مثل القمر، حيث يمكنك قياس المسافة عن طريق ارتداد شعاع الليزر عنه ومعرفة الوقت الذي يستغرقه الضوء للعودة[1]. في هذا النوع من المقاييس، يكون الكون معقولًا جدًّا. إنه يعمل بشكل أساسي كمساحة غير متغيِّرة حيث تكون المسافة من A إلى B قابلة للقياس على نحوٍ مباشر ومنطقي، وكل شيء يعمل. لكن عندما يتعلق الأمر بالأشياء خارج النظام الشمسي، يصبح الأمر أكثر صعوبة؛ لأن قياس الأشياء الأكثر بُعدًا أصعب، ولأنه على نطاقات أكبر وأكبر، يبدأ التوسع في تغيير تحديد المسافة نفسها.

قام علماء الفلك، على مَرِّ السنين، بربط مجموعة من التعريفات وقياسات المسافة المتداخلة، التي تعتمد على بعضها البعض. ورغم أن الأمر لا يزال يبدو غامضًا في بعض الأحيان، فهو ناتج عن عقود من الابتكارات في علم الفلك الرصدي وتحليل البيانات، وقد أعطانا استراتيجية بديهية ولكنها صعبة التنفيذ بشكل محبط تُعرف باسم **سلم المسافة**.

---

(1) نعم، ونحن نفعل ذلك. وهذا يُسمَّى نطاق الليزر، والسبب الذي يجعلنا قادرين على ذلك هو أن رواد فضاء سفينة أبولو تركوا مرآة هناك. إنها أداة مناسبة لرؤية مدى بُعْد القمر (حقيقة مضحكة: إنه ينزلق مبتعدًا عن الأرض بمعدل 4 سنتيمترات تقريبًا كل عام) كما أنها مفيدة في اختبار كيفية عمل الجاذبية، عن طريق ملاحظة المدار بغاية الحرص.

لنفترض أنك بحاجة إلى قياس طول غرفة كبيرة، وكل ما لديك هو مسطرة عادية الحجم. يمكنك تكرار وضع المسطرة بانتظام حتى تغطي طول الغرفة، إذا كنتَ لا تمانع في الزحف على الأرض. أو يمكنك أن تكون أكثر إبداعًا وتقيس طول خطوتك، ثم تمشي عبر الغرفة وتحسب الخطوات. إذا اخترتَ طريقة الخطوات، فأنت تقوم بإنشاء سُلَّم المسافة: نظام لقياس مسافة كبيرة عن طريق معايرة قياساتك بشيء أكثر قابلية للتعامل.

في علم الفلك، يحتوي سُلَّم المسافة على سلسلة من الدرجات تسمح له بالتمدد حتى الأجسام التي تبعد مليارات من السنين الضوئية. داخل النظام الشمسي، تساعدنا قياسات الليزر المباشرة، والمقاييس المدارية، وحتى الكسوف- على جمع بيانات المسافة. أما أبعد من ذلك، فإن الخطوة التالية هي استخدام اختلاف المنظر. هذه طريقة تأخذ في الاعتبار حقيقة أنه عندما تقوم بتغيير الموقع الذي تنظر منه، يبدو لك أن موقع الأشياء القريبة يتغيَّر بالنسبة إلى خلفية ثابتة أكثر مما يحدث مع الأشياء البعيدة. وهو نفس التأثير الذي يجعل إصبعك أمام وجهك تبدو وكأنها تقفز ذهابًا وإيابًا عندما تغمض عينًا واحدة ثم الأخرى. إذا نظرنا إلى نجم قريب في يونيو، ثم نفس النجم في ديسمبر، فإن حقيقة أن الأرض في موقع مختلف في مدارها حول الشمس تعني أن النجم يبدو وكأنه تحرَّك قليلًا بالنسبة إلى الأشياء الموجودة في الخلفية الأبعد. كلما كان الشيء أقرب، كلما كان الاختلاف أكبر. ولسوء الحظ، بالنسبة لأي شيء خارج مجرتنا، فإن هذه الحركات الظاهرية أصغر من أن تُدرَك، ونحن بحاجة إلى طريقة أخرى؛ طريقة لتحديد مسافة الأجسام الساطعة اعتمادًا على خصائص ضوئها فقط.

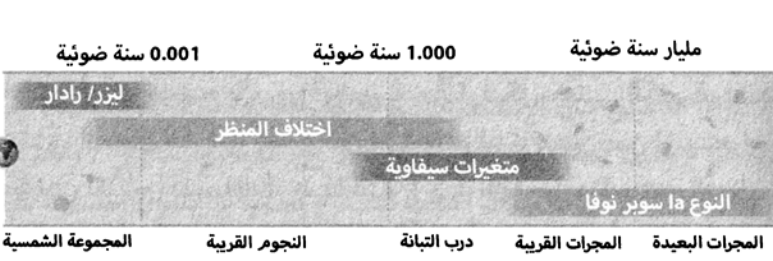
المفتاح لكل شيء من الآن فصاعدًا هو مفهوم الشمعة القياسية، والذي ناقشناه بإيجاز في الفصل السابق. هذا نوع من الكائنات (مثل

النجم) له بعض السمات الفيزيائية التي نعرف منها مدى سطوعه. ومن ثم، من خلال رؤية مدى سطوعه، يمكن معرفة مدى بُعده. وهذا يشبه إلى حدٍّ ما وجود مصباح كهربائي مكتوب عليه "60 وات". أنت تعرف مدى سطوعه، لكنك ستحصل على ضوء أقل منه عندما يكون بعيدًا. مكتبة سُر مَن قرأ

وبطبيعة الحال، لا شيء في الفضاء مطبوع عليه مدى سطوعه. ولكن لدينا شيء يفيدنا بنفس الدرجة تقريبًا. يرجع فضل الاكتشاف المدهش الذي أتاح لنا لأول مرة استخدام الشموع القياسية في علم الفلك إلى عالمة الفلك هنرييتا سوان ليڤيت Henrietta Swan Leavitt في أوائل القرن العشرين[1]. والتي، أثناء عملها في مرصد هارڤارد، اكتشفت أن نوعًا معيَّنًا من النجوم يُعرف باسم "المتغير السيفاوي" (Cepheid variable) يزداد سطوعه وخفوته بطريقة يمكن التنبؤ بها. ينبض النجم السيفاوي الأكثر سطوعًا بطبيعته نبضات بطيئة وتدريجية، ويصبح أكثر سطوعًا قليلًا وأكثر خفوتًا قليلًا على مدى فترة طويلة. وينبض السيفاوي الأكثر خفوتًا في جوهره بسرعة أكبر، مع تأرجُحات واسعة بين الحالتين، الأكثر سطوعًا أو خفوتًا[2].

(1) لم يكن يُشار إليها كعالمة فلك في ذلك الوقت. كانت إحدى النساء في جماعة تُسمَّى computers (الحاسبات) تمَّ توظيفهن كعِمالة رخيصة لفحص صفائح التصوير الفلكية، لكن الأمر انتهى بقيامهن بعدد هائل من الحسابات التأسيسية في الفيزياء الفلكية. وفيما بعد، قال إدوين هابل Edwin Hubble، الذي استخدم اكتشافها لقياس حجم وامتداد الكون، قال إنها كانت تستحقُّ جائزة نوبل. لكن، لسوء الحظ، رغم أنها كانت معروفة وتحظى بالاحترام بين زملائها المباشرين، لم يكن معترفًا بها نهائيًا تقريبًا أثناء حياتها.

(2) أحب أن أفكر بأن النجم السيفاوي الساطع أشبه بكلاب سان برنار الضخمة الكسولة، بينما الخافت يشبه الكلب الشيواوا النشيط المتقافز.




الشكل 16: **سلم المسافة الكوني**. بالنسبة للأجسام الموجودة داخل النظام الشمسي، يمكننا قياس المسافات باستخدام الليزر أو الرادار (بالإضافة إلى العلاقات بين الأوقات المدارية والمسافات.) يمكن قياس المسافات إلى النجوم القريبة باستخدام اختلاف المنظر، ويمكن للنجوم السيفاوية المتغيرة أن تساعدنا في تحديد المسافات داخل مجرة درب التبانة وبعض المجرات القريبة. أما بالنسبة للمصادر الأكثر بُعدًا، فيمكننا استخدام مستعر أعظم من النوع Ia (Ia supernovae).

كان هذا الاكتشاف ثوريًّا، وربما كان واحدًا من أهم الاكتشافات في تاريخ علم الفلك، لأنه سمح لنا أخيرًا بقياس حجم الكون من حولنا. كان ذلك يعني أنه في أي مكانٍ يمكن رؤية نجم سيفاوي فيه، يمكننا معرفة مقدار مسافة موثوق والبدء في عمل خريطة قابلة للاستخدام. من خلال قياس مدى سرعة نبض النجم السيفاوي، ومدى سطوعه من هنا، استطاعت هنرييتا سوان ليفيت أن تخبرنا بدقةٍ كبيرة مدى سطوعه حقًّا، وبالتالي إلى أي مدى يبعد عنَّا.

إلى أي مدى يمكن أن نصل بذلك؟ يمكننا رؤية النجوم السيفاوية المتغيرة في جميع أنحاء مجرة درب التبانة وفي المجرات القريبة، حتى نتمكن من استخدام اختلاف المنظر للنجوم القريبة، ومعايرة العلاقة النبضية بعناية، ثم استخدام النجوم الأبعد لمعرفة المسافات إلى المجرات الأخرى.

الخطوة التالية في سلم المسافة هي خطوة حاسمة، ولكن مع هذه الخطوة أيضًا تصبح الأمور فوضوية حقًّا، بكل معنى الكلمة. لقد ذكرنا في الفصل السابق أنه يمكن استخدام نوع معيَّن من المستعرات العظمى لقياس المسافات. هذا النوع من الانفجار، المستعر الأعظم من النوع Ia، هو ما يحدث عندما يلتقط نجم قزم أبيض بطريقة أو بأخرى بعضَ الكتلة من نجم آخر، نجم سيئ الحظ بنفس القدر، ويمزق نفسه بشكل مذهل. ولأن جميع النجوم الأقزام البيضاء عبارة عن أجسام بسيطة تمامًا[1]، ولأن الانفجار محكوم بالفيزياء التي نشعر بأننا نتعامل معها بشكل جيد إلى حدٍّ ما، فقد كانت الانفجارات من النوع Ia تعتبر لبعض الوقت شموعًا قياسية جيدة- فقد بدت جميع الانفجارات متشابهة إلى حدٍّ كبير. ولكن تبيَّن لاحقًا أنه من الأفضل وصفها بأنها قابلة للقياس، بنفس طريقة المتغيرات السيفاوية. إذا تمكَّنتَ من قياس كيف يصل الانفجار إلى ذروته ثم خفوته، يمكنك الحصول على فكرة جيدة عن إجمالي كمية الطاقة الناتجة عن الانفجار، وبالتالي فكرة عن مدى سطوعه حقًّا.

## ضوء النجوم النووي الحراري الساطع

لكن هذا الكتاب يدور حول الدمار، وسيكون تقصيرًا مني إذا تجاهلت المستعرات العظمى من النوع Ia باعتبارها مجرد "نوع من النجوم المتفجرة". النجم القزم الأبيض، ذلك النوع من النجوم الذي من المقدَّر لشمسنا أن تصبح عليه في النهاية، هو في حدِّ ذاته أعجوبة من عجائب التطور النجمي. وعندما ينفجر أحدها، فإنه يفعل ذلك من خلال الخضوع لتفجير نووي حراري شامل لكامل الجسم يفوق سطوع مجرته بأكملها. إذا كنت أي نوع من النجوم، بغَضِّ النظر

(1) بسيطة بالنسبة للنجوم، على أية حال.

عن المرحلة التي تمر بها في دورة حياتك، فإن وجودك يعتمد على الاتِّزان الدقيق بين الضغط الناتج في قلبك وجاذبية المادة التي أنتَ مصنوع منها (نحن نسمي هذا "الاتزان الهيدروستاتيكي"، ولكنه في الواقع يتلخص في فكرة أن الدفع للخارج يجب أن يكون مساويًا لقوة الجذب إلى الداخل حتى لا ينفجر النجم أو ينهار). في معظم الأحيان، يخلق النجم ضغطًا خارجيًّا عن طريق إجراء تفاعلات اندماجية في قلبه، أي ضغط النوى معًا بقوة شديدة بحيث تندمج وتتحول إلى نوع أثقل من الذرات. بالنسبة لجميع العناصر الأخف، فإن اندماجها معًا ينتج إشعاعًا، وهذا الإشعاع هو الضغط الذي يحافظ على النجم من الانهيار.

بالنسبة لنجم مثل الشمس، يتوفَّر الضغط الخارجي عن طريق اندماج الهيدروجين ليتحول إلى الهيليوم. معظم النجوم، في الواقع، هي مجرد مصانع عملاقة للهيليوم، تأخذ الهيدروجين الوفير في الكون وتلصقه معًا، وتفعل ذلك مليارات لا حدَّ لها من المرات في الثانية الواحدة.

دعونا نفكر في الشمس، على وجه الخصوص، لأسباب عاطفية.

في الوقت الحالي، تحرق الشمس الهيدروجين بسعادة؛ ممَّا يخلق فائضًا من الهيليوم في قلبها ويتسبَّب في تغيُّر درجة الحرارة والضغط بمرور الوقت مع انقلاب اتِّزان الهيدروجين والهيليوم. وحيث إن كفاءة المصنع تعتمد على درجة الحرارة والضغط، فإن إنتاج الطاقة وحجم الشمس سيتغيران بمرور الزمن- وبشكل ملحوظ، ستصبح الشمس أكثر إشعاعًا وأكبر قليلا[1] خلال ملايين السنين القليلة القادمة.

---

(1) بناء على التقديرات الحالية، يزداد نصف قطر الشمس بالفعل حوالي بوصة في السنة. لكن في نفس الوقت، يتوسع مدار الأرض، بما يعني أننا نتحرك مبتعدين عن الشمس حوالي 15 سنتيمترًا كل عام (لا أعتذر عن الخلط في استخدام وحدات القياس هنا)، ومن ثم، فذلك لا يعني أن سطح الشمس يقترب منَّا في الوقت الحالي.

وفي نقطة ما بعد مليار سنة تقريبًا، نصل إلى الجزء الذي سنُقلَى فيه جميعًا. ولكن حتى بعد أن تصبح الأرض في طريقها بالفعل لتصبح صخرةً متفحِّمةً خالية تمامًا من أي حياة، لا يزال أمام الشمس طريق طويل. ولأن هذه الحرارة المتزايدة سوف تؤدي إلى احتراق الكوكبين الداخليين للمجموعة (عطارد والزهرة) وإلى تبخُّر جميع المحيطات من الأرض، سوف يحترق الكثير من الهيدروچين حتى لن يبقى سوى قشرة من الهيدروچين تحترق حول النواة المركزية المليئة بالهيليوم. ثم يصبح قلب الشمس ساخنًا بدرجة كافية لبدء دمج الهيليوم في الأكسچين والكربون وتتحول الشمس إلى نجم عملاق أحمر منتفخ متضخِّم. عندما ينفد الهيدروچين في النهاية من الشمس ولا يبقى منه ما ينفع للاندماج، بعد بضعة مليارات من السنين من مرحلة العملاق الأحمر، ستبدأ سكرات الموت بشكل جدِّيٍّ. سيبدأ القلب يمتلئ بالأكسچين، ثم الكربون، وهو الإنتاج الذي يغذيه ضغط القلب بفعل جاذبية الأجزاء الأخرى من النجم. في النهاية، بعد أن تكون الشمس قد تضخَّمَت حتى تبتلع مدار الزهرة وتحوَّلَت الأرض إلى حطام دخاني، لن تكون جاذبية الشمس كافية للحفاظ على درجات الحرارة اللازمة لأي مزيد من الاندماج. سوف ينطفئ الغلاف الجوي الخارجي للنجم، وسيبدأ القلب في الانكماش.

قد تظنُّ أن هذه ستكون نهاية الشمس، مستنفدة ومتحوِّلة وملتهمة للكواكب، دون أن تكون ثمة تفاعلات اندماجية قوية بما يكفي لبقائها. لحسن الحظ، هناك نوع من الضغط أقوى من تفاعلات الاندماج يمكن أن يحافظ على شمس ما بعد العملاق الأحمر والنجوم الأخرى المشابهة من الانهيار التام، ممَّا يتيح لها بدلًا من ذلك أن تعيش فترة نقاهة كنجم قزم أبيض. ويأتي هذا الضغط مباشرة من ميكانيكا الكم.

## كومة من الكَمّ

أول ما تحتاج إلى معرفته هو أن معظم الجسيمات دون الذَّرِّيَّة التي تعرفها وتحبها -الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات والنيوترينوات والكواركات- هي فرميونات، ممَّا يعني، في هذا السياق، أنها مستقلة بشدة، بطريقةٍ ما مختصَّة بفيزياء الجسيمات. على وجه التحديد، فإنها تطيع مبدأ استبعاد باولي، الذي ينصُّ على أنها لن تطيق التواجد في نفس المكان ونفس حالة الطاقة في نفس الوقت. وهذا هو السبب، إذا كنت تتذكر دروس الكيمياء في المدرسة الثانوية، في أن الإلكترونات المرتبطة بالذرات ينتهي بها الأمر في أنواع مختلفة من "المدارات"، والتي هي في الواقع مجرد أحوال للطاقة.

على أية حال، في قلب النجم المحترق والمنهار، يوجد عدد كبير جدًّا من الذرات، مضغوطة بشدة معًا، بحيث تبدأ إلكتروناتها في التوتر. عند هذه الأنواع من الضغوط، لا ترتبط الإلكترونات بذرات محددة، بل تتجمَّع معًا في فوضى ذَرِّيَّة كبيرة مزدحمة للغاية بحيث يتعين عليها القفز إلى حالات طاقة أعلى وأعلى لتجنُّب أن تكون جميعها في نفس الزحام. وهذا يخلق نوعًا من الضغط، يُسمَّى **ضغط انتكاس الإلكترون**، وهو ضغط قوي بما يكفي لوقف انهيار النجم وخلق نوع جديد تمامًا من الأجسام: القزم الأبيض.

القزم الأبيض هو نوع من النجوم التي لا تحترق على الإطلاق. لا يحدث فيها انصهار. إنه جسم صلب يعتمد بالكامل على مبدأ ميكانيكا الكَمِّ القائل بأن الإلكترونات لا تحب بعضها البعض كثيراً. ويمكن أن يستمر، يحترق بصمت، لمليارات ومليارات من السنين، حتى يتلاشى ببطء ويبرد ويصبح داكنًا، ويتفكَّك في الموت الحراري للكون، أو يشتعل في الانسحاق الكبير، أو يتمزَّق إربًا بواسطة الطاقة المعتمة الشبحية في التَّمزُّق الكبير، إلى جانب كل شيء آخر.

هذا ما لم يحصل على كتلة أكبر قليلًا.

يمكن لضغط انتكاس الإلكترون أن يفعل الكثير. يمكن أن يدعِّم نجمًا كاملًا. ولكن فقط إلى حدٍّ ما. إذا حدث شيء ما لدفع القزم الأبيض إلى ما بعد هذه النقطة -كأن يسحب مادة من نجم مرافق، أو يصطدم بقزم أبيض آخر- وسوف تكون له كتلة كبيرة جدًّا بحيث لا يستطيع ضغط الانتكاس موازنة المزيد من الانهيار. وبمجرد أن ينقلب هذا الاتزان، يحدث عدد من الأشياء في تتابع سريع.

تزداد درجة الحرارة المركزية للنجم. يبدأ الكربون بالاحتراق. تبدأ مادة النجم تتعكَّر وتضطرب؛ ممَّا يؤدي إلى سحب المزيد من المواد داخل وخارج اللهب المركزي. يتعمَّق الاحتراق داخل النجم ويمزقه؛ ممَّا يؤدي إلى انفجار نووي حراري شديد القوة لدرجة أنه يمزق النجم إربًا بشكل مذهل وكامل.

إن انفجار نجم قزم أبيض شديد السطوع لدرجة أنه يمكن أن يفوق سطوع مجرته بأكملها لفترة وجيزة، ويكون مرئيًّا للراصدين بالتلسكوبات على بُعد مليارات السنين الضوئية. وفي العصور القديمة، كانت السوبر نوفا مرئية في الأجزاء البعيدة من مجرة درب التبانة والمجرات القريبة بدون أدوات، بالعين المجردة، وأثناء النهار[1].

وبصرف النظر عن هذه الصورة المبسطة الشبيهة بضربة الفرشاة، ما زلنا لا نعرف بالضبط كيف يحدث النوع Ia من المستعرات العظمى؛ ممَّا يُشعرنا ببعض الإحباط في المجتمع الفلكي. هناك نقاشات مستمرة حول ما إذا كان سببها في المقام الأول سقوط مواد على القزم

(1) في عام 1006، شوهدت سوبر نوفا بين 30 إبريل وأول مايو 1006، ومن المحتمل أنها كانت لمستعر أعظم من النوع Ia، ونتجت عن اندماج نجمين كلاهما قزم أبيض على بُعد 7,000 سنة ضوئية تقريبًا، في مجرتنا. ولا يزال من الممكن رؤية بقايا هذا الحادث الكوني الهائل، وهي تظهر في الصور الفلكية شبيهة للغاية بكرة ملونة من الدخان.

الأبيض من النجوم المرافقة أو صدامات بين أقزام بيضاء. إن محاكاة الانفجار الذي يمزق النجم أمر صعب للغاية من الناحية الحسابية.

تؤدي معظم عمليات المحاكاة إلى تصورات مذهلة بشكل لا يُصدَّق للمواد النجمية المضطربة والمتفجرة دون الوصول فعليًّا إلى الجزء الخاص بالانفجار. لكن العلماء يعملون على ذلك (اتضح أن النجوم معقَّدة. خاصة عندما يكون كل من ميكانيكا الكم والانفجارات النووية الحرارية بنفس الدرجة من الأهمية).

الشيء الذي يجعلنا نعتقد أننا يمكن أن نتعلم أي شيء مفيد من ملاحظة المستعرات العظمى من النوع Ia، هو حقيقة أننا نستطيع أن نتوقع بشكل معقول أن الأقزام البيضاء[1] تكون دائمًا بنفس الكتلة تقريبًا عندما تنفجر. في عام 1930، كان عالم فيزياء معجزة من الهند يبلغ من العمر عشرين عامًا يُدعى سوبرامانيان شاندراسيخار Sub-rahmanyan Chandrasekhar، على متن سفينة متجهة إلى إنجلترا لبدء دراسته في كامبريدج عندما أحدث بدون قصد، في وقت فراغه، ثورة في تطوُّر النجوم؛ إذ إنه، من خلال تحسين الحسابات القائمة في ذلك الوقت، وإضافة تأثيرات مهمة من النسبية، اكتشف حدًّا صارمًا لكتلة أي نجم يعوقه ضغط انتكاس الإلكترون. هذا الحد، الذي يبلغ 1.4 مرة كتلة الشمس تقريبًا، أصبح معروفًا باسم حدِّ شاندراسيخار. وأي قزم أبيض يكتسب ما يكفي من الكتلة بما يتجاوز هذا الحد محكومٌ عليه على الفور بالانفجار بشكل مذهل على شكل مستعر أعظم (سوبر نوڤا). والآن بعد أن علمنا أن فيزياء الانفجار هي نفسها دائمًا، فإننا نعرف كيف يكون سطوع المستعر الأعظم من النوع Ia أصيلًا؛ وبالتالي يمكننا معرفة المسافة بيننا وبينه.

---

(1) (في اللغة الإنجليزية، في علم الفلك أو الكوزمولوچيا) عند جمع كلمة dwarf، تصبح dwarfs وليس dwarves، لسبب لا أعرفه.

عندما وصلت سفينة شاندراسيخار أخيراً إلى الشاطئ، اندفع اكتشافه الباهر مخترقًا المؤسسة العلمية كانفجار في جبهة المعرفة، ليغيِّر إلى الأبد نظرتنا إلى هذه الأجسام النجمية المتفجرة الغريبة والرائعة (رغم أنه، لم يكن الجميع مقتنعين بذلك. يبدو أن عالم الفلك الشهير السير آرثر إدينجتون[1]، الذي قام شاندراسيخار بتحسين أعماله، لم يكن سعيدًا بتفوق هذا الشاب المُحدث عليه، فجعل حياة الفيزيائي الشاب بائسة لسنوات قبل أن يستسلم في النهاية أمام هذا التفوق الحسابي الباهر).

## الفشار الكوني

إن فكرة أن جميع النجوم الأقزام البيضاء تنفجر عندما تتجمع لديها كتلة كافية تتجاوز حدَّ شاندراسيخار تعطي علماء الفلك الأمل في أن نتمكن من استخدام هذه النجوم كمعايير للمسافة، مع بعض التعديلات لمراعاة الاختلافات الطفيفة في الظروف النجمية.

لا يزال مدى قدرتنا على القيام بذلك موضوع نقاش حادٍّ للغاية في مجتمع الفيزياء الفلكية. وهو أمر مفهوم، لأن المخاطر لا يمكن أن تكون أكبر. المستعرات الأعظم من النوع Ia هي المعيار الذهبي[2]

---

(1) إذا كان اسم إدينجتون يبدو مألوفًا، فقد يكون ذلك لأنه قام برحلة استكشافية للكسوف في عام 1919، والتي قدَّمت بعض أوائل الأدِلَّة الرصدية على نظرية النسبية العامة لأينشتاين. أظهرت مراقبة النجوم التي يمر ضوؤها أمام الشمس في طريقها إلينا أن الضوء ينحني بسبب تشويه الشمس للفضاء. (وهذا هو نوع المراقبة الذي لا يمكن القيام به إلا عند كسوف الشمس). وثمة مانشيت شهير في ذلك الوقت يقول: "كل الأضواء تنحرف في السماء- رجال العلم متشوقون بدرجات متفاوتة لنتائج مراقبة الكسوف". ومن المفترض فيما يبدو أن نساء العلم لم يتأثرن.

(2) يمكن أن تكون هذه تورية لغوية ممتازة لو كان من المحتمل أن يكون النوع Ia قادرًا على صنع الذهب. ورغم أن ذلك النوع من السوبر نوفا ينتج عناصر أخرى أثناء الانفجار

لقياسات المسافة عبر مساحات شاسعة من الكون. وهي التي أتاحت لعلماء الفلك في أواخر التسعينيات اكتشاف التوسع المتسارع للكون، وهي ما يستخدمه علماء الفلك الآن كأفضل وسيلة فيما يختص بطبيعة الطاقة المعتمة.

(قد يبدو غريبًا أن نستخدم الانفجارات النجمية الضخمة كمعيار لقياس المسافة، لأننا بالطبع لا نستطيع التنبؤ بدقة متى أو أين ستنفجر هذه الانفجارات. ولكن اتَّضح أن معدل الانفجارات النجمية مرتفع بما يكفي- القاعدة الأساسية الجيدة هي أن يكون هناك سوبر نوفا واحدة لكل مجرة في كل قرن، وهناك مجرات كثيرة للغاية، فإذا التقطنا صورًا للعديد من المجرات كل ليلة، فمن المرجح في كثير من الأحيان أن نرى في إحداها وميضًا لم يكن موجودًا في الليلة السابقة، ومن ثم يمكننا متابعته بملاحظات أكثر تفصيلًا).

إن الدقة التي يمكننا بها الآن معايرة المسافات بين المجرات والمستعرات العظمى مثيرة للإعجاب، حيث تصل الدقة إلى مستوى 1%. وهذا يجعل من الممكن قياس معدل توسع الكون، من خلال تحديد مدى بُعد المجرات ومدى سرعة حركة ابتعادها. وكما سبقت المناقشة في الفصل الثالث، فإننا نتحدث عن معدل التوسع بناء على ثابت هابل، وهو الرقم الذي يربط بين المسافة وسرعة الانحسار. حتى وقت كتابة هذه السطور، تسمح لنا قياسات السوبر نوفا بقياس ثابت هابل بدقة تبلغ 2.4 بالمائة.

وهو أمر غريب، لأن الرقم الذي نحصل عليه يختلف تمامًا عن قيمة نفس الرقم الذي نشتقُّه من النظر إلى الخلفية الكونية الميكروية.

---

(كميات مثيرة من النيكل، على سبيل المثال)، فنتيجة الدرجات المرتفعة للغاية من الحرارة والضغط، فإن الذهب قد يُنتج في الغالب من الصدامات بين النجوم النيوترونية. بكل أسف.

## فوضى التوسع

على مدى السنوات القليلة الماضية، أعطتنا قياسات ثابت هابل المأخوذة من المستعرات العظمى رقمًا يبلغ حوالي 74 كيلومترًا في الثانية لكل ميجا فرسخ فلكي (74 km/s/Mpc)، وهذا يعني أن مجرة تبعد عنَّا مليون فرسخ فلكي (أي حوالي 3.2 مليون سنة ضوئية) تبتعد عنَّا بسرعة حوالي 74 كم/ثانية. وإذا كانت مجرة على بُعد ضعف تلك المسافة، فإنها تتحرك بالنسبة إلينا بضعف السرعة تقريبًا. ولكن يمكننا أيضًا قياس ثابت هابل بشكل غير مباشر، من خلال دراسة دقيقة لهندسة البُقَع الساخنة والباردة في الخلفية الكونية الميكروية. وعندما نقيسها بهذه الطريقة، فإن الرقم الذي نحصل عليه أقرب إلى 67 كم/ثانية/ميجا فرسخ فلكي. ورغم أن هذه المراقبات تنظر إلى حقب مختلفة تمامًا من التاريخ الكوني، فإن كلًّا منها يمكن أن تخبرنا بمعدل التوسع اليوم. في الكون الذي يتكون ممَّا نعتقد أنه يتكون منه، فإن كلتا الطريقتين لتحديد ثابت هابل ينبغي أن تعطينا نفس الرقم. لكن هذا لا يحدث.

لم يكن هذا يعتبر دائمًا مشكلة بهذا الحجم الكبير، حيث لم يعتقد أحدٌ أن أيًّا من القياسين كان دقيقًا بدرجة كبيرة للغاية بحيث يطرح السؤال. حتى مؤخرًا، كانت الحالة السائدة هي أن أهل الخلفية الكونية الميكروية افترضوا أن هناك بعض التقدير الخاطئ لسلم المسافة، والذي سيتم حلُّه في النهاية، ممَّا سوف يؤدي إلى انخفاض الرقم قليلًا، بينما اعتقد أهل المستعرات العظمى أن قياسات الخلفية الميكروية الكونية، التي تُشتقُّ في النهاية من محاولة قياس شكل الفضاء نفسه، كانت معقدة للغاية لدرجة أنه من المؤكد أن شيئًا ما سيُظهر أن الرقم كان في الواقع أعلى قليلًا. وتلك ليست فرضية غير معقولة، نظرًا لعدد الحسابات والتحويلات التي تدخل في النظر إلى

صورة وليدة للكون وتحويلها إلى معدل التوسع الحالي. كما أن سلم المسافة، بالمثل، معقَّد بدرجة خيالية حقًّا. والحق أنه، قبل الدخول في جميع التحيزات المحتملة التي قد تتسلل إلى حساباتك، إذا لم تأخذ في الاعتبار كل الخصائص ذات الصلة بالمستعرات العظمى نفسها، فإن معايرة النجوم المتغيرة ليست بالأمر السهل، وحتى المسافات إلى المجرات القريبة نسبيًّا تأتي أحيانًا مع قدر كبير من عدم اليقين. ويرجع جزء من هذا إلى مدى اختلاف مجموعات المتغيرات السيفاوية التي يمكننا رؤيتها في مكان قريب عن تلك البعيدة، و... حسنًا، يمكنني الاستمرار. اسمحوا لي فقط أن أقول إن هناك "مناقشات".

وفي حين لم تختف تمامًا الافتراضات من كل جانب بأن الآخر قد ارتكب خطأ ما، فإن الوضع يزداد إزعاجًا نظرًا لحقيقة أن كِلَا الجانبين يعملان على تحسين أساليبهما، وإقصاء جميع المصادر المعروفة للتحيز في القياس، وما زالا يجدان أرقامًا لا تتفق بشكل أكثر دقة مع بعضها البعض.

ومن غير الواضح ما هو الحل لهذه المشكلة في نهاية المطاف. ربما ينتهي الأمر بالفعل إلى وجود أخطاء تنظيمية في البيانات، أو إلى مشكلة ما في القياسات نفسها. ربما يكون الأمر مجرد صدفة إحصائية، رغم ما يبدو ظاهريًّا من أنه أمر غير مرجَّح. وتتضمن بعض التفسيرات الأكثر غرابة الطاقة المعتمة التي لا تمثل الثابت الكوني في تنوع حديقتك، ولكنها على العكس شيء أكثر شؤمًا إلى حدٍّ ما، شيء قد يؤدي ربما إلى التَّمزُّق الكبير. هناك فرضية واحدة من شأنها أن تقطع شوطًا معقولًا نحو إصلاح التناقض بين القياسات: الطاقة المعتمة تصبح أكثر قوة مع مرور الوقت، تمامًا بنفس الطريقة التي قد تتوقَّعها من المراحل المبكرة للكون الذي تهيمن عليه طاقة معتمة شبحية.

ربما لا ينبغي لنا أن نشعر بالذعر بعد. فكما سبق الشرح، لا تزال البيانات غير واضحة؛ ذلك أن معظم قياسات $w$ تعطي قيمة متَّسِقة

تمامًا مع -1، وعلى الرغم من أن القيم الأقل من -1 تحظى في بعض الأحيان بأفضلية طفيفة للغاية، فإن هذا التفضيل ليس له معنى إحصائيًا في الواقع. أما بالنسبة لخلاف ثابت هابل، فحتى لو كانت جميع القياسات صحيحة، فإن التفسيرات غير المروعة لهذا التناقض -والتي تتضمن نماذج غريبة للمادة المعتمة، أو الظروف المتغيرة في الكون المبكر- ما زالت غير مكتملة إلى حدٍّ كبير. في الواقع، حتى تعديل الطاقة المعتمة لن يكون كافيًا لحل المشكلة تمامًا، لذلك ليس من غير المعقول افتراض أن الحل قد يكمن في مكان آخر. وحتى لو كان هناك ارتفاع حادٌّ في تأثيرات الطاقة المعتمة في التاريخ الكوني الحديث، بما يشير إلى شيء مثل الطاقة المعتمة الشبحية، فلا يزال أمامنا **الكثير** من الوقت قبل أن يصبح من الممكن حدوث التمزق الكبير.

في الواقع، الشيء الوحيد الذي تشترك فيه جميع سيناريوهات نهاية الكون التي ناقشناها بالفعل هو أنها بالتأكيد لن تحدث في أي وقت قريب. بقدر ما يمكننا أن نعرف من فهمنا الأفضل للفيزياء، لا يزال أمامنا ما لا يقِلُّ عن عشرات المليارات من السنين قبل أن تحدث حتى الصيغة الأكثر تطرفًا من الانعكاس المفاجئ للانسحاق الكبير، ولا يمكن أن يحدث أي تمزُّق كبير قبل مرور مائة مليار سنة. أما الموت الحراري، الذي يعتبره أغلب العلماء أكثر احتمالًا، فسوف يكون بعيدًا في الأعماق الكونية للمستقبل التي ليس لدينا حتى مصطلحات لوصفها.

ومع ذلك، ثمة احتمال واحد، وهو بالتأكيد أكثر تهديدًا من كل الاحتمالات الأخرى. إنه يعرض احتمال أن يأتي يوم الهلاك علينا، في جوهره، كنوعٍ من "عيب الصناعة" في نسيج الكون نفسه. وهو أمر معقول، وموصوف جيدًا، وتدعِّمه أحدث النتائج الأكثر دِقَّة من بين تجارب الفيزياء التي أُجريت على الإطلاق. ويمكن أن يحدث حرفيًّا في أية لحظة.

# الفصل السادس
# اضمحلال الفراغ

لا شيء من الأشياء التي يقلق المرء بشأنها يحدث أبدًا.
وما يحدث هو شيء لم يفكر فيه المرء أبدًا.

**Connie Willis, *Doomsday Book* كوني ويليس**

في مارس 2008، رفع ضابط الأمان النووي المتقاعد والتر ڤاجنر Walter Wagner دعوى قضائية ضد الحكومة الأمريكية لمنع العلماء من بدء تشغيل مصادم الهادرونات الكبير. كان ذلك، من وجهة نظر ڤاجنر، محاوَلةً يائسة لإنقاذ العالم. وبطبيعة الحال، كان مصير الدعوى القضائية الفشل؛ فمن ناحية، لا يخضع مصادم الهادرونات الكبير للحكومة الأمريكية، بل يخضع لسيطرة المنظمة الأوروبية للأبحاث النووية (وتُختصَر CERN؛ والاختصار مُشتقٌّ من الفرنسية). وكانت مخاوف ڤاجنر العلمية، رغم أنها ناتجة عن شعور صادق، لا أساس لها من الصحة. في النهاية، أصدرت قيادة المنظمة الأوروبية

للأبحاث النووية (CERN) بعض البيانات الصحفية المطمئنة حول سلامة تكنولوچيا المصادم التابع لها، واستمر بناء وتشغيل مصادم الهادرونات الكبير (LHC).

لكن هذا لم يمنع من ازدياد ذُعر بعض شرائح الجمهور مع اقتراب موعد أول مصادمة مقرَّرة للجسيمات. سيكون المصادم أقوى تجربة فيزيائية للجسيمات في التاريخ، إذ ستتصادم البروتونات في أربعة أماكن على طول مسار دائري عملاق فائق التبريد ومحكم الإغلاق تحت الأرض يبلغ محيطه 27 كيلومترًا. ستُنتج هذه الصدامات، داخل أجهزة الكشف، دفقات لحظية من الطاقة شديدة القوة بحيث يمكنها إعادة خلق ظروف الانفجار الكبير الحار بعد نانوثوانٍ فقط من اللحظة الأولى للخلق. كان العلماء يأملون أن يقدِّم لنا مصادم الهادرونات الكبير نظرة ثاقبة ليس فقط عن ظروف الكون المبكر، بل أيضًا حول بنية المادة والطاقة نفسها. كانت التجارب السابقة قد أظهرت لنا أن قوانين الفيزياء تعتمد على الطاقة، وأن تغيير كيفية تفاعُل الجسيمات والقوى يعتمد على الظروف التي توجد فيها، وبالتالي فإن إحداث تصادمات بين الطاقات الأعلى والأعلى من شأنه أن يتيح للعلماء سَبْر حدود فهمنا لكيفية عمل الفيزياء.

كانت هناك جائزة أكثر إثارة في الأفق. قبل عقود، وضع الفيزيائيون نظرية حول وجود جسيم جديد، جسيم أساسي لسلوك المادة، لدرجة أنه سيكون القطعة الأخيرة التي تكمل النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات. بوزون هيجز Higgs boson، إذا تمَّ اكتشافه، لأسباب سنتناولها قريبًا، سيؤكد أخيرًا النظرية الرائدة التي تشرح كيف تمكَّنت الجسيمات الأساسية من اكتساب الكتلة في الكون المبكر. وسيكون من الممكن، كما نأمل، أن يعطينا أدِلَّة على بنية القانون الفيزيائي في مناطق خارج نطاق استكشافنا الحالي.

لكن هذا الاحتمال ذاته -أي استكشاف المجالات المجهولة للواقع- كان كافيًا لبَثِّ الرعب في قلوب المتفرجين. لم يسبق لأحد أن خلق تصادُمات في قوة هذه الطاقات. ولم يكن أحد يعرف كيف يمكن لقوانين الفيزياء أن تتغير وتعيد تشكيل نفسها في مثل هذه البيئة.

انتشرت سيناريوهات أسوأ عبر الإنترنت. ربما ستفتح الآلة بوابةً ما تؤدِّي إلى بُعد آخر، فتمزق نسيج الفضاء نفسه. ربما ستخلق ثقبًا أسود صغيرًا سينمو ليبتلع الكوكب بأكمله. ربما ستخلق "مادة غريبة"، نوع من المواد المركبة المكوَّنة من كواركات علوية وسفلية وذات نكهة غريبة[1] والتي، كما افترض البعض، يمكن أن تؤدي إلى تفاعل متسلسل على شكل الجليد التاسع[2]؛ ممَّا يؤدي إلى تحويل كل المادة التي يلمسها. لكن الفيزيائيين واصلوا العمل، غير مبالين فيما يبدو. أنتج مصادم الهادرونات الكبير (LHC) أول تصادمات لبروتونات عالية الطاقة في نوفمبر 2009.

وبالنظر إلى أن الحياة على هذا الكوكب لا تزال موجودة، فلن نكشف سرًّا إذا أشرنا إلى أنه لم تحدث أي من الكوارث الوجودية المفترضة (إذا كنت لا تزال قَلِقًا، فهناك موقع على الشبكة للتحديث المباشر: www.hasthelargehadroncolliderdestroyedtheworldyet.com)، ولكن هل حالفنا الحظ؟ فهل كانت التجربة مبرَّرة حقًّا، نظرًا للمخاطر المحتملة؟

---

(1) تأتي الكواركات على شكل ست "نكهات" مختلفة، لكل منها كتلة وشحنة مختلفة. والنكهات هي: أعلى، أسفل، قمة، قاع، رائع، غريب. وقد وضعت لها هذه الأسماء في عقد الستينيات.

(2) في كتاب كيرت فونجات مهد القط (Kurt Vonnegut, Cat's Cradle)، يظهر نوع جديد من الجليد، "الجليد التاسع"، وهو أكثر استقرارًا من الماء السائل. في القصة، كل قطرة من الماء يلمسها جزيئ من الجليد التاسع تتحول إلى هذا النوع من الجليد، مما يخلق تهديدًا وجوديًّا للحياة والعالم.

واقع الأمر أن الفيزيائيين ليسوا حَذِرين دائمًا، ولكن استكشاف سيناريوهات "ماذا لو" هو نوع من الضروريات اليومية لحياتهم، وعند وجود فرصة للتفكير بعمق في الفيزياء الحقيقية وراء الاحتمالات الافتراضية للتدمير النهائي يصبح من الصعب للغاية تفويتها[1]. في الواقع، في عام 2000، كتب أربعة فيزيائيين (منهم فيزيائي فاز لاحقًا بجائزة نوبل) بحثًا من ست عشرة صفحة من أجل عرض للفيزياء الحديثة بعنوان Review of Speculative 'Disaster Scenarios' at RHIC (مراجعة سيناريوهات تخمين الكوارث في RHIC). كان RHIC عبارة عن "مصادم الأيونات الثقيلة بسرعات النسبية"، وهو مصادم مختبر بروكهافن الوطني الذي سبق مصادم الهادرونات الكبير (LHC)، وقد بُني بهدف تصادُم نوى العناصر الثقيلة -مثل الذهب- عند الطاقات العالية. وكانت تجربة رائدة في حدِّ ذاتها، كما أنها كانت أيضًا موضع مخاوف من أنها قد تخلق عواقب غير متوقَّعة يمكن أن تعرِّض الكوكب (أو الكون) للخطر، وقد كُتبت الورقة لاستكشاف تلك الشائعات، وبأمل أن تبددها بشكل كامل.

وكانت النتائج مشجِّعة. لم يجد الباحثون فقط أن فرص إنتاج مادة غريبة أو ثقوب سوداء كانت ضئيلة للغاية بناءً على الاعتبارات النظرية فحسب، بل كانت هناك بالفعل بيانات تجريبية تدعم ذلك. وعلى وجه التحديد: وجود القمر.

إن الاحتجاج بأن أي نوع من الظواهر الغريبة الناجمة عن المصادمات سوف يدمرنا يعتمد على فكرة أن الصدامات العنيفة ذات الطاقة العالية في هذه المصادمات غير مسبوقة إلى درجة أننا لا نستطيع معرفة ما قد يحدث. وهو ما يتجاهل حقيقة مهمة: في حين أن الطاقات التي يصل إليها RHIC وLHC قد تكون جديدة

(1) صدقني، أنا أعرف ذلك.

بالنسبة لنا نحن البشر الضعفاء، فإن الأشعة الكونية التي تجوب الكون تصل إلى طاقات عالية بشكل لا يُصدَّق طوال الوقت، وتتصادم مع الأجسام الأخرى كما تتصادم مع بعضها البعض باستمرار. وعلى حدٍّ تعبير مؤلفي ورقة RHIC، "من الواضح أن الأشعَّة الكونية كانت تقوم بتنفيذ 'تجارب' تشبه RHIC في جميع أنحاء الكون منذ زمن لا نستطيع إدراكه". لقد حدثت تصادمات ذات طاقات أعلى بكثير ممَّا يمكن أن يصل إليه أي مصادم أرضي في جميع أنحاء الكون منذ مليارات السنين؛ لذلك إذا كان بإمكانها تدمير الكون، لكُنَّا قد لاحظنا ذلك بكل تأكيد.

قد تقول: "انتظر، ماذا لو كانت صدامات الأشعة الكونية في الفضاء السحيق مدمِّرة حقًّا بدرجة هائلة، ولكنها بعيدة جدًّا بحيث لا تؤثِّر علينا؟ ماذا لو كانت كتل المادة الغريبة موجودة في جميع أنحاء الكون، ونحن لا نعرف؟"؛ إنه مصدر قلق صحيح. في حين من المتوقع في معظم الأحيان أن يكون للجسيمات المنتجة في المصادم ما يكفي من قوة الدفع للخروج من المختبر بمجرد تشكُّلها، فمن الممكن أن نخلق شيئًا خطيرًا يمكن أن يستقر بشكل أو بآخر في جهاز الكشف. فماذا يحدث حينئذ؟

لحسن الحظ، يمكننا استخدام القمر كطائر الكناري في منجم الفحم[1]. لدينا ما يكفي من البيانات من أجهزة الكشف الأرضية والتلسكوبات الفضائية لمعرفة أن الأشعة الكونية عالية الطاقة تصطدم بالقمر طوال الوقت (في الواقع، باستخدام التلسكوبات الراديوية، يمكن حتى استخدام القمر ككاشف للنيوترينو[2]، وهو أمر مذهل في

(1) مثال طائر الكناري في منجم الفحم: عندما يموت طائر الكناري في منجم الفحم فهذا دليل على قلَّة الأكسجين؛ ولذا لا بُدَّ أن يسرع العمال بالخروج من المكان وإلا فسوف يموتون أيضًا. [المترجمة]

(2) هذا يرجع لشيء يُسمَّى تأثير أسكاريان Askaryan Effect، وفيه يقوم نيوترينو ذو

حدِّ ذاته). إذا كانت صدامات الجسيمات عالية الطاقة يمكن أن تحوِّل المادة العادية القريبة إلى مادة غريبة، لكان هذا قد حدث على القمر منذ دهور، ولكان لدينا جسم مختلف تمامًا في سمائنا. وبالمثل، كان من الممكن أن تتغير سماء الليل بشكل ملحوظ إذا تشكَّل ثقب أسود صغير على القمر وابتلعه. ناهيك عن حقيقة أننا نحن البشر كنا هناك بالفعل، وتجوَّلنا، وضربنا بعض كرات الجولف، وأحضرنا عيِّنات من صخوره. القمر مستمر في حالة جيدة؛ لذلك، كما احتجَّ المؤلفون، فإن مصادم الأيونات الثقيلة بسرعات النسبية لن يقضي علينا.

ومع ذلك، لم تكن المادة الغريبة والثقوب السوداء هي الوحيدة التي فُضح زيف ارتباطها بنهاية العالم. فهناك احتمال آخر، أُلغي بالمثل من خلال ملاحظة القوة النارية الفائقة للأشعة الكونية، وهو فكرة أن تصادُمًا قويًّا بدرجة كافية يمكن أن يؤدي إلى حدثٍ كمِّيٍّ مدمِّر للكون يُسمَّى اضمحلال الفراغ *vacuum decay*. تعتمد فكرة اضمحلال الفراغ برُمَّتها على فرضية مفادها أن كوننا يحتوي بداخله على نوع من عدم الاستقرار المميت. في حين أن هذا قد يبدو مخيفًا حتى لو كان احتمالًا بعيدًا، إلا أنه في الوقت الذي تمَّ فيه التكليف بإنشاء مصادم الأيونات الثقيلة بسرعات النسبية (RHIC)، لم يكن ثمة دليل حقيقي على مثل هذا الخلل؛ لذلك لم يؤخذ على محمل الجد بشكل خاص.

لكن، في عام 2012، عندما اكتشف مصادم الهادرونات الكبير بوزون هيجز، تغيَّر كل شيء.

---

طاقة عالية بضرب الثرى القمري وخلق اندفاع من موجات الراديو والتي نأمل أن نستطيع التقاطها بتليسكوبات الراديو. لكن حساسية تليسكوباتنا لا تزال حتى الآن غير كافية، ونأمل أن نتمكَّن من التقاط تلك الإشارات مع الجيل القادم من الأجهزة.

## حالة الكون

إحدى الطرق الجيدة لإثارة غضب فيزيائي متخصص في الجسيمات هي الإشارة إلى بوزون هيجز بالاسم الذي أكسبه الشهرة: الجسيم الإله. إن السخط الجماعي الذي نشعر به حول هذا اللقب النبيل لم يأتِ بالكامل كانزعاجٍ من الخلط بين العلم والدين (رغم أن هذا يمثِّل جزءًا كبيرًا منه بالنسبة للكثيرين). كما أن تعبير "الجسيم الإله" غير دقيق بالمرة، وهو بصراحة يبدو وقحًا بعض الشيء. وهذا لا يعني أن بوزون هيجز ليس جزءًا بالغ الأهمية من النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات. بل يمكن حتى القول بأن بوزون هيجز هو المفتاح لتكامل كل شيء آخر معًا. لكن الواقع أن **مجال هيجز**، وليس الجسيم، هو الذي يلعب دورًا مركزيًّا في عمل فيزياء الجسيمات وطبيعة الكون.

القصة باختصار هي أن هيجز هو نوع من مجال الطاقة الذي ينتشر في كل الفضاء ويتفاعل مع الجسيمات الأخرى بطريقة تتيح لها الحصول على كتلة. وبوزون هيجز لديه علاقة مع مجال هيجز هي نفس تلك العلاقة التي تربط الفوتون، حامل القوة الكهرومغناطيسية (والضوء)، بالمجال الكهرومغناطيسي؛ وهذه العلاقة هي "إثارة" موضعية لشيء ينتشر في مساحة أكبر. أمَّا القصة بطولها وتفاصيلها فهي تتعلَّق بنظرية القوة الكهربائية الضعيفة، وهي النظرية التي توحِّد القوة النووية الضعيفة مع الكهرباء والمغناطيسية، وكيف أن عمليةً تُسمَّى "كسر التناظر التلقائي" تقوم بالفصل بين تلك القوى.

(هذا هو الجزء من الكتاب الذي أريد حقًّا وصدقًا أن أعلمكم فيه جميعًا نظرية المجال الكمي، ولكني أبذل جهدًا بطوليًّا لأقتصر على مجرد التطرق إلى بعض القضايا الرئيسية. عليك فقط أن تثق بي عندما أقول أنك إذا قرَّرت الذهاب وتعلُّم الرياضيات خلف كل هذا، فسوف تجد أن الأمر أكثر روعة).

تحدَّثنا في الفصل الثاني حول حقيقة أن الفيزياء تعمل بشكل مختلف عند طاقات مختلفة. على سبيل المثال، تعمل الكهرومغناطيسية والقوة النووية الضعيفة كظاهرتين منفصلتين تمامًا في أنواع الطاقات التي نتعامل معها في حياتنا اليومية، لكن في بداية الكون، في الطاقات العالية جدًّا، كانتا جانبين لنفس الشيء. وكان لمجال هيجز دور فعَّال في هذا التحول؛ وعندما حدث التَّغيُّر، تغيَّرَت قوانين الفيزياء أيضًا.

وهذا جانب كبير من أسباب قيامنا ببناء المصادمات: فنحن نريد أن نخلق، في مساحات صغيرة جدًّا داخل كواشفنا، أنواع الظروف القصوى التي كانت موجودة في بداية الكون، والتي يمكن أن تمنحنا نظرة ثاقبة للمبادئ الفيزيائية الأساسية التي تملي علينا كيف يتناسب كل شيء في الفيزياء معًا. الفكرة الأساسية هي أنه يجب أن يكون هناك نوع من النظرية الرياضية الشاملة التي تعطينا مخططًا لتفاعلات الجسيمات في جميع الظروف الممكنة، ومن خلال الإنتاج المستمر لتفاعلات الطاقة الأعلى والأعلى، نحصل على صورة يتزايد وضوحها لما يبدو عليه هذا الإطار الأكبر.

على سبيل التشبيه، فكِّر في المياه. على المستوى الأساسي، هي عبارة عن مجموعة من الجزيئات المكوَّنة من ذرات الهيدروجين والأكسجين مترابطة بترتيب معين. لكن تجربتنا اليومية مع الماء هي كسائل متجانس عديم اللون، أو ربما كمادة صلبة بلورية، أو في أوقات معينة مؤسفة كنوع من الرطوبة الساحقة للروح التي تجعلك تتمنى لو كانت ملابسك مصنوعة من المناشف[1]. من خلال فحص سلوك الماء في هذه الأشكال المختلفة، يمكننا أن نتوصل إلى استنتاجات حول حقيقته، حتى لو لم يكن لدينا ميكروسكوبات قوية في متناول اليد لرؤية الذَّرَّات الفردية نفسها. فنحن نعرف من شكل ندفة الثلج،

(1) تمَّت كتابة هذا الجزء من الكتاب في ولاية كارولينا الشمالية في شهر أغسطس.

على سبيل المثال، شكلَ الجزيئات أثناء ترتيبها في بلورات. ونعرف من الطريقة التي يتبخر بها الماء شيئًا عن الروابط التي تربط الجزيئات ببعضها البعض. إذا اختبرنا الماء في إحدى مراحله فقط، فلن تكون لدينا صورة كاملة عنه، وسيكون من الصعب الوصول إلى هذه القصة الكاملة. وبنفس الطريقة، فإن تجربتنا مع تفاعلات الجسيمات دون الذَّرِّيَّة تتغيَّر بناءً على طاقة (أو درجة حرارة) التجربة، وهذا يتيح لنا الحصول على رؤية أفضل لما يحدث بالفعل.

ما نريد أن نعرفه في فيزياء الجسيمات هو كيف تتفاعل الجسيمات مع بعضها البعض، وكيف أصبحت خصائصها الأساسية، مثل كتلتها، على ما هي عليه الآن. السِّمة البارزة لأي جسيم له كتلة هي أنه لا يمكنه التسارع بدون استخدام القوة، ولا يمكن أبدًا أن يصل إلى سرعة الضوء. في بداية الكون، مرَّ مجال هيجز بمرحلة انتقالية أدَّت إلى انفصال القوة الكهرو-ضعيفة إلى قوتين: كهرومغناطيسية وقوة ضعيفة، وفي هذه العملية أدَّت هذه المرحلة إلى اكتساب بعض الجسيمات (ولكن ليس الفوتون أو الجلون gluon) قدرة على التفاعل مع مجال هيجز نفسه. وتحدد قوة هذا التفاعل كتلة الجسيم. ويستمر الفوتون في الاندفاع عبر الفضاء بسرعة الضوء، لكن الجسيمات ذات الكتلة تتحرك ببطء أكبر بما يتناسب مع قوة الجذب التي تتعرض لها من مجال هيجز.

إن مقارنة سلوك الجسيمات في بداية الكون بسلوكها اليوم يشبه مقارنةَ كيف يمكن أن تتفاعل مع البخار مقابل الماء السائل. تخيَّل أن البخار هو مجال هيجز، وهو حقل طاقة موجود في كل نقطة من الفضاء. وتخيَّل أنه في مرحلة ما يغير مجال هيجز طابعه بشكل جذري، تمامًا مثلما يتكثف البخار على شكل ماء سائل. إذا كنت معتادًا على عدم مواجهة أي شيء سوى الهواء الرطب، فإن التَّحرُّك عبر بِركة من الماء هو تجربة مختلفة تمامًا. وعندما تغيَّرت شخصية

مجال هيجز فجأة، بدا الأمر كما لو أن قوانين الفيزياء قد تكثَّفت في شكل مختلف تمامًا. فجأة، إذا بالجسيمات التي يمكنها التحرك عبر الفضاء دون عوائق وبسرعة الضوء قد تباطأت بسبب تفاعلاتها مع مجال هيجز. لقد حصلت على الكتلة.

نحن نسمِّي هذه العملية كسر التناظر الكهروضعيف.

## التماثل المخيف

التماثُل، أو التناظُر، في الفيزياء هو مفهوم يتميز بدرجة من الدقة والتجريد حتى يصعب للغاية تفسيره بدون استخدام المعادلات، ولكنه أيضًا حيوي جدًّا لكل ما نفكر فيه كفيزيائيين لدرجة أنني لا أستطيع بضمير حي أن أمرَّ به مرور الكرام. يعدُّ التماثُل أمرًا أساسيًّا لكيفية وصف نظريات الطبيعة، وفي أغلب الأحيان، لكيفية تطوير نظريات جديدة. إذا كنت معتادًا على التفكير في العالم من حيث المعادلات الرياضية التي تحكمه، فمن المحتمل أنك ترتاح بالفعل لفكرة أن النظريات يمكن وصفها من حيث التماثلات التي تخضع لها؛ وإذا لم تكن، فهذه رطانة لا معنى لها بالنسبة لك، وهذا أمر مفهوم. لذلك دعونا نأخذ منعطفًا قصيرًا للحظة ونوضِّح كل هذا، لأنه شيء جميل للغاية، وما أن تعرفه فسوف تراه في كل مكان.

لا يقتصر التماثل على ما إذا كان الشيء يبدو كما هو في المرآة. في الفيزياء، يتعلَّق الأمر كله بالأنماط، وكيف يمكن لهذه الأنماط أن تمنحك رؤية أعمق لبعض البنى الأساسية. انظر، على سبيل المثال، إلى الجدول الدوري للعناصر. لماذا رُتِّبَت العناصر في الصفوف والأعمدة التي اعتدنا رؤيتها فيها اليوم؟ إذا كنت قد درست الكيمياء، ستعرف أن بعض الأعمدة تجمع عناصر بينها أشياء مشتركة، فالغازات النبيلة (العمود الموجود في أقصى اليمين) كلها تكره التفاعل الكيميائي، في

حين أن الهالوجينات الموجودة بجوارها مباشرةً تتَّصِف بالتطايُر خاصَّة. اكتُشفت هذه الأنماط حتى قبل اكتمال الجدول، والواقع أن مُنشِئ الجدول، ديمتري مندلييف Dmitri Mendeleev، ترك فجوات للعناصر التي كان يعلم أنها يجب أن تكون موجودة بناءً على النموذج، حتى قبل اكتشافها.

دفعت الأنماط الموجودة في الجدول الدوري إلى التنظير حول مدارات الإلكترون؛ ممَّا أدَّى إلى اكتشافات حول الطبيعة الأساسية للمادة دون الذَّرِّيَّة. وطوَّر العلماء، مرارًا وتكرارًا، نظريات جديدة للطبيعة من خلال التعرف على الأنماط في ملاحظاتهم، ومن ثم البحث عن خاصية خفية يمكن أن تمنحهم نظرة ثاقبة لما كان يحدث بالفعل. نحن نفعل هذا طوال الوقت، بأنفسنا، دون أن نلاحظ ذلك. إن مشاهدة تغير حركة المرور على الطريق السريع على مدار اليوم يمكن أن نعرف منها ساعات العمل القياسية. ويمكن أن يتيح لك نمط بهتان ألوان السجادة استنتاج أي أجزاء الغرفة تحصل على أكبر قدر من ضوء الشمس (وبالتالي؛ يمكن بشكل غير مباشر معرفة اتجاه كل من الأرض والشمس في النظام الشمسي).

في حالة فيزياء الجسيمات، غالبًا نجد أن استخدام التناظر يشبه إلى حدٍّ كبير بناء جداول دورية جديدة، ولكن بوحدات بناء أصغر من الطبيعة. يمكن لأوجه التماثل بين الجسيمات -شحنتها أو كتلتها أو دورانها، على سبيل المثال- أن تعطي أدِلَّة حول أوجه التماثل في تكوينها أو صِلاتها بالقوى الأساسية. إن ترتيب هذه الجسيمات حسب أنماطها يتيح للفيزيائيين التعرف على التشابهات التي يمكن أن تكون السمات المميزة لنظريات كاملة.

في بعض الأحيان تصبح رؤية هذه الأنماط أكثر سهولة عن طريق الرياضيات. إذا كتبت معادلة لوصف عملية فيزيائية، ثم وجدت أنه

يمكنك تبديل بعض المصطلحات دون تغيير فعلي للظاهرة الفيزيائية التي تصفها المعادلة، فقد وجدت تناظُرًا رياضيًّا. وربما تتعرف عن طريق هذا التناظر على شيء عميق عن الجسيمات أو الحقول التي تصفها.

هذه الطريقة الموجهة نحو التماثُل في النظر إلى الجسيمات والعلاقات بينها منتشرة جدًّا في الفيزياء، لدرجة أننا نجد أنفسنا نستخدم إشارات إلى التناظرات الرياضية كاختصارٍ للنظريات نفسها. على سبيل المثال، يُطلَق على الكهرومغناطيسية في كثير من الأحيان اسم نظرية U(1)، لأن بعض جوانب الرياضيات لها نفس نوع التناظر الموجود في الدائرة، و"U(1)" هو اختصار لمجموعة رياضية تصف الدوران حول دائرة.

ويحدث كسر التناظر عندما تتغيَّر الظروف فجأة بحيث تتَّخذ النظرية التي ستدوِّنها لوصف كيفية تفاعل الجسيمات بنية مختلفة أقلَّ تناظُرًا. بعد حدوث كسر في التناظر، لا يصبح بإمكانك تبديل الرموز في المعادلات بنفس الطريقة، وهذا التغيير في التناظر يعبر عن نفسه كسلوك متغير في العالم المادي.

بعض التناظرات التي نعمل بها في الفيزياء مجردة وواضحة فقط في الرياضيات، ولكن بعضها هو الأشياء المعتادة. التناظر الدوراني هو عندما يبدو شيء ما كما هو عند تدويره بزاوية معينة (مثل دائرة أو نجمة خماسية). التناظر الانتقالي يعني أن شيئًا ما يبدو كما هو إذا قُمتَ بنقله إلى جانب واحد (على سبيل المثال، سياج خشبي طويل يُنقل على مسافة وتد واحد، أو خط مستقيم طويل ينزلق بمقدار بوصة). يتضمن كسر التماثل القيام بشيء ما في الحالة يجعل هذا التماثل غير فعَّال. يتمتع كأس نبيذ بتناسُق دوراني مثالي حتى تظهر علامة أحمر الشفاه في موضع واحد. السياج الخشبي له تماثل انتقالي

حتى يُكسر أحد الأوتاد. حتى حفل العشاء يمكن أن يتضمَّن حدث كسر التناظر، كما لاحظ في كثير من الأحيان مجموعات من الفيزيائيين في مآدب المؤتمرات بعد خروج المشروب الكحولي. بينما تنتظر بصبرٍ في بداية الوجبة، محاطًا بمجموعة محيرة من الأواني الفضية، وطبق خبز صغير على جانبيك، فأنت في وضع تماثل دوراني. بمجرد أن يمدَّ شخص واحد إلى اليمين أو اليسار يده ليأخذ طبق الخبز، ينكسر التماثل، ويمكن لأي شخص آخر أن يحذو حذوه[1].

ومهما كان نوع التناظر الذي نعمل به، فإننا كفيزيائيين سنراه في المعادلات التي تصف التفاعلات. هناك طرق لتشفير التماثلات الدورانية والانعكاسية والانتقالية في المعادلات، حتى تعرف أن الفيزياء تظل كما هي بغضِّ النظر عن كيفية تدوير النظام المعني أو قلبه أو تحريكه. يمكن للمعادلات أيضًا تشفير أنواع أكثر دقَّة من التماثلات التي توصف على نحو أفضل باستخدام نظرية المجموعة والجبر المجرد، وهي رائعة ولكنها للأسف خارج نطاق هذا الكتاب.

عندما حدث كسر في التناظر الكهروضعيف، عندما وصل الكون إلى سِنِّ النُّضج البالغ 0.1 نانو ثانية، كان ذلك بمثابة نوع من إعادة ترتيب بنية الفيزياء على مستوى أساسي[2]. إن القواعد التي يجب أن تتبعها تفاعلات الجسيمات مختلفة تمامًا في عالم ما بعد عصر الطاقة الكهروضعيفة. حيث إن حقل هيجز الذي كان في السابق بخاريًّا قد أصبح محيطًا.

---

(1) وصول شخصين في نفس الوقت إلى طبقَيْ الخبز على جانبين متقابلين لكل منهما يؤدي إلى تراكُم يسمِّيه الفيزيائيون عيبًا طوبولوچيًّا. وفي هذه الحالة تحديدًا، سيكون بمثابة جدار النطاق، والذي، إذا تُرك متحررًا على الكون، سيهيمن على الكون ويؤدي إلى انسحاق كبير؛ ولهذا السبب أنتظر دائمًا أن يقوم شخص آخر باختيار الخبز قبل القيام بمحاولتي.

(2) سبق لنا في الفصل الثاني مناقشة هذا التحول، وما يعنيه بالنسبة للكون المبكر جدًّا.

التمثيل بتناظر الماء ليس مثاليًا. عندما تتحرك عبر الماء، فإن السَّحب يبطئك، ممَّا يعني أنك ستتوقف إذا توقَّفتَ عن بذل الجهد. وفي حالة تفاعُل الجسيمات الضخمة مع مجال هيجز، فإن التفاعلات لا تؤدي إلى إبطائها مع مرور الوقت. أي شيء يتحرك في الفراغ يميل إلى الاستمرار في فِعل ما يفعله. وفي حالة الجسيمات الضخمة، يتضمن ذلك في كثير من الأحيان انطلاقها مترنِّحةً عبر الكون بسرعات عالية جدًّا (ولو أنها دون سرعة الضوء). الفارق الرئيسي بين الجسيمات الضخمة وعديمة الكتلة هو أنه من أجل تغيير السرعة، فإن الجسيمات الضخمة التي تتحرك عبر الفراغ تتطلَّب دفعة، في حين أن الجسيمات عديمة الكتلة تتحرك بسرعة الضوء دون جهد. في الواقع، لا يمكن للجسيمات عديمة الكتلة أن تنتقل بأي طريقة سوى بسرعة الضوء.

لذلك، فإننا، نحن الذين نتمتع بالقدرة على الجلوس ساكنين من حين لآخر، يجب أن نكون ممتنِّين لأن مجال هيجز فعل ما فعله، وكسر التناظر الكهروضعيف. إن مجال هيجز لا يمنح الجسيمات القدرة على الحصول على كتلة فحسب، بل يحدِّد أيضًا العديد من الثوابت الأساسية للطبيعة، مثل شحنة الإلكترون، أو كتل الجسيمات. والحالة الفيزيائية الخاصة التي نعيش فيها، مع وجود حقل هيجز في موقع جيد، يشار إليها باسم "فراغ هيجز" أو "حالة الفراغ" الخاصة بنا. إذا كان لمجال هيجز قيمة أخرى، أو إذا كان التَّناظُر قد انكسر بطريقة أخرى، فربما ما كان يمكن أن نكون موجودين على الإطلاق. نحن نتمتَّع بعالم ضُبِطَت فيه كتل الجسيمات وشحناتها على نحو مثالي يتيح لها التجمع معًا في جزيئات، وتشكيل الهياكل، وتنفيذ العمليات الكيميائية للحياة. فإذا اكتسب الحقل قيمة أخرى، فقد يختل هذا التوازن الدقيق؛ ممَّا قد يجعل هذه الروابط مستحيلة. إننا ندين بوجودنا المادي بأكمله لحقيقة أن هيجز استقر على تلك القيمة التي له الآن.

وهذا هو حيث تبدأ الأمور في أن تصبح محفوفة إلى حدٍّ ما بالمخاطر.

إن تجارب مثل مصادم الهادرونات الكبير (LHC)، التي تخلق ظروفًا قصوى تحاكي تلك التي كانت موجودة في الكون المبكر، تساعدنا ليس فقط على رؤية ماهية قوانين الفيزياء، بل أيضًا ما يمكن أن تكون عليه، في ظل ظروف مختلفة. في عام 2012، عندما تمكَّن الفيزيائيون أخيرًا من إنتاج بوزون هيجز في تصادم الجسيمات، أدَّى قياس كتلته إلى إنتاج قطعة اللغز المفقودة الأخيرة في النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات. لقد أعطانا لمحة ليس فقط عن القيمة الحالية لمجال هيجز، بل عن جميع القيم المحتملة التي قد يأخذها، إذا أُعطيَت له نصف فرصة.

والخبر السار هو أن قياس كتلة هيجز يتوافق تمامًا مع صياغة معقولة ومتَّسِقة رياضيًّا للنموذج القياسي الذي اجتاز حتى الآن كل الاختبارات التجريبية بنجاح تام.

أما الخبر السيئ، فهو أن هذه الصورة المتَّسِقة للنموذج القياسي تدلُّ أيضًا على أن فراغ هيجز لدينا -وهو مجموعة القوانين المتوازنة تمامًا التي تحكم العالم المادي- ليس مستقرًّا. يبدو أن كوننا الجميل بأكمله يعيش في الوقت الإضافي المستعار.

## كون منحدر زلِق

إن فكرة أن فراغنا قد لا يكون مستقرًّا ليست فكرة جديدة. فحتى في ستينيات وسبعينيات القرن العشرين، كان الفيزيائيون يكتبون بكل ابتهاجٍ أوراقًا بحثية يتخيلون فيها احتمالات أن يخضع الكون لعملية اضمحلال كارثية؛ ممَّا يؤدِّي إلى تدمير الحياة كلها كما نعرفها، بل وحتى كل إمكانية للمادة المنظمة. بالطبع، في ذلك الوقت، كان اضمحلال الفراغ مجرد فكرة مضحكة للتلاعب بها في المعادلات، دون وجود بيانات تجريبية تدعمها.

الآن، اختلف الأمر.

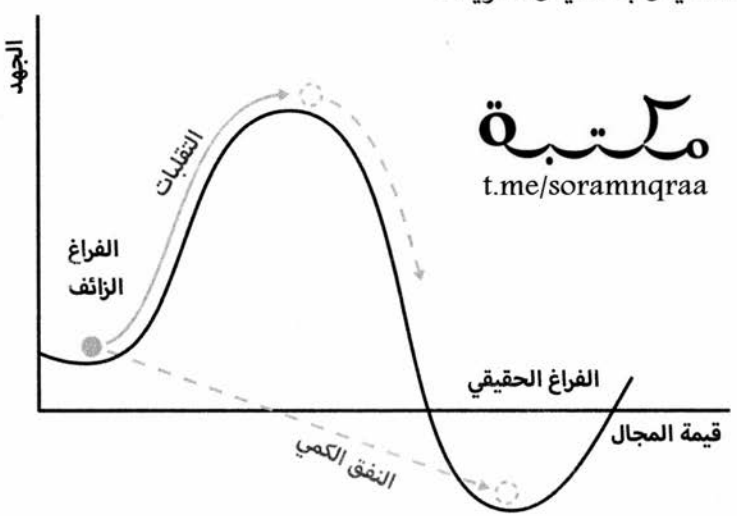
لفهم اضمحلال الفراغ، علينا أن نفهم مفهوم "الجُهد" *poten-tial*، وهو بناء رياضي يمثل كيف يمكن أن تتغير قيمة المجال، وأين "يُفضل" أن يكون. يمكنك أن تفكر في مجال هيجز باعتباره حصاة تتدحرج على منحدر نحو الوادي، مع الإمكانية التي يمثلها شكل ذلك المنحدر. ومثلما سوف تستقر الحصاة في قاع الوادي، فإن مجال هيجز سيبحث عن الحالة ذات الطاقة الأقل، حيث يكون الجُهد عند أدنى قيمة له، ويستقر هناك، بافتراض أن لا شيء يوقفه. إذا رسمنا مخططًا للجُهد فسوف يبدو على شكل حرف U، حيث يكون الجزء السفلي من حرف U هو قاع ذلك الوادي. عندما حدث كسر التناظر الكهروضعيف، أدَّى ذلك إلى خلق الجُهد الذي يحكم مجال هيجز، وكما نتخيله عمومًا، فإن هيجز الآن مستقر بأمان في القاع.

المشكلة هي أن هذا قد لا يكون القاع حقًّا. قد تكون هناك حالة فراغ أخرى، عند جزء أقل حتى من الجُهد. تخيَّل نوعًا من شكل W المستدير والمائل، حيث يكون أحد الوديان، وهو الذي يمثل المكان الذي لا يعيش فيه مجال هيجز، أكثر انخفاضًا من الآخر بدرجة طفيفة. إذا كان لاحتمال هيجز ذلك الوادي الثاني السفلي، فإنه يتحول فجأة من كونه بناء رياضي لطيف إلى تهديد وجودي للكون.

أينما وصل مجال هيجز الآن إلى أقصى جُهده، فقد منحنا كونًا مريحًا وصالحًا للعيش تمامًا. لدينا ثوابت الطبيعة التي تتوافق بشكل جيد مع الجسيمات المترابطة والهياكل الصلبة المتوافقة مع الحياة. إذا كانت حالة أخرى ممكنة، حالة تخفض الجُهد إلى الأدنى، ويصبح كل ذلك في خطر.

في مثل هذه الحالة، يكون فراغ هيجز "شبه مستقر" فقط. مستقر... نوعًا... في الوقت الراهن. الحقل عالق في جزء من الجهد

يشبه قاع الوادي ولكنه في الواقع أشبه بفجوة في جدار الوادي. ويمكن أن يظل ثابتًا هناك لفترة طويلة -فترة كافية لنمو المجرات، وميلاد النجوم، وتطور الحياة، وإنتاج وتوزيع المزيد من أفلام الأبطال الخارقين أكثر مما يمكن لأي شخص أن يرغب حقًّا- لكن يلوح في الأفق احتمال أن يؤدي اضطراب كبير بما فيه الكفاية إلى دفعه إلى الحافة، وبعد ذلك لن يكون هناك ما يمنعه من الهبوط إلى قاع الوادي الفعلي. وسيكون ذلك سيئًا للغاية حقًّا. ولأسباب سنناقشها بعد قليل بتفاصيل دموية.




مكتبة
t.me/soramnqraa

الشكل 17: الجُهد الخاص بمجال هيجز مع حالة فراغ كاذبة. كل وادي في الجُهد هو حالة محتملة للكون. إذا كان مجال هيجز الخاص بنا يعيش في الوادي الأعلى (الفراغ الزائف)، فيمكنه الانتقال إلى الحالة الأخرى (الفراغ الحقيقي) عبر حدثٍ عالي الطاقة (مُشار إليه بـ "التقلبات" "fluctuations" على الرسم البياني) أو عبر النفق الكَمِّي. إذا كنا نعيش في عالم فراغ زائف، فإن انتقال مجال هيجز إلى الفراغ الحقيقي سيكون كارثيًّا.

ولسوء الحظ، فإن أفضل البيانات المتوفِّرة لدينا، والمتوافقة مع كل قياسات النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات، تشير إلى أن مجال هيجز الخاص بنا متمسِّك حاليًّا بمثل هذه الفجوة. تُعرف هذه الحالة شبه المستقرة أيضًا باسم "الفراغ الزائف"، وهو عكس الفراغ "الحقيقي" الموجود في قاع الوادي.

ما العيب في أن تكون في فراغ زائف؟ كل شيء، محتمل جدًّا. فالفراغ الزائف في أحسن الأحوال هو استراحة مؤقتة من الدمار النهائي. وفي الفراغ الزائف، تكون قوانين الفيزياء، بما في ذلك قدرة الجسيمات على الوجود على الإطلاق، مشروطة بعملية توازن غير مستقرة يمكن أن تنهار في أي لحظة.

وعندما يحدث هذا، فإنه يسمَّى اضمحلال الفراغ. إنه سريع ونظيف وغير مؤلم، وقادر على تدمير كل شيء على الإطلاق.

## فقاعة من الموت الحَمْي

لكي يحدث اضمحلال الفراغ، لا بُدَّ من وجود محفِّز، شيء من شأنه أن يجعل مجال هيجز يتجول بعيدًا بدرجة كافية للعثور على جزء الجُهد المقابل للفراغ "الحقيقي" وإدراك أنه يفضل وجوده هناك[1]. يمكن أن يؤدي انفجار عالي الطاقة، أو تبخر نهائي كارثي لثقب أسود، أو حتى حدث اختراق كمي مؤسف (المزيد حول هذا لاحقًا) إلى إطلاق مثل تلك الحركة. إذا حدث هذا في أي مكان في الكون، فإنه يخلق سلسلة مروِّعة لا يمكن إيقافها ولا يمكن لأي شيء في الكون أن يتحملها.

وهذا يبدأ بفقاعة.

---

(1) بالطبع، حقل هيجز ليس له تفضيلات؛ إنما الحاكم هنا هو طاقة الجُهد فقط. لكن الطريقة التي سيغوص بها في فراغ حقيقي لو استطاع، قد تعطي بالتأكيد انطباعًا بالحماس.

أينما يقع الحدث، تتشكَّل فقاعة صغيرة من الفراغ الحقيقي. تحتوي هذه الفقاعة داخلها على نوع مختلف تمامًا من الفضاء، وفيها عمليات الفيزياء تتبع قوانين مختلفة، ويُعاد ترتيب جزيئات الطبيعة. وهي، في اللحظة التي تتشكَّل فيها، بقعة متناهية الصِّغَر. لكنها محاطة بالفعل بجدار فقاعي ذي طاقة عالية للغاية يمكن أن يحرق أيَّ شيء يلمسه.

ثم تبدأ الفقاعة في التوسع.

ولأن الفراغ الحقيقي هو الحالة الأكثر استقرارًا، فإن الكون "يفضِّله"، وسيعود إليه إذا أتيحت له أدنى فرصة، تمامًا كما تتدحرج الحصاة إلى أسفل المنحدر إذا وُضعت عليه. بمجرد ظهور الفقاعة، يهتزُّ فجأة حقل هيجز المحيط بها حتى يصل إلى قاع الوادي. ويبدو وكأن هذا الحدث الأول يحرِّر كل حصاة غير مستقرة بالقرب منه، ثم ينتشر الانهيار. يستسلم المزيد والمزيد من الفضاء لحالة الفراغ الحقيقية. أي شيء قاده سوء حظه لأن يكون في طريق الفقاعة يصطدم أوَّلًا بجدار الفقاعة النشط للغاية، والذي يقترب بسرعة الضوء تقريبًا. ثم يخضع لعملية لا يمكن تسميتها إلا بالتفكك التام والكامل، حيث إن القوى التي كانت تربط الجسيمات معًا على شكل ذرَّات ونوى لم تَعُد قادرة على العمل.

ربما يكون من الأفضل أنك لا تتوقع مثل هذا.

ورغم أن العملية تبدو مثيرة من منظور عين الطائر، إلا أنه إذا كنت واقفًا بالقرب من الفقاعة عند ظهورها، فلن تلاحظها؛ ذلك أن الشيء الذي يأتي إليك بسرعة الضوء لن يكون مرئيًّا، وأي وميض صغير يحذِّرك من اقترابه يصل في نفس الوقت الذي يصل فيه هو نفسه. لا توجد طريقة ممكنة لرؤيته قادمًا، أو حتى معرفة أن ثمة خطرًا ما. إذا اقترب منك من الأسفل، فستكون هناك بضع نانوثوانٍ لم تَعُد فيها قدماك موجودتين بينما لا يزال عقلك يعتقد أنه ينظر

إليهما. ولحسن الحظ، فإن العملية أيضًا غير مؤلمة بالمرة: لن تتمكن نبضاتك العصبية على الإطلاق من اللحاق بالفقاعة وهي تفكّك جسدك. إنها رحمة، حقًّا.

وبطبيعة الحال، الفقاعة لا تتوقف عندك. أي كوكب أو نجم داخل دائرتها الآخذة في التوسع يعاني من نفس المصير، غافِلًا بنفس القدر عمَّا سيأتي. تتعرَّض مجرات كاملة للاحتواء والطمس. الفراغ الحقيقي يلغي الكون بالكامل. والمناطق الوحيدة القادرة على الهروب هي تلك التي تقع بعيدًا جدًّا بحيث إن التوسع المتسارع للكون يُبقيها خارج أفق الفقاعة إلى الأبد.

في الواقع، من الممكن تمامًا، بينما نجلس هنا الآن ونشرب الشاي بهدوء، أن يكون تحلُّل الفراغ قد حدث بالفعل. ربما نكون محظوظين والفقاعة موجودة خارج أفقنا الكوني، تبتلع مجرات لم نكن لنعرفها أبدًا. أو ربما تكون، من الناحية الكونية، في الجوار مباشرة، تقترب بهدوء وفي خلسة نسبيًّا، ومصيرها أن تنقضَّ علينا على حين غرة، بين الأنفاس.

الشكل 18: فقاعة الفراغ الحقيقي. إذا جاء حدث اضمحلال الفراغ في مكان واحد في الكون، فإنه يتسبَّب في تمدُّد الفقاعة إلى الخارج بسرعة الضوء؛ ممَّا يؤدي إلى تدمير كل شيء في طريقها.

لا داعي للقلق بشأن اضمحلال الفراغ، حقًّا، لعدة أسباب. هناك الأسباب الواضحة بالطبع: لا توجد طريقة لوقف ذلك إذا كان يحدث؛ ولا يمكنك معرفة أنه على وشك أن يحدث؛ ولا يماثل الأمر مسألة توقُّع الأذى؛ ولن يكون هناك مَن يفتقدك على أية حال، فما الفائدة من القلق بشأن ذلك؟ من الأفضل لك التحقق مرة أخرى من بطاريات إنذار الدخان لديك، ولا أعلم، ممارسة الضغط الجماعي من أجل إغلاق محطات توليد الطاقة بالفحم أو أي شيء من هذا القبيل. ولكن إذا لم يكن هذا يطمئن بالك بما يكفي لسبب ما، فيمكنني أيضًا أن أقول بدرجة معقولة من اليقين أن اضمحلال الفراغ من غير المرجح أن يحدث أبدًا- على الأقل، في أي وقت خلال تريليونات كثيرة للغاية من السنين القادمة.

هناك طرق قليلة يمكن أن يحدث بها الاضمحلال الفراغي، من الناحية النظرية.

أكثر هذه الطرق مباشرة هو نوع من الأحداث عالية الطاقة. فكِّرْ في الأمر على أنه يعادل زلزالًا، يدفع الحصاة من الفجوة ليرسلها تتدحرج حتى قاع الوادي. ولحسن الحظ، فإن "الزلزال" في هذه الحالة يجب أن يكون قويًّا بدرجة لا يمكن استيعابها. تشير أفضل التقديرات لدينا إلى أن الحدث يجب أن يكون أكثر نشاطًا بكثير من أشد الانفجارات تدميرًا التي سبق أن شهدناها في الكون، وبالتأكيد، لا بُدَّ أن يكون مقداره أضعاف وأضعاف أي شيء يمكن أن نفعله بآلة صنعها الإنسان مثل مصادم الهادرونات الكبير. وإذا شعرنا بالقلق بشأن ذلك، فيمكننا دائمًا الرجوع مرة أخرى إلى حقيقة أن تصادُم الجسيمات في الكون كان ولا يزال يصل إلى طاقات أعلى بكثير من تلك التي يمكن أن يصل إليها مصادم الهادرونات الكبير LHC أو أي

آلة أخرى؛ لذلك، بما أننا أننا لم نختفِ من الوجود بعد، فإن المعادل العصري لضرب الصخور معًا لا يمثل تهديدًا على الإطلاق.

إن صعوبة إنشاء حدث طاقة عالٍ بما يكفي لتحفيز اضمحلال الفراغ مباشرة يعود إلى مدى ارتفاع حاجز الجُهد *potential barrier* بين الفراغ الزائف والفراغ الحقيقي. وبالعودة إلى صورة الحصاة العالقة في فجوة، فإن حاجز الجُهد هو قطعة الأرض التي تتماسك لتشكِّل فجوة على شكل جيب. في أفضل تخمين حاليٍّ للشكل الحقيقي لجهد هيجز، فإن الفجوة كبيرة جدًّا، ويفصلها نتوء جبلي مرتفع للغاية عن وادي الفراغ الحقيقي الأعمق. وكمية الطاقة اللازمة لدفع الحصاة فوق ذلك النتوء الجبلي (أو دفع مجال هيجز فوق حاجز الجُهد الخاص به) عالية جدًّا، ولا تستحق القلق بشأنها.

إلا إذا... نحن نعيش في عالمٍ لا يتبع هذا النوع من القواعد. يعتمد كوننا بشكل أساسي على ميكانيكا الكم، وفي ميكانيكا الكم، إذا كنت تعيش على مقياس دون ذَرِّيٍّ، فإن المسار الذي تسلكه للانتقال من مكان إلى آخر يمكن، في أحوال نادرة للغاية، أن يدفعك للإبحار مباشرة عبر الأجسام الصلبة دون فقدان دقَّة واحدة. إذا كنت تقف أمام جدار، فقد لا تحتاج الحصول على طاقة كافية للقفز فوقه. فقد تكون قادرًا على اتباع الخطوات الصحيحة بدلًا من ذلك. خاصة إذا كنت "أنت" مجال هيجز.

## الاختراق النفقي إلى الهاوية

يبدو الاختراق النفقي الكمي وكأنه خيال علمي أو شيء نظري غامض يجلس الفيزيائيون معًا للتضاحُك حوله أثناء قيامهم بكتابة معادلات غير مفهومة. ومن المؤكد أن هذا يماثل ما تقوله ميكانيكا الكَمِّ من أنه لا يمكنك أبدًا أن تحدِّد على وجه اليقين مكان وجود أي

جسيم، أو المسار الذي يسلكه أثناء انتقاله. وهذا يعني أنه لكي تنجح الحسابات، عليك أن تكتب وتحسب أشياء تتعلَّق بجميع المسارات، حتى تلك المسارات الغريبة التي ترسل الجسيم من جانب واحد من المختبر إلى الجانب الآخر عن طريق مقهى على مبعدة ثلاث مدن. لكن هذا لا يعني أن الجسيم يفعل ذلك حقًّا، أليس كذلك؟

الواقع أن السؤال عمَّا يفعله الجسيم حقًّا تصعب الإجابة عليه بدرجة مدهشة، وقد أثار جدلًا دام عقودًا حول تفسيرات ميكانيكا الكم. ولا يزال السؤال حول أين يذهب الجسيم في رحلته بين النقطتين A وB ينطوي على الغموض، مثلما السؤال حول المعنى الفعلي لقولنا إن الجسيمات تُقاس كأشياء صغيرة محددة الموقع ولكنها لا تزال قادرة على الخضوع لرياضيات الموجات التي تنتشر عبر الفضاء.

الشيء الوحيد الذي يتفق عليه الجميع هو ما تقوله البيانات، وهذه البيانات توضِّح تمامًا أن اختراق حواجز تبدو غير قابلة للنفاذ هو شيء تقوم به الجسيمات في العادة بكل سرور. أينما يذهب الجسيم حقًّا في الأثناء، فمن الواضح أن الجدار لا يستطيع إيقافه. يُعدُّ هذا النوع من فن الهروب سلوكًا طبيعيًّا للجسيمات، حتى إن الذين يصمِّمون أشياء مثل الهواتف المحمولة والمعالجات الدقيقة عليهم أن يأخذوا في الاعتبار حقيقة أنه بين الحين والآخر، يتجسَّد فجأة إلكترون جيد التصرف على الجانب الخطأ من الشريحة. بعض التقنيات، بما في ذلك الذاكرة الفلاشية، تستخدم هذا أحيانًا لصالحها أيضًا. وتستخدم ميكروسكوبات المسح النفقي توقُّع الاختراق النفقي تقريبًا مثل صمام يقوم بتقطير الإلكترونات ببطء على سطحٍ ما، ويحصل على صور لكل ذَرَّة على حِدَة.

إن السماح للإلكترونات بالتسلل عبر فجوات قصيرة أو الانحشار عبر الحواجز العازلة هو خدعة رائعة، لكنها تصبح أكثر خطورة بشكل ملحوظ عندما تدرك أن النفق الكمي يمكن تنفيذه ليس فقط

عن طريق الجسيمات، ولكن أيضًا عن طريق المجالات. مجالات مثل هيجز، مفصولة عن ذلك الوادي الكبير من الفراغ الحقيقي بحاجز جُهد يمكن أن تعبر من خلاله. ويبدو فجأة أن الشيء الوحيد الذي يقف بين الكون الجميل المضياف الخاص بنا، والكارثة الكونية النهائية، هو أقل صلابة بكثير.

والخبر السار (إلى حدٍّ ما) هو أنه حتى شيء غريب مثل الاختراق الكمِّي يتبع في الواقع قواعد معيَّنة، على الأقل عندما يتعلق الأمر بالمعدل المتوقع لحدوثه؛ ذلك أن احتمال حدوث حدث النفق يعتمد على الخصائص الفيزيائية للنظام؛ ممَّا يعني أننا يمكن أن نعرف جيدًا مدى احتمال حدوثه خلال فترة زمنية محددة. هذه المعرفة ليست مجانية تمامًا للجميع. فرغم صعوبة فهم ميكانيكا الكم أو تفسيرها بشكل كامل، إلا أنها على الأقل قابلة للحساب.

لكن تلك "القواعد" القابلة للحساب ليست بأي شكل من الأشكال أكثر إثارة للاطمئنان من الاحتمالات. لا يمكننا أن نقول بثقة إن مجال هيجز لن يخترق الحاجز ويخلق فقاعة من الموت الكمي بجوارك تمامًا في الثواني الثلاثين القادمة، وأن مثل هذا الحدث سوف يؤدي إلى إطلاق عملية تدمير لا يمكن تصورها تمزق الفضاء إلى الأبد. ما يمكننا قوله هو: هذا السيناريو مستبعد للغاية (على الأقل، الجزء القائل "في الثواني الثلاثين القادمة" مستبعد تمامًا. إذا كان فراغنا غير مستقر حقًّا، بالمعنى الدقيق للكلمة، فلا بُدَّ أن تظهر الفقاعة في النهاية).

إن أفضل الحسابات التي أجريناها تشير إلى أن فراغنا الجميل اللطيف ليس من المرجَّح أن يخضع لإعادة ترتيب جذرية في أي وقت قريب. في وقت كتابة هذا، يعطينا أحدث التقديرات أكثر من $10^{100}$ عام. بحلول ذلك الوقت، من المحتمل أن نكون في مرحلة الموت الحراري، أو ربما، إذا كان حظنا سيئًا للغاية، سنكون في حالة تعرض

للتمزق نتيجة التمزق الكبير. عند هذه النقطة ربما يبدو المحو الفوري غير المؤلم ليس سيئًا للغاية.

لذا، من الناحية الفنية؛ لا أستطيع أن أخبرك على وجه اليقين أن اضمحلال الفراغ ليس على وشك الحدوث. ولا أستطيع أيضًا أن أخبرك على وجه اليقين أن هذا لم يحدث بالفعل في مكان ما في مجموعتنا الشمسية، أو على الجانب الآخر من المجرة، أو في مجرة أخرى، ممَّا أدَّى إلى إنشاء فقاعة تتوسَّع بسرعة الضوء وتتحرك بصمت في طريقها إلينا ونحن نتحدث. لكن يمكنني أن أخبرك أنه إذا كنت ترغب في إعطاء أولوية لجنون الارتياب لديك، فإن احتمالات أن تصاب في حياتك بالبرق، أو سيارة خارجة عن السيطرة، أو ماشية هائجة، أو حتى نيزك طائش هي أكثر من احتمال الظهور التلقائي لفقاعة من الفراغ الحقيقي.

رغم ذلك، ثمة شيء آخر فقط.

لقد تناولنا بالفعل الحقائق التي مفادها أننا لا نستطيع إنتاج فقاعة اضمحلال الفراغ الخاصة بنا عن طريق اصطدام جسيمات عالية الطاقة، وأن حَدَث اختراق عفوي غير مرجَّح للغاية، وربما ينبغي علينا أن نحاول جاهدين أن ننسى أننا سمعنا عنه من قبل في المقام الأول. لكن مؤخَّرًا، توصَّل الفيزيائيون إلى طريقة أخرى لتدمير الكون عن طريق اضمحلال الفراغ، ويجب أن أقول إنها طريقة رائعة نوعًا ما.

## صغيرة ولكنها مميتة

في عام 2014، قامت روث جريجوري Ruth Gregory، مع إيان موس Ian Moss، وبنچامين ويذرز Benjamin Withers، بناءً على القليل من العمل السابق حول هذا الموضوع، بوضع ورقة بحثية

جديدة لفتت انتباهي. أوضحت الورقة أنه على الرغم من أن اضمحلال الفراغ التلقائي يكون بطيئًا إلى حدٍّ مُمِل، فإن وجود ثقب أسود يمكن أن يسرِّع العملية بشكل كبير ويجعل الأمور أكثر إثارة بشكل عام. والواقع أنهم زعموا أن الشيء الخطير حقًّا هو وجود ثقب أسود صغير، لأن الثقوب السوداء ذات الحجم الجُسيمي يمكن أن تزيد بشكل كبير من فرصة اضمحلال الفراغ الذي يحدث فوقها مباشرة. ربما لا يتعيَّن علينا الانتظار $10^{100}$ سنة على أية حال.

الطريقة التي يحدث ذلك بها تشبه الطريقة التي يمكن بها لجسيم من الغبار أن يقوم بتكثيف القليل من الماء حوله في غرفة رطبة، أو الطريقة التي تتكاثر بها السحب في الغلاف الجوي العلوي. إن جسيم الغبار هو موقع تكوُّن النواة، وهو ما يميز تلك النقطة عن غيرها ويساعد على حدوث العملية بسهولة أكبر. في حالة السُّحب والماء، من الأسهل لجزيئات الماء أن تلتصق ببعضها البعض إذا كان هناك شيء آخر يمكنها الالتصاق به أوَّلًا؛ لذا يمكن لذَرَّة شائبة أن تؤدي إلى تفاعل متسلسل، ولولا ذلك لاستمرَّت الأمور على ما كانت عليه. ويتَّضح أن الثقوب السوداء الصغيرة يمكن أن تكون مواقع النويات تلك لفقاعات من الفراغ الحقيقي، ولكن فقط إذا كانت صغيرة جدًّا.

ولحسن الحظ، بناء على فهمنا الحالي لفيزياء الجاذبية، ليس من السهل بالنسبة للكون تكوين ثقوب سوداء صغيرة. فنحن لا نتوقع، بشكل عام، أن تتشكل الثقوب السوداء إلا بكتل أكبر من كتلة الشمس؛ وذلك نتيجة لانهيار النجوم الضخمة في نهاية حياتها. قد تنمو تلك الثقوب السوداء إلى كتل أكبر بكثير عن طريق سحب المواد أو عن طريق الاندماج مع بعضها البعض، لكن الانكماش أمر آخر تمامًا. ولا يمكنها أن تفقد شيئًا من الكتلة إلا عن طريق تبخُّر هوكينج Hawking evaporation (انظر الفصل الرابع)، وهذا يستغرق دهورًا. ويمكن لثقب أسود في ضخامة الشمس أن يكون العمر المتوقع له في

وقت ما يقارب $10^{64}$ سنة. وفي مرحلة ما قرب نهاية ذلك الوقت، قد يصبح الثقب الأسود صغيرًا بما يكفي لإحداث اضمحلال الفراغ، ولكن أمامنا وقت طويل قبل أن نقلق حقًّا بشأن ذلك. وهناك أيضًا فرضية تقول إن الثقوب السوداء الصغيرة ربما تكوَّنَت في بداية الكون بسبب الكثافة الشديدة **للانفجار الكبير الحار**، ولكن حتى الآن ليس لدينا أي دليل على ذلك. ومع ذلك، إذا كانت قد تشكَّلَت بالفعل، وإذا كانت الثقوب السوداء الصغيرة قادرة حقًّا على زعزعة استقرار الفراغ؛ لما كان لنا وجود الآن. لذا، إذا أخذنا ذلك في الاعتبار، واعتقدنا بإمكانية اضمحلال الفراغ؛ فإن أي نظرية تتنبَّأ بوجود ثقوب سوداء بدائية صغيرة لا بُدَّ أن تكون خاطئة، لأننا موجودون.

وفقط كتسلية، كان البعض منا يتساءلون أيضًا عمَّا إذا كانت ثمة طرق لتكوين تلك الثقوب السوداء الصغيرة دون وجودها منذ بداية الكون. إن صنع ثقوب سوداء صغيرة ليس بالفكرة الجديدة. بالإضافة إلى كونها لطيفة للغاية بطريقة نظرية مرعبة، يمكن لهذه الوحوش الصغيرة أن تُعلِّمنا كيف تعمل الجاذبية، وما إذا كانت الثقوب السوداء تقوم بالفعل بعملية التَّبخُّر اللطيفة أم لا، وحتى ما إذا كان من الممكن أن تكون هناك أبعاد إضافية للفضاء، أبعاد لا يمكننا رؤيتها بطريقة أخرى.

لسنوات عديدة، كان الفيزيائيون يقومون بتمشيط البيانات من مصادمات الجسيمات، على أمل رؤية بعض العلامات الواضحة التي تشير إلى أن أحد الصدامات بين البروتونات تمكَّن من وضع قدر كبير من الطاقة في مساحة صغيرة بحيث انهارت جميعها على الفور لتشكِّل ثقبًا أسود مجهريًّا. ذلك الثقب الأسود، في حال ظهوره، لا بُدَّ أن يكون غير ضار، وفقًا للتفكير التقليدي، دون اعتبار لإمكانية اضمحلال الفراغ. تنصُّ النظرية على أنه يجب أن يتبخَّر فورًا عبر إشعاع هوكينج، وأنه حتى لو لم يحدث ذلك، فمن المحتمل أن يتحرك

بسرعات نسبية في اتجاه قد يأخذه بعيدًا عنَّا في وقت قصير جدًّا، لأن الصدام لا يحدث أبدًا توقيته وتوجيهه بشكل مثالي بحيث تتوقف الجزيئات تمامًا. بالإضافة إلى ذلك، لكي تكون أنواع التصادمات التي تحدث في مصادم الجسيمات قادرة على صنع ثقوب سوداء صغيرة، لا مفرَّ بطريقة ما من أن تكون قوة الجاذبية التي تشعر بها الجسيمات دون الذرية أقوى ممَّا تقترحه قوانين أينشتاين للجاذبية. والطريقة الوحيدة التي يمكن أن يحدث بها ذلك، على حدِّ عِلمنا، هي أن تكون هناك أبعاد إضافية للفضاء. سنتحدث أكثر عن هذا في الفصل التالي، لكن القصة باختصار هي أن وجود أبعاد فضائية أكثر من الأبعاد الثلاثة المعتادة يمكن أن يجعل الجاذبية أقوى قليلًا على مقاييس صغيرة جدًّا، وبالتالي يمكن أن يتيح لصدامات مصادم الهادرونات تكوين ثقوب سوداء صغيرة. لذا، إذا تمكَّنَّا من صنع ثقوب سوداء في مصادم الهادرونات الكبير (LHC)؛ سيصبح لدينا دليل على أن الفضاء له أبعاد أكثر ممَّا كنَّا نعتقد. وفيما يبدو، بالنسبة لفيزيائي يبحث عن علامات لفيزياء جديدة ومثيرة، فإن هذا سوف يكون خبرًا رائعًا! بالطبع، سيكون من العار أن تتمكن تلك الثقوب السوداء الصغيرة التي نحاول صنعها في LHC من حفز اضمحلال الفراغ، ومن ثم تتسبَّب في نهاية الكون...

ولحسن الحظ، لا يمكنها ذلك. نحن أقرب إلى اليقين المطلق بهذا الشأن بقدر ما يمكن للفيزيائيين الوصول أبدًا. الشيء الرئيسي الذي يبرئها هو حقيقة أنه، كما ذكرنا سابقًا، يمكن للأشعة الكونية أن تُحدِث تصادُمات أقوى بكثير من أي شيء نراه في مصادماتنا. إذا تمكَّنَّا من تحطيم البروتونات معًا لتكوين ثقوب سوداء، فقد فعل الكون ذلك بالفعل مرات لا تُعدُّ ولا تُحصى، وانظر!... ما زلنا هنا! لذا، فإما أن الثقوب السوداء لم تنشأ في أي مكان، أو أنها كانت غير ضارة طوال الوقت.

والسبب الآخر هو أن على الثقوب السوداء الصغيرة فيما يبدو عتبة كتلة يجب أن تصل إليها قبل أن تصبح خطيرة حتى من الناحية النظرية. إن أنواع الثقوب السوداء التي يمكن أن يحدثها مصادم الجسيمات ستكون أقل من هذا المستوى بأمان تام، كما هو الحال على الأرجح مع العديد من الصدامات التي قد تحدث في الفضاء. كمكافأة جانبية، كان البعض منا يعمل بالفعل على استخدام هذه الحقيقة، إلى جانب وجودنا المستمر، كوسيلة للاحتجاج بأنه ينبغي أن تكون ثمة حدود للحجم المحتمل للأبعاد الإضافية[1] (من جانبي أنا نفسي، باعتباري عالِمَة كَوْنٍ مهتمَّة باختبار نظريات مختلفة في الفيزياء، من الممتع دائمًا أن تكون قادرًا على إثبات عدم وجود نهاية العالم الكونية كنقطة بيانات).

لذا، إذا وضعنا جانبًا الثقوب السوداء الصغيرة في الوقت الحالي، فما هو العمل مع اضمحلال الفراغ؟ جميع النهايات المحتملة الأخرى للكون التي ألقينا نظرة عليها تقدم لنا على الأقل بعض الراحة المتمثلة في كونها بعيدة جدًّا في المستقبل بحيث يمكننا، بقدر كبير من الثقة، أن نتركها لتثير قلق أي شيء من كائنات ما بعد الإنسان التي قد تسكن الكون بعد رحيلنا. يتميز اضمحلال الفراغ بخصوصية، لأنه يمكن أن يحدث من الناحية الفنية في أية لحظة، حتى لو كانت فرص حدوث ذلك فلكيًّا منخفضة. كما أنها تأتي مع نهاية متطرِّفة وفريدة من نوعها، تكاد تكون غير مُبرَّرة.

في عام 1980، قام اثنان من المنظِّرين، سيدني كولمان Sidney Cole-man وفرانك دي لوتشا Frank De Luccia، بحساب أن فقاعة الفراغ الحقيقية لن تحتوي فقط على ترتيب مختلف تمامًا (وقاتل) لفيزياء

(1) "البعض منَّا" هنا، على وجه التحديد، أنا وزميلي روبرت ماكنيس Robert McNees، في ورقتنا البحثية لعام 2018 في مجلة Physical Review D. لقد كانت ممتعة.

الجسيمات، بل ستحتوي أيضًا على نوع من الفضاء، هو بطبيعته، ذو جاذبية غير مستقرة. وأوضحا أنه بمجرد تشكُّل الفقاعة، سينهار كل شيء بداخلها بفعل الجاذبية خلال ميكروثانية. ثم كتبا يقولان:

**هذا أمر مُحبِط. إن احتمال أننا نعيش في فراغ زائف لم يكن من الممكن التفكير فيه كأمر مُفرِح. إن تحلُّل الفراغ هو الكارثة البيئية النهائية؛ وفي الفراغ الجديد ستكون هناك ثوابت جديدة للطبيعة؛ بعد اضمحلال الفراغ، ليست الحياة كما نعرفها، مستحيلة فقط، بل تصبح الكيمياء كما نعرفها مستحيلة أيضًا. ومع ذلك، يمكن للمرء دائمًا أن يستمد راحة الصمود من احتمال أنه ربما مع مرور الوقت، سيدعم الفراغ الجديد، إن لم يكن الحياة كما نعرفها، على الأقل بعض الهياكل القادرة على معرفة الفرح. لقد تمَّ الآن القضاء على هذا الاحتمال[1].**

## متعة عدم المعرفة

بالطبع، يُعدُّ اضمحلال الفراغ، نسبيًّا، فكرة جديدة تتضمن العديد من أنواع الفيزياء المتطرفة؛ ممَّا يجعل من الممكن تصوُّر أن وجهة نظرنا حولها سوف تتغير بشكل كبير خلال السنوات القليلة المقبلة. وربما تعطينا الحسابات الأكثر تفصيلًا وصرامة إجابات مختلفة. إن هذه الأسئلة صعبة ومعقدة، وما زال أمامنا طريق طويل قبل التوصل إلى إجماع.

---

(1) تظل هذه المناقشة، بالنسبة لي، واحدة من أجمل مقاطع الشِّعر الفيزيائي التي رأيتها على الإطلاق في مجلة أكاديمية.

إذا استنتجنا أن فراغنا شبه مستقر حقًّا، فقد يكون هذا غير متوافق مع نظرية التضخم الكوني. ويبدو أن التقلبات الكمِّيَّة أثناء التضخم، أو الحرارة المحيطة بعد ذلك، كانت كافية لإثارة اضمحلال الفراغ في اللحظات الأولى من وجود الكون؛ ممَّا ينفي وجودنا ذاته. ومن الواضح أن هذا لم يحدث؛ ممَّا يوحي بأننا ربما لا نفهم الكون المبكر، أو أن اضمحلال الفراغ لم يكن ممكنًا على الإطلاق.

وسواء كنت تثق في نظريات الكون المبكرة أم لا، فإن أخذ اضمحلال الفراغ على محمل الجد يعتمد على وضع قدرٍ كبير من الثقة في النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات، والذي نعلم أنه لا يمكن أن يكون كل القصة. المادة المعتمة، والطاقة المعتمة، وعدم توافق ميكانيكا الكم والنسبية العامة، كلها تشير إلى وجود شيء في الكون أكثر ممَّا يمكننا تدوينه حاليًّا. وأي شيء سيأتي ليحل محل النموذج القياسي قد ينقذنا، بالمناسبة، من الاضطرار إلى قلق مبهم حول فقاعة ضالة من الموت الكمي.

أو ربما تقدم امتدادات الفيزياء الأساسية طرقًا جديدة تمامًا لنهاية الكون. إن إمكانية وجود أبعاد إضافية للفضاء -نفس الأبعاد التي تثير فضول علماء فيزياء المصادم الذين يأملون في صنع ثقوب سوداء مصغَّرة- تمدُّ توسُّع الكون إلى عوالم جديدة من المجهول. مثلما يصل أي مستكشف إلى أطراف الخريطة، نتطلَّع للوصول إلى المزيد دون أن نعرف ما قد نجده. قد تسمح لنا الأبعاد الأعلى للفضاء بحلِّ بعض المشكلات التي طال أمدها فيما يتعلق بنظرياتنا عن الجاذبية، ولكنها تأتي أيضًا مصحوبة بتحذير مكتوب على هوامش الخريطة الكونية المتنامية باستمرار: هنا ستكون الوحوش.

# الفصل السابع
# الارتداد

هاملت: يا إلهي، كان من الممكن أن تكون حدود وجودي داخل قشرة بندق، وأعتبر نفسي ملكًا على الفضاء اللا متناهي، لولا أن لديَّ أحلامًا سيئة.

**وليم شكسبير، هاملت**

في 14 سبتمبر 2015، الساعة 9:50 صباحًا و45 ثانية بالتوقيت العالمي الموحَّد، كنت أطول قليلًا فقط للحظة واحدة.

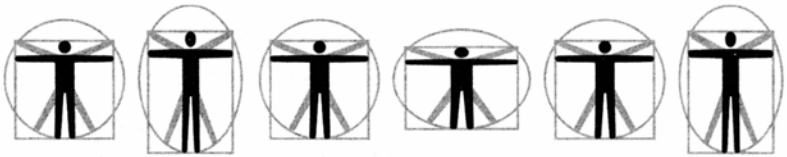
كانت قمة موجة الجاذبية التي اجتاحتك تسافر عبر الكون، وتؤدي إلى تشوُّه الفضاء نفسه في أعقابها، على مدى 1.3 مليار سنة، وذلك منذ أن انطلقت نتيجة اندماج عنيف بين ثقبين أسودين كل منهما أكبر 30 مرة من كتلة الشمس. ربما لم تلاحظ هذه الزيادة، فعلى أية حال، لم يزِد نُموُّكَ عن مقدارٍ يوازي أقل من جزء من المليون من البروتون، لكن علماء الفيزياء في مرصد قياس التداخل

الليـزري لموجـات الجاذبيـة (ليجـو LIGO[1]) لاحظـوا ذلك. كان الاكتشـاف الأول لموجـات الجاذبيـة تتويجًـا لبحـث دام عقـودًا مـن الزمـن؛ الأمـر الذي تطلَّـب تطويـر تقنيـات جديـدة واخـتراع أكـثر المعـدَّات حساسـية في تاريـخ الفيزيـاء التجريبيـة. وأخـيرًا، تـمَّ الإعـلان عـن اكتشـاف تلـك التموجـات في الزمـكان باعتبـاره الإثبـات النهـائي لنظريـة النسـبية العامـة لأينشـتاين.

ولكـن الأمـر الأكـثر أهميـة هـو أن ذلـك كان بمثابـة بـزوغ فجـر عـصر جديـد مـن الرصـد الفلـكي. لقـد انفتـح الكـون أمـام طريقـة جديـدة تمامًـا للرؤيـة. بـدلًا مـن جمـع الضـوء أو الجسـيمات عاليـة الطاقـة مـن مصـادر بعيـدة، يمكننـا الآن أن نمـدَّ أيدينـا ونشـعر باهتـزاز الفضـاء نفسـه؛ مـمَّا يخلـق لأول مـرة نافـذة عـلى هـذا النـوع مـن العنـف الكـوني البعيـد الـذي يمكـن أن يهـزَّ أُسُـس الواقـع ذاتـه.

منـذ هـذا الاكتشـاف الأول، اسـتمر علـم فلـك موجـات الجاذبيـة يظهـر لنـا التداخـلات الحلزونيـة والاندماجـات الكارثيـة للثقـوب السـوداء والنجـوم النيوترونيـة، وأتـاح لنـا دراسـة آليـة عمـل الجاذبيـة بمسـتوى غـير مسـبوق مـن الدِّقَّـة. لكـن موجـات الجاذبيـة قـد تحمـل المفتـاح لـشيء أكـثر أهميـة. قـد تعطينـا رؤيـة جديـدة لشـكل وأصـل الكـون الـذي نعيـش فيـه، وتقـدم لنـا إمكانيـة تحديـد مـا إذا كان هنـاك شيء خارجـه أم لا. شيء قـد يدمـر كل شيء في النهايـة.

(1) ليجـو LIGO: الاسـم اختصـار لمرصد أمواج الجاذبية بالتداخُل الليـزري Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory، وهـو موجود بالولايات المتحدة. [المترجمة]




الشكل 19: رسم توضيحي، لتأثير موجة الجاذبية العابرة. عندما تصطدم موجة الجاذبية على نحو مباشر، فإنها، مع كل قمة موجة، تمدُّ المساحة التي تتحرك خلالها عموديًّا بينما تضغطها أفقيًّا، ثم بالعكس. إذا كنت في مسار الموجة، فأنت بالتناوب أطول قليلًا وأنحف، وأقصر قليلًا وأعرض، ويحدث هذا مرارًا وتكرارًا حتى تمرَّ الموجة. ويبلغ حجم تمدُّد جسمك حوالي واحد على المليون من عرض البروتون.

## ضعف الجاذبية الذي لا يُحتمل

لقد عرفنا منذ فترة طويلة أن هناك خطأ ما في الجاذبية. إنها تعمل بشكل جيد للغاية. وحتى الآن، كانت نسبية أينشتاين العامة تؤدِّي دورها على نحوٍ مثالي في كل المواقف التي اختُبِرَت فيها. لعقود من الزمن، حاول الفيزيائيون العثور على نوع من الانحراف، في مكانٍ ما، في أي مكان، من شأنه أن يبيِّن لنا كيف أن المعادلات البسيطة[1] المكتوبة في نظرية أينشتاين ستنهار حتمًا. في مكان ما، في نظام متطرِّف، مثل حافة الثقب الأسود أو بين الجسيمات الموجودة في مركز النجم النيوتروني، لا بُدَّ أن تصاب المعادلات بتصدُّعٍ من نوع ما. لم نعثر عليه في أي من عمليات البحث التي أجريناها حتى الآن، ولكننا على يقين من أنه موجود ولا شك هناك.

(1) "بسيطة" هنا، قد تكون مسألة خاصة بوجهة نظر. يتطلَّب العمل بمعادلات النسبية العامة فهمًا عميقًا للهندسة التمايُزية، وهي شيء من نوع ليس عليك سوى دراسته في الغالب إذا كنت تقوم بعمل خريج جامعي متخصص في الفيزياء أو الرياضيات. ولكن، إذا كنت مثل هذا الشخص، فإن المعادلات تكون أنيقة وشفافة مثل الزجاج اليدوي دقيق الصنع.

لدينا أسباب وجيهة للارتياب؛ فالجاذبية، مقارنة بالقوى الأخرى، هي كرة غريبة. لا يتوقف الأمر عند كونها مختلفة تمامًا من وجهة النظر المستندة إلى الرياضيات، بل إنها ضعيفة جدًّا. من المؤكد أنها عندما تجمع كتلة كافية لمجرة أو ثقب أسود، فإنها تبدو قوية للغاية. لكن في الحياة اليومية، فهي ببساطة أضعف قوة تواجهها. في كل مرة ترفع فيها فنجان القهوة، فإنك تتغلب على جاذبية الكوكب بأكمله. ويتطلب الأمر تكثيف كتلة الشمس داخل شيء بحجم مدينة قبل حتى أن تبدأ الجاذبية في التنافُس مع القوى الذَّرِّيَّة والنووية التي تربط الذَّرَّات معًا.

ومع ذلك، فإن مقارنة القوى ليست مجرد اختبار للقوة. إن فكرة إمكانية إعادة صياغة جميع القوى بطريقة أو بأخرى باعتبارها جوانب مختلفة لنفس الشيء، في بيئات عالية الطاقة للغاية، تعتبر بشكل عام سبيلًا لفهم حقيقي لكيفية عمل الفيزياء. نحن نعيش على أمل أن تكون هناك نظرية نهائية من نوع ما -نظرية لكل شيء- نظرية يمكنها توحيد كل قوى فيزياء الجسيمات والجاذبية لتفسير كل شيء.

لكن حتى الآن، لا تريد الجاذبية الدخول في اللعبة. لدينا نظرية راسخة عن القوة الكهروضعيفة (وهو توحيد بين الكهرومغناطيسية والقوة النووية الضعيفة)، وقد أكَّدَتها التجارب. لدينا أيضًا بعض الخيوط الواعدة تمامًا حول النظرية الموحدة الكبرى التي توحِّد القوى النووية الضعيفة والقوية. لكن في كل مرة نحاول فيها جلب الجاذبية للتجربة، يتسبَّب وهنها في إفساد الصورة بأكملها. وحتى بصرف النظر عن ذلك، فإن الجاذبية وميكانيكا الكم (التي تصف عمل جميع القوى الأخرى) تتصادمان بشكل واضح في توقعاتهما حول أشياء مثل ماذا ينبغي أن يحدث عند حافة الثقب الأسود. إن

العثور على طريقة لإدخال الجاذبية في النظام من شأنه أن يساعد كثيرًا.

لذلك يبدو أن هناك بعض الخيارات هنا. إحدى الطرق الواضحة هي التخلي عن فكرة التوحيد برُمَّتها، والسماح للجاذبية بأن تكون ندفة الثلج في نظرية خاصة بها[1]، غير مرتبطة ببقية الفيزياء. من الممكن تمامًا أن نظرية كل شيء لا وجود لها، ولن نتمكَّن أبدًا من تجميعها معًا بأي طريقة معقولة. لكن مجرد كتابة ذلك تجعل أصابع قدمي الفيزيائية تتوتَّر؛ لذلك ربما يمكننا وضع ذلك جانبًا الآن في خزانة "اكسر الزجاج في حالة الطوارئ الوجودية".

هناك فكرة أكثر جاذبية، ومثيرة فكريًّا، وهي أن المشكلة تكمن في نظريتنا الخاصة بالجاذبية: فالنسبية العامة بحاجة إلى التغيير أو الاستبدال، وعندما يحدث ذلك، فسوف يتناسب كل شيء معًا. ليس ثمة قصور في المحاولات المؤثرة والمحفِّزة بشكل جيد في هذا الاتجاه. لا تزال نظريات الجاذبية الكَمِّيَّة، ومن أشهر أمثلتها نظرية الأوتار وجاذبية الكم الحلقية، لا تزال موضوعات ساخنة بين المنظِّرين الذين يحاولون إيجاد طريقة لتوحيد فيزياء الجسيمات مع الجاذبية وربطها كلها بوتر. أو حلقات. لقد وصلتك الفكرة. في كل من هذه السيناريوهات، ينتهي بك الأمر إلى نظرية جاذبية يمكن قياسها كَمِّيًّا -يأتي التعبير عنها بالجسيمات والمجالات بدلًا من القوى أو الانحناء المكاني- وتتشابك هذه الجسيمات والمجالات بشكل جيد مع نظريات المجال الكمي التي تشرح التفاعلات بين الكواركات والإلكترونات والفوتونات والعالم دون الذري بأكمله. في هذه الصورة، ستكون قوى الجاذبية عبارة عن مظاهر لتبادُل جسيمات تُسمَّى الجرافيتونات،

(1) ربما تشير المؤلفة هنا إلى المثل الذي يقول إن الانهيار الثلجي حين يحدث لن تفكر ندفة الثلج أنها كانت مسؤولة عن حدوثه (No snowflake in an avalanche ever feels responsible). [المترجمة]

تمامًا كما يحدث المجال الكهربائي بسبب تحرك الفوتونات بين الأجسام. ويمكن أيضًا تصور موجات الجاذبية، التي نعتبرها حاليًا تمددًا وضغطًا للزمكان، باعتبارها حركة الجرافيتونات التي تعبر عن طبيعتها الموجية.

لسوء الحظ، على الرغم من عقود من العمل الشاق والحسابات المعقَّدة للغاية، فإننا لم نستقر بعدُ على نظرية مقبولة على نطاق واسع من قِبَل مجتمع الفيزياء. ليس فقط أن أيًّا من الأفكار المطروحة لم تؤدِّ تجارب الجسيمات إلى تأكيدها، بل ليس من الواضح حتى إذا كان تأكيدها ممكنًا. ربما نقوم، على نحو مثالي، بكتابة نظريتين ثم نتوصل إلى أنهما تقدمان تنبؤات مختلفة لتجارب مثل تلك التي يتم إجراؤها في مصادم الهادرونات الكبير. لكن هذا يمثل تحديًا عندما تحاول التمييز بين نظريات لن تصبح تأثيراتها واضحة إلا عند طاقات ذات مستويات أعلى بكثير مما يمكن أن تنتجه التصادمات في مصادم الهادرونات الكبير (LHC). وقد دفع هذا الفيزيائيين إلى اقتراح حلول تتراوح بين الحجج المجردة التي تهدف إلى تضييق النطاق الإجمالي للأكوان المحتملة إلى المناقشات الفلسفية حول كيفية إحراز تقدم في المجالات النظرية التي قد لا تظهر فيها الأدلة التجريبية أبدًا.

بالنسبة لأولئك من بيننا، الذين لديهم المزيد من الأمل في الحصول على بيانات جديدة، فإن أفضل رهان لشيء يمكن أن يعطينا تلميحات حول نظرية كل شيء قد يكمن في علم الكون، وخاصة دراسة الكون المبكِّر. إذا كنت بحاجة إلى بيانات حول تفاعلات الجسيمات عند طاقات عالية للغاية، فإن العثور على طرق جديدة لدراسة الانفجار الكبير سيكون بشكل عام أسهل من محاولة بناء مصادم جسيمات بحجم النظام الشمسي.

لقد تم دفعنا بالفعل في هذا الاتجاه. حتى الآن، لم نرَ سوى عدد قليل من الظواهر الفيزيائية التي لا يمكننا تفسيرها ضمن النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات (أو تعديلات طفيفة جدًّا عليها.) أما الظواهر الكبيرة، أي المادة المعتمة والطاقة المعتمة، فهي مدعومة بقوة بأدِلَّة الرَّصد. لكن كل هذه الأدِلَّة تأتي بالقطع من علم الكون والفيزياء الفلكية. إن معرفة ماهية هذه المكونات الكونية الغامضة وكيفية عملها قد يكون أفضل أمل لدينا لنرى إلى أين ينبغي أن تتجه النظريات بعد ذلك.

شيء آخر يوجِّهنا نحو علم الكون هو الخلل الغريب في الاتِّزان بين المادة والمادة المضادة في الكون. فبينما تقترح نظرياتنا الحالية أن المادة والمادة المضادة يجب أن تكونا موجودتَيْن بكميات متساوية، فإن تجربتنا في العالم وقدرتنا على تجنُّب الإبادة المستمرة بواسطة كل شيء نلمسه يظهر لنا أن المادة العادية تفوز بفارق كبير جدًّا. ولا تزال الكيفية التي حدث بها ذلك لغزًا، ولكن من المرجح أن تكمن مفاتيحه في دراسات أعمق وأكثر تفصيلًا للكون المبكِّر، عندما حدث هذا اللا تَماثُل لأول مرة.

أينما انتهى بنا الأمر إلى البحث عن البيانات، في سعينا للحصول على نظرية لكل شيء، نجد لدينا نهجين متكاملين. الأول القيام بدراسة الظواهر التي نراها بالفعل في الطبيعة والتي لا تتناسب مع النظريات الفيزيائية الراسخة، حتى نتمكَّن من وضع نظريات جديدة وأفضل لتفسيرها. والآخر هو مجرد محاولة كسر النظريات التي لدينا- نقوم بكتابة الحالات المتطرفة الافتراضية التي ربما لم تُختبر بعد، ومعرفة ما إذا كان من الممكن أن نجد طريقة جديدة للنظر إلى البيانات، طريقة توضح لنا ما إذا كانت النظرية لا تزال تعمل معها. إن الجمع بين هذين النهجين هو دائمًا إلى حدٍّ كبير كيفية نمضي قُدُمًا في الفيزياء. كيف انتقلنا من الجاذبية النيوتونية، التي تعمل بشكل

جيد للغاية في مواقف الحياة اليومية، إلى النسبية العامة لأينشتاين. قد تكون الجاذبية ذات قدرة تدميرية هائلة بالنسبة لكتلة تنزلق إلى أسفل مستوى مائل، ولكنها ضرورية للغاية لتفسير انحناء الضوء حول الأجسام الضخمة للغاية في الفضاء أو التحولات الصغيرة في مدار عطارد في أعماق بئر جاذبية الشمس.

كان لا بُدَّ من استبدال الجاذبية النيوتونية حتى نتمكَّن من الانتقال إلى النظرية الأسمى للنسبية العامة؛ والآن حان دور النسبية العامة ليحلَّ محلَّها الشيء الكبير التالي.

لكن الجاذبية شديدة المقاومة لهذه الجهود، وقد ينتهي الأمر بأن علينا إعادة ترتيب الكون بأكمله بدلًا من ذلك.

## إفساح المجال

هناك حلقة كلاسيكية من مسلسل *Star Trek: The Next Generation*، حيث ينتهي الأمر بالدكتور كراشر، من خلال سلسلة معقَّدة من الأحداث، إلى أن تكون الوحيدة على متن السفينة التي حوصِرَت في فقاعة ضبابية غريبة. تحدث الكثير من الأشياء الغريبة، بما في ذلك الاختفاء المفاجئ لبقية أفراد الطاقم، وكل ذلك يتعارض مع قراءات أجهزة الاستشعار، وتخبرها خبرتها الطبية بأن ثمة احتمالًا كبيرًا بأنها تهلوس. ولكن عندما يفشل تشخيصها الطبي في التوصل إلى أي مشكلة، فإنها تصل إلى الاستنتاج المنطقي التالي: "إذا لم يكن هناك شيء خاطئ بي، فربما يكون هناك شيء خاطئ في الكون!" وما حدث في الواقع... (وأعتذر عن حرق الأحداث، لكن الحلقة بُثَّت في 1990، وكان أمامك ثلاثة عقود لمشاهدتها)، أنها كانت على حقٍّ تمامًا.

لبعض الوقت، كان بعض الفيزيائيين يشتبهون في أن ضعف الجاذبية غير المتناسب قد يجبرهم على التوصل إلى نتيجة مماثلة. ربما لا يوجد خطأ ما في قوة الجاذبية. ربما الخطأ موجود في **الكون**، وهو ما يجعل الجاذبية **تبدو** أضعف مما هي عليه في الواقع.

ما الذي يمكن أن يجعل الجاذبية تبدو ضعيفة؟ قد يظهر أن الحل أمر عادي بشكل مدهش. إنها تتسرَّب. تتسرَّب إلى بُعد آخر.

وإليك كيف يحدث ذلك. من المرجَّح أنك تعلم بأننا عادةً ما نفكر في أن الفضاء في هذا الكون له ثلاثة أبعاد (شرق-غرب، شمال-جنوب، أعلى-أسفل). في النسبية، نحسب الزمن كبُعدٍ أيضًا، ونتحدث عن مواقع ذات أربعة أبعاد زمانية-مكانية، أو "الزمكان" (موقع في الفضاء ولحظة ما في استمرارية الماضي-المستقبل). في سيناريو الأبعاد الإضافية الكبيرة، هناك اتجاه آخر، أو عدة اتجاهات، لا يمكننا النفاذ إليها. يقتصر كل الجزء الفضائي من الزمكان الخاص بنا على "غشاء" ثلاثي الأبعاد[1] -غشاء فكري- ومساحة أكبر تمتدُّ خارجه في اتجاه (أو اتجاهات) جديدة لا يمكن لأدمغتنا البشرية المحدودة تصوُّرها إلا رياضيًا. يجب أن أذكر أيضًا أن كلمة "كبير" في عبارة "الأبعاد الإضافية الكبيرة" مصطلح مضلِّل إلى حدٍّ ما. بشكل عام، إذا كان لكوننا أبعاد إضافية بالفعل، فقد يكون لا نهائيًا فعليًا في أبعادنا الثلاثة المعتادة ولكنه لا يمتد أكثر من ملليمتر واحد في الاتجاهات الجديدة (تخيل ورقة كبيرة من الورق الرقيق جدًّا- إنها من الناحية الفعلية جسم ثلاثي الأبعاد على الرغم من أن بعدين من أبعاده أكبر بكثير من البعد الثالث). ولكن بالنسبة لفيزيائي الجسيمات، المعتاد على قياس مسافات تجعل الذَّرَّات تبدو كبيرة، الملليمترات قد تكون أيضًا أميالًا.

---

(1) غشاء brane: في نظرية الأوتار والنظريات ذات الصِّلة (مثل نظريات الجاذبية الفائقة)، الغشاء هو شيء فيزيقي يُعمِّم فكرة الجزيء النقطي صفري الأبعاد، وهو وترٌ ذو بُعد واحد، أو غشاء ذو بعدين لأشياء ذات أبعاد أعلى. [من ويكيبيديا، بتصرُّف- المترجمة]

وبناءً على ذلك، فإننا نشير إلى المساحة الإضافية خارج غشائنا باسم "معظم الحجم، أو معظم الكتلة" (bulk).

في هذا السيناريو، لا تزال فيزياء الجسيمات والجاذبية كل منهما تعمل بشكل مختلف تمامًا عن الأخرى، ولكن ليس بسبب القوة المتأصِّلة في كل منهما. الفرق هو أن كل قوى الطبيعة في فيزياء الجسيمات -الكهرومغناطيسية والقوى النووية القوية والضعيفة- تقتصر على العيش على الغشاء. بالنسبة لتلك القوى، الكتلة الأكبر ذات الأبعاد الأعلى غير موجودة. لكن الجاذبية ليست محدودة للغاية بالمثل. تعمل الجاذبية مباشرة على الزمكان، وهذا يشمل الزمكان الموجود خارج غشائنا ثلاثي الأبعاد؛ لذا فإن الجاذبية التي ينتجها جسم ضخم في الفضاء الخاص بنا تفقد جزءًا صغيرًا من قوتها الظاهرة عن طريق التسرب إلى الكتلة، مثل علامة الحبر التي تتلاشى عندما تتسرَّب إلى ورقة. حقيقة أن الأبعاد الجديدة صغيرة جدًّا مقارنة بأبعادنا العادية تعني أن هذا التسرب لا يمكن ملاحظته حقًّا حتى نقوم بقياس تأثيرات الجاذبية لأشياء على بُعد مسافات مليمترية، وهو أمر صعب للغاية. والواقع أنه، في معظم الأوقات، إذا كنتَ بالقرب من جسم ما وخطوت مبتعدًا عنه مسافة ملليمتر واحد، فلن تلاحظ أن تأثير جاذبيتك تجاهه قد انخفض بشكل ملحوظ.

ومع ذلك، بمجرد معرفة كيفية إجراء القياسات على المقاييس المليمترية، يمكنك اختبار إن كان الانخفاض في الجاذبية هو ما توقعته من المعادلات القياسية، أم لا. بالعودة إلى تشبيه الحبر على الورق، إذا قُمتَ بإسقاط جالون من الحبر على ورقة، فسيظل يبدو كما لو كان لديك جالون من الحبر. لكن إذا قُمتَ بقياسه بالقطرة، ستلاحظ فقدان بعض القطرات التي تتشرَّبها ألياف الورقة. إذا كان عرض الأبعاد الإضافية مليمترات، وكان يمكنك قياس تغير الجاذبية حتى على هذا النوع من المقاييس، فإن مقدار الجاذبية الذي تفقده بسبب

تلك الكتلة الإضافية من الأبعاد يصبح مشابهًا للكمية التي تحاول اكتشافها. ستلاحظ انخفاضًا في قوة الجاذبية بشكل أسرع ممَّا تتوقَّعه من النسبية العامة في مساحة غير قابلة للتسرب، وهذا سيجعل من الواضح أن شيئًا ما ليس على ما يرام.

حتى الآن، في حين ما زلنا لا نملك أي إجماع بديل حول تفسير ضعف الجاذبية، فإننا لم نجد أيضًا أي مؤشر قوي على أن هذا التسرب يحدث بالفعل، وذلك رغم التحسن المتزايد في قياس الجاذبية عند مستويات صغيرة جدًّا. ورغم أن فكرة الأبعاد الإضافية قد تبدو جذَّابة من وجهة نظر نظرية، فلا يزال وجودها يندرج تحت فئة الاحتمالات المثيرة للاهتمام أكثر من كونه سِمة مؤكَّدة لكوننا. وقد تلاشى الدافع الأصلي لها إلى حدٍّ كبير، حيث تم تقريبًا استبعاد جميع النظريات الأكثر إقناعًا التي تفسر ضعف الجاذبية من خلال التسرب، لأنها تتنبأ بحدوث تغييرات في مستويات كان ينبغي أن نكون قد اكتشفناها بالفعل. ومع ذلك، فإننا نواصل البحث، لأنه إذا تبين أن ثمة أبعادًا إضافية حقًّا، فإنها تقدم رؤية جديدة تمامًا للجاذبية، وكذلك للكون. إن وجود كوننا بأكمله على غشاء موجود في زمكان أكبر يثير احتمال وجود أكوان أخرى هناك، ربما على أغشية قريبة، والتي قد تكون قادرة على التأثير على عالمنا من خلال جاذبيتها. والأمر الأكثر إثارة هو أن التفاعلات بين الأغشية يمكن أن توفر سيناريو جديدًا لأصل الكون الذي نعيش فيه. وفي النهاية، تدميره.

سجِّل: الكون الملتهب ekpyrotic cosmos.

## تصفيق كوني

في المرة الأولى التي واجهت فيها سيناريو الكون الملتهب لأصل (ومصير) الكون، كان ذلك في محاضرة فيزيائية جذابة للغاية في جامعة كامبريدج ألقاها نيل توروك Neil Turok، أحد مُنشِئي هذا السيناريو. المرة الثانية، كانت في قصة خيال علمي عن الكائنات الفضائية. ليس من المعتاد في كثير من الأحيان أن تظهر في إحدى القصص الخيالية تفسيرات نظرية شديدة التخصص وطُوِّرَت لحل المشكلات المعقَّدة في فيزياء الكون المبكرة؛ لذلك بدت أقرب إلى إبداع جديد في ذلك الوقت. تتناول قصة "الإشارات المختلطة" التي كتبها لوري آن وايت Lori Ann White وكِن وارتون Ken Wharton، سلسلة من الأحداث الغريبة التي يبدو في النهاية أنها مرتبطة بموجات الجاذبية. على وجه التحديد: موجات جاذبية قوية على نحو غريب، ومنتظمة جدًّا بحيث لا يمكن أن تكون ناجمة عن مسائل الاشتباه المعتادة، مثل الثقوب السوداء أو تصادُم النجوم النيوترونية. في النهاية، يكتشف الأبطال أن الموجات هي إشارة من كائنات ذكية، أُرسِلَت عبر الكتلة ذات الأبعاد الأعلى من **غشاء آخر**. حتى إن المؤلفين قاموا بالتَّحقُّق من اسم النموذج ekpyrotic، موضِّحين أنه في هذه النظرية، الكون الذي نعيش فيه هو فقط واحد من عدة أغشية ثلاثية الأبعاد في فضاء ذي أبعاد أعلى، حيث لا يمكن لأي شيء سوى الجاذبية الانتقال. وإذا تمكَّنَت الجاذبية من اجتياز الكتلة، فإن موجات الجاذبية يمكن أن تكون آلية اتصال ممتازة بين الأغشية.

وفي حين أن وجود حضارات أخرى في الأكوان الغشائية القريبة لم يكن مستبعدًا من الناحية التقنية كاحتمال، كان الغرض الرئيسي من الفرضية هو شرح أصل هذا الكون ومصيره النهائي. بعد وقت قصير من المحاضرة وقصة الخيال العلمي، انتهى بي الأمر بإعداد أطروحة

الدكتوراه حول فيزياء الكون المبكر مع بول شتاينهارت Paul Stein-hardt، الذي عمل مع نيل توروك للتوصل إلى نموذج الكون الملتهب (ekpyrotic model). وبينما كنت أركِّز أكثر على نظريات أخرى حول أصولنا الكونية، كنت ألتقي سيناريو الكون الملتهب بانتظام في اجتماعات ومناقشات المجموعة (لكن، بطريقة أو بأخرى، لم تظهر الكائنات الفضائية أبدًا).

منذ تلك الأيام، تمَّت مراجعة وتعميم سيناريو الكون الملتهب، ولا يتضمن النموذج الأخير أبعادًا إضافية على الإطلاق. ولكن كما يحدث غالبًا في العلم، فإن الفكرة الجديدة التي قد لا تنجح في النهاية يمكن أن تحفِّزنا على طريقة مختلفة للتفكير في المشكلة؛ طريقة يمكن أن تقودنا في اتجاه جديد تمامًا (ونأمل أن يكون أفضل)؛ لذلك دعونا نبدأ بالفكرة الأصلية، فهي، في نهاية المطاف، تقدِّم لنا إمكانية نهاية كونية درامية مثيرة للاهتمام.

يأتي مصطلح "ekpyrotic" من الكلمة اليونانية التي تعني "الحريق"، في إشارة إلى الأصل الناري والموت الناري النهائي للكون في هذا السيناريو. في القصة القياسية غير النارية، تضمَّنَت بداية الكون فترة من التضخم الكوني[1]، والتي ناقشناها في الفصل الثاني. يتسبَّب التَّضخُّم في تمدُّد هائل للكون خلال الجزء الصغير الأول من الثانية، والذي بعده يؤدي اضمحلال كل ما كان مسؤولًا عن التمدد (نسميه

(1) ذلك الأمر، عندما تتعرض المسوَّدة الأولى للنظرية لكثير من إعادة التصميم ومع ذلك تظل مفيدة، ينطبق على التضخم أيضًا. تعتبر النسخة الأصلية من التضخم على نطاق واسع بمثابة ضربة عبقرية على الرغم من أنها كانت في النهاية فشلًا ذريعًا. لم ينجح الأمر على الإطلاق، وقام فيزيائيون آخرون بتجديدها بالكامل في مدى عام تقريبًا. إن ما قدَّمه مُنشئوها بشكل صحيح تمامًا هو اقتراح فئة عامة من الحلول التي أصبحت شرارة لعاصفة من الطرق الإبداعية التي جعلت الانفجار العظيم ينجح أخيرًا. وأصبحت النسخة المعدلة، التي نشير إليها أحيانًا باسم "التضخم الجديد"، هي أساس هذا النوع من التضخم الذي نتحدث عنه جميعًا اليوم.

مجال التضخم[1]) إلى تفريغ كمية هائلة من الطاقة في الكون لإعداد المرحلة "الساخنة" من الانفجار الكبير الساخن. من ناحية أخرى، في النسخة الأصلية من نموذج الالتهاب، يسخُن الكون المبكر عن طريق صدام مذهل بين غشاءين متجاورين كل منهما ثلاثي الأبعاد، يحتوي أحدهما على ما سيصبح فيما بعدُ كوننا بأكمله. بعد الصدام، يذهب الغشاءان منفصلين كلٌّ في طريقه، ينجرفان ببطء عبر الكتلة ويتوسعان. لكنهما سوف يعودان. إن سيناريو الالتهاب هو سيناريو دوري، حيث يحدث خلق الكون وتدميره مرارًا وتكرارًا.

أنا شخصيًّا أجد أن الأمر برُمَّته يصبح أكثر منطقية إذا استخدمت أقدم أداة في صندوق أدوات الفيزيائي: التلويح باليد.

يدك اليسرى هي غشاؤنا الثلاثي: الكون ثلاثي الأبعاد الذي نعيش فيه (من الواضح أن أيًّا من هذا ليس على نطاق واسع؛ فهذا في نهاية المطاف هو التلويح باليد). يدك اليمنى هي غشاء آخر "مخبَّأ"[2]. أوَّلًا، ضع يديك معًا، مع إغلاق أصابعك، في وضع الصلاة. هذه هي لحظة الخلق الكوني. هذا هو الصدام الذي يشعل النار البدائية. في هذه اللحظة، يمتلئ الغشاءان كلاهما ببلازما ساخنة كثيفة، وهو جحيم مكثَّف بدرجة لا يمكن تصوُّرها يشكِّل الذَّرَّات الأولى ويحمل موجات البلازما الطَّنَّانة التي سنراها لاحقًا على غشائنا كتقلُّبات في ضوء الخلفية الكونية الميكروية. الآن، افصل بين يديك ببطء لمسافة قصيرة، مع إبقائهما متوازيتين، وافرد أصابعك. لقد انجرَفَت الأغشية مبتعدةً عبر الكتلة ذات الأبعاد الأعلى، والمساحة الموجودة في كل غشاء على نحو مستقل، تبرد وتتوسع بطريقتها الخاصة. لا توجد

(1) حقل المُضخِّم inflaton field، لأننا نحب إضفاء أسماء تنتهي بالحرفين "on" على الجسيمات والحقول المتعلِّقة بها.

(2) كلٌّ من هذين الغشاءين مُصمَّم في المؤلفات الرسمية باعتباره غشاء "نهاية العالم"، لأنه يقع عند حدود الفضاء. يبدو ذلك مناسبًا.

مرحلة تضخم في هذا النموذج، بل مجرد توسُّع ثابت بعد الصدام. وهما لا تتوسعان في الجزء الأكبر بينهما؛ إنهما تمتدان في أغشيتهما في موازاة بينهما. على غشائنا، يدك اليسرى، هذا هو الكون الذي نراه اليوم. وبينما لا يمكننا إدراك حركتنا ابتعادًا عن الغشاء الآخر، فإننا نرى المجرات تنحسر بعيدًا مع توسع الفضاء ثلاثي الأبعاد الذي نعيش فيه، ويصبح كوننا أكثر فراغًا على نحو مُطَّرِد، وهو يتجه نحو الموت الحراري. نحن لا نعرف ما الذي يحدث في يدك اليمنى، أي الغشاء المخفي. ربما توجد حضارات هناك أيضًا، تشاهد عالمها يزداد خواءً وهو يجتاز فراغًا غير مرئي. ربما يكون مكانًا هادئًا ومقفرًا، حيث لم تتعلم المادة أبدًا، أيًّا كان السبب، ترتيب نفسها بحيث تنتج الحياة. ربما لديهم كلاب يمكنها التحدث. وما لم نكتشف بطريقة أو بأخرى إشارة لموجة جاذبية آتية من الغشاء المخفي، فقد لا نعرف أبدًا طبيعته الحقيقية، أو ما إذا كان موجودًا بالفعل.

الآن، دَعْ يديك تقتربان ببطء مرة أخرى ثم فجأة اضربهما معًا مرة أخرى. في هذا السيناريو، بعد أن انجرفت الأغشية إلى أقصى مسافة لها وتوسَّعَت، عادت لتنجذب مرة أخرى معًا، ولترتدَّ عن بعضها البعض مرة أخرى. هذه التصفيقة -الارتداد- دمَّرَت كل شيء على كلا الغشاءين، وأنهت كوننا، وخلقت انفجارًا كبيرًا جديدًا. عاد كِلَا الكونين إلى المرحلة الساخنة، مرحلة الامتلاء بجحيم البلازما، وهي حالة فوضوية لا يحتوي فضاؤها الجديد سوى القليل جدًّا، وربما لا شيء على الإطلاق، من البقايا المادية مما كان أي من الكونين يحتويه من قبل. الآن افصل بين يديك وقُمْ بالدورة بأكملها مرة أخرى. ومرة أخرى. ومرة أخرى. إن كون الغشاء الملتهب[1] هو تصفيق كوني، كارثي، وأبدي.

---

(1) يشير المصطلح "عالم الأغشية" أو braneworld، بوجه الخصوص، إلى نماذج فيها أبعاد أعلى بينما يحتوي كوننا المرصود على غشاء له ثلاثة أبعاد داخل فضاء أكبر. إنه صنف من نوع

## دورة ثم دورة أخرى

هل نعيش حقًّا في عالم غشائي، وهل هناك أغشية أخرى عبر كتلة ذات أبعاد أعلى، تلك الأسئلة لا تزال مفتوحة. ومع ذلك، فإن الفكرة العامة للكون الدوري تحمل بعض الجاذبية، لأنها واحدة من البدائل المعقولة القليلة جدًّا للتضخم، والتي قد تحمل فرصة لتكرار نجاحاتها[1]. لم تتحدد بعد الأشكال التي سيتخذها نموذج الالتهاب والتضخم في نهاية المطاف- أحدث نماذج الكون الملتهب لا تحتاج إلى أغشية على الإطلاق، في حين أن بعض نسخ التضخم تفعل ذلك الآن. الفرق الكبير بين نماذج الكون الملتهب والتضخم هو أنه بينما يحل التضخم عددًا من المشكلات الكونية عن طريق إدخال فترة من التوسع السريع في الكون المبكر جدًّا، فإن نموذج الكون الملتهب يفعل ذلك من خلال الانكماش البطيء قبل الارتداد مباشرة. في حالة نموذج العالم الغشائي، يحدث هذا خلال المرحلة التي تتجمع فيها الأغشية معًا. مثل التضخم، قد يكون نموذج الكون الملتهب متوافقًا مع توزيع المادة التي نراها في الكون اليوم، ويمكن أن يفسر لماذا يبدو كوننا متجانسًا ومسطحًا جدًّا (بمعنى أنه لا ينحني مرة أخرى على نفسه أو وجود بعض الأشكال الهندسية الأخرى المعقدة واسعة النطاق). إن حقيقة أن كل شيء موحَّد بشكل غريب تكون منطقية إذا

---

ما من التعدد الكوني multiverse، لكن الذين يتحدثون عن الكون المتعدد يشيرون إلى شيء مختلف، مثل مناطق لفضاء (ثلاثي الأبعاد) أكبر، حيث قوانين الفيزياء قد تكون مختلفة، أو حتى تفسير ميكانيكا الكم للعوالم الكثيرة، وهو أمر آخر تمامًا. أي تركيبة تتيح أن يكون ثمة مزيد بالنسبة للواقع أكثر ممَّا يتيحه كيان كوننا المرصود هي نوع من نظرية التعدد الكوني.

(1) إنني أستخدم تعبيري "دوري" و"ارتدادي" ("cyclic" and "bouncing") بالتبادل بينهما تقريبًا هنا، لكن نموذج الارتدادي لا يقتصر على أن يكون دوريًّا، حيث يمكن أن تكون به "ارتدادة" واحدة؛ انتقال من ماضٍ ما طال امتداده قبل مرحلة الانفجار الكبيرة حتى الكون الحالي الذي نعيش فيه، والذي من ثم يموت بنفسه دون أن يعود للقفز إلى عالم جديد بعد ذلك.

كانت الأغشية ضخمة ومتوازية قبل الارتداد؛ فهذا يعني أن الانفجار يمكن أن يحدث في كل مكان بنفس الطريقة وفي نفس الوقت، مع بعض التقلبات الكمية الطفيفة فقط التي تضيف الومضات الضرورية لإنشاء مناطق ذات كثافة عالية والتي ستنمو لتصبح مجرات وعناقيد من المجرات وكل البنية الكونية.

ومع ذلك، كما هو الحال مع التضخم، لا يزال هناك الكثير من التفاصيل النظرية قيد الإعداد. والسؤال الأكبر هو: ما الذي يحدث بالضبط أثناء الارتداد؛ هل يحدث تفرُّد حقيقي؟[1] أم هل يحدث الارتداد دون الوصول إلى الحدِّ النهائي للكثافة القصوى؛ ممَّا يتيح احتمالية نجاة نوع ما من المعلومات من الحدث وانتقالها إلى الدورة التالية؟ أحدث نسخة من النموذج انكماشها قليل جدًّا؛ لذلك لا يحدث شيء مثل التفرد. في هذا النموذج، بدلًا من استخدام التصادم بين الأغشية، فإن الانكماش يكون مدفوعًا **بمجال مدرج (*scalar field*)**، وهو شيء مشابه لمجال هيجز، أو لما نعتقد أنه (ربما) كان السبب في التضخم. يقدم هذا النموذج بالفعل احتمالا مثيرًا بأن المعلومات قد تنتقل بين الدورات، ويمكننا من حيث المبدأ أن نرى ذات يوم دليلًا على ذلك.

وهذا يقودنا إلى مسألة الأدلة الرصدية. نظرًا لأن كلًّا من نموذج الكون الملتهب والتضخم مُصمَّمان لحل نفس المشكلات الكونية؛ فقد يتطلَّب الأمر القليل من الإبداع لتأكيد أو استبعاد أي منهما. كل ما رأيناه حتى الآن في الكون يبدو متوافقًا مع صورة التضخم القياسية، لكننا لم نرَ ما قد يُعتبر دليلًا عليها، ولم نر أي شيء يثبت أو يقضي على فكرة البديل الملتهب. لقد تردَّدَت الحجج ذهابًا وإيابًا لسنوات

---

(1) تفرُّد singularity: هو حالة يُفترض أن الجاذبية فيها شديدة الكثافة حتى أن الزمكان نفسه ينكسر على نحوٍ كارثي. ومن ثم فإن التفرد ليس جزءًا من الزمكان المنتظم، ولا يمكن تحديده بـ "أين" أو "متى". [المترجمة]

حول ما إذا كانت النماذج الدورية أكثر أو أقل جاذبية من الناحية النظرية من التضخم، ولكن من الناحية الرصدية لا يزال هذا سؤالًا مفتوحًا. وربما تكون بعض البيانات التي قد تساعد أخيرًا على تحديد المشكلة مفيدة للغاية هنا.

قد يكون أفضل رهان لدينا هو أن نجد دليلًا على **موجات الجاذبية البدائية**: تموُّجات واسعة النطاق في الفضاء لا تنشأ من اندماج الثقوب السوداء أو النجوم النيوترونية، بل من عنف عصر التضخم، عندما كانت البذور الأولى للبنية الكونية قد تشكَّلت بواسطة الاهتزازات الكمِّيَّة في مجال التضخم. إذا عثرنا عليها، فستكون أقرب ما يمكن أن نصل إليه من دليل التضخم بعيد المنال. وبإيجاز، في 2014، اشتعلت الإثارة في مجتمع علم الكون عندما أعلن قادة تجربة تسمى BICEP2[1]، أنهم رأوا أدِلَّة تثبت ذلك بالفعل. بالنظر إلى استقطاب الضوء من الخلفية الكونية الميكروية، رأوا ما يبدو أنه أنماط ملتوية لا يمكن أن تأتي إلا من موجات الجاذبية التي شوَّهَت الفضاء خلال عصر النار البدائية. تمَّ اعتبار هذه الأنماط بمثابة اكتشاف ثوري للغاية؛ لذلك كانت جوائز نوبل مضمونة فعليًّا. ففي نهاية المطاف، حتى لو وضعنا الآثار المترتبة على التضخم جانبًا، فقد كانت عبارة عن رصد قوي لموجات الجاذبية (قبل أكثر من عام من رؤية مرصد LIGO[2] أول صدام لثقوبها السوداء)، وبسبب ارتباطها بالتذبذبات الكمِّيَّة، كانت أول دليل على ذلك. أي نوع من التأثير على الطبيعة الكمِّيَّة للجاذبية.

إلا أنها لم تكن كذلك.

---

(1) التكرار الثاني للتصوير الخلفي لتجربة الاستقطاب الكوني خارج المجرة.

(2) ليجو LIGO: الاسم اختصار لمرصد أمواج الجاذبية بالتداخل الليزري Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory، وهو موجود بالولايات المتحدة. [المترجمة]

بعد بضعة أشهر فقط، قام فيزيائيون وعلماء فلك خارج مشروع BICEP2 بتحليل البيانات بشكل مستقلٍّ، ووجدوا أن هذا النمط يمكن تفسيره بالكامل بشيء أكثر دنيوية: الغبار الكوني العادي، الموجود في مجرتنا درب التبانة. لو كانت موجات الجاذبية البدائية قد اكتُشِفَت، لكانت بمثابة دليل ضد نموذج الكون الملتهب، لأن هذا النموذج لا يتضمن زلزال الكون التَّضخُّمي الذي يمكن أن تنتج عنه تلك الموجات. ولسوء الحظ، يعيدنا عدم اكتشافها إلى المربع الأول. في حين أن نظرية التضخم تقول أنه لا بُدَّ من إنتاج موجات الجاذبية البدائية فليس في النظرية ما يقول أنها لا بُدَّ أن تكون قابلة للاكتشاف. إن نماذج التضخم الأكثر شيوعًا تنتج موجات جاذبية كبيرة، ولكن من الممكن تمامًا التوصل إلى نموذج ينتج إشارة ضعيفة جدًّا بحيث لا يمكنها التنافس مع فوضى الغبار الكوني[1]. لذا فإن حقيقة أن الغبار اعترض طريقنا لا تثبت أن إشارة التضخم غير موجودة، كما لا تثبت بنفس القدر أنها موجودة بالفعل.

ومع ذلك، قد نحصل على أدِلَّة من مصادر أخرى. قد نجد أدِلَّة تؤيد أو تنفي عوالم الأغشية في بحثنا عن أبعاد إضافية، أو قد نحصل أخيرًا على لمحة من موجات الجاذبية البدائية. حتى موجات الجاذبية العادية يمكن أن تحمل أدِلَّة، إمَّا من خلال إظهار إشارة تنتقل عبر الكتلة (سواء عبر كائنات فضائية متعددة الأبعاد أم لا[2])، أو من خلال مساعدتنا في رسم بنية الزمكان، أساسًا من خلال مراقبة كيفية

(1) من الناحية الفنية، اعتمادًا على النموذج؛ يمكنك أيضًا الحصول على مستوى صغير جدًا من موجات الجاذبية البدائية في كون ملتهب أثناء مرحلة الانكماش البطيء. لكنها ستكون أصغر كثيرًا بحيث لا يمكن أن تظهر في الرصد.

(2) تعرَّضَت فكرة احتمال وجود مادة في الغشاء المخفي للمناقشة في المؤلفات، لكن على حدٍّ علمي، لم تُناقش تصادمات الثقوب السوداء عبر الكتلة. ربما يتطلب الأمر مستويات كثيرة جدًّا من التكهنات لإجراء دراسة جادة. ولكن أعتقد أن ذلك يبدو ممتعًا.

اهتزازه. وفقًا لبعض الدراسات، فإن البيانات الناتجة عن تصادمات الثقوب السوداء قد وضعت بالفعل عقبة أمام النظريات التي تتضمن تسرُّب الجاذبية إلى فراغٍ ذي أبعاد أعلى. حتى الآن، تتوافق جميع قياساتنا مع كون قديم ومُمِل ذي ثلاثة أبعاد مكانية فقط.

وسواء وجدنا أبعادًا إضافية أم لا، فمن المرجَّح أن تظل فكرة الكون الدوري تحظى بالقبول كبديل للتضخم. أحد الأسباب هو مشكلة الإنتروبيا، أي الاضطراب المتزايد باستمرار في الكون والذي يؤدي في النهاية إلى الموت الحراري. يمكننا حساب كمية الإنتروبيا في كوننا المرصود، ويمكننا أن ننظر إلى الوراء عبر التاريخ الكوني لتحديد كيف كانت بالضرورة في الأزمنة المبكرة إذا كانت تتزايد باطِّراد على مدى عمر الكون. والنتيجة هي أن الكون لا بُدَّ أن يكون قد بدأ عند حالة صادمة من انخفاض الإنتروبيا، وارتفاع التنظيم، وذلك عندما بدأ تاريخنا الكوني. هذه فكرة غير مريحة للغاية بالنسبة لكثير من علماء الكوزمولوچيا. كيف استقرَّت الإنتروبيا على هذا المستوى المنخفض في البداية؟ يبدو الأمر كما لو كنتَ تدخل إلى غرفة وأنت متأكد من عدم دخول أي شخص إليها من قبل، وتجد صفوفًا وصفوفًا من قطع الدومينو ملقاة على الأرض، متداخلة كما لو أنها انقلبت على بعضها البعض بالتسلسل. كيف تمَّ إعدادها كلها بمثل تلك العناية الكبيرة في المقام الأول؟

الميزة الإضافية الرئيسية في بعض النماذج الدورية والمرتدة هي أنها توفِّر فرصة لإرجاع تلك الإنتروبيا الأولية المنخفضة إلى شيء حدث قبل الارتداد. آخر تحديث لنموذج الكون الملتهب، الذي تطوَّر على أيدي كل من بول شتاينهارت وأنّا إيچاس Anna Ijjas، يشرح الإنتروبيا المنخفضة للكون المبكر من خلال أخذ كل الإنتروبيا بشكل فعَّال من رقعة صغيرة من الكون السابق للارتداد ووضعها على أنها الإنتروبيا الأولية للكون المرصود اليوم بأكمله.

يتمتع هذا النموذج الجديد (وهو جديد جدًّا لدرجة أنه ظهر على الساحة أثناء كتابة هذا الكتاب) ببعض المزايا المهمة مقارنة بالصيغ السابقة من سيناريو الكون الملتهب. فهو لا يتطلب، على وجه الخصوص، أبعادًا مكانية إضافية أو تفردًا عند الارتداد. في الواقع، قد يكون الانكماش خفيفًا إلى حدٍّ ما، فقد يكون التناقص في حجم الكون منخفضًا بمقدار عامل اثنين. التفاصيل معقدة (هذا واضح)، لكن الفكرة الأساسية هي أن ما يعود في كل دورة بالفعل هو مزيج من المكونات الموجودة في الكون، والطريقة التي سيرى بها المراقبون تطوره. كما ذكرنا من قبل، فإن الحقل السُّلَّمي الذي يملأ الكون هو الذي يدفع لحدوث الانكماش/الارتداد، بدلًا من صدام الأغشية.

إذا كان هذا النموذج الدوري الجديد يصف كوننا، ففي حقبة ما في المستقبل البعيد، سنبدأ في رؤية المجرات البعيدة تتوقَّف عن توسعها وتعود ببطء نحونا. سيبدو الأمر، في البداية، مثل المراحل الأولى من الانهيار الكبير، حيث يبدأ إشعاع الخلفية في التسخين من "بارد" إلى "هذا ليس رائعًا تمامًا" حيث يصبح الكون أكثر ازدحامًا إلى حدٍّ ما. ولكن بمجرد أن نبدأ في التفكير بأنه ربما علينا أن نقلق، فإننا فجأة نختفي، فجأة وبشكل مذهل، عندما يحول المجال المدرج طاقته بعنف إلى إشعاع ويبدأ دورة الانفجار الكبير التالية للكون.

من المثير للاهتمام أن أحد الجوانب التي تشترك فيها هذه النسخة الجديدة تمامًا من نموذج الكون الملتهب مع النموذج القديم هو أن موجات الجاذبية المارقة يمكن أن تكون نوعًا من الإشارة بين الأكوان. في النسخة القديمة، من الممكن تصوُّر أن بعض موجات الجاذبية قد تمر عبر الكتلة من غشاء آخر. في هذه النسخة، نظرًا لأن الكون لا يصبح صغيرًا جدًّا أثناء الارتداد؛ فقد تنتقل موجات الجاذبية من دورة إلى الدورة التالية. سيكون من الصعب للغاية العثور على هذه

الإشارات، ولكن إذا كانت موجودة، فإنها يمكن أن تقدِّم لنا أدِلَّة حول كون سابق على كوننا.

لاحِظ هذا الفضاء.

***

وبطبيعة الحال، فإن نماذج الكون الملتهب ليست الطريقة الوحيدة لإضفاء بعض الارتداد على خطوتنا الكونية.

روجر بنروز Roger Penrose، أحد الرواد الأوائل في علم الكون الحديث والذي غيَّر بشكل جذري الطريقة التي ننظر بها إلى الجاذبية في الكون، لديه اقتراحه الخاص للكون الدوري، حيث تولَّد الانفجار الكبير من الموت الحراري لدورة سابقة. هذا الاقتراح يتضمَّن تجميع الزمكان المستقبلي البعيد لأحد الأكوان والتفرد في بداية كون آخر. كان بنروز، لعقود طويلة، أحد أبرز الأصوات في علم الكون، يشير إلى خطورة مشكلة الإنتروبيا في السيناريوهات القياسية للكون المبكر. وهو لا يعتقد أن التضخم يفي بالغرض. وقد أخبرني مؤخرًا قائلًا: "عندما سمعت عن تلك النظرية لأول مرة، اعتقدت أنها لن تصمد لمدة أسبوع".

يفترض النموذج البديل الذي قدَّمه بنروز، ويسمى علم الكون الدوري المطابق، أن الإنتروبيا تعمل بشكل مختلف في محيط المتفردات. إذا كان هذا الحدس صحيحًا، فهو يعني أن الإنتروبيا ستكون منخفضة جدًّا عند الحد الفاصل بين الدورات التي يبدأ منها كوننا، ولا يتطلب الأمر التضخم. يحتوي نموذج بنروز أيضًا على احتمال مثير للاهتمام، وهو أن بعض بصمات الأحداث التي وقعت في الدورات الماضية قد تظهر في المراقبات الفلكية، وتظهر كمعالم في الخلفية الكونية الميكروية. في الواقع، زعم بنروز ومعاونوه أن الأدِلَّة على مثل

هـذه السِّـمات يمكـن رؤيتهـا بالفعـل في البيانـات، رغـم أن ذلـك قوبـل بالتشـكيك. فهـل هـذه التلميحـات المحتملـة للخلفيـة الكونيـة الميكرويـة سـيُنظَر إليها يومًـا مـا كعلامـة قاطعـة عـلى وجـود كـون مـا قبـل الانفجـار الكبـير أم لا؟ مـا زال هـذا السـؤال ينتظـر الإجابـة.

وفي الوقـت نفسـه، قـام نيـل تـوروك، أحـد مُطـوِّري نمـوذج الكـون الملتهـب، بتحويـل التركيـز إلى الغـوص في نمـوذج جديـد تمامًـا للكـون يكـون فيـه الانفجـار الكبـير مجـرد نقطـة انتقاليـة. هـذا الاقـتراح، الـذي طـوَّره لاثـام بويـل Latham Boyle، وتـوروك، وطالبهـما السـابق كـيران فـين Kieran Finn، كان الحافـز إليـه هـو أخـذ حجـج التناظـر في فيزيـاء الجسـيمات إلى المسـتوى الكـوني. يشـير الاقـتراح إلى أن كوننـا ونسـخة معكوسـة زمنيًـا مـن الكـون يلتقيـان عنـد الانفجـار الكبـير مثـل مخروطـين يتلامسـان رأسًـا بـرأس. وفي ورقـة بحثيـة حديثـة، يصفـون الصـورة بأنهـا "زوج مـن الكـون والكـون المضـاد، ينشـأ مـن لا شيء". مـن الممكـن أن يحتـوي تفـرُّد الطـرف المخروطـي عـلى حـلٍّ خـاص بـه لمشـكلة الإنتروبيـا، رغـم أن النمـوذج وتفاصيلـه (في وقـت كتابـة هـذه السـطور) لا يـزال قيـد التطويـر. ومـع ذلـك، فإنـه يقـدم بعـض التنبـؤات المحـددة لطبيعـة المـادة المعتمـة، وبالتـالي قـد يكـون قابـلًا للاختبـار مـن خـلال التجـارب القادمـة.

إذن، أيـن نذهـب مـن هنـا؟ هـل كان الانفجـار الكبـير فريـدًا أم مجـرد نقطـة تحـول عنيفـة؟ هـل سـينتهي وجودنـا الكـوني نهايـة عنيفـة بسـبب سـقوط كـون آخـر علينـا مثـل مـضرب ذبـاب ذي أبعـاد أعـلى؟ هـل ستكشـف البيانـات المسـتَمَدَّة مـن علـم الكـون أو فيزيـاء الجسـيمات الطبيعـة الحقيقيـة للزمـكان؟ مـا مـدى اقترابنـا مـن اكتشـاف مـا يخبئـه مسـتقبلنا الكـوني البعيـد، ومـا هـي المعلومـات الجديـدة التـي نحتاجهـا للإجابـة عـلى السـؤال مـرة واحـدة وإلى الأبـد؟

كيف سوف ينتهي كل هذا؟

مثـل كل شيء في العلـم، فـإن فهمنـا للكـون هـو عمـل مسـتمر في التقـدم. لكـن هـذا التقـدم كان غـير عـادي عـلى مـدى العقـود القليلـة الماضيـة، والـرؤى الجديـدة تظهـر بسرعـة. خـلال السـنوات القليلـة المقبلـة، ستكتسـب البشريـة أدوات جديـدة يمكـن أن تمنحنـا رؤيـة غـير مسـبوقة لتاريخنـا الكـوني؛ مـمَّا يتيـح لنـا تجميـع قصـة أصولنـا وفتـح نوافـذ جديـدة عـلى الانفجـار الكبـير والمـادة المعتمـة والطاقـة المعتمـة، ومسـارنا نحـو المسـتقبل. في الفصـل الأخـير مـن **هـذه القصـة**، سـنتلقي لمحـة عـمَّا قـد تُظهِـره لنـا هـذه الأدوات الجديـدة، وكيـف أن العمـل عـلى أحـدث نظريـات الفيزيـاء يوجِّهنـا بالفعـل نحـو كَـونٍ أكـثر غرابـة مـمَّا كان يمكـن لنـا أن نتخيَّـل.

# الفصل الثامن
# مستقبل المستقبل

ما مدى كِبَر حجم الساعة الرملية؟
ما مدى عمق الرمال؟
لا ينبغي لي أن أعرف، لكن ها أنا في هذا الموقف.

**هوزير Hozier، "No Plan"**

في عام 1969، لم يكن مارتن ريس Martin Rees بعدُ عالِمَ الفلك الملكي، لورد ريس، وبارون لودلو Baron of Ludlow. لقد كان عالِمًا كونيًّا في مرحلة ما بعد الدكتوراه بجامعة كامبريدج، وكان يفكر في نهاية كل شيء، ونشر بحثًا من سِتِّ صفحات بعنوان "انهيار الكون: دراسة أخروية" ("The Collapse of the Universe: An Eschatological Study")، والذي وصفه لاحقًا بأنه "ممتع إلى حدٍّ ما". في المقدمة، أوضح ريس أنه على الرغم من أن الأدلة الرصدية لا تزال غير مؤكدة، إلا أنها تشير إلى أن "الكون محكوم عليه بالانهيار فعلًا. وسيتم تدمير

جميع السمات الأساسية للمشهد الكوني خلال هذا الضغط المدمِّر". جزء ممَّا جعل المقال ممتعًا لريس هو حساباته أنه في الانهيار القادم، سيتم تدمير جميع النجوم بواسطة الإشعاع المحيط، من الخارج إلى الداخل. مَن مِنَّا لن يستمتع بفكرة اشتعال النيران في النجوم؟

ورغم احتجاجات ريس لصالح الانسحاق الكبير، ظلت البيانات غامضة لعقود من الزمن. هل كان الكون مغلقًا (يعود إلى الانهيار) أم مفتوحًا (يتوسع إلى الأبد)؟ وفي عام 1979، قرر فريمان دايسون Free-man Dyson، من معهد الدراسات المتقدمة في برينستون، استكشاف الجانب الآخر من الحجة، قائلا: "لن أناقش الكون المغلق بالتفصيل؛ لأنه يمنحني شعورًا برهاب الأماكن المغلقة عندما أتخيل أن وجودنا كله محصور داخل الصندوق". لقد كان نموذج الكون المفتوح بديلًا فسيحًا وممتعًا. في ورقته البحثية "Time Without End: Physics and Biology in an Open Universe" ("زمن بلا نهاية: الفيزياء والبيولوجيا في كون مفتوح")، عمل من خلال التنبؤات الكمِّيَّة لما قد يعنيه الكون المفتوح للبشرية، وابتكر طريقةً يمكن من خلالها للكائنات المستقبلية، من خلال تنظيم نشاطها ودخول فترات من السُّبات، تجنُّب النسيان في المستقبل اللا نهائي حيث تذوب بقية الكون من حولهم[1]. في حين أن معظم الورقة تتكون من حسابات ومناقشات نظرية، فإن المقدمة تحتوي على بعض الكلمات الحادة التي تستهدف الاتجاه السائد للفيزياء، والذي يزدري بشكل غير عادل مسعى دراسة نهاية الكون. وكتب يقول: "إن دراسة المستقبل البعيد لا تزال تبدو اليوم سيئة السُّمعة كما كانت دراسة الماضي البعيد قبل ثلاثين عامًا"، مشيرًا إلى ندرة الأوراق البحثية الجادة التي

(1) لسوء الحظ، النوع الوحيد من نموذج الكون المفتوح الذي سوف يتيح ذلك هو نوع ليس له ثابت كوزمولوچي، ومن ثمَّ يبدو أن البيانات الحالية قد أطفأت حتى هذه الشرارة الصغيرة من الأمل.

تتناول الموضوع[1]. وتابع بدعوة كونية لحمل السلاح: "إذا كان تحليلنا للمستقبل بعيد المدى يقودنا إلى إثارة أسئلة تتعلق بالمعنى النهائي للحياة والغرض منها، فدعونا نفحص هذه الأسئلة بجرأة ودون حرج".

لا أستطيع أن أقول على وجه الدقة إن علم الأخروية الكونية، بعد كل هذا الوقت، حصل أخيرًا على المستوى المناسب من الاحترام باعتباره علمًا أكاديميًا. لا يزال من النادر العثور على أوراق بحثية في الأدبيات الفيزيائية تدرس مصيرنا النهائي بنفس الدقة والعمق الذي تتناول به أصولنا. لكن إجراء دراسات على طرفي الخط الزمني تساعدنا، بطرق مختلفة، على فحص مبادئ نظرياتنا الفيزيائية. وبعيدًا عن الرؤية التي قد تقدمها لمستقبلنا أو ماضينا، يمكنها مساعدتنا في فهم الطبيعة الأساسية للواقع نفسه.

تقول هيرانيا بيريس Hiranya Peiris، عالمة الكون في جامعة كوليدج لندن: "من خلال التفكير في نهاية الكون، تمامًا مثلما نفكر في بدايته، يمكنك شحذ تفكيرك حول ما تعتقد أنه يحدث الآن، وكيفية استقرائه. أشعر أن الاستقراءات في الفيزياء الأساسية ضرورية". في عام 2003، قادت فريقًا يقوم بتفسير أول عرض تفصيلي للخلفية الميكروية الكونية باستخدام القمر الصناعي "مسبار ويلكنسون لقياس تبايُن الموجات الميكروية" (WMAP)، ومنذ ذلك الحين حافظت على مكانتها في طليعة علم الكون المرصود. في السنوات الأخيرة، وضعت نَصبَ عينيها استخدام بيانات الرصد والمحاكاة وأهم نظائرها لاختبار بعض العناصر الأساسية لفيزياء الكون المبكر والمتأخر، مثل خلق "الأكوان الفقاعية" في التَّضخُّم الكوني والميكانيكا الكامنة وراء اضمحلال الفراغ. وكان دافعها، في دراسة كل هذه الأسئلة، هو نفسه. "أعلم أن

(1) المدهش أن دايسون نفسه لم يقدِّم ورقته هذه للنشر أبدًا، بل قام صديق بنشرها نيابةً عنه في Reviews of Modern Physics، دون استئذان. وقد أخبرني دايسون حديثًا: "لم أظن أنها تستحق النشر"، حيث اعتبرها لا تناسب النشر في مجلة. وأضاف قائلًا: "إنها مسألة رأي".

هـذه الفـترة بحاجـة إلى الفهـم. لا يـزال مـن غـير الواضـح كيـف سـيرتبط مـا نقـوم بـه الآن مبـاشرة بتلـك الفـترات، ولكـن أعتقـد أننـا سـنتعلم شـيئًا عـن النظريـة الأساسـية مـن خـلال القيـام بهـذا العمـل.

مـن المؤكـد أن أمامنـا الكثـير للتعلـم. إن علـم الكـون وفيزيـاء الجسـيمات في وضـع حَـرِج في الوقـت الراهـن؛ وقـد كان كلاهـما، مـن بعـض النواحـي، ضحيَّـةً لنجاحـه الخـاص. في كل مجـال، لدينـا وصـف دقيـق وشـامل للغايـة للعالم يعمـل بشـكل جيـد جـدًّا، بمعنـى أنـه لم يتـمَّ العثـور عـلى أي شيء يتعـارض معـه. الجانـب السـلبي هـو أنـه ليـس لدينـا أي فكـرة عـن سـبب نجاحـه.

يُطلـق عـلى النمـوذج السـائد في علـم الكـون اسـم نمـوذج التوافـق (ΛCDM). في هـذه الصـورة، يتكـون الكـون مـن أربعـة مكونـات أساسـية: الإشـعاع، والمـادة العاديـة، والمـادة المعتمـة (عـلى وجـه التحديـد المـادة المعتمـة "البـاردة"، CDM)، والطاقـة المعتمـة في شـكل ثابـت كـوني (يشـار إليـه في المعـادلات بالحـرف اليونـاني لامـدا: Λ). تُقـاس كميـات كل هـذه المكونـات بدقـة، حيـث يشـكِّل الثابـت الكـوني حاليًـا أكـبر شريحـة مـن الكعكـة الكونيـة. لدينـا فهـم جيـد لكيفيـة تنـوع هـذه الأشـياء مـع مـرور الوقـت مـع توسـع الكـون، ولدينـا وصـف تفصيـلي مذهـل للكـون المبكـر جـدًّا والـذي يتضمـن فـترة مـن التوسـع السريـع جـدًّا تسـمَّى التضخـم. لدينـا أيضًـا نظريـة جاذبيـة المجـرة والمختـبرة، وهـي النسـبية العامـة لأينشـتاين، والتـي تعتـبر صحيحـة تمامًـا في نمـوذج التوافـق. في هـذه الصـورة، ولأن الثابـت الكـوني يهيمـن حاليًـا عـلى تطـور الكـون، يمكننـا تطبيـق فهمنـا للجاذبيـة ومكونـات الكـون بشـكل مبـاشر لتحديـد تطورنـا الكـوني. ويقودنـا ذلـك بشـكل لا لبـس فيـه إلى المـوت الحـراري في المسـتقبل البعيـد. هـذا هـو الأمـر.

المشكلة في نموذج التوافق هي أن العناصر الأكثر أهمية فيه -المادة المعتمة، والثابت الكوني، والتَّضخُّم- غامضة تمامًا. نحن لا نعرف ما هي المادة المعتمة؛ ولا نعرف كيف حدث التضخم (أو حتى إذا كان قد حدث بالفعل)؛ وليس لدينا أي تفسير معقول للسبب في وجود الثابت الكوني أو لماذا يأخذ قيمة يبدو وكأنها تتعارض مع ما نتوقعه من فيزياء الجسيمات. وفي نفس الوقت، لم نجد أي شيء في البيانات يتعارض مع النموذج. لا يوجد دليل على أن الطاقة المعتمة تتطور بطريقةٍ ما (قد تتعارض مع الثابت الكوني)، ولا يوجد دليل على أن المادة المعتمة هي شيء يمكن اكتشافه تجريبيًّا (ولا دليل على أنها ليست كذلك)، وعلى الرغم من مرور قرنٍ على إخضاع الجاذبية للرنين التجريبي، فلا يوجد دليل على أنها تعمل مثل أي شيء آخر غير النسبية العامة لأينشتاين.

أندرو بونتزن Andrew Pontzen، هو زميل بيريس ومؤلف مشارك مع بيريس (وزميلي السابق في كامبريدج). يعمل بونتزن على الجوانب النظرية للمادة المعتمة، وقد قام ببعض الأعمال الرائدة لشرح سبب اتخاذ المادة المعتمة الشكل الذي تتخذه في المجرات. وهو يؤكد أن لدينا فهمًا جيدًا جدًّا للكوزمولوجيا، بمعنى أن بياناتنا تتوافق بشكل جيد للغاية مع الصورة التي تتضمن المادة المعتمة والطاقة المعتمة، ويبدو أنه من غير المرجَّح أن يظهر أي شيء فجأة لتغيير تلك الصورة. نحن نعرف مقدار الأشياء الموجودة هناك في الفضاء الخارجي، وكيف تعمل. لكن، من الناحية الأخرى، لا نعرف كيفية ربط المادة المعتمة أو الطاقة المعتمة، اللتين تشكِّلان معًا 95% من الكون، بالفيزياء الأساسية. ويقول بونتزن: "وبهذا المعنى، فإننا لا نفهم على الإطلاق".

وفي نفس الوقت، نجد أن نظرة فيزياء الجسيمات مُماثِلة بشكل مثير للإحباط. في سنوات العقد 1970، طوَّر الفيزيائيون النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات لوصف جميع الجسيمات المعروفة في

الطبيعة: الكواركات التي تشكِّل البروتونات والنيوترونات، واللبتونات مثل النيوترينوات والإلكترون وأشباهه، وما يُسمَّى بالبوزونات المقياسية التي تعمل كوسيط يحمل القوى الأساسية بين الجسيمات (الكهرومغناطيسية والقوى النووية القوية والضعيفة). ورغم بعض التعديلات الطفيفة، مثل تحويل النيوترينوات من حالة انعدام الكتلة إلى كونها خفيفة للغاية، فقد حقق النموذج القياسي نجاحًا مدهشًا، حيث اجتاز كل اختبار تجريبي أُجري عليه. حتى إن النموذج القياسي تنبَّأ بوجود بوزون هيجز، وهو الجزء الأخير من الأحجية. وفي السنوات التي تلت ذلك وحتى اليوم، لم يُكتشف أي شيء في تجارب الجسيمات لم يخبرنا النموذج القياسي أننا سنجده.

قد تعتقد أنه سيتم الترحيب بذلك كانتصار باهر. فالنظرية تعمل! كل شيء كما توقعنا!

لماذا لا نجلس ونستمتع بتألقنا ونجاحنا؟

لأن هذا، من بعض النواحي، هو السيناريو الأسوأ. فبقدر روعة النموذج القياسي في مطابقة النتائج التجريبية، فإننا نعلم أنه، مثل نموذج التوافق في الكوزمولوچيا، لا بُدَّ يفتقد بعض الأجزاء المهمة جدًّا. وبالإضافة إلى عدم وجود أي شيء على الإطلاق يمكن أن يقوله عن المادة المعتمة أو الطاقة المعتمة، فإن لديه بعض "مشاكل الضبط" الرئيسية- أماكن في النموذج حيث يجب ضبط المؤشر بشكل صحيح تمامًا وإلا سينهار كل شيء. من الناحية المثالية، ينبغي أن يكون لدينا بعض الإطار النظري الذي يخبرنا لماذا يكون المؤشر على ما هو عليه. من المحبط أننا نجد أن الأسباب الوحيدة التي تجعلنا نضبط المؤشر على تلك القيمة هي "وإلا ستحدث لنا أشياء سيئة"، أو الأسوأ من ذلك، "هذا بالضبط ما يقوله القياس".

لعقود من الزمن، كان يبدو أمل في الأفق بأننا قد نتمكن من الانتقال بسلاسة من تأكيد الجوانب المهمة في النموذج القياسي إلى العثور على حدود صلاحيته وتحقيق اكتشافات جديدة باستخدام أي نموذج نجده ليحلَّ محلَّه. في سنوات العقد 1970، كان ثمة اقتراح بنموذج يُعرف باسم التناظر الفائق (supersymmetry، أو، باختصار: سوسي SUSY) لإصلاح بعض العيوب النظرية للنموذج القياسي من خلال افتراض روابط رياضية جديدة بين أنواع مختلفة من الجسيمات وشرح البنية المربكة للنموذج القياسي ومؤشِّره. جاء هذا النموذج مع وعد مثير أيضًا: عدد كبير من الجسيمات الجديدة ("شركاء التناظر الفائق" لمجموعة النموذج القياسي) التي يمكن إنتاجها في مصادمات الجسيمات بقوة أكبر قليلًا ممَّا يمكن أن تحققه المصادمات في ذلك الوقت. وقد اعتُبر التناظر الفائق (SUSY) على نطاق واسع بمثابة نقطة انطلاق نحو نظرية الأوتار، وهي الفكرة الرائدة في السعي إلى الجمع بين الجاذبية وميكانيكا الكم في كل موحد.

لسوء الحظ، رغم عقود طوال من العمل على تحسين وتحديث مصادم الهادرونات الكبير (LHC)، إلا أننا لم نر أي علامة على وجود جسيمات التناظر الفائق الموعودة. ولا يزال بعض الفيزيائيين يعلقون الأمل على SUSY من خلال اقتراح تعديلات من شأنها أن تجعل العثور على الجسيمات الجديدة أكثر صعوبة، ولكن في مرحلةٍ ما تصبح التعديلات متطرِّفة للغاية بحيث يواجه سوسي SUSY عددًا كبيرًا من المشكلات النظرية مثل النموذج القياسي. لكن الإشارة لم تظهر بعدُ. بين الحين والآخر، ستؤدي بعض الشذوذات في البيانات إلى زوبعة من الإثارة، حيث يسارع الفيزيائيون إلى شرح سبب وجود عدد قليل من الأحداث، أكثر ممَّا كان مُتوقَّعًا، في قناة كاشف معين. ولكن حتى الآن، لم يتبين أن أيًّا من هذه التقلبات كانت أكثر من مجرد صدفة إحصائية لن تعود إلى الظهور في إصدار البيانات التالي.

لقد تحدثت حول اللغز الحالي إلى فريا بليكمان Freya Blekman، وهي عالمة فيزياء تجريبية تبحث عن بصمات تتخطى النموذج القياسي في بيانات مصادم الهادرونات الكبير. قالت فريا بليكمان: "أعمل في هذا المجال منذ عشرين عامًا، وقد رأيت نصيبي من التجاوزات يأتي ويذهب، كما رأيت نصيبي من النماذج المشهورة يأتي ويذهب. اعتمادًا على من تتحدث إليه، هناك أشخاص يشعرون بأنهم تحرروا من الوهم... لفترة طويلة جدًّا ظل الناس يخبرونهم بأنهم يجب أن يروا شيئًا ما. لكن التجارب لا يظهر منها سوى النموذج القياسي". لكن من وجهة نظرها، فإن التحرر من الوهم في غير محله. ليس لأن الناس يفتقدون التلميحات الموجودة بالفعل، ولكن لأنه لم يكن هناك، على الإطلاق، أي ضمان بأن هذه التجارب سوف تؤدي إلى العثور على أي شيء جديد.

ومع ذلك، فإن افتقاد الاتجاه من التجارب يمكن أن يثير القلق، وبدرجة تكفي لدفع بعض الباحثين للخروج من فيزياء الجسيمات نهائيًا، والاتجاه إلى علم الكون. أحد هؤلاء هو بدرو فيريرا Pedro Ferreira، عالم الكون في جامعة أكسفورد، والذي تحول من الجاذبية الكمِّيَّة إلى علم الكون أثناء دراسته للحصول على درجة الدكتوراه، والذي يدرس الآن الخلفية الكونية الميكروية والنسبية العامة في الفيزياء الفلكية على أمل أن تقدِّم بعض الأفكار الأفضل. ويقول فيريرا: "لم يكن هناك أي شيء ثوري حققته نظرية الجسيمات وأدَّى إلى نتائج رصدية منذ عام 1973". كان هناك الكثير من الأفكار النظرية الجديدة، وبعضها جذَّاب للغاية، ولكن بدون أدِلَّة تجريبية واضحة لشيء يتجاوز النموذج القياسي، ومن الصعب معرفة إلى أين نتجه بعد ذلك، أو أي من المقترحات المختلفة يُحتمل أن يكون صحيحًا". ويضيف: "هناك كل هذه الأشياء الجميلة التي خرجت. لكن هل

استطعنا حلَّ مشكلة الجاذبية الكمِّيَّة؟ لا أعتقد ذلك. والمشكلة هي، كيف سنعرف إذا كنا قد حللناها؟".

لحسن الحظ، لا أحد يفقد الأمل. لقد تحدَّثتُ مع العشرات من علماء الكون وفيزيائيِّي الجسيمات حول أين يتجه هذا الأمر برُمَّته (حيث أعني بكلمة "الشيء برُمَّته" كُلًّا من الفيزياء النظرية/علم الكون [الكوزمولوچيا] والكون الفعلي)، ورغم عدم وجود اتفاق حول النهج الأمثل، كان هناك عدد قليل من الموضوعات المشتركة. أحدها كان التنويع: أيًّا كانت التجارب الكبيرة متعددة الجنسيات أو برامج المراقبة التي نقرر الاستثمار فيها، فمن المهم تنويع مناهجنا والتوصل إلى أفكار من شأنها أن تمنحنا وجهات نظر جديدة حول هذه المشكلات القديمة (والتي تتناول الجانب النظري وكذلك جانب البيانات). أما الأمر الآخر فكان أهمية الاستمرار في الحصول على أكبر قدر ممكن من البيانات الجديدة، وتحليلها بكل الطرق الممكنة.

كليفورد چونسون Clifford V. Johnson، عالم الفيزياء النظرية في جامعة جنوب كاليفورنيا، يعمل على نظرية الأوتار، والثقوب السوداء، والأبعاد الإضافية للفضاء، ودقائق الإنتروبيا. وهو متعمِّق في النظرية البحتة مثل أي شخص أعرفه، كما أنه متحمِّس للغاية بشأن البيانات في الوقت الحالي. قال: "ما أشعر به هو أننا ربما نفتقر إلى فكرة مفردة من نوع جديد، لكننا لا نفتقر إلى مصادر ضخمة للبيانات. وهذا يذكِّرني بالأيام التي سبقت نظرية الكَمِّ مباشرة، أليس كذلك؟" في تلك الأيام، كانت النظرية مزدهرة، وهناك الكثير من الأفكار غير المكتملة حول بنية الذرات والنوى، لكن لم تكن ثمة فكرة مقنعة بالفعل. وأضاف: "لكننا حصلنا حينئذ على كل هذه البيانات الرائعة التي بدأت تتشكل في النهاية. لا أرى لماذا لا يمكن أن يحدث ذلك مرة أخرى. فعندما ننظر إلى تاريخ العلم، نجد أن تلك هي الطريقة الناجعة".

لذلك دعونا نتحدث عن البيانات: ما الذي ننظر إليه وكيف، في كلٍّ من علم الكون وفيزياء الجسيمات؟؛ ما الذي يمكن أن نعرفه عن فيزياء الكون اليوم وكيف سينتهي كل شيء في المستقبل؟، وبعد ذلك سوف نتحقَّق مرة أخرى مع المنظِّرين؛ لأن بعض الأفكار التي يتحدثون عنها الآن جامحة تمامًا.

مكتبة
t.me/soramnqraa

## لمس الفراغ

إذا أردنا أن نتعلم أي شيء عن المستقبل البعيد للكون، فمن الأفضل أن نتناول الفيل القاتل العملاق غير المرئي والمتوسع باستمرار في الغرفة: الطاقة المعتمة. عندما اكتُشف التوسع المتسارع للكون في عام 1998، وضعنا النموذج الجديد مباشرة على طريق مستقبل تهيمن عليه الطاقة المعتمة: مستقبل يصبح فيه الكون تدريجيًّا أكثر فَراغًا وبرودة وإظلامًا حتى تتحلَّل كل البِنَى وتتلاشى، وحتى نصل إلى الموت الحراري النهائي. لكن هذا مجرد استقراء يعتمد على أن الطاقة المعتمة ثابتٌ كوني لا يتغير. وكما رأينا، إذا كان المسؤول عن التسارع الكوني، أيًّا ما كان، يقع ضمن فئة الطاقة المعتمة الشبحية، أو إذا تغيَّر بطريقة ما مع مرور الزمن، فإن الآثار المترتبة على الكون ستكون مختلفة تمامًا.

لسوء الحظ، بقدر ما يختص الأمر بالملاحظات، فإن الطاقة المعتمة لا تمنحنا الكثير لنتمسك به. إنها، بقدر ما نستطيع القول، غير مرئية، وغير قابلة للاكتشاف في التجارب المعملية، وموزعة على نحو موحَّد تمامًا عبر الفضاء، ولا يمكن ملاحظتها حقًّا إلا من خلال تأثيراتها غير المباشرة على مقاييس أكبر بكثير من مجرتنا.

بشكل عام، هناك شيئان يمكننا قياسهما. الأول هو تاريخ توسع الكون، والذي ندرسه حاليًّا بشكل أساسي من خلال النظر إلى

المستعرات العظمى البعيدة جدًّا ومعرفة مدى سرعة انحسارها. والآخر هو تاريخ تكوين البنية، ونحن نستخدم كلمة "بنية" عمومًا للإشارة إلى المجرات وعناقيد المجرات، لأن كل الأشياء الصغيرة مثل النجوم والكواكب هي مجرد تفاصيل مزعجة إذا كنت من علماء الكوزمولوچي. يعد قياس ذلك أقل وضوحًا بعض الشيء، ولكنه يتيح أيضًا الكثير من الاستخدامات الإبداعية لأكوام هائلة من البيانات. وتتمثَّل الحيلة في الحصول على صور وأطياف لأكبر عدد ممكن من المجرات، على مساحة هائلة من الفضاء (ورقعة كبيرة من التاريخ الكوني)، واستخدام الأساليب الإحصائية لاستنتاج كيفية تجمُّع كلِّ هذه المادة بمرور الزمن. ويمكن استخدام هذين النوعين من القياسات معًا لمعرفة كيف أثَّرَت خصائص تمدُّد الفضاء للطاقة المعتمة على الكون ككلٍّ ومدى إعاقتها لما تبذله المادة من جهد للتكتل وتشكيل أشياء مثل المجرات وعناقيد المجرات ونحن.

عندما يكون لديك شيئان فقط يمكنك قياسهما لتحديد **مصير الكون بأكمله**، فمن المنطقي أن تستثمر الكثير في قياسهما بشكل جيد للغاية. في العَقدين الماضيين، كانت هناك زيادة في الاهتمام بالتلسكوبات والمسوحات الجديدة التي تظهر "الطاقة المعتمة" بارزة في قضاياها العلمية. صُمِّم بعضها حول مدى إمكانية استخدام قياسات التوسع والنمو الهيكلي لتحديد معادلة الطاقة المعتمة لمؤشر الحالة $w$ (نوقشت في الفصل الخامس). إذا كانت $w = -1$، الآن وفي الماضي، فلدينا ثابت كوني، وإذا كان الأمر مختلفًا على نحو يمكن قياسه بأي مقدار على الإطلاق، فلدينا الكثير من جوائز نوبل. ولكن حتى لو كنت لا تهتم بالطاقة المعتمة، أو إذا كنت تشترك في وجهة النظر المتشائمة القائلة بأننا محكوم علينا أن نضيق إلى الأبد في ثابت كوني متنوع، تميل مسوحات الطاقة المعتمة إلى أن تكون مشهورة

بالتضاعُف بين علماء الفلك من جميع المشارب، كما هو الحال مع المهام متعددة الأغراض التي تجمع بين المجرات.

نحن بانتظار تلسكوب المسح الشامل الكبير (LSST)، والذي أعيدت تسميته مؤخرًا بمرصد ڤيرا روبين (ڤيرو، Vera C. Rubin Observatory, VRO)، مثالًا رائعًا. ڤيرو، في الواقع، هو تلسكوب يبلغ طوله 8.4 متر يُقام على جبل صحراوي مرتفع في تشيلي، وسوف يلتقط صورًا لبضعة ملايين من المستعرات العظمى و10 مليارات مجرة، ويجمع صورًا جديدة للسماء الجنوبية بأكملها كل بضعة أيام. يُعدُّ هذا النوع من التغطية المتكررة أمرًا رائعًا لدراسات السوبر نوڤا، لأنه سيتيح لنا رؤية ارتفاع وانخفاض سطوع كل مستعر أعظم على مدار الأيام العديدة التي يكون خلالها الانفجار مرئيًا. ولكنه أيضًا رائع لدراسة المجرات، لأنه يعني أنك تستطيع تجميع الصور ليلا ونهارًا ورؤية مجرات أكثر خفوتًا وأكثر بُعدًا من أي مسح آخر من نوعه.

(من جانب آخر، لقد حضرت مؤخرًا جلسة مؤتمر حول الدفاع الكوكبي حيث كان المتحدثون يناقشون أنواع المراصد التي نحتاجها لاكتشاف الكويكبات التي قد تحمل خطورة، والتي قد تكون في مسار تصادُميٍّ مع كوكبنا الصغير الهَشّ. سوف يقوم ڤيرو، على الأقل بالنسبة للسماء الجنوبية، بإحداث ثورة في قدرتنا على التقاط هذه الأشياء في وقت مبكر؛ ممَّا قد يجعل من الأسهل إيجاد طرق لإيقافها. لقد استفدت من فكرة أنه من خلال محاولة فهم الطاقة المعتمة التي ستدمر الكون في نهاية المطاف، قد تكون لدينا فرصة أفضل لإنقاذ العالم، على نطاق زمني أقصر كثيرًا).

ومهما كانت استخداماته الأخرى، فإن القيمة الكونية لڤيرو VRO أكبر من أي مبالغة، حتى لو كان مجرد وجود أكوام هائلة

من البيانات الرائعة يمنحنا فرصة جيدة جدًّا للعثور على شيء جديد ومثير للدهشة. وفقًا لبيريس، فإن ڤيرو سوف يغيِّر قواعد اللعبة. وهي تقول: "إننا ننظر إلى الكون بطريقة مختلفة عما كان يحدث من قبل. وفي أي وقت ننظر فيه إلى الكون بطريقة لم تحدث من قبل، فإننا نتعلم أشياء جديدة".

وڤيرو ليس برنامج المراقبة الجديد الوحيد الذي يثير حماسنا. هناك عدد كبير من التلسكوبات والمسوحات الجديدة الأخرى التي بسبيلها إلى الظهور، كل منها مجهز لإظهار الكون بطرق لم نشهدها من قبل. ومن بين أكثر هذه التلسكوبات المتوقَّعة إثارة فئة من التلسكوبات الفضائية الجديدة مثل تلسكوب چيمس ويب الفضائي (JWST)، وتلسكوب إقليدس، وتلسكوب المسح واسع المجال بالأشعة تحت الحمراء (WFIRST)، والذي سيلتقط صورًا وأطيافًا عميقة باستخدام ضوء الأشعة تحت الحمراء؛ ممَّا يساعدنا على رؤية مجرات بعيدة جدًّا لدرجة أن ضوءها امتدَّ خارج الجزء المرئي من الطيف تمامًا.

حتى مراصد الخلفية الميكروية الكونية تدخل في لعبة الطاقة المعتمة. لقد رأينا في الفصل الثاني كيف يمكن لدراسة الخلفية الميكروية الكونية أن تفيد في معرفة المزيد عن الكون المبكر وأصول البنية الكونية. في الوقت الذي انبعث فيه ضوء الخلفية الميكروية الكونية، لم تكن للطاقة المعتمة أي أهمية على الإطلاق في الكون، وكانت تأثيراتها مغمورة تمامًا بالكثافات الشديدة للمادة والإشعاع؛ لذلك قد يكون من المفاجئ أن تعطينا عمليات رصد الخلفية الميكروية الكونية أي فكرة عن كيفية عمل الطاقة المعتمة اليوم. المسألة هي أن كل البنية الكونية التي نرغب في دراستها -كل مجرة وعنقود من المجرات- تقع بيننا وبين الخلفية الميكروية الكونية، وكل واحد من تلك الأجسام يشوِّه الفضاء الموجود فيه قليلًا بسبب جاذبيته.

تخيَّل أنك حصلت على نظرة خاطفة في بركة مياه صافية إلى الحصى بالأسفل. حتى لو كنت لا تعرف بالضبط المكان الذي كان ينبغي أن تكون فيه كل حصاة، أو جميع تشكيلاتها الدقيقة، فمن المحتمل أن تتمكن من معرفة الفرق بين الماء الساكن والماء الذي يحتوي على بعض التموجات من خلال ملاحظة التَّشوُّهات في شكل الحصى، لأن لديك فكرة عما يجب أن يبدو عليه الحصى بشكل عام. وبطريقة مماثلة، نحن نفهم الخلفية الكونية الميكروية جيدًا لدرجة أننا نستطيع، على الأقل بالمعنى الإحصائي، رؤية التشوهات الصغيرة في ضوئها بسبب كل الأشياء الموجودة بين هذا المكان وذاك. وهذا ما يُسمَّى عدسة الخلفية الميكروية الكونية، وهي أداة رائعة لدراسة نمو البنية الكونية. ستساعدنا مراصد الخلفية الميكروية الكونية الجديدة في تحسين الطريقة، لكننا استخدمنا بالفعل عدسات الخلفية الميكروية الكونية لعمل خريطة **لكل المادة المعتمة في الكون المرصود**. من المؤكد أن الخريطة عبارة عن خريطة منخفضة الدقة بشدة، وغير واضحة، مثل خريطة للعالم مستنسخة من الذاكرة برسم يدوي، ولكن لا يزال من المثير للإعجاب أنه يمكننا القيام بمثل هذا الشيء على الإطلاق.

تستخدم رينيه هوچيك Renée Hložek، عالِمَة الكون بجامعة تورنتو، عمليات مسح الخلفية الميكروية الكونية والمجرات لفهم نموذجنا الكوني بشكل أفضل، مع اهتمام خاص بالطاقة المعتمة والمصير النهائي للكون. وتشير إلى أن دمج البيانات بين أشياء مثل ڤيرو ومراصد الخلفية الميكروية الكونية الجديدة سيصبح قويًّا على نحو الخصوص مع تحسُّن كل مجموعة من البيانات. ويمكننا، باستخدام تقنية تسمَّى الارتباط المتبادل، أخذ ما نعرفه عن مواقع الأجسام الفردية من كتالوجات المجرات ومقارنته بما نعرفه عن التوزيع الأوسع نطاقًا للمادة من عدسة الخلفية الميكروية الكونية. وهذا

يمكن أن يمنحنا نتائج أكثر دقّة ممّا يجعل من الصعب تفويت أي انحرافات عن نموذج التوافق. وتقول هوچيك إن النظريات البديلة التي تستخدم التغيرات في الجاذبية لمحاكاة تأثيرات الطاقة المعتمة ستبدو مختلفة كثيرًا في البيانات المجمعة. وتضيف: "في الأساس، أعتقد أنه لن يكون لدينا أماكن للاختباء".

ما هي الأشياء الرائعة الأخرى التي يمكنك رؤيتها إذا كان لديك صور لمليارات المجرات؟ أحد الأشياء الكبيرة هو عدسة الجاذبية القوية، وفيها نرى مجرة أو عنقود من المجرات تقوم بتشويه الفضاء الموجودة فيه لدرجة أن الضوء الصادر من جسم خلفها مباشرة ينقسم إلى صور متعددة، أو ينتشر على شكل قوس من الضوء يحيط بها. فكِّر في النظر إلى شمعة من خلال قاعدة كأس نبيذ فارغ؛ فالكأس المنحني ينشر الضوء على هيئة أقواس عريضة أو دائرة بدلًا من إظهاره لك كشعلة واحدة. عندما تقوم عدسة الجاذبية بذلك، تتبع الصور الفردية مسارات مختلفة عبر الفضاء المشوه. وهذا يعني أنه، على سبيل المثال، إذا انفجر مستعر أعظم في المجرة ذات العدسات، فمن الممكن رؤية ذلك في إحدى الصور قبل أن يظهر في صورة أخرى؛ لأن الضوء الذي يشكِّل الصورة الثانية اتخذ مسارًا أطول للوصول إلينا.

وفضلًا عن كونها خدعة احتفالية رائعة[1]، فإن قياسات التأخير الزمني مثل هذه توفِّر لنا طريقة جديدة لقياس معدل تمدُّد الكون؛ نظرًا لأن المسافات المعنية كبيرة جدًّا بحيث يصبح التوسع عاملًا هامًّا في الحساب. ونحن بحاجة ماسَّة إلى طرق جديدة لقياس معدل التوسع؛ لأن أساليبنا الحالية تعطينا إجابات مختلفة بشكل غريب.

---

(1) "هل ترى ذلك النجم هناك؟ ذلك النجم سوف ينفجر في خلال عام. بفارق زائد أو ناقص أربعة أشهر. فقط لاحِظْ، سوف ترى". (مأخوذ بتصرف من Treu et al. 2016, The Astrophysical Journal).

كما تتذكر من الفصل الخامس، فإن قياس معدل التوسع (المعروف أيضًا باسم ثابت هابل) باستخدام المستعرات العظمى يعطينا رقمًا معيَّنًا، وقياسه عبر الخلفية الميكروية الكونية يعطينا رقمًا آخر. لقد فشل عدد كبير من القياسات الأخرى في حَلِّ هذا التناقُض، حيث تسقط عمومًا في جانب أو آخر (في نتيجة حديثة جدًّا ظهر شيء ما بينهما، ولكنها لم تكن مفيدة، حيث جاءت بطريقة لا تتفق مع أي من الجانبين). قد تكون قياسات تأخير وقت عدسة الجاذبية طريقة لحل المشكلة، لأنه مع ڤيرو، سوف يتغير عدد الأنظمة التي يمكننا استخدامها من أنظمة قليلة إلى مئات. يمكن لقياسات موجات الجاذبية بأدوات مثل ليجو LIGO (مرصد أمواج الجاذبية بالتداخل الليزري، سبقت مناقشته في الفصل السابع) أن تساعدنا على إلقاء نظرة ثاقبة هنا أيضًا، وفي العقد القادم أو نحو ذلك قد تصل إلى الدقة اللازمة لتسوية المسألة أخيرًا.

## المنظر من الحقل الأيسر

أحد الأشياء التي أحبها في علم الكون هو أنه يتطلب التفكير بشكل إبداعي، مع محاولة تناول فيزياء الكون من اتجاه جديد تمامًا. هذا لا يعني شطحات حرَّةً تمامًا من الخيال. لا يمكنك اختلاق الأشياء بشكل عشوائي. ولكن ما يمكنك (ويجب عليك) فعله هو أن تجد دائمًا طرقًا جديدة للنظر في المشكلات لانتزاع المزيد من المعرفة من أي بيانات يقدمها لك الكون.

يصبح هذا النوع من التفكير الإبداعي مهمًّا على وجه الخصوص عندما نواجه معضلة مثل "كيف يمكننا تحسين علم الكون التوافقي أو النموذج القياسي؟". كل ما جربناه حتى الآن كان متَّسقًا بشكل محبط مع التوقُّعات؛ أين من المفترض أن نجد أدِلَّة تقودنا إلى نماذج جديدة إذا لم نتمكن من كسر شيء ما في النموذج الحالي؟

يشعر كليفورد چونسون Clifford Johnson بالتفاؤل، ويشير إلى أن هذا الافتقار إلى الاتجاه الواضح قد يكون مفيدًا بالنسبة لنا. قال لي: "ليس لديَّ شيء يمكنني أن أشير إليه وأقول: هذا هو المستقبل!. أشعر فقط أن تنوُّع الأشياء التي دُفعنا للقيام بها... ربما يكون أمرًا صحِّيًا إلى حدٍّ ما".

لذلك، نحن نتفرَّع. هناك مسوحات راديو تحاول إلقاء الضوء على العصور المظلمة للكون بين زمن الخلفية الميكروية الكونية وحقبة النجوم الأولى، بأمل أن بعض الابتعاد عن علم الكون التوافقي قد يكشف أنه أكثر فائدة. هناك أنواع جديدة من أجهزة كشف موجات الجاذبية تعتمد على تقنيات مختلفة مثل التداخل الكمي بين الذرات وجمع الإشارات الصادرة عن النجوم النابضة.

وقد توفر لنا هذه المعلومات، بطريقة غير مباشرة، معلومات عن سلوك الثقوب السوداء أو فيزياء الكون المبكر. قد توضِّح لنا التجارب التي تبحث عن طرق جديدة للعثور على المادة المعتمة كيفية توسيع النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات، أو تغيير تفكيرنا في علم الكون. يمكن لدراسات استقطاب الخلفية الميكروية الكونية أن تظهر لنا علامات على التضخم الكوني تُغيِّر فهمنا تمامًا للكون المبكر. أو قد يؤدي الافتقار إلى مثل هذه الإشارات إلى تحفيز المزيد من الدراسات حول بدائل التضخم مثل علم الكون الارتدادي. وقد تتمكَّن التجارب المعملية التي تدرس أفكارًا بديلة حول طاقة الفراغ من أن تحلَّ مشكلة الطاقة المعتمة في النهاية، إذا ظهر بعد كل شيء أنها ليست ثابتًا كونيًا. وربما يكون من الممكن، من خلال عمليات رصد تمتد لعقود، قياس توسع الكون **مباشرة** من خلال التحديق إلى مصدر بعيد لفترة طويلة بحيث تتغير السرعة الظاهرية لابتعاده عنَّا.

بيدرو فيريرا متفائل أيضًا بشأن هذا التنوع في الأساليب. يقول: "أعتقد أن الأمر برُمَّته قد يبدو متخصصًا وتافهًا تمامًا"، لكن وجود عدد كبير من الأشخاص فجأة يجهدون أدمغتهم بشكل فردي للتوصل إلى شيء جديد قد يكون هو ما نحتاج إليه تمامًا. يضيف: "قد يكون لدى شخص ما فكرة مستخرجة من هذا الانفجار. 'أوه! هذه هي الطريقة لمعرفة المستقبل'".

كم من الوقت سيستغرق مثل هذا البرنامج هو سؤال آخر. إذا كنا نحاول فقط التمييز بين الثابت الكوني وأي شكل آخر من أشكال الطاقة المعتمة، فلدينا حرفيًّا كل الوقت في العالم، ثم بعض الوقت. لا توجد في الواقع نظرية تقول إن الطاقة المعتمة يمكن أن تدمِّر كوكبنا قبل أن تقوم شمسنا بهذه المهمة.

لكن اضمحلال الفراغ أمر آخر. إن النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات، وهو نفس النموذج الذي اجتاز كل الاختبارات التجريبية التي توصَّلنا إليها، يضعنا في موقف محفوف بالمخاطر على حافة عدم استقرار شامل وكامل. ما مدى احتمال أن يكون هذا خطرًا فعليًّا، أو شذوذًا في استقراء نظرية غير مكتملة؟ هذا يعتمد على من تسأل (لمجرد التسجيل، لقد سألت العديد من الخبراء وحصلت على إجابات تتراوح من "هذا يعني أن نظريتنا خاطئة" وإلى "الخطر ضئيل حقًّا" وحتى "ربما فقط كنا محظوظين حتى الآن". افهم ما تشاء من ذلك). على أية حال، إذا أردنا أن نكون قادرين على قول شيء يبعث على اطمئنان أكثر من القول بأنه "لا فائدة من القلق لأنك لن تشعر بأي ألم"[1]، فسوف نكون بحاجة إلى نوع محدَّد للغاية من البيانات.

---

(1) أتوجه بالشكر إلى خوسيه رامون إسبينوزا José Ramón Espinosa، المنظِّر المقيم في مدريد، والزميل العلمي في المنظمة الأوروبية للأبحاث النووية CERN. كانت مساعدته مفيدة للغاية.

ولحسن الحظ، لدينا فكرة جيدة عن المكان الذي يمكننا الحصول منه على تلك البيانات.

## آلات الاكتشاف

لا يوجد مكان على وجه الأرض لديه مثل هذا الارتباط المستمر، وإن كان غير مستحق على الإطلاق، بتدمير الكون من المنظمة الأوروبية للأبحاث النووية (CERN). تُعرف CERN بأنها موطن مصادم الهادرونات الكبير، وهو عبارة عن حرم مترامي الأطراف من المختبرات ومباني المكاتب التي تغطي حوالي ستة كيلومترات مربَّعة وتمتد على الحدود الفرنسية السويسرية بالقرب من جنيف. إنها في الأساس مدينة حدودية صغيرة متخصصة بشكل غريب، مكتملة بقسم إطفاء خاص بها ومكتب بريد، إلى جانب المختبرات ومحلات الآلات ومصنع حقيقي للمادة المضادة. كان الفيزيائيون في CERN يقومون بتسريع وتحطيم البروتونات منذ خمسينيات القرن العشرين، قبل وقت طويل من بناء مصادم الهادرون الكبير، ويقومون بإجراء تجارب معقَّدة ومتزايدة الحساسية لفحص طبيعة الجسيمات دون الذرية عن طريق جعلها متضادَّة تمحو بعضها البعض. ساعدتنا هذه الأنواع من التجارب في إنشاء النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات، وفشلت التجارب المستمرة لأكثر من خمسين عامًا في العثور على أي عيوب في هذا النموذج، عيوب واسعة بما يكفي لإدخال جسيم جديد من خلالها.

لكن المنظمة الأوروبية للأبحاث النووية (CERN) تواصل المحاولة. وليس فقط لأن تحطيم الأشياء هو أمر ممتع للغاية.

اسم اللعبة في مصادمات الجسيمات هو الطاقة. إن رمي الجسيمات على بعضها البعض بشكل أسرع يعني أن الصدام النهائي سيحدث

عند طاقة أعلى، وكلما زادت طاقة صداماتك، زادت مساحة الفيزياء الجديدة المحتملة التي يمكنك الوصول إليها. يمكنك التفكير في طاقة الصدام باعتبارها عملة قانونية، تُستبدل مقابل كتلة الجسيمات عبر $E = mc^2$[1]. وإذا كانت الطاقة الإجمالية في الصدام أعلى من الكتلة المكافئة للجسيم الذي تحاول تكوينه، فما دامت نظريتك تسمح بأي نوع من التفاعل بين هذا الجسيم والجسيمات التي حطَّمتها معًا، فلديك فرصة لخلق هذا الجسيم. تميل امتدادات النموذج القياسي إلى تضمين جسيمات أثقل بكثير من تلك التي اكتشفناها حتى الآن؛ ممَّا يعني أننا بحاجة للوصول إلى طاقات أعلى وأعلى للعثور عليها. ولكن حتى عندما تصل إلى عتبة الطاقة الصحيحة، فإن الأمر يتطلب أكثر من إنشاء جسيم واحد للحصول على إشارة ذات معنى وذات دلالة إحصائية. كان على مصادم الهادرونات الكبير أن يعمل لسنوات، محطِّمًا تريليونات لا حصر لها من البروتونات[2]، قبل أن يجمع ما يكفي من البيانات ليقول بقدرٍ معقول من اليقين أنه تمَّ العثور على بوزون هيجز.

ذلك الاندفاع المستمر نحو الحدود القصوى للطاقة هو ما يؤدي إلى السُّمعة المؤسفة للمنظمة الأوروبية للأبحاث النووية CERN باعتبارها تهديدًا وجوديًّا. يذهب التفكير إلى أنه إذا لم تشهد البشرية من قبل مثل هذا القدر من الطاقة مركَّزة في مكان واحد، فمن يدري ماذا **يمكن** أن يحدث؟ تتضمن بعض المخاوف السيناريوهات المزعجة التي ناقشناها في الفصول السابقة، مثل تكوين ثقوب سوداء صغيرة، أو التَّسبُّب في اضمحلال الفراغ الكارثي. لحسن الحظ، في كل سيناريو كارثة قُدِّم حتى الآن، يمكننا بسهولة أن ننحي المخاوف جانبًا بناءً

(1) وضع ألبرت أينشتاين هذه المعادلة $E=mc^2$ للتعبير عن العلاقة بين الطاقة (E) والكتلة (m) عندما تكون في سرعة الضوء في الفراغ (c). [المترجمة]

(2) ربما ما يقارب 1510، لكني أرفع اعتراضًا أخلاقيًّا ضد كلمة "كوادريليون" (quadrillion).

على حقيقة أن مصادم الهادرونات الكبير لا يُعتبر حتى ومضة مقارنة بعنف تدمير الجسيمات الذي يجري في كل مكان حولنا في الكون. ولكن في أذهان بعض غير الفيزيائيين القَلِقين على وجه الخصوص، ليس كل القلق محدَّدًا بشكل جيد، أو يمكن تخفيفه بسهولة، على الرغم من أن مصادم الهادرونات الكبير (LHC) عمل بأمان تام ودون أي ضرر لأكثر من عقد من الزمان. بحلول الوقت الذي زُرت فيه المنظمة الأوروبية للأبحاث النووية (CERN) في فبراير/شباط 2019، بدت النِّكات على الإنترنت حول قيام مصادم الهادرونات الكبير بفتح بوابة إلى بُعدٍ آخر، أو تحويل الكون إلى "الجدول الزمني السيئ"، منتشرة كما كانت دائمًا.

إن حرم المنظَّمة نفسه، في معظمه، ليس مكانًا مثيرًا للإعجاب خاصة. بمجرد تجاوز ردهة الاستقبال العام الجذابة، ستشعر وكأن المكان عبارة عن منشأة صناعية متهالكة، مع مزيج من المباني المنخفضة الباهتة المبنية على طراز حقبة الستينيات، بنوافذ ذات شيش معدني داكن. كل مبنى يحمل أرقامًا بارزة، ويضم معمله الخاص أو مجموعته البحثية، والمكاتب تحمل لوحات أسماء ورقية مؤقتة لاستيعاب الموظفين العلميين الذين يتنقلون باستمرار. وعبر الحرم الجامعي بأكمله، يبلغ عدد الفيزيائيين العاملين بشكل دائم في CERN أقل من مائة، بينما يشغل بقية المختبرات والمكاتب آلاف الباحثين الزائرين من جميع أنحاء العالم، والذين يقضون في أي مكان من أسبوع إلى بضع سنوات؛ ذلك أن العمل المكثف في الموقع ضروري للحفاظ على استمرار التجارب واسعة النطاق. عند السير في الممرات الطويلة المعتمة لأحد هذه المباني، قد تنسى أنك في أشهر منشأة تجريبية في العالم، وتتخيل نفسك في قسم الفيزياء بأي جامعة عادية، تختلس النظر إلى طلاب الدراسات العليا وباحثي ما بعد الدكتوراه

وهـم ينقـرون عـلى لوحـات مفاتيـح أجهـزة الكمبيوتـر المحمولـة، أو يخربشـون المعـادلات وجـداول العمـل عـلى السـبورات البيضـاء.

ومـع ذلـك، عندمـا تـرى التجـارب، فـإن وهـم الصـورة العاديـة ينحـسر سريعًـا وينكـسر إلى الأبـد.

لقـد انقسـمت زيـارتي الخاصـة إلى المنظمـة الأوروبيـة للأبحـاث النوويـة بـين طـرفي المنظمـة. في بعـض الأيـام، كنـت أختبـئ بهـدوء في مكتـب مـشرق في البـاب الثـاني مـن قسـم النظريـة، أقـرأ الأوراق وآخـذ فـترات راحـة في غرفـة الشـاي لرسـم تخطيـط سريـع للمعـادلات والدردشـة مـع المنظِّريـن الآخريـن حـول اضمحـلال الفـراغ وبحثـي الخـاص عـن المـادة المعتمـة. وفي أيـام أخـرى، كنـت أرتـدي قُبَّعـةً صلبـة، عـلى عمـق 100 متـر تحـت الأرض، وأقـف عـلى ممـر معـدني وأنظـر إلى أسـطوانة ثقيلـة يبلـغ طولهـا 25 مـترًا مجهَّـزة بـآلات معقـدة لا يمكـن تصوُّرهـا. تُعـدُّ التجـارب في المنظمـة الأوروبيـة للأبحـاث النوويـة (CERN) مـن أكـثر الآلات التـي ابتكرتهـا البشريـة -عـلى الإطـلاق- تقدُّمًـا ودقَّـةً، وقـد صُمِّمَـت وبُنيـت بأيـدي فـرق مُكوَّنـة مـن آلاف الأشـخاص عـلى مـدار عقـود مـن الزمـن بهـدف اكتشـاف تغيـرات دقيقـة للغايـة في حـركات وطاقـات الجسـيمات التـي تضمحـلُّ في غضـون ميكروثانيـة. وفي الوقـت نفسـه، يحـاول المنظِّرون أن يسـتخرجوا مـن المعـادلات ذات التعقيـد الـذي يمكـن مقارنتـه رغـم التجريـد تأثـيرات هـذه التجـارب عـلى طبيعـة الفضـاء والكـون نفسـه. إنـه مـكان مثـير للغايـة.

ومـع ذلـك، فهـو أيضًـا مـكان بيروقراطـي للغايـة، فهـو معهـد تحكمـه المعاهـدات الدوليـة ويديـره تحالُـفٌ مـن ثـلاث وعشريـن دولـة مختلفـة، كـما أنـه يسـتضيف باحثـين مـن كل ركـن مـن أركان الكوكـب. وهـذا النوع مـن التعـاون ضروري لجهـد بهـذا الحجـم والتكلفـة، ولكـن جوهـر الهيـكل التنظيمـي للمنظمـة الأوروبيـة للأبحـاث النوويـة هـو أن مسـتقبل المنشـأة

وأي تجارب جديدة تعتمد على السياسة الدولية بقدر ما تعتمد على أي اعتبارات علمية. خلال زيارتي، لم يكن الموضوع الساخن في الكافتيريا يدور حول نتيجة تجريبية جديدة ومثيرة، بل حول سلسلة من المقالات الافتتاحية في الصحف تناقش جوانب مختلفة بالتبادل لمزايا اقتراح CERN لبناء ما يسمَّى بالمصادم الدائري المستقبلي (Future Circular Collider [FCC])، وهو مصادم جسيمات كبير جدًّا، لدرجة أن مصادم الهادرونات الكبير الذي يبلغ طوله 27 كيلومترًا سيصبح مجرد معجِّل مُسبَق لرفع البروتونات إلى سرعة يمكن من خلالها أن تبدأ في الدوران في المصادم الدائري المستقبلي. هذا المصادم الدائري المستقبلي (FCC) يمكن أن يصل إلى طاقات تبلغ 100 تيرا إلكترون فولت (TeV)، وهو ما يُعدُّ رُتبةً أعلى بكثير ممَّا هو ممكن حاليًّا في مصادم الهادرونات الكبير (LHC).

وكما أوضحت لي فريا بليكمان أثناء زيارتي، تستغرق هذه التجارب عقودًا من الزمن لإعدادها، ويمكن أن تستغرق البيانات المستمدة من التجارب الحالية وقتًا طويلًا بالمثل لتحليلها؛ لذا ينبغي إجراء المناقشات حول الاتجاه التجريبي التالي حاليًّا. إن نوع البيانات التي نحصل عليها بالفعل من مصادم الهادرونات الكبير، وترقياته القادمة، سوف يستغرق منَّا عشرة أو حتى خمسة عشر عامًا أخرى لتحليلها بالكامل. تقول بليكمان: "لذا فهذا هو الوقت المناسب لاتخاذ القرار: ماذا نريد؟ هل نريد مصادم الإلكترون والبوزيترون؟ هل يجب أن يكون خطِّيًّا؟ هل يجب أن يكون دائريًّا؟ ما هي إيجابيات وسلبيات كلٍّ منهما؟ هل نريد أن نتجه مباشرة إلى آلة بروتون-بروتون ذات طاقة أعلى؟".

يمكن أن تزداد، بدرجة ما، سخونة الحجج المؤيدة والمعارضة للمصادمات المستقبلية، وخاصة المصادم الدائري المستقبلي. وحتى لو وضعنا التكلفة جانبًا (حوالي 10 مليار يورو كحد أدنى)، فإن المناقشات

تظل قائمة حول الوعد -أو عدم وجود وعد- بأن مصادمًا أكبر سيعثر على جسيمات جديدة. ربما لا تظهر "الفيزياء الجديدة" بعيدة المنال التي نبحث عنها تظهر إلا عند طاقات عالية جدًّا لدرجة أنه حتى الآلات العملاقة مثل المصادم الدائري المستقبلي (FCC) ليس لديها أمل في الوصول إليها بأي حال. أو ربما أن مجرد التركيز على زيادة الطاقة يضعنا على المسار الخاطئ تمامًا، وهناك بعض الأدلة حول وجود فيزياء جديدة تختبئ في نظام آخر لم نستكشفه بعد، وربما هي موجودة حتى في البيانات التي لدينا بالفعل.

كان الباحثون الذين تحدثت إليهم في المنظمة الأوروبية للأبحاث النووية (CERN) مُصرِّين على أن زيادة الطاقة أمر ضروري لدفعنا إلى الأمام، حتى لو كان ذلك فقط من أجل فهم أفضل للنموذج القياسي. وهو ما يقدم لنا، في نهاية المطاف، شبح اضمحلال الفراغ. إذا كان سيف ديموقليس هذا معلَّقًا فوق رؤوسنا، فسيكون من الجيد أن نعرف بالضبط ما الذي يفعله هناك.

أندريه ديڤيد André David، الباحث في مصادم الهادرونات الكبير في مشروع تعاون لولب قياس الميون (Compact Muon Solenoid [CMS]) الذي استضاف زيارتي لأداة الكشف، أشار إلى أن الإجابة على هذا السؤال هي دافع رئيسي لبناء المصادم الدائري المستقبلي (FCC) والتجارب المشابهة له. وقال: "إن أحد الأسباب التي تجعل الناس يقولون: 'أوه، يجب أن نختار مصادمًا بقدرة 100 تيرا إلكترون ڤولت'، هو أنك ستحصل في الواقع على فرصة لإتقان هذا الأمر".

وكما يشير ديڤيد، لدينا بالفعل لغز على الطاولة: طبيعة حقل هيجز، ومصيره (ومصيرنا). البيانات التي حصلنا عليها بالفعل، ونعمل على تحليلها، يمكن أن تبدأ في تتبع طبيعة هيجز بمزيد من التفصيل، ولكن باستخدام مصادم جديد، قد نتمكن أخيرًا من الإجابة على السؤال: ماذا يعني حقًّا عدم الاستقرار الذي يهددنا باضمحلال الفراغ؟

وكما ناقشنا في الفصل السادس، فإن إمكانات هيجز هي البنية الرياضية التي تحدد كيفية تطوُّر مجال هيجز، والأهم بالنسبة لنا، ما إذا كان سيرسلنا جميعًا إلى هلاكنا. إنه، بالمعنى الحقيقي، الكأس المقدسة لفيزياء الجسيمات. ولكن مع النظريات الحالية، ليس لدينا القدرة الكافية لتناوله وفق ما يبدو منه. وبناء على فهمنا الحالي، تعتمد هيئته بحساسية على التأثيرات المتنافسة لعدة جوانب مختلفة يصعب حسابها في النموذج القياسي، وأما إذا وُجدت نظرية لطاقة أعلى من نوع ما، فهذا قد يغير من الصورة تمامًا.

بعض الباحثين الذين تحدَّثتُ إليهم، ومنهم جون إليس John Ellis، أحد مُنظِّري CERN (وأحد أبرز المدافعين عن التناظُر الفائق)، يشتبهون في أن عدم الاستقرار الواضح لجسيم هيجز لا يمثل في الواقع تهديدًا وجوديًّا، بل هو علامة على وجود ما يدل على أن هناك شيئًا لا نفهمه في النظرية.

يأمل خوسيه رامون إسبينوزا José Ramón Espinosa، المنظِّر الذي يدرس اضمحلال الفراغ، أن يجد طرقًا لفهم الإمكانيات الكامنة لهيجز بشكل أفضل، ومعرفة ما قد يعنيه وضعنا غير المستقر على حافة الاستقرار، دون انتظار ظهور فقاعة فراغ حقيقية[1]. ويقول: "ليس ثمة سبب لأن تكون الإمكانيات الكامنة على هذا النحو. نحن نعيش في هذا المكان المميز للغاية. ومن ثم، أنا أرى أنه أمر مثير للاهتمام نوعًا؛ ربما يحاول هذا أن يخبرنا بشيء ما". يعتمد مفتاح فهم إمكانات هيجز في النهاية على ما أطلقنا عليه **الاقترانات الجارية**، وهي التفاعلات بين الجسيمات والمجالات وكيف تتغير مع الصدامات ذات الطاقة الأعلى. يقول إسبينوزا: "قد تكون هذه إحدى الرسائل

(1) يشير إسبينوزا إلى أن هذه الطريقة غير مرغوبة على وجه الخصوص، حيث إننا "لن نتعلم أي شيء منها، لأننا حتى لن نرى ما يدلُّ على قدومها".

الرئيسية لمصادم الهادرون الكبير، إذا لم نجد أي شيء آخر. بالطبع، إذا اكتشف المصادم فيزياء جديدة، فمن المرجح أن يتداخل هذا مع تدفق الاقترانات. وهنا، يمكن أن يحدث أي شيء. ربما تكون الإمكانيات مستقرة، وربما تكون أقل استقرارًا. نحن لا نعرف".

بالإضافة إلى النقطة الصغيرة (ولكن المهمة!) لتحديد مصير الكون، فإن الفهم الأفضل لمجال هيجز يمكن أن يوضِّح لنا كيف تعمل الكتلة، أو لماذا تظهر القوى الأساسية مع نقاط القوة التي نقيسها. بل يمكن أن يشير إلى الطريق نحو نظرية توحِّد القوى، أو يساعدنا على فهم الجاذبية الكَمِّيَّة.

إن الحصول على نوع من التوجيه من الملاحظات أو التجارب حول كيفية تحسين علم الكون التوافقي أو النموذج القياسي سيكون مفيدًا للغاية. لأنه على الجانب النظري البحت للأشياء، تصبح الأمور غريبة جدًّا، جدًّا.

## من خلال زجاج داكن

عثرت مؤخرًا على صورة قديمة بالأبيض والأسود لبول ديراك Paul Dirac، الحائز على جائزة نوبل ورائد ميكانيكا الكَمِّ، وهو يقف في معهد برينستون للدراسات المتقدمة ويتدلَّى فأسه على كتفه. خلال زياراته العديدة هناك من ثلاثينيات إلى سبعينيات القرن العشرين، كان معروفًا أنه يتجول في الغابة خلف المعهد، ممهِّدًا طُرُقًا جديدة للمنظِّرين المقيمين للمشي والتحدث والتفكير في طبيعة الواقع. وكان مرشدي الخاص عبر تلك المسارات الموحِلة نفسها هو نيما أركاني حامد Nima Arkani-Hamed، وهو ما يبدو مناسبًا، لأنه مُنظِّر عازم على هدم فهمنا الحالي لميكانيكا الكم، ومفهوم الزمكان نفسه برُمَّته.

كان أركاني حامد يعمل على طريقةٍ لحساب التفاعلات بين الجسيمات باستخدام إطار عمل جديد تمامًا، إطار يبدأ من نوع من الرياضيات التجريدية التي لا تتضمَّن المكان والزمان على نحو صارم. لا يزال العمل في مراحله الأولى، وينطبق حتى الآن على بعض الأنظمة المثالية أكثر من تطبيقه على النتائج التجريبية. ولكن إذا نجح الأمر، فإن التأثيرات سوف تكون أكثر إثارة للدهشة والذهول. قال لي: "ما نراه هو مجرد أمثلة كلعبة الأطفال، إنها أمثلة كاللعب، أليس كذلك؟ يمكنك استخدام أي عددٍ تريدينه من التَّصغيرات على ما تمَّ إنجازه بالفعل، وسأكون متعاطفًا تمامًا. ولكن من حيث القيمة، فقد بدأ يظهر مثال أو اثنان من الأنظمة الفيزيائية الملموسة الفعلية التي لا تبعد كثيرًا عمَّا نراه في العالم الحقيقي حيث يمكننا في الواقع معرفة كيفية وصفها دون الزمكان أو ميكانيكا الكم". أخبرته أنني أحاول فهم ما يعنيه العيش في عالم لا يكون فيه المكان والزمان حقيقيين. ضحك قائلًا: "انضمِّي إلى النادي".

قبل أن ترفض الفكرة باعتبارها مبالَغة من تنظيريٍّ غريب الأطوار، لا بُدَّ أن أشير إلى أن أركاني حامد ليس الوحيد الذي يتحدث بهذه الطريقة. فبعد بضعة أشهر، أخبرني كليفورد چونسون، بلا مبالاة: "أنا متأكد من أنكِ سَمِعتِ هذا من العديد من الأشخاص، لكنني أعتقد أننا نتحسَّن في إدراك أحد الأشياء التي كنَّا نقولها في نظرية الأوتار لفترة طويلة، وهي أن الزمكان ليس أساسيًّا".

أوه نعم. تلك التفصيلة الصغيرة. بكل تأكيد.

نَهْجُ چونسون في تناول هذه المسألة مختلفٌ بعض الشيء. هناك بعض التلميحات المثيرة للاهتمام في نظريات الجاذبية الكمية عن صِلات غير متوقَّعة بين الفيزياء على نطاقات صغيرة وكبيرة، بطرق لا معنى لها في تفكيرنا المعتاد حول كيفية عمل الزمكان. يمكن تقديم

تفسير مبسط عندما نقول إنَّكَ إذا تخيَّلتَ إجراء تجارب في نوع افتراضي من الفضاء له نصف قُطر مُعيَّن، دعنا نُسمِّه R، فإن نتائج تلك التجربة ستبدو تمامًا مثل نتائج نفس التجارب في مساحة أصغر بكثير، مع نصف القطر يساوي 1 مقسومًا على R. في نظرية الأوتار، يُطلق على هذا اسم ازدواجية T، وهي مصادفة غريبة للغاية بحيث يبدو وكأنها تخبرنا بشيء عميق. يقول چونسون: "إذا سألت الناس عن هذه المسألة، فإن الإجابة التي سيقدِّمونها هي أنه بمعنى من المعاني، لا شيء منها حقيقي. بمعنى أنه من خلال تقويض الكبير والصغير، فإن ما تفعله حقًّا هو تقويض كل ما يفعله الزمكان في المقام الأول".

لقد حاول بعض المُنظِّرين طمأنتي. يعتقد شون كارول Sean Carroll، عالم الكون في معهد كاليفورنيا للتكنولوچيا والمهتم في أيامنا هذه بأُسُس ميكانيكا الكم، أننا جميعًا متهورون بعض الشيء في رفض الزَّمكان باعتباره غير واقعي بدقَّة. يقول لي: "إنه حقيقي ولكنه **ليس أساسيًّا**. تمامًا مثل أن هذا الجدول حقيقي، ولكنه ليس أساسيًّا. إنه مستوى أعلى من الوصف الناشئ. وهذا لا يعني أنه غير حقيقي". والواقع أننا، في الأساس، لا ينبغي أن نعلق كثيرًا على هذا لأنه ليس مثل أن الزمكان غير موجود، كل ما في الأمر هو أنه إذا فهمنا حقًّا مِمَّ يتكوَّن، فسوف يبدو، على مستوى أعمق، وكأنه شيء آخر تمامًا.

وهذا لا يطمئنني في الواقع[1]. كعالمة فيزياء، أحاول دائمًا الحفاظ على مستوى معيَّن من التَّحفُّظ الهادئ عندما يتعلَّق الأمر بموضوعي، لكن فكرة أن الزمكان حقيقي فقط بمعنى أنه شيء يمكننا التحدث عنه

(1) شيء آخر أشار إليه شون كارول، وهو أنه، إذا كان تفسيره لميكانيكا الكم صحيحًا، فهناك نسخ بأعداد لا نهاية لها من أنفسنا في عوالم موازية، وهي في هذه اللحظة تخضع لاضمحلال الفراغ؛ ومن ثم، فمن المحتمل أنه لن يكون أبدًا في الواقع أفضل مكان نلجأ إليه للنجاة من الكارثة الوجودية.

ودراسته، ولكن ليس بمعنى أنه الشيء الذي صُنع منه الكون في الواقع، هذا لا يزال يجعلني أشعر أن الكون قد ينهار تحتي في أي لحظة.

وسواء كان لهذا علاقة بكيفية ومتى سينتهي الكون أم لا، فلا يزال سؤالًا مفتوحًا. مهما كان الزمكان حقيقيًّا أم لا، فنحن جميعًا نعيش هناك، وما يحدث للزمكان لا بُدَّ أن يؤثر علينا. ولكن إذا كان التفكير في الزمكان الناشئ أو صياغات جديدة لميكانيكا الكم يقودنا إلى نظرية أساسية أعمق؛ فقد يغيِّر ذلك نظرتنا بشكل جذري. ربما، كما يقترح چونسون، تشير الروابط بين المقاييس الكبيرة والصغيرة إلى مصير جديد للكون. أو ربما، إذا تمكَّنَّا من مراجعة ميكانيكا الكم، فسنجد أخيرًا تفسيرًا للطاقة المعتمة. ووفقًا لأركاني حامد، حتى لو استقررنا على ثابتٍ كوني ومستقبل الموت الحراري، فإننا سنظل بحاجة إلى تحوُّلٍ كبير في الجانب النظري حتى نتمكَّن من التحدث عمَّا قد تفعله التقلبات الكمية بعد ذلك، بمعنى أدمغة بولتزمان أو تكرارات بوانكاريه. ويقول: "في رأيي، من غير المحتمل بأي حال أن كل هذه الأشياء يمكن شرحها وفهمها في إطار ميكانيكا الكم. أعتقد أننا بحاجة إلى بعض التوسع في ميكانيكا الكم لمساعدتنا في الحديث عنها".

وهناك سؤال مفتوح أيضًا: إلى أي مدى يوجد تفسير لطبيعة هذا الكون الذي نعيش فيه؟ في العقد الأخير أو نحو ذلك، كان الفيزيائيون يتصارعون مع مفهوم المشهد الطبيعي، وهو كون متعدد نظريًّا، يضم فضاءات محتملة مختلفة يمكن أن يكون لها ظروف مختلفة تمامًا عن ظروفنا. إذا كان مثل هذا المشهد موجودًا بالفعل، فقد يعني ذلك أن خصائص الفضاء الذي نعيش فيه هي مجرد خصائص بيئية، بدلًا من أن تكون خصائص محدَّدة وفقًا لمبدأ عميق لم نكن أذكياء بما فيه الكفاية حتى الآن للعثور عليه. هذا النوع من الأكوان المتعددة يمكن أن ينشأ من صيغ معينة من التضخم حيث تتضخم أكوان فقاعية جديدة من فضاء أبدي موجود مسبقًا وإلى الأبد. يقول أركاني

حامد: "فكرة أننا الحل الفريد للعالم تبدو لي غير صحيحة. ولكن من الناحية الأخرى، عندما تحاول فهم المشهد الطبيعي والتضخم الأبدي وكل تلك الأشياء؛ سيؤدِّي اعتقادي بأن تصوُّر المشكلة برُمَّته خاطئ منذ البداية إلى الوقوع في ربكة وحيرة". وحتى مع وجود مشهد طبيعي لأكوان محتملة، فإن المشكلة الأساسية لا تزال قائمة. "هذه الأسئلة حول كيفية تطبيق ميكانيكا الكم على علم الكونيات كانت موجودة تقريبًا منذ اليوم الأول. إنها ليست جديدة. لقد كانت صعبة للغاية قبل خمسين عامًا؛ وهي صعبة للغاية الآن".

يقول نيل توروك، أحد مُنظِّري علم الكونيات، والذي كان يبحث عن بدائل للتضخم الكوني، وقضى سنوات عديدة مديرًا للمعهد المحيطي لبحوث الفيزياء النظرية بكندا: "أعتقد اعتقادًا راسخًا أن ما علينا فعله هو في الواقع مجرد إعادة تتبع خطواتنا. ارجعوا إلى الوراء خمسين عامًا وقولوا: 'يا شباب، نحن نبني على الرمال'".

## المشهد الطويل

هناك معادلة مشهورة في علم البيولوجيا الفلكية تُسمَّى معادلة دريك Drake Equation. من الناحية النظرية، إنها طريقة لحساب عدد الحضارات الموجودة في مجرَّتنا والتي قد نتمكَّن من التواصل معها. كل ما عليك فعله هو إدخال عدد النجوم، ونسبة تلك التي بها كواكب، ونسبة تلك التي بها حياة، ونسبة تلك التي بها حياة ذكية، وهكذا، وفي النهاية تحصل على عدد الرسائل التي يجب أن تتوقعها على بريدك الصوتي بين النجوم. بالطبع، العديد من أرقام المدخلات هذه، على الأقل مع البيانات الحالية، من المستحيل تحديدها؛ ممَّا يعني أن الإجابة النهائية لا معنى لها. الشيء المفيد في معادلة دريك

هـو أنهـا تجعلنـا نفكـر في افتراضاتنـا حـول الحيـاة في كواكـب أخـرى، ونكتشـف مـا نعرفـه ومـا لا نعرفـه عـن هـذا السـؤال برُمَّتـه.

أثنـاء حديثـي مـع هيرانيـا بيريـس، خطـر لي أن التفكير في الدمـار الكوني النهـائي قـد يكـون هـو نفسـه تقريبًـا. اقترحـتُ عليهـا أننـا ربمـا نُجـري عمليـة حسـابية حيـث لا يهـمُّ الرقـم النهـائي، لكـن العمليـة الحسـابية هي المهمـة. وتوافـق عـلى ذلـك، قائلـة: "العـدد لا يهـمُّ، ولكـن، في اعتقـادي، أن ممارسـة التفكـير مـن خـلال الخيـارات المختلفـة المطروحـة عـلى الطاولـة أمـر جيـد". وقـد تـؤتي الآثـار المترتبـة عـلى هـذه التجربـة الفكريـة ثمارهـا في نهايـة المطـاف. وتضيـف: "قـد يـؤدِّي ذلـك إلى طريقـة رائعـة للاختبـار بـين الفرضيـات التـي لا تنتظـر سـبعة مليـارات سـنة".

إلى متـى علينـا أن ننتظـر حـدوث اختـراق؟ نحـن لا نعـرف (ولا نسـتطيع أن نعـرف). نحـن نستكشـف حافـة الخريطـة الآن. كليفـورد چونسـون متفائـل للغايـة بأننـا نتجـه نحـو فهـم أفضـل وأعمـق للفيزيـاء، لكنـه يعـترف بالمحاذيـر. "قـد نمـضي بضـع مئـات مـن السـنين في جمـع كل هـذه البيانـات قبـل أن نـرى الإشـارة ثـم نعـود ونـدرك أنهـا كانـت تحـدِّق في وجوهنـا طـوال الوقـت". هـذا احتـمال مزعـج. لكـن بالنسـبة للأسـئلة الكبـيرة مثـل تلـك التـي نحـاول الإجابـة عليهـا، أعتقـد أنـه لا بـأس بذلـك. لمـاذا يجـب أن يكـون بحجـم عمـر الإنسـان؟

في هـذه الأثنـاء، سنسـتمر في شـقِّ مسـارات جديـدة عـبر الغابـة لـنرى مـا قـد نجـده مختبئًـا هنـاك. يومًـا مـا، في أعـماق البريـة المجهولـة في المسـتقبل البعيـد، ستتوسَّـع الشـمس، وسـتموت الأرض، وسـينتهي الكـون نفسـه. في هـذه الأثنـاء، أمامنـا الكـون بأكملـه، علينـا استكشـافه، ودفـع إبداعنـا إلى أقـصى الحـدود لإيجـاد طـرق جديـدة لمعرفـة موطننـا الكـوني. يمكننـا أن نتعلـم ونصنـع أشـياء غـير عاديـة، ويمكننـا مشـاركتها مـع بعضنـا البعـض. وطالمـا أننـا مخلوقـات مفكِّـرة، فلـن نتوقـف أبـدًا عـن التسـاؤل: "مـاذا سـيأتي بعـد ذلـك؟".

# الفصل التاسع
# خاتمة

"ولكـن إذا لم يكـن ثمَّـة ضـمان لاسـتمرار أي شيء مـمَّا نفعلـه هنـا، وإذا كانـت حتـى أفضـل الإيمـاءات فرصتهـا ضئيلـة في البقـاء بعدنـا، فهـل هنـاك أي سـبب لعـدم الاستسـلام؟".

قـال رود: "كل سـبب في العـالم. نحـن هنـا، ونحـن عـلى قيـد الحيـاة. وهـذه أمسـية جميلـة، في آخـر يـوم رائـع مـن أيـام الصيـف".

ألاستير رينولدز Alastair Reynolds, ***Pushing Ice***

مارتن ريس لا يبني أي كاتدرائيات.

نحـن نجلـس في مكتبـه في معهـد علـم الفلـك بجامعـة كامبريـدج، في صبـاح مشـمس مـن شـهر يونيـو، وهـو يخـبرني أن الإنسـانية كـما نعرفهـا سـوف تُنسى. "في العصـور الوسـطى، كان بنـاة الكاتدرائيـات سـعداء ببنـاء كاتدرائيـة سـوف تظـل هنـاك لفـترة أطـول مـن حياتهـم، لأنهـم ظنُّـوا أن أحفادهـم سـيُقدِّرونها وسيعيشـون حيـاة مثـل حياتهـم. بينـما

لا أعتقد أننا كذلك". لا يستبعد ريس التكهنات بالمستقبل البعيد، فقد كتب كتبًا عن مستقبل البشرية وجميع الطرق المختلفة التي قد نخطئ بفعلها وتؤدي إلى هلاكنا. ووفقًا له، فإن التطور، بالمعنى الثقافي والتكنولوجي، يتسارع بسرعة كبيرة لدرجة أنه مهما كان الذكاء المهيمن في بضع مئات أو آلاف السنين القادمة، لا يمكننا التنبؤ بما سيكون عليه. لكن يمكننا التأكد من أنه لن يهتم بنا. ويقول: "أعتقد أن ترك إرث لمدة مائة عام هو طموح أكثر جرأة الآن ممَّا كان عليه الحال بالنسبة لأسلافنا".

سألته: "هل يزعجك ذلك؟".

"إنه يُزعجني كثيرًا. ولكن لماذا لا بُدَّ أن يكون العالم بالطريقة التي نحبها؟".

من المستحيل أن نفكر بجدية في نهاية الكون دون أن نتصالح في النهاية مع ما يعنيه ذلك بالنسبة للبشرية. حتى لو اتَّخذت موقفًا مفاده أن وجهة نظر ريس مفرطة في التشاؤم، فلا بُدَّ أن تأتي نقطة في أي خطٍّ زمني ذي مدى محدود لتضع لتراثنا كنوعٍ... نهاية. ومهما كان التبرير القائم على التراث الذي نستخدمه ليحقِّق كلٌّ منَّا سلامًا مع موته الشخصي (ربما نترك خلفنا أطفالًا، أو أعمالًا عظيمة، أو نجعل العالم مكانًا أفضل بطريقة أو بأخرى)، فلن يتمكن أيٌّ من ذلك أن ينجو من التدمير النهائي لكل الأشياء. في مرحلةٍ ما، بالمعنى الكوني، لن يكون من المهم أننا عشنا على الإطلاق. من المرجَّح أن يتلاشى الكون ويتحوَّل إلى كونٍ بارد ومظلم وفارغ، وكل ما فعلناه سوف يُنسى تمامًا. فماذا نستخلص من ذلك الآن؟

تلخِّص هيرانيا بيريس الأمر في كلمة واحدة: "محزن".

وتقول: "إنه أمر مُحبِط للغاية. لا أعرف ماذا يمكن أن أقول أيضًا عن ذلك. إنني ألقي محاضرات أذكر فيها أن هذا ربما يكون مصير الكون، وقد بكى الناس".

هذا يثير بالفعل اتخاذ بعض وجهات النظر. وتقول: "بالنسبة لي، أجد من المثير للاهتمام أن الكون قد أنتج فترة مثيرة للاهتمام للغاية حيث يحدث الكثير. ومع ذلك، يبدو أننا نواجه فترة أطول بكثير من الظلام الدامس، والبرد. إنه شيء مرعب. والواقع أنني، من وجهة النظر هذه، أشعر بأني محظوظة جدًّا بوجودي في السنوات القليلة من علم الكون حيث نتعلم كل هذه الأشياء لأول مرة".

يوافق أندرو بونتزن على ذلك قائلًا: "إن ذلك يجعلني أشعر بالحزن للحظات. ثم سرعان ما أبدأ في الشعور بالقلق بشأن مشاكلنا هنا على الأرض في الوقت الحالي وأفكِّر: 'أفِقْ'. نحن في مشكلة أعمق بكثير من الموت الحراري للكون؛ لذا أعتقد أن هذا يجعلني أبدأ في التفكير حول المشكلات التي نواجهها كحضارة على فترات زمنية أقصر بكثير. إذا كنت سأقلق بشأن أي شيء، فستكون تلك المشكلات، وليس الموت الحراري".

يتابع بونتزن قائلًا: "ليس لديَّ أي علاقة عاطفية، على ما أعتقد، بموت الكون، ولكني أرتبط بموت الأرض. لا أهتمُّ بحقيقة أنني سأموت خلال خمسين عامًا أو ما إلى ذلك، لكني لا أريد أن تموت الأرض خلال خمسين عامًا".

لديَّ الكثير من التعاطف مع هذا الرأي. فيما يتعلق بالأشياء التي يجب أن نقلق بشأنها بالفعل، لا يمكن أن يكون على رأس القائمة الموتُ الحراري، أو اضمحلال الفراغ، أو التمزق الكبير، أو أي شيء من هذا القبيل (حتى لو وضعنا جانبًا حقيقة أننا عاجزون تمامًا عن فعل أي شيء حيالها). فنحن، ككائنات حية، نهتمُّ أكثر بطبيعة الحال

بحياتنا، وحياة الأشخاص القريبين منا في المكان والزمان، وفي الأغلب نترك المستقبل الكوني البعيد الذي لا يمكن تصوره لشؤونه الخاصة.

لكن على المستوى الشخصي، ما زلت أشعر أن هناك فَرقًا كبيرًا، من الناحية العاطفية، بين "نحن نستمر إلى الأبد" و"نحن لن نستمر إلى الأبد". يشعر نيما أركاني حامد بنفس الشعور. "على المستوى المطلق، العمق المطلق... سواء اعترف الناس صراحةً بالتفكير في الأمر أم لا (وإذا لم يفعلوا، فهم جميعًا أفقر بسبب ذلك)... إذا كنت تعتقدين أن ثمة هدفًا للحياة، فأنا على الأقل لا أعرف كيف أجد هدفًا لا يرتبط بشيء يتجاوز موتنا الصغير". ويستأنف قائلًا: "أعتقد أن كثيرًا من الناس على مستوى ما -مرة أخرى، سواء بشكل صريح أو ضمني- سيمارسون العلم أو الفن أو شيئًا من هذا القبيل بسبب الشعور بأنك قادر على تجاوز شيء ما. أنت تلمس شيئًا أبديًا. تلك الكلمة، الأبدية: مهمة جدًا. إنها مهمَّة جدًا جدًا".

كان فريمان دايسون يأمل في إيجاد طريقة للحفاظ على الحياة الذكية إلى الأبد. اقترحت ورقته البحثية عام 1979 طريقة لنشر نوع ما من الآلات الذكية في مستقبل لا نهائي، من خلال مخطط ينطوي على تباطؤ مستمر في المعالجة وسُبات متقطع. لسوء الحظ، أُجريت هذه الحسابات بناء على فرضية أن توسع الكون لا يتسارع، والآن يبدو أنه يتسارع. وإذا استمر التسارع، فلن تنجح خطة دايسون. ويعترف دايسون: "سيكون الأمر مخيِّبًا للآمال. أعني، عليك أن تقبل ما توفِّره الطبيعة. إنها مثل حقيقة أن أعمارنا محدودة. إنها ليست مأساوية جدًا؛ ذلك أنها تجعل الكون أكثر إثارة للاهتمام، بطرق لا حصر لها. إنه يتطور دائمًا إلى شيء مختلف. لكن أن تكون أعمارنا محدودة طوال الدهر... ربما هذا هو مصيرنا. لكن بالتأكيد أنا أفضل أن يستمر التطور إلى الأبد".

ومَن يعلم؟ ربما هناك معنى لكل هذا. يعتقد روجر بنروز أن هناك طريقة أفضل. لقد أمضى العقد الأخير أو نحو ذلك في تطوير علم الكون الدوري المطابق، الذي يفترض أن دورة الكون من الانفجار الكبير إلى الموت الحراري، تحدث مرارًا وتكرارًا، إلى الأبد، مع الاحتمال المحيِّر بأن شيئًا ما -بعض البصمة من دورة سابقة- يمكن أن تنجو خلال الفترة الانتقالية. ويقول إن فكرة أن ما يمرُّ عبر تلك الفترة يمكن أن يحتوي على معلومات ذات معنى عن أي كائنات واعية هي مجرد تكهنات فارغة في الوقت الحالي، لكن الآثار المترتبة على هذا الاحتمال يمكن أن تكون عميقة. "أنا لا أقول إنني أعتقد ذلك بكل تأكيد، لكنني أجده أقلَّ إحباطًا من بعض الجوانب... أنه ربما بعد وفاة المرء، من الممكن أن يكون هناك بعض الميراث".

أو ربما يمكن لاحتمال وجود أكوان متعددة أن يريحنا. جوناثان بريتشارد Jonathan Pritchard، عالم الكون في جامعة إمبريال كوليدج بلندن، والذي شمل عمله سلسلة كاملة من التضخم الكوني إلى تطور المجرات، يجد بريتشارد الأمل في فكرة أنه في بعض المناطق البعيدة الأخرى، غير المتصلة، قد يوجد شيء ما بعد فترة طويلة من كوننا مجرد حرارة ضائعة. ويقول: "في مكان ما هناك، ثمة أكوان متعددة حيث تحدث الأشياء دائمًا. من الناحية العاطفية، تعجبني فكرة مثل هذا الوجود".

أقول، ولكننا ما زلنا نموت.

وهو غير منزعج. "لا يتعلق كل شيء بنا وحدنا، كما تعلمين".

إذا لم نتمكن من الانضمام إلى حزب الأكوان المتعددة الأبدية، فإن موتنا الوشيك يمكن أن يكون مفيدًا للفيزياء على الأقل. يشير نيل توروك إلى أن احتمال نهاية الزمن في المستقبل، بالإضافة إلى وجود أفقنا الكوني، يضع حدودًا صارمة على الكون، وبالتالي حدودًا مفيدة

لمشكلة فهم كل شيء. لن تخضع الموجة الضوئية التي تنتقل عبر كونٍ محدود ومتوسع ومتسارع إلا لعدد كبير من التذبذبات، حتى في المستقبل اللا نهائي. يقول: "نحن نعيش فعليًّا في صندوق، حسنًا؟ وهو صندوق محدود. وإذا كان هذا صحيحًا، أعتقد أن ذلك يستحق الترحيب لأننا نستطيع فهمه. لقد أصبحت مشكلة فهم الكون أسهل كثيرًا لأنه محدود. محدود بالنسبة للماضي، محدود في المكان بسبب الأفق، محدود بالنسبة للمستقبل لأن كل شيء سوف يتأرجح فقط لعدد محدود من المرات. رائع! أعني أن هذا أمر مفهوم. أنا متفائل بطبيعتي، لكني أعتقد أن العالم هو محارتنا".

إذا كان الكون سينتهي، بطريقة أو بأخرى، فأنا أعترف أنه من الأفضل لنا أن نتصالح معه. بيدرو فيريرا يسبقني كثيرًا في هذا الشأن. يقول: "أعتقد أنه رائع. إن الأمر بسيط جدًّا ونظيف جدًّا".

ويواصل قائلًا: "لم أفهم أبدًا سبب شعور الناس بالاكتئاب الشديد بشأن النهاية، موت الشمس وكل شيء. أنا فقط أحب ما ينطوي عليه من صفاء وسلام".

وأسأله: "إذن، ألا يزعجك أننا في النهاية ليس لدينا إرث في الكون؟".

يقول: "لا، على الإطلاق. أنا أحب كثيرًا ومضاتنا المتقلبة... لقد كان هذا الأمر يروق لي دائمًا. إنه كون هذه الأشياء عابرة. إنه الفعل. إنها العملية. إنها الرحلة. مَن يهتم إلى أين ستصلين، أليس كذلك؟".

أعترف بذلك، وما زلت أهتم. وأحاول ألَّا أَعْلَق بها، بالنهاية، الصفحة الأخيرة، نهاية هذه التجربة العظيمة للوجود. إنها الرحلة، أكررها لنفسي. إنها الرحلة.

ربما يكون هناك بعض العزاء في حقيقة أنه أيًّا كان ما سوف يحدث، فهو ليس خطأنا. تعتبر رينيه هوچيك أن هذه ميزة إضافية لا لبس فيها.

تقول: "أحب حقيقة أن عملي، حتى لو قمت به بشكل مثالي بنسبة 100 بالمائة وأنا عالمة رائعة، فإنه لا يغيِّر شيئًا فيما يتعلق بمصير الكون. كل ما نحاول القيام به هو فهمه. وحتى لو فهمته، فلن نتمكن من فعل أي شيء لتغييره. أعتقد أن هذا يُحرِّرنا، لا يخيفنا". ترى هوچيك أن الموت الحراري ليس مُحبِطًا أو مُمِلًّا. فهي تقول إنه: "بارد وجميل". وأن المسألة: "تبدو كما لو أن الكون يقوم بفرز نفسه بنفسه".

تقول هوچيك لي: "ما آمل أن يدركه الناس من كتابك هو أنه من الممكن للعقل البشري استخدام ملاحظات الضوء -و/أو موجات الجاذبية، ولكن دعونا نركز على الضوء في الوقت الحالي- والتوصل إلى استدلالات مدهشة باستخدام رياضيات بسيطة نسبيًّا حول صورة الكون. وحتى لو لم نتمكن من فعل أي شيء لتغييره، فإن تلك المعرفة... حتى لو اختفت هذه المعرفة، إذا مات جميع البشر، فإن هذه المعرفة الآن لا تُصدَّق. وهذا هو السبب الأساسي وراء قيامي بما أفعله".

أعتقد أنني أدرك ما تقوله. هل أرغب في كشف أسرار الكون، حتى لو لم أتمكن من مشاركة تلك المعرفة أو الاحتفاظ بها؟ نعم، أرغب. يبدو هذا مهمًّا. "هناك هدف ما للقيام بذلك، حتى لو غاب عنَّا".

وتوافق قائلة: "لأنه يغير من هويتك الآن، أليس كذلك؟ أنا سعيدة لأننا نعيش في زمن في الكون حيث يمكننا رؤية الطاقة المعتمة ولا نتمزق بسببها. لكن هذا يعني أن بيت القصيد هو أنك تفهمه، ثم تستمتع به، وبعد ذلك... 'إلى اللقاء... وشكرًا لكل هذه الأسماك' بديع".

بديع.

مكتبة
t.me/soramnqraa

# شكر وتقدير

لم أتخيَّل أبدًا أنني سأكون مؤلِّفة، ولم أكن لأتمكن من تحقيق ذلك أبدًا لولا مساعدة عدد من الأشخاص أكثر ممَّا يمكنني ذِكرهم. سأحاول أن أذكر مجموعة صغيرة فقط من هؤلاء الأشخاص هنا، ولكن على مدى السنوات القليلة الماضية تلقيت دعمًا ونصائح أكثر بكثير مما يمكنني رده من عدد لا يُحصى من الأصدقاء والزملاء. إذا كنت واحدًا من هؤلاء الأشخاص، سواء ظهر اسمك هنا أم لا، فيُرجى قبول شكري على كل ما قُمتَ به، واعلَمْ أن هذا الكتاب هو جزئيًّا كتابك أيضًا (وأتمنى أن يعجبك!).

عندما شرعت في كتابة هذا الكتاب لأول مرة، لم تكن لديَّ سوى فكرة غامضة مفادها أنني أستطيع كتابة بعض الكلمات على الورق، وآمل أن يقرأها شخص ما في النهاية. لحسن الحظ، لقد تلقَّيتُ إرشادًا ماهرًا طوال العملية كلها على يدي وكيلتي الأدبية الصبورة والمهنية والمشجِّعة، مولي كليك Mollie Click، وفريق كامل من صانعي الكتب المتحمِّسين في مؤسسة سكريبنر للنشر Scribner. أنا

ممتنَّة على وجه الخصوص لدانيال لويدل Daniel Loedel؛ لتعليقاته وتعديلاته التي صقلت هذه المخطوطة وشكَّلَتها بشكل كبير، ولِنان جراهام Nan Graham؛ لإيمانها بقدرتي على كتابتها في المقام الأول. شكرًا أيضًا لسارة جولدبرج، وروزالين ماهورتر، وأبيجيل نوڤاك، وزوي كول في سكريبنر، وكاسيانا يونيتا، وإيتي إيستوود، وداميكا رايت في مؤسسة بنجوين بالمملكة المتحدة Penguin UK؛ الذين عملوا جميعًا بلا كلل خلال الأشهر القليلة الماضية ليخرج هذا الكتاب إلى العالم. أنا ممتنَّة لنيك چيمس Nick James على الرسوم التوضيحية الرائعة التي تظهر في هذه الصفحات، ولوريل تيلتون وآنا جابيلا على الدعم التنظيمي.

أحد أكبر الأشياء الممتعة في هذه العملية برُمَّتها هو وجود عُذرٍ للتواصل والتحدث عن العلوم مع عدد كبير من علماء الفيزياء وعلماء الفلك المذهلين الذين أثَّروا في طريقة تفكيري في الكون. وأنا أشعر بامتنان بالغ لما لقيته من إرضاء وإجابات عن أسئلتي العديدة، من أندي ألبريخت، نيما أركاني حامد، فريا بليكمان، شون كارول، أندريه ديڤيد، فريمان دايسون، ريتشارد إيستر، خوسيه رامون إسبينوزا، بيدرو فيريرا، ستيفن جراتون، رينيه لوجيك، أندرو جافي، كليفورد چونسون، فليرانيا بيريس، ستيرل فيني، روجر بنروز، أندرو بونتزن، چوناثان بريتشارد، مريديث راولز، مارتن ريس، بليك شيروين، بول ستينهارت، وأندريا ثام، ونيل توروك. وللتطوع في الاطلاع على فصول مختلفة وإعطائي تعليقات مفيدة للغاية؛ فأنا مدينة أيضًا للعديد من المذكورين أعلاه، ولآدم بيكر، لاثام بويل، سيباستيان كاراسو، براند فورتنر، هانالور جيرلينج دونسمور، سارة كيندرو، تود لوير، وايكانج لين، روبرت ماكنيس، توبي أوبفيركوخ، وراكيل ريبيريو. وأية أخطاء لا تزال موجودة في المخطوطة (وأنا متأكدة من وجود الكثير منها)

فإن مصدرها هو فشلي في الالتزام بشكل موثوق بالحكمة الجماعية الكبيرة لكل مَن سبق ذِكرهم.

ورغم أن الفيزيائيين ربما تحمَّلوا العبء الأكبر من استفساراتي التقنية، فقد أمضيت معظم العامين الماضيين في مضايقة مستمرة لكل شخص أعرفه تقريبًا بأسئلة، ومسوَّدات، ومطالبات بالنصح، ومشاعر القلق، وهَوَس عام بكل ما يتعلق بالكتب. وأنا ممتنة للغاية لأصدقائي وعائلتي على صبرهم، ولجميع المؤلفين الذين أعرفهم لإعطائي وجهات نظرهم حول عالم الكتابة والنشر. شكرًا لعائلتي (خاصة أمي وأختي چينيفر)؛ لما قدَّموه لي من تشجيع ودعم طوال حياتي، ولسماحهم لي بملء جميع تجمعاتنا العائلية بأحاديث العلوم والكتب. شكرًا لماري روبينيت كوال Mary Robinette Kowal على نصائح الكتابة وأفكار العناوين، ولدورون فيبر Doron Veber؛ لدعم مغامرتي بدخول هذا الفضاء الجديد من المشاركة العامة، كما أشكر دانييل أبراهام، دين بورنيت، مونيكا بيرن، بريان كوكس، هيلين تشيرسكي، كوري دوكتورو، بريان فيتزباتريك، تاي فرانك، ليزا جروسمان، روبن إينس، إميلي لاكدوالا، زيبًا ميرالي، روزماري موسكو، راندال مونرو، چينيفر أوليت، سارة باركاك، فيل بليت، چون سكالزي، تيري فيرتس، آن ويتون، وويل ويتون؛ لكل النصائح المفيدة للغاية في مجال كتابة الكتب، وشارلوت مور، بريان مالو، وفرقة لا نرد بريجاد LA Nerd Brigade؛ لتشجيعهم المستمر وتبادُل الأفكار، وأندرو لوزير بيرن؛ للإلهام والموسيقى التصويرية القاتلة.

باعتباري أستاذة في مرحلة ما قبل التعيين، لم أكن لأتجرَّأ حتى على البدء في هذا المشروع لولا الدعم الذي قدَّمَته جامعة ولاية كارولينا الشمالية، التي مكَّنَتني قيادتها المبتكرة في برنامج مجموعة العلوم العامة من شَقِّ مسارٍ أكاديمي يوفِّر مساحة للتواصل مع الجمهور. لقد كان قسم الفيزياء وكلية العلوم داعمين لي بشكل رائع؛ حيث

ساعدوني في إيجاد طرق لتحقيق التوازن بين أدوار المؤلف والباحث والمرشد والمعلم.

لقد أتاح لي البحث في هذا الكتاب فرصةً للسفر إلى عدد من المؤسسات لاستجواب زملائي الفيزيائيين والحصول على منظور جديد حول ما يدور حوله هذا المسعى برُمَّته. وأنا مُمتنَّة على وجه الخصوص للضيافة التي لقيتها خلال زياراتي من جانب العاملين في المنظمة الأوروبية للأبحاث النووية CERN، ومعهد الدراسات المتقدمة، والمعهد المحيطي لبحوث الفيزياء النظرية بكندا، ومركز أسبن للفيزياء، وإمبريال كوليدج بلندن، وجامعة كوليدج بلندن، ومعهد كافلي للكوزمولوچيا بكامبريدج، ومعهد بيكروفت التابع لأوكسفورد.

وأخيرًا، شكر خاص لفريق العمل الرائع في مقهى جبالة الواقع في شارع هيلزبورو، حيث تمَّت كتابة الجزء الأكبر من هذه المخطوطة. الشاي الأخضر ووجبة الشوفان منحاني طعم الحياة.

# مسرد بالمصطلحات والأسماء

| | |
|---|---|
| Andromeda | كوكبة أندروميدا (المرأة المسلسلة) |
| Astronomical Plates | اللوحات الفلكية: طريقة مبكرة للتصوير تستخدم صفائح زجاجية لالتقاط صور السماء في الليل |
| Cassiopeia | كوكبة كاسيوبيا (ذات الكرسي) |
| Cepheid variable | المتغير السيفاوي: هو أهم أنماط النجوم النابضة وأشهرها، سُمِّي كذلك نسبة إلى أول نجم مكتشَف من هذه الفئة |
| CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) | المنظمة الأوروبية للأبحاث النووية (European Organization for Nuclear Research) |
| Compact Muon Solenoid (CMS) | لولب مركب للميون: هو عداد ضخم وأحد التجارب الكبيرة لقياس جسيمات أولية، وخاصة قياس الميونات |
| Concordance Cosmology | علم الكونيات التوافقي (النموذج القياسي) |
| Conformal Cyclic Cosmology (CCC) | الكون الدوري المطابق: نموذج للكون الدوري قدمه روجر بنروز Roger Penrose |
| cosmic inflation | التضخم الكوني |
| cosmic microwave background (CMB) | الخلفية الميكروية الكونية، خلفية الموجات الكونية الدقيقة |
| cosmological constant | الثابت الكوني |
| cosmological principle | المبدأ الكوني |
| dark energy | الطاقة المعتمة |
| dark matter | المادة المعتمة |
| deceleration parameter | معامل التباطؤ: الرقم الذي يُقاس به معدل تباطؤ توسع الكون منذ الانفجار الكبير |
| Drake Equation | معادلة دريك |

| | |
|---|---|
| ekpyrotic cosmos | الكون الملتهب |
| electron degeneracy pressure | ضغط انتكاس الإلكترون |
| Electroweak force | قوة كهروضعيفة |
| electroweak symmetry breaking | كسر التناظر الكهروضعيف |
| equation of state parameter | معادلة مؤشر الحالة |
| Eschatologies | علوم النهاية الأخيرة أو العلوم الأخروية |
| Friedrich Nietzsche | فريدريك نيتشه |
| Grand Unification | التوحيد الكبير (بين أنواع الطاقة) |
| Grand Unified Theory (GUT) | النظرية الموحدة الكبرى |
| Hawking evaporation | تبخُّر هوكينج: قال هوكينج إن أي ثقب أسود لا يسحب المادة من بيئته سوف تنزف كتلته تدريجيًّا من خلال عملية التبخر تلك طوال الوقت (الفصل الرابع) |
| Hubble Constant | ثابت هابل |
| Hubble-Lemaître Law | قانون هابل-ليميتر |
| Ia supernova | مستعر أعظم من النوع 1a |
| infernoverse | الجحيم الكوني |
| inspirals | وصف مسار نجمين يفقدان الطاقة ويدوران حلزونيًّا للداخل وتجاه بعضهما البعض |
| Lao-Tzu (Laozi) | لاو تزو: فيلسوف صيني قديم شبه أسطوري |
| Large Hadron Collider (LHC) | مصادم الهادرونات الكبير |
| Large Synoptic Survey Telescope (LSST) | تلسكوب المسح الشامل الكبير |
| Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO) | ليجو (LIGO) مرصد لأمواج الجاذبية بالولايات المتحدة الأمريكية. والكلمة "ليجو" اختصار لـ (مرصد أمواج الجاذبية بالتداخل الليزري) |
| light speed delay | تأخر سرعة الضوء |
| metastable | شبه مستقر |

| | |
|---|---|
| Milky Way galaxy | مجـرة درب التبانـة أو الطريـق اللبنـي، وهـي المجـرة التـي تقـع ضمنهـا الشـمس والكواكـب التـي تـدور حولهـا، ومـن ضمنهـا الأرض، كوكبنـا |
| Milky Way, our Galaxy | مجرتنا، درب التبانة أو الطريق اللبني |
| Mollweide projection | إسـقاط مولڤيـده: هـو إسـقاط خرائطـي شـبه أسـطواني متسـاوي المسـاحات يسـتخدم عمومًـا لتصميـم خريطـة العـالم أو السـماء الليليـة. يُعـرف أيضًـا باسـم إسـقاط بابينيـه (نسـبةً للعـالم جـاك بابينيـه)، وهـو إسـقاط إهليلجـي. يتـداول الإسـقاط دقـة الزاويـة والشـكل لدقـة التناسـبات في المسـاحة، وعـلى هـذا النحـو يتـم اسـتخدامه عنـد الحاجـة إلى هـذه الخاصيـة، مثـل الخرائـط التـي تصـور التوزيعـات العالميـة. |
| nucleation | تكوُّن النواة |
| Nucleosynthesis | التخليق النووي |
| parallax | اختـلاف المنظـر: التغـير الظاهـري في موقـع الـشيء المنظـور، وبخاصـة الجـرم السـماوي، بسـبب اختـلاف الموقـع الـذي ننظـر منـه. |
| particle collider | مصادم الجسيمات |
| Pauli exclusion principle | مبدأ استبعاد باولي |
| phantom dark energy | الطاقة المظلمة الشبحية |
| Planck Time | زمـن بلانـك: سُـمِّي عـلى اسـم ماكـس بلانـك، أحـد مؤسِّـسي نظريـة الكـم المبكِّريـن |
| potential | الجهد |
| primordial soup | الحساء البدائي |
| quantum bubble of death | فقاعة الموت الكمية (أو الكمومية) |
| quantum field theory | نظرية المجال الكَمِّي |
| quantum gravity | الجاذبية الكمية |
| Redshift, blueshift | إزاحة حمراء، إزاحة زرقاء |

| | |
|---|---|
| Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) | مصادم الأيونات الثقيلة بسرعات النسبية |
| Rotational symmetry | التناظر الدوراني |
| Scanning tunneling microscope (STM) | ميكروسكوب المسح الأنبوبي: اختُرِع بغرض تصوير الذرات المنفردة على سطح معدن، وتبلغ قوة التكبير في هذا المجهر حوالي مائة مليون مرة، ويتصل به كومبيوتر يعمل على تحليل المعلومات الواردة إليه ليظهر صورة العيِّنة بأبعادها الثلاثة. |
| singularity | التفرُّد: |
| spacetime | الزمكان: أو الزمان المكاني: هو الفضاء بأبعاده الأربعة، الأبعاد المكانية الثلاثة بالإضافة إلى الزمن كبعد رابع |
| Stephen Hawking | ستيفن هوكينج |
| subatomic matter | المادة دون الذرية |
| subatomic world | العالم دون الذري |
| Super nova | السوبر نوفا: المستعر الأعظم، النيزك العظيم، الكوكب الكبير، النجم العظيم الشأن |
| supersymmetry (SUSY) (model) | التناظر الفائق: نموذج كان يُفترَض أن يحلَّ بعض الجوانب المشكلة في النموذج الأساسي للفيزياء |
| Theory of Everything (TOE) | نظرية كل شيء (أنواع الطاقة بالإضافة إلى الجاذبية) |
| thermodynamic equilibrium | التوازن الحراري الديناميكي |
| Translational symmetry | التناظر الانتقالي |
| vacuum decay | اضمحلال الفراغ |
| ΛCDM: Concordance Model: Λ: dark energy in the form of cosmological constant, CDM: cold dark matter | تشير الحروف إلى نموذج التوافق الذي يتكون من الثابت الكوني على شكل الحرف اليوناني Λ ثم الحروف الثلاثة الأخرى تعني المادة المعتمة الباردة |
| Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) | مسبار ويلكنسون لقياس التباين الميكروي |

# نبذة عن المؤلفة

**كاتي ماك Katie Mack:**

عالمة فيزياء فلكية نظرية تستكشف مجموعة من الأسئلة في الكوزمولوچيا، ودراسة الكون من البداية إلى النهاية. وهي حاليًّا أستاذ مساعد الفيزياء في جامعة ولاية كارولينا الشمالية، حيث هي أيضًا عضو في مجموعة القيادة في العلوم العامة. وإلى جانب أبحاثها الأكاديمية، فهي ناشطة في مجال التواصل العلمي، وقد نشرت مقالات في مجلة *Scientific American*، و*Slate*، و*Sky & Telescope*، و*Time*، و *Cosmos Magazine*، حيث لها باب ثابت. يمكن العثور عليها على تويتر باسم @AstroKatie.

# نبذة عن المترجمة

**سحر توفيق**

روائيـة ومترجمـة، مـن مؤلَّفاتهـا: أن تنحـدر الشـمس (مجموعـة قصصيـة)، طعـم الزيتـون (روايـة)، رحلـة السـمان (روايـة)، بيـت العانـس (مجموعـة قصصيـة).

ترجمـت العديـد مـن الكتـب، ومنهـا: فلَّاحـو الباشـا(كينيث كونـو)؛ أرض الحبايـب بعيـدة: رحلـة نقديـة فى حيـاة وأعـمال بـيرم التونـسى (ماريلـين بـوث)؛ الهويـة والعنـف: وهـم المصـير الحتمـى (أمارتيـا صـن)؛ شـهيرات النسـاء: أدب التراجـم وسياسـات النـوع فى مـصر (ماريلـين بـوث)؛ الأصـول العِرقيـة والـرِّق في الـشرق الأوسـط: قصـص أفارقـة جنـوب الصحراء في القـرن التاسـع عـشر في مـصر والسـودان ومنطقـة المتوسـط في الدولـة العثمانيـة (تحريـر تيرنـس والـز وكينيـث كونـو)، حياتنـا.. وإن طالـت! (چوناثـان سـيلفرتاون)؛ بحـر مـن الخشـخاش (روايـة: أميتـاف جـوش)؛ صعـود أهـل النفـوذ: رؤيـة جديـدة لتاريـخ العـالم الحديـث (بيـتر جـران)؛ الاسـتشراق.. هيمنـة مسـتمرَّة (بيـتر جـران).

# نبذة عن المراجع

**فتح الله الشيخ:**

استاذ الكيمياء المتفرغ بكلية العلوم جامعة سوهاج.

دكتوراه الفلسفة من جامعة مندليف بموسكو 1964.

عمل استاذاً بجامعات أسيوط وجنوب الوادي وسوهاج وكذلك بجامعة طرابلس بدولة ليبيا.

شغل منصب رئيس قسم الكيمياء ووكيل كلية العلوم بجامعة سوهاج

كما كان عضوا لعدة دورات بلجنتي الثقافة العلمية والترجمة بالمجلس الأعلى للثقافة.

كان عضوا بالمكتب الفني بالمركز القومي للترجمة وعضوا باللجنة العليا للنشر بالهيئة العامة للكتاب.

أشرف على العديد من رسائل الماجستير والدكتوراه فى التخصص.

كما قام بتحكيم العديد من الرسائل العلمية والمقالات البحثية.

ترجم والف ما يزيد على 50 كتابا كلها فى الثقافة العلمية لدور النشر:عالم المعرفة ، العين، كلمة، كلمات عربية ، المجلس الأعلى للثقافة، المركز القومى للترجمة ، الشروق، الهيئة العامة للكتاب.

كتب عشرات المقالات فى الثقافة العلمية فى مجلات: العربى ، العربى العلمى، سطور، العلم والحياة.

كتب ونشر ثلاث روايات: العودة، وحكايات الشمال والجنوب ، والأمل.

أسس ورأس الجمعية المصرية للكيمياء الكهربية.

رأس العديد من المؤتمرات العلمية فى التخصص وفى الإنسانيات.

مكتبة
t.me/soramnqraa

# نهاية كل شيء

## من منظور الفيزياء الفلكية

"كان السؤال دائمًا عن الكيفية التي سينتهي بها العالم موضوع تكهنات ومجادلات لدى الشعراء والفلاسفة عبر التاريخ. الآن، وبفضل العلم، بالطبع، نعرف الإجابة: إنها النار. النار بكل تأكيد. حيث إن الشمس، بعد حوالي خمسة مليارات سنة، سوف تتضخم حتى تبلغ مرحلة العملاق الأحمر، وتبتلع مدار عطارد، وربما كوكب الزهرة، وتترك الأرض صخرة متفحّمة هامدة مغطاة بالحمم المنصهرة. حتى هذه البقايا العقيمة الملتهبة من المحتمل أن تنتهي في نهاية المطاف إلى الطبقات الخارجية للشمس وتتناثر ذراتها في الغلاف الجوي المتهرئ للنجم المحتضر.

إذن: هي النار. استقرَّ الأمر. كان فروست على حقٍّ في المرة الأولى.

لكنه لم يكن يفكر بالعمق الكافي. أنا عالمة متخصّصة في الكون. أدرس الكون ككل، على أوسع نطاق. ومن هذا المنظور، العالم عبارة عن ذرّة غبار لطيفة صغيرة ضائعة في كونٍ واسعٍ ومُتنوّع. وما يهمني، على المستوى المهني والشخصي، هو سؤال أكبر: كيف سينتهي العالم؟"

الغلاف:
عبد الرحمن الصواف

ISBN 978-977-894-002-2

مكتبة
t.me/soramnqraa

المحروسة