الفصل الرابع

الكون النيترينى

النيترينو

النيترينو، هو جسم (= ذرة -م) حمل كثيراً من المفاجآت للفيزيائيين، ولا يزال هؤلاء ينتظرون منه المزيد. لكن ما حصل في العام 1980 فاجأ جميعهم ولم يكن يتوقعه أحد... وبدت اللوحة التي ارتسمت أمام ذهن العلماء، أكثر من خيالية. وسوف نحاول أن نعرض كلّ شيء هنا بالترتيب.

لقد كانت المفاجأة الأولى في ابتكار الفيزيائي السويسري ف. باولي لهذا الجسيم في العام 1930. وكلمة «ابتكار» هذه بالذات، هي الكلمة التي يستخدمها الأكاديمي ب. بونتيكورفو أحد مؤسسي فيزياء النيترينو المعاصرة، في وصفه للتكهن النظري بوجود النيترينو.

فقد كتب هذا يقول متذكراً تلك الفترة: «من الصعب أن تجد حالة توافق فيها كلمة «حدس» طابع النجاح العلمي، كما هي الحال في تكهّن ف. باولي بوجود النيترينو.

أولاً، منذ خمسين عاماً لم يكن معروفاً سوى جسيمين «أوليين» هما الالكترون والبروتون، وكانت فكرة ضرورة إدخال جسيم جديد لفهم الطبيعة فهما أفضل، فكرة ثورية بحد ذاتها...

ثانياً، كان يجب أن يمتلك الجسيم المفترض: النيترينو، خاصيات فريدة شاذة كلياً، وخاصة إمكانية التسرّب».

لقد «ابتكر» باولي هذا الجسيم المدهش لكي يفسر تواري قسم من الطاقة ينفصل أثناء عملية الانحلال الإشعاعي للنوى مع طرح الالكترونات. ويطلق على هذا الانحلال اسم: بيتا - انحلال.

ويكمن الأمر هنا في أنهم حينما يحددون طاقة نتاج بيتا - انحلال عناصر النشاط الإشعاعي: التريتيريوم إلى هليوم مثلاً، فإن القياسات تظهر أن الطاقة الكلية للجسيمات التي تسجلها المعدات بعد الانحلال، مساوية في مختلف الحالات لانحلال التريتيريوم. فنجد أنفسنا أمام خرق واضح لقانون حفظ الطاقة، فثمة قسم من الطاقة يتوارى في مكان ما دائماً.

وحتى كبار أعلام الفيزياء مثل ن. بورستالي الذي قال، الحقيقة إنه في مثل هذه العمليات، فإن الطاقة لا تبقى. وهنا حقق بأولي «ابتكاره». فقد افترض أنه ليس هناك أيّ خرق لقانون حفظ الطاقة، إنما الأمر يتعلق بأنه في خلال عملية الانحلال تولد إضافة إلى الجسيمات التي تسجلها الأجهزة، جسيمات أخرى من نوع آخر. وهذه الجسيمات الافتراضية تتفاعل تفاعلاً ضعيفاً جداً مع المادة المعتادة ولذلك فهي تطير من المخبر من غير عائق قبل أن تسجلها الأجهزة الفيزيائية. وإذ تطير هذه الجسيمات، تحمل معها الناقص من الطاقة الذي يظن أنه يندثر. وقد أطلق على هذه الجسيمات الخفية اسم: نيترينو.

وقد مضى منذ ذلك الوقت أكثر من نصف قرن شغل النيترينو الفيزيائيين خلالها مرات كثيرة. فقد ظهر مثلاً أن تفاعل النيترينو ليس ضعيفاً مع المادة وحسب، كما افترض باولي بادئ ذي بدء، إنما تفاعله معها ضعيف إلى درجة خيالية. فهو يعبر بحرية تامة عبر الأرض، وعبر الشمس، والنجوم، وعبر أي جسم في الكون كأنه يعبر الفراغ، أو كما يعبر الضوء زجاج النافذة.

ولهذا على وجه التحديد يصعب كثيراً رصد وجود هذه الجسيمات. ولم يكشف عن وجودها بشكل مباشر إلاّ في العام 1956 بالتحولات النووية التي أنتجتها.

ثمّ أظهرت الدراسات المتواصلة أن النيترينو (مع جسيمه المضاد - النيترينو المضاد)، ثلاثة أنواع كحدّ أدنى: النوع الالكتروني، والنوع الميووني، ونوع التاو - نيترينو. وكلّ نوع من هذه الأنواع يشارك فقط في عمليات معينة خاصة به.

ونحن لن نسترسل هنا في تعداد خاصيات النيترينو المدهشة الأخرى. نشير فقط إلى أن غرابة خاصياته وفرادتها مبهمة إلى درجة أن الفيزيائيين رفعوا أيديهم عاجزين عن إدراك كنه الأسباب العميقة لهذه الفرادة، وآمنوا إيماناً شبه صوفي (بمعنى أدق، أوحى لهم حدسهم العلمي بذلك)، بأن مثل هذا الجسيم الغريب يجب أن يؤدي دوراً خاصاً في الكون. وهاكم ما قاله الفيزيائيون في أواسط الستينيات:

د. ويلر، الرئيس الأسبق للجمعية الفيزيائية الأمريكية: «ليس هناك اليوم أي تفسير لضعف التفاعلات النيترينية الشديد، مقارنة مع التفاعلات الكهرومغناطيسية، ولماذا هو على هذه القوّة مقارنة بالتفاعلات التجاذبية».

وما يثير الفضول إن ويلر لم يبرز في كتابه سوى هذا التعبير كفصل مستقلّ. وقد حمل كتابه هذا عنواناً هو «النيترينو، والجاذبية، والهندسة». وللمقارنة فقط ننّوه إلى أن هذا الكتاب تضّمن في فصله الأول أكثر من مائة صفحة من الصيغ الشديدة التعقيد.

أما الأكاديمي م. ماركوف الذي قدّم مساهمة كبيرة في تطوير فيزياء النيترينو، فقد كتب يقول: «من الصعب على الفيزيائي المعاصر أن يخمّن، أيّ مكانة فعلية سوف يشغلها النيترينو في فيزياء المستقبل. ولكن خاصيات هذا الجسم أساسية وفريدة إلى حدّ يجعلك تفكر بشكل طبيعي بأن الطبيعة خلقت النيترينو "لأغراض" ما عميقة ليست واضحة لنا دائماً حتى الآن».

وسوف نرى بعد قليل ما هي هذه «الأغراض».

إن الاكتشافات التي تحققت مؤخراً، ترغمنا على أن نولي مزيداً من الاهتمام للنيترينو، ونعيد تقويمنا من جديد للماهيات العظمى الثلاث: الجاذبية، والنيترينو، والكون.

وإذا كانت الجاذبية هي القوة الأساسية التي توجه حركة المادة في الكون، فإن النيترينو هو حسب آخر المعطيات، الجسيم الرئيس في الكون. ومن الضروري التفكير فيه بالذات قبل كلّ شيء آخر، حينما نحاول أن نفهم ماهية الكون.

خاصيات الكون

لا بدّ أن القارئ تعرّف مما سبق عرضه هنا إلى بعض أهمّ خاصيات الكون المحيط بنا، التي أقام العلم عليها الدليل القاطع. وها نحن نسوق هنا مرة أخرى بعض هذه الحقائق القاطعة الضرورية لمتابعة نقاشنا.

فنتذكّر في المقام الأول أن تمدد الكون بدأ من حالة الكثافة الخارقة وأن المادة كانت زمنئذٍ شديدة الحرارة.

ثمّ ثبت على وجه اليقين بعد ذلك، أنه ليس هناك في نطاق مليارات السنين الضوئية تمايزاً ملحوظاً في توزّع كثافة المادة في الفراغ الكوني، وليس هناك حشود خارقة من المجرات. وهذا يعني أنه ليس ثمّة في هذه النطاقات الرحبة وحدات بنيوية كونية منفردة. وقد ثبتت هذه الحقيقة على وجه اليقين لدى مراقبة الإشعاع الذخر، فلو كان هناك تمايز بحدود المليار سنة ضوئية أو أكثر، لتوارد إلينا الإشعاع الكهرومغناطيسي الذخر من مختلف اتجاهات السماء، بدرجات مختلفة من الشدّة. ويكمن الأمر هنا في أن الكثافة العالية تؤدي إلى حقل جاذبية عالي الشدّة. وتخرج فوتونات الإشعاع الذخر من حقل الجاذبية هذا، فتستهلك طاقة إضافية، أي أنها «تحمّر»، وهذا يعني أن للإشعاع من هذه الاتجاهات شدّة أقل بعض الشيء. ولكن هذا الاختلاف في شدّة الإشعاع الذخر غير ملحوظ، بالتالي فإن مدّرج بنية الكون لا يمتد في اللانهاية. ومعنى ذلك أن الكون متجانس في نطاقات كبيرة جداً، بدءاً من قطاعات تبلغ أبعادها مئات ملايين السنين الضوئية.

ونذكّر أيضاً بأن أعمال الرصد أظهرت السمات التي تتميّز بها أكبر وحدات الكون البنيوية: الحشود الخارقة للمجرّات. فقد تبّين أن المجرّات وحشودها تتجمّع في مثل تلك التشكيلات في طبقات دقيقة تشكل جدران خلايا داخلها عملياً خال. ويمكن القول، إن توزّع المجرّات في الكون يذكّر بخلايا النحل. وفي أضلاع «الخلايا» تكون كثافة المجرّات عالية جداً.

إذن ثمة حقائق مهمة في بنية الكون وارتقائه، باتت معروفة على وجه اليقين: تمدد الكون، حالته البدئية الحارة، وبنيته الحالية التي تشبه بنية الخلية.

مسائل تنتظر حلاً

إن أوّل مسألة ينبغي التنويه إليها بين هذه المسائل، هي المسألة المتعلقة بآليات نشوء بنى الكون. فكيف، ومتى، ولماذا ظهرت بنية الكون الحالية؟ ولماذا اتخذت كبريات وحدات الكون البنيوية (حشود المجرّات الكبيرة، والخارقة)، هذه النطاقات تحديداً وليس نطاقات أخرى، وهذا الشكل وليس شكلاً آخر؟ لقد حاول الفيزيائيون

الفلكيون النظريون الإجابة على هذه الأسئلة بالتعاون مع المتخصصين في ميدان الأرصاد الفلكية، ولكننا لا نستطيع حتى الآن أن نقول، إن الأطوار الأساسية لعملية تشكّل المجرّات وحشودها، قد باتت واضحة.

ويكمن كنه المسألة هنا في أن شيئاً ما شديد الأهمية، لا يزال مجهولاً. وكان الاشتباه في أن معارفنا عن الكون تعاني من نقص ما جوهري، قد ظهر منذ زمن طويل نسبياً، حينما ظهرت في الفيزياء الفلكية مسألة الكتلة الدفينة التي تحدّثنا عنها في فقرة سابقة.

ونذكّر بأن هذه المسألة كانت قد صيغت بدقة في أوائل السبعينيات (القرن العشرون)، وهي تقوم في الآتي: تحدث حركة المجرّات في داخل حشودها بشكل يجعلنا نفترض وجود كتلة ما غير مرئية في الفراغ الذي بين المجرّات. وتؤثر هذه بجاذبيها على الأجسام المتحرّكة، لكنها لا تعبّر عن وجودها في أيّ ميدان آخر. وربما تحيط مثل هذه الكتلة غير المرئية، بالمجرّات الكبرى أيضاً، وهو ما يمكن الحكم به من خلال حركة المجرّات القزمة والأجسام الأخرى حولها. وقد دعيت هذه الكتلة غير المرئية بالكتلة التي يصعب رصدها، الكتلة الدفينة التي لا نعرف عن طبيعتها عملياً أيّ شيء. وقد أظهرت المشاهدات الرصدية أن الكتلة الدفينة في مناطق حشود المجرّات، يجب أن تكون أكبر بعشرين مرّة من الكتلة المرئية المحتشدة في المجرّات نفسها. وإذا كانت كتلة المجرّات كلّها تشكل في احتشادها النموذجي 3.10^{13} كتلة شمسية، فإن كتلة المادة غير المرئية سوف تشكل حوالي 10^{15} كتلة شمسية. والحقيقة أن بعض المتخصصين رأى أن أعمال الرصد التي تظهر فيها جاذبية الكتلة الدفينة، لا تتمتع بالدرجة الكافية من المصداقية، وكان حتى وقت قريب الجدال حول هذه المسألة يخبو أحياناً ويشتدّ أحياناً أخرى.

النيترينو في الكون

علاوة على ما قلناه سابقاً عن النيترينو، نضيف الآتي: حتى وقت قريب كان من المعترف به على وجه العموم، أن النيترينو ليس له كتلة سكون، وأنه مثله مثل الفوتون يتحرّك دوماً بسرعة الضوء.

ومنذ زمن ودراسة العمليات التي يشارك فيها النيترينو جارية، ويمكن أن يكون لهذه العمليات دور مهمّ في علم الفيزياء الفلكية.

فقد ثبت على وجه الخصوص أن النيترينو موجود بكثرة في رحاب الكون، مثله في هذا تقريباً مثل الكوانتات الكهرومغناطيسية الذخر: الفوتونات الذخر. ويكمن الأمر هنا، كما رأينا سابقاً، في أن النيترينو كالفوتونات، يجب أن يبقى في الكون منذ بداية عصر التمدد الذي كانت فيه المادة الحارة الكثيفة ذات حرارة عالية جداً، وغير شفافة لا للضوء فقط إنما للنيترينو أيضاً. فعندئذٍ جرت تفاعلات سريعة متبادلة بين النيترينو، والالكترونات، والكوانتات الكهرومغناطيسية وسوى ذلك من الجسيمات الأولية الأخرى. ويمكن حساب هذه العمليات على وجه اليقين وفق طرائق الفيزياء المعاصرة، وتظهر نتائج الحسابات أنه بعد العشرات الأولى من الثواني التي أعقبت بدء تمدد الكون، كانت الفوتونات في وحدة الحجم أكثر بثلاث مرات تقريباً من النيترينو (مع النيترينو المضاد).

وقد بقيت هذه بين الفوتونات الذخر والنيترينو ثابتة عملياً، خلال الارتقاء اللاحق للكون، وصولاً حتى أيامنا هذه. ونحن لا نستطيع اليوم أن نسّجل النيترينو الذخر بأي وسائل مباشرة كانت، لأن طاقته ضئيلة جداً: في كتلة سكونه الصغير، تشكل طاقته حوالي 5.10^{-4} فولت كهربائي. بيد أنه يمكن للفيزيائيين الفلكيين إن يتكهّنوا، كم ينبغي أن يكون عدده. وقد أشرنا، سابقاً إلى أن هذا العدد يجب أن يكون في كلّ سم3 حوالي 500 فوتون ذخر. أما عدد النيترينو الذخر فينبغي أن يكون أقل بثلاث مرّات، أي حوالي 150 جسيم في سم3.

ونذكّر كذلك بأن لكلّ فوتون ذخر طاقة وكتلة مطابقة 10^{-36}غ، وعلى هذا النحو تكون كثافة كتلة الإشعاع الكهرومغناطيسي الذخر، حوالي 5.10^{-34}غ/سم^3. وهذا أقل بألفي مرّة تقريباً من متوسط كثافة المادة المعتادة في الكون.

نستخلص مما قيل هنا، أن كثافة كتلة الإشعاع الكهرومغناطيسي الذخر ضئيلة إلى درجة أن إهمالها ممكن. ويمكن أن يقال الشيء عينه عن النيترينو أيضاً: متوسط كثافة كتلته (من البدهي أننا لا نقصد هنا إلى كتلة السكون، إنما إلى الكتلة التي تحددها طاقة الجسم)، أقل من كثافة الإشعاع الكهرومغناطيسي، فهي تشكل حوالي

$1,5.10^{-34}$غ/سم^3. وعلى هذا النحو يمكن إهمال الدور الذي يؤدّيه النيترينو الذخر في الكون الآن، فكتلته الكليلة ضئيلة، ولا يتفاعل مع مادة الكون الأخرى.

وقد ساد هذا الرأي عن دور النيترينو في الكون الراهن، لدى أكثر المتخصصين، في أقل تقدير حتى ربيع العام 1980.

التجربة النيترينية

في ربيع العام 1980 نشرت مجموعة متخصصين من معهد الفيزياء النظرية والتجريبية التابع لأكاديمية العلوم السوفيتية، كان يقود عملها ف. ليوبيموف، وي، ترتياكوف، نتائج التجارب التي أجرتها على مدى سنين، وأشارت فيها إلى اختلاف كتلة سكون النيترينو الالكتروني عن الصفر (نذكّر القارئ بأننا إيجازاً لا نتحّدث إلاّ عن نوع واحد من النيترينو، هو النيترينو الالكتروني، بينما هناك نوعان آخران: الميونى، والتاو - نيترينو). وقد شّكل المدلول المحتمل لكتلة سكون النيترينو الالكتروني، حسب تلك التجارب، حوالي 6.10^{-3}غ، أو بوحدات أخرى 35 *فولتاً كهربياً*. ويعني هذا على وجه الخصوص، أن النيترينو الالكتروني ليس ملزماً كما كان يعتقد من قبل، بأن يتحّرك بسرعة الضوء، بل يمكنه أن يتحّرك بأيّ سرعة كانت، أقل من سرعة الضوء، كما يمكنه أن يكون في حالة سكون أيضاً.

ولا بدّ من التنويه في هذا السياق إلى الصعوبة الفائقة لتجارب تحديد كتلة سكون النيترينو، وإلى حقيقة أن الذين أجروا التجارب أنفسهم لا يرون أن كتلة النيترينو قد تحددت نهائياً، ولذلك يجب التحقق من مقدارها أيضاً وأيضاً. ولكن إذا ما تأكدت صحة النتيجة التي تمّ الحصول عليها، فإن تبعاتها سوف تكون فائقة الجدية، خاصة بالنسبة لعلم الفلك. وعلى الأرجح، أنه لهذا السبب لم ينتظر العلماء النظريون النتائج النهائية للتحقق من مقدار كتلة النيترينو، وشرعوا يدرسون بهمّة ونشاط، ما الذي ينبغي تغييره في تصوّراتنا عن الكون بعد أن تؤخذ كتلة سكون النيترينو بالحسبان. ونشير في السياق إلى ورود أنباء عن تجارب أخرى تتحدّث عن

اختلاف كتلة سكون النيترينو عن الصفر، ولا ينسحب هذا على النيترينو الالكتروني، إنما على نوعيه الآخرين أيضاً.

وتجدر الإشارة إلى أن التبعات المحتملة التي تترتب عن فرضية وجود كتلة سكون للنيترينو، كانت فد نوقشت قبل وقت طويل من التجارب التي نناقشها. فمنذ العام 1966، درس الفيزيائيان السوفياتيان س. غير شتين، ويا، زيلدوفيتش، مسألة كيف يمكن أن تؤثرّ كتلة سكون النيترينو فيما إذا وجدت وكانت ذات أهمية، على تمدد الكون كلّه. كما درس الفيزيائيان المجريان غ ماركس وإو. شالاي التبعات الكوسمولوجية المحتملة لفرضية كتلة سكون النيترينو التي لا تساوي الصفر.

بيد أن هذا كلّه لم يكن سوى تخمينات أولية، وتحليل لاحتمالات مختلفة. ولكنّ الوضع تبدل تبدّلاً جوهرياً بعد التجربة المباشرة التي أجراها الفيزيائيون السوفييت.

أمّا العلماء النظريون الذين تسلّحوا بإرشادات التجريبيين، فقد هبّوا لشن هجوم جديد على المعضلة.

الكون النيتريني

حسب المعطيات التي حصل عليها معهد الفيزياء النظرية التجريبية السوفييتي، أن النيترينو أخفّ بعشرين ألف مرّة من الإلكترون، وبأربعين مليون مرة من البروتون. ولكن لماذا يرى العلماء النظريون أن هذا الجسيم الخفيف إلى هذه الدرجة، والذي لا يتفاعل مع أيّ شيء آخر، يجب أن يؤدّي دوراً حاسماً في الكون؟

الإجابة بسيطة: في الكون كثير جدّاً من النيترينو الذخر. فمتوسط أعداده في كلّ سم3 أكبر بحوالي المليار مرّة من متوسط أعداد البروتون، وبصرف النظر عن ضآلة كتلته، فإن النيترينو يمثل بالمجموع الكلي، القسم الرئيس لمكونات كتلة المادة في الكون. وليس من الصعب أن نحسب، إنه إذا كانت كتلة سكون النيترينو الالكتروني تساوي 6.10^{-32}غ. فإن متوسط كثافته هو فقط (عدا عن نوعيه الآخريين)، يشكل حوالي 10^{-29}غ/ سم^3، وهذا ما يفوق بحوالي 10-30 مرة كثافة المادة الأخرى،

غير النيترينية كلها. ومعنى هذا أن جاذبية النيترينو بالذات، يجب أن تكون القوة الرئيسة الفاعلة التي تحدد قوانين تمدد الكون اليوم. فالمادة المعتادة لا تشكل من حيث الكتلة، بالتالي من حيث قوّة الجاذبية، سوى 3-10% من «خليط» الكتلة الرئيسة للكون، أي من كتلة النيترينو. ولذلك فإنه يمكن القول دون تردد، إن الكون يتألف أساساً من النيترينو، وأننا نعيش في كون نيتريني. وهذه هي بالضبط الخلاصة التي قصدنا إليها عندما تحدّثنا في مكان سابق عن اللوحة الخيالية التي انفتحت أمام أعين العلماء، وثمة للخلاصة التي تمّ الحصول عليها، نتيجة مهمّة أخرى.

فالسؤال الأكثر أهمية في موضوع ارتقاء الكون: إذا كان متوسط الكثافة أعلى من المدلول الحرج، فإن جاذبية هذه المادة سوف تعيق بعد زمن ما تمدد الكون، وترغم المجرات على التقارب بعضها إلى بعض، فيبدّل الكون بالتمدد الانكماش، أما إذا كان متوسط الكثافة أقل من المدلول الحرج، فإن جاذبية المادة لن تكون كافية لإيقاف تمدد الكون، فيواصل تمدده إلى ما لا نهاية.

والكثافة الحرجة وفق المعطيات المعاصرة، تساوي كما أشرنا سابقاً، 10^{-29}غ/سم^3 وحتى وقت ليس ببعيد كانوا يعتقدون القسط الأساس من كثافة المادة في الكون تشكّله المادة المعتادة، التي تساوي كثافتها حوالي 3.10^{-31}غ/سم^3. وكان هذا يعني أن الكثافة أقل من المقدار الحرج، وينبغي على الكون أن يتمدد إلى ما لا نهاية. أمّا الآن فثمة أسس قوية للاعتقاد بأن كثافة النيترينو الالكتروني الذخر وحده، تقريباً تساوي المقدار الحرج 10^{-29}غ/ سم^3. ومن المهم أن نتذكر، أن هناك إضافة إلى النيترينو الالكتروني الذخر، النيترينو الميووني، والتاو - نيترينو. ونحن لا نعرف من التجارب شيئاً حتى الآن عن كتلة سكونهما، ولكن يستنتج من النظرية والتجارب غير المباشرة أنه إذا كانت كتلة سكون النيترينو الالكتروني تختلف عن الصفر، فعلى الأرجح أن كتلة سكون نوعيّ النيترينو الآخرين تختلف بدورها عن الصفر. زد إلى هذا أنه قد لا تكون كتلة سكون نوعي النيترينو الآخرين أصغر من كتلة سكون النيترينو الالكتروني. وإذا نحن أخذنا هذا بالحسبان، فإن متوسط كتلة المادة في الكون سوف يغدو أكبر من المقدار الحرج. وهذه معناه أن تمدد الكون سوف يترك المكان لانكماشه في المستقبل البعيد، على الأرجح بعد مليارات من السنين، وسبب هذا الاستنتاج «العنيف»، هو الجسيم «الأضعف»، أي النيترينو.

نشوء المجرات

نلتفت الآن إلى مسألة نشوء بنية الكون. فعند بدء تمدده كانت المادة عبارة عن بلازما حارة متمددة متجانسة تقريباً. ولكن لماذا توزعت هذه المادة المتجانسة في طور ما من الأطوار، على تجمعات تطورت إلى أجرام سماوية ومنظوماتها؟ وكيف ظهرت الإرهاصات الأولى لحشود المجرّات؟

حسب رأي أكثر المتخصصين أن مثل هذه العملية تحدث بسبب الخور التجاذبي: تصلبات بدئية عرضية صغيرة من المادة، تجذب المادة بجاذبيتها، الأمر الذي يؤدي إلى تزايد قوّة هذه التصلبات فتتكثف أكثر وتنمو وتتمدد. وفي ظل شروط معينة يمكن لهذه الخثرات أن تصير إلى تجمعات كبيرة تضع بداية لحشود المجرّات. ومنذ العام 1946 كان الفيزيائي السوفيتي ي. ليفشيتس، قد وضع أسس النظرية التي تصف هذه العملية.

ونحن نستطيع الآن أن نعدّ، أن جاذبية النيترينو هي العامل الأهم في الكون، وأنه ينبغي أخذ هذه الجاذبية بالذات بالحسبان، لدى تحليل تزايد تغاير المادة بتأثير الخور التجاذبي.

وتبدو اللوحة العامة لتزايد تغاير المادة على الشكل الآتي: في أثناء الومضات الأولى بعد بدء تمدد الكون ظهرت تغايرات عرضية صغيرة جدّاً في توزع كثافة المادة في الفراغ الكوني. ونحن نعرف أنه بعد مرور ثانية واحدة على بدء تمدد الكون، باتت كثافة المادة غير كافية لمنع النيترينو بأنواعه الثلاثة من المرور عبرها بسهولة. وكانت سرعة طيرانه قريبة من سرعة الضوء. وكان طبيعياً أن تحدث في أثناء ذلك تسوية التغاير، وينشأ توزّع أكثر تعادلاً للنيترينو. ولكن هذا كان يحدث في نطاقات صغيرة من الفراغ الكوني، في مناطق صغيرة نسبياً وفق المقاييس الطولية لخثرات النيترينو.

وفي واقع الأمر أن النيترينو ينجح في الإفلات من الخثرات الصغيرة نسبياً، لينتقل مع النيترينو الآخرين بما يكفي من السرعة فيوسّط التغايرات كلّها ويسوّيها. وبقدر ما يمضي من الوقت أكثر بقدر ما ينجح النيترينو في تسوية التغايرات. وسوف يتواصل الأمر على هذا المنوال، إلى أن يبدأ النيترينو الذي يفقد طاقته نتيجة لتمدد الكون،

يتحرّك بسرعة أقل من سرعة الضوء بدرجة ملحوظة. فقد أظهرت الحسابات أن سرعة النيترينو تهبط بعد مضي 300 سنة تقريباً على بدء تمدد الكون، إلى درجة يعجز عندها عن الإفلات من التجمعات الكبيرة. ويمكن لمثل هذه التجمعات التي تكون كثافتها في بادئ الأمر أعلى من المقدار المتوسط بقليل، أن تقوى بالجاذبية، وتتكثف وتنمو إلى أن ينقسم الوسط إلى سحب متقلصة من النيترينو.

ويمكن حساب الكتلة التي ستكون عليها سحب النيترينو هذه. بما أن تسوية الكثافة قد جرت أساساً في الثلاثمائة سنة الأولى، وكان النيترينو يتحرّك خلالها بسرعة قريبة من سرعة الضوء، فإننا نتوصل إلى استنتاج مؤدّاه، إن التسوية نجحت في أن تجري في اقطاعات لا تزيد أبعادها عن 300 سنة ضوئية. أمّا في النطاقات الكبرى، في الخثرات النيترينية الكبيرة الحجم، فقد بقيت كثافة النيترينو العالية هي نفسها، لأنه لم يتسنّ للنيترينو أن يفلت منها. وبعد ذلك تباطأت حركة النيترينو تباطؤاً حاداً، وأفضى تجاذب أنواعه إلى زيادة في الكثافة العالية أصلاً، فصارات هذه الخثرات إلى سحب نيترينية. بالتالي فإن كتلة هذه السحب تتحدد بكمية النيترينو الموجودة في كرة نصف قطرها 300 سنة ضوئية بعد 300 عام من بدء تمدد الكون.

ويبيّن الحساب أن الكتلة المثالية لمثل هذه السحابة النيترينية لا تتجلى إلا عبر ثابتات الطبيعة الأساسية: h ثابتة بلانك، و C سرعة الضوء، و G ثابتة الجاذبية، و m كتلة سكون النيترينو. ومن المعروف أن الثابتات الثلاث الأولى معروفة، وإذا أخذنا بأن كتلة سكون النيترينو تساوي $EV=6.10^{-32}$ 35غ. فعلاً، فإن الكتلة المثالية للسحابة النيترينية سوف تشكل حوالي 1015 كتلة شمسية.

تلك هي الحال مع كتلة السحب النيترينية. ولكن أيّ شكل سوف تكون عليه؟ منذ عشر سنوات أظهر يا. زيلدوفيتش، أن السحب التي تظهر من مثل هذه العمليات يجب أن تكون مسطحة تسطيحاً شديداً، بحيث يشبه شكلها شكل الزلابية، ويعطي اتحاد هكذا «زلابيات» المتوضّعة عشوائياً في الفراغ الكوني، لوحة خلايا نيترينية مهولة غير مرئية.

إذن في زمننا هذا يجب أن تكون قد ظهرت في الفراغ الكوني بنية من السحب النيترينية غير المرئية، لها شكل الخلية. وما الذي يحصل للمادة المعتادة؟ في أي بنى فراغية تتجمع

في بداية عملية التمدد كانت المادة المعتادة (أي مادة الكون كلّها ما عدا النيترينو)، موزعة بدورها بشكل متعادل تقريباً. ونحن نعرف أن كتلة هذه المادة المعتادة، أصغر بمرات كثيرة من الكتلة الكلية للنيترينو، وأنها في المرحلة البدئية من تمدد الكون، كانت على شكل بلازما حارة.

ولكن، كما رأينا سابقاً، إن هذه المادة المعتادة تبترد بعد مضي ثلاث مائة عام على بدء تمدد الكون، إلى حدّ تتحوّل عنده من حالة البلازما إلى غاز محايد ينخفض ضغطه انخفاضاً حاداً: يحدث هذا بعد مرور مليون عام على بدء التمدد. ثم بعدئذٍ يبدأ الغاز المحايد البارد يتكثف في حقل جاذبية السحب النيترينية الناشئة، محتشداً في قسمها المركزي. ومن هذا الغاز المحايد المتكثف بالذات، تظهر بالتدرج حشود المجرّات، والمجرّات والنجوم. وبما أن المادة المعتادة أصغر بثلاثين مرّة من حيث الحجم، من النيترينو، فإنه يتشكل في «الزلابية» النيترينية غير المرئية التي تعادل كتلتها 10^{15} كتلة شمسية، حشد كبير من المجرّات كتلته أقل بثلاثين مرة، أي أن كتلته هذه تشكل 3.10^{13} كتلة شمسية.

وثمة توافق جيّد بين المعطيات التي وفرتها الأرصاد الفلكية عن كتل الحشود الكبرى للمجرات وشكلها، والمعطيات التي توفرت من مثل هذه الإنشاءات النظرية.

الواقع و الخيال

وعلى هذا النحو فإن بحر النيترينو المهول، الذي تجمع في سحب يتحرّك فيها بسرعة 1000 كم في الثانية، يمثل على ما يبدو ذلك «الشيء ما» الذي لم يؤخذ سابقاً بالحسبان، لدى دراسة الكون، والذي لم يكن ممكناً من غيره تفسير كثير من السمات المهمة لهذا الكون.

ويقول الفيزيائيون الفلكيون النظريون، إنه الآن، بعد أن توفر الأساس لإدخال كتلة سكون النيترينو ميدان التداول العلمي، استقر كثير مما لم يكن مفهوماً من قبل، في مكانه الصحيح. وقد أحسن الفيزيائي الفلكي السوفيتي أ. دوروشكييفيتش

القول في هذا الشأن، إذ قال: «فيما لو كان تبيّن أن كتلة النيترينو تساوي الصفر، لتأتى لنا أن نختلق جسيماً ما آخر كتلة سكونه تختلف عن الصفر، وتفاعله مع الجسيمات الأخرى ضعيف».

وإنني بي رغبة لأن أكون على يقين من أنه لن يتأتى لنا أن نختلق جسيماً جديداً، لأن المعطيات التي حصل عليها الفيزيائيون الفلكيون السوفييت عن كتلة سكون النيترينو، حتى لو كانت تحتاج شيئاً من التدقيق، إلا أن المستقبل المنظور سوف يؤكد صحتها.

ولكن الحذر مطلوب عندما يتعلق الأمر بدراسات تخص الكون كلّه. وهذا ما يجعلنا نلاحظ الآتي:

إن ذلك الجسيم «المدّخر» الذي قال عنه أ. دوروشكييفيتش في ملاحظته الشبه الهزلية، قد بات موجوداً في ترسانة فرضيات الفيزياء المعاصرة. ضف إلى هذا أن مثل هذه الجسيمات عديد! وها نحن نورد للمثال: الجسيم - الفوتينو الذي يشبه الفوتون، لكن له كتلة؛ والجرافيتينو الذي يشبه الجرافيتون، وله كتلة أيضاً. إذن لو تبيّن أن أ. دوروشكييفيتش محقّ، فإن الكون سوف يكون مبنياً بشكل أكثر غرابة مما هو عليه الآن، ولن يكون كوناً نيترينياً، إنما للمثال، كون فوتيني، أو جرافيتيني أو أي صفة أخرى...

فهنا لا تزال الحقيقة نائية، وكثير مما نتحدث عنه ليس سوى الحدّ الأمامي للعلم. ولذلك حاولنا أن نفصل الحقائق اليقينية عن المسائل التي هي قيد المعالجة.

في صيف العام 1982 عقد الفيزيائي النظري الإنكليزي المعروف، س، هوكينغ، في كمبرج، لقاء عمل مصغر لمناقشة العمليات التي حدثت في الكون قبل انقضاء الثانية الأولى على بدء التمدد. ونحن سوف نتحدّث عن هذا العمليات فيما بعد. وبينما كنت أتنزه في وقت متأخر من المساء، مع الأكاديمي م. ماركوف في ممرات هذا المركز العلمي الأعرق والأشهر في العالم، اتجه حديثنا عن غير قصد منا إلى مدى خيالية لوحة الكون التي نعرف الآن، وتنوعها، وروعتها، وإلى أيّ درجة هي أغنى من لوحة الحركة الميكانيكية للكرات التي لا تتجزأ، كما تخيلها اسحق نيوتن الذي عمل وأبدع في هذه المدينة منذ قرون مضت.

لقد ذكّرت ماركوف بنبوءته حول دور النيترينو في الكون، وقلت، إن ما نناقشه نحن المتخصصين اليوم في لقاءاتنا، أكثر خيالية من الاختلاقات التي نلقاها

في أدب الخيال العلمي. فأجابني ماركوف بقوله، ليس ثمّة وجود لأدب الخيال العلمي هذا. فكلّ أدب حقيقي مكرّس دائماً للناس، لأرواحهم. وفي غضون ذلك يمكن للكاتب أن يلجأ إلى حالات خيالية، فيكون الأدب عندئذٍ أدباً خيالياً (جيداً كان أم رديئاً). إن كلّ مسعى «للتظارف» على العلم، إن هو سوى هواية سطحية تفقد الأدب ماهيته، من غير أن يتحوّل حتى إلى ما يشبه العلم. وها أنت ترى أن العلم الحقيقي، هو دائماً خيالي! ومن الضروري لاستيعابه، فما بالك بتطويره، امتلاك مخيّلة خارقة تستخدم مع ذلك صيغاً دقيقة دقة صارمة، مستندة إلى أساس معرفي صلب. ثم أردف ماركوف قائلاً: «من الصعب أن يكون المرء عالماً، لكنه أمر في غاية المتعة».

أما فيما يتعلق بالأدب الخيالي، فقد ظهر أن الأكاديمي ماركوف ليس من كبار عاشقيه وحسب، إنما يكتب فيه أيضاً. فبعد أن عدنا إلى موسكو، أعطاني لأقرأ قصة خيالية كتبها هو نفسه.

ومع عودتنا من الخيال إلى الواقع، دعونا نجمل الآن بعض رحلتنا نحو الثواني الأولى لتمدد الكون. فقد ظهر أننا شهود على العمليات العاصفة للكون الحار، شهود على مهرجان الألعاب النارية الذي أفضى إلى ولادة العوالم والكون الراهن.

إننا نعيش الآن في كون بنيته متطوّرة، وفيه منظومات عوالم. فتجري في النجوم عملية موجهة لمعالجة الهيدروجين وتحويله إلى هليوم وعناصر أخرى أثقل. واحتياطات الطاقة النووية فيه مهولة تكفي لعشرات مليارات السنين. حسن، وماذا بعد؟ فالنجوم لا يمكن أن تبقى صفة أبدية للكون، إنها تخبو وتنطفئ. وكان ج. ليميتر، أحد ألمع علماء الكونيات قد كتب يقول: «إن ارتقاء العالم يشبه عرض الألعاب النارية الذي وصلنا إليه عند نهايته: بعض الجمرات الحمراء، ورماد ودخان وإذا ما وقفنا على الرماد البارد نرى شموساً تخبو شيئاً فشيئاً، فنحاول إحياء روعة بدء العوالم المندثرة».

ولكن هل يعني هذا أن مستقبل الكون يجب أن يشبه مرمدة ابتردت بعد حريق مهول؟

يقيناً لا! ونحن سوف نناقش مستقبل الكون. ولكننا قبل أن نفعل ذلك، ينبغي علينا أن نقترب مرة أخرى من البداية السينغولياية لتمدد الكون. وسوف يكون اقترابنا منها في هذه المرة أكثر دنواً، ولن يكون في مقدورنا أن نستغني هنا عن أجنحة الخيال العلمي، ذلك الخيال عينه الذي تحدّث عنه الأكاديمي م. ماركوف.