40

الكون المتوسع

The expanding cosmos

لقد أحدث الاكتشـــاف المذهل بأن الكون ككل يتوسع ثورة في علم الفلك في منتصـــف القرن العشرين إلا أن علماء الفلك قد تجادلوا حول معناه لعدة عقود. ومن ناحية أخـــرى، فإنه من المذهل أن المعدل الحقيقي للتوســـع، بالإضافة إلى الآثار المهمة لأصل الكون ومصيره، لم تحدد حتى وقت قريب.

عادة ما ينسب الفضل في اكتشاف الكون المتوسع إلى «إدوين هابل»، الذي قام بعمل رائد في قياســـات بعد المجرة وحساباتها الرئيســـية في عام 1929 لكن القصة الحقيقية أكثر تعقيدًا. ففي عام 1912 قام «فيســـتو سيلفر» في مرصد «لويل» في فلاجستاف بأريزونا بمسح الطيف الخطي للســـدم الحلزونية واكتشـــف أن أطياف معظمها بها انزياحات حمراء كبيرة. وبافتراض أن هذا ســـببه هو تأثير دوبلر نتيجة تحرك السدم مبتعدة عنا، حســـب «سيلفر» أن هذه السدم كانت تنحسر بسرعات تصل إلى مئات الكيلومترات كل ثانية. وقد كان ذلك دليلًا مهمًّا على أن الســـدم لم تكن ببساطة سحب نجمية صغيرة تدور حول درب التبانة، لكن الدليل الدامغ جاء من قياسات هابل للنجوم المتغيرة القيفاوية (انظر صفحة 223).

الخط الزمني

1912م	1922م	1927م	1929م
اكتشـــف «ســـيلفر» الانزياح الأحـــمر الكبـــير للكثـــير من السدم الحلزونية.	وجـــد «فريدمـــان» حـــلًا للنســـبية العامة يتوسع فيه الكون.	تنبأ «لومتر» بأن المجرات الأبعـــد ينبغـــي أن تظهر انزياحًا أحمر أكبر.	حـــدد هابـــل العلاقة بين الانزياح الأحمر والمسافة.

النظرية والممارسة

في عام 1915 نشر «آينشـتاين» نظريته النسـبية العامة (انظر صفحـة 289). لقد اجتازت الاختبارات الأولية بنجاح منقطع النظير إلا أنها سـببت مشـكلة كبيرة في نظريات الكون: فطبقًا لأبسط تفسير فإن وجود كميات كبيرة من الكتلة في الكون حتمًا سيؤدي إلى انهيار الكون على نفسه.

كان هناك إجماع علمـي على أن الكون قديم بلا حدود وأنه ثابت، لذا حل «آينشـتاين» المشـكلة عن طريق إضافة ما يسـمى بـ«الثابت الكوني» إلى معادلاته. وهـذه القوة الضعيفة المضـادة للجاذبية لا تعمل إلا على الأحجام الكبيرة وذلك لمواجهة الانكماش في الفضاء، وقد سمى ذلك في وقت لاحق بخطئه الأكبر على الرغم من أن الاكتشاف الأحدث للطاقة المظلمة برر هذه الفكرة إلى حد ما (انظر صفحة 282).

وفي عام 1922، جاء عالم الفيزياء الروسي «ألكسـندر فريدمـان» بحل بديل لمعادلات آينشتاين، وأوضح أن كليهما صحيح بالمقدار نفسه إذا كان الزمكان في توسع، لكن عمله قوبل بالتجاهل إلى حد كبير بسـبب عدم كفاية الأدلة التي تدعم ذلك. وبعد بضع سنوات، في عام 1927 وصل عالم الفلك البلجيكي والكاهن «جورج لوميتر» إلى اسـتنتاجات مشابهة، لكنه توقع بشـكل حاسم نتيجة الرصد: ينبغي أن تكون جميع المجرات في تباعد عن بعضها البعض على أوسع نطاق وأن المجرة كلما كانت أبعد كانت سرعة انحسارها عن درب التبانة أكبر.

1931م	1958م	2000م
ذهب «لوميتر» إلى أن توسـع الكون يشـير إلى أن الكون قد بـدأ من ذرة بدائية عالية الحرارة.	قدّم «ساندج» أول تقدير حديث لثابت هابل.	نـشر نتائـج مـشروع هابل الرئيسي.

يبـــدو أن عمل «فريدمـــان»، و«لوميتر» لم يؤثر مباشرة على «هابـــل» عندما بدأ في أواخر العشرينيات في مقارنة قياساته لمسافات المجرة مع الانزياحات الحمراء التي سجلها «سيلفر»، وزميل «هابل» الذي يدعى «ميلتون هامسون». بيد أنه سرعان ما اكتشف العلاقة الدقيقة التي تنبأ بها «لوميتر». وفي عام 1929 نشر دليله، متضمنًا رسـمًا بيانيًّا يبين العلاقة بين سرعة المجرة والمســافة. وتعرف هذه العلاقة الآن بقانون هابل، بينما يعرف تدرج الرســم البياني ـ المعدل الذي تزيد به سرعة انحسار المجرة مع المسافة ـ باسم ثابت هابل (يرمز له بالرمز H_0).

معنى التوسع

«النظريات تنهار، أما الملاحظات الجيدة فلا تتلاشى أبدًا.»

هارلو شابلي

كان لاكتشاف هابل آثار ضخمة على تاريخ الكون على الرغم من أن هابل نفسه كان بطيئًا في تبني هذه الاكتشافات (انظر الجدول صفحة 247). إذا كان كل شيء في الكون يبتعد عن درب التبانة فإن هناك احتمالين.

أن منطقتنا الفضائية على نحو فريد لا تحظى بشـــعبية لدرجـــة أن المجرات تهرب مبتعدة عنها أو أن الكون ككل يتوســـع، وأن جميع المجرات داخله تحمل بعيدًا عن بعضها البعض كما توقـــع «لوميتر». لم يأخذ أي عالم فلك الاختيـــار الأول على محمل الجد، حيث أنه ينطوي على أن لنا موقعًا متميزًا في الكون (وهو ما يتعارض مع الدروس القاســـية التي تعلمناها منذ زمن كوبرنيكوس). لكن الاقتراح الذي حمله الكون المتوسع في طياته، والذي له أصل في القياسات الماضية، كان تقريبًا غير مريح لعلماء الفلك الذين آمنوا عمومًا بأزلية الكون. وقد كان «لوميتر» هو الذي تبناها تمامًا عام 1931، وقال إن توســـع الكون ينطوي على أن الكون الذي كان أكثر حرارة وكثافة في الماضي نشأ في النهاية من «ذرة بدائية». وقد كان ذلك مقدمة لنظرية الانفجار العظيم (انظر صفحة 250).

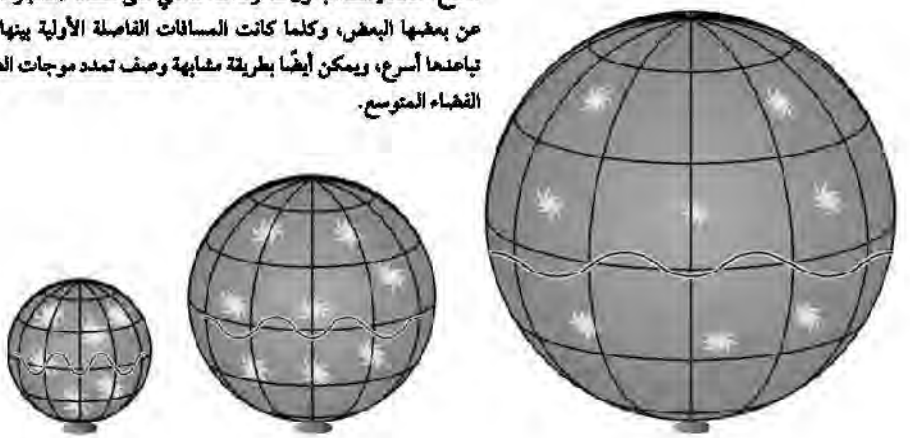
مع اكتشاف إشعاع الخلفية الكونية الميكروي عام 1964 (انظر صفحة 271) اعتبر معظم علماء الكونيات أن قضية الانفجار العظيم قد أثبت، وقد احتل القياس الدقيق لثابت هابل الآن أهمية جديدة حيث أن معدل التوسع في الوقت الحاضر يمكن قلبه رأسًا على عقب لتقدير عمر الكون. وبتحسن تكنولوجيا الرصد تحسنت القدرة على الكشف عن النجوم المتغيرة القيفاوية في المجرات الأبعد (والقدرة على التمييز بين النجوم المتغيرة القيفاوية، وشبيهات متغير

خطأ هابل

كان اكتشاف «إدوين هابل» للعلاقة بين الانزياح الأحمر وبعد المجرة في غاية الأهمية، لكن هابل نفسه رفض تمامًا فكرة أن الكون في توسع. ففي الوقت الذي أجرى فيه قياساته، لم يكن علماء الفلك يميزون على نحو كامل بين «النجوم المتغيرة القيفاوية الكلاسيكية» (نجوم الجمهرة الأولى التي تحتوي على كميات كبيرة من العناصر الثقيلة) والمجموعة الأكثر خفوتًا قليلًا وهي نجوم الجمهرة الثانية (بعلاقتها المميزة بين الفترة واللمعان) وقد أدى ذلك بهابل إلى التقليل بشكل كبير من المسافات بين المجرات (على سبيل المثال، وضع مجرة المرأة المسلسلة على بعد 900,000 سنة ضوئية في حين أن القياسات الحديثة تقترح أنها على مسافة 2.5 مليون سنة ضوئية).

ونتيجة لذلك بالغ هابل في تقدير معدل زيادة الانزياح الأحمر مع المسافة ومن ثم حسب أنه إذا كانت الانزياحات الحمراء ناتجة عن تأثير دوبلر فإن الانحسار لا بد أن يكون في تزايد مع المسافة بسرعة 500 كم/ ثانية/ مليون فرسخ فلكي. وبتقفي أثر هذا التوسع إلى الوراء في الوقت سنرى أن جميع المجرات تتزامن في النقطة نفسها في الفضاء (ذرة لوميتر البدائية) منذ 2 مليار سنة فقط. ولما كان ذلك مساويًا لنصف عمر كوكب الأرض المعروف آنذاك فإن هابل رفض تفسير دوبلر لصالح أفكار افتراضية أخرى، مثل مفهوم الضوء «المتعب» الذي يتزايد انزياحه الأحمر عبر المسافات الكبيرة نتيجة لتأثيرات أخرى.

الشلياق العاشر التي تشبهها على نحو مضلل)، وفي عام 1958 نشر «آلان سانداج» تقديرًا محسنًا إلى حد كبير لـ«ثابت هابل» مشيرًا إلى أن معدل انحسار المجرات البعيدة زاد بمقدار 75 كم لكل ثانية لكل مليون فرسخ فلكي من المسافة (الفرسخ الفلكي وحدة تكافئ 3.26 مليون سنة ضوئية).



من المماثلات الشائعة عند التفكير في توسع الكون تخيل الفضاء كبالون منتفخ. عندما يتمدد البالون تتحرك النقاط التي على سطحه (المجرات) متباعدة عن بعضها البعض، وكلما كانت المسافات الفاصلة الأولية بينها أكبر كان تباعدها أسرع، ويمكن أيضًا بطريقة مشابهة وصف تمدد موجات الضوء بفعل الفضاء المتوسع.

وقد كانت هذه القيمة تقريبًا سدس القيمة التي حسبها هابل (انظر المربع في الصفحة السابقة) وتعني ضمنًا أن عمر الكون ظاهريًا كان أكثر بكثير 13 مليار سنة.

على مدى العقود القليلة التالية تقلبت قياسات ثابت هبل كثيرًا حول قيمة سانداج بين حوالي 50 إلى 100 كم/ ث/ مليون فرسخ فلكي، مما يعني ضمنًا أن الكون يتراوح عمره بين 10 و20 مليار سنة. كانت تسوية هذه المسألة هي «المشروع الرئيسي» لتلسكوب هابل الفضائي، وقد دفعت تصميم التلسكوب من بدايته في السبعينيات حتى إطلاقه في عام 1990. وبين الملاحظات رفيعة المستوى قضى تلسكوب هابل الفضائي الكثير من عقده الأول في جمع البيانات وقياس منحنيات ضوء النجوم المتغيرة القيفاوية في المجرات

حتى حـــوالي 100 مليون سنة مما أدى إلى نشر نهائي في عام 2000 بقيمة 72 كم / ساعة/ مليون فرســخ. وقد تراوحت قياسات أخرى حول القيمة نفسها مما أدى إلى حساب أن عمر الكون 13.8 مليار سنة وهو مقبول على نحو واسع.

الفكرة الرئيسة

الكون يتوسع في كل لحظة