الكون الحار

فيزياء بدء التمدد

لقد اطلعنا في الفقرات السابقة على ميكانيكا تمدد الكون. ولكن الميكانيكا لا تستنفذ كل ما يهمنا. ففي مختلف مراحل تمدده، شهد الكون مختلف العمليات الفيزيائية. ونحن نعرف أنه منذ 15 مليار سنة، في أول بدء التمدد، كانت كثافة المادة في الكون عظيمة. ومن الطبيعي أن تكون قد جرت زمنئذٍ عمليات لا تشبه البتة العمليات التي نشاهدها اليوم. فهي في الماضي، حددت الحالة التي عليها عالم اليوم، فجعلت، على وجه الخصوص، الحياة فيه ممكنة.

وتثير فيزياء العمليات التي جرت في بدء التمدد، اهتماماً كبيراً جداً. ولكن هل بمقدورنا أن نقول شيئاً ما عن هذه العمليات؟ فالحديث يجري عن الومضات الأولى لحركة تمدد الكون، التي كانت قد بدأت منذ 15 مليار عام!

لقد ظهر أن هذا ممكن. فالعمليات التي وقعت في الثواني الأولى من بدء تمدد الكون، كانت لها نتائج هي من الأهمية بمكان بالنسبة للكون الراهن، وتركت «آثاراً» ظاهرة، بحيث يمكن أن نستعيد على أساسها طابع تلك العمليات نفسها.

ومن أكثر تلك العمليات أهمية، التفاعلات النووية بين الذرات الأولية، وهي التفاعلات التي جرت في ظل درجة عالية من الكثافة. وليس حدوث مثل هذه التفاعلات ممكن إلا في لحظة بدء التمدد، حينما تكون الكثافات مهولة. وغني

عن البيان أنه لم يكن عندئذٍ ثمة أي ذرات حيادية، أو حتى نوى ذرية معقدة، فالعناصر الكيميائية لم تتشكل إلا فيما بعد نتيجة للتفاعلات النووية. ولكن قبل هذا، في الكون المبكر أكثر، كان هناك عصر تشكلت فيه الذرات الأولية نفسها. والحديث يجري هنا عن أزمنة تقاس بومضات ضئيلة إلى حد لا يمكن تخيله: 10^{-43} *من الثانية*، والكثافات أكبر من 10^{93} *غ/سم*3. وهذه الكثافة أكبر من كثافة النواة الذرية بعدد مهول من المرات. فكثافة هذه الأخيرة «فقط» 10^{-15} *غ/سم*3. ولا شك في أن مثل هذه الأرقام تثير ابتسامة القارئ عفو الخاطر. فهل يمكن أن نعرف شيئاً ما عن العمليات التي جرت في مثل هكذا ظروف، والتي لا يمكن إعادة إجرائها في مخابر الأرض؟

فمنذ سنوات طويلة، عندما وضعت مع الأكاديمي يا. زيلدوفيتش كتاباً علمياً سقنا فيه تصنيفاً للعمليات التي جرت في ظروف متشابهة كانت درجة الكثافة فيها خيالية، تذكرنا المحاكاة الهجائية لأركادي أفيرتشنكو التي قال فيها: «إن تاريخ الميديين مبهم وغير معروف، لكن العلماء يقسمونه مع ذلك إلى ثلاثة عصور: الأول، لا نعرف عنه أي شيء، والثاني، لا نعرف عنه أكثر مما نعرف عن الأول، والثالث الذي تلا سابقيه».

وقد مضى الآن على تلك الحادثة حوالي العشرين عاماً تقدم علم الفيزياء خلالها خطوات طويلة إلى الأمام، وبات بالإمكان الآن أن نقول شيئاً ما حتى عن عمليات تشكل الذرات الأولية في الكون المتمدد.

أما فيما يخص التفاعلات النووية التي حدثت بين الثانية الأولى والثانية الثلاث مئة بعد بدء تمدد الكون، فإننا نستطيع أن نكشف عنها بدقة كاملة. ويكمن الأمر هنا في كون نتيجة التفاعلات النووية قد تمثلت في تشكل العناصر الكيميائية في الكون.

فحساب التفاعلات النووية يتيح إمكانية التكهن بالتركيب الكيميائي للمادة التي تشكلت منها المجرات، والنجوم، والغاز الذي بين النجوم. وتتيح لنا مقارنة التكهنات بالمشاهدات أن نكشف عن هذه التفاعلات، وأن نستوضح، وهو الأمر الرئيس، الشروط الفيزيائية التي جرت فيها. ولكننا سوف نرجئ إلى الفقرات القادمة

اجتلاء المسألة المتعلقة بالعمليات الشاذة التي جرت في ظل كثافة 10^{93} غ/سم3، ونلتفت لنلقي الضوء الآن على كيفية سير التفاعلات النووية في الكون خلال الثواني الأولى، وإلى ما أفضت إليه.

هل كانت البداية باردة أم حارة

هناك احتمالان أساسيان للشروط التي جرت فيها بداية تمدد مادة الكون. فقد كان يمكن أن تكون تلك المادة إما باردة وإما حارة. ونحن سوف نرى أن نتائج التفاعلات النووية في أثناء ذلك يختلف بعضها عن بعض اختلافاً جذرياً.، ومن الوجهة التاريخية جرت دراسة البداية الباردة أولاً (منذ ثلاثينيات القرن 20 م). وعندئذٍ كانت الفيزياء النووية لا تزال في حالتها الجنينية، فلم يكن بعد ثمة نظرية يمكن أن تحسب التفاعلات النووية حساباً يركن إليه. ففي تلك الظروف أخذ بفرضية تقول، إن مادة الكون كانت في البداية على شكل نيترونات باردة، ثم تبين أن مثل هذه الفرضية تتعارض مع مشاهدات الأرصاد.

فالنيترون جسيم غير مستقر. وعندما يكون حراً ينقسم في خلال حوالي 15 دقيقة إلى بروتون، وإلكترون، ونيترون مضاد. ولذلك كان ينبغي في أثناء تمدد الكون، أن تنقسم النيترونات وتظهر البروتونات. كما كان يجب أن يتحد البروتون الناشئ مع النيترون الباقي ليعطيا معاً نواة ذرة الديتيريوم، ولاتحد هذا بدوره مع الديتيريوم وهكذا دواليك. وكان ينبغي أيضاً أن يسير تفاعل مفاقمة النوى الذرية بسرعة ليتواصل إلى أن تشكل الألفا - الجسيم: نواة ذرة الهليوم. وتبين الحسابات أن النوى الذرية الأكثر تعقيداً كان يجب ألا تظهر. وعلى هذا النحو كان ينبغي أن تتحول المادة كلها إلى هليوم. وهذا ما يتعارض تعارضاً كلياً مع مشاهدات الأرصاد. فمن المعروف أن النجوم الفتية والغاز الذي بين النجوم يتألفان أساساً من الهيدروجين، وليس من الهليوم.

وهكذا يتضح أن أرصاد توزع العناصر الكيمائية في الطبيعة، تدحض فرضية البداية الباردة لتمدد الكون.

وفي العام 1948 ظهر كتاب إ. غاموف، ور ألفير، ور. هيرمان، الذي عرضت فيه التنويعة «الحارة» للمراحل البدئية لتمدد الكون.، وقد افترض المؤلفون أن درجة حرارة المادة عند بدء التمدد كانت عالية جداً.

وقد تلخص الهدف الرئيس لمؤلفي فرضية الحار، في الحصول من خلال دراسة التفاعلات النووية في بداية التمدد الكوسمولوجي، على العلاقة المرصودة الآن بين كمية مختلف العناصر الكيميائية والنظائر.

لماذا افترضوا في بادئ الأمر، أن العناصر الكيميائية كلها يجب أن تتشكل في بداية تمدد الكون؟ يرجع الأمر هنا إلى أنهم في الأربعينيات من القرن العشرين ظنوا خطأ أن الزمن الذي مضى على بدء التمدد يشكل 1-4 مليار عام (بدلاً من 15 مليار عام وفق التقديرات المعاصرة). ونحن نعرف أن هذا الخطأ ارتبط بالتقديرات المخفضة للمسافات التي تفصلنا عن المجرات، ولذلك ارتبط أيضاً بزيادة مقدار هابل. ومن مقارنة هذا الزمن 10^9. (1-4) سنة، مع عمر الأرض: حوالي 10^9. (4-6) سنة، افترض المؤلفون أنه حتى الأرض والكواكب (عداك عن الشمس والنجوم)، قد تكثفت من المادة البدئية، وإن العناصر الكيميائية كلها قد تشكلت في المرحلة المبكرة من تمدد الكون، لأنه لم يكن ليتسنى لها أن تتشكل في أي مكان آخر.

إننا نعرف الآن أن زمن تمدد الكون هو 15.10^9 سنة، وأن الأرض لم تتشكل من المادة البدئية، بل من مادة عبرت مرحلة التفاعلات النووية (التركيب النوكليوني) في النجوم. وتشرح فرضية التركيب النوكليوني هذه بنجاح، القوانين الأساسية لانتشار العناصر وفق فرضية أن تكون النجوم الأولى قد تشكلت من مادة تتألف أساساً من خليط من الهيدروجين والهليوم. أما مادة النجوم القديمة التي تنتمي إلى الجيل الأول، والغنية بالعناصر الثقيلة، فقد قذفت إلى الفراغ. وقد ظهرت من هذه المادة نجوم جديدة وكواكب. وعلى هذا النحو تكون قد سقطت الحاجة إلى تفسير منشأ العناصر كلها (بما فيها العناصر الثقيلة كالحديد، والرصاص، و...)، في المرحلة المبكرة من تمدد الكون. ولكن تبين أن جوهر فرضية الكون الحار صحيح.

وكان كثير من الباحثين قد أشار إلى أن وجود الهليوم في نجوم مجرتنا وغازها، أكبر بكثير من أن يمكن تفسيره بالتركيب النوكليوني في النجوم. وعليه فإن

تركيب الهليوم. يجب يحدث في المرحلة المبكرة من تمدد الكون. ومع ذلك فإن الهيدروجين هو المادة الأساسية في الكون الآن.

ففي نظرية غاموف وزملائه أن مادة الكون المتمددة تتحول إلى خليط يتألف جزؤه الأعظم من الهيدروجين (70٪) والأصغر من الهليوم (30٪). ومن هذه المادة تشكلت فيما بعد النجوم والمجرات. ولكن لماذا لا تتحول المادة كلها في نظرية الكون الحار، إلى هليوم، كما حصل في تنويعة البدء على شكل سائل نيتروني بارد؟

يكمن الأمر كله على وجه التحديد، في أن المادة كانت حارة. ففي المادة كثير من الفوتونات النشطة. وفيها أيضاً بروتونات ونيترونات تسعى إلى الاتحاد في الديتيريوم. ولكن الفوتونات تقسم الديتيريوم الذي يتشكل لدى اتحاد البروتون والنيترون، لتوقف سلسلة التفاعلات التي تفضي إلى تأليف الهليوم، في بدايتها. وعندما يبترد الكون إلى الحد الكافي (حتى درجة حرارة تقل عن مليار درجة) أثناء تمدده، فإن كمية من الديتيريوم تبقى وتؤدي إلى تأليف الهليوم. ونحن سوف نناقش هذه المسألة فيما بعد بالتفصيل.

إن نظرية الكون الحار تقدم تكهنات معينة بصدد وجود الهليوم في المادة النجمية. ونحن أشرنا إلى أن انتشار الهليوم يجب أن يشكل 30٪ من حيث الحجم.

ولكن دراسة شتى تنويعات بدء تمدد الكون لم تنته عند فرضية غاموف. فقد جرت في أوائل الستينيات من القرن العشرين محاولات للعودة إلى تنويعة محدثة لفرضية الكون البارد، وتكهنت هذه الفرضية الجديدة بتحول المادة كلها لا إلى هليوم (كما في الفرضية القديمة)، إنما إلى هيدروجين صاف. وافترضوا في غضون ذلك أن العناصر الأخرى قد تشكلت فيما بعد، في النجوم.

وفي بادئ الأمر ارتبطت نظريتا الكون البارد والكون الساخن بمحاولات إعطاء تفسير كامل لانتشار العناصر الكيميائية في المادة القبل النجمية. واتجهت محاولات معرفة أي من النظريتين هي النظرية الصحيحة في بادئ الأمر، على طريق تحليل نتائج أرصاد انتشار العناصر الكيميائية. ولكن مثل هذه الأرصاد نفسها، خاصة تحليلها في غاية التعقيد، وهي ترتبط بافتراضات كثيرة. ولو كان لا يمكن التحقق من صحة

النظريتين إلا حسب انتشار العناصر الكيميائية في الكون، لكان الكشف عن الحقيقة أمراً في غاية الصعوبة. فليس من السهل أن نتبين كم من الهليوم والعناصر الأخرى تركّب في العمليات النووية في النجوم، وكم تبقّى بعد العمليات في الكون المبكر.

ولكن لحسن الحظ أن هناك وسيلة أخرى. فنظرية الكون الحار تقدم تكهناً أرصاديا، هو الأهم، وهو يعد من النتائج المباشرة «للسخونة». وهذا التكهن هو التكهن بوجود إشعاع كهرومغناطيسي في الكون باق حتى أيامنا هذه منذ العصر الذي كانت المادة فيه كثيفة وحارة.

ففي عملية التمدد الكوسمولوجي للمادة تهبط درجة حرارة هذه الأخيرة، كما تهبط درجة حرارة الإشعاع، ولكن مع ذلك يجب أن يبقى حتى الآن إشعاع كهرومغناطيسي تتراوح درجة حرارته (في مختلف تنويعات النظرية)، بين أجزاء الدرجة إلى 20-30 درجة حسب مقياس كيلفن.

وقد دعي هذا الإشعاع الذي كان يجب أن يبقى من الأطوار القديمة لارتقاء الكون، إذا كان هذا حاراً فعلا، بالإشعاع الذخر. وكان الفيزيائي الفلكي إ. شكلوفسكي أول من اقترح هذه التسمية. والإشعاع الكهرومغناطيسي بهذه الدرجة المتدنية من الحرارة، هو عبارة عن موجات لاسلكية ذات موجة طويلة بأمداء سنتيميترية ومليميترية. وعليه فإن البحث عن هذا الإشعاع يمثل التجربة الحاسمة للتحقق مما إذا كان الكون حاراً أم بارداً.

كيف اكتشف الإشعاع الذخر

إن قصة اكتشاف الإشعاع الذخر ذات عبرة كبيرة جداً. ففي الأعمال الأولى لغاموف، وألفير، وهيرمان، كان قد أشير إلى أنه يجب أن يبقى في الكون الراهن من الأطوار الأولى المبكرة، إشعاع ذخر حرارته حوالي 5 درجات على مقياس كيلفين المطلق.

وقد بدا أن هذا التكهن كان يجب أن يثير اهتمام علماء الفيزياء الفلكية، وكان على هؤلاء بدورهم أن يثيروا اهتمام المشتغلين بالإشعاعات الفلكية لكي يحاولوا أن يكشفوا عن الإشعاع المفترض.

بيد أن شيئاً من هذا لم يحصل. ولا يزال المؤرخون للعلم والمتخصصون يخمنون حتى الآن، لماذا لم يحاول أحد أن يبحث عن الإشعاع الذخر. ولكن تعالوا قبل أن نقتفي أثر الأحجيات، نتتبع سلسلة الأحداث الفعلية التي قادت إلى الاكتشاف نفسه.

ففي 1960 أنشؤوا في الولايات المتحدة الأمريكية لاقطاً شعاعياً أعد لاستقبال الإشارات التي يعكسها القمر الصناعي «إيكو» (= الصدى. -م.). وفي العام 1963 لم يعد اللاقط لازماً للعمل مع القمر الصناعي، فقرر اثنان من المهندسين المتخصصين في الإشعاعات: ر. ويلسون، وأ. بينزياس، اللذين كانا يعملان في مختبر شركة «بيل»، أن يستخدما اللاقط لأعمال رصد الإشعاعات الفلكية. وكان اللاقط عبارة عاكس على شكل بوق طول فتحته 20 قدماً[1]. وفي ذلك الوقت كان هذا التلسكوب الشعاعي مع جهاز الاستقبال الحديث التابع له، أكثر الأدوات حساسية في العالم لقياس الموجات اللاسلكية الآتية من الفضاء من نطاقات واسعة في السماء. وقد خصص التلسكوب أولاً وقبل كل شيء لقياس النشاطات الإشعاعية التي تولد في الوسط النجمي لمجرتنا. وكان ينبغي أن يكون هذا العمل عملاً مهماً، لكن كان على وجه العموم عملاً عادياً بين أعمال الرصد الفلكية اللاسلكية الكثيرة. ولكن في الأحوال كلها لم ينو أ. بينزياس ور. ويلسون البحث عن الإشعاع الذخر، بل لم يكن لديهما عندئذٍ حتى مجرد فكرة عن نظرية الكون الحار.

لقد جرت القياسات الأولى على موجة طولها 7.35 سم. وكان يجب للحصول على قياس دقيق للنشاط الإشعاعي في مجرتنا، أن تؤخذ العقبات الممكنة بالحسبان. وكان يمكن أن تكون هذه مختلفة الأنواع. فقد كان يمكن أن تستدعيها ولادة موجات لاسلكية في جو الأرض، فلسطح الأرض نشاطه الإشعاعي كذلك. عداك عن هذا أن

1ـ القدم الإنكليزي (Foot) = 0.3048 م.

العقبات كان يمكن أن تظهر أيضاً بسبب حركة الذرات الكهربية في اللاقط، وفي سلاسل التقوية الكهربية، وفي جهاز الاستقبال، وعليه فقد جرى تحليل مصادر العوائق الممكنة كلها ووضعها في الحسبان.

ومع ذلك أكد بينزياس وويلسون باستغراب أنهما أينما وجها لاقطهما، فإنه يستقبل إشعاعاً ما شدته ثابتة. ولم يكن من الممكن أن يكون هذا الإشعاع إشعاع مجرتنا، وإلا كان ينبغي أن تتغير شدته تبعاً لتوجيه اللاقط نحو سطح درب التبان طولاً أم عرضاً. ضف إلى هذا أن أقرب المجرات إلينا، والتي تشبه مجرتنا، كان يجب في هذه الحال أن تشع أيضاً على موجة طولها 7.35 سم. ولكن مثل هذا الإشعاع لم يسجل، لم يكشف عنه.

إذن لم يبق سوى احتمالين اثنين: إما أن يكون بعض العوائق غير المحسوبة، هو الذي «يدوي»، وإما أن يكون هذا الإشعاع آتياً من رحاب الفضاء النائية. فوقع الشك على عوائق ممكنة في اللاقط. وبذا تكون قد ظهرت «أحجية اللاقط». وها كم ما قاله ويلسون عن الاختبارات التي أجراها مع زميله للتحقق من فرضية عوائق اللاقط: «وهكذا بقي اللاقط وحده المصدر الممكن الوحيد للضجيج الزائد... وكان القسم الأكبر من فاقد اللاقط يحدث في فوهة للاقط صغيرة القطر مصنوعة من النحاس النقي كيميائياً. فأجرينا دراسات على مثل هذه الأجهزة في المخبر وأدخلنا تصحيحات على حسابات الفاقد على حساب مثالية الشروط السطحية التي عثرنا عليها في الأجهزة. أما باقي أجزاء اللاقط، فقد كانت مصنوعة من أوراق الألومينيوم المبرشمة، ومع أننا لم نتوقع أي منغصات هنا، إلا أننا لم نستطع أن ننفي إمكانية وجود فاقد في أمكنة البرشمة. ولكي نختبر ذلك وضعنا زوجاً من الحمام في ذلك الجزء الصغير من البوق حيث يتماس مع القمرة الدافئة. وسرعان ما غطت الحمامتان الجوف الداخلي بمادة بيضاء. فأطلقناهما ونظفنا المكان، إلا أننا لم نحصل إلا على انخفاض صغير في درجة حرارة اللاقط. فبقيت مسألة حرارة اللاقط قائمة تنتظر الحل.

وفي ربيع العام 1965 انتهينا من قياس التيار، ونظفنا العاكس تنظيفاً دقيقاً، ووضعنا أشرطة من الألومينيوم على ملتقيات البرشمة. وكانت النتيجة أن ارتفعت درجة حرارة اللاقط بعض الشيء. ففككنا عنق اللاقط وفحصناه، فوجدنا أن

كل شيء فيه على ما يرام. إذن، أن الإشعاع الزائد الذي سجله التلسكوب الشعاعي لا يرتبط بعوائق في اللاقط. إنه يرد من الفضاء، ومن الاتجاهات كلها بشدة واحدة».

أما الأحداث التي وقعت بعد ذلك وقادت إلى حل المسألة، فترتبط بالمصادفات. ففي حديث له مع زميله ب. بيركه عن مسائل أخرى تماماً، ذكر بينزياس مصادفة الإشعاع الغامض الذي يستقبله اللاقط. فتذكر بيركه أنه سمع يوما بتقرير ب. بيبلس الذي كان يعمل تحت إشراف الفيزيائي الشهير ر. ديكي. فقد أشار بيبلس في تقريره هذا إلى إشعاع متبق من الكون المبكر وينبغي أن تكون حرارته اليوم حوالي 10 درجات على مقياس كيلفن.

فاتصل بينزياس هاتفياً مع ديكي، والتقت المجموعتان معاً. وسرعان ما بات واضحاً لديكي وزملائه ب. بيبلس، وب. رول، ود. ويلكينسون، أن بينزياس وويلسون اكتشفا الإشعاع الذخر للكون الحار. وفي أثناء ذلك عزمت مجموعة ديكي التي كانت تعمل في برينستون، على تصميم معداتها الخاصة لمثل هذه القياسات على موجة طولها 3 سم، إلا أنه لم يتسن لها أن تبدأ القياس. فقد نجح بينزياس وويلسون في تحقيق الاكتشاف كله.

وقد قال ويلسون عما جرى بعد ذلك: «لقد اتفقنا على نشر رسالتين معاً في مجلة الفيزياء الفلكية» واحدة من برينستون عن النظرية، والأخرى من مخبر «بيل» عن قياساتنا لفائض حرارة اللاقط. وكان ينبغي علينا أنا وآرنو ألا نتناول في رسالتنا أي نقاش للنظرية الكوسمولوجية عن نشوء الإشعاع الفوتوني، لأننا لم نشارك في هذا العمل. بيد أننا رأينا أن نتائج قياساتنا لا ترتبط بالنظرية، إنما تمثل اهتماماً مستقلاً. ومع ذلك كان من دواعي سرورنا أن يكون سر الضجيج الذي ظهر في لاقطنا مرتبطاً بمثل هذه الظاهرة الكوسمولوجية المهمة. ولكننا كنا في ذلك الوقت نعيش حالة مزاجية كان يمكن أن ندعوها بحالة التفاؤل الحذر».

وفي صيف العام 1965 نشرت الرسالتان المذكورتان.

لقد أظهرت القياسات الأولى التي أجراها بينزياس وويلسون، أن حرارة الإشعاع الذخر تشكل حوالي 3 درجات على مقياس كيلفن.

ثم أجريت في السنوات التالية كثرة من القياسات على موجات من مختلف الأطوال: بدءاً من عشرات السنتيمترات حتى أجزاء المليميتر.

وبينت أعمال الرصد أن طيف الإشعاع الذخر يتوافق مع صيغة بلانك، كما ينبغي أن يكون عليه الوضع بالنسبة لإشعاع حرارته محددة. وهذه الحرارة تساوي حوالي 3 درجات على مقياس كيلفن.

وهكذا يكون قد اكتشف مصادفة واحد من ألمع اكتشافات القرن العشرين، الذي برهن على أن الكون كان حاراً عند بدء تمدده. وفي العام 1978 منح أ. بينزياس ور. ويلسون جائزة نوبل في الفيزياء على اكتشافهما هذا.

لماذا لم يكتشفوا الإشعاع الذخر من قبل؟

نعود الآن إلى المسألة التي تنتمي إلى تاريخ العلم، ولكنها تثير اهتمام المتخصصين: الفيزيائيين والفيزيائيين الفلكيين. فقد كتب الفيزيائي الأمريكي المعروف س. فاينبرغ يقول في كتابه «الدقائق الثلاث الأولى»: «أريد أن أحاول هنا حل مسألة تاريخية أرى فيها مسألة غامضة ومدهشة على حد سواء. فالكشف في العام 1965 عن الإشعاع الكوني القصير الموجات (هكذا كان يدعى الإشعاع الذخر أحياناً - إ. ن)، كان واحداً من أهم الاكتشافات العلمية في القرن العشرين. ولكن لماذا تحقق هذا الاكتشاف مصادفة؟ أو بكلمات أخرى، لماذا لم تكن هناك أبحاث منتظمة عن هذا الإشعاع قبل العام 1965 بزمن طويل»؟

نذكر بأن التكهن بوجود إشعاع في الكون حرارته لا تتجاوز العدة درجات، كان ظهر منذ أواخر الأربعينيات - أوائل الخمسينيات، أي قبل 15 عاماً من اكتشاف أ. بينزياس ور. ويلسون.

ربما كان السبب هو عدم وجود تلسكوبات شعاعية عندئذٍ لا تتمتع بالحساسية الكافية لاكتشافه؟ سوف نرى لاحقاً أن الأمر لم يكن كذلك. وهذا هو رأي س. فاينبرغ أيضاً. ولكن الأمر لا يكمن حتى في هذا.

إن تاريخ الفيزياء يعرف كثيراً من الأمثلة على التكهن بظاهرة جديدة قبل ظهور الإمكانات التقنية لاكتشافها بزمن طويل. ومع ذلك، إذا كان التكهن معللاً ومهماً، فإن الفيزيائيين كانوا يتذكرونه دائماً. وعندما تظهر الإمكانات، كان التحقق من التكهن يجري من غير تأخير، وقد ساق س. فاينبرغ مثالاً على تكهن جرى في الثلاثينيات بوجود البروتون المضاد: الذرة المضادة لنواة ذرة الهيدروجين. ولم يكن الفيزيائيون ليحلموا عندئذٍ بإمكانية الكشف عنه في التجربة. ولكن عندما ظهرت الخمسينيات الإمكانات المناسبة، تم إنشاء معجّل خاص في بيركلي للتحقق من هذا التكهن.

ولكن المشتغلين بالإشعاعات الفلكية لم يعرفوا شيئاً عن الإشعاع الذخر وإمكانية اكتشافه، قبل أواسط الستينيات. فلماذا حصل هذا؟

ويذكر س. فاينبرغ ثلاثة أسباب لذلك. السبب الأول، هو أن غاموف وزملاءه أنشؤوا نظرية الكون الحار لتفسير انتشار العناصر الكيميائية في الطبيعة وائتلافها لحظة بدء تمدد الكون. ثم ظهر أن هذا غير صحيح. فالعناصر الثقيلة كما أشرنا ائتلفت في النجوم. أما العناصر الخفيفة فهي وحدها التي تستمد نشأتها من الومضات الأولى لعملية التمدد. كما حملت التنويعات الأولى للنظرية أخطاء أخرى. وفيما بعد جرى تدقيق هذا كله، ولكن عدم دقة النظرية أدى في أواخر الأربعينيات وأوائل الخمسينيات إلى فقدان الثقة بالنظرية ككل. أما السبب الثاني فقد تمثل في سوء العلاقة بين العلماء النظريين والعلماء التجريبيين. فلم ير الأوائل أنه يمكن الكشف عن الإشعاع الذخر بوسائل الرصد المتوفرة؛ بينما لم يسمع الآخرون أصلاً بأنه ينبغي البحث عن مثل هذا الإشعاع.

وكان السبب الثالث ذا طابع سيكولوجي، فقد كان من الصعب على علماء الفيزياء وعلماء الفيزياء الفلكية، أن يصدقوا أن الحسابات التي تخص الدقائق الأولى التي أعقبت بداية تمدد الكون، تتوافق فعلاً مع واقع الأشياء. فالتباين بين الفواصل الزمنية كان قد بات عظيماً: عدة دقائق، وعشرات مليارات السنين التي تفصل بين زمننا الراهن وتلك الحقب.

ويشير أ. بينزياس في محاضرته التي ألقاها أثناء تقليده جائزة نوبل، إلى وجود سبب آخر، هو الأهم من وجهة نظره. ويكمن الأمر هنا في أن الأعمال الأولى لغاموف وزملائه، كما أعمالهم التالية، لم تشر لو مرة واحدة إلى إمكانية اكتشاف الإشعاع الذخر، مع أنهم تحدثوا عن وجوده، عداك عن هذا، أن غاموف وزملاءه رأوا على ما يبدو، أن اكتشاف الإشعاع الذخر غير ممكن! وها كم ما يقوله بينزياس: «وفيما يخص اكتشاف الإشعاع الذخر، فإنه من الواضح أنهم لم يروا أنه يعلن عن وجوده في المقام الأول على شكل ارتفاع في كثافة الطاقة. لقد كان ينبغي أن يتقنع هذا القسط من تيار الطاقة الكلي الوارد إلى الأرض، في الأشعة الكونية والإشعاع الإجمالي المرئي الذي تطلقه النجوم. ولهذين المكونين معاً كثافتا طاقة متشابهتان. ويمكننا أن نعثر في رسالة غاموف التي أرسلها إلى ر. ألفير في العام 1948، على رأي يرفض أن تكون فاعلية ثلاثة مكونات متساوية الطاقة تقريباً، فاعلية واحدة تقريباً أيضاً. يقول غاموف في رسالته المذكورة: "إن حرارة الفراغ الكوني التي تساوي 5K° يفسرها الإشعاع المعاصر للنجوم. والشيء الوحيد الذي يمكن قوله، هو أن الحرارة المتبقية من طاقة الكون البدئية لا تتجاوز 5K°". ومن الواضح أنهما لم يدركا أن المواصفات الطيفية الفريدة التي يتصف بها الإشعاع الذخر، ينبغي أن تبرزه بين الظاهرات الأخرى».

ثم تأتى لي شخصياً أن أشارك في المراحل التالية لهذه العملية. فقد حدث أن وقع اشتغالي بمسائل الفيزياء الكوسمولوجية، في النصف الأول من الستينيات، قبيل اكتشاف الإشعاع الذخر بقليل. وكنت عندئذٍ قد أنهيت لتوي دراسة الدكتوراه في جامعة موسكو تحت إشراف أ. زيلدوفيتش. وكان أستاذي يهتم أساساً بميكانيكا حركة الكتل في الأنماط الكوسمولوجية من غير فرضيات تبسيطية بصدد توضعها المتجانس. وكان اهتمامه أقل بمسائل الفيزياء الملموسة، وعمليات تمدد الكون. ولم أكن حينئذٍ أعرف شيئاً يذكر عن نظرية الكون الحار.

وقبل أن أنهي دراسة الدكتوراه بقليل، بدأ اهتمامي بالمسألة الآتية: نحن نعلم كيف يدرسون مجرات مختلف الأنواع على مختلف أطول موجات الإشعاع

الكهرومغناطيسي. وإذا ما أولينا اهتماماً لفرضيات معينة حول ارتقاء المجرات في الماضي، وأخذنا بالحسبان احمرار الضوء الآتي من المجرات النائية بسبب تمدد الكون، فإننا نستطيع أن نحسب كم من الإشعاع الآن ينطلق من المجرات على كل طول موجة في الكون. ويجب أن نأخذ بالحسبان في أثناء ذلك، أنه ليست النجوم وحدها التي تضيء، إنما هناك كثير من المجرات التي تشع موجات شديدة أطوالها مترية وديسيميترية.

فبدأت اشتغل بمثل هذه الحسابات. وبعد أن أنهيت دراستي بدأت العمل مع مجموعة الأكاديمي أ. زيلدوفيتش، حيث كان الاهتمام منصباً بصورة أساسية على فيزياء العمليات التي تجري في الكون.

لقد أجريت الحسابات كلها سوية مع د. دوروشكيفيتش. وحصلنا بالنتيجة على طيف حسابي لإشعاع المجرات، أي ذلك الإشعاع الذي ينبغي أن يملأ الكون اليوم، إذا لم نأخذ بالحسبان سوى الإشعاع الذي ولد لدى ظهور المجرات، وبدء النجوم ضياءها. وينبغي أن تكون منطقة موجات الإشعاع المترية (لأن مجرات الإشعاع تطلق مثل هذه الموجات بقوة)، ومنطقة الضوء المرئي (تعطي النجوم الكثير منه) قويتين جداً في هذا الطيف؛ أما في منطقة الموجات الكهرومغناطيسية السنتميترية، والميليميترية وبعض الموجات الأخرى الأقصر، فإن الإشعاع يجب أن يكون منخفضاً.

وبما أننا ناقشنا في المجموعة بدأب، تنويعات الكون الحار والبارد، فإننا في المقالة التي كتبتها مع دوروشكيفيتش وأعددناها للنشر، أضفنا إلى إشعاع المجرات إشعاعاً افتراضياً متبقياً من حالة الكون المبكرة، إذا كان قد كان حاراً فعلاً. وكان يجب أن يكون لإشعاع الكون الحار هذا موجات أطوالها بالسنتيمترات والمليمترات، وقد حل تماماً في منطقة أطول الموجات التي ينخفض فيها إشعاع المجرات. ولذلك ينبغي أن يفوق الإشعاع الذخر في منطقة أطوال الموجات هذه، إشعاع المصادر المعروفة في الكون بآلاف، بل بملايين المرات.

ومعنى هذا أن مراقبته ممكنة. فبصرف النظر عن أن الكم الكلي للطاقة في الإشعاع الذخر يقارب طاقة ضوء المجرات، إلا أن موجات الإشعاع الذخر لها طول

مختلف تماماً، ولذلك يمكن اكتشافها. وها كم ما قاله أ. بينزياس عن بحثنا أنا وأ. دوروشكيفيتش، في محاضرته التي ألقاها أثناء تسلمه جائزة نوبل:

«لقد ظهر أول اعتراف بالإشعاع الذخر، كظاهرة يمكن اكتشافها في النطاق الشعاعي، في المقالة المختصرة التي نشرها في العام 1964 أ. غ. دوروشكيفيتش وإ. د. نيكونوف تحت عنوان، متوسط كثافة الإشعاع في المجرات المعروفة وبعض مسائل الكوسمولوجيا النسبية، ومع أن الترجمة الإنكليزية للمقالة ظهرت في العام نفسه في مجلة «الفيزياء السوفيتية» الواسعة الانتشار إلا أن المقالة لم تلفت انتباه المتخصصين الآخرين في هذا الميدان. فهذه المقالة الرائعة لم تكتف بإبراز طيف الإشعاع الذخر كظاهرة من الموجات الشعاعية ذات جسم أسود، إنما حشدت الانتباه على عاكس مختبر «بيل» ذي الفتحة البوقية التي قطرها عشرون متراً، في كروفورد هيل، بصفته الأداة الأكثر ملاءمة لاكتشاف الإشعاع المذكور».

إذن، لم يول المتخصصون اهتماماً لمقالتنا. فلم يعرف أ. بينزياس وويلسون، وكذلك ديكي وزملاؤه، أي شيء قبل نشر مقالاتهم في العام 1965، وهذا ما ردده أ. بينزياس بأسف أثناء حديثه معي.

لكن ما قيل هنا لا يستنفذ كل سوء الفهم المرتبط باكتشاف الإشعاع الذخر.

فقد تبين أن هذا الإشعاع كان يمكن أن يكتشف منذ العام 1941 وكان الفلكي الكندي إي. ماك - كيلار واحداً من الذين بينوا وجود الجزيئات في الفراغ الذي بين النجوم. وكانت الوسيلة التي اتبعت في دراسة الغاز الذي بين النجوم هي الآتية. إذا ما مر ضوء نجم ما في طريقه إلينا، عبر سحابة من الغاز الذي بين النجوم، فإن ذرات هذا الغاز وجزيئاته تستدعي عملية امتصاص ضوء النجم على أطوال موجات محددة تحديداً دقيقاً. وهكذا تظهر في الطيف خطوط امتصاص الغاز الذي بين النجوم.

وترتبط حالة الخطوط في الطيف بماهية العنصر أو الجزيئ الذي يستدعي عملية الامتصاص، كما ترتبط كذلك بحالة الذرات أو الجزيئات.

وفي العام 1941 حلل ماك - كيلار خطوط الامتصاص التي أحدثتها في طيف النجم Σ الحامل الثعبان، جزيئات السيانوجين (مركب من الهيدروجين والآزوت)

الموجودة بين النجوم. وقد خلص ماك - كيلار إلى الخلاصة الآتية: إن هذه الخطوط (التي في منطقة الطيف المرئية بالعين المجردة) لا يمكن أن تظهر إلا لدى امتصاص جزيئات السيانوجين الدوارة للضوء. ضف إلى هذا أن دورانها يجب أن يثير إشعاعاً حرارته حوالي 2.3 درجة على مقياس كيلفن. وعندئذٍ لم يفكر ماك - كيلار أو أحد آخر سواه، بإمكانية أن يكون الإشعاع الذخر هو الذي يثير دوران الجزيئات. وحتى نظرية الكون الحار نفسها لم تكن قد أنشئت بعد!

وبعد اكتشاف الإشعاع الذخر مباشرة، نشرت في العام 1966 وحدها ثلاثة أبحاث: إ. شكلوفسكي، وج. فيلد، ور. تاديوش، وقد أظهر ثلاثتهم أن دوران جزيئات السيانوجين التي بين النجوم، الظاهر في طيف نجم في برج حامل الثعبان، هو ظاهرة يستدعيها الإشعاع الذخر.

وعلى هذا النحو يكون قد اكتشف لو بصورة غير مباشرة، إبداء الإشعاع الذخر: تأثيره على حالة دوران جزيئات السيانوجين بين النجوم. بيد أن القصة لم تنته بعد.

وها نحن نعود الآن إلى مشكلة الإمكانية التقنية للكشف عن الإشعاع الذخر. فيبرز أمامنا هنا سؤال: متى أتاحت التقنية فعل ذلك؟ يقول س. فاينبرغ: «من الصعب إعطاء إجابة دقيقة، لكن زملائي التجريبيين يقولون لي، إنه كان يمكن إجراء أعمال الرصد قبل العام 1965 بكثير، في أواسط الخمسينيات، وربما في أوساط الأربعينيات». فهل الأمر هكذا حقاً؟

في خريف العام 1983 اتصل بي هاتفياً شماونوف، أحد العاملين العلميين في معهد الفيزياء العامة، ولم تكن بيننا معرفة سابقة، وقال إنه يريد أن يناقش معي مسائل تتعلق باكتشاف الإشعاع الذخر. فالتقينا في اليوم نفسه، وروى لي شماونوف أنهم أجروا في أواسط الخمسينيات تحت إشراف الفلكيين الشعاعيين السوفيتيين الشهرين س. هايكين، ون. كايدانوفسكي، قياسات لموجات شعاعية واردة من الفضاء طولها 3.2 سم. وكانت تلك القياسات جرت باستخدام لاقط بوقي الشكل يشبه ذلك الذي استخدمه أ. بينزياس ور. ويلسون بعد سنوات كثيرة. وقد درس ت. شماونوف الأخطاء الممكنة بدقة متناهية. ومن الواضح أنه لم يكن يتوفر له في ذلك الوقت أجهزة استقبال

عالية الحساسية كالتي توفرت فيما بعد للفلكيين الشعاعيين الأمريكان. وقد نشرت نتائج قياسات ت. شماونوف في العام 1957 في أطروحة الدكتوراه التي ناقشها، وفي المجلة السوفيتية: «الطبيعة وتقنية التجربة». وكانت خلاصة تلك القياسات هي الآتية: «لقد تبين أن المقدار المطلق للحرارة المؤثرة للضوضاء الخلفية لنشاط إشعاعي.... تساوي 3 K ± 4°». وأبرز ت. شماونوف استقلالية شدة الإشعاع عن الاتجاه وعن الزمن. ومع أن أخطاءت. شماونوف كبيرة، وليس من الممكن الوثوق بالرقم 4K°، إلا أننا ندرك اليوم أن شماونوف كان قد قاس حينئذٍ الإشعاع الذخر تحديداً. وما يؤسف له أن شماونوف وكذلك المشرفين على عمله، وسواهم من المشتغلين في الشعاع الفلكي الذين كانوا على علم بنتائج قياساته، لم يكونوا على علم بأي شيء يتعلق بإمكانية وجود الإشعاع الذخر، ولم يولوا نتائج تلك القياسات الاهتمام الذي تستحق. وسرعان ما طواها النسيان. فعندما أجريت أنا ودوروشكيفيتشن حساباتنا في العامين 1963 و 1964، طفنا على كثير من المتخصصين السوفييت المشتغلين في الشعاعات الفلكية، بسؤال واحد: هل يعرف أحد عن نتائج أي قياسات لضوضاء خلفية نشاط إشعاعي على موجات سنتميترية أو على موجات أقصر؟ فلم يتذكر أحد قياسات شماونوف.

ومن المضحك في هذا السياق، أن شماونوف نفسه لم يول قياساته الأهمية التي تستحق، لا في الخمسينيات وحسب، وهو أمر يمكن أن يكون مفهوماً إنما حتى بعد أن أعلن عن اكتشاف الإشعاع الذخر في العام 1965 على أيدي بينزياس وويلسون. والحقيقة أن شماونوف كان يعمل حينئذٍ في ميدان مختلف تماماً. وبطريق تشبه المصادفة أعير الانتباه في أثناء مناقشات عرضية جرت في العام 1983، للقياسات القديمة، وقدم شماونوف تقريراً بهذا الصدد إلى مكتب الفيزياء العامة وعلم الفلك في أكاديمية العلوم السوفيتية. وقد حدث هذا بعد27عاماً على تاريخ إجراء القياسات، و 18 عاماً على إعلان نتائج بينزياس وويلسون.

ولم يكن هذا كل شيء. فعندما انتهى المؤلف من وضع هذا الكتاب، علم أنه كانت لليابانيين قياساتهم في أوائل الخمسينيات أيضاً، عندما ساد الزعم باكتشاف ضوضاء خلفية الإشعاع. ولكن هذه الأعمال مثلها مثل أعمال شماونوف لم تلفت الانتباه لسنين طويلة، ولم تكن عملياً معروفة لأحد.

هذه هي إذن سخرية القدر. ومع ذلك فإن هذه القصة كلّها تمثّل عبرة لمن يريد أن يعتبر. فرؤية أي ظاهرة، لا تعني اكتشافها، إنما ينبغي إدراك أهمية مأتمّ اكتشافه، وحسن شرحه وتفسيره. ومما لاشك فيه أن تقاطع جملة من الشروط يمكن أن يمكن أن يكون له دوره هنا، إضافة إلى لعبة الحظ. ولكن النجاح لا يأتي مصادفة أبداً. إنه يتطلب عملاً دؤوباً ومعارف كبيرة، وتصميماً على العمل نفسه وعلى الوصول بنتائجه إلى وعي الآخرين.

رحلة في الماضي البعيد

لم يظهر الإشعاع الذخر في أي مصادر كضوء النجوم، أو الموجات الشعاعية التي ولدت في المجرّات الشعاعية. لقد وجد الإشعاع الذخر مع لحظة تمدد الكون. وكان كامناً في مادة الكون الحارّة التي تمددت من السينغولياية.

وإذا ما حسبنا الكثافة الكلّية للطاقة الموجودة الآن في الإشعاع الذخر، فإنها سوف تكون أعلى بثلاثين مرة من كثافة طاقة إشعاع النجوم، والمجرات الشعاعية، وسوى ذلك من المصادر مأخوذة ككلّ. ويمكننا أن نحسب عدد فوتونات الإشعاع الذخر الموجودة في كلّ سنتيمتر مكعب من الكون. وقد ظهر أن تركّز هذه الفوتونات، هو 500 فوتون في كلّ سم^3.

ونذكّر هنا بأن متوسط كثافة المادة المعتادة في الكون، هو حوالي 10-30 غ/سم^3. وهذا يعني أننا لو نشرنا المادة كلّها بالتساوي في الفراغ، فإن المتر المكعب الواحد لن يحتوي إلاّ على ذرّة هيدروجين واحدة: هذا الأخير هو العنصر الأكثر شيوعاً في الكون. وفي الوقت نفسه فإن المتر المكعب الواحد يحتوى حوالى مليار فوتون من الإشعاع الذخر.

وعلى هذا النحو فإن كوانتات الموجات الكهرومغناطيسية، هذه الجسيمات الفريدة، منتشرة في الكون انتشاراً أكبر بكثير من انتشار المادة المعتادة. والفوتونات الذخر أكثر بمليارات المرات من ذرات البروتونات الثقيلة. إذا ما أخذنا بالحسبان إضافة

إلى الهيدروجين والعناصر الكيميائية الأخرى، التي لا تدخل في تركيب نواها البروتونات فقط، إنما النيرونات أيضاً، فإن هذا لا يغيّر عملياً من تقديرنا، لأن الهيدروجين، هو العنصر الرئيس في الطبيعة، إذن، 109 من الفوتونات الذخر لكلّ ذرّة ثقيلة.

ونحن نعرف الآن أنه في كل سنتيمتر مكعب من الفراغ الذي بين النجوم، حوالى 500 فوتون تطير بسرعة قصوى في الاتجاهات كلها. ولكل فوتون طاقته التي تتوافق مع تردده. وفي ظل حرارة 3° كيلفن، يمتلك أكثر الفوتونات طاقة قدرها 10^{-15} إرج لكلّ منها. وهذا يعني أنه في كلّ سنتيمتر مكعب طاقة من الإشعاع الذخر تساوي حاصل ضرب 10^{-15} إرج في 500، أي 5.10^{-13} إرج. وحسب قانون أنشتاين أن كلّ طاقة توافقها كتلة. وعليه فإن طاقة 5.10^{-13} إرج. وعلى هذا النحو فإن في كلّ سنتيمتر مكعب اليوم 5.10^{-34} غ من الإشعاع الذخر.

ونذكّر أن وجود المادّة المعتادة في كلّ سم^3 هو بالمتوسط 10^{-30} غ. إذن من حيث الكتلة فإن المادة أكبر من الإشعاع الذخر بألفي مرة. ولذلك، على الرّغم من أن عدد الفوتونات أكبر بكثير، إلاّ أن المادة المعتادة تتفوّق من حيث الكتلة العامة تفوّقاً كبيراً على الإشعاع الذخر. فكتلة هذا الأخير ضئيلة إلى درجة أنها غير ملحوظة.

وسوف نتتبع ما وقع في الماضي لهذه الجسيمات وتلك. ففي الماضي المنظور لم تتوالد هذه ولا تلك، ولم تندثر. ولكن من الضروري إجراء بعض التدقيقات هنا. ويخصّ أوّلها الفوتونات الذخر. فالكون المعاصر، هو عملياً شفّاف بالنسبة للإشعاع الذخر. ومن الواضح أن الأكثرية العظمى من الفوتونات الذخر في الكون المعاصر، لا تتفاعل مع المادّة، ولهذا السبب فهي لا تتغير عددياً. وفي الماضي البعيد، حينما كانت كثافة المادة عالية، كانت الحرارة عالية بدورها أيضاً. وكانت مادة الكون مؤينة أيضاً، وعدّت بلازما متجانسة تقريباً. وهي لم تكن حينئذٍ شفافة للإشعاع. وكانت الفوتونات الذخر تتفاعل بنشاط مع المادة. ولكن بقدر ما كانت الفوتونات تُمتصّ خلال فاصل زمني ما، في سمك المادة، بقدر ما كان يولد من هذه المادة الحارة عينها! لقد قام حينئذٍ توازن بين الإشعاع والمادة. ولذلك بقي التناسب عادلاً خلال العصر المعني: مليار من الفوتونات الذخر لكلّ بروتون واحد.

أمـاّ التـدقيق الثـاني، فهـو متعلّـق بالبروتونـات. ففـي المـاضـي البعيـد، في الومـضات الأولى بعـد بـدء التمـدد، كـان الكـون حـاراً إلى درجـة أن تـصادم الجـسيمات في حـرارة تفوق العـشرة آلاف مليـار درجـة، كـان ينـتج البروتونـات وجـسيماتها المـضادة: البروتونـات المضادة، وكان ينتج كذلك النيترونات والنيترونات المضادة. ونحـن سـوف نعـود إلى هـذا كله مرّة أخرى. ولكننا لن نلتفت الآن إلى الومضات الفريدة الأولى، ونكتفـي بـالقول، إن الفوتونات الذخر والجسيمات الثقيلة ليست متوالدة وليست مندثرة.

فلنتـذكر هـذا ونتجـه إلى الماضـي. ففـي الماضـي كانـت كثافـة هـذه الجـسيمات وتلك أكبر مما هي عليه الآن، ثم زادت هذه الكثافات لـدى الغـوص في أعمـاق الماضـي بعدد واحد من المـرات. وهـذا يعـني أن علاقتهـا بقيـت علـى مـا كانـت عليـه: برتـون واحـد لمليار فوتون.

ولكـن ثمـة فـرق كـبير بـين الفوتونـات والجـسيمات الثقيلـة. فكتلـة الجـسيمات الثقيلـة لا تـتغير. أمـا طاقـة الفوتونـات، فهـي تتنـاقص مـع تمـدد الكـون بـسبب التحـوّل الأحمر. وبما أن الطاقة تتغيّر، فهذا يعني أن كتلة كلّ فوتون تتغيّر أيضاً (ترتبط هـذه الكتلة ارتبـاط كـاملاً بطاقـة حركتـه). وكـان كـل فوتـون سـابقاً أكثـر نـشاطاً، أي أكثر ثقلاً.

ففي لحظة ما من الماضـي، كانـت الكتلـة الإجماليـة للمليـار فوتـون المثقـل، الـتي من نصيب بروتون واحد، تعادل كتلة هذا البروتون.

وفي هذه اللحظة من الماضي، كانـت كتلـة المـادة المعتـادة وكتلـة الإشـعاع الـذخر في كلّ سم3 تتعادلان. وقد حدث هذا عندما كانت كثافة المادة (وكثافة الإشعاع التي كانت تعادلها حينئذٍ)، 10^{-20} غ سم^3، وكانت حـرارة الإشـعاع والمـادة حينئـذٍ حـوالي سـتة آلاف درجة. ولم يكـن الإشـعاع الـذخر علـى شـكل موجـات شـعاعية، إنمـا كـان ضـوءاً مرئياً. وغنيّ عن البيان، إنه لم يكن ثمة في هذا الطور أجرام سماوية مستقلة، فهـذه لم تظهر إلا بعد زمن طويل.

وقبل ذلك كانت كتلة الإشعاع الذخر أكبر من كتلة المادة المعتادة.

تلكـم كانـت الحـال، وهـي حـال غـير عاديـة تمامـاً وقـد دعيـت الحقبـة بحقبـة البـلازما الفوتونية.

إن ما سنتحدث عنه الآن، قد يبدو مشاهد من فيلم خيالي. فنحن نقترب من لحظة بدء تمدد الكون حتى أجزاء الثانية: أقل من جزء من مائة ألف جزء، وسوف نلقى عمليات غير عادية إطلاقاً.

ففي المراحل المبكرة من التمدد، كان الضوء يشكل الحصة الأساس من كتلة المادة الفيزيائية في الكون، ونحن إذ نحلل هذه المرحلة، يمكننا أن ننسى لبعض الوقت الحصّة الضئيلة من خليط جسيمات المادة المعتادة الذى يخالط كوانتات الضوء، هذه المادة المعتادة التي تؤدي اليوم الدور الأساس، فمنها تتألف النجوم، والكواكب، وحتى نحن أنفسنا.

فلنتابع رحلتنا في الماضي صوب السينغولياية، فمثلاً، بعد ثانية واحدة من بدء تمدد الكون، كانت الحرارة عشرة مليارات درجة وفي وقت أقل كانت درجة الحرارة أعلى. وفي مثل هذا الحرارة المهولة كانت تحدث عمليات ولادة الجسيمات الأولية وفنائها. مثلاً، عمليات ولادة زوج من الالكترونات والبوزيترونات لدى اصطدام فوتونات نشطة، وفناء زوج من الالكترونات والبوزيترونات مع تحولها إلى كوانتات ضوء: إلى فوتونات.

ولإنتاج زوج من الالكترونات والبوزيترنات ينبغي إنفاق طاقة تعادل بالحد الأدنى الكتلة الكلية لهذه الجسيمات مضروبة بمربع سرعة الضوء (الصيغة $E=MC^2$). وعليه، لا يمكن أن تجري مثل هذه العمليات إلاّ في حرارة تزيد عن عشرة مليارات درجة، عندما يكون لكثير من كوانتات الضوء طاقات مماثلة. ويمكن أن يؤدي اصطدام الالكترونات والبوزيترونات إلى ولادة النيترينو والنيترينو المضاد، كما أن عملية التفاعل العكسي ممكنة أيضاً: اصطدام النيترينو والنيترينو المضاد، يؤدي إلى ولادة الزوج الكترون - بوزيترون. وعندما تكون درجة الحرارة أعلى، تغدو ممكنة ولادة جسيمات أثقل: بروتونات وبروتونات مضادة، ونيترونات ونيترونات مضادة، وميزونات و...

وفي درجات حرارة تجاوزت العشرة مليارات درجة، كان ثمة كميات متساوية من مختلف أنواع الجسيمات (وكميات مماثلة من جسيماتها المضادة)، بما في ذلك جسيمات ذات كتلة كبيرة. ومع التمدد أخذت درجات الحرارة تنخفض، ولم تعد طاقة

الجسيمات تكفي لإنتاج أزواج من الجسيمات والجسيمات المضادة الثقيلة، كالبروتون والبروتون المضاد على سبيل المثال. فهذه الجسيمات «ماتت»، ومع تدني درجات الحرارة أكثر «مات» مختلف أنواع الميزونات.

ووقع حدث شديد الأهمية في حوالي 0.3 ثانية بعد بدء عملية التمدد. ففي هذه اللحظة تحضر كوانتات الضوء، والالكترونات، والبوزيترونات، والنيترينو والنيترينو المضاد (لتبسيط الأمر نحن لا نتحدّث إلا عن نوع واحد من النيترينو، هو النيترينو الالكتروني). ففي درجات الحرارة العالية يتحوّل النيترينو والنيترينو المضاد إلى الكترونات، وبوزيترونات والعكس.

ولكن النيترينو جسيمات (= ذرات. -م) تتفاعل تفاعلاً ضعيفاً جداً مع الأجسام الأخرى، وحتى المادة الكثيفة تعد شفافة بالنسبة إليها. وهكذا في 0.3 من الثانية الأولى بعد بدء التمدد، صارت مادة الكون لكنّها، بما فيها الالكترونات والبوزيترونات شفافة للنيترينو، فقد كفّت هذه عن التفاعل مع المادة الأخرى. وفيما بعد لن يتغيرّ عددها، وتبقى موجودة حتى أيامنا هذه، إلاّ أن طاقتها ينبغي أن تنخفض بسبب التحوّل الأحمر الذى يحدث أثناء تمدد الكون تماماً كما يحصل لدرجة حرارة كوانتات الإشعاع الكهرومغناطيسي.

وعلى هذا النحو فإن الكون يجب أن يحتوي اليوم، إضافة إلى الإشعاع الكهرومغناطيسي الذخر، على النيترينو والنيترينو المضاد الذخر. وينبغي أن تساوي طاقة هذه الجسيمات اليوم طاقة كوانتات الإشعاع الكهرومغناطيسي الذخر تقريباً، كما تتطابق درجة احتشادها مع درجة احتشاد الكوانتات الذخر.

ويمثل الكشف تجريبياً عن النيترينو الذخر أهمية كبيرة جداً. فالكون بالنسبة للنيترينو شفّاف، ابتداء من أجزاء الثانية الأولى بعد بدء عملية التمدد. وإذا ما اكتشفنا النيترينو الذخر، فإننا سوف نتمكّن من أن نتسلل مباشرة إلى ماضي الكون البعيد، الذي تحمل عنه هذه الجسيمات معلومات منتظرة.

ولكن مع الأسف لا يزال الكشف عن نيترينو ذي. طاقة متدنية: كما ينبغي أن يكون النيترينو الذخر، مسألة غير محلولة عملياً.

ونذكّر في هذا السياق أننا نشهد اليوم ولادة علم الفلك النيثريني. إننا نقف على عتبة دراسة منتظمة لتيارات النيترينو التي تولد أثناء التفاعلات النووية التي تحدث على مقربة من الشمس، وتتيح هذه النيترينو أن نلقي نظرة مباشرة على مركز الشمس، لأن كتلة الشمس كلّها شفافة بالنسبة لها. ويتيح لنا «الفحص الإشعاعي» النيتريني للشمس، أن ندقق معارفنا عن تركيبها الداخلي. وعلى هذه الصورة تماما سوف يتأتى للفيزيائيين الفلكيين مستقبلا أن يجروا «فحصا إشعاعياً» نيترينياً لكوننا.

وهكذا رأينا ما الذي حدث في الكون للمادة والإشعاع في خلال الثانية الأولى. ومهما بدت إمكانية حساب العمليات التي جرت في الثانية الأولى التي تلت بدء تمدد الكون خيالية، إلاّ أن الفيزياء المعاصرة تتيح إجراء ذلك بيقين كامل.

الدقائق الخمس الأولى

تقول الأغنية:

خمس دقائق، خمس دقائق

لو تمعنت بدقة،

حتى في هذه الدقائق الخمس

يمكن أن تفعل الكثير...

لقد حدّدت الدقائق الخمس الأولى في حياة كوننا، خاصياته الأساسية. بما فيها تلك التي ظهرت بعد مليارات السنين في أيامنا هذه.

إن العمليات التي أعقبت الومضات الأولى التي درسناها قبل قليل، ثمّ العمليات التي وقعت خلال هذه الدقائق المليئة بالدراما وفعل القوى النووية المريعة، قد حدّدت السمات الجوهرية للتركيب الكيميائي لكوننا الراهن.

فبفضل هذه العمليات تتوفّر النجوم على احتياطي كاف من الطاقة النووية. ولذلك فإن ضوء النجوم هو بدوره نتيجة من نتائج عبث عناصر الكون في الدقائق الخمس الأولى التي أعقبت بدء التمدد.

فالنجوم والأجرام السماوية الأخرى، ظهرت من خليط صغير من المادة المعتادة، التي قلنا إننا سوف «ننساها» لبعض الوقت، عندما كنا نناقش في الفقرة السابقة مسألة الفوتونات وأزواج الجسيمات والجسيمات المضادة.

وها هو الأوان قد آن للعودة إلى خليط المادة المعتادة الصغير هذا، الذي كان موجوداً خلال أجزاء الثانية الأولى بعد بدء التمدد، في «المرجل الذي يغلي» بالنيترينو والنيترينو المضاد، والالكترونات والبوزيترونات والكوانتات الضوئية. فقد ظهر أن العمليات التي شاركت فيها المادة المعتادة كانت عمليات حساسة للغاية تجاه الشروط التي كانت سائدة في ثواني التمدد الأولى. فهذه العمليات، هي التي اشترطت التركيب الكيميائي للمادة التي تشكلت منها المجرات والنجوم فيما بعد، في زمن قريب إلى زمننا. لذلك فإن التركيب الكيميائي للمادة النجمية يعد كاشفاً شديد الحساسية للشروط الفيزيائية في بدء التمدد الكوسمولوجي.

لندرس الآن العمليات التي شاركت فيها المادة المعتادة. في أي حالة تقع؟

قبل كلّ شيء لا يمكن أن تكون هناك ذرات حيادية في ظل حرارة تفوق العشرة مليارات درجة، فالمادة كلّها تكون مؤينة بالكامل وتعدّ بلازما عالية الحرارة. عدّاك عن هذا أنه في مثل هكذا حرارة لا تستطيع النوى الذرية أن تعيش. فالنواة المركّبة سوف تنقسم فوراً بفعل نشاط الجسيمات النشطة المحيطة. ولذلك تغدو النيترونات والبروتونات، هي الجسيمات الثقيلة للمادة. فهذه الجسيمات تخضع لتأثير «المرجل الذي يغلي» بالالكترونات والبوزيترونات، والنيترينو، والنيترينو المضادة النشطة.

ويرغم التفاعل مع هذا الجسيمات، النيترونات والبروتونات على أن تتحّول واحدتهما إلى الأخرى مباشرة. وتحقق هذه التفاعلات حالة التوازن بين النيترونات والبروتونات. وحينما تكون الحرارة عالية بما يكفي، أي أعلى من مائة مليار درجة، فإن تركّز النيترونات والبروتونات سوف يكون متكافئاً تقريباً.

ومع تمدد الكون وانخفاض درجات الحرارة يتزايد عدد البروتونات ويتناقص عدد النيترونات. ويختلّ تعادل التركيز، لأن كتلة النيترون أكبر من كتلة البروتون، ويشكل البروتون أكثر منفعة بالنسبة لتوليد الطاقة، ومعنى هذا أن احتمال تشكل البروتون أكبر من احتمال تشكل النيترون. ولو تواصلت التفاعلات عشرات من الثواني بعد بدء التمدد لأصبحت كمية النيترونات قليلة جداً.

ولكن سرعة التفاعلات ترتبط ارتباطاً كبيراً بدرجة الحرارة. فمع هبوطها تتراجع سرعة هذه التفاعلات، ثمّ تتوقف عملياً بعد الثواني الأولى على بدء التمدد. ويتراجع الوجود النسبي للنيترونات بنسبة حوالي 15٪ عن الجسيمات الثقيلة الأخرى كلها.

وعندما تهبط الحرارة إلى مستوى المليار درجة، يغدو من الممكن أن تتشكل أكثر النوى المركّبة بساطة. فطاقة الكوانتات وسواها من الجسيمات لم تعد الآن تكفي لشطر النواة المركّبة. وتستولي البروتونات على كلّ النيترونات الموجودة، فتعطي الديتيريوم أولاً، ثم تؤدّي التفاعلات التي تحدث بعد ذلك بمشاركة الديتيريوم، إلى تشكّل نوى ذرة الهليوم. كما تتشكل أيضاً كمية قليلة من نظائر الهليوم - 3، والديتيريوم، والليتيوم.

أما النوى الأكثر تعقيداً فإنها عملياً لا تتشكل في هذه الشروط. ويكمن الأمر هنا في أن تشكّل مثل هذه العناصر بكميات ملحوظة، لا يمكن أن يحصل إلاّ نتيجة تصادم أزواج من النوى والجسيمات الموجودة أصلاً. وهذا يعني أن تشكّل نوى أكثر تعقيداً يمكن أن يبدأ لدى تصادم نوى الهليوم - 4 مع النيترونات، والبروتونات، أو مع نوى الهليوم - 4 نفسها. ولكن هذه الصدامات لا تفضي إلى تشكّل نوى مركّبة ذات كتلة ذرية نسبية 5 أو 8، لأنه لا وجود لمثل هذه النوى المستقرة!

وتفضي الأسباب التي أشرنا إليها، إلى أن تأليف SYNTHESIS- العناصر يقتصر في بادئ الأمر على العناصر الخفيفة فقط، ويتوقّف تقريباً بعد 300 ثانية من بدء تمدد الكون، حينما تهبط درجات الحرارة إلى ما دون المليار درجة، ولا تعود طاقة الجسيمات تكفي لحدوث تفاعلات نووية. وتشبه التفاعلات التي تفضي إلى تشكّل

الهليوم، تلك التي تحدث أثناء انفجار القنبلة الهيدروجينية. إن العناصر الأثقل من الهليوم، تتشكل في النجوم، في عصرنا هذا. فالمادة تبقى في النجوم زمناً يطول إلى درجة أن التفاعلات البطيئة إلى حدّ ما، يتسنى لها الوقت لكي تحدث. ويحصل تأليف العناصر الأثقل من الحديد في الانفجارات (في اشتعال النجوم الجديدة). فالغاز الذي يجتاز مرحلة التأليف *SYNTHESIS* النوكليوني في النجوم، يطرح بعد ذلك جزئياً إلى الفراغ المحيط تسرّبا بطيئا من سطح النجوم، كما يطرح في أثناء حدوث الانفجارات أيضاً. وتتشكل من هذا الغاز بعد ذلك نجوم الأجيال التالية والأجرام السماوية الأخرى.

لنعد الآن إلى تأليف العناصر الخفيفة في بداية التمدد الكوسمولوجي. فبما أن النيترونات استهلكت كلّها تقريباً لإنشاء ذرات الهليوم، فإنه يغدو من الصعب إحصاء كم من الهليوم يتشكل. فلكلّ نيترون يدخل في تركيب نواة الهليوم - 4 يشكل زوجاً مع البروتون، لذلك فإن قسط الهليوم يساوي من حيث الوزن تركيزاً مضاعفاً للنيترونات، أي 30٪.

إذن، مع قرب انتهاء الدقائق الخمس الأولى على بدء عملية التمدد، يكون تركيب المادة قد بات على الشكل الآتي: 30٪ من نوى ذرات الهليوم، و 70٪ من البروتونات، أي نوى ذرات الهيدروجين. ويبقى تركيب المادة هذا بعد ذلك ثابتاً لا يتغيّر حتى لحظة تشكّل المجرّات والنجوم، عندما تبدأ عمليات التأليف النوكليوني تحدث في داخل النجوم.

ولكن، هل تثبت أعمال الرصد صحة الخلاصة التي خلصنا إليها هنا بصدد التركيب الكيميائي للمادة قبل تشكّل النجوم؟

كم من الهليوم في الطبيعة

إن الهليوم قليل جداً على الأرض. ولكن هذا الأمر مرتبط بالخاصيات التي يتّميز بها هذا العنصر، وبالشروط التي تكونت فيها الأرض وارتقت. ولأن الهليوم غاز طيار

وكامل، فقد غادر مادة الأرض. ولكن علماء الفلك يرونه في كلّ مكان، على الرغم من صعوبة رصده بالوسائل العادية للتحليل الطيفي.

فهم يكتشفونه في النجوم الحارة، وفي السدم الغازية الكبيرة التي تحيط بالنجوم الفتية الحارة، وفي الأغلفة الخارجية للشمس، وفي الأشعة الكونية: في تيارات الجسيمات ذات الطاقة العالية التي ترد إلينا على الأرض من الفضاء. وتبيّن أن الهليوم موجود في الأجسام الكونية النائية جدا أيضا: في الكوازارات.

وما له دلالة فريدة في هذا السياق، هو أنهم أينما اكتشفوه تكون كتلته حوالي 30٪، بينما يشكّل 70% هدروجين. ولا يشكل خليط العناصر الأخرى سوى نسبة ضئيلة، كما يتغيّر قسطها من جسم لآخر، أمّا قسط الهليوم فإنه ثابت ثباتاً يثير الاستغراب.

ونذكّر في هذا السياق بأن نظرية الكون الحارّ كانت قد تكهنت بوجود هذه الثلاثين بالمئة من الهليوم تحديداً في المادة الأولى. وإذا كان قسم كبير من الهليوم قد تركّب خلال الدقائق الأولى من تمدد الكون، بينما تركّبت العناصر الأخرى الأثقل، في النجوم، بعد ذلك بزمن طويل، فإن الأمر ينبغي أن يكون هكذا بالضبط؛ فالهليوم يشكل حوالي 30٪ في كلّ مكان، أما العناصر الأخرى فإن وجودها متباين تبعاً للشروط المحلية لتألّفها في النجوم، وطرح الغاز الذي يلي ذلك من هذا الأخير إلى الفراغ الكوني.

وفي أثناء حدوث التفاعلات النووية في النجوم، يتركّب الهليوم بدوره أيضاً. لكن قسطه في هذه الحال قليل بالمقارنة مع قسط الهليوم الذي يتشكل في بداية تمدد الكون.

ولكن ألا يجوز لنا مع ذلك أن نفترض بأن نسبة 30٪ من الهليوم التي ترصد قد تشكّلت كلّها في النجوم أيضاً؟

قطعاً لا. فهذا مستحيل. فقبل كلّ شيء تنفصل لدى تشكّل الهليوم في النجوم طاقة كبيرة ترغم النجوم على أن تضيء بشدّة. ولو أن مثل هذه الكمية من الهليوم كانت قد تشكلت سابقاً في النجوم، لكان ينبغي على الضوء المشعّ بحرارة عالية أن يظهر في الكون، وهو ما لم يحصل في واقع الأمر.

ويمكن أن نضيف كذلك أن رصد أكثر النجوم قدماً، وهي النجوم التي من الواضح أنها تشكلت من المادة الأولى، يظهر أن نسبة الهليوم فيها 30٪ أيضاً. ومعنى هذا، أن هليوم الكون كلّه كان قد تركّب عملياً لحظة بدء تمدد العالم مباشرة.

ويعطي التحليل الكيميائي لمادة الكون الآن تأكيداً مباشراً على صحة فهمنا للعمليات التي جرت في الثواني والدقائق الأولى التي أعقبت بدء تمدد المادّة كلّها.

ثلاث مائة ألف عام عصر البلازما الفوتونية، وعصرنا نحن

لقد حدث في المائة ثانية الأولى من التمدد نوع آخر من العمليات. فبعد عشر ثوان على الحالة السينغولیارية، هبطت الحرارة في الكون إلى عدة مليارات من الدرجات. وقبل هذا كان يوجد في الكون كثير من الالكترونات والبوزيترونات التي كانت قد ولدت أثناء التصادم النشط بين الجسيمات. أمّا الآن فلم تعد طاقة التصادم تكفي لإنتاجها. فتصادم الالكترونات والبوزيترونات بعضها مع بعض بات يؤدي إلى فنائها، فتتحوّل إلى فوتونات. وعندئذٍ تنتقل كلّ الطاقة التي كانت موجودة قبلئذٍ في الالكترونات والبوزيترونات، إلى فوتونات الإشعاع الذخر.

وتمضي دقائق، والحرارة تواصل هبوطها مع عملية التمدد. فتنتهي عملية فناء الالكترونات والبوزيترونات، وتخمد التفاعلات النووية في المادة.

لقد كانت تلك، هي العمليات النشطة الأخيرة التي جرت في الكون الحارّ المبكر. بعدها صار الكون إلى برودة شديدة (الحرارة أقل من مليار درجة!)، وغدت العمليات العاصفة مستحيلة.

لقد توقف عرض الألعاب النارية العنيفة، الذي أداه الكون الفتي وحل عصر طويل من الاستقرار استمرّ حوالي 300 ألف عام.

ونـذكرّ بـأن البلازمـا المتمـددة كانـت في هـذا العـصر حـارة جـداً ومؤينـة بالكامل. ولم تكن شفّافة بالنسبة للإشعاع الذخر الذي تفوق كتلته البلازما غير الشفافة. وكـان ثمـة في هـذا الخليط مـن البلازمـا والـضوء تقلبـات ليـست كـبيرة يمكـن تـسميتها «بالـصوت الفوتـوني» ، لأن القّوة المرنـة الـتي تـستدعيها ، هـي ضـغط الضوء.

هـذا هـو كـلّ مـا كـان ممتعـاً في ذلـك الـزمن «الهـادئ». واسـتمرت الحـال علـى ما هـي عليه إلى أن هبطت الحرارة إلى ما يقارب الأربعـة آلاف درجـة وقـد كـانـت هـذه حرارة متدنية إلى درجة كـافية ، فـأخذت البـلازما المؤينة تتحـّول إلى غـاز محايـد. وبـدا كـأن هـذا الحـدث ليس على درجة من الأهمية ، بيد أنه كان لحظة تحوّل مفصلية في الكون.

فقبـل تلـك اللحظـة لم يكـن الغـاز المـؤّين شـفافاً أبـداً بالنـسبة للإشـعاع الـذخر. ولكن بعـد أن تحـّول الغـاز (وهـذا في الأسـاس هيـدروجين) إلى غـاز حيـادي، بـات شـفافاً تمامـاً بالنسبة للقسم الأعظم من فوتونات الإشعاع الـذخر. منـذ تلـك اللحظـة انفـصل هـذا الأخير عن المادة. وبات الكون كلّه شفافاً بالنسبة له. لقد انتشرت الفوتونـات عبر المـادة التي غـدت متخلخلـة أكـثر فـأكثر بسبب التمـدد ، وبـاردة أكـثر فـأكثر، وعمليـاً غـير قابلة للامتصاص.

ولكن ما أهمية هذا كلّه؟ يكمن جوهر الأمر هنا في أنه الآن فقط بات يمكـن أن تتشكل الأجرام السماوية من هذا الغاز الحيادي المبترد.

ثمّ حلّ بعد عصر البلازما الفوتونيـة ، عصر تشكل بنيـة الكـون. فنحن يمكننـا أن نعّد عملية تشكّل بعض التجمعات المهولة الحجم في المـادة البدئيـة المتجانسة تقريبـاً ، وهـي التجمعات التي نشأت منها فيما بعـد المجـرات وحشودها ، يمكننـا أن نعـدها بدايـة العصر الحديث في تـاريخ الكـون. وقـد جـرى تشكّل هـذه التجمعـات تحـت ضـغط قـوى الجاذبية ، ودعيت العملية كلّها «بالخور التجاذبي».

وكان اسحق نيوتن قد نوّه في حينه إلى أن المادة المتجانسة يجب أن تتجمع بتأثير تجاذب الجسيمات، في كومة واحـدة أو كومـات منفـصلة. فكتـب يقـول: «لـو كانـت مادة شمسنا والكواكب كلّها ، ومـادة الكـون كلّها مشتتة بالتساوي علـى امتداد

السماء كلّها، ولو كان لكلّ جسم جاذبية فطرية نحو الباقي كلّه، ولو كان الفراغ الذي تشتت فيه المادة كله متناهياً، لنزعت كلّ المادة الموجودة على الجانب الخارجي لهذا الفراغ، بفعل جاذبيتها، نحو كلّ المادة الموجودة في داخل الفراغ، ولسقطت نتيجة لذلك في قلب الفراغ المليء وشكلت هناك كتلة كروية واحدة كبيرة. ولكن لو كانت المادة مشتتة في الفراغ الكوني اللا متناهي بالتساوي، لما قدر لها أن تجتمع يوما في كتلة واحدة، بل كان سيتجمّع قسم منها في كتلة واحدة، وقسم آخر في كتلة ثانية، وهكذا دواليك بحيث كان سيتشكّل عدد لا متناه من الكتل الكبيرة المبعثرة واحدتها بعيداً عن الأخرى على مسافات كبيرة في الفراغ الكوني اللا متناهي. وعلى هذا النحو كان يمكن أن تتشكل الشمس والنجوم الثابتة». إذن، تنزع المادة المتجانسة، تحت تأثير الجاذبية، إلى التبعثر في تجمعات مستقلة. وكان هذا «النزوع» موجوداً منذ أن بدأت مادة الكون المتجانسة تتمدد. بيد أنها لسبب ما لم تتبعثر! وفي واقع الأمر، لو أن مثل هذه العملية حدثت لحظة بدء تمدد الكون، لما تشكل أي شيء مما يشبه المجرات والنجوم. فالمادة كانت كثيفة إلى درجة سريعة، وعليه فإن تجمعاتها كان ينبغي أن تكون أكثر كثافة ونحن لا نرى مثل هذا في الكون، وعلى أي حال لا نراه بكميات كبيرة. فللمجرات متوسط كثافة متواضع. وهذا يعني أنها ظهرت في زمن قريب نسبياً إلى زمننا، عندما باتت مادة الكون المتمددة متخلخلة إلى درجة كافية. وعندئذ فقط تجلى الخور التجاذبي. أما قبل ذلك فيبدو أن شيئاً ما قد أعاق هذه الآلية عن العمل. ولم يكن هذا «الشيء ما» سوى ضغط الإشعاع الذخر.

فضغط الفوتونات الذخر عظيم القوّة. وإذا ما ظهرت في مكان ما مصادفة خثرة بلازما مع فوتونات الإشعاع الذخر، فإن قوى الضغط تعمل بالطبع على تقوية هذه الخثرة، وهذا ما يتوافق تماماً مع وصف نيوتن. ولكن هذه القوى لاقت مقاومة جبارة من جانب قوى ضغط الفوتونات التي لم تكن البلازما شفافة بالنسبة لها. فبعثرت القوتان معاً الخثرة، الأمر الذي أعاق ظهور الخور التجاذبي.

ولكن بعد أن تحوّلت البلازما الحارّة إلى غاز محايد، بات من الممكن أن يعلن الخور التجاذبي عن نفسه فالغاز الآن شفاف بالنسبة للإشعاع الذخر. ولم تعد

كومة الغاز التي كانت قد ظهرت أثناء الانكماش الذي سببته قوى الضغط، تواجه مقاومة ضغط الفوتونات، فقد باتت هذه تخرج بسهولة من الخثرة الناشئة. وبقيت قوى ضغط الغاز وحدها التي يمكنها أن تبدي مقاومة. ولكن هذا الضغط أكثر ضعفاً بكثير من الضغط الفوتوني، وإذا كانت الخثرة كبيرة الحجم بما يكفي، فإن قوى ضغط الغاز تكون عاجزة عن التغلب على الجاذبية. يتجلّى الخور التجاذبي.

وقبل أن نطلع على كيفية تجلّى الخور التجاذبي بالتحديد، ينبغي أن نلتفت أولاً إلى لغز آخر وقف عقبة على طريق الباحثين.