الفصل الثاني

ميكانيكا الكون

الكون في الماضي

إن حقيقة تمدد الكون تعني أنه فيما مضى لم يكن يشبه الكون الذي نراه الآن. وبما أن المجرات تبتعد واحدتها عن الأخرى، فهذا يعني أنها كانت من قبل متجاورة، وعملياً على تماس، كما لم يكن في الزمن الأقدم وجود لبعض المجرات. ونحن إذا قسمنا المسافة بين المجرّات على سرعة ابتعادها نحصل على الزمن الذي مضى منذ بدء تمدد الكون. وكنا قد أشرنا إلى أن المجرات الواقعة على بعد مليون سنة ضوئية (10^{19} كم)، تتباعد بسرعة حوالي 25 كم في الثانية. وبعد قسمة العدد الأول على الثاني، نحصل على 13 مليار بمقدار عام. وبما أن سرعة ابتعاد المجرات الواقعة على ضعف المسافة، تزيد بمقدار الضعف أيضاً، فإننا نحصل بعد القسمة على الرقم نفسه بالنسبة لها.

إذن منذ ثلاثة عشر مليار عام، بدأت المجرات كلها تتطاير. ولكننا نتذكر مع ذلك أن أخطاء معينة يمكن أن تحصل لدى تحديد المسافات إلى المجرات. ولذلك ثمة شيء من عدم الدقة أيضاً في تقدير الزمن الذي انصرم منذ أن بدأ الكون يتمدد. ويمكن القول، إن ذلك العصر يبتعد عنا في الماضي 10-20 مليار عام.

وفي الحسابات نحن وافقنا على أن المجرات تتحرك بسرعات ثابتة. وواقع الأمر أن الجاذبية تكبح سرعة التمدد. ولكن حساب هذا الواقع لا يغير كثيراً في الأرقام التي وردت سابقاً في هذا الشأن.

ومن المهم أن نقارن الزمن الذي مر وفق حساباتنا على بدء تمدد الكون، مع عمر بعض الأجسام الكونية. فعمر ما يدعى بحشود النجوم الكروية في المجرات، على

سبيل المثال، يقدر بعشرة إلى أربعة عشر مليار عام. وعمر كوكبنا، وربما عمر حشود النجوم، أقل بعض الشيء من زمن بدء تمدد الكون.

وهكذا، في الماضي منذ 10-20 مليار عام، قرب لحظة بدء التمدد، كانت كثافة المادة في الكون أكبر بكثير مما هي عليه الآن. فلم يكن بمقدور مجرات مستقلة، أو نجوم منفردة، أو... أن تعيش كأجسام معزولة. فالمادة كلها كانت في حالة توزع متجانس دائم. ولم تنقسم إلى تجمعات إلا فيما بعد، أثناء عملية التمدد، وهذا ما أدى إلى تشكل أجرام سماوية مستقلة. وسوف نعود إلى هذه المسألة مرة أخرى.

وتظهر هنا مباشرة جملة من الأسئلة الأخرى: إلى أي حد يعد الاستنتاج عن لحظة بدء تمدد الكون صحيحاً، وإلى أي حد يعد صحيحاً وصفنا لكثافة المادة، وما هي العمليات التي جرت في هذه المادة الخارقة الكثافة، وما الذي أرغم مادة الكون على أن تتمدد، وأخيراً، ما الذي كان موجوداً قبل بدء التمدد، قبل لحظة السينغوليارية؟

ومن الواضح أن هذا كله مهم، ونحن سوف نحاول خلال عرضنا التالي أن نناقش هذه المسائل.

جاذبية الفراغ

ترتبط بداية تاريخ الفكرة العلمية عن جاذبية الفراغ، أو كما يقولون في اللغة العلمية المعاصرة، جاذبية الخلاء، وهو التاريخ الذي سوف نعرضه في فقرتنا هذه، ترتبط بذلك الصدام عينه بين الإيمان التقليدي بسكون الكون، واليقين بارتقائه، هذا اليقين الذي ينبثق بالضرورة من نظرية الجاذبية.

ويقول قانون الجاذبية العامة، إن أي جسم مادي يجذب إليه الجسم الآخر. ولكن هل الخلاء يجذب؟ هذا السؤال طرحه أ. أنشتاين في الفيزياء المعاصرة منذ العام 1917. فما هي جاذبية الخلاء؟ ولماذا ظهر هذا السؤال أصلاً؟ أيّ معطيات فيزيائية تجريبية، أو أرصاد فلكية أرغمت أنشتاين على طرح هذه المسألة؟ الواقع أنه لم يكن هناك أي معطيات مباشرة، بل بمعنى أدق إن غياب المعطيات عن حركة المجرات في ذلك الوقت، هو الذي قاد أنشتاين إلى فكرة جاذبية الخلاء.

لقد وضع الأمر على النحو الآتي: بعد إنشاء نظرية النسبية العامة مباشرة، حاول أنشتاين أن يبني على أساسها نموذجاً رياضياً للكون. وكان هذا قد حصل قبل أبحاث فريدمان، وقبل اكتشاف هابل للتحول الأحمر في أطياف المجرات، وكانت فكرة سكون الكون وعدم تغير العالم، هي المسيطرة على تفكير أنشتاين: «السموات تبقى من الأزل إلى الأزل». ولكننا رأينا إن قانون الجاذبية يقضي بحركية الكون، بارتقائه. فلكي نوازن قوى الجاذبية ونجعل العالم ساكنا، ينبغي أن ندخل قوى نبذ غير مرتبطة بالمادة. وانطلاقاً من هذه الاعتبارات أدخل أنشتاين *القوة الكونية النابذة* التي جعلت الكون ساكناً. والتسارع الذي يجب أن تنقله قوة النبذ الكونية للأجسام، هو تسارع مشترك، عام لا يتعلق بحجم كتل الأجسام، بل بالمسافة التي تفصل بينها فقط.

وبيّن أنشتاين أن قوة الطرد يجب أن تتناسب مع المسافة بين الأجسام. وقد دعي عامل التناسب هذا *بالمقدار الكوسمولوجي* (= الثابت الكوسمولوجي). ولكي تتوازن في الإمداء الواقعة بين المجرات، قوة جاذبية المادة العادية مع قوى الطرد، يجب أن يكون المقدار الكوسمولوجي قليلاً جداً.

ونحن سوف نتوقف بعد حين بإيجاز عند الأسباب الفيزيائية المحتملة التي تقف وراء ظهر قوى الطرد. ونكتفي الآن بالقول، إن هذه الأسباب تتعلق بالعمليات الكوانتية الجارية في الخلاء.

ومن حيث المبدأ كان يمكن الكشف عن قوى الطرد، إذا كانت موجودة في الطبيعة طبعاً، في التجارب المخبرية الدقيقة دقة كافية. ولكن قلة المقدار الكوسمولوجي، تجعل من مسألة الكشف عنها مخبرياً مسألة لا أمل فيها البتة. فواقع الأمر أنه من السهل جداً أن نحسب أنه لدى سقوط جسم سقوطاً حراً على سطح الأرض، فإن التسارع الإضافي الذي ترسله قوى الطرد أقل بثلاثين نقطة (!) من تسارع السقوط الحر نفسه. وهذه القوى ضئيلة جداً حتى في نطاق نظامنا الشمسي أو مجرتنا كلها، بالمقارنة مع قوى الطرد. وهكذا، ليس من الصعب أن نحسب أن التسارع الآتي إلى الأرض من جاذبية الشمس يساوي ($0.5\ Cm\backslash C^2$). وفي الوقت نفسه فإن تسارع الطرد الكوني بين الأرض والشمس أقل بـ 10^{22} مرة! ومن البدهي أن هذا الطرد (إذا كان موجوداً أصلاً)، لا يؤثر بأي شكل كان على حركة الأجسام في

النظام الشمسي، ولا يمكن الكشف عنه إلا لدى دراسة حركات المجرات النائية التي يجري رصدها.

لقد ظهر في معادلات الجاذبية لدى أنشتاين، مقدار كوسمولوجي يصف قوى الطرد التي لدى الخلاء. فتأثير هذه القوى عام، مثله مثل تأثير قوى الجاذبية الكونية، أي أنه لا يرتبط بالطبيعة الفيزيائية للجسم الذي يقع عليه، ولذلك فإنه من المنطقي أن يدعى هذا التأثير بجاذبية الخلاء، على الرغم من أنهم يقصدون بالجاذبية عادة، قوى الشد، بينما نحن هنا أمام قوة طرد، دفع.

وبعد بضع سنوات على بحث أنشتاين، وضع فريدمان نظريته التي تحدثنا عنها سابقاً. وبعد ذلك بات أنشتاين يميل إلى فكرة أنه لا ينبغي إدخال المقدار الكوسمولوجي في معادلات الجاذبية، إذا كان يمكن الحصول على حل لها بالنسبة للعالم كله من غير هذا المقدار.

وبعد أن اكتشف التحول الأحمر في أطياف المجرات، وهو ما يثبت صحة فكرة تمدد الكون، سقطت كل أسس افتراض وجود قوى كونية نابذة في الطبيعة. والحقيقة أنه لا يمكن الحصول على الحل الذي يصف العالم المتمدد، حتى بالنسبة للمعادلات ذات المقدار الكوسمولوجي أيضاً. ولتحقيق ذلك يكفي أن نفترض أن قوى الجذب والنبذ لا يكافئ بعضها بعضاً تكافؤاً دقيقاً؛ وعندئذٍ تفضي القوة الغالبة إلى حركية الكون. وهذا ما نوه إليه أ. فريدمان في أعماله المبكرة. ولم يكن رصد التحول الأحمر في زمن هابل دقيقاً بما يكفي لتحديد أي الحلّين يتحقق في الطبيعة: الحل الذي يشترك فيه المقدار الكوسمولوجي، أم الحل الذي يحصل عليه من غير اشتراكه. ضف إلى هذا أن كثيراً من علماء الفيزياء كانوا ينظرون نظرة نفور إلى وجود المقدار الكوسمولوجي في المعادلات، لأنه جعل النظرية أكثر تعقيداً ولم له ما يبرره. وحتى أنشتاين نفسه والفيزيائيون الآخرون كانوا يفضلون كتابة المعادلات من غيره، بل لقد دعا أنشتاين إدخال المقدار الكوسمولوجي في معادلاته، بأنه «الخطأ الفاحش الأكبر في حياته».

ولكننا سوف نرى لاحقاً أن ما دعاه أنشتاين خطأه الأكبر، لم يكن في حقيقة الأمر سوى الخطوة الأولى لفهم طبيعة التفاعلات الفيزيائية للذرات الأولية، ولفهم طبيعة

الفراغ: الخلاء الفيزيائي. بيد أن تراجعه عن المقدار الكوسمولوجي كان يعد في أوائل القرن العشرين أمراً طبيعياً.

ولكن علماء الكونيات في ثلاثينيات القرن المذكور، لم يتعجلوا العزوف عن المقدار الكوسمولوجي. فقد كانت لديهم أسس جدية للمحافظة عليه. ونحن نتذكر أن التقديرات الأولى لمقدار هابل أعطت قيماً أكبر بعشر مرات. ولو استعنا بها لحساب الزمن الذي مضى على بدء تمدد الكون، لحصلنا فقط على 1-2 مليار عام بدلاً من المقدار الصحيح الذي يتراوح بين 10-20 مليار عام. إن الملياري عام أمد قصير جداً. فهو أولاً أقل من عمر الأرض. وثانياً، وهو أمر أكثر أهمية بكثير، كنا سنقدر عمر النجوم والنظم النجمية خطأ بعشرة مليارات عام، أي أكثر بأربع مرات من زمن تمدد الكون.

ونحن نعرف اليوم أن زمن بدء التمدد قد جرى تخفيضه بمقدار عشر مرات تقريباً، أما عمر النجوم فعلى الضد، إذ جرى رفعه بمقدار ضعفين. ومن وجهة النظر المعاصرة، ليس هناك أي تناقض بين هذين العمرين. ولكن في الثلاثينيات من القرن العشرين رأوا في الاختلاف المذكور تناقضاً جدياً.

ولموافقة زمن تمدد الكون مع عمر النجوم، استخدم المقدار الكوسمولوجي. وبذا تكون فكرة الطرد الكوني قد بدأت تعيش عصر «شبابها الثاني».

دعونا الآن نرى كيف يمكن أن يؤدي إدخال القوى الكوسمولوجية الطاردة، إلى تغير حاد في زمن تمدد الكون.

لنفرض أن المقدار الكوسمولوجي مختلف عن الصفر. ولنفرض أن العالم يتمدد من حالة عالية الكثافة. وبما أن كثافة المادة في البدء عظيمة جداً، فإن قوى الجاذبية التي تتناسب مع الكثافة وتكبح التمدد، أكبر بكثير من قوى الطرد.

وفي أثناء عملية التمدد سوف تهبط الكثافة عاجلاً أم آجلاً إلى درجة تتوازن معها قوى الجذب والطرد. وفي مثل هذه اللحظة سوف يتمدد الكون بقوة الاستمرار، من غير تسارع، بل وفق سرعة ثابتة، وإذا كانت هذه السرعة ضعيفة جداً، فإن التساوي الشبه الكامل لقوى الجذب والطرد سوف يستمر طويلاً، بالتالي فإن عصراً من التوقف الشبه الكامل للتمدد، أو كما يدعونه أيضاً: تعويق التمدد، سوف يطول كثيراً. ومن ثم فإن كثافة المادة سوف تتناقص بالتدرج أكثر فأكثرن فتغدو قوى الجذب أضعف من

الطـرد. فيبـدأ العـالم الآن يتمـدد متـسارعاً بتـأثير قـوى الطـرد. ومـن خـلال انتقائنـا لباراميترات (= وسائط. -م) النموذج، يمكن أن نجعل التمدد يطول كثيراً. وحسب هذه الفرضية أن تعويق التمدد كان في الماضي. أما الآن فإن العالم يتمدد متسارعاً.

إذن، يؤدي إدخال المقدار الكوسولوجي إلى تمديد زمن تمدد الكون، ويمكن أن يجعله متوافقاً مع عمر النجوم.

في الخمسينيات من القرن العشرين أعيد النظر في مقدار هابل. وقبل ذلك في الثلاثينيات، ثبت أن تحويل الهيدروجين إلى هليوم يعد المصدر الأساس لطاقة النجوم، وفي الخمسينيات أنشئت النظرية المعاصرة لارتقاء النجوم، فسقطت التناقضات المتصلة بالأعمار كلها، كما سقطت أيضاً الحاجة إلى المقدار الكوسمولوجي: للمرة الثانية!

ولكن في العام 1967 بدأت فكرة المقدار الكوسمولوجي تعيش طور «شبابها الثالث». فعند ذلك الوقت، كان الفلكيون قد اكتشفوا أجساماً غير عادية، هي الكوازارات، ودرسوها. ونحن كنا قد أشرنا إلى هذا سابقاً بإيجاز.

ولا تزال الكوازارات حتى اليوم تخفي كثرة من الأسرار والمسائل غير المحلولة. لكننا لن نتوقف هنا إلاّ عند خاصتين فقط من خاصيات الكوازارات. فهي أولاً تملك درجة ضياء مهولة، إذ ترى من مسافات أبعد حتى من المجرات النائية. فبقدر ما يكون الكوازار أبعد، بقدر ما يجب أن يكون لمعانه المرئي في السماء أضعف، تضعفه هذه المسافات الكبيرة. وفي الوقت نفسه ينبغي أن تخضع الكوازارات لقوانين تمدد الكون، وبقدر ما تكون أبعد، بقدر ما تزداد سرعة ابتعادها عنا، بالتالي ينبغي أن يكون «التحول الأحمر» في أطيافها أقوى.

إذن، كان من المنتظر في أثناء دراسة الكوازارات، أن يكون التحول الأحمر فيها أقوى كلما كان لمعانها المرئي أضعف.

لكن أي شيء من هذا القبيل لم يكشف عنه! ولتفسير ذلك افترض العلماء الأمريكان ف. بتروسيان، وإيز سالبيتر، وب. ستيكرس، أن السبب المحتمل لعدم وجود ارتباط بين اللمعان المرئي للكوازارات والتحول الأحمر في أطيافها، يمكن أن يكون كامناً في القوى الكونية النابذة. فلنشرح هذا.

لقد أكد العلماء الأمريكيون أن الكوازارات ترصد عادة من مسافات كبيرة، أبعد بكثير من أكثر المجرات التي رصدتها التلسكوبات بعداً. وعندما نراقب كوازارات ذات تحول أحمر كبير، أي كوازارات تقع على مسافات كبيرة، فإننا نرى ضوءاً مشعاً منذ زمن بعيد. وإذا كان قد ترك الكوازارات منذ حقبة تطابق حقبة تعويق تمدد الكون في نظرية ذات مقدار كوسمولوجي، فإن التحول الأحمر في الكوازار الأقرب والأبعد، سوف يكون هو عينه تقريباً. ويحدث هذا لأن الأرصاد تنتمي إلى العصر الذي لم يتمدد العالم فيه تقريباً.

وفي الواقع، لنفرض أن الضوء غادر الكوازار في حقبة تعويق التمدد. فهو عندئذٍ سوف يسير طويلاً في كون لا يتمدد، ولذلك لا يحمر. وحينما يكون هذا الشعاع لا يزال في الطريق إلينا، يخرج من كوازار أقرب شعاع يصل بعد ذلك في عصرنا نحن، إلى المراقب على الأرض في الزمن نفسه مع الشعاع الأول. فهما معاً يسيران في كون ساكن تقريباً، ولا يحمرّان. ثم يحمرّ ضوء الاثنين بدرجة واحدة فيما بعد: بعد أن ينتهي طور تعويق تمدد الكون، يسيران معاً في كون متمدد. بالتالي فإن الكوازار القريب نسبياً، ولذلك فهو ساطع، والكوازار البعيد، ولذلك فهو ضعيف، سوف يحظيان بتحول أحمر واحد. وبالنتيجة فإن كثيراً من الكوازارات سوف يكون له في أطيافه تحول أحمر متشابه، أما لمعانها المرئي فسيكون مختلفاً اختلافاً كبيراً، وليس ثمة أي رابطة تبعية تربط بين هذه المقادير.

كما ساق الفيزيائيان الفلكيان السوفياتيان إ. شكلوفسكي، ون. كارداشيف، أدلة لصالح لوحة تمدد الكون بتعويق طويل في الماضي (أي لصالح فكرة وجود المقدار الكوسمولوجي)، وقد استخدما لذلك خاصيات أخرى في أطياف الكوازارات.

ولكن هل كان ثمة تعويق لتمدد الكون في الماضي فعلاً؟ لا تزال الإجابة مرهونة بمعطيات أعمال الرصد الجديدة.

لقد مضى على زمن هذا السجال العلمي الآن حوالي العشرين عاماً (نذكّر القارئ بأن هذا الكتاب نشر في العام 1985م). وكانت قد جرت في هذه الفترة أعمال رصد كثيرة للكوازارات. وشيئاً فشيئاً أخذت الأدلة التي لصالح وجود زمن تعويق تمدد الكون تخبو. فقد بينت الأرصاد الجديدة أن عدم وجود رابطة تبعية بين لمعان الكوارزارات المرئي والتحول

الأحمر، مرتبط بكون ضيائها الفعلي شديد التنوع. فلا يمكن بأي حال من الأحوال عدها «قناديل معيارية» (خلافاً للمجرات الشديدة السطوع في الحشود النجمية)، ولذلك لا يجوز أن ننتظر تجلي رابطة التبعية التي نحن بصددها. والحال هنا تشبه تمام الشبه كما لو أخذنا شموعاً سطوعها الفعلي متباين، فإن لمعانها المرئي لا يمكن أن يحدد بعدها عنا.

كما سقطت كذلك الحجج الأخرى التي تدعم فكرة تمدد الكون الذي ترافق بحقبة تعويق، وسقطت معها الحاجة إلى وجود المقدار الكوسمولوجي. وكان هذا هو السقوط الثالث بالنسبة لهذا الأخير!

ولكن، كما يقال: ليس من السهل إعادة المارد إلى القمقم الذي أطلق منه. فقد تبين أن الفكرة التي تقول، أن المقدار الكوسمولوجي يساوي الصفر، هي فكرة لها قدرة كبيرة على العيش.

والواضح الآن، هو أنه إذا كان المقدار الكوسمولوجي يختلف عن الصفر، فإن هذا الاختلاف ضئيل جداً. بيد أن البرهان بمساعدة أعمال الرصد، على أنه يساوي الصفر، هو أمر صعب من غير شك. ولكن ربما تكون قوى الطرد الكونية موجودة فعلاً؟

إن هذا يلزم الفيزيائيين بأن يعملوا الفكر في طبيعة مثل هذه القوى. ونحن سوف نتحدث عن هذا بالتفصيل في الفقرة التي تحمل عنوان «لماذا الكون هكذا». أما الآن فسوف نكتفي بالإشارة إلى أن الطاقة الناتجة عن تفاعل ذرات الخلاء الكامنة (وهذا ما تحدثنا عنه في الجزء الأول من هذا البحث)، تؤدي إلى وجود كثافة طاقة دائمة في الفراغ، ومع أنها ضئيلة، إلا أنها تختلف عن الصفر. فخاصيات الخلاء تقضي بأن تظهر قوى التوتر مع كثافة الطاقة (ولكن كيف يمكن أن يوجد التوتر في جسم مرن). ويفضي وجود هذه التوترات إلى ظهور قوى الطرد الكونية الجاذبة، التي تحدثنا عنها.

وننوه إلى أن طبيعة الخلاء لا تزال غامضة إلى درجة كبيرة بالنسبة للفيزيائيين.

إن التطور الذي حققته مؤخراً نظرية فيزياء الذارت الأولية، يجعل من الممكن القول، إن قوى جاذبية الخلاء بالكاد كان لها في عصرنا وفي الماضي المنظور، دور ملحوظ في ارتقاء الكون. ولكن ربما كان لها دور حاسم قبيل لحظة بدء التمدد مباشرة، في اللحظات الأولى، فخاصيات الخلاء هناك كانت مختلفة تماماً. وهذا ما سوف نتحدث عنه لاحقاً، أما الآن فقد آن أوان «الشباب الرابع» لفكرة المقدار الكوسمولوجي.

وقد يكون نشأ لدى القارئ إحساس بالشك حيال المتخصصين الذين يعثرون تارة على أدلة تدعم فكرة جاذبية الخلاء، ويعثرون تارة أخرى على ما يدحضها، ثم يجدون من جديد ما يؤيدها، وبعد ذلك ما يدحضها وهكذا دواليك. ألا تقوض هذه التقلبات الثقة بالدراسات العلمية، والثقة بالخلاء؟ فقد قيل ما يشبه هذا في «أهجية» س. ليكوك التي أشرنا إليها سابقاً. يقول ليكوك: «لا تظنوا أني أعبر عن ريبتي في العلم، أو عدم احترامي له (كان هذا سيعد في أيامنا هذه أمرا فظيعا لا يدانيه شناعة سوى عدم الإيمان بالثالوث المقدس في زمن اسحق نيوتن). ولكن مع ذلك.. التقطوا كتبكم، وتابعوا تقدم العلم وانتظروا المؤتمر الفلكي القادم».

ولكن ما العمل. فلو وضعنا المزاج جانباً، فإن تاريخ العلم عرف فعلاً مثل هذا الوضع. فالفكرة العلمية يجري تناولها من جوانب مختلفة، وعلى مستويات متباينة من تقدم علم الفيزياء، وبدرجات متباينة من التسلح بالأجهزة العملية. وهكذا يشن الهجوم تلو الهجوم على أعقد المسائل إلى أن يعثر على حل لها. وكقاعدة فإن هذا يجر وراءه مسائل أكثر عمقاً وتعقيداً. وأحجية الخلاء تنتمي إلى هذا النوع من المسائل.

مستقبل الكون المتمدد

إذن ربما لا يكون اليوم للمقدار الكوسمولوجي تأثير على تمدد الكون. وسوف نعده مساوياً الصفر، كما افترض أ. أنشتاين، ونمضي لنرى كيف ستجري عملية التمدد في المستقبل.

فتمدد الكون يجري بتباطؤ ناتج عن فعل الجاذبية، وثمة احتمالان بالنسبة للمستقبل: إذا كانت الجاذبية تعيق تمدد الكون بشكل ضعيف، فإنها مستقبلاً سوف تتواصل تواصلاً غير محدود. وسوف تتزايد المسافة بين حشود المجرات تزايداً لا حدود له. فقوى الجاذبية في الكون تابعة لمتوسط كثافة المادة (ومتوسط الكثافة، هو «نشر» الإجرام المساوية كلها، وسحب الغاز كلها، والمجرات كلها في الفراغ بشكل متساو). وبقدر ما يكون متوسط الكثافة أعلى، بقدر ما تكون القوى أكبر. ومعنى ذلك إنه

في ظل وجود متوسط قليل لكثافة الكتل، فإن التمدد سيتواصل إلى ما لا نهاية. ولكن ربما تكون كثافة المادة عالية اليوم بما يكفي، وهذا يعني أن تعويق التمدد كبير. والنتيجة، هي توقف التمدد مستقبلاً وحلول التقلص بدلاً منه.

والحالة هنا مشابهة تماماً لحالة الصاروخ عندما يدفع إلى درجة محددة من السرعة ينبغي عليه عندها أن يغادر الجسم السماوي. فسرعة 12 كم في الثانية، هي على سبيل المثال سرعة كافية لمغادرة كوكب الأرض والتحليق إلى الفضاء، لأن هذه السرعة أكبر من سرعة الإفلات من جاذبية الأرض. بيد أن هذه السرعة غير كافية لمغادرة سطح المشتري، حيث سرعة الإفلات من الجاذبية 61 كم في الثانية.

فإذا قذف بجسم على المشتري إلى الأعلى بسرعة 12 كم في الثانية، فإنه سوف يسقط عليه ثانية بعد إقلاعه.

إذن، في ظل سرعة التمدد الحالية (مقدار هابل الحالي)، ثمة في الكون مدلول حرج لكثافة المادة يفصل بين حالة وأخرى.

وتظهر الحسابات أن هذا المدلول الحرج، هو عشر ذرات هيدروجين بالمتوسط في المتر المكعب الواحد (أو مقدار مساو من أي مادة أخرى). وإذا كانت الكثافة الفعلية في الكون أكبر من هذا، فإن التمدد يتحول مستقبلاً إلى انكماش، أما إذا كانت أقل، فإن التمدد أزلي.

فما هو واقع الأشياء فعلاً؟ وقد ظهر أن الإجابة على هذا السؤال ليست بسيطة، لأنها تتطلب جرداً لكل أنواع المادة في الكون، لأنها كلها تنتج حقول جاذبية.

وإحصاء المادة التي تدخل في النجوم، والمجرات، والغاز المضيء، أمر ممكن مع أنه صعب. ولكن قد تكون هناك مادة بين المجرات يصعب رصدها لأنها لا تشع (أو إشعاعها سيئ) الضوء ولا تمتصه.

ولكن إحصاء مثل هذه الكتل، التي يدعونها بالكتل الدفينة، أمر في غاية الصعوبة.

ولذلك ليست هناك إجابة دقيقة وافية على السؤال المطروح. وكل ما يمكن أن يقال، هو إننا إذا أخذنا بالحسبان المجرات المضيئة فقط. فإن متوسط كثافة المادة في الطبيعة أقل بثلاثين مرة من المدلول الحرج.

ولو لم يكن هناك أشكال للمادة يصعب رصدها، لاستمر تمدد الكون إلى ما لا نهاية له.

معضلة الكتلة الدفينة

إن لدى الفلكيين أسساً جدية للاشتباه بوجود كثير من أشكال المادة التي يصعب رصدها: كثير من الكتل الدفينة، في الفراغ الذي بين المجرات. وربما تكون الهالات غير المرئية للكتل الدفينة تطوق حتى بعض المجرات.

ومن دواعي هذا الاشتباه، نتائج قياسات كتل حشود المجرات. وتجرى القياسات على الشكل الآتي.

إن للحشود الصحيحة شكلاً متماثلاً، ويتناقض توزع المجرات فيها بانسجام من المركز نحو الأطراف، ولذلك هناك الأسس كلها للاعتقاد بأن، هذه الحشود في حالة توازن، أي عن طاقة حركات المجرات توازي قوة الجذب المتبادلة بين كل الكتل التي تدخل في الحشد. وفي هذه الحالة نحن نستطيع أن نحدد قوة الجذب، بالتالي الحجم الكلي لكتلة كل أنواع المادة الداخلة في الحشد، لأن جميعها يساهم في إنشاء حقل الجاذبية.

وفي أعطى مثل هذا التحديد الذي أجري لحشد مجرات برج شعر فيرونيكا، دليلاً هو 2.10^{15} كتلة شمسية.

كما يمكن تحديد كتلة الحشد بطريقة أخرى. ولفعل ذلك يجب إحصاء العدد الكامل للمجرات الداخلة في الحشد وضربه في كتلة المجرة الوسط. وإذا ما فعلنا ذلك، فإننا سنحصل على كتلة أقل بعشر مرات مما حصلنا عليه باستخدام الطريقة الأولى.

ونحصل على نتائج مشابهة أيضاً، لدى دراسة الحشود الأخرى للمجرات.

وغني عن البيان أن استخدام أي من الطريقتين يمكن أن يؤدي إلى خطأ ما. ولكن من المستبعد أن تكون هذه الأخطاء كبيرة إلى الحد الذي يمكن أن تعطى فيه تفسيراً لكل التنافر الحاصل في النتائج. فالتحليل الدقيق يبين أنه من الصعب جداً إلقاء كل مسؤولية الحصول على كتلة غير مألوفة الكبر في الحشود، على عاتق مثل هذه الأخطاء. إن النتائج التي توفرت ترغمنا على أن نتعامل بمنتهى الجدية مع مسائل البحث عن الكتلة الدفينة، لا في حشود المجرات وحدها، إنما بين الحشود كذلك. ولكن في

أي شكل يمكن أن تكون الكتلة الدفينة موجودة؟ قد يكون هذا مجرد غاز بين المجرات؟ فحجم الفراغ الذي بين المجرات أكبر بكثير من حجم الفراغ الذي تشغله المجرات! ولذلك فإن الغاز الذي بين المجرات، الذي تقل درجة تركيزه كثيراً عن درجة تركيز الغاز داخل المجرات، يمكن أن يعطي في آخر الأمر كتلاً مهولة.

وننوه في هذا الإطار إلى أن الغاز الذي بين المجرات ليس المرشح الوحيد لكي يكون هو الكتل الدفينة. فقد تكون هذه الكتل مشروطة بأنواع أخرى من المادة. وسوف نناقش فيما بعد مثل هذه الإمكانية. أما الآن فدعونا نرجع إلى الغاز لكي نرى كيف يمكننا أن نكشف عنه.

نذكّر قبل كل شيء بأن الغاز في الكون يتألف أساساً من الهيدروجين. وعليه، لكي نحدد وجود الغاز في الفراغ الذي بين المجرات، ينبغي أن نبحث عن الهيدروجين. وتبعاً للشروط الفيزيائية فإن الغاز يمكن أن يكون في حالة حيادية، وحالة مؤينة. فلنبدأ إذن من الحالة الأولى، حالة الهيدروجين الحيادي.

إذا جاء الضوء من مصدر ناء عبر غاز فيه ذرات الهيدروجين الحيادي، فإن الذرات سوف تمتص الإشعاع عند ترددات معينة. ولذلك يمكن محاولة اكتشاف الهيدروجين الحيادي في أمداء كبرى تمتد بين حشود المجرات. ويجري استخدام الكوازارات البعيدة كمصادر للضوء. وقد أظهرت المحاولات التي جرت، أن الهيدروجين الذي بين المجرات قليل جداً في حالته الحيادية. فهو من حيث كتلته أقل بعشرات آلاف المرات من المادة المضيئة في المجرات.

وعلى هذا النحو فإن الغاز الذي بين المجرات، إذا كان موجوداً، فإنه يجب أن يكون مؤيناً، أي حاراً جداً. ويظهر التحليل أن هذا يتطلب حرارة تفوق المليون درجة. وينبغي ألا نستغرب أنه على الرغم من هذه الحرارة كلها، إلا أن هذا الغاز عملياً غير مرئي. ويكمن الأمر هنا في كون كثافته ضعيفة جداً، وهو غاز شفاف، ولا يطلق إلا ضوءاً ظهوره ضعيف. ومع ذلك فإن هذه البلازما المؤينة العالية الحرارة، تطلق كماً كبيراً من الأشعة الفوق البنفسجية والأشعة الرونتجينية الخفيفة.

إن البحث عن الغاز الحار ممكن بالأشعة الفوق البنفسجية. وهناك وسائل أخرى للبحث عنه بين حشود المجرات.

بيد أنه ظهر أن الطرائق كلها لم تكن حساسة بما يكفي، إذ لا يزال الغاز الحار الذي بين المجرات عصياً على الكشف حتى الآن، ولا تزال مسألة كمية هذا الغاز، وهل متوسط كثافته أكثر من متوسط كثافة مادة المجرات، مفتوحة للنقاش.

والآن دعونا نلتفت إلى الغاز الذي في حشود المجرات. فالأرصاد الشعاعية تبين أن وجود الهيدروجين الحيادي في حشود المجرات ضعيف جداً. ولكن التلسكوبات الرونتجينية التي ركّبت على الأقمار الصناعية كشفت عن وجود الغاز الحار المؤين في حشود المجرات الغنية. وظهر أن هذا الغاز محمى حتى المليون درجة حرارية. وقد تصل كتلته الكاملة إلى 10^{13} كتلة شمسية. ويعد هذا الرقم رقماً مهولاً، إلا أننا رأينا سابقاً أن الكتلة الكاملة للحشد في برج العذراء أكبر بكثير: يتجاوز 10^{15} كتلة شمسية. وعلى هذا النحو فإن وجود الغاز الحار في حشود المجرات لا يستنفذ أبداً مسألة الكتلة الدفينة.

فمنذ بضع سنوات ظهر لهذه المسألة وجه آخر. فقد كثر مؤخراً عدد أنصار الفكرة التي مؤداها أن المجرات يمكن أن تكون محاطة بهالات مهولة جسيمة من الأجسام المضيئة التي يصعب كثيراً اكتشافها بضيائها. ويمكن أن تكون هذه مثلاً، نجوم ضياؤها ضئيل. ويجب أن تؤثر كتلة الهالة على حركة المجرات القزمة، وهذه الأخيرة تابعة للمجرات الرئيسة. وعبر هذا التأثير تحديداً يحاولون الكشف الآن عن هالات المجرات. وقد يغير حساب هذه الهالات تغييراً جوهرياً تقدير كتل المجرات في الحشود ويحسم مسألة الكتلة الدفينة. ولكن مسألة هالات المجرات لا تزال من غير حل حتى الآن.

لقد بقي لنا الآن أن نبحث مسألة الأجسام الشاذة المرشحة لتأدية دور الكتل الدفينة، كالنيترينو، وموجات الجاذبية، وسوى ذلك من أنواع المادة. وهذا ما سوف نعود إليه في فقرة «الكون النيتريني». أما الآن فسوف نجمل ما قلناه هنا وحسب.

إن الكتلة العامة للمادة المضيئة غير كافية لتعيق جاذبيتها تمدد الكون وتدفعه إلى الانكماش. ولا تزال معرفتنا بالكتلة الدفينة ضعيفة جداً. وإذا كانت هذه موجودة فعلاً، فإنها تقريباً بالقدر الذي يجعل الكثافة العامة للمادة في الكون مساوية للمقدار الحرج، وربما أكبر بقليل.

والتقدير الأرجح، هو أنه سوف يتأتى لكوننا أن يتمدد إلى ما لا نهاية، أو لزمن طويل مقبل.

الفراغ الأحدب

سوف نرى الآن أن لمسألة متوسط كثافة المادة في الكون أهمية حاسمة، ليس بالنسبة لمسألة مستقبل الكون فقط، إنما بالنسبة لمسألة امتداده كذلك. وربما أثار هذا التعبير حذر القارئ. فكيف يمكن أن يظهر لدى مادي تساؤل عن امتداد الكون؟ أليس واضحاً أن فراغ الكون متواصل في الاتجاهات كلها إلى ما لا نهاية؟

فقد يبدو من الوهلة الأولى أن كل رأي آخر سوف يفضي إلى تصور عن وجود حدود ما للعالم المادي، يبدأ وراءه شيء ما ليس مادياً. فعلى امتداد تاريخ العلم الطويل، كان الفراغ اللا متناهي الممتد في الاتجاهات كلها، هو الشيء الوحيد المقبول بالنسبة لأي من أنصار المادية العفوية. وقد صيغت الحجج التي تبرهن على هذا بدقة، لدى الفيلسوف الروماني الفذ لوكرسيوس كار منذ ألفي عام. فقد كتب هذا في ملحمته المعروفة «بصدد طبيعة الأشياء» يقول:

ليس هناك أي نهاية لأي جهة من جهات الكون،
وإلا لكانت له بالضرورة أطراف.
ومن الواضح أن أي شيء لا يمكن أن تكون له حدود
إذا لم يكن في خارجه أي شيء يفصله لكي يكون واضحاً
إلى ما تكون أحاسيسنا قادرة على متابعته.
وإذا كان علينا أن نعترف بأنه ليس ثمة شيء وراء الكون،
فلا أطراف له، ولا نهاية، ولا حد، ولا فرق في أي جزء
من أجزائه أنت موجود، فإنك أينما تكون، في كل مكان،
ومن المكان الذي تشغله، فالكون يبقى لا متناهياً في
الاتجاهات كلها.

ومنذ ذلك الزمن ومثل هذه الحجج عن لا تناهي الكون ولا محدوديته يتردد بدقة والتزام على مدى القرون.

ولكن وجهة النظر المعاصرة ترى في هذا التصور تصوراً ساذجاً. وقد كانت الضربة الأولى التي وجهت إلى الرؤى القديمة قد جاءتها من الاكتشاف النظري لإمكانية وجود هندسة مختلفة عن هندسة إقليدس التي كانت تدرس في المدارس. وكان الاكتشاف قد جاء في القرن 19، على أيدي علماء الرياضيات الأفذاذ: ن. لوباتشيفسكي، ويا. بويان، وب. ريمان، وك. هاوس.

فما هي الهندسة اللا إقليدية؟ إننا لو لجأنا إلى علم قياس مساحة السطوح، لرأينا أن فهم هذا الأمر في غاية البساطة: تدرس الهندسة الإقليدية خاصيات الأشكال الهندسية على السطوح المستوية، وتدرس الهندسة اللا إقليدية خاصيات الأشكال على السطوح المحدبة، كالكرة مثلاً، أو السطوح السرجية الشكل. فعلى مثل هذه السطوح المحدبة لا يمكن أن يكون ثمة خطوط مستقيمة، وخاصيات الأشكال الهندسية مختلفة تماماً عما هي عليه على المسطحات. فتستبدل بالخطوط المستقيمة هنا خطوط تعد أقصر المسافات بين النقاط. وتدعى هذه الخطوط بالخطوط الجيوديسية. فالخطوط الجيوديسية على الكرة مثلاً، هي أقواس دوائر كبيرة. ومثالها هو خطوط الطول على سطح الأرض. ونحن نستطيع أن نرسم على الكرة مثلثات أضلاعها جيوديسية، ودوائر يمكن أن ندرس خاصياتها. وليس من الصعب أن نتخيل هذا كله. بيد أن الصعوبة في التخيل تظهر عندما ندنو لا من السطح الثنائي الحد، إنما من الفراغ اللا إقليدي الثلاثي الحدود. ففي مثل هذا الفراغ تختلف خاصيات الموشورات والكرات وسواها من الأشكال، عن تلك التي درسناها في المدرسة. وبالمقارنة مع السطوح يمكننا أن نقول، إن هذا الفراغ أحدب ولكن من المستبعد أن تعيننا هذه المحاكاة على أن نتخيل بوضوح الفراغ الأحدب الثلاثي الحدود. فنحن نعيش في فراغ ثلاثي الحدود، وليس بمقدورنا أن نثب منه (لأنه لا يوجد شيء خارج الفراغ)، ولذلك لا يجوز أن نسأل: «إلى أي شكل يتحدب فراغنا»؟. إن كنه تحدب الفراغ يكمن في تغير خاصياته الهندسية بالمقارنة مع خاصيات الفراغ المسطح حيث تصح هندسة إقليدس.

يقيناً أن القارئ يتذكر ما قلناه في فقرة الثقوب السوداء عن أن نظرية النسبية العامة تقود إلى استنتاج مؤداه أن الفراغ يتحدب في حقول الجاذبية القوية، وأن خاصياته الهندسية تتغير.

ونحن حينما نتحول إلى أمداء الكون المهولة، فإنه بقدر ما يكون النطاق الذي ندرسه أكبر، بقدر ما تكبر كتلة المادة المشمولة وتزداد قوة حقل الجاذبية. وينبغي علينا أن نلجأ في النطاقات الكبيرة إلى نظرية أنشتاين، ونأخذ بالحسبان تحدب الفراغ.

وهنا أيضاً نقف على واقعة مثيرة للدهشة. ولكي نفهم مغزى الظاهرة الجديدة، نعود مرة أخرى إلى السطوح الثنائية الحد.

لنأخذ قطعة من مسطح. وإذا ما أضفنا إليها أقسام المسطح المجاورة ذات المقاس الأكبر، فإننا سوف نحصل في نهاية الأمر على المسطح كاملاً ممتداً في اللا نهاية إلى ما لا حدود له.

ولنفصل الآن قطعة صغيرة على سطح الكرة. وإذا كانت القطعة صغيرة جداً، فإننا لن نلاحظ تحدبها. لنضف الآن إلى هذه القطعة قطعاً مجاورة شاغلين بذلك مساحات أكبر فأكبر. فيظهر التحدب واضحاً. وإذا ما تابعنا هذه العملية فإننا سنرى أن سطحنا هذا ينغلق على ذاته بسبب تحدبه مشكلاً كرة مغلقة. ولن يتسنّى لنا في هذه الحال أن نواصل سطحنا المحدودب إلى ما لا نهاية فقد انغلق. فالكرة لها مساحة سطح متناهية، ولكن ليس لها حدود. ولن يصادف الكائن المسطح الذي يزحف على الكرة أي عائق، أو طرف، أو حد قط. ولكن الكرة ليست لا متناهية!

ونحن يمكننا أن نرى بالعين المجردة أن السطح يمكن أن يكون لا محدوداً بسبب كونه مقفلاً، لكنه ليس لا متناهياً.

فلنعد الآن إلى الفراغ الثلاثي الحدود. لقد ظهر أن تحدبه يمكن أن يكون شبيهاً بتحدب الكرة. وهو يمكن أن ينغلق على نفسه باقياً من غير حدود، لكنه متناه من حيث حجمه (مثلما الكرة متناهية من حيث مساحتها).

وغني عن البيان أن التصور الجلي شديد الصعوبة هنا.، بيد أنه ممكن. فقد تبين لنا الآن أن حجج لوكريسيوس كار موجهة ضد محدودية الفراغ بأي عائق كان، لكنها ليست ضد تناهي حجم الفراغ، فالفراغ قد يكون بلا حدود، إلا أنه متناه من حيث الحجم.

فنماذج الكون التي أنشأها أ. فريدمان تبين أن مثل هذه الحالة يمكن أن تحدث في الواقع. ولحصول ذلك يجب أن يكون متوسط كثافة المادة في الكون أعلى من الحد

الحرج. ففي مثل هذه الحالة يكون الفراغ متناهياً، مقفلاً؛ وقد دعي مثل هذا النموذج بالنموذج المغلق.

وأخيراً، إذا كانت كثافة المادة أقل من الحد الحرج، فإن هندسة الفراغ تكون بدورها محدبة. ولكن الهندسة في مثل هذه الحالة لا تشبه الهندسة على الكرة، إنما تشبه الهندسة على السطح السرجي الشكل. ويمتد هذا الفراغ أيضاً بلا حدود في الاتجاهات كلها، ولا ينغلق. ويكون حجمه لا متناهياً. وقد دعي نموذج الكون هذا، بالنموذج المفتوح. فكيف هو عالمنا نحن؟

نذكّر بأن متوسط كثافة المادة في الفراغ غير معروف على وجه اليقين حتى الآن، فليس من الواضح ما إذا كان أعلى من الحد الحرج أم أدنى منه. ولذلك نحن لا نعرف بعد ما إذا كان كوننا مفتوحاً أم مغلقاً.

ومن الواضح طبعاً أن فكرة إمكانية أن يكون العالم مقفلاً وفراغه مغلقاً، هي فكرة غريبة، غير عادية. ومثلها مثل فكرة ارتقاء الكون، فقد لاقت هذه الفكرة صعوبات كبيرة إلى أن شقت طريقها. وفي بعض الأحيان كانت الاعتراضات عليها نابعة من خمول الفكر التقليدي والقناعات المسبقة، وفي أحيان أخرى كانت الأسباب كامنة في ضعف معارف أنصار الزعم القائل بأن حجم الفراغ اللا متناهي وحده الذي يتوافق مع المذهب المادي في الفلسفة.

فأنا لا أزال أذكر ذلك النقاش الحاد الذي دار في المؤتمر الاتحادي السادس الذي انعقد في موسكو لمناقشة مسائل علم الكونيات. وكنت لا أزال عندئذٍ طالباً.

لقد جاء في مداخلة أحد الفلاسفة في ذلك المؤتمر ما يلي: «وفي واقع الأمر، إذا افترضنا أن الكون متناه في المكان، فإننا سرعان ما نواجه ضرورة الإجابة على مسائل لا حل لها: كيف يمكننا أن نتخيل الكون متناهي الحجم، ما الذي يقوم وراء حدوده»...

إذن، كما نرى فإن التعليل هنا أكثر سذاجة مما لدى لوكريسيوس كار، وهو لا يقوم إلا على اللجوء إلى المنطق السليم، الذي بات من المعروف أنه لا يصلح حجة في النقاش.

فواقع إمكانية أن يكون الفراغ مغلقاً، لا ينتج عنه أي استنتاجات تنتمي إلى المذهب المثالي في الفلسفة.

إن المادية تنطلق من واقع موضوعية الفراغ، من حقيقة أن المادة لا يمكن أن تكون خارج المكان. «ليس في العالم شيء سوى المادة المتحركة، والمادة المتحركة لا يمكن أن تتحرك إلا في الفراغ والزمن» (ف. إ. لينين). أما تحديد الخاصيات المحددة للفراغ، وخاصة خاصية حجمه: متناه أو غير متناه، فهو شأن العلوم الطبيعية.

وتتميز في هذا السياق ملاحظة الأكاديمي ف. غينزبورغ في أثناء واحدة من المناقشات، إذ قال: «لا توصّف الإيديولوجيا بكم السنتيمترات المكعبة».

لكن مثل هذا الجدال بات في عهدة الماضي، وبات الأمر الآن بين يدي العلم لكي يحدد البنية الفعلية للعالم.

إن تحدب الفراغ يتحدد بدرجة فرق كثافة المادة عن المدلول الحرج. فبقدر ما يكون الفرق أكبر بقدر ما يكون التحدب أقوى. وتظهر الأرصاد انه إذا كانت كثافة المادة تختلف عن الدرجة الحرجة، فإن التحدب لا يكون قوياً فقط على المسافات النائية التي تقدر بمليارات السنين الضوئية. أما في فراغ الكون المغلق، فإن أقصر خط (الخط الجيوديسي)، يكون مغلقاً كدائرة كبيرة على كرة (كخط الاستواء مثلاً). وإذا انزلقنا على طول هذه الطريق، فإننا سنعود إلى نقطة الانطلاق، تماماً كما لو تحركنا على خط الاستواء حول الأرض، فإننا سوف نعود إلى النقطة التي انطلقنا منها.

وقد تظهر أرصاد المستقبل أن كثافة المادة أعلى من الحد الحرج، وأن الكون مغلق. وفي هذه الحال، يكون حجم الكون متناهياً، إلا أنه مع ذلك مهول، فأبعاد الكون هائلة. فطول خط الاستواء: الخط الجيوديسي الذي يلف الكون كله، لن يكون أقل من عشرات مليارات السنين الضوئية، وربما أكبر بكثير.

وغني عن البيان طبعاً، إنه ثمة أسس كثيرة تجعلنا ننتظر أن تكون كثافة المادة في الكون أقل من الحد الحرج، وأن يكون حجم الكون لا متناه.

وسوف نرى في الفقرة القادمة أن التباين بين الكون المفتوح والكون المغلق ليس أمراً مفجعاً كما قد يبدو للوهلة الأولى.

الأفــق

لقد بدأ الكون يتمدد منذ 15 مليار عام. ومعنى هذا أنه لا يمكن أن يكون في الكون أجسام عمرها أكثر من خمسة عشر مليار عام، كما لا يمكن أن يكون فيه مصادر تضيء منذ أكثر من خمسة عشر مليار عام. ويقودنا هذا الواقع إلى أهم نتيجة: وجود أفق رؤية في الكون. فبقدر ما تكون المجرة بعيدة، بقدر ما يطول زمن وصول الضوء إلينا. فالضوء الذي يصل إلى المراقب اليوم، كان قد غادر المجرة منذ زمن طويل. لقد بدأ الكون يتمدد منذ 15 مليار عام، والضوء الذي كان قد خرج من أي مصدر، لو بعد بدء تمدد العالم مباشرة، لا يستطيع أن يجتاز سوى مسافة متناهية في الكون: حوالي 15 مليار سنة ضوئية. وقد دعيت نقاط فراغ الكون الواقعة بعيداً عنا على هذه المسافة، بأفق الرؤية. أما مناطق الكون الواقعة وراء الأفق، فهي مبدئياً غير مرصودة اليوم. فنحن لا نستطيع أن نرى مجرات أبعد: مهما كانت قوة التلسكوبات التي نستخدمها، فإن الضوء الذي انطلق من المجرات الواقعة وراء أفق الرؤية، لم يصل إلينا بعد. إن التحول الأحمر للضوء يتزايد من غير حدود، حينما نراقب جسماً يقع على مسافة أقرب فأقرب إلى الأفق. أما على الأفق نفسه فالتحول الأحمر لا متناه. وعلى هذا النحو فإننا لا نستطيع أن نرى سوى عدد متناه من النجوم والمجرات في الكون.

وقبل إنشاء نظرية الكون المتمدد، اصطدمت محاولات دراسة الفراغ اللا متناهي الممتلئ بالنجوم امتلاء وسطياً متساوياً، بتناقض ظاهري مثير للفضول، وهو يتلخص في الآتي: في الكون اللا متناهي المليء بالنجوم، سوف يلاقي شعاع الرؤية عاجلاً أم آجلاً سطح النجم المضيء. وفي هذه الحال ينبغي أن تضيء السماء المظلمة كلها، كسطح الشمس والنجوم.

وقد أطلق على هذا التناقض اسم، التناقض الفوتومتري (فوتومتريا = القياس الضوئي. -م)، وكان كثير من العقول الفذة قد حاول أن يجد له حلاً.

ولكن هذا التناقض حل نفسه تلقائياً بعد إنشاء نظرية الكون المتمدد. ففي الكون المتمدد أفق رؤية لكل مراقب. ولذلك فإن هذا يرى عدداً متناهياً من النجوم نادراً جداً ما يكون مبعثراً في الفراغ. وكقاعدة فإن نظرنا ينزلق متجاوزاً إياها حتى الأفق، فلا يتوقف عند أي نجم منها. ولذلك فإن السماء الليلية بين النجوم مظلمة. ضف إلى هذا أن حياة النجوم محدودة.

إن أفق الرؤية يجعل لنا فرقاً ليس كبيراً بين العالم المغلق والعالم المفتوح. فنرى في الحالتين قسماً محدوداً من الكون مداه حوالي 15 مليار سنة ضوئية. إن الضوء في العالم المغلق لم يفلح في أن يطوف العالم حتى الوقت الراهن، وغني عن البيان أننا لا نستطيع أن نرى الضوء من مجرتنا نحن التي طافت العالم كله. فمن المستحيل أن ترى «مؤخرة رأسك» في الكون المغلق. وحتى على امتداد عصر التمدد بدءاً من الحالة السينغولیارية، إلى لحظة حلول الانكماش محل التمدد، لن يفلح الضوء في أن يطوف أكثر من نصف الفراغ المغلق، وفي طور الانكماش فقط ينجح الضوء في أن يكمل دورته حول العالم..

ومن المعروف أن لكل مراقب أفق رؤيته الخاص به أينما كان في الكون. فنقاط الكون المتجانس متساوية كلها. ومع الوقت يتسع أفق الرؤية لدى كل مراقب، إذ يتوارد إليه الضوء من مناطق جديدة من الكون. فخلال مئة عام يزداد مدى الأفق بمعدل جزء من مئة مليون جزء من مقداره.

بقيت ملاحظة أخرى. فمن حيث المبدأ يجب أن نرى على مقربة من الأفق، المادة في الماضي البعيد، عندما كانت كثافتها أكبر بكثير مما هي عليه اليوم. وثمة أجسام لم تكن موجودة زمنئذٍ، ولم تكن المادة شفافة لكي تشع. ونحن سوف نعود إلى المسألة.