الفصل العاشر

ثلاثة أبعاد (وأكثر)

السبب في أن D (*) = ٣ أمر له خصوصيته

هناك ثلاثة أبعاد للمكان . وهناك النقط وبُعدها الصفر ، والخطوط ذات البعد الواحد ، والأسطح ذات البعدين والأجرام الجامدة ذات الأبعاد الثلاثة . على أن علماء الرياضة تخيلوا أيضا نوعا من المكان افترضوا أن له أكثر من ثلاثة أبعاد ورتبوا نتائج ومسائل على هذا الفرض التخيلى . ولاحظ علماء الهندسة منذ القدم وجود خصائص مثيرة للاهتمام للأبعاد المختلفة . وكمثل فإنه فى حالة البعدين يمكننا أن نرسم اشكالا مضلعة منتظمة بأى عدد من الجوانب المتساوية ، كأن نرسم مثلثا متساوى الأضلاع أو مربعا أو مخمسا أو مسدسا .... إلخ . أما الأجسام ذات الأبعاد الثلاثة فلا يوجد لها إلا خمسة أشكال منتظمة تسمى الأفلاطونية . وعند وجود بعد رابع يكون هناك ستة أجسام من هذا النوع ، وإذا زادت الأبعاد عن ذلك لا يوجد لها إلا ثلاثة أشكال منتظمة .

وعندما يكون العالم من ثلاثة أبعاد فإنه يتيح لقوى مثل الجاذبية والكهرومغناطيسية أن تتبع قانون التربيع العكسى . فالقوة المنبثقة عن الكتلة أو الشحنة تصبح أضعف بأربعة أمثال (م٢) إذا ابتعدنا عنها بمسافة الضعف (م) . أما لو كان هناك أربعة أبعاد ، فإن الابتعاد عن مصدر القوة بمسافة م يؤدى إلى أن تصبح القوة أضعف بالتكعيب (م٣) ، أى أنها تتبع قانون التكعيب العكسى .

حسب نيوتن يخضع مدار الكواكب للتوازن بين قوتين ، قوة الجاذبية التى تنزع لأن تشد الكوكب للداخل ، والقوة الطاردة المركزية لحركة الكوكب التى تشده للخارج . وإذا حدث تغير فى سرعة حركة الكوكب فإن هذا يؤثر بعض تأثير هى فى مداره . وبهذا المعنى فإن منظومتنا الشمسية تعد مستقرة لأنها تتبع قانون التربيع العكسى . ولو أنها كانت تتبع قانون التكعيب العكسى لفقدت استقرارها لأن تغير سرعة الكوكب سيؤدى إلى تغير أكثر كثيرا فى مداره لأن القوة هنا تتغير بالتكعيب وليس بالتربيع . فلو قلت سرعة الكوكب ولو قليلا فإنه سيندفع بسرعة إلى الشمس فى المركز بدلا من أن يحدث له بعض إزاحة إلى مدار أصغر . ولو زادت سرعته ولو قليلا فإنه سيمرق بسرعة مبتعدا فى الظلام .

هكذا لو كان للعالم أكثر من ثلاثة أبعاد «مكانية» لنتج عن ذلك عدم استقرار مدارات الأجرام . ماذا لو كان للعالم أقل من ثلاثة أبعاد ؟ سنعيش وقتها فى عالم مسطح من بعدين ، وهذا العالم المسطح فيه أوجه قصور جوهرية تتعارض مع وجود بنيات مركبة . فعندما تتخلل قناة أحد الأجسام ، كأن تتخلل القناة الهضمية جسم

(١) D أول حرف فى كلمة أبعاد الإنجليزية .

الانسان ، فإن هذه القناة فى العالم المسطح ستقسم الجسم إلى جزئين منفصلين بلا رابط . ولو كان العالم ببعد واحد فقط ، أى عالم خطى ، لزادت المشاكل تعقدا .

هذان سببان واضحان يبينان لماذا ينبغى أن نكون فى عالم من ثلاثة أبعاد . كما أن هناك أسبابا أخرى لذلك قد اكتشفها علماء الرياضة .

الزمن وسهمه

الزمن هو البعد الرابع الذى نخبره . وحتى نحدد أحد الأحداث نحتاج إلى أربعة أرقام : الإحداثيات الثلاثة المكانية التى توصّف «مكان» وقوعه ثم قياس رابع يخبرنا عن «وقت» وقوعه .

يختلف الزمان عن الأحداث المكانية فى أننا لا نستطيع أن نتجه فيه إلا إتجاها واحدا هو دائما إلى الأمام ، بينما نحن نستطيع فى الإحداثيات الأخرى أن نتجه للناحيتين ، أى شرقا وغربا ، أو شمالا وجنوبا ، أو أعلى وأسفل .

وحسب نسبية أينشتين فإن الزمان والمكان مترابطان فيما يسمى بالمكان – الزمان أو الزمكان . والزمان له مرونة فى معدل سيره ، فهذا أمر يعتمد على الطريقة التى يتحرك بها من يقيس الوقت وما إذا كان قريبا من كتلة كبيرة .

و«سهم الزمان» الذى يتجه دائما للأمام من الماضى إلى المستقبل يُشبَّه دائما بحركة فيلم سينمائى يصور أحداث الحياة اليومية ، عندما يدار الفيلم للأمام . على أننا لو أدرنا الفيلم وراء سنرى الأحداث مقلوبة وقد انعكس اتجاه النتيجة والسبب : فشظايا الكأس المكسور تتجمع معا لتشكل مرة أخرى كأسا سليما ، كما يندفع السائل المسكوب ليتجمع معا داخل الكأس ! وهذه أمور تختلف تماما مع ما توطدت به خبرتنا عن علاقة الماضى والمستقبل التى لا تنعكس قط ، رغم أن القوانين الأساسية واحدة فى الماضى والمستقبل .

ومازال الزمان يطرح ألغازا وأسئلة لا يوجد أى اتفاق فى الإجابة عنها . وقد أجرى الفيزيائى جولبان باربر استفتاء وديا بين بعض الخبراء يسألهم فيه عما إذا كان الواحد منهم يؤمن بأن مفهوم الزمان الآن هو حقا مفهوم أولى أو أساسى ... أو أنه لا يزال يمكن تحليله ليُستمد من أفكار أكثر أولية ، بما يشبه القول مثلا بأن حرارة أحد الأجرام مستمدة من الحركات العنيفة للذرات المكونة له ؟ وانقسمت الآراء بنسبة متساوية ، مع أغلبية بسيطة تحبذ الرأى بأن الزمن سيفسَّر فى النهاية بلغة من شئ أعمق .

هل توجد أبعاد ملفوفة على مدى المقاييس الكبيرة ؟

هندسة الفضاء فى الكون سلسة وبسيطة فى حدود مقاييس أفقنا الحالية. وهذا أمر تثبته الأرصاد التى تجرى بمقاييس أكبر من التجمعات العنقودية الفائقة للمجرات، كما يثبته اتساق اشعاع خلفية الميكروويف وما لها من حرارة تكاد تتماثل فى الكون كله .

على أن بعض علماء الفلك ذوى النزعة الرياضية يشكّون فى أن هذا الاتساق وهذه البساطة قد يكونا مجرد وهم ، وأنه وراء أفقنا الذى تفرضه سرعة الضوء ربما يكـون الفضاء ملفوفا بطريقة معقدة عند مقاييس تتجاوز كثيرا مسافة عشرة بليون سنة ، بحيث يكون هناك تغير فى عدد الأبعاد . إلا أننا لن نستطيع أن نرى هنا أكثر من تلميحات غير مباشرة لما قد يحدث وراء مدى رؤية أى تليسكوب .

البنية الدقيقة للمكان والزمان : جاذبية الكم

استغرقنا حوالى القرن حتى نتعود على أن المادة العادية من جوامد وسوائل وغازات لها بنية ذرية أو جزيئية متميزة . ترى هل يمكن أن يكون هناك تحبب للزمان والمكان نفسيهما ؟ إن المكان يبدو لنا وكأنه متصل سلس . ولكننا مازلنا لا نعرف البنية الدقيقة للمكان والزمان . ولا يمكن سبر التفاصيل بالمقاييس بالغة الصغر إلا باستخدام إشعاع طول موجته أصغر من هذا المقياس . على أن الموجات كلما صغر طولها أصبحت تأتى فى كمات أو «حزمات» أكثر طاقة . وعند حد معين ستصل طاقة الموجات الأصغر إلى تركيزات شديدة فتتقلص إلى ثقب أسود ، ويحدث هذا عندما يسمى «طول بلانك» الذى يصغر عن البروتون بحوالى $^{19}10$ مثل . ويستغرق الضـــوء $^{-43}10$ ثانية ليقطع هذه المسافة ، ويسمى هذا الوقت «زمن بلانك» ، وهـــو أقصـر فترة زمنية يمكن قياسها بأى حال . ونحـن لا نستطيع أن نقيـــس أى مسافة أقـصر مـــن طول بلانك ، ولا نستطيع أن نميز أى من الأحداث وقع قبل الآخـــر عندما تكون الفترة الزمنية بينها أقل من زمن بلانك . وهـــذه المقاسات أصغـر مـــن الذرات بنفس المقدار تماما الذى تكون الـذرات بـه أصغر من النجوم .

النظرتان الأساسيتان لعلم القرن العشرين هما ميكانيكا الكم التى تتناول سلوك الجسيمات الدقيقة تحت الذرية ، ونظرية نسبية أينشتين التى تتناول سلوك الأجرام الضخمة كالكواكب والنجوم والمجرات . ولا يوجد إطار واحد يوحّد النظريتين معا . وانفصال النظريتين لم يؤد إلى أى إعاقة لتقدم العلوم ، لأن معظم الظواهر تتطلب عند تفسيرها إما تأثير الكم وحده أو تأثير الجاذبية وحدها . وفى عالم الذرة دقيق الصغر يكون تأثير الجاذبية صغيرا جدا بما يمكن اهماله ،كما يعرف من رقم "N" ، بينما التأثيرات الكمية هى المهمة هنا . وعلى العكس فإن لا يقين الكم يمكن إهماله فى عالم الأجرام الضخمة حيث السيطرة أساسا للجاذبية .

على أننا نجد بالرجوع وراء إلى بداية الكون عند $^{-43}10$ ثانية (زمن بلانك) ، أن الذبذات الكمّية قد تهز هذا الكون كله ، كما أن الجاذبية تكون لها أهميتها حتى بمقياس الكمّة الواحدة ، حيث أن كثافة الكون تكون هائلة . وهكذا فإننا نحتاج إلى توحيد نظرية الكم ونظرية الجاذبية فى نظرية جاذبية الكم ، وذلك حتى

نفهم اللحظات الأولى بعد الانفجار الكبير أو حتى نفهم المكان والزمان عند «مفردة»(*) داخل الثقب الأسود .

ولن ننجح فى استخدام وسائل التخمين العادية عند السرعات التى تقارب سرعة الضوء أو بالقرب من الثقوب السوداء . ولن ينجح التخمين العادى أيضاً عند تناول الظروف المتطرفة للكون المبكر جدا وعند المقاييس الصغيرة جدا القريبة من طول بلانك . وعلينا عندها أن نتخلى عن الأفكار الأثيرة التى ندركها بالحس المشترك : فالثقوب السوداء ربما تكون مما يظهر ويختفى ، والزمكان عند المقاييس بالغة الصغر قد يكون له نسيج شواشى يشبه الزبد ، وسهم الزمان فيه غير محدد تحديدا جيدا . وقد يكون للمكان بنية كالشبكة أو النسيج ذى العقد بما يشبه حلقات زرود الدرع . والزمان قد يشبه المكان بحيث أنه بمعنى مالا تكون له بداية .

طُرحت نظريات عديدة لتناول هذه الأمور ، ولكن أيا منها لم يؤد إلى نظرية موحدة يتم الإتفاق عليها ، ويبدو أن أفضل هذه النظريات المقترحة هى نظرية الأوتار الفائقة .

الأوتار الفائقة

يزعم أنصار هذه النظرية أنها تدمج معا القوى الثلاث التى تؤثر فى العالم الدقيق تحت الذرى أى القوة الكهرومغناطيسية والنووية القوية والنووية الضعيفة ، كما أن إدماج الجاذبية فى النظرية يعد عنصرا جوهريا فيها . والفكرة الأساسية فى النظرية هى أن الكيانات الأساسية فى كوننا ليست نقطا وإنما هى حلقات أوتار ، وأن الجسيمات المختلفة تحت الذرية كلها أنماط مختلفة من ذبذبة لهذه الأوتار . ولهذه الأوتار مقاس طول بلانك ، أى أن مقاسها أصغر مما نستطيع سبره بعدة عوامل لرقم عشرة . وبالإضافة ، فإن هذه الأوتار لا تتذبذب فى الأبعاد الأربعة التى اعتدناها ، وإنما هى تتذبذب فى مكان له عشرة أبعاد . ولا تظهر لنا هذه الأبعاد الإضافية لأنها بالمقياس الدقيق الصغر ملفوفة على نفسها ، بما يشبه أن تلف صفحة ورق لفا محكما جدا على نفسها فتبدو وكأنها خط أحادى البعد . وحسب نظرية الأوتار الفائقة فإن كل «نقطة» فى المكان المعتاد ، تكون بنية هندسية معقدة فى ستة أبعاد ، وقد لُفت بمقياس طول بلانك .

كلما ظهرت نظرية فيزيائية جديدة صاحب ذلك لغة رياضية جديدة من معادلات وصيغ لتسهل النظرية ، كما حدث مع نظريتى النسبية والكم ، على أن نظرية الأوتار الفائقة مازالت تثير أسئلة تحير الرياضيين .

وكمثل فإن طبيعة الكون والقوى التى تتحكم فيه تعتمد اعتمادا دقيقا على

(*) المفردة نقطة تتكثف عندها المادة تكثفا هائلا فى حيز صغير جدا كما عند الانفجار الكبير أو فى الثقوب السوداء ، ولا تنطبق قوانين الفيزياء المعروفة لنا على المفردة .

طريقة لف الأبعاد الإضافية . كيف يحدث ذلك ، وهل هناك طرائق مختلفة يمكن أن يحدث بها ؟

أثارت نظرية الأوتار الفائقة حماسا كبيرا فى الثمانينيات ، ثم هبط ذلك الحماس ليعود ثانية منذ ١٩٩٥ ، حيث ظهرت بعض حلول لبعض مشاكل النظرية. على أنه مازال هناك فجوة بلا جسور بين هذه النظرية ذات الأبعاد العشرة وبين أى ظاهرة نستطيع ملاحظتها أو قياسها .

على أن نظرية الأوتار الفائقة طرحت فهما أعمق لبعض الظواهر مثل الثقوب السوداء وكيف أن لها انتروبيا يمكن قياسها ، وكذلك لها درجة حرارة وتبث اشعاعا . كما يأمل الكثيرون أنها ستطرح تبصرات جديدة فى مفاهيمنا عن الكم ، ولعلها ستكون النظرية التى تدعم فكرة تعدد الأكوان .