الجزء الثاني

نحو حدود اللانهاية

الفصل الأول

الكون بعد الانفجار

العالم الذي نعيش فيه

في خلال رحلتنا عبر عالم الثقوب السوداء، التقينا بما بدا أنه المستحيل: حقل الجاذبية المتصاعد غيّر خاصيات الفراغ والزمن متيحاً بذلك الإمكانية لعمليات فيزيائية مذهلة. أما الآن فإننا سوف نتجه إلى حدود مغايرة تماماً، إلى البعيد البعيد في رحاب الكون، حيث نصطدم ثانية على حين غرة بالسيطرة المطلقة للجاذبية. ضف إلى هذا أننا نواجه هنا واقعة مذهلة: إن الكون الذي نراه، هو نتيجة انفجار هائل وقع منذ حوالي خمسة عشر مليار عام خلت، وسببه سينغولياية مكنونة تشبه تلك التي تستلقي في أعماق الثقوب السوداء.

والذي لا ريب فيه، هو أن السعي لفهم العالم الذي نعيش فيه كان موجوداً دوماً، منذ أن أخذ الإنسان يفكر. وقصة نشوء التصورات عن الكون وارتقائه، قصة ممتعة وفيها عبرة. بيد أن الاطلاع على التاريخ ليس هدفنا. وقد كتب في هذا الموضوع كثير من الكتب الرائعة.

والآن دعونا نتوجه مباشرة إلى وقتنا الحالي، إلى معارفنا. وإذا ما عدنا إلى التاريخ أحياناً، فإن عودتنا سوف تقتصر على التاريخ المعاصر، أما إلى الماضي البعيد لعلم الكونيات (= كوسمولوجيا -م)، فلن نتوجه إلا لماماً.

إننا حينما نحاول أن نفهم ما الذي يمثله الكون، فإن أول مسألة تعترضنا، هي مسألة توزع الأجسام السماوية في الفراغ الكوني. وسوف تشد اهتمامنا في المقام الأول، الأمداء الرحبة التي بمتناول علماء الفلك، وسوف نبدأ بأكبر وحدات الكون البنيوية: المجرات.

ونذكّر قارئنا بأن شمسنا تتدرج في نظام نجمي كبير يدعوه الفلكيون مجرة، أو مجرتنا في بعض الأحيان. ويبلغ العدد الكلي للنجوم التي تشكل هذه المجرة، حوالي المائة مليار نجم.

ويملأ العدد الأعظم من نجوم المجرة حجماً يذكّر بعدسة قطرها مائة ألف سنة ضوئية، وسمكها اثنا عشر ألف سنة ضوئية. ومن المفيد أن نتذكر في هذا السياق، أن السنة الضوئية، هي المسافة التي يقطعها الضوء في عام، وهي تساوي 10^{13}كم. وثمة في الفراغ الذي بين النجوم غاز مخلخل وغبار مجتمعان في سحب كبيرة. ولا تشكل كتلتهما الكلية سوى 5٪ من الكتلة الكلية للنجوم. وإلى جانب هذا «الجسم الرئيس» للمجرة، فيها أيضاً كتلة أخرى كروية الشكل نصف قطرها حوالي 5-10 آلاف سنة ضوئية. وتتدرج في هذه المنظومة الكروية نجوم، هي كقاعدة أقل سطوعاً وأكثر قدماً من تلك التي في المنظومة المسطحة.

وتتجمع النجوم الفتية الساخنة التي تشكل المنظومة المسطحة التي يدعونها قرصاً في بعض الأحيان، تتجمع في أكمام لولبية. وتبدأ هذه الأكمام عند المناطق الوسطى للمجرة، ثم تمتد على شكل لولب مثني حتى تصل أطرافها.

وتبعاً لتسمية الأكمام اللولبية، دعيت مجرتنا كلها باللولبية. وتوجد في الأكمام اللولبية حشود مهولة من الغاز: سحب غازية يجري فيها تشكل النجوم الفتية.

وتؤدي نجوم القرص وغازه حركات مدارية شبه دائرية حول مركز كتل المجرة. وتتحرك شمسنا في المجرة بسرعة تصل إلى حوالي 250 كم في الثانية، وتدور دورة واحدة كل مائتي مليون عام. ونجوم المنظومة الكروية تتحرك بدورها أيضاً حول مركز، ولكنها تتحرك على مدارات ممتدة جداً تنحني عشوائياً نحو مسطح القرص.

هذه هي بنية مدينة النجوم الكبيرة ونطاقاتها.

وهناك خارج حدود مجرتنا مدن نجوم أخرى: مجرات أصغر. ولأكثر المجرات المرصودة أبعاد أقل بقليل من أبعاد مجرتنا: بعشرات آلاف السنين الضوئية، وهي تتألف من مليارات النجوم.

إن هذه النظم النجمية كلها، تقع على مسافات تبعد عنا ما يفوق ملايين السنين الضوئية. ولا يظهر لنا منها بالعين المجردة سوى أكبرها وأقربها، وتظهر هذه في السماء

على شكل بقع ضبابية، أما النظم الأخرى فلا ترى إلا بالتلسكوبات الكبيرة. وبسبب بعدها المهول يختلط ضوء النجوم فيها في ضياء ضبابي. وفي أقرب المجرات إلينا فقط، تظهر بأكبر التلسكوبات نجوم فرادى ساطعة.

وتختلف المجرات من حيث أشكالها، وتركيب نجومها، وطابع حركاتها. ووفق هذه العلامات يقسم علماء الفلك المجرات إلى أربعة نماذج رئيسة.

فأكثر المجرات لولبيّ كمجرتنا، إلا أن هناك مجرات لا يوجد في قرصها العدسي الشكل، لوالب. وتدعى هذه بالعدسية الشكل.

وأخيراً هناك عدد غير قليل من المجرات التي ليس لها قرص البتة، وهي تتألف كلياً من مركّب كروي. وقد دعيت هذه بالإهليليجية، لأنها تظهر في الصور والتلسكوب في شكل بيضوي إهليليجي. وتحتوي هذه النظم النجمية كقاعدة، على قليل من الغاز، وهي خالية تقريباً من مناطق تشكل النجوم الفتية.

أما أقل نماذج المجرات تعداداً، فهو نمط المجرات غير الصحيحة. فهي تشبه المجرات اللولبية، إلا أن السحب الساطعة لحشود النجوم الفتية فيها ليست ممتدة على شكل لولبي، بل مبعثرة على شكل بقع. وغالباً ما تحتوي هذه المجرات عل كم كبير من الغاز. إن هذا الإطلاع العجول وحده يبين مدى تنوع عالم المجرات. وسوف يظهر هذا التنوع بشكل أكثر إثارة للدهشة، عندما سنقارن بين كتل المجرات وأبعادها.

ونذكّر في هذا السياق بأن مجرتنا تتألف من مائة مليار نجم. أما أعظم المجرات التي تنتمي إلى طبقة المجرات الإهليليجية، فهي تحتوي ما يقارب العشرة آلاف مليار نجم. وثمة في الوقت نفسه مجرات «قزمة» لا تحتوي إلا على مليون نجم فقط.

والآن، أيّ المجرات يمكن أن تعد المجرة النموذج؟ هل هي المجرة الكبيرة نسبياً كمجرتنا مثلاً، أم المجرة الأصغر كثيراً؟

إن الإجابة على هذا السؤال صعبة صعوبة الإجابة على سؤال: أي المدن تعد المدينة النموذج؟ هل المدينة الكبيرة كمدينة موسكو مثلاً، أم المدينة الأصغر كثيراً منها؟ فالمدينة الكبيرة تساوي عشرات المدن الصغيرة. والصورة عينها في عالم المجرات، فكل منظومة عملاقة تعادل عدداً كبيراً من المنظومات القزمة.

فكيف تتوزع المجرات في الفراغ إذن؟

لقد تبين أن توزعها هذا غير متوازن إلى درجة كبيرة. فعدد كبير منها يدخل قوام الحشود. وهذه الحشود بدورها متباينة من حيث خاصياتها تبايناً كبيراً، كما المجرات نفسها. ولكي يقيمون في وصفها نظاماً ما، أي نظام، ابتكر الفلكيون لها عدداً من التصنيفات. وكما هي الحال دوماً في مثل هذه الحالات، فإن أي تصنيف لا يمكن أن يعد كاملاً. وبالنسبة لأغراضنا نحن، يكفي أن نقول، إنه يمكن تقسيم هذه الحشود إلى نمطين: حشود صحيحة، وحشود غير صحيحة.

والحشود الصحيحة غالباً ما تكون ذات كتل مهولة. وهي ذات شكل كروي، وتدخل فيها عشرات آلاف المجرات. وهذه المجرات، هي كقاعدة إهليليجية الشكل أو عدسية الشكل. وثمة في الوسط مجرة واحدة أو مجرتان إهليليجيتان عملاقتان. وأقرب الحشود الصحيحة إلينا تقع باتجاه برج شعر فيرونيكا على مسافة تقارب الثلاث مائة مليون سنة ضوئية، وطول قطرها أكثر من عشرة ملايين سنة ضوئية. وتتحرك المجرات في هذا الحشد واحدتها بالنسبة للأخرى بسرعات تصل إلى حوالي الألف كم في الثانية.

أما الحشود غير الصحيحة، فإن كتلتها أصغر بكثير. وعدد مجراتها أقل بعشرات الأضعاف من عدد مجرات الحشود الصحيحة، وتنتمي مجراتها هذه إلى شتى الأنماط. شكلها غير صحيح، وهناك بعض الكثافة للمجرات في داخل الحشد.

وقد تكون الحشود غير الصحيحة صغيرة تماماً، إذ تصل حتى المجموعات الصغيرة التي تتألف من بضعة مجرات فقط.

وما الذي يمكن أن يكون أكثر امتداداً بعد من حشد المجرات؟ هل هناك حشد من حشود المجرات، أي حشود فائقة؟

لقد أظهرت الدراسات التي قام بها مؤخراً علماء الفيزياء الفلكية الاستونيون، يا. إيناستو، وأ. سآر، وم. إيفير، والأمريكيون ب. بيبلس، و او. غريغوري، ول. تومبسون، أن أكثر التغايرات اتساعاً في المدى في توزع المجرات، تحمل طابع «الخلية». وثمة في «جدران الخلايا» مجرات كثيرة، وحشود منها، أما داخلها، فهو خال. وتبلغ أبعاد الخلايا حوالي 300 مليون سنة ضوئية، وسمك جدرانها 10 ملايين سنة ضوئية. وتقع في عقد هذه البنية الخلية حشود كبيرة من المجرات. وقد أطلق على بعض مقاطع

البنية الخلية هذه اسم: الحشود الفائقة. وغالباً يكون لهذه الأخيرة شكل متمدد كثيراً يشبه الخيطان أو الشعيرية. حسن! وماذا بعد؟

هنا نصطدم بواقع جديد. فحتى الآن نحن وقعنا على نظم تزداد تعقيداً: نظم صغيرة تجمعت وشكلت نظماً أكبر، واتحدت هذه النظم الأكبر بدورها في نظم أكبر، وهكذا دواليك، أي أن الكون يذكّرنا هنا بالدمية الروسية الشهيرة، الأم: الأم الصغيرة في جوف الأكبر، وهذه في جوف الأكبر منها. فقد تبين أن للكون أمّاً هي الأكبر! فالبنية الكبيرة النطاق التي على شكل «الشعيرية» و «الخلايا»، لا تتجمع بعد ذلك في نظم أكبر، بل تملأ الفراغ الكوني بتعادل متوسط. فيغدو الكون في أكبر نطاق له (أكثر من ثلاث مائة مليون سنة ضوئية)، واحداً من حيث خاصياته: متماثلاً. وتعد هذه الخاصية خاصية شديدة الأهمية، وواحدة من ألغاز الكون. فلماذا توجد في نطاقات صغيرة نسبياً، خثرات ضخمة من المادة: أجسام سماوية، ومنظوماتها، ومجرات تتزايد تعقيداً حتى تصل مستوى الحشود الفائقة، بينما في النطاقات الكبيرة جداً تختفي التركيبية، وتصبح كالرمل على الشاطئ. فعندما تنظر إلى القريب ترى حبيبات الرمل واضحة، وإذ تنظر في المدى البعيد وتحيط بنظرك مساحة أكبر، لا ترى سوى كتلة رملية متماثلة.

وقد استطعنا أن نتتبع تماثل الكون حتى مسافة عشرة مليارات سنة ضوئية!

ونحن سوف نعود مرة أخرى إلى حل لغز تماثل الكون، أما الآن فلنلتفت إلى السؤال الذي قد يكون ظهر لدى القارئ. كيف أمكن قياس مثل هذه المسافات المهولة التي تفصل بيننا وبين المجرات ومنظوماتها، ونتحدث بمثل هذه الثقة عن كتلها، وسرعة دورانها؟

«نطاقات القياس» وأدوات علماء الفلك الأخرى

لنبدأ من المسافات. لا شك في أن قياس مسافات بملايين السنين الضوئية، هو معجزة العلم المعاصر. ففي بداية قرننا العشرين هذا، لم يكن ثمة حديث عن قياس مثل هذه المسافات. فكيف أمكن اختراق هذه الأمداء التي لا يتخيلها خيال، وبأي «شرائط قياس»؟

لقد كانت تلك طريق علمية شديدة الوعورة. لكن العلماء خطوة خطوة، ودرجة درجة نجحوا رويداً رويداً في التقدم في ميدان قياس مسافات أبعد فأبعد. وكانت الخطوة الجديدة تستند دوماً إلى نجاحات الماضي.

وكان قد تم تخطي الدرجة الجدية الأولى منذ أواسط القرن التاسع عشر. فقد قيست المسافات إلى النجوم الثلاثة الأقرب إلينا في وقت واحد عملياً، في كل من روسيا، وألمانيا، وأفريقيا. وكانت ماهية طريقة هذه القياسات، هي نفسها من حيث المبدأ، الطريقة التي كانت متبعة لقياس المسافات على الأرض بجهاز تعيين المدى. ومثل هذا الجهاز موجود الآن حتى في آلات التصوير، ولذلك فهو معروف لجميعهم. ويتلخص مبدأ عمل هذا الجهاز في أن الاتجاه نحو الجسم المقصود، يختلف بعض الشيء بالنسبة لمختلف كوى الجهاز. وإذا كانت المسافة بين الكوى وزاوية تبدل الاتجاه معروفة، فإنه يصبح من السهل حساب المسافة وفق قواعد علم حساب المثلثات. ويؤدي هذا الحساب في جهاز تعيين المدى (= الدالنومير -م)، أبسط الآليات الميكانيكية. فبقدر ما يكون الجسم أبعد بقدر ما ينبغي أن تزداد المسافة التي تنشر عليها كوى الدالنومير لكي يكون القياس أكثر دقة. وتدعى المسافة بين الكوى أساساً، أما الوسيلة نفسها فقد أطلق عليها تسمية: المثلثية. ولدى قياس المسافات حتى النجوم، يؤدي قطر مدار الأرض حول الشمس دور الأساس. ويقاس تبدل الاتجاه نحو النجم بفاصل نصف عام من نقاط مدار الأرض التي على طرفي نقيض. ولكن حتى مع وجود مثل هذا الأساس المهول، فإن تغير الاتجاه نحو أقرب النجوم لأقل من ثانية زاوية قوس، يتطلب دقة عالية ومهارة فائقة في القياسات.

لقد تبين أن أقرب النجوم إلينا يبعد عنا مسافة تزيد على سنة ضوئية.

وها قد مضى حتى الآن أكثر من مائة عام على إجراء القياسات الأولى للمسافات التي تفصل بيننا وبين النجوم. وعلى الرغم من التقدم الهائل الذي حصل في تقنية القياسات وطرائقها، فإننا نستطيع حتى الآن أن نحدد بثقة، المسافة إلى النجوم التي لا تبعد عنا أكثر من مائة سنة ضوئية، باستخدام الطريقة المثلثية هذه.

والمسافة حتى حدود المجرة أبعد من هذا بما لا يتخيله عقل، أما عن المجرات الأخرى فحدث ولا حرج.

أما الخطوة الثانية على السلم الذي يقود إلى النائي، فقد خطيت منذ أوائل قرننا العشرين هذا، وقد ساعدت النجوم التي تبدل درجة لمعانها بانتظام، أي النجوم المتغيرة، على خطوها.

وكانت البداية على يد الفلكية الأمريكية هنرييتا ليفيت، التي درست النجوم المتغيرة في واحدة من أقرب المجرات إلينا: سحابة ماجلان الصغيرة التي تظهر على النصف الجنوبي من نصف الكرة السماوية.

وبعد سنوات من بدء دراستها، نجحت ليفيت في تفسير واقعة مثيرة للفضول. فقد تبين أن خمسة وعشرين نجماً، هي نجوم متغيرة تغير لمعانها بصورة دورية دقيقة. وفي غضون ذلك، بقدر ما كان فاصل تغيير اللمعان أكبر، بقدر ما كان النجم نفسه أكثر سطوعاً. فتوصلت ليفيت إلى استنتاج فذ: «بما أن هذه النجوم المتغيرة قد تكون على مسافة واحدة من الأرض (لأنها تقع كلها في المجرة عينها: سحابة ماجلان الصغيرة. - إ. ن)، فمن الواضح أن فواصلها ترتبط بكم الضوء الذي تشعّه».

إنه من الصعب تقدير أهمية هذا الاكتشاف: وفق فاصل تغيّر درجة السطوع يمكن معرفة ضياء النجم.

فنحن نعرف أن لمعان النجم المرئي في السماء يتناقص عكساً مع مربع المسافة إليه. وإذا ما قورن الضياء الحقيقي للنجم باللمعان الظاهر، فإنه يمكن عندئذٍ حساب المسافة!

والحقيقة أنه لكي يمكن حساب المسافة حسب فاصل لمعان النجوم التي درستها هـ. ليفيت، ينبغي أن نعرف الإضاءة الحقيقية حتى لو لنجم واحد من تلك النجوم.

وكان إي. هيرشبرونغ أول من حاول أن يفعل ذلك. فقد أدرك أن النجوم التي رصدتها هـ. ليفيت في سحابة ماجلان الصغرى، هي تماماً مثل تلك النجوم المتغيرة التي نعرفها جيداً في مجرتنا وندعوها بالزيفيدات. فلمعان الزيفيدات يتبدل لأنها تنبض. والآن كان ينبغي تحديد الضياء الحقيقي لو لزيفيدا واحدة. وهنا بدأت الصعوبات الجدية. ففي ضواحي الشمس لا توجد لو زيفيدا واحدة يمكن تحديد المسافة إليها بالطريقة المثلثية، أو زيفيدا واحدة نعرف لمعانها الظاهر ومسافتها لكي نحسب ضياءها.

وهكذا بدأت المحاولات لتحديد المسافات إلى زيفيدات مجرتنا. وقد جاء التقدير الأول على يد هيرشبرونغ نفسه. ونحن لن نصف هنا كنه الطرائق غير المباشرة التي استخدمت في هذا السياق. ونشير فقط إلى أن المحاولة الأولى والمحاولات الكثيرة التي تبعتها، كانت صعبة إلى درجة أنها أدت إلى نتائج فيها أخطاء مهمة. ولم يكشف نهائياً عن هذه الأخطاء إلا في أوائل الستينيات. ولكن هذا العمل كان مهماً (والحديث يجرى عن قياس نطاقات الكون)، إلى درجة أن تدقيقه لا يزال متواصلاً حتى يومنا هذا.

وبعد أن جرى تحديد درجة الضياء الحقيقة لواحدة من الزيفيدات بفاصل معروف لتبدل درجة اللمعان، بات بالإمكان قياس المسافة إلى أي زيفيدا أخرى. وفعلاً بات معروف الآن ارتباط «فاصل: درجة الضياء الفعلية» للزيفيدات. ولتحديد المسافة إلى أي زيفيدا كانت، يكفي أن نحدد بالرصد فاصل تبدل لمعانها، ثم حسب الارتباط نجد درجة الضياء الفعلية، فنقارنها باللمعان الظاهر ونحسب المسافة. وإذا كانت الزيفيدا تتدرج في قوام أي حشد من النجوم أو في قوام مجرة، فإن المسافة إلى هذين تتحدد بذلك أيضاً.

وتُستخدم الزيفيدات هنا «قناديل قياسية» درجة لمعانها الفعلية معروفة. ولذلك دعيت الطريقة هنا بطريقة «القنديل القياسي».

إن الدور الذي تؤديه الزيفيدات في قياس المسافات عظيم إلى درجة دعت عالم الفلك الأمريكي المعروف هـ. شيبلي لأن يدعوها بالنجوم «الأكثر أهمية».

إن ضياء الزيفيدات الفعلية عظيم جداً، فهي أكثر سطوعاً من الشمس بألف مرة. ولذلك فهي تظهر من مسافات مهولة تصل إلى 15 مليون سنة ضوئية. وهذا يعني إنه يمكن بمساعدتها تحديد المسافة إلى أقرب المجرات.

بيد أن النطاقات الكبرى تهمنا أيضاً!

ولكي نتقدم إلى الأمام، ينبغي أن نخطو خطوة أخرى. فثمة رغبة للعثور على «قناديل قياسية» أكثر سطوعاً من الزيفيدات، وتظهر بوضوح جيد من مسافات أبعد. وقد ظهر أن مثل هذه «القناديل» موجودة فعلاً. فيظهر حول المجرات عادة، كثير من حشود النجوم التي دعيت بسبب شكلها، بالحشود الكروية.

وعندما تمّ تحديد المسافات إلى أقرب المجرات بمساعدة الزيفيدات، أمكنت مقارنة الضياءات الفعلية للحشود الكروية حول مختلف المجرات: لقد تبين إنه إذا جرى اختيار أكثر الحشود الكروية سطوعاً حول المجرة، فإن الضياء الفعلي لهذه الحشود الكروية، هو عملياً واحد بالنسبة للمجرات كلها.

وهذا يعني أنه يمكن استخدام الحشود الكروية الأكثر سطوعاً حول المجرات «قناديل قياسية»، وهي إضافة إلى ذلك أكثر سطوعاً من الزيفيدات.

فنحن نستطيع أن نقيس بهذه الطريقة مسافات تصل إلى ستين مليون سنة ضوئية. ومعنى هذا أنه بات بالإمكان قياس المسافة إلى أقرب حشود المجرات. وما يؤسف له أنه لا يمكن تمييز الحشود الكروية الواقعة على مسافات أبعد.

وتتمثل الدرجة الثانية، في استخدام «قنديل قياسي» أكثر سطوعاً. فقد تبين أنه في مختلف حشود المجرات، تملك المجرات الأكثر سطوعاً درجة ضياء واحدة: تقريباً عشرة أضعاف درجة ضياء مجرتنا.

إن هذه «القناديل القياسية» الأكثر سطوعاً، تتيح إمكانية التحرك إلى مسافات تصل إلى مليارات السنين الضوئية.

لقد كان ذلك هو «سلم النطاقات» الذي استخدمه الفلكيون ليصلوا إلى أعماق الكون.

ولكن كيف يقيسون سرعة حركة الأجسام البعيدة؟

غني عن البيان القول، إن أي انتقال للنجوم أو أي أجسام أخرى على صفحة السماء، غير ملحوظ على مسافات تصل إلى أقرب المجرات إلينا أو إلى تلك الأبعد، ولذلك لا يمكن الإفادة من مثل هذا الانتقال لحساب سرعة انتقالها في الفراغ عبر شعاع النظر.

إن الشيء الوحيد الذي يمكن قياسه، ولكن نسبياً ببساطة واطمئنان، هو سرعة اقتراب الأجسام السماوية منا وابتعادها عنا. ويجري إجراء مثل هذا القياس بالطريقة التي تستخدم فيها ظاهرة دوبلر. فعندما يقترب الجسم السماوي إلينا، يغدو ضوؤه أزرق، وحينما يبتعد عنا يغدو أحمر. ويمكّننا قياس تحول الخطوط في طيف النجم نحو النهاية الزرقاء أو الحمراء، من أن نحسب السرعة، أو بمعنى أدق، ذلك

الجزء من السرعة المتجه على «شعاع الرؤية». ولذلك فإن السرعات التي يجري تحديدها بظاهرة دوبلر، يدعوها الفلكيون: «السرعات الشعاعية».

وأخيراً، قياس كتلة المجرات وحشود المجرات. فتحديد كتلة هذه الأخيرة ممكن باستخدام قانون الجاذبية الكونية.

لنفرض أننا نراقب مجرة إهليليجية الشكل. تتحرك النجوم فيها بسرعات محددة كل بالنسبة للآخر. فلو لم يكن ثمة جاذبية لتناثرت النجوم في الفراغ لكن قوى الجاذبية التي تشترطها الكتلة الكلية للمجرة كلها، تمنعها من الوثوب. ونحن إذا قسنا السرعات النسبية للنجوم في المجرة (وهذا ممكن بطريقة دوبلر)، وعرفنا مقياس المجرة، فإنه يمكننا عندئذ حساب قوى الجاذبية، ومعنى ذلك أيضاً، الكتلة التي صنعتها. هكذا يحددون كتل المجرات.

وعند قياس كتل حشود المجرات يتبعون الطريق عينها، لكنهم بدلاً من حركات بعض النجوم، يستخدمون حركة المجرات في الحشد.

إذن، ها نحن الآن نعرف بالخطوط العامة كيف تم الحصول على الأعداد التي تصف تنظيم الكون في النطاقات الكبرى.

ويظهر سؤال آخر. كيف تتحرك في الفراغ حشود المجرات والمجرات المستقلة الأبعد؟

لقد تمثلت الإجابة على هذا السؤال في أعظم اكتشافات القرن العشرين في ميدان العلوم الطبيعية. فقد تبين أننا نعيش في كون متمدد. وحشود المجرات يتباعد واحدها عن الآخر، وقد تحولت مادة الكون كلها إلى حالة التمدد إثر انفجار غامض مهول حدث في الماضي البعيد.

ينبغي على الكون أن يرتقي

إن الكون الذي نعيش فيه ينبغي أن يتمدد أو ينكمش. هذا ما تكهن به العالم السوفيتي الشهير أ. فريدمان في الأعوام 1922-1924. وكانت أعمال فريدمان أعمالاً رياضية دقيقة، وقد اعتمدت على نظرية الجاذبية لدى أنشتاين. ولكن فهم كنه

اكتشافه لا يتطلب اللجوء إلى الرياضيات الدقيقة. ومثله مثل أي أمر عظيم، فإن هذا الاكتشاف بسيط من حيث أساسه الذي يقوم عليه.

ومن المفيد أن نتذكر الآن، لماذا لا يتقلص النجم العادي ولا يتمدد: لأن قوى الجاذبية فيه متوازنة مع القوة التي ينتجها هبوط الضغط من باطن النجم الكثيف إلى سطحه الرخو. ولكن الكون متماثل في أكبر نطاق، ولا يمكن أن يحدث فيه أي هبوط ضغط. إذن تبقى الجاذبية هي القوة الجوهرية الوحيدة هنا.

ولذلك إذا تخيلنا أن كتل الكون المهولة، هي في لحظة ما كتل ثانية بالمتوسط واحدتها بالنسبة للأخرى وموزعة توزعاً متماثلاً، ففي اللحظة التالية سوف تتحرك بتأثير الجاذبية، وسوف تبدأ المادة بالانكماش. وفي النظم الصغيرة نسبياً يمكن موازنة الجاذبية بالحركة الدائرية للأجسام على المدارات (كما هي الحال في نظامنا الشمسي)، أو بالحركة العشوائية للأجسام على مدارات متمددة تمدداً كبيراً (كما هي الحال في المجرات الإهليليجية). ولكن هذا غير ممكن في الكون المهول: يتطلب هذا إعطاء سرعات أكبر من سرعة الضوء، وهو ما تحرّمه قوانين الطبيعة.

إن الخلاصة التي خلص إليها أ. فريدمان تقول: إن استقرار الكون أمر مستحيل. ولكن ليس بالضرورة أن ينكمش الكون بتأثير الجاذبية تحديداً. وإذا ما أعطينا في البداية للكتل كلها سرعة ابتعاد واحدتها عن الأخرى، فإن الكون سوف يتمدد، أما الجاذبية فإنها سوف توقف التبعثر فقط. وعلى هذا النحو، هل سيكون هناك تبعثر أم انكماش: الأمر متعلق بالشروط البدئية، بفيزياء العمليات التي حددت السرعات البدئية للكتل. وهكذا تكون قد اكتشفت نظرياً ضرورة الارتقاء الكلي للكون.

لقد كانت هذه الفكرة فكرة جديدة تماماً، فكرة غير عادية. فعلى امتداد قرون سادت في العلم نظم مختلفة لبناء الكون، كان يعقب واحدها الآخر. لكن مشتركاً واحداً جمع بين هذه النظم كلها (أو تقريباً كلها)، وهو أنها كلها كانت نظم بناء، وليست نظم تطور، وارتقاء، وصيرورة. لقد بدا أن فكرة استقرار الكون كله فكرة بديهية. فمن الممكن أن تحدث في الكون كله أكثر العمليات تعقيداً، ولكن من أين، ومن أي حالة يجب أن يتطور الكون، وإلى أين؟

لقد كان يعتقد بأن فكرة ارتقاء الكون كله، هي فكرة غبية، وبصعوبة فائقة شقت هذه الفكرة طريقها إلى عقول كبار العلماء. ومثالنا على ذلك ألبرت أنشتاين نفسه. فقد أدرك خالق نظرية النسبية مدى أهمية نظريته لعلم الكونيات. وبعد وضعه نظرية النسبية العامة مباشرة، شرع يستوضح ما إذا كان لمعادلات نظريته حلول ثابتة تنسحب على الكون كله، أي حلول تصف حالة ثابتة لا تتغير في الزمن. لقد ظن أنشتاين أنه من الجلي وجوب بناء نمط ثابت للكون، وغير متطور. بيد أن معادلات نظرية النسبية العامة لم تعط حلولاً ثابتة تنسحب على الكون كله. لقد كانت فكرة سكون العالم ذات جاذبية جعلت أنشتاين لا يصدق معادلاته، بل حاول أن يغيّرها لكي تعطي حلاً ثابتاً. ونحن سوف نعود ثانية إلى محاولة أنشتاين هذه.

ولكن لماذا كانت لفكرة سكون الكون هذه الجاذبية كلها؟

من الواضح أن هذا حصل لأن فكرة سكون الكون قامت على أساس الاستقرار المرئي، وثبات الأجسام والنظم الفلكية، أكانت تلك هي النظام الشمسي، والنجوم، وحشود النجوم، أو المجرات. وشئنا أم أبينا، فإن الثبات الذي رصد في الظاهرات الفلكية على امتداد النطاقات المعروفة للبشرية، انسحب على الكون كله. وكان أرسطو قد تحدث عن هذا بوضوح في بحثه: «عن السماء»، فقال: «على امتداد الزمن الماضي كله، وحسب الحوليات التي توارثتها الأجيال، لا نقع على أي أثر لأي تغيرات حدثت في السماء البعيدة كلها، ولا في أي من أجزائها الدانية».

أما الآن، في زمننا هذا، فإن فكرة وجوب ارتقاء الكون تبدو فكرة طبيعية. فنحن نعرف الآن على وجه اليقين، أن ثبات النجوم، والأجسام السماوية الأخرى ونظمها وعدم تغيرها، هو أمر ظاهري وحسب. فالإنسان يرصدها في خلال فترات قصيرة جداً، لكي يلاحظ ارتقاءها وتغيرها. ولكن النجوم تولد وتعيش وتموت. وغالباً ما يستمر وجودها على قيد الحياة مليارات السنين. وتعد التفاعلات النووية التي تحدث في أجواف النجوم، مصدر الطاقة التي تشعها هذه. وكل مصدر طاقة ليس أبدياً. ذخيرته متناهية حتى لو كان مصدراً نووياً. وهذا يعني أن الشمس والنجوم قد ظهرت في الماضي المتناهي، وأن لها تاريخها أيضاً.

إننا نرصد اليوم عمليات عاصفة لانفجارات وتطورات في منظومات عملاقة كالمجرات. فالمادة التي تدخل في المجرة تتحول تدرجاً إلى عمليات نووية تحدث في النجوم: يتحول الهيدروجين إلى هليوم، ثم إلى عناصر كيميائية أثقل.

وهكذا فإن لوحة السكون غير مقبولة بالنسبة لأي منظومة فلكية، إذا ما درسنا فترات زمنية طويلة بما يكفي. ولو كان ينبغي اليوم إعادة بناء نمط للكون، فإنه سوف يكون من الضروري أن يطلب بأن يكون هذا النمط ارتقائياً، وأن يشار فيه إلى العصر الذي بدأت فيه ولادة النجوم والمجرات و.. في الكون.

ولكن لنعد إلى بداية قرننا العشرين هذا. ففي أواخر حزيران من العام 1922 تسلمت إدارة «المجلة الفيزيائية» الألمانية البحث الأول الذي وضعه أ. فريدمان وأثبت فيه أن الكون يجب يرتقي. ويبدو أن أ. أنشتاين كان على يقين بضرورة الحل الثابت (الستاتيكي = الساكن. -م) للمعادلات التي تصف حالة الكون، وقد دفعه يقينه هذا إلى عد بحث أ. فريدمان خاطئاً. ففي أيلول من العام 1922 تسلمت إدارة المجلة عينها ملاحظة مقتضبة من أنشتاين وصفها الأكاديمي ف. فوك بأنها «تتحدث بتعال عن أن النتائج التي توصل إليها أ. فريدمان تبدو لأنشتاين موضع شك، وأنه وجد فيها خطأ يؤدي تصحيحه بحل فريدمان إلى حالة السكون».

وقد علم أ. فريدمان بوجهة نظر أنشتاين، من رسالة زميله في العمل بمدينة بتروغراد يو. كروتكوف، الذي كان عندئذٍ في مهمة خارج البلاد. وفي كانون الأول من العام 1922، كتب فريدمان رسالة إلى أنشتاين عرض فيها حساباته بالتفصيل، مبرهنا برهاناً مقنعاً على صحة وجهة نظره. وختم فريدمان رسالته بقوله:

«في حال رأيتم أن الحسابات التي عرضتها في رسالتي هذه صحيحة، أرجو أن تتفضلوا وتخبروا إدارة «المجلة الفيزيائية» بذلك، وربما نشرتم في هذه الحال تصحيحاً لرأيكم أو أتحتم الفرصة لإعادة نشر المقطع المعني من رسالتي هذه».

وقد تسلم أنشتاين الرسالة وحفظت في أرشيفه، ويبدو أنه لم يقرأها في الوقت المناسب، أو أنه لم ينتبه لها أصلاً، لأنه كان على يقين بصحة رأيه.

في أيار من العام 1923 التقى يو. كروتكوف أ. أنشتاين في ليدن في منزل الفيزيائي الهولندي المعروف ب. ارينفيست، واستطاع في عدد من المناقشات أن يبرهن

على صحة استنتاجات عالم الرياضيات السوفييتي. ففي رسالته إلى أخته في بتروغراد المؤرخة في 18 أيار 1923، كتب يو. كروتكوف يقول: «لقد هزمت أنشتاين في النقاش حول فريدمان. وشرف بتروغراد مصون الآن»!.

بعد مناقشاته مع يو. كروتكوف مباشرة، أرسل أ. أنشتاين ملاحظة إلى «المجلة الفيزيائية» هذا نصها:

«بصدد بحث أ. فريدمان: "تقوس الفراغ".

لقد وجهت في الملاحظة السابقة نقداً للبحث المذكور. ولكن انتقادي كما تبين لي من رسالة فريدمان التي نقلها لي السيد كروتكوف، قام على خطأ في الحسابات. وأنا أرى أن حسابات فريدمان صحيحة وتلقي ضوءاً. فقد ظهر أن معادلات الحقل تبيح إلى جانب الحلول الساكنة، حلولاً أخرى ديناميكية (أي متغيرة بالنسبة للزمن) مركزية متماثلة بالنسبة لبنية الفراغ». وبعد ذلك دأب أنشتاين على التنويه بأهمية أعمال فريدمان بالنسبة لإنشاء علم الكونيات المعاصر. فكتب في العام 1931 يقول: «أول.. من خطا على هذه الطريق، هو فريدمان».

اكتشاف تمدّد الكون

تعد النظم النجمية البعيدة، أي المجرات وحشودها، هي الوحدات البنيوية الأكثر شهرة لدى علماء الفلك. فهي تُرصد من مسافات بعيدة بعداً كبيراً، وكان إشعاع حركاتها تحديداً، هو الأساس الرصدي الذي اعتمد لدراسة حركية الكون.

في أوائل القرن العشرين، كان الفيزيائي الفلكي الأمريكي ف. كليفر، هو رائد قياس السرعات الشعاعية للمجرات. وفي ذلك الوقت لم تكن المسافات إلى المجرات معروفة بعد، ودارت بين العلماء مجادلات حامية الوطيس حول ما إذا كانت المجرات تقع داخل منظومتنا النجمية: مجرتنا، أم بعيداً خارج حدودها. لقد وجد ف. كليفر أن أكثر المجرات (36 بين الـ 41 مجرة التي قاسها)، يبتعد وأن سرعة ابتعاده تصل إلى حوالي الألفي كيلومتر في الثانية. ولم يقترب إلينا سوى بعض المجرات. وقد تبين فيما بعد أن الشمس تدور حول مجرتنا بسرعة تقارب 250 كم في الثانية، وأن

قسماً كبيراً من «سرعات اقتراب» هذا البعض من أقرب المجرات يرتبط تحديداً بكون الشمس تتحرك الآن صوب هذه الأجسام.

إذن، حسب ف. كليفر أن المجرات ابتعدت عنا. وكانت خطوط أطيافها متحولة إلى النهاية الحمراء. وقد حملت هذه الظاهرة اسم «التحول الأحمر».

وفي عشرينيات القرن العشرين، كانت قد قيست المسافات إلى المجرات.

ففي العام 1923 اكتشف الفلكي الأمريكي أي. هوبل أول زيفيدا في واحدة من أقرب المجرات إلينا في برج أندروميدا. وبعد عام كان هوبل قد اكتشف أكثر من عشر زيفيدات في هذه المجرة، واثنتين وعشرين زيفيدا في مجرة أخرى في برج المثلث.

كما اكتشفت الزيفيدات في المجرات الأخرى أيضاً. وتبين أن المسافات إلى هذه الزيفيدات، أي إلى المجرات التي تقع هذه الزيفيدات فيها أيضاً، هي أكبر بكثير من حجم مجرتنا. وبذا يكون قد تبين نهائياً أن المجرات، هي نظم نجمية بعيدة مثلها مثل مجرتنا.

وإضافة إلى الزيفيدات استخدمت الأعمال الأولى طرائق أخرى أيضاً لتحديد المسافات إلى المجرات. فكان استخدام أكثر نجوم المجرات سطوعاً، دليلاً على المسافات، واحداً من تلك الطرائق. ومن الواضح أن لأكثر النجوم سطوعاً درجة ضياء واحدة في مجرتنا والمجرات الأخرى كذلك؛ ويمكن بهذا «القنديل القياسي» تحديد المسافة. بيد أن للنجوم الأكثر سطوعاً درجة ضيائها أكبر من تلك التي للزيفيدات، وهي يمكن أن ترى من مسافات كبيرة، ولذلك فهي تعد دليلاً أقوى على المسافات.

وقد أتاحت مقارنة المسافات إلى المجرات، بسرعات ابتعادها (وكان ف. كليفر قد حدد السرعات من قبل، وكذلك فعل الفلكيون الآخرون، ودققت تدقيقاً فقط على أساس حساب حركة الشمس في المجرة)، أتاحت الإمكانية لهابل لأن يحدد في العام 1929، حتمية قانونية ذات أهمية: بقدر ما تكون المجرة أبعد، بقدر ما تكون سرعة ابتعادها عنا أكبر. فقد تبين أنه ثمة تبعية بسيطة بين سرعة ابتعاد المجرة والمسافة إليها: تتناسب السرعة طرداً مع المسافة. ويدعى عامل التناسب هذا الآن بمقدار هابل.

فحسب قياسات هابل، أن المجرات التي تقع بعيداً عنا مسافة مليون سنة ضوئية، تبتعد بسرعة مائة وسبعين كيلومتر في الثانية.

لقد مر الآن على اكتشاف هابل 50 عاماً. وخلال هذه السنين زادت قوة الدراسات الفلكية زيادة كبيرة، وقد أثبتت هذه الدراسات صحة قانون هابل: قانون تناسب سرعة ابتعاد المجرات مع مسافتها. ولكن تبين أن مقدار عامل التناسب كان عالياً جداً لدى هابل.

وكان الأمر يكمن في أنه كان هناك خطأ في تحديده للمسافات إلى المجرات. فقد جرى تقليصها بستة إلى عشرة أضعاف. وليس في هذا ما يثير الاستغراب، لأن تحديد المسافات البعيدة كان ينبغي أن يعبر كما رأينا، درجات سلم طويل، وكان الخطأ ممكناً على أي درجة منها.

ولم يتسن تحديد المصادر الرئيسة للأخطاء، إلا في العام 1950 حينما بدأ العمل بأكبر تلسكوب في ذلك الوقت، وهو تلسكوب مرصد ماونت بالومار الذي بلغ الخمسة أمتار. ففي العام 1952 وجد الفيزيائي الفلكي الأمريكي ف. بادي أن زيفيدات النمط الذي استخدمه هابل، كانت فعلاً أكثر سطوعاً بأربعة أضعاف عما ظنوا من قبل. ومعنى هذا أن المسافات إلى أقرب المجرات، وهي المسافات التي تحددت بالزيفيدات، فعلاً أكبر بمرتين. وقد تبين بعد مزيد من التدقيقات أنه ينبغي زيادة المسافات إلى أقرب المجرات ثلاث مرات. ومن الواضح أن هذا الخطأ قد جر وراءه أخطاء أخرى. وقد تأتى زيادة المسافات المقيسة كلها، حتى المجرات الأبعد، بمقدار ثلاث مرات.

كان الاعتقاد السائد قبل تغير مدرج المسافات الذي وصفناه هنا، هو أن كل المجرات المجاورة أصغر بكثير من مجرتنا. وقد بدا هذا غريباً. ولكن بعد إعادة النظر في المدرّج، بات واضحاً أن كثيراً من المجرات مماثل لمجرتنا من حيث الحجم، بل وأكبر. وقد رسخ هذا الاستنتاج الثقة في صحة إعادة النظر بمدرج المسافات.

ثم تبين في آخر الخمسينيات أن هناك أخطاء جوهرية في درجات السلم الذي يقود إلى أعماق الكون. فقد أخطأ هابل أيضاً في تحديد المسافات إلى المجرات الأبعد، حيث لا ترى الزيفيدات. وكان لهذا الخطأ سببان. ارتبط الأول منهما بأن تحديد اللمعان المرئي للنجوم الضعيفة جداً في المجرات الأخرى، يقضي بوجوب مقارنة لمعانها مع

درجات لمعان قياسية. وتعد هذه المسألة مسألة شديدة التعقيد، إذ ظهر أن الإجراءات المعيارية للقياسات تعاني بدورها من هفوات.

أما السبب الثاني للأخطاء، فقد تمثل في أن هابل ظن خطأ أن السحب الغازية للهيدروجين المؤين، الشديدة السطوع، هي النجوم الأكثر لمعاناً في المجرات البعيدة (وكانت هذه النجوم، هي «القناديل القياسية» بالنسبة إليه). فقد بدت هذه السحب من هذه المسافات الكبيرة، نقاطاً ساطعة، كأنها نجوم، وهو ما أدى إلى الوقوع في الخطأ. وكانت النتيجة، هي ارتفاع مدرج المسافات إلى المجرات البعيدة مرة أخرى، بما يقارب 2.2 مرة.

وإذا ما أخذنا ما قيل كله بالحسبان، فإن المسافة كلها إلى أبعد المجرات، سوف تكون أكبر مما ظن هابل بما يقارب 6-10مرات. ولا يزال من غير الممكن أن نقول شيئاً أكثر تحديداً في هذا الشأن. فقد تبين أن مقدار هابل أصغر مما ظنه هابل بالمقدار نفسه. فحسب المعطيات المعاصرة، أن المجرات الواقعة على مسافة مليون سنة ضوئية عنا، تبتعد بسرعة تقارب 25 كم في الثانية.

بعد هذه التدقيقات، نعود إلى الأهمية المبدئية التي يحظى بها اكتشاف هابل بالنسبة لفهمنا تركيب الكون.

فقد أظهر هذا الاكتشاف أن المجرات تبتعد عنا بالاتجاهات كلها، وأن سرعة هذا الابتعاد تتناسب طرداً مع المسافة.

وتثير هذه الحقيقة الدهشة عفوياً: لماذا تتراكض المجرات بعيداً عنا تحديداً، عن مجرتنا. أيمكن أن نكون نحن في مركز الكون؟

إن مثل هذا الاستنتاج غير صحيح. فالمجرات لا تبتعد عن مجرتنا فقط، بل عن بعضها بعض أيضاً. فلو كنا في مجرة أخرى، لرأينا لوحة التراكض عينها كما لو من منظومتنا النجمية.

ولكي نستوعب هذا، فلنتخيل مجرتين مبتعدتين عنا باتجاه واحد، والثانية منهما أبعد بمرتين عنا من الأولى وتبتعد بسرعة أكبر بمرتين. فلنتحول الآن ذهنياً إلى هذه المجرة الثانية. فهي تبتعد عنا، ويظن المراقب الموجود عليها، وهو يظن نفسه طبعاً ثابتاً لا يتحرك، أن مجرتنا تتحرك بالاتجاه المعاكس بالسرعة عينها.

أما المجرة الأولى الواقعة في منتصف الطريق بين مجرتنا والمجرة الثانية، فهي تتأخر عنها، ويعتقد المراقب الموجود على المجرة الثانية أنها تبتعد عنها بالاتجاه نفسه الذي تبتعد فيه مجرتنا، ولكن بسرعة أقل. وما قلناه هنا ينسحب على أي مجرات أخرى.

إذن، من وجهة نظر المراقب الموجود على أي مجرة، تبدو اللوحة كأن المجرات تتراكض مبتعدة عنه تحديداً.

ويمكن أن نتخيل أيضاً نمطاً آخر لتوضيح ما قلناه هنا. لنأخذ كرة متجانسة ثم نزيد من أبعادها، ولنقل بمقدار الضعفين، بحيث تبقى الكرة متجانسة. ومن الواضح أن المسافة بين أي نقطتين داخل الكرة سوف تزيد في أثناء ذلك بمقدار الضعفين، لو اخترناها كيفما كان داخل الكرة. ومعنى ذلك أنه أينما كان المراقب موجود في الكرة لدى تكبيرها، فإنه سوف يرى لوحة واحدة لابتعاد كل النقاط داخل الكرة عنه. وإذا ما أخذنا كرة حجمها لا متناه في الكبر، فإننا نحصل على اللوحة التي وصفناها أعلاه بصرف النظر عن وضع المراقب.

وهكذا فالحقيقة الأساس، هي أن المجرات تتراكض، أي، إن الكون يتمدد، يتسع. ويعد هذا تأكيداً فذاً لاستنتاج نظرية فريدمان عن أن الكون ليس ساكناً.

ويسألون في بعض الأحيان: لنفرض أن حشود المجرات تملأ الكون كله بتعادل وسطي، «فإلى أين» سيتمدد الكون عندئذٍ؟

ولكن هذا السؤال نفسه غير صحيح. فالكون هو كل ما هو موجود. وليس ثمة شيء خارجه: لا المجرات، ولا أي مادة أخرى، ولا الزمن ولا أي شيء على وجه العموم. ولا وجود لذلك الفراغ الذي يمكن أن يحصل فيه التمدد. إن الكون لا يحتاج إلى أي شيء خارجه لكي يتمدد فيه. وها كم مثالاً توضيحياً.

لنفرض أن هناك مسطحاً لا متناهياً عليه نقاط متساوية: مجرات. دعونا نمدد هذا المسطح تمديداً متعادلاً في الاتجاهات كلها بحيث تزداد المسافات بين النقاط. والسؤال الذي يطرح نفسه: إلى أين تمدّد المسطح؟ فهو على أي حال امتد إلى ما لا نهاية. ومن الواضح أن خاصيات اللا نهاية هي هكذا. ولو ضاعفنا اللا نهاية مرتين، فإننا لن نحصل إلا على هذه اللا نهاية عينها!

والآن دعونا ننصرف عن المجرات والكون إلى حين، لكي نتحدث عن اللا نهاية، لأن هذا المفهوم يؤدي أهم دور في تصوراتنا عن الكون.

من المعروف أن نظرية المضاعف في علم الرياضيات، هي التي تدرس مفهوم اللا نهاية. وأكثر الذين لم يدرسوا هذه المسألة دراسة خاصة، لديهم تصور مبهم جداً عن اللا نهاية. فيظن حدسياً أن اللا نهاية، هي ما يحصل إذا بدأنا العد دون توقف من 3.2.1... إلى ما لا نهاية. ويبدو للوهلة الأولى أنه ما الداعي بعد لنظرية اللا متناهي؟

ولكن واقع الأمر، هو أن خاصيات اللا متناهي لا تستنفذ بمواصلة العد إلى ما لا حدود له. ضف إلى هذا أن خاصيات اللا نهاية لا متناهية التنوع، وتثير الدهشة أكثر من خصائص أي أعداد متناهية ومجاميعها.

وسوف نتعرف إلى بعض منها الآن. وها نحن نبدأ من القصة التي تنسب إلى عالم الرياضيات الشهير د. جيلبرت.

لنتخيل فندقاً يحتوي على عدد غير محدود من الحجر «المرقمة» بالتسلسل: 3.2.1...، كلها مشغول، ثم يصل أحدهم في وقت متأخر من الليل. فيقول له عامل الاستعلامات: «ليس لدينا حجر خالية». لكن مدير الفندق يشترك في الحديث ويقول للعامل: «لا أهمية لهذا. ننقل نزيل الحجرة رقم 1 إلى الحجرة رقم 2، ونزيل الرقم 2 إلى الرقم 3، ونزيل الرقم 3 إلى الرقم 4، وهكذا دواليك، ثم نضع النزيل الجديد في الحجرة رقم 1 التي خلت».

ثم يصل بعد ذلك ألف نزيل آخر. فيقول لهم العامل: «ليس لدينا حجر خالية». فيعترض المدير قائلاً: «لا أهمية لذلك. ننقل نزيل الحجرة رقم 1 إلى الحجرة رقم 1001، ونزيل الحجرة رقم 2 إلى الحجرة رقم 1002، وهكذا دواليك، ثم نضع النزلاء الجدد في الحجر من 1 إلى 1000 التي باتت خالية الآن».

وما كاد النزلاء يتوزعون على حجرهم، حتى وصل المكان حشد لا عد له من النزلاء الجدد، وها نحن نشير إليهم بالحرف A3,A2,A1، ... فقال لهم العامل: «ليس ثمة حجر خالية». ومرة أخرى يتدخل المدير ويقول: «ليس في ذلك أي مشكلة. ننقل نزيل الحجرة رقم 1 إلى الحجرة رقم 2، ونزيل الرقم 2 إلى الرقم 4، ونزيل الرقم 3 إلى الرقم

6، وهكذا نطلب من كل نزيل أن ينتقل إلى الرقم الذي يساوي ضعف رقم حجرته. وعندئذٍ يمكننا أن ننزل النزلاء A3,A2,A1...، في الأرقام 5,3,1، ...».

إن هذه القصة تبرهن على أن الجزء في اللا نهاية يساوي الكل. وفي واقع الأمر لو كتبنا عدداً لا متناهياً من الأرقام الزوجية على نسق لا متناه، وكتبنا تحت هذا النسق أرقام النزلاء 3,2,1...

8,6,4,2، ...

4,3,2,1، ...

لرأينا أن كل عدد زوجي يوافقه رقم نزيل والعكس صحيح. ومعنى هذا أن عدد الأعداد الزوجية يساوي عدد أعداد النسق العيني كلها. ويبدو هذه للوهلة الأولى متعارضاً مع حدسنا. فالأعداد الزوجية لا تشكل سوى نصف الأعداد كلها. والأمر هكذا فعلاً بالنسبة لأي مجموع متناه من الأعداد. ولكن عندما نتحول إلى اللا نهاية، فإن كل شيء يتغير، ويمكن للجزء أن يساوي الكل، وهو ما رأيناه عيانياً عندما قارنا النسقين المدونين أعلاه.

وتدل على مثل هذه الخاصيات أيضاً، الأمثلة الأخرى الواردة في قصة د. جيلبرت الهزلية.

وقد يبدو من الأمثلة التي سقناها، أن اللا نهايات كلها متجانسة، أي أن أي كثرة لا متناهية من العناصر يمكن عدها بمساعدة نسق لا متناه من الأعداد العينية، كما فعلنا مع الأعداد الزوجية. بيد أن الأمر ليس على هذا النحو!

ففي القرن التاسع عشر برهن عالم الرياضيات الشهير هـ. كانتور، أن عدد النقاط على مقطع من مستقيم لا يمكن عده بأي وسيلة كانت، كما لا يمكن ترقيمها بمساعدة نسق لا متناه من الأعداد العينية، وذلك بإعطاء كل نقطة رقماً، حتى لو أخذنا هذه النقاط وفق أي ترتيب كان. إذ سوف تبقى دائماً لو نقطة واحدة ينقصنا رقم لها!

وليس من الصعب فهم هذا. لنتخيل أننا أخذنا على سبيل المثال، مقطعاً من طول فريد، ووصّفنا وضع كل من نقاطه ببعدها عن الطرف الأيسر المعتمد نقطة الصفر. إن هذه المسافات سوف تسجل بالكسور العشرية. وبمعنى أدق، إن وضع كل نقطة سوف

يدون في صورة كسر عشري لا متناه له بعد الفاصلة نسق لا نهاية له من العلامات العشرية. ومن البدهي أنه في الحالات الاستثنائية، يمكن للعلامات كلها بدءاً من أي منها، أن تغدو صفراً.

ولكن دعونا نتخيل بعد ذلك، إنه خلافاً لزعمنا، نجح أحدهم في ترقيم نقاط هذا المقطع. وعندئذٍ سوف نكتب الكسور العشرية التي توصّف حالة هذه النقاط على المقطع وفق تسلسل أرقامها على شكل جداول. فنكتب في السطر الأول كسراً لا متناهياً لحالة النقطة التي أعطيت الرقم الأول، ونكتب في السطر الثاني كسراً لا متناهياً للنقطة التي أعطيت الرقم الثاني، و.... ويمكن أن يظهر جدولنا هذا، تقريباً هكذا:

0.32869700833
0.91967138452
0.00063700114

فنُظهر أنه ثمة بالضرورة نقطة على المقطع لم تدرج في هذه اللائحة، وبالتالي فإن اللائحة غير كاملة.

ولكي نكتب الكسر العشري الذي يوصّف حالة هذه النقطة على المقطع، نتصرف على الوجه الآتي: نكتب بالعلامة الأولى بعد الفاصلة بالكسر العشري أي عدد يتميز عن العدد الأول بعد الفاصلة في السطر الأول من جدولنا (في مثالنا، العدد 5 مثلاً، وليس العدد 3). ونكتب العدد الثاني في كسرنا أيّ عدد كان، شريطة أن يكون مختلفاً عن العدد الثاني في السطر الثاني من الجدول (وليس هذا في مثالنا، العدد 1)؛ وعلى هذا المنوال إلى ما لا نهاية. ومن الواضح أننا سوف نحصل على كسر غير موجود في لائحتنا. والواقع أنه لا يتطابق مع السطر الأول، لأن العدد الأول بعد الفاصلة يختلف أصلاً، ولا يتطابق مع السطر الثاني لأن العدد الثاني بعد الفاصلة يختلف أصلاً، و...

إن نقطة المسافة التي سجلت بهذا الكسر، أُسقطت من لائحتنا اللا متناهية، أي أنه لا رقم لها.

وبدا كأنه يمكن أن يبدأ الترقيم من هذه النقطة، ثم بعد ذلك تمنح باقي النقاط أرقامها. وكان عالم الرياضيات الهولندي هـ. فريدينتال، قد لاحظ مداعباً في

هذا الصدد، إذ قال: هذا ما فعله الذي راهن على أنه يستطيع أن يأكل عشرين حبة بطاطا. فبعد أن ابتلع تسع عشرة حبة منها ورأى أنه عاجز عن ابتلاع الحبة العشرين، أخذ نفساً عميقاً وقال: «كان ينبغي علي أن أبدأ بهذه أولاً».

وغني عن البيان إننا لو بدأنا الترقيم من النقطة التي تحدثنا عنها لتونا والتي بقيت من غير ترقيم، فإننا بالطريقة عينها يمكن أن نجد نقطة أخرى تبقى حسب طريقة الترقيم الجديدة، من غير رقم.

وقد يكون القارئ تعب بعض الشيء من متابعة مثل هذه الإنشاءات غير المعتادة بيد أن للأمر أهمية كبيرة جداً، وما سقنا أمثلتنا الغريبة هذه إلا لكي نجعله يشعر بعض الشيء إلى أي درجة غريبة هي الخاصيات التي نصادفها في مملكة اللا نهاية.

وهكذا، فإن النقاط التي على مقطع وحيد من مستقيم أكثر أصلاً من الأعداد اللا متناهية للنسق العيني. ويقول علماء الرياضيات، إن لا تناهي النقاط على مقطع المستقيم أكثر قوة من لا تناهي أعداد النسق العيني.

إذن، ليست اللا متناهيات كلها واحدة. فثمة بينها الأكثر قوة، أي الأكثر غنى بالعناصر؛ وثمة الأقل قوة.

وبدا كأن مقدار النقاط على المستقيم كله أكبر أصلاً من مقدار النقاط على المقطع الوحيد. فالمقطع في نهاية الأمر قسم من المستقيم. ولكن ينبغي علينا أن نتوخى الحذر هنا ونتذكر أن مقولة «الجزء أصغر من الكل» تفقد فاعليتها في مملكة اللا نهاية. والواقع أن قوة العدد اللا متناهي من نقاط المستقيم والمقطع، واحدة. إنهما لا نهائيتان متجانستان!

ضف إلى هذا أن لا تناهي عدد النقاط على المسطح كله، بل حتى في الفراغ الثلاثي الأبعاد كله، له القوة عينها التي للا تناهي عدد نقاط مقطع المستقيم. فهي كلها لا متناهيات متجانسة. وقد يشتبه أحدهم فيتساءل: بما أن كثرة نقاط الفراغ اللا متناهي كله ليست أكبر من كثر نقاط المقطع، فإن هذا يعني أنه لا وجود أصلاً لكثرة لا متناهية أكثر قوة. وهذه اللا متناهية هي الأكبر أيضاً.

بيد أن الأمر ليس كذلك. فعلماء الرياضيات قادرون على إنشاء كثيرات قوتها أكبر فأكبر، أي أنهم قادرون على إنشاء لا متناهيات أكبر فأكبر. ولكن ليس ثمة وجود للا متناهية الأكبر، فهذا النسق لا متناه بدوره.

لنتوقف، ربما في أول الطريق إلى عالم اللا متناهيات. والترحال فيها ليس أقل جاذبية من الترحال في عالم الثقوب السوداء أو تنائي الكون. بيد أنها طريق باتجاه آخر للمعارف الإنسانية.

ولذلك دعونا نرجع إلى موضوع تمدد الكون. فبعد الذي قلناه لم يعد ثمة ما يمكن أن يثير الاستغراب في مسألة أن الكون اللا متناهي يمكن أن يتمدد إلى ما لا نهاية، وليست هناك حاجة لوجود شيء ما خارج الكون لكي يحصل هذا التمدد.

وكما حصل في قصة جيلبرت، إذ كان يمكن إسكان العدد اللا متناهي من النزلاء في الحجر ذات الأرقام الزوجية فقط، وبذلك تتضاعف المسافة بينها، كذلك هي الحال في الكون، إذ يمكن مضاعفة المسافة بين المجرات مثلاً، والبقاء داخل الكون نفسه.

بيد أن سؤالاً آخر شديد الأهمية يظهر في هذا السياق: لماذا يتمدد الكون؟ ما الذي أعطى المجرات السرعة؟ ومن المهم أن نذكّر مرة أخرى أن نظرية الجاذبية لا تجيب على هذا السؤال. فالمجرات الآن تتحرك بقوة الاستمرار، وتكبح الجاذبية سرعتها.

وأخيراً بقيت ملاحظة واحدة. فقد نسمع في بعض الأحيان من يزعم أن تمدد الكون يجر وراءه تمدد كل ما هو موجود في العالم: ليست المجرات وحدها التي تتراكض، إنما تتمدد أيضاً، ويتمدد بعض النجوم، كما يتمدد كذلك كوكبنا، والأجسام كلها على وجه العموم. وهذا ليس صحيحاً من غير شك. فتراكض المجرات لا يؤثر بأي شكل من الأشكال على بعض الأجسام. وكما في سحابة الغاز المتناثرة لا يتمدد بعض الجزئيات، كذلك أيضاً في الكون المتمدد، لا تخضع الأجسام المترابطة بالجاذبية (المجرات، والنجوم، والأرض)، للتمدد الكوسمولوجي (كوسمولوجيا = علم الكونيات. -م). وغني عن البيان أن هذه يمكن أن تتمدد أو تتقلص، إلا أن هذا يحدث لأسباب داخلية: بسبب العمليات الجارية في داخل هذه الأجسام.

هل يتمدد الكون؟

لم يحظ الاستنتاج القائل بتمدد الكون باعتراف عام مباشرة. ففكرة ارتقاء العالم المحيط كله، هي بحد ذاتها فكرة مهولة. وهي تقود إلى كثير من النتائج المدهشة البعيدة المدى. مثلاً: في الماضي البعيد، عندما بدأ التمدد لم يكن الكون يشبه الكون الراهن. ونحن كنا أشرنا سابقاً إلى أن هذه الفكرة أثارت اعتراضات كثيرة، سببها إلى حد ما خمول الفكر البشري، وإلى حد ما الآراء شبه الفلسفية المسبقة الحكم. فقد بدا أن التصور عن الكون ساكناً خاملاً، لا يتطور، هو تصور أكثر اعتيادية وطمأنة. وقد أنتج هذا كله كثيراً من المحاولات لإعطاء تفسير ما آخر «للتحول الأحمر» المنظور في أطياف المجرات البعيدة، تفسير مختلف عن تعليله بظاهرة دوبلر. وعندئذٍ يغدو بالإمكان ألا تعد المجرات تبتعد واحدتها عن الأخرى، وإلا يعد الكون متمدداً.

وقد انعكس هذا بوضوح في أهمية «الفكر السليم والكون»، التي كتبها الكاتب الكندي الساخر وعالم الاقتصاد س. ليكوك، فقال: «على مدى السنوات الأخيرة، وتحديداً منذ اليوم الذي أذيعت فيه هذه الفرضية المريعة (فرضية تمدد الكون. - إ. ن..)... ونحن، كل حسب إمكاناته، نحاول أن نعيش في هذا الكون المتمدد، الذي يطير كل جزء من أجزائه عن الأجزاء الأخرى بسرعة مخيفة! وهذا يذكرنا بذلك العاشق اليائس الذي قفز إلى صهوة جواده وانطلق كالمجنون في اتجاهات مختلفة. إن الفكرة عظيمة من غير شك، لكنها خلقت إحساساً ما غير مريح».

ولا نزال حتى الآن نصادف محاولات «الدفاع» عن فكرة سكون الكون. فما هو واقع الأشياء فعلاً؟ أليس هناك عملية فيزيائية ما غير مرتبطة بتراكض المجرات، وفي الوقت نفسه لا تثير احمرار كوانتات الضوء: الفوتونات؟

إن مثل هذه الآليات موجودة من حيث المبدأ. فلكي يحمرّ الكوانت، ينبغي أن يعطي طاقة. ويمكن أن يحدث هذا حينما يرتحل الكوانت طويلاً في الفضاء،

ويصطدم بالكترونات الوسط النجمي، وفي بعض تنويعات الفرضية أنه يصطدم بفوتونات أخرى في الفراغ الذي بين المجرات. وحسب الفرضيات المشابهة كلها، أن الفوتون عندما يتفاعل لا يفقد الطاقة فقط، إنما يغير اتجاه حركته أيضاً. ومعنى هذا أن كوانتات الضوء الطائرة من المجرة إلينا مباشرة، تكتسب بالتدرج حركة على مسارات متنافرة. ويجب أن تغدو تصاوير المجرات البعيد مبهمة، غير دقيقة.

ولكن شيئاً من هذا لا يلاحظ. ولهذا السبب وحده لا يمكن لهذه الواقعة أن تفسر «التحول الأحمر». وليست هناك ضرورة للقول، إن هذا كان سيتطلب وجود درجة أسطورية من كثافة الوسط الواقع بين المجرات، كما كانت ستظهر ظاهرات أخرى أيضاً.

كما اقترحوا آلية مفترضة أخرى لاحمرار الفوتونات، هي عملية افتراضية تتحل فيها الفوتونات بالتدرج وتطلق ذرات ما أخرى. ومنذ ثلاثينيات القرن العشرين، بيّن الفيزيائي السوفييتي م. برونشتين، أنه حتى لو كان لمثل هذه العملية وجود (تبين فيما بعد أنها غير موجودة)، فإن احتمال انحلال طول موجة الفوتون كان يجب أن يتناسب عكساً مع التردد. إذن بقدر ما يكون طول موجة الفوتون أكبر، بقدر ما ينبغي أن يتسارع «احمراره». كما كان ينبغي أن يكون احمرار كوانتات الموجات اللاسلكية أسرع من احمرار كوانتات الضوء المرئي. وعلى هذا النحو كان يجب أن يكون التحول الأحمر للخطوط الطيفية في الأطياف اللاسلكية للمجرات أكبر منه في منطقة الطيف المرئي. وفي الستينيات من القرن العشرين أجريت أعمال رصد دقيقة لتحول خط لاسلكي طوله موجته 21 سم. وقد ظهر الخط بوضوح في الأطياف اللاسلكية للغاز البارد الذي بين النجوم، في كثير من المجرات الأخرى.

ففي كل المجرات الثلاثين التي طالتها أعمال الرصد، ظهر التحول الأحمر في النطاق اللاسلكي تماماً كما هو بالنسبة لموجات الضوء المرئي بالعين المجردة.

وعليه فإن الافتراض القائل باحمرار الكوانتات بسبب شيخوختها، يسقط سقوطاً تاماً.

يبقى أن ظاهرة دوبلر التي يثيرها تمدد الكون، هي التفسير الممكن الوحيد للتحول الأحمر الكوسمولوجي.

ولا يضير أن نذكّر مرة أخرى بأن ارتقاء الكون وعدم سكونه كان قد جرى التكهن بهما نظرياً قبل الكشف عنهما تجريبياً، وقد أكد اكتشاف التحول الأحمر هذا الاكتشاف وحسب. وليس وجود التحول الأحمر هو الذي يجب أن يثير استغرابنا، أو تمدد الكون (فارتقاء الكون هو النتيجة المباشرة للقوانين الفيزيائية الأساس)، إنما الذي يثير الدهشة حقاً، هو قدرة الأفكار التقليدية على الاستمرار.

فلو أظهرت أعمال الرصد غياب التحول المنتظم للخطوط في أطراف المجرات، أي سكون الكون، عدم ارتقائه، فإن ذلك كان سيعني أن قوانين الجاذبية تحتاج إلى تدقيق، وأن هناك قوة كونية ما في الكون تعيق الجاذبية عن جعل الكون ارتقائياً غير ساكن.

وما يثير الفضول أن ألبرت أنشتاين قد حاول إدخال مثل هذه القوة منذ فجر علم الكونيات المعاصر، قبل ظهور أ. فريدمان وإي. هابل. وهذا ما سوف نتحدث عنه في الفقرة القادمة. أما الآن فلم يبق لنا إلا أن نضيف، أن بعض الفيزيائيين الفلكيين المعاصرين ينوهون إلى إمكانية وجود تحول أحمر إضافي لدى بعض الكوازارات والمجرات، تثيره أسباب أخرى، كحقل الجاذبية القوى أو عمليات أخرى غير معروفة؛ إلى جانب المبدأ لا شك في أن وجود مثل هذه الظاهرات أمر ممكن. لكننا نرى أن أعمال الرصد التي أجريت لتأكيد صحة هذه الأفكار ليس لها قوة الإقناع ويمكن تفسيرها بطريقة طبيعية.