

الباب الثالث

فجر عصر جديد

إن عالم الفيزياء هو طريقة الذرات بالتفكير بالذرات.

مجهول

obeikandi.com

الفصل الثامن

كون آينشتاين

فيما كان القرن التاسع عشر يقترب من نهايته، استطاع العلماء أن يحلّوا معظم ألغاز العالم المادي: الكهرباء، والمغناطيس، والغازات، والبصريات، والصوتيات، وعلم الحركة والميكانيكا الإحصائية، هذا إذا لم نسمّ إلاّ قلة، تم اكتشافها من قبل. اكتشفوا أشعة إكس، والشعاع المهبطي، والإلكترون والإشعاعية، واخترعوا الأوم والواط، والكلفن والجول والمكبرّ والأرغ الصغير.

وإذا كان هناك من شيء يمكن أن يتذبذب أو يُسرّع أو يُشوّش أو يُقطّر أو يمزج أو يوزن أو يجعل غازياً فقد قاموا بذلك، و أنتجوا في أثناء ذلك مجموعة من القوانين الكونية الكبيرة والمهيبة، بحيث ما زال نميل إلى كتابتها بالأحرف الكبيرة: نظرية الحقل الكهرومغناطيسي، وقانون ريجنر للنسب المتبادلة، وقانون تشارلز للغازات، وقانون مزج الأحجام، وقانون زيروث، ومفهوم فالنس، وقانون أفعال الكتلة، وأخرى لا تحصى. لقد تغيّر العالم برمته وسَمُن بالآلات والأدوات التي أنتجتها براعتهم. واعتقد الكثير من الحكماء أنه لم يبقَ الكثير أمام العلم كي يفعله.

وفي 1875 فيما كان شاب ألماني في كيل اسمه (ماكس بلانك) يقرر إن كان سيكرّس حياته للرياضيات أو للفيزياء. تم حثه بشكل صادق ألا يختار الفيزياء؛ لأن جميع الفتوحات قد تمت في هذا الميدان. وقد تم التأكيد له أن القرن القادم سيكون قرن تقوية وصل ولينس قرن ثورة. لم يصغ بلانك. درس الفيزياء النظرية وكرس نفسه جسداً وروحاً للعمل في الأنثروبيا (القصور الحراري)، وهي عملية في قلب الديناميكا الحرارية، التي بدت كأنها تحمل كثيراً من الوعد لشاب طموح*. وفي عام 1891 أعطى

* وبنحو محدد إنها مقياس للعشوائية أو الفوضى في نظام. فدارل إبنج في مقرره المدرسي الكيمياء العامة، يقترح بشكل مفيد جداً التفكير بمجموعة ورق لعب. علبة جديدة من الورق، مرتبة بحسب النقش من الأس إلى الملك. يمكن أن يقال: إنها في حالتها المرتبة. اخلط الورق وضعه دون ترتيب. إن الأنثروبيا هي طريقة لقياس فوضوية تلك الحالة ولتحديد احتمال النتائج المعينة مع خلط آخر للورق. كي تفهم الأنثروبيا جيداً من الضروري أيضاً فهم مفاهيم مثل اللانظلمات الحرارية، ومسافات الشبيكية وعلاقات رياضية كيميائية، ولكن هذه هي الفكرة العامة.

أكله ولكن أمله خاب حين سمع أن العمل المهم في الأنثروبيا كان في الواقع قد أنجزه سابقاً باحث متقاعد في جامعة بيل يدعى ج. ويلارد جيبز.

ربما كان جيبز أذكى شخص سبق وسمع به البشر. كان خجولاً إلى درجة أنه يقترب من اللامرئية، فقد أمضى معظم حياته - عدا ثلاث سنوات أمضاها في الدراسة في أوروبا - في منطقة مساحتها ثلاثة فراسخ يحدها منزله وحرمة بيل في نيو هيفن، كونيتيكت. وفي سنواته العشر في بيل لم يزعج نفسه حتى بالحصول على راتب. (كانت له وسائله الخاصة). ومن عام 1871، حين انضم إلى الجامعة بوصفه بروفسوراً إلى وفاته في 1903، لم يحضر دروسه أكثر من تلميذ في الفصل الدراسي. كان عمله المكتوب صعب التتبع وقد استخدم شكلاً خاصاً في الترميز وجده كثيرون غير قابل للفهم. ولكن بين صيغته المبهمة دفنت استبصارات من أرفع أنواع الذكاء.

وبين 1875 و1878 أنتج جيبز سلسلة من الأبحاث، وُضع لها عنوان جمعي هو في توازن المواد غريبة المنشأ، التي أوضحت بنحو مذهل المبادئ الديناميكية الحرارية لكل شيء تقريباً: «الغازات والخلائط والسطوح والمواد الصلبة وتغيرات الطور... ردود الفعل الكيميائية والخلايا الإلكتروليتية، والترسب والتناضح»، هذا إذا اقتبسنا رأي (وليم ه. كوبر). إن ما فعله جيبز جوهرياً، هو أنه بين أن الديناميكا الحرارية لا تنطبق ببساطة على الحرارة والطاقة من نوع الوزن الضخم والصاحب للآلة البخارية، ولكنه كان أيضاً حاضراً ومؤثراً على المستوى الذري لردود الفعل الكيماوية. دعي كتاب جيبز «مبادئ الديناميكا الحرارية»، ولكن لأسباب مجهولة اختار جيبز أن ينشر هذه الملاحظات المهمة في محاضر أكاديمية كنيكتيكت للفنون والعلم، وهي مجلة ظلت غير معروفة في كنيكتيكت، ولهذا لم يسمع بها بلانك حتى وقت متأخر جداً.

بشجاعة حسناً، ربما بشجاعة قليلة استدار بلانك إلى أمور أخرى*. سوف نسلط الضوء على هذه الأمور بأنفسنا بعد لحظة، ولكن يجب أولاً أن نلتفت قليلاً إلى

* كان بلانك غير محظوظ في حياته في غالب الأحيان. فقد توفيت زوجته الأولى التي أحبها باكراً في 1909، وقتل ولده الأصغر بين ولديه في الحرب العالمية الأولى. كان لديه ابنتان توعم أحبهما كثيراً. توفيت واحدة منهما في أثناء الولادة. وما تبقى على قيد الحياة من التوعم اعتنت بالطفل ووقعت في حب زوج أختها. تزوجا وبعد عامين توفيت في أثناء الولادة. وفي 1944 حين كان بلانك في الخامسة والثمانين، سقطت قنبلة للحلفاء على منزله وفقد كل شيء: أوراقه ويوميته، وما راكمه طول حياته. في العام اللاحق قبض على ابنه الوحيد مشتركاً في مؤامرة لاغتيال هتلر وأُعدم.

كلفلاند، بأوهايو، وإلى مؤسسة كانت تُعرف آنذاك باسم كلية كيس للعلوم التطبيقية. هناك، في ثمانينيات القرن التاسع عشر، كان عالم فيزياء متوسط العمر اسمه ألبرت متشلسون، يساعده صديقه عالم الكيمياء إدوارد مورلي، وقد قام بسلسلة من التجارب التي سيكون لها تشعبات عظيمة في كثير مما سيتبع.

ما فعله متشلسون ومورلي - دون أن يقصدا ذلك فعلاً - هو تقويض إيمان استمر طويلاً بشيء ما دعي (الأثير الساطع)، وهو أداة مستقرة لامرئية لا وزن لها ولا تجزأ. وهي لسوء الحظ خيالية بنحو كامل واعتقد أنها تتخلل الكون. هذا الأثير الذي تصوره ديكرت وأمن به نيوتن وبجله الجميع منذ ذلك الوقت، احتل موقعاً مركزياً في فيزياء القرن التاسع عشر كطريقة لشرح كيفية سفر الضوء عبر فراغ الفضاء. كانت هناك حاجة خاصة له في العقد الأول من القرن التاسع عشر؛ لأن الضوء والكهرومغناطيسية كان يُنظر إليها آنذاك على أنها موجات، أي أنماط من التذبذب. يجب أن تحصل التذبذبات في شيء ما؛ ومن هنا الحاجة إلى الأثير والإخلاص المستمر له. وفي نهاية 1909، كان عالم الفيزياء البريطاني العظيم ج.ج. طومسون يلح: «إن الأثير ليس خلقاً فنتازياً للفيلسوف المتأمل، إنه جوهري لنا كالهواء الذي نتنفسه» هذا بعد أكثر من أربعة أعوام من البرهنة بنحو لا يقبل الجدل أنه لا يوجد. كان الناس - باختصار - مرتبطين جداً بالأثير.

إذا كنت بحاجة لإيضاح فكرة أن أمريكا كانت في القرن التاسع عشر أرضاً للفرص، فإنك لن تستطيع الاستفادة من حياة ألبرت متشلسون الذي وُلد في 1852 على الحدود الألمانية البولونية لأسرة من التجار اليهود الفقراء، وهاجر إلى الولايات المتحدة مع أسرته وهو رضيع وترعرع في مخيم تعدين في ريف كاليفورنيا، الذي كان يعج بطالبي الثروة حيث أدار والده عملاً تجارياً بسيطاً. كان فقيراً جداً بحيث لم يستطع دفع قسط التسجيل في الكلية، فسافر إلى واشنطن العاصمة وبدأ يتسكع أمام باب البيت الأبيض لعله يصادف (أو ربما يحصل على) منحة يولييسيس س. جرانت حين يخرج الرئيس من أجل نزهته الصحية. (كان العصر أكثر براءة كما يبدو). وفي مجرى نزهاته، فاز متشلسون بالخطوة لدى الرئيس، بحيث إن جرانت وافق على أن يؤمن له مكاناً مجانياً في الأكاديمية البحرية الأميركية. وهناك تعلم متشلسون الفيزياء.

بعد عشر سنوات، وقد أصبح الآن أستاذاً في كلية كيس في كلفلاند، صار متشلسون مهتماً في محاولة قياس شيء يُدعى انسياق الأثير، وهو نوع من الريح الرأسية تنتجها الأشياء المتحركة، هي تتقدم بجهد عبر الفضاء. إن أحد تنبؤات الفيزياء النيوتونية هي أن سرعة الضوء، وهي تندفع عبر الأثير يجب أن تتنوع بالنسبة للمراقب بحسب إن كان المراقب يتحرك نحو مصدر الضوء أو بعيداً عنه. ولكن لم يعرف أحد طريقة لقياس ذلك. وخطر لتشلسون أن الأرض تندفع نحو الشمس لنصف السنة وتبتعد عنها في النصف الآخر، واستنتج أنه إذا قام المرء بقياسات دقيقة في فصول متناقضة، وقارن سفر الضوء بين الالنتين، فإنه سيحصل على الإجابة.

تحدث متشلسون مع الكسندر جراهام بيل -مخترع الهاتف الذي صار ثرياً من جديد- كي يقدم الأموال لبناء أداة بارعة وحساسة من اختراع متشلسون تُدعى مقياس التداخل، التي يمكن أن تقيس سرعة الضوء بدقة هائلة. ثم، وبمساعدة من مورلي الكريم ولكن الغامض، أمضى متشلسون أعواماً وهو يقوم بالقياسات الموسوسة. كان العمل حساساً ومرهقاً، فاضطر إلى تعليقه لبعض الوقت بسبب انهيار عصبي قصير ولكنه شامل، ولكن في عام 1887 أعطت القياسات أكلها. ولم يكن مطلقاً ما توقعه العالمان.

وكما قال عالم الفيزياء الفلكية في كالتيك Caltech (كيب س. ثورن): «تبيّن أن سرعة الضوء هي نفسها في الاتجاهات والفصول جميعها». كان هذا هو التلميح الأول طوال 200 عام بأن قوانين نيوتن يمكن ألا تنطبق طول الوقت في كل مكان. وصارت نتيجة متشلسون مورلي، كما عبر وليم ه. كوبر، «النتيجة السلبية الأكثر شهرة في تاريخ الفيزياء على الأرجح». مُنح متشلسون جائزة نوبل في الفيزياء من أجل هذا الإنجاز، كان أول أميركي حصل عليها ولكن ليس لمدة عشرين سنة. في غضون ذلك، ستحوم تجارب متشلسون مورلي بشكل غير مريح، كرائحة عفونة، في خلفية الفكر العلمي.

وبالرغم من اكتشافاته، حين اقترب القرن العشرون، عدّ متشلسون نفسه بين أولئك الذين اعتقدوا أن عمل العلم يقترب من نهايته، «وليس هناك إلا بضعة أبراج وقمم يجب أن تُضاف، وبضع حواشٍ زخرافية يجب أن تحفر»، كما عبر كاتب في مجلة نيشر.

كان العالم على وشك دخول قرن من العلم لن يفهم فيه كثير من الناس أي شيء ولن تفهم قلة كل شيء. وحالاً سيجد العلماء أنفسهم في مملكة محيرة من الجزيئات والجزيئات المضادة، حيث تقفز الأشياء إلى الوجود وتقفز إلى خارجه في مراحل زمنية تجعل النانوثواني (جزء من بليون من الثانية) تبدو متناقلة وغير مستوية، حيث كل شيء يبدو غريباً. كان العلم ينتقل من عالم فيزياء الأشياء الكبيرة؛ حيث يمكن أن تُرى الأشياء وتُمسك وتُقاس، إلى عالم الفيزياء البالغة الصغر؛ حيث تحصل الأحداث بسرعة غير قابلة للإدراك على موازين من الكبر تفوق حدود التصور بشكل كبير. نحن على وشك دخول عصر الكم، وكان الشخص الأول الذي دفع الباب هو السيئ الحظ حتى الآن ماكس بلانك.

في عام 1900، كان بلانك آنذاك عالم فيزياء نظرية في جامعة برلين، وفي عمر متقدم نوعاً ما في الثانية والأربعين كشف بلانك عن نظرية جديدة هي (نظرية الكم)، التي أثبتت أن الطاقة ليست شيئاً متواصلاً كالماء المتدفق، وإنما تأتي في مجموعات فردية دعاها (الكمّات). كان هذا مفهوماً جديداً، وجيداً. وسيساعد على المدى القصير في تقديم حل للغز تجارب متشلسون مورلي؛ لأنه أوضح أن الضوء لا يحتاج إلى أن يكون موجة في النهاية. وعلى المدى الطويل، ستضع النظرية الأساس لكل الفيزياء الحديثة. كانت - في كل حال - المفتاح الأول بأن العالم كان على وشك التغيير.

ولكن الحدث المَعْلَم الذي شكّل فجر عصر جديد جاء في 1905 حين ظهرت في مجلة الفيزياء الألمانية أنالين دير فيزيك Annalen der Physik سلسلة من الأبحاث ألفها بيروقراطي سويسري شاب لم تكن له صلة بالجامعة، أو مدخل إلى المخبر أو الاستخدام المنتظم لأي مكتبة سوى مكتبة مكتب الاختراعات القومي في برن، حيث تم توظيفه بوصفه فاحصاً تقنياً من الدرجة الثالثة. (وقد رفضت أخيراً ترقيته إلى فاحص تقني من الدرجة الثانية).

كان اسمه ألبرت آينشتاين، وفي ذلك العام الزاخر بالأحداث قدم إلى مجلة الفيزياء الألمانية خمسة أبحاث، كان بينها ثلاثة، بحسب سي. بي. سنو، (هي الأعظم في تاريخ الفيزياء). يشرح الأول التأثير الكهروضوئي بواسطة نظرية الكم الجديدة

التي ابتكرها بلانك، ويشرح الثاني سلوك الجزيئات الصغيرة في التعلق (ما يعرف باسم الحركة البراونية)، ويلخص الثالث نظرية النسبية الخاصة.

جعل الأول مؤلفه يحصل على جائزة نوبل وهو يشرح طبيعة الضوء (وساعد أيضاً في جعل اختراع التلفاز ممكناً، بين أمور أخرى)*. وقدم الثاني دليلاً على أن الذرات توجد بالفعل وهذه حقيقة، كان هناك تنازع حولها، بنحو مفاجئ. لقد غير البحث الثالث العالم.

ولد آينشتاين في أولم، جنوب ألمانيا، عام 1879، ولكنه ترعرع في ميونخ. لم تكن بداية حياته توحى كثيراً بالعظمة التي حققها. كان من المعروف أنه لم يتعلم الكلام إلى أن بلغ الثالثة من العمر. وفي تسعينيات القرن التاسع عشر، وبعد أن فشل عمل والده في الكهرباء، انتقلت الأسرة إلى ميلان، ولكن ألبرت -الذي كان آنذاك مراهقاً- ذهب إلى سويسرا؛ كي يواصل دراسته، بالرغم من أنه فشل في امتحانات دخول الكلية في المحاولة الأولى. وفي 1896 تخلى عن جنسيته الألمانية؛ كي يتجنب التجنيد الإلزامي ودخل معهد البولتي تكنيك في زيوريخ في برنامج مدته أربع سنوات مصمم لتخريج مدرسي ثانوية للمواد العلمية. كان متألماً لكنه لم يكن متفوقاً بوصفه طالباً.

تخرج عام 1900 وبعد بضعة أشهر بدأ يسهم بمقالات في مجلة الفيزياء الألمانية. ظهر بحثه الأول، عن فيزياء السوائل في العدد نفسه الذي نشرت فيه نظرية الكم لبلانك. ومن 1902 إلى 1904 أنتج سلسلة من الأبحاث عن الميكانيكا الإحصائية، فقط كي يكتشف أن المنتج الصامت جي. ولارد جيبز في كونيكتيكت فعل هذا العمل أيضاً في كتابه المبادئ الأولية للميكانيكا الإحصائية في 1901.

* لقد كرم آينشتاين، نوعاً ما بنحو غامض، من (أجل خدمات للفيزياء النظرية). كان عليه أن ينتظر ست عشرة سنة، حتى عام 1921، كي يحصل على الجائزة. وهذا وقت طويل جداً، كل شيء فكر به، ولكن لا شيء على الإطلاق، بالمقارنة مع فرديريك راينز الذي اكتشف النيوترون في 1957 ولكنه لم يحصل على جائزة نوبل حتى 1995، بعد ثمان وثلاثين سنة، أو الألماني إرنست روسكا، الذي اخترع ميكروسكوب الإلكترون في 1932 وحصل على نوبل في 1986، بعد أكثر من نصف قرن. وبما أن جوائز نوبل لا تُمنح أبداً بعد الوفاة، فإن طول العمر يمكن أن يكون عاملاً مهماً كالإبداع في الحصول على واحدة.

وقع ألبرت في غرام طالبة زميلة له، وهي هنغارية اسمها ميلفا ماريك. وفي 1901 أنجبا طفلة خارج الزواج، وُضعت في التبني بنحو مخزٍ. لم يرَ أينشتاين ابنته أبداً. بعد عامين، تزوج من ماريك. وبين هذه الأحداث، في 1902، حصل أينشتاين على عمل في مكتب الاختراعات السويسري، حيث بقي لمدة سبعة أعوام. استمتع بالعمل: كان متحدياً بما يكفي لتشغيل ذهنه، ولكن ليس إلى درجة حرف انتباهه عن الفيزياء. كانت هذه هي الخلفية التي أنتج فيها نظرية النسبية في 1905.

إن بحث (في الديناميكا الحرارية للأجرام المتحركة) هو أهم الأبحاث العلمية التي سبق ونُشرت، وذلك بسبب كيفية تقديمه ولما قاله. ليس فيه هوامش أو اقتباسات، لا يحتوي على رياضيات تقريباً، ولا يذكر أي عمل أثر به أو سبقه، ولم يقر إلا بمساعدة شخص واحد، وهو زميل في مكتب تسجيل الاختراعات يدعى ميشيل بيسو. كتب سي. بي. سنو، قائلاً: «وكان أينشتاين» وصل إلى استنتاجات بالفكر المحض، دون مساعدة، ودون إصغاء إلى آراء الآخرين». وإلى حد مفاجئ، هذا ما فعله بالضبط.

إن معادلته الشهيرة $E = mc^2$ لم تظهر في البحث، ولكنها جاءت في ملحق موجز تبعها بعد بضعة أشهر. وكما ستذكرون من أيام المدرسة، إن E في المعادلة اختصار لكلمة طاقة، أما m فهي اختصار لكلمة كتلة و c^2 فهي مربع سرعة الضوء.

بتعبير مبسّط، ما تقوله المعادلة هو أن الكتلة والطاقة متكافئتان. إنهما شكلان للشيء نفسه: الطاقة هي مادة محررة؛ المادة هي طاقة تنتظر الحدوث. بما أن C^2 (سرعة أوقات الضوء نفسها) هي في الحقيقة عدد ضخم جداً كمية ضخمة بالفعل من الطاقة المقيدة في كل ما هو مادي*.

يمكن ألا تشعر أنك قوي بنحو مميز، ولكن إن كنت راشداً في الحجم العادي، فستحتوي داخل إطارك المتواضع على ما لا يقل عن 7×10^{18} جول من الطاقة الكامنة،

* كيف صارت c رمز سرعة الضوء لا يزال لغزاً، ولكن ديفد بودانيس يقترح أنها ربما جاءت من الكلمة اللاتينية *celeritas* وتعني السرعة. إن قاموس أكسفورد الذي نُشر قبل عقد من نظرية أينشتاين يعترف بـ c على أنها رمز لأشياء كثيرة، من الكربون إلى الجدد، ولكنه لا يذكرها على أنها رمز للضوء أو السرعة.

وهي كافية للانفجار بقوة ثلاثين قنبلة هيدروجينية كبيرة جداً، مفترضين أنك تعرف كيف تحررها وفعالاً ترغب بأن تقوم بذلك. إن كل شيء يمتلك هذا النوع من الطاقة الحبيسة في داخله. ولكننا لسنا جيدين في إخراجها. حتى قنبلة من اليورانيوم الأكثر طاقة في إنتاجنا حتى الآن تطلق أقل من 1% من الطاقة، التي يمكن أن تطلقها فقط لو كنا أكثر حنكة.

شرحت نظرية أينشتاين -بالإضافة إلى أمور أخرى كثيرة- كيفية عمل الإشعاع: كيف تستطيع كتلة من اليورانيوم أن تطلق جداول مستمرة من الطاقة العالية المستوى دون أن تذوب كقطعة ثلج. (يمكنها فعل ذلك عبر تحويل المادة إلى طاقة بشكل كبير بما يكفي من خلال $E = mc^2$). شرحت النظرية كيف يمكن أن تحترق النجوم لبلايين الأعوام دون أن ينتهي وقودها. (كذا). بشخطة قلم، وفي صيغة بسيطة، منح أينشتاين علماء الجيولوجيا وعلماء الفلك ترف بلايين الأعوام. وقبل كل شيء، أظهرت نظرية النسبية الخاصة أن سرعة الضوء مستمرة ومتفوقة. لا شيء يستطيع أن يسبقها. لقد أدخلت نظريته الضوء (ما من تورية مقصودة هنا) إلى قلب فهمنا لطبيعة الكون. حلت كذلك مشكلة الأثير الساطع عبر إيضاح أنه لم يوجد. لقد منحنا أينشتاين كوناً لا يحتاج إلى هذا الأثير.

إن الفيزيائيين كقاعدة ليسوا مفرطي الانتباه إلى إعلانات موظفي مكتب تسجيل الاختراعات السويسري وهكذا، بالرغم من وفرة الأنباء المفيدة التي قدمتها أبحاث أينشتاين فإنها لم تجذب سوى انتباه قليل. فبعد أن حلت عدداً من أعقد الألغاز في الكون، قدم أينشتاين من أجل الحصول على عمل محاضر في الجامعة ولكن طلبه رُفض، ثم قدم من أجل منصب مدرس في ثانوية لكن طلبه رُفض أيضاً. وهكذا عاد إلى عمله كتقني من الدرجة الثالثة، ولكنه واصل التفكير بالطبع. ذلك أنه لم ينته بعد.

حين سأل الشاعر بول فاليري مرة أينشتاين إن كان يحتفظ بدفتر لتسجيل أفكاره، نظر إليه أينشتاين بدهشة خفيفة ولكنها أصيلة. وأجاب: «آه، هذا غير ضروري. نادراً ما أحمل دفترًا». ولكنه حين حصل على واحد كان جيداً. كانت فكرة أينشتاين اللاحقة هي أعظم فكرة سبق أن خطرت لأحد، والواقع أنها كانت الأعظم، بحسب

بورس وموتز وويفر في كتابهما الجيد الذي يؤرخ للعلم الذري. قالوا: «كما أنها من إبداع ذهن واحد، فهي دون شك أعلى إنجاز فكري في تاريخ البشرية»، وهذا أفضل إطرء يمكن الحصول عليه.

وفي 1907، أو ما يقارب ذلك، قيل أحياناً: إن ألبرت أينشتاين رأى عاملاً يسقط عن السطح وبدأ يفكر بالجاذبية. للأسف، وعلى غرار كثير من القصص الجيدة تبدو هذه وكأنها مشكوك في صحتها. فبحسب أينشتاين نفسه، كان يجلس على كرسي حين خطرت له مشكلة الجاذبية.

والواقع أن ما خطر في ذهن أينشتاين هو شيء أقرب إلى بداية حل لمشكلة الجاذبية، بما أنه كان واضحاً له من البداية أن الشيء الوحيد الناقص في نظرية النسبية هو الجاذبية. ما كان «خاصاً» حيال النظرية هو أنها تعاملت مع أمور تتحرك دون عقبات. ولكن ما الذي يحدث حين يصادف شيء متحرك ألا وهو الضوء عائقاً كالجاذبية؟ كانت هذه مسألة شغلت أفكاره في معظم العقد اللاحق وقادت في بداية 1917 إلى نشر بحث بعنوان «اعتبارات كونية حول نظرية النسبية الخاصة». كانت نظرية النسبية الخاصة لعام 1905 عملاً مهماً وعميقاً، بالطبع؛ ولكن، كما قال سي. بي. سنومرة، لو أن أينشتاين لم يفكر بها لكان قد فعل ذلك شخص آخر، على الأرجح في غضون خمس سنوات؛ فقد كانت هذه فكرة تنتظر الحدوث. ولكن نظرية النسبية العامة كانت شيئاً آخر تماماً. وقال سنو في 1979: «من دونها، لكان من المحتمل أننا ما نزال نتنظر النظرية اليوم».

بغليونه، وطريقته اللطيفة الحبية وشعره المكهرب، كان أينشتاين شخصاً رائعاً، بحيث لم يبقَ غامضاً بشكل مستمر. وفي 1919 - حين وضعت الحرب أوزارها - اكتشفه العالم فجأة. وتقريباً في الحال حصلت نظريته في النسبية على شهرة بأنه من المستحيل على الشخص العادي أن يفهمها. لم تتوضح المسائل - كما يشير ديفد بودانيس في كتابه الممتاز $E = mc^2$ - حين قررت النيويورك تايمز أن تشر قصة، ولأسباب أثارت الدهشة أرسلت مراسل الصحيفة لرياضة الجولف، هنري كراوتش، للقيام بالمقابلة.

لم يكن كراوتش عميقاً، وأخطأ في كل شيء تقريباً. وكان من الأخطاء الأكثر فداحة في تقريره الجزم، بأن أينشتاين عثر على ناشر جريء بما يكفي؛ كي ينشر كتاباً لا يستطيع إلا اثنا عشر شخصاً «في العالم فحسب أن يفهموه». لم يكن هناك كتاب كهذا، أو ناشر كهذا، ولا دائرة من الرجال المتعلمين كهذه، ولكن الفكرة انتشرت بأي حال. وحالاً اختزل عدد الأشخاص الذين يستطيعون فهم النسبية إلى أكثر من ذلك في المخيلة الشعبية. ويجب أن يُقال: إن المؤسسة العلمية، فعلت القليل؛ كي تزعج هذه الأسطورة.

حين سأل صحفي عالم الفلك البريطاني السير آرثر إندغتون: إن كان صحيحاً أنه كان أحد الأشخاص الثلاثة في العالم، الذين يستطيعون فهم نظرية النسبية لأينشتاين، فكّر إندغتون لحظة بعمق وأجاب: «أنا أحاول أن أفكر من هو الشخص الثالث». في الحقيقة، إن المشكلة مع النسبية لم تكن أنها شملت كثيراً من المعادلات التفاضلية، وتحولات لورينتز ورياضيات أخرى معقدة بالرغم من أنها فعلت ذلك، حتى أينشتاين، كان يحتاج إلى المساعدة في بعض منها، بل إنها كانت تماماً غير حدسية بنحو كامل.

ما تقوله النسبية في الجوهر هو أن الزمان والمكان غير مطلقين، وإنما نسبيان لكل من الراصد والشيء الذي يُرصد، وكلّما تحرك المرء بنحو أسرع كلما أصبحت هذه التأثيرات أكثر وضوحاً. لا نستطيع أبداً أن نسرّع أنفسنا إلى سرعة الضوء، وكلما حاولنا نجد أكبر (كلما تحركنا بسرعة أكبر) كلما صرنا أكثر تشوّهاً، نسبياً لراصد خارجي.

حاول الذين يجعلون العلم جماهيرياً أن يستتبوا في الحال طرقاً لجعل هذه المفهومات متاحة لفهم الجمهور الأوسع. كانت إحدى أكثر المحاولات نجاحاً تجارياً على الأقل هي كتاب ألف باء النسبية، الذي ألفه الرياضي والفيلسوف برتراند رسل. وفي هذا الكتاب وُظف رسل صورة استخدمت مرات كثيرة منذ ذلك الوقت. طلب من القارئ أن يتصور قطاراً طوله 100 ياردة يتحرك بنسبة 60% من سرعة الضوء. بالنسبة لشخص يقف على منصة ويراقبه وهو يمرّ، سيظهر القطار على أنه بطول 80 ياردة فقط وكل شيء فيه سيبدو مضغوطاً بنحو مشابه. إذا استطعنا سماع

المسافرين في القطار يتحدثون، فستبدو أصواتهم مجمعة وضعيفة، كشريط مشغل بسرعة بطيئة جداً، وستبدو حركاتهم بنحو مشابه غير رشيقة. حتى الساعات في القطار ستبدو كأنها تمر في أربعة أخماس سرعتها الطبيعية.

على أي حال وهنا الأمر لن يمتلك ركاب القطار إحساساً بهذه التشويشات. بالنسبة لهم، كل شيء في القطار سيبدو طبيعياً تماماً. أما نحن الذين على المنصة فهم الذين سيبدون مضغوطين بنحو غريب وبطيئين. وكل هذا يتعلق -كما ترون- بموقعكم بالنسبة إلى الشيء المتحرك.

يحدث هذا التأثير فعلياً في كل مرة تتحركون فيها. طيروا عبر الولايات المتحدة وستزلون من الطائرة أصغر بجزء من واحد كوينزليون من الثانية من أولئك المتروكين في الخلف. حتى حين تسيرون عبر الغرفة ستبدلون بنحو ضئيل جداً تجربتكم الخاصة في الزمان والمكان. فقد حُسب أن كرة قاعدة ترمى بسرعة 160 كيلومتراً في الساعة سوف تلتقط 0.0000000000002 غرام من الكتلة في طريقها إلى الهدف. وهكذا فإن تأثيرات النسبية حقيقية وتم قياسها. والمشكلة هي أن تغييرات كهذه صغيرة جداً، بحيث لا تبدو مهمة لنا، لكنها مسائل مهمة بالنسبة لأمر أخرى في الكون.

وهكذا إذا بدت أفكار النسبية غريبة، فإن هذا يعود فقط إلى أننا لا نجرّب هذه الأنواع من التفاعلات في الحياة العادية. على أي حال، لنعد إلى بودانيس مرة ثانية. نقابل جميعنا أنواعاً أخرى من النسبية -على سبيل المثال- بخصوص الصوت. إذا كنت في حديقة وكان هناك أحد يعزف موسيقى مزعجة، فأنت تعرف أنك إذا انتقلت إلى بقعة أبعد فإن الموسيقى تصبح أخف بالطبع، وهذا يعني أن موقعك بالنسبة لها قد تغير. بالنسبة لشيء صغير جداً وبليد بحيث لا يستطيع أن يقوم بهذه التجربة لنقل سلحفاة قد تكون غير معقولة فكرة أن صندوقاً موسيقياً يمكن أن يبدو لراصدين، كأنه ينتج لحنين مختلفين من الموسيقى في آن واحد.

إن الأكثر تحدياً ولاحدسية من كل المفهومات في نظرية النسبية هو فكرة أن الزمان جزء من المكان. تميل غريزتنا إلى عد الزمان أبدياً ومطلقاً وثابتاً؛ ونعتقد أن لا شيء

يستطيع أن يزعم ثباته. وفي الحقيقة، وبحسب آينشتاين، إن الزمن متنوع ومتغير ودائماً له شكل. إنه مقيد «متربط داخلياً بنحو لا يمكن فصله»، كما عبر ستيفن هوكينغ مع الأبعاد الثلاثة للمكان في بعد مثير للفضول يُدعى (الزمكان).

يُشرح الزمكان عادة عبر الطلب منك أن تتخيل شيئاً مستويماً لكنه مطواع، أو فرشاة، أو قطعة من المطاط، يستقر عليها شيء دائري ثقيل، ككرة حديدية. إن وزن الكرة الحديدية يسبب تمدد المادة التي يستقر عليها فترخي قليلاً. وهذا متناظر تقريباً مع التأثير الذي يحدثه شيء كبير كالشمس (الكرة الحديدية) في الزمكان (المادة): إنها تمدده وتحنيه وتغلّفه. الآن، إذا دحرجت كرة أصغر عبر الورقة، فإنها تحاول الانطلاق في خط مستقيم كما تقتضي قوانين نيوتن الخاصة بالحركة، ولكن حين تقترب من الشيء الكبير ومنحدر النسيج المرثخي، فإنها تتحدر نحو الأسفل مشدودة بنحو يتعدّر اجتنابه إلى الشيء الأضخم. هذه هي الجاذبية: نتاج انعطاف الزمكان.

إن كل ما له كتلة يخلق قليلاً من الانخفاض (الضعف) في نسيج الكون. وهكذا فإن الكون - كما عبر دينيس أوفرباي - هو «الفرشة المرثخية المطلقة». والجاذبية - في هذا المنظور - لم تعد شيئاً كنتيجة: «ليست قوة وإنما نتاج فرعي للزمكان المنحرف»، كما عبر عالم الفيزياء ميشيو كاكو، الذي تابع القول: «بمعنى ما، الجاذبية لا توجد؛ ما يحرك الكواكب والنجوم هو تشوّه المكان والزمان».

إن مثال الفرشة المرثخية يستطيع أن يأخذنا فقط بعيداً؛ لأنه لا يستطيع أن يدمج تأثير الزمن. ولكن عندئذ، تستطيع أدمغتنا أن تأخذنا فقط حتى الآن؛ لأنه تقريباً من المستحيل تصوّر بُعد يضمّ ثلاثة أجزاء مكان إلى جزء زمن واحد، وكله متشابك كخيوط في نسيج مربع النقش. على أي حال، أعتقد أننا نستطيع أن نتفق أن هذه كانت فكرة كبيرة بنحو مزعج بالنسبة لشاب يحدق من نافذة مكتب تسجيل الاختراعات في عاصمة سويسرا.

اقترحت نظرية النسبية لآينشتاين - بين أمور أخرى كثيرة - أن الكون إما هو يتمدد وإما هو يتقلص. ولكن آينشتاين لم يكن عالماً بالكوزمولوجيا وقبل الحكمة السائدة

بأن الكون ثابت وأبدي. أدخل في معادلاته بنحو انفعالي تقريباً شيئاً يدعى الثابت الكوني، الذي وازن بنحو اعتباري تأثيرات الجاذبية، خادماً كنوع من زر التوقف الرياضي. إن الكتب التي تتحدث عن تاريخ العلم تغفر لأينشتاين دوماً هذا الخطأ، ولكنه كان في الواقع قطعة من العلم مخيفة حقاً وكان يعرفها. دعاها: «الخطأ الفادح في حياتي».

في الوقت الذي كان فيه أينشتاين يضم ثابتاً كونياً إلى نظريته، كان هناك في مرصد لويل في أريزونا عالم فلك يتمتع باسم بيمجرى مبهج هو فيستو سليفر (كان في الحقيقة من إنديانا)، وكان يقوم بقراءات طيفية للنجوم البعيدة ويكتشف أنها تبدو وكأنها تتحرك بعيداً عنا. لم يكن الكون ثابتاً. فالنجوم التي رصدها سليفر أبدت إشارات لا تخطئ لما يسمى بـ «إزاحة دوبلر»: كالصوت المميز المتطاوّل الذي تصدره السيارات حين تمر بسرعة على مسار سباق*. تطبق الظاهرة أيضاً على الضوء، وفي حالة تراجع المجرات يعرف هذا باسم الانزياح الأحمر** (لأن الضوء الذي يتحرك بسرعة بعيداً عنا ينزاح إلى الأحمر في نهاية الطيف؛ مقترباً من انزياحات الضوء إلى الأزرق).

كان سليفر أول من لاحظ هذا التأثير في الضوء وأدرك أهميته الكامنة لفهم حركات الكون. ولسوء الحظ، لا أحد لاحظه كثيراً. فقد كان مرصد لويل - كما يمكن أن تتذكروا - مكاناً غريباً بسبب هوس برسيفال لويل بالقنوات المريخية، التي جعلته في العقد الأول من القرن العشرين قاعدة أمامية للمسعى الفلكي. لم يكن سليفر مطلعاً على نظرية النسبية لأينشتاين وكان العالم غير مدرك بنحو مساوٍ لسليفر. وهكذا فإن اكتشافه لم يكن له تأثير.

* سمي على اسم جوهان كريستيان دوبلر، العالم النمساوي، الذي كان أول من لاحظ التأثير في 1842. فبنحو موجز، ما يحدث هو أن شيئاً يتحرك يقترب من شيء ثابت، فإنها أمواجه الصوتية تصبح أكثر تردداً وهي تحتشد إزاء أي أداء تتلقاها (نقل أذنك)، تماماً كما تتوقع من أي شيء يُدفع من الخلف نحو شيء ثابت. هذا التردد يدركه المستمع على أنه نوع من الصوت المتطاوّل (البي). وفيما يمر مصدر الصوت، فإن موجات الصوت تنتشر وتطول، جاعلة الإيقاع يهبط فجأة (اليم).

** انزياح الخطوط الطيفية لبعض النجوم والمجرات نحو اللون الأحمر، وذلك من جرّاء تباعد تلك النجوم والمجرات عن الأرض. المترجم.

سيحظى بالمجد بدلاً من ذلك كتلة ضخمة من الأنانية تدعى إدوين هبل. ولد هبل في 1889، بعد عشر سنوات من ولادة أينشتاين، في بلدة صغيرة في ولاية ميسوري على حافة الأوزاركس Ozarks وترعرع هناك في (ويتن، إيلينوي)، وهي ضاحية في شيكاغو. كان والده مدير ضمان ناجحاً، ولهذا كانت حياته مريحة دوماً، وتمتّع إدوين بثروة من العطايا الجسدية، أيضاً. كان رياضياً قوياً وموهوباً، و ساحراً وذكياً وجميل المنظر بنحو كبير. كان «أنيقاً بشكل معيب تقريباً»، كما وصفه وليم هـ. كوبر، ودعاه معجب آخر بـ«أدونيس». وكما يروي عن نفسه، أدخل في سيرة حياته أعمالاً جسورة متواصلة كإنقاذ السباحين الغارقين، وقيادة الرجال الخائفين إلى الأمان عبر ساحات المعركة في فرنسا، مزعجاً أبطال العالم في الملاكمة بضربات قاضية في جولات العرض. بدا كل هذا جيداً بحيث تم تصديقه. وبالإضافة إلى كل مواهبه، كان هبل كاذباً كبيراً أيضاً.

وهذا أكثر من غريب، ذلك أن حياة هبل كانت مليئة من سن مبكرة بمستوى من التميز الأصيل، الذي كان أحياناً ذهبياً بشكل يدعو إلى السخرية. ففي مسابقة في الثانية في 1906، فاز بالقفز العالي، وفي رمي الكرة الحديدية، والقرص، ورمي المطرقة، والقفزة العالية وقوفاً والقفزة العالية ركضاً، وكان في فريق البدل للفريق الفائز. وكان الثالث في القفز الطويل. وفي العام نفسه، سجل رقماً قياسياً في ولاية إيلينوي في القفز المرتفع.

كان بارعاً في البحث بنحو مساوٍ، ولم تواجهه مشكلة في الحصول على قبول جامعي لدراسة الفيزياء وعلم الفلك في جامعة شيكاغو (حيث -بالمصادفة- كان رئيس القسم آنذاك ألبرت متشلسون). وقد اختير هناك؛ كي يكون واحداً من باحثي رودس الأوائل في أكسفورد. وعلى ما يبدو قلبت رأسه ثلاثة أعوام من الحياة الإنكليزية، ذلك أنه عاد إلى ويتون في 1913 يعتمر قبعة، ويدخن الغليون ويتحدث بلكنة جهورية مميزة ليست إنكليزية تماماً، ولكنها ليست غير إنكليزية تماماً بقيت معه طوال حياته. وبالرغم من أنه زعم فيما بعد أنه أمضى معظم العقد الثاني من القرن يمارس القانون في كنتكي، فإنه عمل في الحقيقة كمدرس في ثانوية ومدرّب كرة سلة في نيو ألبراني، وإنديانا، قبل أن يحصل

متأخراً على شهادة الدكتوراه ويخدم في الجيش لمدة وجيزة. (وصل إلى فرنسا قبل شهر من الهدنة ومن المؤكد أنه لم يسمع طلقة نارية واحدة أطلقت في حالة غضب).

وفي 1919 - وقد بلغ الثلاثين من العمر - انتقل إلى كاليفورنيا وحصل على منصب في مرصد جبل ولسون قرب لوس أنجلوس. وبسرعة - وبنحو أكثر من مفاجئ بقليل - أصبح عالم الفلك الأبرز في القرن العشرين.

يستحق الأمر أن نتوقف قليلاً؛ كي نفكر كم كان القليل معروفاً عن الكون في هذا المكان. يعتقد علماء الفلك اليوم أن هناك على الأرجح 140 بليون مجرة في الكون المرئي. هذا عدد ضخم، أكبر بكثير من مجرد القول: إنه سيقتودك إلى الافتراض. لو كانت المجرات بازلاء مجمدة، لكانت كافية لملء مدرج كبير، ولتقل حديقة بوسطن القديمة أو قاعة ألبرت الملكية. (وقد حسب ذلك عالم فيزياء فلكية يدعى بروس غريغوري). في 1919، حين ركز هبل تفكيره على العدسة، كان عدد المجرات المعروفة لنا واحداً: الدرب اللبنيّة. اعتقد أن كل شيء آخر هو إما جزء من الدرب اللبنيّة أو غاز من الغازات المحيطة. شرح هبل بسرعة خطأ ذلك الاعتقاد.

في العقد اللاحق، عالج هبل اثنين من أهم الأسئلة في الكون: كم عمره، وكم حجمه؟ ومن أجل الإجابة عن السؤالين من الضروري معرفة أمرين: كم تبعد مجرات معينة وكم سرعة طيرانها عنا (ما يُعرف باسم سرعتها الانسحابية). إن الانزياح الأحمر يقدم السرعة التي تنسحب بها المجرات، ولكنه لا يخبرنا مسافة البعد التي تبدأ بها. ذلك أننا بحاجة إلى ما يدعى بـ «الشموع القياسية»^{*}، نجوم يمكن أن يُحسب تألقها بنحو موثوق ويُستخدم على أنه نقاط ارتكاز لقياس التألق (ومن هنا المسافة النسبية) لنجوم أخرى.

حالف هبل الحظ بسرعة بعد أن استنتجت امرأة بارعة اسمها هنرييتا سوان ليفت طريقة للعثور على هذه النجوم. عملت ليفت في مرصد كلية جامعة هارفارد بوصفها حاسوباً، كما كانت تُعرف. وكانت «الحواسيب» تمضي حياتها في دراسة ألواح الصور الفوتوغرافية للنجوم والقيام بالحسابات، ومن هنا جاء الاسم. كان عملاً أكثر مشقة

* وحدات لقياس شدة التألق. المترجم.

بقليل لو كان لها اسم آخر، ولكنها كانت قريبة كما بوسع النساء الاقتراب من علم الفلك الحقيقي في هارفارد أو بالفعل، في أي مكان آخر في تلك الأيام. وبالرغم من أن النظام غير عادل فإنه امتلك فوائد غير متوقعة: كان هذا يعني أن نصف العقول الأروع المتاحة وُجّهت إلى العمل الذي كان سيجذب القليل من الانتباه والتأمل وضمن أن النساء صرن يستوعبن البنية الرائعة للكون، التي فاتت غالباً النظراء من الذكور.

استخدمت أحد «كمبيوترات هارفرد»، آني جمب كانون، معرفتها بالنجوم كي تخترع نسقاً من التصنيفات النجمية ما يزال يُستخدم حتى الآن. ولكن إسهام ليفت كان أكثر عمقاً. لاحظت أن نمطاً من النجوم المعروف باسم النجوم القيفاوية* (على اسم كوكبة قيفاوس، حيث حُدّد الأول) تبض بإيقاع منتظم؛ نوع من خفقان القلب النجمي. كانت النجوم القيفاوية نادرة، ولكن واحداً منها على الأقل معروف جيداً لمعظمتنا. إن نجم القطب هو قيفاوي.

نعرف الآن أن النجوم القيفاوية تبض؛ لأنها نجوم كبيرة عبرت «طور تعاقبها الرئيس» - في اصطلاحات علماء الفلك - وصارت عمالقة حمراً. إن كيمياء العمالقة الحمر ثقيلة جداً بالنسبة لأهدافنا هنا (تتطلب فهماً لمواصفات ذرات الهليوم المؤيّن بنحوفردى «المحوّلة إلى أيونات»، بين أمور أخرى كثيرة)، ولكن إذا عبرنا ببساطة فإن هذا يعني أنها تحرق وقودها المتبقي بطريقة تنتج تالقاً وبهوتاً إيقاعيين وموثوقين جداً. تجلّت عبقرية ليفت في إدراكها أننا إذا قارنا بين الأحجام النسبية للنجوم القيفاوية في نقاط مختلفة من السماء، نستطيع أن نستنتج مواضعها عن طريق العلاقة بين بعضها. يمكن أن تُستخدم على أنها شموع للقياس، وهذا مصطلح نحنته هي ولا يزال شائعاً. لم يقدم المنهج إلا المسافات النسبية، مفضلاً المسافات المطلقة، ولكن كانت هذه أول مرة ابتكر فيها أحد طريقة مفيدة لقياس الكون الضخم.

(ومن أجل أن نضع هذه الاستبصارات في منظور، ربما كان من الجدير بالذكر أنه في الوقت الذي كانت فيه ليفت وكانون تستنتجان مواصفات جوهرية للكون من لطخ نجوم بعيدة على ألواح فوتوغرافية، كان عالم الفلك في هارفارد وليم ه. بيكرينغ

* أي من مجموعة من النجوم المتغيرة التي يُنسب تغير لمعانها إلى تقلص حجمها وتمدده على نحو متعاقب.

-الذي كان بوسعه أن ينظر عبر التلسكوب الذي من الصنف الأول كلما أراد- كان يطوّر نظريته الرشيّمة بأن البقع السوداء التي على القمر ناجمة عن حشود حشرات تهاجر موسميّاً.

مازجاً عصا ليفت اليارديّة بالانزيّاحات الحمراء الملائمة الخاصة بفيستو سليفر، بدأ هبل يقيس نقاطاً منتقاة في الفضاء بعين جديدة. وفي 1923 أظهر أن نفخة من لعاب الشمس في كوكبة أندرو ميّدا يعرف باسم إم³¹ ليس سحابة غازية مطلقاً، وإنما علامة نجوم، ومجرة، تبعد ثلاث مئة سنة ضوئية في الجانب الآخر، وتبعد على الأقلّ تسع مئة ألف سنة ضوئية. كان الكون أرحب، أرحب بكثير مما سبق وافترض أي شخص. وفي 1924 ألف هبل بحثاً مهماً، بعنوان «النجوم القياضية في المجرة اللولبية»، مظهراً أن الكون لا يتألف من الدرب اللبّنية فحسب؛ بل من كثير من المجرات المستقلة: «جزر أكوان»، كثير منها أكبر من الدرب اللبّنية وأكثر بعداً.

كان هذا الاكتشاف وحده سيضمن الشهرة لهبل، ولكنه استدار الآن إلى مسألة استنتاج كم هو الكون أكبر، وقام حتى باكتشاف أكثر قوة. بدأ هبل يقيس أطياف المجرات البعيدة، وكان هذا هو العمل الذي شرع به سليفر في أريزونا. مستخدماً تلسكوب هوكر الجديد في جبل ولسون، الذي بطول 100 إنش وبعض الاستنتاجات الذكية، اكتشف في أوائل الثلاثينيات أن جميع المجرات التي في السماء (عدا عنقودنا المحلي) تتحرك بعيداً عنّا. فضلاً عن ذلك، إن سرعتها وبعدها متناسبان تقريباً: فكلما ابتعدت المجرة، كلما زادت سرعة حركتها.

كان هذا مدهشاً بحق. كان الكون يتمدّد بسرعة في جميع الاتجاهات. ولم يحتج الأمر إلى كمية كبيرة من التخيل للقراءة نحو الخلف انطلاقاً من هذا، وإدراك أنه بالآتي يجب أن يكون قد بدأ من نقطة مركزية ما. بعيداً عن الفراغ المستقر والثابت والأبدي الذي افترضه الجميع دوماً، كان هذا كوناً له بداية.

إن الأعجوبة - كما قال ستيفن هوكينغ - هي أنه لا أحد اكتشف فكرة تمدد الكون من قبل. كون الكون ثابتاً كان مبدأً جلياً لنيوتن وجميع علماء الفلك المفكرين، وسينهار

على نفسه. كانت هناك أيضاً مشكلة أنه إذا كانت النجوم تشتعل بنحو دائم في كون ثابت، فإنها ستسبب ارتفاع حرارة لا يُحتمل، وهي بالتأكيد حرارة عالية جداً بالنسبة لأشباهنا. لقد حلّ الكون المتمدّد كثيراً من هذه الأمور بجرّة قلم.

كان هبل راصداً أكثر مما هو مفكر ولم يدرك على الفور المعاني الضمنية لما اكتشفه. ويعود هذا في جزء منه إلى أنه كان يجهل بنحو مخيف نظرية النسبية، التي أبدعها أينشتاين. كان هذا فاقعاً، لسبب واحد؛ لأن أينشتاين ونظريته عمت شهرتهما العالم. فضلاً عن ذلك، قبل ألبرت متشلسون -الذي كان آنذاك في أعوامه الأخيرة إلا أنه كان الأكثر تيقظاً وتقديراً بين العلماء- وظيفة في جبل ولسون؛ كي يقيس سرعة الضوء بمقياس التداخل الذي اخترعه، ومن المؤكّد أنه ذكر له إمكانية تطبيق نظرية أينشتاين على اكتشافاته.

على أي حال، أخفق هبل في اغتنام الفرصة النظرية حين سنحت. بدلاً من ذلك، ترك الأمر لباحث وقس بلجيكي (يحمل الدكتوراه من الإم أي تي) يدعى جورج ليميتير Georges Lemaitre كي يجمع الخيطين في نظريته عن «الألعاب النارية»، التي اقترحت أن الكون بدأ مثل نقطة هندسية، مثل «ذرة أوليّة» انفجرت إلى العظمة وكانت تتحرك منفصلة عن بعضها منذ ذلك الوقت. كانت فكرة توقعت المفهوم الحديث عن الانفجار العظيم، ولكنها كانت سابقة لزمانها، بحيث إنّ ليميتير نادراً ما حصل على أكثر من الجملة أو الجملتين اللتين منحاهما له هنا. واحتاج العالم إلى عقود إضافية، وإلى الاكتشاف غير المقصود للإشعاع الخلفي الكوني، الذي قام به بنزياس وولسون في هوائيها الذي أصدر هسيساً في نيوجرسي، قبل أن ينتقل الانفجار الكوني من فكرة ممتعة إلى نظرية أصيلة.

لم يكن هبل ولا أينشتاين جزءاً كبيراً من تلك القصة الكبيرة. وبالرغم من أنه لم يحضر القصة أحد في ذلك الوقت، فإن الرجلين قد أنجزا كثيراً.

في 1936 نشر هبل كتاباً شعبياً بعنوان (مملكة المجرات)، شرح فيه بأسلوب مسلّم إنجازاته المعتمدة. وأظهر في هذا الكتاب أخيراً أنه أطلع على نظرية أينشتاين، إلى نقطة ما، على أي حال: لم يخصص لها إلا صفحتين من قرابة 200 صفحة.

توفي هبل إثر نوبة قلبية في 1953. وكانت تنتظره غرابة صغيرة واحدة. فلأسباب يكتنفها الغموض، رفضت زوجته إعداد جنازة له ولم تكشف أبداً ما فعلته بجثته. بعد نصف قرن لا يزال مكان جثة أعظم عالم فلك مجهولاً. يجب أن تنظروا إلى السماء وإلى تلسكوب هبل الفضائي الذي أطلق في عام 1990 تخليداً لذكراه.



obeykandil.com

obeikandi.com

الفصل التاسع

الذرة الجبارة

فيما كان آينشتاين وهبل يشرحان البنية الضخمة للكون، كان آخرون يصارعون لفهم شيء أكثر قرباً: الذرة الصغيرة والغامضة على الدوام.

قال عالم الفيزياء العظيم الذي من كالتيك Caltech رتشارد فينمان في إحدى المرات: إذا أردتم اختزال التاريخ العلمي إلى مقولة واحدة مهمة فستكون: «إن جميع الأشياء مصنوعة من الذرة». إنها في جميع الأمكنة وتؤلف كل شيء. انظروا حولكم. كل شيء ذرات. ليس الأشياء الصلبة كالجدران والطاولات والمقاعد فحسب، وإنما الجو الذي في الداخل. وهي هناك في أعداد لا تستطيعون إحصاءها.

إن الترتيب الأساسي العامل للذرات هو الجزيء (وهو كلمة مشتقة من اللاتينية تعني «الكتلة الصغيرة»). ويتألف الجزيء من ذرتين أو أكثر تعملان في ترتيب ثابت تقريباً: أضف ذرتين من الهيدروجين إلى ذرة أوكسجين وستحصل على جزيء ماء. ويميل الكيميائيون إلى التفكير من زاوية الجزيئات لا العناصر، كما يفكر الكتاب من زاوية الكلمات لا الأحرف، وهكذا فهم يحصون الجزيئات وهذه كثيرة جداً في أقل تقدير. فعلى مستوى البحر، وفي درجة حرارة تبلغ الصفر على المقياس السنترادي، إن سنتمتراً مكعباً من الهواء (أي فراغ بحجم قطعة سكر) يحتوي على 45 بليون جزيء. والجزيئات موجودة في كل سنتمتر مكعب ترونه حولكم. فكروا كم هناك من السنتمترات المكعبة في العالم خارج نافذتكم، وكم سيحتاج الأمر إلى مكعبات سكر لملء ذلك المنظر. ثم فكروا كم سيحتاج الأمر إلى بناء كون. إن الذرات هي -باختصار- وافرة جداً.

إن الذرات مستمرة بشكل يفوق الخيال. ولأن حياتها طويلة، فإنها في الواقع تنتشر حولنا. فكل ذرة تمتلكونها مرت بالتأكد عبر العديد من النجوم، وكانت جزءاً من

ملايين من المتعضيات في طريقها لتصبح أنتم. فتحن غزيرون جداً على الصعيد الذري ويعاد تصنيعنا بقوة عند الموت بحيث إن عدداً كبيراً من ذراتنا بليون لكل منا، كما قيل كان على الأرجح مرة لشكسبير. وجاءت بلايين أخرى من بوذا وجنكيز خان وبيتهوفن، وأي شخصية تاريخية تهتم بتسميتها. (وعلى ما يبدو يجب أن تكون الشخصيات تاريخية بما أن الأمر يستغرق عدة عقود بالنسبة للذرات؛ كي تُوزَّع بنحو كامل؛ ومهما رغبت بالأمر، فإنك لست متوحداً مع ألفيس بريسلي).

وهكذا فإننا جميعاً تجسّدات جديدة، بالرغم من أن حياتنا قصيرة. فحين نموت، تتفرّق ذراتنا وتنتقل للعثور على استخدامات جديدة في مكان آخر كجزء من ورقة أو كائن بشري آخر أو قطرة ندى. والذرات نفسها -على أي حال- تستمر عملياً إلى الأبد. ولا أحد يعرف بالفعل كم يمكن أن تحيا ذرة، ولكن بحسب مارتن ريس فإنها تحيا على الأرجح 10^{35} أعوام، وهذا رقم كبير جداً بحيث إنني سعيد للتعبير عنه بترميز رياضي. فضلاً عن ذلك، إن الذرات صغيرة؛ صغيرة جداً بالفعل. إن نصف مليون منها إذا تراصف إلى جانب بعضه بعضاً يستطيع أن يخفي خلف شعرة. وعلى ميزان كهذا من المستحيل تخيل ذرة وحيدة جوهرياً، ولكننا نستطيع أن نحاول بالطبع.

ابدؤوا بالمليمتر، الذي هو خط بهذا الطول. تخيلوا الآن أن هذا الخط مقسّم إلى ألف قطعة مساوية. إن كلاً من هذه القطع هو ميكرون*. وهذا هو ميزان المتعضي المجهرى. إن برامسيوم عادي، على سبيل المثال وهو أحادي الخلية يعيش في المياه العذبة يبلغ عرضه نحو 2 ميكرون، 0.002 مليمتر، وهذا حقاً صغير جداً. إذا أردتم أن تروا بأعينكم المجردة هذا الحيوان وهو يسبح في قطرة ماء، فعليكم أن تكبروا هذه القطرة إلى تصبح بعرض 12 متراً. على أي حال، إذا أردتم أن تروا الذرات في القطرة نفسها، فعليكم أن تجعلوا القطرة بعرض 24 كيلومتراً.

بتعبير آخر، توجد الذرات على ميزان من الصغر من نظام آخر تماماً. وللنزول إلى مستوى الذرات، عليك أن تأخذ كلاً من هذه القطع الميكرونية وتقطعها إلى عشرة

* جزء من المليون من المتر. المترجم.

آلاف قطعة أكثر صغراً. هذا هو قياس الذرة: جزء من عشرة ملايين من المليمتر. إن هذه درجة من الصغر تتجاوز مقدرة مخيلاتنا، ولكنكم تستطيعون أن تأخذوا فكرة عن النسب إذا وضعتم في أذهانكم أن ذرة واحدة، هي بالنسبة لخط المليمتر ذاك في الأعلى بسماكة الورقة بالنسبة لارتفاع مبنى الإمبراطورية.

إن الوفرة والاستمرارية المفترضة للذرات هي التي جعلها مفيدة، أما صغرها فيجعل من الصعب رصدها وفهمها. إن إدراك أن الذرات هي هذه الأمور الثلاثة: صغيرة، وافرة، وغير قابلة للتدمير عملياً، وأن جميع الأشياء تُصنع منها، لم يخطر في البداية لأنطوان لوران لافوازييه، كما يمكن أن تتوقعوا، أو حتى لهنري كافندش أو همفري ديفي، وإنما خطرت لصاحبي بريطاني نادرٍ وجيدٍ الثقافة يدعى جون دالتون، تحدثنا عنه في الفصل السابع.

وُلد دالتون في 1766 عند حافة مقاطعة ليك، قرب كوكراموث، لأسرة من النسّاجين الصاحبين الفقراء والمتدينين. (بعد أربع سنوات جاء الشاعر وليم وردزورث إلى العالم في كوكراموث) كان دالتون طالباً ذكياً على نحو استثنائي ومتألقاً جداً، بحيث إنّه في ذلك السن الفتى في الثانية عشرة وُضع تحت مسؤولية المدرسة الصاحبية المحلية. وربما يتحدث هذا عن المدرسة بقدر ما يتحدث عن إدراك دالتون السّبق، ولكن ربما لا: فنحن نعرف من يومياته أنه في هذا الوقت كان يقرأ كتاب المبادئ لنيوتن في أصله اللاتيني بتعبير آخر، كان يتمتع بطبيعة متحدية بنحو مشابه. وفي الخامسة عشرة - وكان ما يزال يدرّس في المدرسة - حصل على عمل في بلدة كندال القريبة، وبعد عقد من هذا انتقل إلى مانشستر حيث نادراً ما غادرها في السنوات الخمسين المتبقية من حياته. وفي مانشستر، صار زوبعة فكرية، وألف الكتب والأبحاث عن موضوعات تتسلسل من علم الأرصاد الجوية إلى النحو. إن عمى الألوان - الذي عانى منه - دعي لوقت طويل باسم الدالتونية بسبب دراساته. لكن كتاباً مهماً بعنوان: منهج جديد لفلسفة الكيمياء الذي نُشر في 1808 هو الذي صنع شهرته.

في هذا الكتاب - وفي فصل قصير مؤلف من خمس صفحات فحسب (من كتاب يتألف من أكثر من 900 صفحة) - تعرّف رجال العلم لأول مرة على الذرات بطريقة

قريبة إلى مفهومهم الحديث. كان استبصار دالتون البسيط هو أنه في جذر المادة كلها ثمة جزيئات مفردة الصغر غير قابلة للاختزال. «نستطيع إدخال كوكب جديد في المنظومة الشمسية أو أن ندمر آخر موجوداً، ولا نستطيع أن ندمر أو نخلق جزيئاً من الهيدروجين» كما قال.

لم تكن فكرة الذرات ولا المصطلح نفسه جديدين تماماً. فقد طور كليهما اليونانيون. وكان إسهام دالتون هو أن يفكر في الأحجام النسبية ومواصفات هذه الذرات وكيف تتلاءم سوية. كان يعرف - على سبيل المثال - أن الهيدروجين هو أخف عنصر، بحيث أعطاه الوزن الذري 1. اعتُقد أيضاً أن الماء يتألف من سبعة أجزاء من الأوكسجين مقابل واحد من الهيدروجين، وهكذا مُنح الأوكسجين الوزن الذري 7. كان قادراً بوسائل كهذه على الوصول إلى الأوزان النسبية للعناصر المعروفة. ولم يكن دائماً مصيباً جداً، إن الوزن الذري للأوكسجين هو في الحقيقة 16، وليس 7 ولكن المبدأ كان صحيحاً ووضع أساساً للكيمياء الحديثة كلها ولكثير من بقية العلم الحديث.

جعل هذا العمل دالتون مشهوراً، بالرغم من أن شهرته كانت شهرة محدودة، على غرار الصاحبى الإنكليزي. ففي 1826، سافر عالم الكيمياء الفرنسي ب.ج. بليتييه P.J. Pelletier إلى مانشستر لمقابلة البطل الذري. توقّع (بليتييه) أن يجده متممًا بحدس مهيب ما، ولكنه دُهِش حين اكتشف أنه يعلم مبادئ الحساب الأولى للفتيان في مدرسة صغيرة في شارع خلفي. وبحسب المؤرخ العلمي ي.ج. هوليارد، تلعثم بليتييه المشوش لدى رؤية الرجل العظيم:

هل لي الشرف بمقابلة السيد دالتون؟ إذ بالكاد صدق عينيه أن عالم الكيمياء ذا الشهرة الأوروبية، كان يعلم فتى مبادئه الأولى الأربعة. «نعم»، قال الصاحبى العملي.

«هل يمكن أن تجلس؛ حتى أوضح هذه الفكرة الحسابية لهذا الفتى؟».

وبالرغم من أن دالتون حاول أن يتجنّب جميع التكريمات، فقد انتُخب في الجمعية الملكية ضد رغباته، وتدفقت عليه الأوسمة ومُنح معاشاً حكومياً جيداً. وحين وافته المنية في 1844، نظر أربعون ألف شخص إلى الكفن وامتد موكب الجنازة ميلين. أما

مدخله في قاموس السيرة الذاتية القومية فهو الأطول، ولا يبذه في طوله بين مداخل علماء القرن التاسع عشر سوى المدخلين الخاصين بدارون وليل.

بعد أن قدم دالتون اقتراحه، بقي فرضياً بشكل كامل طوال قرن، وشكك بعض العلماء البارزين ومنهم عالم الفيزياء الفييني إرنست ماخ Ernest Mach، الذي سجّل له اكتشاف سرعة الصوت بوجود الذرات. «لا يمكن إدراك الذرات بالحواس... إنها أمور خاصة بالفكر»، كما كتب. هكذا كان الارتياح الذي نُظر به إلى وجود الذرات في العالم الناطق بالألمانية خاصة، الذي قيل: إنه أدى دوراً في انتحار عالم الفيزياء النظرية العظيم والمتحمس الذري لودفيغ بولتزمان Ludwig Boltzmann في 1906.

كان آينشتاين هو الذي قدّم الدليل الأول غير القابل للدحض عن وجود الذرات في بحثه المتعلق بالحركة البراونية في 1905، ولكن هذا لم يجذب انتباهاً يذكر، وعلى أي حال كان آينشتاين مستهلكاً من عمله في نظرية النسبية العامة. وهكذا فإن البطل الحقيقي الأول للعصر الذري - هذا إن لم يكن الشخصية الأولى في المشهد - هو إرنست رزفورد.

وُلد رزفورد في 1871 في المباني الخلفية في نيوزلندا لوالدين هاجرا من أسكتلندا؛ كي يزرعا قليلاً من نبات الكتان وينجبا كثيراً من الأولاد (بحسب ستيفن واينبرغ). ولأنه نشأ في جزء بعيد من بلاد بعيدة، كان بعيداً عن الاتجاه السائد للعلم، ولكن في عام 1895 حصل على منحة أخذته إلى مختبر كافندش في جامعة كمبردج، الذي صار أكثر الأماكن أهمية في العالم للعمل في الفيزياء.

كان علماء الفيزياء يحترمون بنحو مشهور العلماء في ميادين أخرى. فحين قامت زوجة عالم الفيزياء النمساوي العظيم ولفانغ بولي بتركة من أجل عالم كيمياء، صُغق غير مصدّق. وقال متعجباً لصديق: «لو أنها تزوجت مصارع ثيران لفهمت الأمر، ولكن كيميائياً...!!».

كان هذا شعوراً سيفهمه رزفورد. فقد قال مرة في سطر استخدم مرات كثيرة منذ ذلك الوقت: «إن العلم هو إما الفيزياء أو جمع الطوايح». وكانت المفارقة أنه حصل على جائزة نوبل في 1908 في الكيمياء وليس في الفيزياء.

كان رزفورد رجلاً محظوظاً وعبقرياً، وكان أكثر حظاً؛ لأنه عاش في وقت كانت فيه الفيزياء والكيمياء مثيرتين جداً ومتطابقتين (هذا ما شعر به). ولكنهما لن يتطابقا أبداً بعد الآن.

وبالرغم من كل نجاحه، لم يكن رزفورد شخصاً متألّقاً وكان سيئاً جداً في الرياضيات. وغالباً في أثناء المحاضرات كان يضيع في معادلاته بحيث كان يتوقف في منتصفها، ويطلب من التلاميذ أن يحلّوها بأنفسهم. وبحسب زميله لوقت طويل جيمس تشادويك - مكتشف النيوترون - لم يكن ذكياً حتى في التجريب. كان عنيداً ومنفتح الذهن. وبدلاً من التألّق كان لديه المكر ونوع من الجسارة. وكان ذهنه، على حد قول كاتب سيرته الذاتية: «يعمل دوماً على تخطي الحدود قدر استطاعته، وتجاوز في هذا معظم الرجال الآخرين». فحين تواجهه مشكلة عسيرة، كان يعمل عليها بجد ويخصص لها وقتاً أطول مما يخصصه لها الجميع، وكان أكثر انفتاحاً على الشروح غير الأرثوذكسية. وحقق فتحه العلمي الأعظم لأنه كان مستعداً لقضاء ساعات طويلة مملة جداً جالساً إلى شاشة يحصي إيماضات الجسيمات ألفاوية؛ كما كانت تُدعى. وكان هذا نوعاً من العمل يُعهد عادة لشخص آخر. كان أول من رأى أنه إذا تمت السيطرة على القوة الكامنة في الذرة، فإنها ستصنع قنابل قوية بما يكفي «لجعل هذا العالم القديم يتلاشى في الدخان».

كان رزفورد كبيراً ومزدهراً على المستوى الفيزيائي، بصوت جعل الجبناء يجفلون. مرة حين قيل لزميل: إن رزفورد كان على وشك صناعة بث إذاعي عبر المحيط الأطلسي، سأل بجفاف: «لماذا استخدام المذياع؟» كان لديه أيضاً كمية كبيرة من الثقة الطيبة. حين قال له أحدهم: إنه يبدو دوماً في أعلى الموجة، أجابه: «حسناً - في النهاية - أنا صنعت الموجة، أليس كذلك؟» وتذكر (سي.بي. سنو) كيف أنه في محل للخياطة في كمبردج، سمع رزفورد يقول: «كل يوم يكبر مقاس خصري وكذلك عقلي».

ولكن كثيراً من المقاس والشهرة كانا ينتظرانه في 1895 حين أمضى وقته في مخبر كافندش*. كانت هذه مدة زاخرة جداً بالأحداث بالنسبة للعلم. ففي عام

* أتى الاسم من آل كافندش الذي انحدر منهم هنري. كان هذا وليم كافندش؛ الدوق السابع لديفونشير، وكان رياضياً موهوباً وبارون فولاذ في إنكلترا الفكتورية. وفي 1870 منح الجامعة 6.300 جنيه إسترليني لبناء مختبر للتجارب.

وصول رزرفورد إلى كمبردج، اكتشف فيلهلم روينتجن أشعة إكس في جامعة وزربورج في ألمانيا؛ في العام اللاحق، اكتشف هنري بكويريل الإشعاعية. وكان مخبر كافندش على وشك الوصول إلى مدة من العظمة. ففي 1897، اكتشف ج.ج. تومسون وزملاؤه الإلكترون هناك، وفي 1911 أنتج هناك (سي.ت.ر. ولسون) فاحص الجزيء الأول (كما سنرى)، وفي 1932 اكتشف جيمس تشادويك النيوترون. وفيما بعد، (في 1953)، اكتشف جيمس واطسون وفرانسيس كريك بنية (DNA) في كافندش.

عمل رزرفورد في البداية على موجات المذياع، حقق بعض التميّز حين نجح في بث إشارة موجزة إلى أبعد من ميل، وكان هذا إنجازاً معقولاً جداً في ذلك الوقت، ولكنه تخلى عن ذلك حين أقنعه زميل أن للمذياع مستقبلاً غير ذي أهمية. في المجمل، وعلى أي حال لم يزدهر رزرفورد في كافندش، وبعد ثلاثة أعوام شعر أنه ضيع وقته هناك، فتولى منصباً في جامعة مجيل في مونتريال، حيث بدأ صعوده الطويل والمطرّد إلى العظمة. وفي الوقت الذي حصل فيه على جائزة نوبل (من أجل «استقصاءات في تحليل العناصر، وكيمياء المواد المشعة»، كما أورد رسمياً) انتقل إلى جامعة مانشستر، وهناك - في الحقيقة - قام بعمله الأكثر أهمية وهو تحديد بنية الذرة وطبيعتها.

كان من المعروف في أوائل القرن العشرين أن الذرات مصنوعة من أجزاء كما بين اكتشاف طومسون للإلكترون، ولكن لم يكن معروفاً كم عدد الأجزاء أو كيف تلاءمت معاً أو الشكل الذي اتخذته. اعتقد بعض علماء الفيزياء أن الذرات يمكن أن تكون مكعبة الشكل؛ لأن المكعبات تجمع سوية بأناقة دون أن تضيّع أي فراغ. أما الصورة الأكثر عمومية - على أي حال - فهي أن الذرة كانت تشبه أكثر كعكة المشمش أو فطيرة الخوخ: شيء كثيف وصلب يحمل شحنة موجبة ولكنه مزوّد بالكروونات ذات شحنات سلبية، على غرار المشمش في الكعكة.

وفي 1910 (وبمساعدة من طالبه هانز جيجر، الذي سيخترع فيما بعد راصد الإشعاع الذي حمل اسمه) قام رزرفورد بإطلاق ذرات الهليوم المؤيّنة، أو جزيئات ألفا، على رقاقة من رقائق الذهب*. بما فاجأ رزرفورد، هو أن الجزيئات ارتدت إلى

* صار جيجر فيما بعد نازياً مخلصاً، وخان دون تردد زملاءه اليهود، وبينهم كثيرون من الذين ساعدوه.

الخلف. كان الأمر كما قال كما لو أنه أطلق قذيفة طولها 15 إنشاً على لوح فارتدت عائدة إلى حضنه. كان من غير المفترض أن يحدث هذا. وبعد تأمل معتبر أدرك أنه لا يمكن أن يكون هناك إلا شرح واحد ممكن: إن الجزيئات التي ارتدت إلى الخلف كانت تضرب شيئاً ما صغيراً وكثيفاً في قلب الذرة، بينما الجزيئات الأخرى أبحرت دون عائق. كانت الذرة - كما أدرك رزرفورد - فضاء فارغاً تقريباً، بنواة كثيفة جداً في مركزها. كان هذا اكتشافاً مجزياً جداً، ولكنه طرح مشكلة فورية. بحسب جميع قوانين الفيزياء التقليدية، يجب من ثم ألا توجد الذرات.

دعونا نتوقف للحظة ونفكر ببنية الذرة كما نعرفها الآن. إن كل ذرة هي مصنوعة من ثلاثة أنواع من الجزيئات الأولية: البروتونات، التي تحتوي على شحنة كهربائية موجبة؛ والإلكترونات، التي تملك شحنة كهربائية سالبة؛ والنيوترونات التي لا تملك أي شحنة. إن البروتونات والنيوترونات موجودة في النواة، بينما الإلكترونات تدور حولها في الخارج. إن عدد البروتونات هو الذي يمنح الذرة هويتها الكيماوية. فذرة بروتون واحد هي ذرة هيدروجين، التي بائتين هي ذرة هليوم، والتي بثلاثة بروتونات هي ذرة لثيوم، وإلى ما هنالك على المقياس. وفي كل مرة تضيف بروتوناً تحصل على عنصر. (لأن عدد البروتونات في ذرة يتوازن دوماً بعدد مساوٍ من الإلكترونات، سترون أحياناً أنه مكتوب أن عدد الإلكترونات هو الذي يحدد عنصراً؛ وهذا يعني الشيء نفسه. إن الطريقة التي سُرح بها الأمر هي هو أن البروتونات تمنح الذرة هويتها، أما الإلكترونات فتمنحها شخصيتها).

لا تؤثر النيوترونات على هوية الذرة، ولكنها تضيف إلى كتلتها. فعدد النيوترونات هو عادة مساوٍ لعدد البروتونات، ولكنه يمكن أن يتنوع زيادة أو نقصاً بنحو ضئيل. أضيفوا أو أنقصوا نيوتروناتاً أو اثنين وتحصلون على نظير. إن المصطلحات التي تسمعون بها تشير إلى تقنيات التأريخ في الأركيولوجيا تشير إلى النظائر كربون 14 على سبيل المثال، التي هي ذرة من الكربون بستة بروتونات وثمانية نيوترونات (و14 هو حاصل جمع الاثنين).

تحتل النيوترونات والبروتونات نواة الذرة. ونواة الذرة صغيرة جداً لا تشكل إلا جزءاً من مليون من بليون من الحجم الكلي للذرة، ولكنها كثيفة بنحو يفوق التصور، بما أنها تحتوي في الواقع على كتلة الذرة كلها. وكما عبر كروبر عن الأمر، إذا ما تم توسيع الذرة إلى حجم كاتدرائية، فإن النواة لن تكون إلا بحجم ذبابة ولكنها ذبابة أثقل بالآلاف المرات من الكاتدرائية. كان هذا الاتساع هذا الفراغ الباهر غير المتوقع هو الذي جعل رزرفورد يحك رأسه في 1910.

لا يزال من المذهل أن نفكر في أن الذرات فضاء فارغ تقريباً، وفي أن الصلابة التي نجرّبها في كل مكان حولنا وهم. فحين يجتمع شيئان في العالم الواقعي غالباً ما تُستخدم كرات البلياردو بوصفها مثلاً للتوضيح، فإنهما في الحقيقة لا يصطدمان. بل كما يشرح تيموثي فيريس: «إن الحقول المشحونة سلبياً للكترتين تدفع بعضها... ولولا شحناتها الكهربائية فإنها تستطيع -على غرار المجرات- أن تمر عبر بعضها دون أن تصاب بأذى». وحين تجلس على كرسي، فأنت في الحقيقة لا تجلس عليه، وإنما ترتفع فوقه بارتفاع أنغستروم (جزء من مئة مليون جزء من السنتيمتر)، فالكتروناتك والكتروناته معارضة بشكل عنيد لأي علاقة حميمية.

إن الصورة التي يتخيّلها الجميع عن الذرة هي إلكترون أو اثنان يطيران حول نواة، كالكواكب التي تدور حول الشمس. ابتكرت الصورة في 1904، وكانت مستندة إلى أكثر من تخمين قام به عالم فيزياء ياباني يدعى هانتارو ناجوكا. إنها صورة مغلوطة، ولكنها استمرت طويلاً. وكما أحب إسحاق أسيموف أن ينيبه: «لقد ألهمت أجيالاً من كتاب قصص الخيال العلمي لإبداع قصص عن عوالم داخل عوالم، تصبح فيها الذرات منظومات شمسية صغيرة مسكونة أو يتبين أن منظوماتنا الشمسية ذرة في خطط أكثر ضخامة». وتستخدم الهيئة الأوروبية للأبحاث النووية حتى الآن صورة ناجوكا شعاراً على موقعها على الإنترنت. وفي الحقيقة -وكما أدرك علماء الفيزياء حالاً- إن الإلكترونات ليست كالكواكب الدائرة مطلقاً، ولكنها تشبه أكثر شفرات المراوح الدائرة، وتملأ كل جزء من الفراغ في مداراتها بنحو متزامن (ولكن بفرق حاسم هو أن شفرات المراوح قد تبدو كأنها في كل مكان في الوقت نفسه؛ أما الإلكترونات فلا).

من المفيد القول: إن كثيراً من هذا فهم في 1910 أو في كثير من السنوات التي أعقبت ذلك. لقد طرح اكتشاف رزرفورد مشكلات فورية ضخمة، ومنها أنه يجب ألا يكون أي إلكترون قادراً على الدوران حول نواة دون أن يتحطم. فبحسب نظرية الديناميكا الحرارية التقليدية إن إلكترونات طائراً يجب أن تنتهي طاقته بسرعة كبيرة في لحظة، أو ما يقارب ذلك ويتجه لولبياً إلى النواة مسبباً نتائج كارثية للاثنين. كان هناك أيضاً مشكلة هي كيف تستطيع البروتونات، بشحناتها الموجبة، أن تجتمع سوية داخل النواة دون أن تتجبر نفسها وبقية الذرة. ومن الواضح أن ما يحدث في عالم ما هو متناهي الصغر ليس محكوماً بالقوانين، التي تُطبق في عالم ما هو كبير كما نتوقع.

وعندما بدأ علماء الفيزياء يغيصون في هذا الحقل الذوذي، أدركوا أنه لم يكن مختلفاً عن أي شيء نعرفه فحسب، بل مختلف عن أي شيء سبق وتم تصوره. وقد قال رتشارد فينمان مرة: «لأن السلوك الذري مختلف عن التجربة العادية، من الصعب جداً أن نعتاد عليه ويبدو فريداً وغامضاً للجميع؛ لعالم الفيزياء المبتدئ وللمجرب في آن واحد». حين قام فينمان بهذا التعليق، كان علماء الفيزياء قد استغرقوا نصف قرن للتكيف مع غرابة السلوك الذري. وهكذا فكروا كيف كان شعور رزرفورد وزملائه في العقد الأول من القرن العشرين حين كان كل هذا جديداً تماماً.

كان أحد الأشخاص الذين يعملون مع رزرفورد شاباً رقيقاً ودمناً من الدانمرك يُدعى نيلز بوهر Niels Bohr. في 1913، وفيما كان يفكر في بنية الذرة، خطرت لبوهر فكرة مثيرة بحيث أجل شهر عسله؛ كي يكتب ما صار بحثاً وعدة نقطة تحوّل.

ولأن علماء الفيزياء لم يستطيعوا رؤية أي شيء بصغر الذرة، اضطروا إلى محاولة استنتاج بنيتها من سلوكها حين يفعلون أشياء بها، كما فعل رزرفورد حين أطلق جزيئات ألفا على لوح معدني. أحياناً -وبنحو غير مفاجئ- كانت نتائج هذه التجارب محيرة. وكان أحد الألباز الذي خيم لوقت طويل يتعلق بالقراءات الطيفية للأطوال الموجية للهيدروجين. وقد أنتجت هذه نماذج تُظهر أن ذرات الهيدروجين انبعثت منها طاقة في أطوال موجية معينة، ولكن ليس في أخرى. بدا الأمر وكأن شخصاً خاضعاً

للمراقبة واصل الظهور في أمكنة معينة ولكنه لم ير أبداً يتنقل بينها. لم يستطع أحد أن يفهم لماذا يحدث هذا.

وفي أثناء التفكير المحير بهذه المشكلة صُعبق بوهر حين وصل إلى حل، وأنتج بحثه المشهور الذي دعي «في بنى الذرات والجزيئات»، الذي شرح «كيف تحمي الإلكترونات نفسها من السقوط في النواة» مقترحاً أنها تحتل مدارات محددة جيداً فحسب. وبحسب النظرية الجديدة، إن إلكتروناتاً يتحرك بين المدارات سيختفي من واحد ويظهر في آخر على الفور دون أن يزور الفراغ الذي بينهما. إن هذه الفكرة الوثبة الكمية الشهيرة هي بالطبع غريبة جداً، ولو أنها لم تكن صحيحة لكان هذا أفضل. لم تمنع الإلكترونات من السقوط اللولبي بنحو كارثي في النواة فحسب، وإنما شرحت أيضاً الأطوال الموجية المحيرة للهيدروجين. لقد ظهرت الإلكترونات في مدارات معينة فحسب؛ لأنها وجدت فقط في مدارات معينة. كان هذا اكتشافاً صاعقاً أدى إلى منح بوهر جائزة نوبل في الفيزياء في 1922، بعد عام من حصول أينشتاين على الجائزة.

في غضون ذلك، ابتكر رزرفورد الذي لا يكل، الذي عاد الآن إلى كمبريدج؛ كي يخلف ج.ج.طومسون؛ ليكون رئيساً لمخبر كافندش، نموذجاً يشرح لماذا لا تنفجر النواة. فقد رأى أن الشحنة الإيجابية للبروتونات يجب أن تكون فرعاً من نمط معين من الجزيئات المعطلة، التي دعاها بالنيوترونات. كانت الفكرة بسيطة ومغرية، ولكن لم يكن من السهل إثباتها. وخصص معاون رزرفورد - جيمس تشادويك - أحد عشر عاماً من العمل المكثف في البحث عن النيوترونات إلى أن نجح في النهاية في عام 1932. مُنح هو أيضاً جائزة نوبل في الفيزياء في عام 1935. وكما يشير بورس وزملاؤه في كتابهم الذي يؤرخ للموضوع، كان التأخر في الاكتشاف شيئاً جيداً جداً على الأرجح، بما أن التحكم بالنيوترون كان جوهرياً لتطوير القنبلة الذرية. (لأن النيوترونات لا تمتلك شحنة، فإن الحقول الكهربائية التي في قلب الذرة لا تصدها وهكذا يمكن أن تطلق كطوربيدات صغيرة إلى نواة ذرية، مطلقة العملية التدميرية المعروفة باسم الانشطار). وقالوا: إنه لو تم عزل النيوترون في العشرينيات، «لكانت القنبلة الذرية قد طُورت أولاً في أوروبا، على يد الألمان دون شك».

وكما حدث، حاول الأوروبيون جاهدين فهم السلوك الغريب للإلكترون. وكانت المشكلة الرئيسية التي واجهوها هي: إن الإلكترون كان يتصرف أحياناً مثل جزيء وأحياناً مثل موجة. دفعت هذه الثنائية المنافية للعقل علماء الفيزياء إلى الجنون تقريباً. وفي العقد اللاحق، وفي أنحاء أوروبا كلها، فكّروا بجنون، وكتبوا، وقدموا فرضيات متنافسة. ففي فرنسا، اكتشف الأمير لويس فكتور دي بروغلي Louis Victor de Broglie - سليل أسرة من الدوقات - أن بعض الشذوذات في سلوك الإلكترونات تختفي حين ينظر إليها المرء بوصفها موجات. أثارت هذه الملاحظة انتباه النمساوي إرفن شرودنغر Erwin Schrodinger، الذي قام ببعض عمليات الصقل الرائعة وابتكر منهجاً ملائماً يدعى الميكانيكا الموجية. وفي الوقت نفسه تقريباً، ابتكر عالم الفيزياء الألماني فيرنر هايزنبرغ Werner Heisenberg نظرية منافسة تدعى matrix mechanics. كانت معقدة منهجياً، بحيث لم يستطع فهمها أي شخص، حتى هايزنبرغ نفسه (لا أعرف حتى ما هي matrix)، هذا ما قاله هايزنبرغ يائساً لصديق)، ولكن بدا كأنها تحلّ مشكلات معينة فشلت في شرحها موجات شرودنغر.

كانت النتيجة أن الفيزياء اشتملت على نظريتين، تستندان إلى فرضيتين متصارعتين، أنتجتا النتيجة نفسها. كان موقفاً محيراً.

وأخيراً في عام 1922، وصل هايزنبرغ إلى التسوية المحتقن بها، منتجاً نظاماً جديداً عُرف باسم ميكانيكا الكم. في قلبها كان هناك مبدأ هايزنبرغ الذي يدعى مبدأ اللايقين، الذي يقر أن الإلكترون جزيء ولكنه جزيء يمكن أن يوصف من زاوية الموجات. إن اللايقين الذي بُنيت حوله النظرية هو أننا نستطيع معرفة الممر الذي يسلكه إلكترون وهو يتحرك عبر فضاء، أو نستطيع أن نعرف أين هو في لحظة مفترضة، ولكننا لا نستطيع معرفة كليهما*. إن أي محاولة لقياس واحد ستزعج الآخر بشكل لا يمكن تجنبه. ليست هذه مسألة الحاجة إلى أدوات أكثر دقة؛ إنها صفة ثابتة للكون.

* هناك قليل من عدم اليقين حيال استخدام كلمة الشك بخصوص مبدأ هايزنبرغ. فقد قال مايكل فرايان - في مقدمة لاحقة لسرحيته كوبنهاجن -: إن عدة كلمات في الألمانية استُخدمت من قبل المترجمين، ولكنهم لم يعثروا على كلمة تعادل كلمة عدم اليقين. ويقترح فرايان أن اللاتحادية ستكون كلمة أفضل للمبدأ. أما هايزنبرغ، فقد استخدم كلمة عدم اليقين.

ما يعنيه هذا عملياً هو أنك لا تستطيع أن تتنبأ أبداً أين سيكون الإلكترون في أي لحظة مفترضة. تستطيع أن تسجل احتمال كونه هناك فحسب. بمعنى ما -وكما عبر دينس أوفرباي عن الأمر- إن الإلكترون لا يوجد إلى أن يُرصد. أو إذا عبرنا عن الأمر بنحو مختلف قليلاً، إن الإلكترون يجب أن يُعدّ على أنه «في كل مكان وليس في أي مكان» إلى أن يُرصد.

إذا بدا هذا مشوشاً، يمكن أن تريحكم قليلاً معرفة أنه كان مشوشاً لعلماء الفيزياء، أيضاً. وقال أوفرباي: «قال بوهر مرة: إن الشخص الذي لا يغضب لدى سماعه للمرة الأولى بنظرية الكم فهو لم يفهم ما قيل». وحين سُئل هايزنبرغ كيف يمكن أن يتصور المرء ذرة، أجاب: «لا تحاول».

وهكذا تبين أن الذرة مختلفة عن الصورة التي كانت سائدة لدى معظم البشر. فالإلكترون لا يحلّق حول النواة كما يدور كوكب حول الشمس، ولكن بدلاً من ذلك يأخذ الشكل غير المحدد لقيمة. إن «صدفة» الذرة ليست علبة صلبة مشعة -كما تشجّعنا الرسوم أحياناً على الافتراض- وإنما الجزء الأقصى من هذه السحب الإلكترونية غير الواضحة. إن القيمة نفسها هي جوهرياً منطقة من الاحتمالية الإحصائية فكما حسب، تحدّد المنطقة التي وراءها يضل الإلكترون في أحيان نادرة جداً. هكذا، إن الذرة -إذا استطعتم رؤيتها- تبدو ككرة تنس غامضة جداً أكثر مما تبدو ككرة معدنية حادة الحواف (ولكنها لا تشبه أيّاً منهما كثيراً، أو -في الواقع- لا تشبه أي شيء سبق ورأيتموه؛ فنحن -في النهاية- نتعامل هنا مع عالم مختلف جداً عن الذي نراه حولنا).

يبدو كأنه لا يوجد نهاية للغرابة. للمرة الأولى -كما عبر جيمس تريفييل عن الأمر- واجه العلماء «منطقة في الكون ليست أدمغتنا مجهزة لفهمها». أو، كما عبر فينمان: «إن الأشياء على ميزان صغير تتصرف بشكل مختلف عن الأشياء على ميزان كبير». وكما خاص علماء الفيزياء إلى أعمق، أدركوا أنهم يكتشفون عالماً لا تستطيع فيه الإلكترونات أن تقفز من مدار إلى آخر دون أن تسافر عبر أي فضاء فاصل فحسب، بل حيث تستطيع المادة أيضاً أن تقفز إلى الوجود من العدم تماماً، «مفترضين» -بكلمات آلن لايتمان في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا- «أنها تختفي تماماً بسرعة كافية».

ربما ما هو أكثر سحراً في اللاحتماليات الكوانتية هو الفكرة، التي نشأت من مبدأ العزل الذي وضعه ولفانغ بولي في 1925، الذي يقول: إن أزواجاً معينة من الجزيئات الدوورية، حتى حين تُفصل بالمسافات الأكثر اعتباراً، يستطيع كل منها أن «يعرف» على الفور ما الذي يفعله الآخر. تمتلك الجزيئات صفة تُعرف باسم الدوران، وبحسب النظرية الكمية، في اللحظة التي تحدد فيها دوران جزيء، فإن شقيقه - مهما كان بعيداً- سيبدأ على الفور بالدوران في الجهة المعاكسة وبالسعة نفسها.

يبدو الأمر، كما عبّر الكاتب العلمي لورنس جوزف - «كأنه لديك كرتا بليارد، واحدة في أوهايو والأخرى في فيجي، وأنه في اللحظة التي تضرب فيها واحدة وتجعلها تدور فإن الأخرى ستدور على الفور في اتجاه معاكس بالسعة نفسها تماماً». وعلى نحو لافت للنظر، برهنت الظاهرة في 1997 حين أرسل علماء الفيزياء في جامعة جنيف الفوتونات سبعة أميال في جهة معاكسة، وبيّنوا أن التدخل في واحد أثار استجابة فورية في الآخر.

وصلت الأمور إلى درجة أنه في أحد المؤتمرات قال بوهر عن النظرية الجديدة: إن المسألة ليست إن كانت جنونية، وإنما إن كانت مجنونة بما يكفي. ولإيضاح الطبيعة غير الحدسية للعالم الكوانتي، قام شرودنغر بتجربة نظرية مشهورة توضع بمقتضاها قطة افتراضية في علبة، مع ذرة واحدة من مادة إشعاعية مربوطة بضرورة من حمض الهيدروسيانيك. إذا انحلت الذرة في غضون ساعة، فإنها ستطلق آلية سنكسر القارورة وتسمم القطة. إذا لم تحلّ، فستعيش القطة. ولكننا لا نستطيع أن نعرف أي حالة ستسود، وهكذا لم يكن هناك خيار، (علمياً) سوى أن نعدّ القطة 100% حية و100% ميتة في الوقت نفسه. هذا يعني، كما قال ستيفن هوكينغ بلمسة من الإثارة القابلة للفهم: «إن المرء لا يستطيع التنبؤ بالحوادث المستقبلية بدقة إذا كان لا يستطيع قياس الحالة الحاضرة للكون بدقة!».

وبسبب شذوذاتها كره كثير من العلماء النظرية الكمية، أو على الأقل مظاهر معينة منها، ولم يكرهوها أكثر من أينشتاين. وكان هذا غريباً بما أنه كان هو الذي - في سنته العجيبة، 1905 - شرح بنحو مقنع كيف يمكن أن تتصرف فوتونات الضوء

أحياناً كالموجات. وهذه الفكرة هي في قلب الفيزياء الجديدة. وقال بلباقة، بالرغم من أنه لم يكن يحبها في الواقع: «إن النظرية الكمية جديدة جداً بالاعتبار، إن الله لم يكن يلعب النرد»*.

لم يستطع أينشتاين أن يتحمل فكرة أن الله يستطيع أن يخلق كوناً يحتوي على أشياء تظل غير قابلة للمعرفة إلى الأبد. فضلاً عن ذلك، إن فكرة الفعل عن بعد وأن ذرة واحدة تستطيع على الفور أن تؤثر على بعد ترليوناً من الأميال، كانت انتهاكاً فاضحاً لنظرية النسبية. لا شيء يستطيع أن يسبق سرعة الضوء ومع ذلك هناك علماء فيزياء يصرّون أنه -نوعاً ما، على المستوى الذوذي- تستطيع المعلومات أن تفعل ذلك. (وبالمصادفة لم يسبق أن شرح أحد كيف تستطيع الذرات أن تحقق هذا الإنجاز الكبير. لقد تعامل العلماء مع هذه المشكلة، بحسب عالم الفيزياء ياكير أهارانوف، «عبر عدم التفكير فيها»).

فضلاً عن ذلك، كانت هناك مشكلة أن الفيزياء الكوانتية أدخلت مستوى من الفوضى لم يوجد أبداً من قبل. فجأة صرت بحاجة إلى مجموعتين من القوانين لشرح سلوك الكون: النظرية الكمية لعالم ما هو صغير جداً والنسبية للكون الماورائي الأكبر. كانت جاذبية نظرية النسبية متألقة في شرح لماذا تدور الكواكب حول الشمس، أو لماذا تميل المجرات إلى التجمع، ولكن تبين أنه ليس لها تأثير مطلقاً على المستوى الذري. ولشرح ما جمع الذرات سوية، كانت هناك حاجة إلى قوى أخرى، وفي الثلاثينيات اكتشفت اثنتان: القوة النووية القوية والقوة النووية الضعيفة. إن القوة القوية تجمع الذرات معاً؛ إنها ما يسمح للبروتونات بأن تأوي معاً في النواة. وتخرط القوة الضعيفة في مهمات أكثر تنوعاً، تتعلق تقريباً بالتحكم بنسب أنواع معينة من التآكل الإشعاعي.

إن القوة النووية الضعيفة - بالرغم من اسمها - أقوى بعشرة بليون بليون مرة من الجاذبية، والقوة النووية القوية أقوى بكثير أيضاً بنحو شاسع، في الحقيقة

* أو على الأقل، هكذا دوماً شرحت تقريباً. وكان الاقتباس الفعلي: «يبدو من الصعب اختلاس نظرة إلى أوراق الله. ولكن أنه يلعب النرد ويستخدم طرقاتاً في «التخاطر عن بعد»... لهو أمر لا أستطيع الإيمان به للحظة واحدة».

ولكن تأثيرهما يمتد فقط إلى أصغر المسافات. وتصل قبضة القوة القوية فقط إلى نحو مئة ألف من قطر ذرة. لهذا السبب إن نواة الذرات مضغوطة وكثيفة، ولهذا تميل العناصر التي تملك نواة كبيرة مكتظة إلى عدم الاستقرار: ذلك أن القوة القوية لا تستطيع التمسك بكل البروتونات.

إن نتيجة كل هذا هو أن الفيزياء انتهت إلى مجموعتين من القوانين: واحدة لعالم ما هو صغير جداً، وأخرى للعالم عامة، وهما تعيشان حياتين منفصلتين. كره أينشتاين هذا، أيضاً. وكرّس ما تبقى من حياته للبحث عن طريقة لربط هذه الأطراف السائبة عن طريق العثور على نظرية جامعة شاملة، لكنه فشل دوماً. وبين وقت وآخر اعتقد أنه وصل إليها، ولكنها دوماً كانت تخفق في النهاية. ومع مرور الوقت صار مهمّشاً على نحو متزايد ومثيراً للشفقة قليلاً. وتقريباً دون استثناء، كما قال سنو: «اعتقد زملاؤه -وما يزالون- أنه ضيّع النصف الثاني من حياته».

في مكان آخر، تم تحقيق تقدّم حقيقي. ففي منتصف الأربعينيات وصل العلماء إلى نقطة فهموا فيها الذرة على مستوى عميق جداً، كما أوضحوا جميعاً بنحو مؤثر في آب 1945 عبر تفجير قنبلتين نوويتين في اليابان.

عند هذه النقطة يمكن أن يُعذر علماء الفيزياء؛ لاعتقادهم بأنهم قد غزوا الذرة لتوهم. وفي الحقيقة، كان كل شيء في فيزياء الذرة على وشك أن يصبح أكثر تعقيداً بكثير. ولكن قبل أن نشرح تلك المسألة المرهقة قليلاً، يجب أن نوسّع قصتنا قليلاً؛ كي تشمل حكاية مهمة ومفيدة عن الجشع، والخداع، والعلم الرديء، وميتات عديدة لا حاجة لها والتحديد النهائي لعمر الأرض.



الفصل العاشر

التلخص من الرصاص

في أواخر الأربعينيات، كان طالب متخرج من جامعة شيكاغو يدعى كلير باترسون الذي كان -على الرغم من من الاسم الأول- فتى مزرعة في أيوا يستخدم منهجاً جديداً، وهو قياس نظير الرصاص للحصول على عمر محدد للأرض. لسوء الحظ، كانت جميع عيناته الصخرية ملوثة جداً. كان معظمها يحتوي على كمية من الرصاص أكبر بـ 200 مرة من مستويات الرصاص المتوقعة عادة. ستمر أعوام كثيرة قبل أن يدرك باترسون أن سبب هذا هو مخترع من أوهايو مثير للأسى يدعى توماس ميدجلي، الابن.

كان ميدجلي مهندساً مدرباً وما من شك أن العالم كان سيظل أكثر أماناً لو بقي هكذا. بدلاً من ذلك، طوّر اهتماماً في التطبيقات الصناعية للكيمياء. وفي 1921، وبينما كان يعمل لدى شركات جنرال موتورز للأبحاث في دايون بأوهايو، استقصى مركباً يدعى رباعي أثيل الرصاص (الذي يدعى أيضاً بنحو مشوش ليد أثيل)، واكتشف أنه خفّض بنحو كبير الوضع الاهتزازي الذي يعرف بخبط الآلة.

وبالرغم من أنه من المعروف على نحو واسع بأن الرصاص سام، إلا أنه كان موجوداً في كل المنتجات الاستهلاكية في الأعوام الأولى للقرن العشرين. فقد جاء الطعام في علب مختومة بلحام رصاصي. وكان الماء يُخزن في الغالب في حاويات مخططة بالرصاص. وكان زرنبيخ الرصاص يرش على الفواكه على أنه مبيدات. وكان الرصاص أيضاً جزءاً من مركّب معجون الأسنان. نادراً ما كان هناك منتج لم يدخل قليلاً من الرصاص إلى حياة المستهلكين. على أي حال، لا شيء منحه حميمية أكبر أو أكثر استمراراً من إضافته إلى وقود المحرك.

إن الرصاص هو السُمِّين العصبي*. إذا استنشقت كمية كبيرة منه فإنه يُعطب الدماغ والجهاز العصبي المركزي. ومن بين الأعراض الكثيرة الناجمة عن التعرض

* مادة بروتينية سامة توهن نشاط الجهاز العصبي. المترجم.

المفرط له فقد ان البصر والطرش والسرطان والشلل الارتجالي والتشنجات. وينتج في شكله الأكثر مكرراً هلوسات متقطعة ومروعة، ومزعجة للضحايا وللمشاهدين على حد سواء، تؤدي في النهاية إلى الكوما والوفاة. وفي الحقيقة لستم بحاجة إلى إدخال كثير من الرصاص في جهازكم.

من ناحية أخرى، من السهل استخراج الرصاص والعمل عليه، وهو مريح على مستوى الإنتاج الصناعي. فقد أوقف رباعي أثيل الرصاص المحركات عن الخبط. وهكذا في 1923 قامت ثلاث من أكبر شركات أمريكية وهي جنرال موتورز ودو بوينت وسترانند أويل من نيوجرسي بإطلاق مشروع مشترك دُعي شركة غاز الأثيل (اختصر فيما بعد إلى شركة الأثيل) من أجل صناعة ما يريد العالم شراءه من رباعي أثيل؛ الرصاص، وبرهن أن هذا كمية كبيرة. دعت الشركات مادتها المضافة باسم الأثيل لأنه بدأ أكثر وداً وأقل سمية من «الرصاص» وأدخلتها إلى الاستهلاك العام (بطرق لا يعرفها معظم الناس) في 1 شباط 1923.

حين بدأ العمال الذين ينتجون المادة يترنحون في سيرهم وتبدو عليهم علامات الاضطراب التي تشير إلى التسمم، اتبعت شركة الأثيل سياسة من الإنكار الهادئ وغير المستسلم خدمتها جيداً لعقود. وكما تقول شارون بيرتش مجرين في كتابها الذي يؤرخ بشكل جيد للكيمياء الصناعية، البرومثيوسيون في المخابر، حين بدت علامات الاضطراب على العمال في المصنع، أخبر ناطق الصحفيين بلطف: «ربما فقد هؤلاء الرجال عقولهم؛ لأنهم عملوا بكثيرة». تُوِّفِّ على الأقل خمسة عشر عاملاً في الأيام الأولى من إنتاج البنزين المرصص، وصارت أعداد غير معلنة من العمال مريضة؛ لأن الشركة استطاعت أن تمنع في معظم الأحيان تسرب الأنباء المربكة عن حالات الوفاة والتسمم. وكان منع نشر الأنباء مستحيلاً أحياناً كما حدث في 1924 - ففي غضون أيام - تُوِّفِّ خمسة من عمال الإنتاج وفقد ثلاثون آخرون عقولهم، وعُزلوا في مشفى ذي تهوية سيئة.

حين انتشرت الشائعات عن أخطار المنتج الجديد، قرر مخترع الأثيل الشديد الحماسة، توماس ميدجلي أن يقدم شرحاً للصحفيين؛ كي يخفف من قلقهم. وبينما

كان يتحدث عن التزام الشركة بالأمان، سكب رباعي أثيل الرصاص على يديه، ثم قَرَّب إناء منه إلى أنفه لمدة ستين ثانية، زاعماً طول الوقت أنه يستطيع أن يكرر هذا يومياً دون أذى. والواقع أن ميدجلي كان يعرف جيداً مخاطر الرصاص السميّة: فقد أصيب بمرض خطر ناجم عن التعرض له قبل بضعة أشهر، ومنذ ذلك الوقت لم يقترب أبداً من المادة إلا كي يتحدث عنها للصحفيين في هذه المناسبة.

متحمساً من نجاح البنزين المرصص، التفت ميدجلي الآن إلى مشكلة تكنولوجياية أخرى خاصة بالعصر. كانت البرادات في العشرينيات خطيرة بشكل مرعب؛ لأنها كانت تستخدم غازات غادرة وقاتلة كانت تتسرب منها أحياناً. فقد حدث تسرب من براد في مستشفى بأوهايو، عام 1929، أدى إلى مقتل أكثر من مئة شخص. فانطلق ميدجلي كي ينشئ غازاً مستقراً، وغير قابل للاشتعال، وغير مزعج ومن الأمان استنشاقه. كان يمتلك ميلاً إلى الأمور المؤذية، وابتكر كربون الكلوروفلور chlorofluorocarbons أو CFCs. ولسوء الحظ نادراً ما كان هناك منتج صناعي تم تبنيه بهذه السرعة. ودخل هذا الكربون الإنتاج في بداية الثلاثينيات، وعثر على ألف استخدام في كل شيء من مكيفات السيارات إلى مزيلات التعرق قبل أن يتم الانتباه إليه، بعد نصف قرن - بأنه كان يقضي على الأوزون في الستراتوسفير. وكما ستري، لم يكن هذا شيئاً جيداً.

إن الأوزون هو نوع من الأوكسجين يحمل فيه كل جزيء ثلاث ذرات من الأوكسجين بدلاً من الاثنتين العاديتين. إنه يشكل غرابة كيميائية في أنه على مستوى الأرض يعدّ ملوثاً، بينما في الأعلى - في الستراتوسفير - يعدّ مفيداً بما أنه يمتص الأشعة ما وراء البنفسجية الخطرة. ولكن الأوزون المفيد ليس وافراً. فإذا ما تم إزاعجه بشكل مستمر في الستراتوسفير، فإنه سيشكل طبقة بسماكة 2 ميليمتر أو ما يقارب ذلك. لهذا السبب يتم إزاعجه بسهولة.

إن كربون الكلوروفلور chlorofluorocarbons غير متوافر بكثرة، وهو لا يشكل إلا جزءاً واحداً من كل بليون من الغلاف الجوي ككل، ولكنه مدمر بشكل كبير. إن كيلوغراماً منه يمكن أن يقضي على سبعين ألف كيلوغرام من أوزون الغلاف الجوي. ويبقى وقتاً طويلاً نحو قرن مخرباً. إنه إسفنجات حرارية كبيرة. إن جزيئاً واحداً منه

أكثر فاعلية بعشرة آلاف مرة من جزيء من ثاني أكسيد الكربون في مفاومة أثر المخضرة الدفينة*. أما ثاني أكسيد الكربون فليس كسولاً بوصفه غاز مخضرة. باختصار إن كربون الكلوروفلور chlorofluorocarbons أسوأ اختراع في القرن العشرين.

لم يعرف ميدجلي هذا أبداً؛ لأنه توفي قبل وقت طويل من إدراك أي شخص كم هذا الكربون مدمر. وكان موته حادثة غير عادية لا تُتسى. بعد أن أصيب بالشلل (البوليو)، اخترع ميدجلي أداة غريبة تشتمل على سلسلة من البكرات ذات المحركات التي تجعله ينهض أو يتقلب آلياً في الفراش. وفي 1944 علق في الحبال حين تم تشغيل الآلة وخُنق.

* * *

إذا كنتم مهتمين بمعرفة أعمار الأشياء، فإن جامعة شيكاغو كانت المكان الأمثل لذلك في الأربعينيات. كان ويلارد لبيبي يبتكر تقنية التأريخ بالكربون**، التي ساعدت العلماء على القيام بقراءة صحيحة لعمر العظام وبقايا عضوية أخرى، وكان هذا شيئاً لم يكونوا قادرين على فعله من قبل. وحتى هذا الوقت، كانت التواريخ الموثوقة لا تعود إلى السوراء إلى أكثر من السلالة الأولى في مصر نحو 3000 قبل الميلاد. لم يستطع أحد أن يقول بثقة، (مثلاً) متى تراجعت أكسية الجليد أو في أي وقت في الماضي زين الكرومونيون كهوف لاسكوف في فرنسا.

كانت فكرة لبيبي مفيدة، بحيث مُنح جائزة نوبل من أجلها في 1960. وتقول: إن جميع الأشياء الحية تحتوي في داخلها على نظير كربوني يدعى كربون 14***، الذي يبدأ بالتآكل في نسبة قابلة للقياس لحظة موته. يمتلك الكربون 14 نصف حياة، أي الوقت الذي يستغرقه نصف أي عينة كي يختفي تبلغ نحو 5,600 سنة، وهكذا عبر

* أثر غلاف الأرض الجوي في الاحتفاظ بحرارة الشمس، وقد أطلق عليه هذا الاسم تشبيهاً له بمفعول المخضرة أو الدفينة في النباتات. المترجم.

** تحديد أعمار المواد العتيقة، وخصوصاً العيّنات الأثرية التي ترقى إلى ما قبل التاريخ، وذلك من طريق قياس النشاط الإشعاعي الذي يبديه الكربون 14 المتضمن في تلك المواد. المترجم.

*** نظير للكربون ثقيل، إشعاعي النشاط، رقمه الكتلي 14، يُستخدم في تحديد الأعمار العتيقة. المترجم.

استنتاج كمية التآكل في عينة مفترضة من الكربون استطاع ليبي أن يصل إلى فكرة جيدة حول عمر الشيء، بالرغم من أنه إلى حد ما فحسب. فبعد ثمانية أنصاف حياة، لا يبقى إلا 0.39 من الكربون الإشعاعي الأصلي، وهذا قليل جداً للقيام بقياس موثوق، وهكذا فإن الكربون الإشعاعي يؤرخ فقط أشياء يصل عمرها إلى أربعين ألف عام أو ما يقارب ذلك.

ما أثار الشكوك هو أنه فيما كانت التقنية تنتشر على نطاق واسع، ظهرت فيها عيوب جلية. فقد اكتُشف أن أحد المكونات الأساسية لصيغة ليبي؛ المعروف باسم ثابت التآكل، كان مخطئاً بنحو 3% على أي حال، كانت قد تمت آلاف القياسات في أنحاء العالم. وبدلاً من إعادة تحديد كل واحدة، قرر العلماء الحفاظ على الثابت غير الصحيح. وقال تيم فلانيري: «هكذا، إن كل تأريخ إشعاعي خام تقرأه اليوم قُدِّم على أنه أقل بنحو 3%». لم تتوقف المشكلات هنا. فقد اكتُشف بسرعة أيضاً أن عينات الكربون 14 يمكن أن تلوّث بالكربون من مصادر أخرى: قطعة من الخضراوات، مثلاً، جُمعت مع العينة ولم يُلاحظ وجودها. ومن العينات الأصغر تلك التي تحت العشرين ألف سنة أو ما يقارب ذلك، لا يهتم التلوث قليلاً في غالب الأحيان، ولكنه يمكن أن يكون مشكلة جدية للعينات الأكبر سنّاً؛ لأن قلة من الذرات الباقية تُحسب. في المثال الأول، إذا استعرنا كلام فلانيري، إن الأمر على غرار الخطأ في دولار في أثناء عد ألف؛ وفي المثال الثاني إنه أكثر من خطأ في دولار حين يكون لديك فقط دولاران كي تعدهما.

استند منهج ليبي أيضاً إلى افتراض أن كمية الكربون 14 في الغلاف الجوي، والسرعة التي تمتصه بها الأشياء الحية، كانت متواصلة في أثناء التاريخ. والواقع أنها لم تكن كذلك. ونعرف الآن أن كمية الكربون 14 في الغلاف الجوي تتنوع بحسب إذا كانت مغناطيسية الأرض تحرف جيداً أم لا الأشعة الكونية، وأنها يمكن أن تتنوع بشكل مهم مع مرور الوقت. هذا يعني أن بعض تواريخ الكربون هي أكثر التباساً من الأخرى. وبين الأكثر التباساً هي تواريخ عن الوقت الذي جاء فيه الناس في البداية إلى الأمريكيتين، وهذا أحد أسباب بقاء المسألة قيد الجدل بنحو دائم.

أخيراً - وربما بنحو غير متوقع قليلاً - يمكن أن تخطئ القراءات بسبب عوامل خارجية تبدو غير ذات صلة، مثل حميات أولئك الذين اختبرت عظامهم. وشملت حالة أخيرة الجدل الذي استمر طويلاً حول إن كان السفلس نشأ في العالم القديم أم في الجديد. فقد اكتشف علماء الآثار في (هل) أن الرهبان في مقبرة أبرشية عانوا من السفلس، ولكن الاستنتاج الأولي بأن الرهبان قد عانوا من ذلك قبل رحلة كولبوس شكك به عبر إدراك أنهم أكلوا كثيراً من الأسماك، مما يجعل عظامهم تبدو أكبر سناً مما هي عليه في واقع الأمر. يمكن أن يكون الرهبان قد أصيبوا بالسفلس، غير أنه لم يُعرف كيف انتقل.

وبسبب العيوب المتراكمة للكربون 14، اخترع العلماء طرقاً أخرى في تأريخ المواد العتيقة، وبينها التألق الحراري، الذي يقيس الإلكترونات العالقة في الطين، والرنين الدوراني للإلكترون، والذي يشمل قصف عينة بموجات كهرومغناطيسية وقياس اهتزازات الإلكترونات. ولكن لم يستطع حتى أفضل هذه الطرق أن يحدد عمر أي شيء أكبر من مئتي ألف عام، ولم يستطع تأريخ المواد غير العضوية كالصخور مطلقاً، وهذا بالطبع ما تحتاجون إليه إذا كنتم راغبين بتحديد عمر كوكبكم.

وبسبب هذا النوع من مشكلات تحديد عمر الصخور تخلى الجميع في أنحاء العالم كلها عن هذه الطرق. ولولا أستاذ إنكليزي مصمم يدعى آرثر هولمز، لنسي الأمر تماماً. كان هولمز بطلاً في تجاوزه للعقبات كما في النتائج التي حققها. وفي العشرينيات، حين كان في أوج عمله، انزلت الجيولوجيا خارج الموضة وتراجع تمويلها كثيراً - ولا سيما في بريطانيا - مسقط رأسها الروحي. وكان هولمز قسم الجيولوجيا برمته في جامعة دورهم لسنوات كثيرة. وكان غالباً ما يضطر إلى استعارة أو جمع الأجهزة سوية؛ كي يقوم بتاريخه الإشعاعي للصخور. وفي نقطة ما، تم تأجيل حساباته لمدة سنة وهو ينتظر الجامعة كي تزوده بألة جمع بسيطة. وبين الفينة والأخرى، كان عليه الخروج من الحياة الأكاديمية من أجل أن يكسب ما يكفي؛ كي يعيل أسرته. أدار حانوتاً للتحف في نيوكاسل بعيداً عن تايين، ومرة لم يكن بوسعه تأمين خمسة جنيهات وهي أجرة العضوية السنوي في الجمعية الجيولوجية.

كانت التقنية التي استخدمها هولز في عمله صحيحة نظرياً ونشأت مباشرة من عملية رصدها في البداية إرنست رزرفورد عام 1904 التي تقول: إن بعض الذرات في عنصر ما تتحلل في عنصر آخر بسرعة قابلة للتنبؤ تمكّن من استخدامها على أنها ساعات. إذا عرفتم كم يستغرق البوتاسيوم 40 كي يصبح أرغون 40، وقستم كميات كل منهما في عينة، تستطيعون استنتاج عمر المادة. كان إسهام هولز هو حساب عمر الصخور، وهكذا كما كان يأمل عمر الأرض.

ولكن كان هناك كثير من الصعوبات التقنية التي ينبغي التغلب عليها. وكان هولز يحتاج أيضاً، أو ربما على الأقل كان واعياً جداً لذلك إلى آلات ميكانيكية معقدة من نوع يمكّنه من القيام بقياسات رائعة لعينات بالغة الصغر، وكما رأينا، كان كل ما استطاع فعله هو الحصول على آلة جمع بسيطة. وهكذا كان الأمر إنجازاً حين كان قادراً في 1946 على الإعلان ببعض الثقة أن عمر الأرض هو على الأقل ثلاثة بلايين عام وربما أكثر. ولسوء الحظ، واجه عائقاً آخر لا يقهر في وجه القبول: النزعة المحافظة لدى زملائه العلماء. فبالرغم من أنهم مدحوا منهجيته، أكد كثيرون أنه لم يكتشف عمر الأرض، وإنما عمر المواد التي شكّلت منها الأرض.

في هذا الوقت تماماً طوّر هاريسون براون من جامعة شيكاغو منهجاً جديداً في إحصاء نظائر الرصاص في الصخور البركانية (أي تلك التي نشأت من خلال التسخين، بوصفها نقيضاً لتلك الرسوبية). وحين أدرك أن العمل سيكون مملاً جداً أوكله إلى الشاب كليز باترسون؛ ليكون مشروعاً للدكتوراه. ومن المعروف أنه وعد باترسون بأن تحديد عمر الأرض بمنهجه الجديد سيكون «سهلاً». والواقع أنه سيستغرق سنوات.

بدأ باترسون العمل على المشروع في 1948. وبالمقارنة مع إسهامات توماس ميدجلي المتنوعة في مسيرة التقدم، شعر أن اكتشاف باترسون لعمر الأرض خطر. عمل لمدة سبع سنوات، أولاً في جامعة شيكاغو ثم في مؤسسة كاليفورنيا للتكنولوجيا (التي انتقل إليها في 1952)، وعمل في مختبر معقم، قائماً بقياسات دقيقة لنسب الرصاص واليورانيوم في عينات منتقاة بعناية من الصخور القديمة.

كانت المشكلة التي تواجه قياس عمر الأرض أنك تحتاج إلى صخور قديمة جداً تحتوي على كريستال يحمل الرصاص واليورانيوم وقديمة كالكوكب نفسه، وأي شيء أصغر بكثير سيمنحك تواريخ صغيرة مضللة. ولكن الصخور القديمة لا يعثر عليها إلا نادراً. وفي أواخر الأربعينيات لم يفهم أحد سبب هذا. والواقع أننا سندخل في عصر الفضاء قبل أن يتمكن أحد من أن يفسر بشكل مقنع أين ذهبت صخور الأرض القديمة. (كانت الإجابة هي الألواح التكتونية، التي سنصل إليها بالطبع). في غضون ذلك، تُرك باترسون؛ كي يقوم بالتجارب ويفهم الأمور بمواد محدودة جداً. في النهاية -وبشكل بارع- خطر له أنه يستطيع أن يتحايل على نقص الصخور باستخدام صخور من كواكب أخرى. لجأ إلى الأحجار النيزكية.

كان الافتراض الذي قام به وهو افتراض عظيم، وتبين أنه صحيح هو أن كثيراً من الأحجار النيزكية هي بالأصل بقايا مواد بناء من الأيام الأولى للمنظومة الشمسية، وهكذا نجحت في حفظ كيمياء داخلية بدائية تقريباً. فإذا ما قيس عمر هذه الأحجار المتجولة فإننا سنحصل على عمر الأرض.

غير أن الوصف المبهم شيء، وواقع الأمور شيء آخر. ذلك أن الأحجار النيزكية ليست وافرة والعينات النيزكية ليس من السهل الحصول عليها. فضلاً عن ذلك، برهنت طريقة باترسون في القياس أنها صعبة وتحتاج إلى كثير من الصقل. وقبل كل شيء، كان هناك مشكلة أن عينات باترسون كانت تلوّث باستمرار وبشكل غير قابل للتفسير بجرعات كبيرة من رصاص الغلاف الجوي كلما تعرضت للهواء. هذا ما قاده في النهاية إلى إنشاء مخبر معقم، وكان هذا أول مخبر من نوعه في العالم، بحسب إحدى الروايات.

استغرق الأمر بالنسبة لباترسون سبع سنوات من العمل الصبور للعثور على عينات مناسبة، وقياسها من أجل الاختبار الأخير. وفي ربيع 1953 أخذ عيناته إلى مختبر أرغون القومي في إلينوي، حيث مُنح الوقت لاستخدام آلة مطياف الكتلة الحديثة؛ وهي آلة قادرة على كشف وقياس الكميات القليلة جداً من اليورانيوم والرصاص الموجودة في الكريستال القديم. حين حصل أخيراً على نتائجها، كان باترسون مثاراً

جداً، بحيث قاد السيارة مباشرة إلى منزل طفولته في أيوا، وجعل أمه تأخذه إلى مستشفى؛ لأنه اعتقد أنه يتعرض لنوبة قلبية.

بعد ذلك حالاً - وفي اجتماع في وسكنسون - أعلن باترسون عمراً محدداً للأرض هو 4,550 مليون سنة (زائد أو ناقص 70 مليون عام) «وظل هذا الرقم دون تغيير لمدة 50 عاماً»، كما قال مجرين بإعجاب. بعد مئتي عام من المحاولات، صار للأرض عمر أخيراً.

ركز باترسون انتباهه على مسألة الرصاص في الغلاف الجوي. وذُهل حين اكتشف أن قليلاً من المعروف عن تأثيرات الرصاص في البشر كان مغلوطاً أو مضللاً. لم يكن الأمر مفاجئاً، بما أن صنّاع مواد الرصاص المضافة هم الذين قدموا التمويل لجميع دراسات تأثير الرصاص طيلة أربعين عاماً.

وفي إحدى هذه الدراسات، وضع طبيب غير مختص في الأمراض الناجمة عن المواد الكيماوية برنامجاً مدته خمس سنوات، طلب فيه من المتطوعين أن يستنشقوا أو يتلعوا الرصاص في كميات كبيرة. ولسوء الحظ، لم يُطرح الرصاص مع الفضلات، وإنما كان يتراكم في العظام والدم، وهذا ما يجعله خطراً، غير أن الطبيب لم يعرف ذلك على ما يبدو، ولم يتم اختبار العظم والدم. بالنتيجة، برّئ الرصاص من التأثيرات الخطرة.

اكتشف باترسون بسرعة أن هناك كثيراً من الرصاص في الجو، بما أن الرصاص لا يتلاشى وأن نحو 90% منه يأتي من عوادم السيارات؛ ولكنه لم يستطع إثبات ذلك. ما كان يحتاج إليه هو طريقة لمقارنة مستويات الرصاص في الجو الآن مع المستويات التي كانت موجودة قبل 1923، حين بدأ رباعي أثيل الرصاص يُنتج تجارياً. وخطر له أن العينات الجوفية للجليد يمكن أن تقدم الإجابة.

كان من المعروف أن سقوط الثلج في أمكنة مثل غرينلندا يتراكم في طبقات سنوية منفصلة (لأن اختلافات درجات الحرارة الموسمية يحدث تغييرات ضئيلة في اللون من الشتاء إلى الصيف). وعبر إحصاء هذه الطبقات وقياس كمية الرصاص في كل

منها، يستطيع استنتاج تركيز الرصاص في الغلاف الجوي للعالم في أي وقت لمئات أو حتى آلاف السنوات. وصارت الفكرة هي الأساس في دراسات عينات الجليد الجوفية، التي يستند إليها كثير من العمل المناخي الحديث.

ما اكتشفه باترسون هو أنه قبل 1923 لم يكن هناك رصاص في الجو، وأنه منذ ذلك الوقت ارتفعت مستويات الرصاص بنحو ثابت وخطر. فكرس حياته للنضال من أجل تخليص البترول من الرصاص. ومن أجل هذه الغاية، صار ناقداً متواصلًا وصريحاً لصناعة الرصاص ومصالحها.

كانت هذه حملة رهيبية. كانت إيثيل شركة عالمية قوية لها أصدقاء كثيرون في مواقع السلطة. (كان بين مديريها قاضي المحكمة العليا لويس باول وجيلبرت جروسفينور من الجمعية الجغرافية الوطنية). وفجأة اكتشف باترسون أن تمويل البحث سُحب أو صار من الصعب الحصول عليه. وألغت مؤسسة البترول الأميركية عقدَ بحثٍ معه، كما فعلت خدمة الصحة العامة الأميركية، وهي كما يُفترض هيئة حكومية محايدة.

وبعد أن صار باترسون عبئاً قانونياً على مؤسسته، تم الضغط على أوصياء كالتيك بنحو متكرر من قبل مسؤولي صناعة الرصاص؛ كي يخرسوه أو يفصلوه. وبحسب جامي لنكولن كتمان، الذي كتب في مجلة نيشن، (يُقال: إن مسؤولي شركة إيثيل عرضوا تمويل كرسي في كالتيك «إذا كف باترسون عن إثارة الموضوع»). كانوا من السخف بحيث إنهم أبعده عن ندوة لمجلس البحث القومي مخصصة لبحث أخطار تسميم الرصاص للجو، بالرغم من أنه كان آنذاك -ودون شك- أبرز خبير أميركي في رصاص الغلاف الجوي.

لم يتراجع باترسون قيد أنملة وهذا ما منحه جدارة كبرى. وفي النهاية قادت جهوده إلى إدخال قانون نظافة الهواء في 1970، وإلى إزالة كل البنزين المرصص من البيع في الولايات المتحدة في 1986. وتقريباً على الفور انخفضت مستويات الرصاص في دم الأميركيين بنسبة 80%. ونظراً لأن الرصاص يستمر إلى الأبد، فإن الأميركيين الذين يعيشون اليوم يحتوي كل واحد منهم على الرصاص أكثر بـ 625 مرة من الأشخاص

الذين عاشوا قبل قرن. غير أن كمية الرصاص في الجو تواصل نموها - بشكل قانوني - بنحو مئة ألف طن في السنة، ومعظمه من التعدين وصهر المعادن والأنشطة الصناعية. منعت الولايات المتحدة أيضاً الرصاص في الدهان الداخلي للمنازل، «بعد 44 سنة من منعه في أوروبا كلها»، كما قال مجرين. ومن اللافت، أنه بالرغم من سمّيته المذهلة، لم يُزل لحام الرصاص من علب الطعام الأميركية حتى عام 1993.

أما شركة إيثيل، فإن قوتها لا تزال تنمو بالرغم من أن جي إم وستاندارد أويل ودو بونت لم تعد تملك أسهماً في الشركة. (باعوا لشركة تُدعى ألبرمارل بيير في 1962). وبحسب مجرين، في نهاية شباط 2001 وصلت إيثيل القول: «إن البحث فشل في إظهار أن البنزين المرصص يشكل تهديداً للصحة البشرية أو البيئة». وعلى موقعها على الإنترنت، لا يذكر تاريخ الشركة الرصاص أو حتى توماس ميدجلي، وإنما يشير ببساطة إلى المنتج الأصلي على أنه يحتوي «مزيجاً معيناً من المواد الكيماوية».

لم تعد شركة إيثيل تصنع البنزين المرصص، بالرغم من أنه وبحسب تقاريرها لعام 2001، حقق رباعي رصاص الأثيل (أو تي إي إل كما تدعوه) 25.1 مليون دولار من المبيعات في 2000 (من بين إجمالي 795 مليون)، وقد زاد المبلغ عن 24.1 مليون دولار في 1999، ولكنه كان أدنى من 117 مليون دولار في 1998. وقالت الشركة في تقريرها: إنها عازمة على «أن تزيد إلى الحد الأعلى النقد الناجم عن رباعي أثيل الرصاص بما أن استخدامه ينخفض في أنحاء العالم». تسوّق إيثيل هذه المادة في أنحاء العالم جميعها من خلال اتفاق مع شركة أسوشييتد أوكل ليمتد في بريطانيا.

بالنسبة للبلاء الآخر الذي تركه لنا توماس ميدجلي، كربون الكلوروفلور chlorofluorocarbons، فإنه حُظر في 1974 في الولايات المتحدة، ولكنه شياطين صغيرة وعنيدة وكل ما أُطلق منه في الجو (في مزيلات التعرق أو مثبتات الشعر، مثلاً) سيكون موجوداً بالتأكيد، ويقوم بالتهام الأوزون بعد أن أختفي أنا وأنت. والأسوأ من ذلك، ما نزال ندخل كميات ضخمة منه إلى الجو كل عام. إذاً من الذي يصنعه؟ نحن؛ أي كثير من الشركات الضخمة ما تزال تصنعه في مصانعها فيما وراء البحار. ولن يُحظر في بلدان العالم الثالث حتى 2010.

تويّف كليرباترسون في 1995. لم يحصل على جائزة نوبل من أجل عمله. ولم يحصل علماء الجيولوجيا أبداً على الجائزة. و من الغريب أنه لم يحظَ بأي شهرة أو حتى كثير من الانتباه بالرغم من نصف قرن من الإنجاز المتواصل والخالي من الأناية. ويمكن القول: إنه كان أكثر علماء الجيولوجيا تأثيراً في القرن العشرين. ومع ذلك من سبق وسمع باسم كليرباترسون؟ فمعظم مقررات الجيولوجيا لا تذكره. ثمّة كتابان مشهوران صدرا أخيراً عن تاريخ تحديد عمر الأرض يخطئان في كتابة اسمه. وفي أوائل 2001، ارتكب أحد مراجعي الكتابين في مجلة نيتشر خطأ إضافياً مذهلاً حين اعتقد أن باترسون امرأة.

على أي حال، حصلت الأرض أخيراً في 1953 على عمر اتفق الجميع عليه بفضل عمل كليرباترسون. والمشكلة الوحيدة الآن هي أنها أقدم من الكون الذي يحتويها.



الفصل الحادي عشر

كواركات مستر مارك

في عام 1911 كان عالم بريطاني يدعى س.ت.ر. ولسون يدرس تشكيلات السحب عن طريق الصعود بانتظام إلى قمة (بين نيفس)؛ وهو جبل أسكتلندي مشهور برطوبته، حين خطر له أنه يجب أن تكون هناك طريقة أكثر سهولة. بنى في مختبر كافندش في كمبريدج غرفة اصطناعية للسحب، وهي أداة بسيطة يستطيع فيها أن يبرد الهواء ويرطبه، مبتكراً نموذجاً معقولاً لسحابة في شروط مخبرية.

عملت الأداة بشكل جيد جداً، وكانت لها فائدة أخرى غير متوقعة. حين سرّع جزيئاً ألفاويماً عبر الغرفة؛ كي يعالج السحب المفترضة، ترك أثراً مرئياً، مثل خطوط البخار التي تخلفها طائرة خطية. لقد ابتكر لتوه مكشاف الجسيمات. وقدم دليلاً مقنعاً أن الجسيمات الذوذية توجد بالفعل.

أخيراً اخترع عالمان آخران في مختبر كافندش مكشافاً أكثر قوة لحزمة البروتونات proton-beam، بينما اخترع إرنست لورنس في بيركلي في كاليفورنيا مسرّع الجسيمات المشهور، وعرفت الآلتان باسم محطمتي الذرة لزمان طويل. عملت كل تلك الآلات الغربية وما تزال تعمل وفقاً للمبدأ نفسه تقريباً، والهدف هو تسريع البروتون أو جسيم مشحون إلى سرعة عالية جداً على مسار (أحياناً دائرة، وأحياناً بشكل خطي)، ثم صدمه بجسيم آخر ومشاهدة ما يتطاير. لهذا دعيت محطمة الذرة. لم يكن هذا علماً دقيقاً، ولكنه كان فاعلاً عموماً.

حين اخترع علماء الفيزياء آلات أكبر وأكثر طموحاً، بدؤوا يكتشفون أو يسلمون بجسيمات أو عائلات جسيمات لا تحصى على ما يبدو: الميونات والبيونات والهايبيرونات والميزونات وميزونات ك، و بوزونات هيگز، وبوزونات متوسطة المتجه، الباربيونات والتاكيونات. وبدأ علماء الفيزياء يشعرون بعدم الراحة. ومرة أجاب

إنركيون فيرمي حين سأله طالب عن اسم جسيم معين: «أيها الشاب، لو أستطيع أن أتذكر أسماء هذه الجسيمات، لكنت عالم نبات».

تمتلك المسرعات اليوم أسماء تبدو مثل شيء ما سيستخدمه فلاش جوردون في معركة: سيوير بروتون ساينكروتون، صادم، بوزترون الإلكترون الكبير، وصادم هادرون الكبير، وصادم الأيون الثقيل الكبير. مستخدمة كميات ضخمة من الطاقة (يعمل بعضها فقط في الليل بحيث إن الأشخاص في البلدات المجاورة ليس عليهم أن يشهدوا بهوت أضوائهم حين يشغل الجهاز)، تستطيع هذه المسرعات أن تولد الحيوية في الجسيمات بحيث إن إلكترونات واحداً يمكن أن يقوم بـ 47,000 دورة في نفق طوله 7 كيلومترات في أقل من ثانية. أثبتت المخاوف من أن حماس العلماء يمكن أن يدفعهم كي يخلقوا دون قصد ثقباً أسود، أو حتى شيئاً ما يُدعى «الكواركات الغريبة»، التي تستطيع - نظرياً - أن تتفاعل مع جسيمات دُورية أخرى، وتتوالد بشكل لا يمكن التحكم به. إذا كنتم تقرؤون هذا، فإن هذا الأمر لم يحدث.

يحتاج العثور على الجسيمات إلى وقت معين من التركيز. فهي ليست صغيرة وسريعة فحسب وإنما سريعة الزوال بشكل كبير أيضاً. تستطيع الجسيمات أن تأتي إلى الوجود وتتلاشى مرة أخرى في أقل من 10^{-24} من الثانية (24⁻¹⁰ من الثانية). حتى الأكثر بلادة من الجسيمات غير المستقرة لا تبقى أكثر من 10^{-10} من الثانية (10⁻⁷). بعض الجسيمات هي مبهمة بشكل غريب. ففي كل ثانية يزور الأرض عشرة آلاف ترليون ترليون من النيوترونات الصغيرة التي لا كتلة لها (تطلق معظمها الإشعاعات الذرية للشمس)، والواقع أنها كلها تعبر الكوكب وكل ما فيه، بما فيه أنا وأنت، وكأنها لم تكن هناك. لاصطياد بعضها فحسب، يحتاج العلماء إلى صهاريج تتسع لخمسة وسبعين ألف متر مكعب من الماء الثقيل (أي ماء بكمية وافرة نسبياً من الهيدروجين الثقيل فيها) في غرف تحت الأرض (مناجم قديمة، عادة) بحيث لا يتدخل فيها أنواع أخرى من الإشعاع.

وفي أحيان كثيرة، يصطدم نيوترون عابر بنواة ذرية في الماء وينتج اندفاعاً قليلاً للطاقة. يحصي العلماء الاندفاعات وبهذه الطريقة يقرّبوننا بنحو ضئيل من فهم

السمات الجوهرية للكون. ففي 1998 أفاد راصدون يابانيون أن للنيوترونات كتلة، ولكنها ليست كبيرة: نحو جزء من عشرة بالمليون من كتلة الإلكترون.

يحتاج العثور على الجسيمات في هذه الأيام إلى كثير من النقود. ثمة علاقة عكسية غريبة في الفيزياء الحديثة بين صغر الشيء الذي يُبحث عنه ووزن التجهيزات المطلوبة للقيام بالبحث. إن الهيئة الأوروبية للأبحاث النووية هي مثل مدينة صغيرة. وتقع على الحدود بين فرنسا وسويسرة وتستخدم ثلاثة آلاف موظف وتحتل موقعاً يقاس بالمتر المربع. وتتباهى الهيئة بمجموعة من المغنطيسات كل منها أكبر وزناً من برج إيفل، وبنفق تحت الأرض طوله 26 كيلومتراً.

إن تحطيم الذرات سهل كما قال جيمس تريفل: «فأنتم تفعلون ذلك في كل مرة تشعلون فيها مصباحاً ساطعاً». إن تحطيم نواة ذرية - على أي حال - يقتضي كثيراً من الأموال وتغذية كهربائية كبيرة. أما الهبوط إلى مستوى الكواركات الجسيمات التي تصنع الجسيمات فيتطلب أكثر من ذلك: ترليونات الفولتات من الكهرباء وميزانية ولاية أميركية وسطى صغيرة. إن صادم هادرون الكبير Large Hadron Collider الخاص بالهيئة الأوروبية للأبحاث الذرية، صُمم للبدء بالعمليات في 2005، وسينجز 14 ترليون فولت من الطاقة ويكلف بناؤه أكثر من 1,5 بليون دولار*.

ولكن هذه الأرقام لا شيء بالمقارنة مع نفقات وإنجاز الصادم الجبار ذي العمل الجبار superconducting supercollider الذي تم البدء بتشييده قرب واكسهاشي بولاية تكساس في الثمانينيات، قبل أن يجرب اصطداماً ضخماً خاصاً به مع كونغرس الولايات المتحدة. إن الهدف من الصادم هو جعل العلماء يسبرون «الطبيعة المطلقة للمادة» - كما عبّر عن الأمر دوماً - عبر إعادة خلق أوضاع الكون قدر الإمكان في الجزء الأول من عشرة آلاف من البليون من الثانية. وترمي الخطة إلى قذف جسيمات في نفق طوله 84 كيلومتراً من أجل إنجاز 99 ترليون فولت من الطاقة الصاعقة. كانت خطة عظيمة، ولكنها تكلف 8 بليون دولار (وهذا الرقم صعد في النهاية إلى 10 بليون) وتكلف إدارته السنوية مئات الملايين من الدولارات.

* هناك تأثيرات جانبية عملية لكل هذا الجهد المكلف. إن الشبكة الشاملة للعالم هي فرع من الهيئة الأوروبية للأبحاث الذرية. لقد ابتكرها عالم من الهيئة يدعى تيم بيرنيرز لي، عام 1989.

ربما في أروع مثال في التاريخ عن إغداق النقود على ثقب في الأرض أنفق الكونغرس 2 بليون دولار على المشروع، ثم ألغاه في 1993 بعد حضر 22 كيلومتراً من النفق. وهكذا تتباهى تكساس الآن بأعلى نفق في الكون. وقد أخبرني صديقي جيف جوين من فورت ورت ستار تلغرام أن الموقع «هو جوهرياً حقل كبير منطف منقط على طول محيطه بسلسلة من البلدات الصغيرة الخائبة الأمل».

ومنذ انهيار مشروع الصادم الجبار، غضّ علماء فيزياء الجسيمات بصرهم، ولكن حتى المشروعات المتواضعة يمكن أن تكون مكلفة جداً بالمقارنة مع أي شيء. إن مرصد نيوترون مقترحاً في منجم هومستيك القديم في ليد، ساوث داكوتا، سيكلف 500 مليون وهذا منجم محفور سابقاً حتى قبل النظر في كلف الإدارة السنوية للنفق، سيكون هناك أيضاً 281 مليون دولار «من كلف التحويل العامة». وتكلف إعادة تجهيز مسرّع جسيمات في فيرميلاب في إلينوي 260 مليون دولار.

إن فيزياء الجسيمات، باختصار، مشروع مكلف جداً ولكنه مثير. واليوم إن عدد الجسيمات فوق 150، ويشتبه بوجود نحو 100 من الجسيمات الأخرى، ولكن لسوء الحظ، وكما عبر رتشارد فينمان: «من الصعب جداً أن نفهم علاقات جميع تلك الجسيمات وما الهدف الذي تريدهم الطبيعة من أجله، أو ما هي الصلات بين الواحد والآخر». وكلما نجحنا بفتح علبة، اكتشفنا أن هناك علبة أخرى مقللة في داخلها. يعتقد بعضهم أن هناك جسيمات تسمى التيكونات يمكن أن تسافر بسرعة أعلى من سرعة الضوء. يتوق آخرون لاكتشاف الغرافيتون: كم حقل الجاذبية. من الصعب القول متى نصل إلى القاع الذي لا يُختزل. أثار كارل ساغان في كتابه الكون احتمال أنه إذا أمعنا النظر في إلكترون يمكن أن نجد أنه يحتوي على كون خاص به، مما يذكّر بروايات الخيال العلمي في الخمسينيات. «هناك عدد ضخم من الجسيمات الأخرى الأكثر صغراً في داخله، منظمة كالمجرات والبنى الأصغر، التي هي بنفسها أكوان على المستوى اللاحق وهكذا إلى الأبد، هناك في الأسفل أكوان داخل أكوان بلا نهاية. والأمر هو كذلك في الأعلى أيضاً».

إنه عالم يتجاوز الفهم بالنسبة لمعظمنا. وحتى إذا قرأنا دليلاً أولاً عن فيزياء الجسيم هذه الأيام، فإننا سنمر عبر الأجمات القاموسية التي كهذه: «إن البيون المشحون والأنتيبيون ينحلان على التعاقب إلى ميون زائد أنتينوترون وأنتيميون زائد نيوترون بمعدل حياة متوسط هو $10^{-8} \times 2.603$ ثانية، وينحل البيون المحايد إلى فوتونين بمعدل حياة متوسط هو $10^{-16} \times 0.8-10$ ثانية، والميون والأنتيميون ينحلان بالتعاقب...» وهكذا دواليك، وهذا مأخوذ من كتاب للقارئ العام ألفه أكثر المفسرين وضوحاً (عادة)، ستيفن واينبرغ.

اخترع عالم الفيزياء في كالتيك في الستينيات، وفي محاولة لتبسيط الأمور قليلاً، فئة جديدة من الجسيمات تهدف جوهرياً - كما عبر ستيفن واينبرغ - «إلى استعادة بعض التنظيم إلى تعدد الهادرونات»، وهذا مصطلح جمعي يستخدمه علماء الفيزياء للبروتونات والنيوترونات وجسيمات أخرى تحكمها القوة النووية القوية. وكانت نظرية (جيل مان) تقيد بأن جميع الهادرونات مصنوعة من جسيمات أصغر، وأكثر جوهرياً. وأراد زميله رتشارد فينمان أن يدعو هذه الجسيمات الجديدة الأساسية البارتنونات *partons*، كما في دولي، ولكنه نُقِض. وبدلاً من ذلك صارت معروفة باسم الكواركات *quarks*.

أخذ (جيل مان) الاسم من سطر في رواية يقظة فينيغان: «ثلاثة كواركات لمستر مارك!». ولكن البساطة الجوهريّة للكواركات لم تستمر طويلاً. فبعد أن صارت مفهومة على نحو أفضل كان من الضروري إدخال أقسام فرعية. وبالرغم من أن الكواركات صغيرة جداً كي يكون لها لون أو طعم أو أي سمات مادية أخرى يمكن أن نتعرف عليها، فقد صارت مجموعة في ست فئات أعلى، وأسفل، وغريبة، وساحرة، وقمة، وقاع وقد أشار إليها علماء الفيزياء بنحو غريب على أنها «نكهاتها»، وقد قُسمت هذه أيضاً إلى ألوان حمراء وخضراء وزرقاء. (ويشبه المرء أنه ليس من قبيل المصادفة أن هذه المصطلحات استخدمت في البداية في كاليفورنية في أثناء مدة تفشي المخدرات).

وظهر من بين كل ذلك في النهاية ما يدعى بالنموذج المعياري، الذي هو جوهرياً نوع من طقم أجزاء للعالم الدوذي. ويتألف النموذج المعياري من ستة كواركات،

وستة لبتونات* leptons؛ خمسة بوزونات معروفة وسادس مفترض (على اسم عالم أسكتلندي، بيتر هييجز)، بالإضافة إلى ثلاث من القوى الفيزيائية الأربع: القوى النووية القوية والضعيفة والكهرومغناطيسية.

رتبت الأمور بحيث إن الكواركات هي من بين القطع الأساسية التي تبني المادة؛ وتشدّ هذه إلى بعضها بعضاً جسيمات تُدعى الغريونات؛ وتشكل الكواركات والغريونات سوية البروتونات والنيوترونات، مادة النواة النووية. اللبتونات هي مصدر الإلكترونات والنيوترونات. والكواركات واللبتونات سوية تُدعى الفيرميونات. والبوزونات (على اسم العالم الهندي س.ن. بوز) هي جسيمات تُنتج القوى وتحملها، وتشتمل على الفوتونات والغريونات. إن بوزون هييجز يمكن أن يكون موجوداً أو غير موجود؛ فقد اخترع ليكون طريقة لمنح الجسيمات كتلة.

وكما يمكن أن تلاحظوا إن كل هذا غير عملي قليلاً، ولكنه أبسط نموذج يمكن أن يشرح ما يحدث في عالم الجسيمات. ويشعر معظم علماء فيزياء الجسيمات، كما قال ليون لدرمان في فيلم تلفزيوني وثائقي في 1985: إن النموذج المعياري يفتقر إلى الرشاقة والبساطة. «إنه معقد جداً. إنه يحتوي على كثير من العناصر العشوائية»، كما قال لدرمان: «فنحن في الحقيقة لا نرى الخالق يدير عشرين قبضة باب؛ كي يضع عشرين مقياساً من أجل خلق الكون كما نعرفه». فالفيزياء في الواقع ليست إلا مجرد البحث عن البساطة المطلقة، ولكن حتى الآن كل ما لدينا هو نوع من الفوضى الرائعة أو كما عبّر لدرمان: «ثمة شعور عميق بأن الصورة ليست جميلة».

إن النموذج المعياري ليس أخرق فحسب وإنما ناقص أيضاً. إذ لا شيء لديه يقوله عن الجاذبية. ابحثوا في النموذج المعياري كما تشاؤون، فلن تعثروا على أي شيء يشرح لماذا حين تضع قبة على طاولة لا تحلق إلى السقف. ولا، -كما نبهنا لتونا- يستطيع أن يشرح الكتلة. ومن أجل منح الجسيمات أي كتلة علينا أن ندخل بوزون هييجز الافتراضي؛ أما إن كان يوجد في الحقيقة فهذه مسألة فيزياء القرن الواحد والعشرين. وكما قال فينمان مبتهجاً: «وهكذا نحن عالقون في نظرية، ولا نعرف إن كانت صحيحة أم مغلوطة، ولكننا نعرف أنها مغلوطة قليلاً، أو على الأقل غير كاملة».

* اللبتون هو جسيم نوي ضئيل الكتلة مثل الإلكترون والبوزترون. المترجم.

وفي محاولة لربط الأمور كلها، وصل علماء الفيزياء إلى شيء ما يُدعى نظرية (السلك الفائقة super string theory). وهذا يفترض أن جميع الأشياء الصغيرة كالكواركات واللبتونات التي فكرنا فيها من قبل على أنها جسيمات هي في الواقع «أسلاك»؛ خيوط طاقة مهتزة تتذبذب في أحد عشر بعداً، تتألف من الثلاثة التي نعرفها سابقاً بالإضافة إلى الزمن وسبعة أبعاد أخرى، التي هي مجهولة بالنسبة لنا. الخيوط واهية جداً؛ واهية بما يكفي كي تمر بوصفه جسيمات نقطية.

وبإدخال أبعاد إضافية، تمكّن نظرية الأسلاك الفائقة علماء الفيزياء من أن يجمعوا سوية القوانين الكمية، وقوانين الجاذبية في مجموعة مرتبة بشكل نسبي؛ ولكنها تعني أيضاً أن أي شيء يقوله العلماء عن النظرية يبدو مزعجاً كنوع الأفكار، التي ستجعلك تبتعد إذا نقلها إليك غريب على مقعد في حديقة. هنا - على سبيل المثال - عالم الفيزياء متشيو كاكويشرح بنية الكون من منظور الأسلاك الفائقة:

يتألف السلك من سلك مغلق له نمطان من الاهتزازات، باتجاه حركة عقرب الساعة وبالعكس اتجاهه، ويتم التعامل معهما بنحو مختلف. تعيش الاهتزازات التي باتجاه الساعة في فضاء ذي أبعاد عشرة. وتعيش التي بعكس اتجاه الساعة في فضاء ذي ستة وعشرين بعداً، منها 16 بعداً تم ضغطها. (نتذكر في أبعاد كالوزا الخمسة، تم ضغط البعد الخامس بتغليفه الدائرة.

وهكذا تتواصل 350 صفحة.

ولدت نظرية الأسلاك الفائقة شيئاً دعي نظرية إم، التي تدمج أسطحاً تُدعى الأغشية branes في علم الفيزياء. وهذا - كما أخشى - هو الموقف على الطريق السريع للمعرفة حيث يجب أن ينزل معظمنا. وإليك جملة من النيويورك تايمز، تشرح هذا ببساطة قدر الإمكان للجُمهور العام:

تبدأ عملية ekpyrotic بعيداً في الماضي غير المحدد بزوج من الأغشية branes فارغين منبسطين يوضعان في موازاة بعضهما بعضاً في فضاء منحرف ذي أبعاد خمسة... إن الغشاءين اللذين يشكلان جدران البعد الخامس، كان يمكن أن يقفزا من العدم كتذبذب كمي في الماضي الأكثر بعداً، ثم يندفعا منفصلين.

لا جدل مع هذا. ولا فهم له أيضاً. وتأتي كلمة ekpyrotic بالمصادفة من الكلمة اليونانية التي تعبر عن الحريق (conflagration).

وصلت المسائل في الفيزياء الآن إلى درجة إن العالم بول دافيز قال في مجلة نيتشر: «إنه من المستحيل تقريباً على غير العالم أن يميّز بين الغريب بشكل واضح والمعته بشكل صريح». ووصلت المسألة بشكل ممتع إلى أوجها في خريف 2002 حين أنتج عالماً فيزياء فرنسيان، التوءمان إيغور وغرتشكا بوجدانوف Grichka Bogdanov نظرية طموحة جداً تشتمل على مفهومات مثل «الزمن الخيالي» ووضعية كوبو شوينغر مارتن Kubo-Schwinger-Martin تهدف إلى وصف العدم الذي كان هو الكون قبل الانفجار الكبير، وهي مدة افتراض دوماً أنها مجهولة (بما أنها تسبق ولادة الفيزياء ومواصفاتها).

وعلى الفور أثارت نظرية بوجدانوف الجدل بين الفيزيائيين فيما إذا كانت تثرثرة، أو نتاج عبقرية أو خدعة. وقال عالم الفيزياء بيتر وات Peter Woit من جامعة كولومبيا: «من الواضح أن النظرية هي هراء تقريباً من الناحية العلمية، ولكن هذا لا يميزها كثيراً عن كثير من بقية الأدبيات في هذه الأيام».

واقترح كارل بوبر -الذي سماه ستيفن واينبرغ «عميد فلاسفة العلم الحديثين»- أنه يمكن ألا يكون هناك في الواقع نظرية نهائية للفيزياء، وإنما يمكن أن يتطلب كل شرح المزيد من الشرح، منتجاً «سلسلة لانهاية لها من المزيد والمزيد من المبادئ الجوهرية». والاحتمال المنافس هو أن معرفة كهذه يمكن أن تكون ببساطة خارج طاقتنا. وكتب واينبرغ في كتاب أحلام حول نظرية نهائية: «حتى الآن -لحسن الحظ- لا نبدو كأننا نتجه إلى نهاية مصادرنا الفكرية».

ومن المؤكد تقريباً أن هذه حقبة ستشهد المزيد من التطورات الفكرية، ومن المؤكد تقريباً ثانية أن هذه الأفكار ستكون خارج نطاق معظمنا.

وفيما كان علماء الفيزياء في العقود الوسطى للقرن العشرين ينظرون بارتباك إلى عالم ما هو صغير جداً، كان علماء الفلك يكتشفون نقصاً في فهم الكون ككل ليس أقل لفتناً للانتباه.

حين التقينا آخر مرة مع إدوين هبل، كان قد قرر أن جميع المجرات تقريباً في مجال رؤيتنا تطير بعيداً عنا، وأن سرعة وبعد هذا الانسحاب متناسبان: كلما ابتعدت المجرة، ازدادت سرعتها. أدرك هبل أن هذا لا يُمكن التعبير عنه بمعادلة بسيطة، $H_0 = v/d$ (حيث H_0 هي الثابت، v هي السرعة الانكفائية و d مسافة بعدها عنا). لقد عرفت H_0 منذ ذلك الوقت بثابت هبل، والكل عرف باسم قانون هبل. مستخدماً هذه الصيغة، حسب هبل أن عمر الكون بليوناً عام، وكان هذا مرتباً قليلاً؛ لأنه في أواخر العشرينيات كان من الجلي بشكل متزايد أن أموراً كثيرة داخل الكون بما فيه -على الأرجح- الأرض نفسها كانت أكبر من ذلك. وكان تعديل هذا الرقم الشغل الشاغل باستمرار للكزمولوجيا.

إن الشيء الوحيد الثابت تقريباً عن ثابت هبل كان كمية الخلاف حول أي قيمة يجب منحها له. ففي 1956 اكتشف علماء الفلك أن مجموعة النجوم القيافية المتغيرة كانت أكثر تغيراً مما ظنوا؛ وجاءت في تنوعين، وليس في واحد. سمح لهم هذا أن يعيدوا العمل على حساباتهم، ويصلوا إلى عمر جديد للكون بين سبعة بلايين وعشرين بليون عام، ولم يكن هذا العمر دقيقاً جداً، ولكن كان كبيراً بما يكفي على الأقل كي يشمل أخيراً تشكّل الأرض.

وفي الأعوام التي لحقت نشأ جدل استمر طويلاً، بين آلن سانداغ، وريث هبل في جبل ولسون، وجيرار دو فوكوليور Gerard de Vaucouleurs عالم الفلك المولود في فرنسا الذي كان في جامعة تكساس. وصل سانداغ بعد أعوام من الحسابات الدقيقة إلى قيمة لثابت هبل هي 50، مانحاً الكون عمر عشرين بليون عام. ولكن دو فوكوليور كان متأكداً بنحو مساوٍ أن ثابت هبل هو 100*. هذا يعني أن الكون هو نصف الحجم

* بالطبع يحق لك التساؤل ما الذي يعنيه بالضبط «ثابت 50 أو «ثابت 100». تكمن الإجابة في الوحدات الفلكية للقياس. لا يستخدم علماء الفلك السنوات الضوئية إلا في أحاديثهم. يستخدمون الفرسخ النجمي، وهو يستند إلى مقياس كوني ويعادل ثلاث سنوات ضوئية وربيع السنة. أما المقاييس الكبيرة، كحجم الكون، فهي تقاس بالفرسخ النجمي الكبير: فرسخ نجمي كبير واحد يساوي مليون فرسخ نجمي. ويعبر عن الثابت من زاوية الكيلومتر في كل ثانية في كل فرسخ نجمي كبير. وهكذا حين يشير علماء الفلك إلى ثابت هبل 50 فما يعنونه هو «50 كيلومتراً في الثانية في كل فرسخ نجمي كبير». بالنسبة لمعظمنا هذا قياس لا معنى له؛ ولكن مع ذلك، بالمقاييس الفلكية معظم المسافات ضخمة، بحيث تكون غير قابلة للتصديق.

والعمر اللذين اعتقد بهما سانداغ: عشرة بلايين عام. ودخلت الأمور في اللايقين حين اقترح فريق من مرصد كارينجي في كاليفورنيا في عام 1994، مستخدماً مقاييس من تلسكوب هبل الفضائي، أن الكون يمكن أن يكون صغيراً وبعمر 8 بلايين سنة، وهو عمر سلّم الفريق أنه أصغر حتى من عمر بعض النجوم في الكون. وفي شباط 2003، أعلن فريق من ناسا ومركز الطيران الفضائي جودارد في ماريلاند، مستخدماً نمطاً جديداً بعيد المدى من الأقمار الصناعية يدعى مسبار ولكنسون ميكرويف أنستروبي، ببعض الثقة أن عمر الكون هو 13.7 بليون عام، زد أو أنقصْ نحو مئة مليون عام. وهنا استقرت الأمور، على الأقل حالياً.

إن الصعوبة التي تواجه القيام بتحديدات نهائية هي أنه هناك غالباً مساحات واسعة للتأويل. تخيّل الوقوف في حقل في الليل ومحاولة أن تقرر كم يبعد ضوء ان كهرباثيان بعيدان. مستخدماً أدوات مباشرة من علم الفلك تستطيع أن تحدد بسهولة أن المصباحين لهما التألق نفسه، وأن واحدة منهما أكثر بعداً بخمسين بالمئة من الأخرى. ولكن ما لا تستطيع التأكد منه هو، (مثلاً) إن كان الضوء الأقرب 58 واطاً أي يبعد 37 متراً، أو 61 واطاً أي يبعد 36.5 متراً. وقبل كل شيء يجب أن تأخذ في الحسبان التشوهات التي تسببها التغيرات في جو الأرض، من قبل الغبار البيجمري، ومن الضوء الملوّث القادم من النجوم الأمامية وعوامل أخرى كثيرة. والنتيجة هي أن حساباتك هي بالضرورة مبنية على سلسلة من الافتراضات المتداخلة، أي منها يمكن أن يكون مصدرراً للجدل. هناك أيضاً مشكلة أن المدخل إلى التلسكوبات مكلف جداً، وكان قياس الانزياحات الحمراء تاريخياً مكلفاً على صعيد الوقت. يمكن أن يستغرق الأمر الليل كله للحصول على كشف واحد. بالنتيجة، كان علماء الفلك يضطرون أحياناً (أو يرغبون) إلى أن يبنوا الحسابات على أدلة غير كافية. وكما اقترح الصحفي جيوفري كار، لدينا في الكوزمولوجيا «جبل من النظريات المبنية على كومة من الأدلة بحجم التي يصنعها الخلد». أو كما عبر مارتن ريس عن الأمر: «إن رضانا الحالي [بحالة فهمنا] يمكن أن يعكس ضالة المعطيات بدلاً من تفوق النظرية».

وينطبق هذا اللايقين -بالمصادفة- على أشياء قريبة نسبياً كما ينطبق على الحواف البعيدة للكون. وكما يقول دونالد جولدسميث: «حين يقول علماء الفلك: إن

مجرة إم 87 تبعد 60 مليون سنة ضوئية، فإن ما يعنونه في الواقع (ولكنهم لا يشددون على هذا للجمهور العام) هو أنها تبعد ما بين 40 و90 مليون سنة ضوئية، ليس تماماً الأمر نفسه. بالنسبة للكون عامة، إن الأمور تُكبر بنحو طبيعي. فبالرغم من النجاح الباهر الذي يحيط بالإعلانات الأخيرة، فإننا نبقى بعيدين جداً عن الإجماع».

اقترحت إحدى النظريات المهمة أخيراً أن الكون ليس كبيراً كما نظن؛ إنه حين نصدق في المسافة، فإن بعض المجرات التي نراها يمكن أن تكون مجرد انعكاسات، أو صوراً شبحية أنشأها الضوء المرتدّ.

والواقع أن هناك كثيراً من الذي لا نعرفه، حتى على مستوى جوهري تماماً، بما فيه مما صنّع الكون. حين يحسب العلماء كمية المادة المطلوبة لربط الأشياء سوية، فإنهم يباسون من معرفة ذلك دوماً. ويبدو أن 90% على الأقل من الكون، وربما 99% مؤلف من «المادة السوداء» لفريتز زويكي، وهي مادة بطبيعتها غير مرئية لنا. وإنه لمثير للسخط تماماً بالنسبة لنا أن نفكر أننا نعيش في كون لا نستطيع، حتى أن نراه في معظم الأحيان، ولكن ها أنت هناك. على الأقل إن اسمي المتهمين الرئيسيين المحتملين ممتعان: قيل إنهما إما الجسيمات الكبيرة التي تتفاعل على نحو ضعيف WIMPs، التي هي ذرات مادة غير مرئية باقية من الانفجار العظيم أو MACHOs (الأشياء الكبيرة المدمجة المحاطة بهالة، وهذا في الواقع اسم آخر للثقوب السوداء، الأقزام الرمادية ونجوم أخرى باهتة جداً).

مال علماء فيزياء الجسيمات إلى تفضيل شرح الجسيم الخاص بالجسيمات الكبيرة، التي تتفاعل على نحو ضعيف، وفضل علماء الفيزياء الفلكية الشرح النجمي للأشياء المحاطة بهالة. وكان للأشياء المحاطة بهالة اليد العليا لبعض الوقت، ولكن لم يُكتشف ما يكفي منها، وهكذا عاد التعاطف إلى الجسيمات الكبيرة، بالرغم من مشكلة أنه لم يُكتشف أي منها أبداً. ولأنها تتفاعل أسبوعياً، فإنه مفترض أنها موجودة من الصعب جداً اكتشافها. فالأشعة الكونية ستسبب كثيراً من التدخل. وهكذا ينبغي أن يذهب العلماء عميقاً تحت الأرض. إن القصف الكوني إلى عمق

كيلومتر واحد تحت الأرض سيكون جزءاً من واحد بالمليون مما ستفعله على السطح. ولكن حين تُضاف كل هذه، «فإن ثلثين من الكون ما يزالان مفقودين من الميزانية العمومية. أما الآن فإننا نستطيع أن ندعوها جيداً DUNNOS (أشياء في مكان ما سوداء ومجهولة وغير انعكاسية أو قابلة للكشف).

وتوحي الأدلة الأخيرة أن المجرات لا تندفع بعيداً عنا فحسب، وإنما تفعل ذلك بنسبة تتسارع. وهذا يخالف جميع التوقعات. وتبين أن الكون يمكن أن يكون مليئاً ليس بالمادة السوداء فحسب، وإنما بالطاقة السوداء. وأحياناً يدعوا العلماء الطاقة الخوائية أو الجوهر. مهما كانت، فإنها يبدو أنها تقود توسعاً لا أحد يستطيع تفسيره. تقول النظرية: إن الفضاء الفارغ ليس فارغاً على الإطلاق، هناك جسيمات من المادة والمضادة للمادة تقفز إلى الوجود، ثم تقفز خارجه مرة أخرى، وهذه تدفع الكون إلى الخارج بسرعة متنامية. ومن غير المرجح أن الشيء الوحيد الذي يحل كل هذا هو ثابت أينشتاين الكوني، قطعة الرياضيات الصغيرة التي أسقطها في نظرية النسبية العامة لإيقاف توسع الكون المفترض، وقد دعا هذا بـ «الخطأ الأكبر في حياتي». وتبين الآن أنه قام بالأمر على نحو صحيح في النهاية.

إن زبدة كل هذا هو أننا نعيش في كون لا نستطيع أن نحسب عمره تماماً، محاط بنجوم لا نعرف كم تبعد عنا أو عن بعضها بعضاً، ومليء بمادة لا نستطيع تعريفها، ويعمل بانسجام مع القوانين الفيزيائية التي لا نفهم خصائصها.

بعد هذه الملحوظة المقلقة لنعد إلى الكوكب الأرضي ونفكر في شيء ما لا نفهمه بالرغم من أنكم ربما لن تُفاجؤوا الآن من سماع أننا لا نفهمه بشكل كامل، وما نفهمه لم نفهمه منذ وقت طويل.



الفصل الثاني عشر

الأرض تتحرك

قبل أن توافيه المنية في 1955، كتب ألبرت آينشتاين مقدمة قصيرة ألمعية لكتاب ألفه عالم جيولوجيا يدعى تشارلز هابجود بعنوان «قشرة الأرض المنزاحة»: مفتاح بعض المشكلات الأساسية لعلم الأرض. قوّض كتاب هابجود فكرة أن القارات تتحرك. وبنبرة تدعو القارئ إلى الانضمام إليه في ضحكة خافتة، قال هابجود: إن قلة من الأنفس الساذجة لاحظت «تواشجاً واضحاً في الشكل بين قارات معينة». وتابع قائلاً: إنه يبدو: «كأن أمريكا الجنوبية يمكن أن تشبه تماماً إفريقيا، وهكذا دواليك... ويزعم أنه حتى تشكيلات الصخور على جانبي الأطلسي متطابقة».

رفض السيد هابجود بذكاء هذه الأفكار، منبهاً أن عالمي الجيولوجيا ك.ي. كاستر وج.س. مينديز قاما بعمل ميداني واسع على جانبي المتوسط، وبرهنا أنه لا توجد تشابهات كهذه. لا يعرف إلا الله أي بروز صخري نظر إليه كاستر ومينديز؛ لأن كثيراً من تشكيلات الصخور على جانبي الأطلسي هي نفسها في الحقيقة.

لم تكن الفكرة من ابتكار السيد هابجود أو علماء جيولوجيا آخرين في عصره. فقد ظهرت النظرية التي لمَّح إليها هابجود في البداية في 1908 على يد عالم جيولوجيا أميركي هاو يدعى فرانك برسلي تيلور. جاء تيلور من أسرة ثرية وكان لديه كل من الوسائل والحرية من القيود الأكاديمية كي يتبع خطوط استقصاء غير تقليدية. كان أحد أولئك الذين صعقهم التشابه بين ظاهر الخطوط الساحلية في إفريقيا وأمريكا الجنوبية، ومن هذه الملاحظة طوّر فكرته بأن القارات انزلقت مرة دائرياً. اقترح بعلم بالغيب، كما تبين فيما بعد أن اصطدام القارات رفع سلاسل الجبال في العالم. لكنه أخفق في إيراد أدلة، وعدت النظرية خرقاء لا تستحق الانتباه الجدي.

ولكن فكرة تيلور - على أي حال - التقت في ألمانيا، وانحلت على نحو فاعل، من قبل منظر يدعى ألفرد فيجينر، وهو عالم بالأرصاد الجوية في جامعة ماربورغ.

استقصى فيجينر الشذوذات الكثيرة في النبات والمستحاثات، التي لم تتلاءم بنحو مريح في النموذج المعياري لتاريخ الأرض، وأدرك أن قليلاً منها له معنى إذا تم تفسيره بنحو مألوف. هذا وقد ظهرت المستحاثات الحيوانية بشكل متكرر على جانبي المحيطات التي كانت على ما يبدو كبيرة جداً لا يمكن عبورها بالسباحة. وتساءل: كيف انتقلت الجراييات من أمريكا الجنوبية إلى أستراليا؟ وكيف ظهرت سلاحف مماثلة في البلدان الإسكندنافية ونيوانجلاندا؟ وكيف يفسر المرء وجود طبقات الفحم أو بقايا شبه استوائية في مناطق قارسة مثل سبتسبرجن، على بعد 600 كيلومتر إلى الشمال من النرويج، إذا لم تكن قد هاجرت إلى هناك من مناخات دافئة؟

طور فيجينر نظرية أن قارات العالم وجدت مرة كتلة أرض واحدة دعاها بانجيا Pangaea حيث كانت الحياة النباتية والحياة الحيوانية قادرتين على الاختلاط، قبل أن تنفصلا إلى موقعهما الحالية. وعبر عن الفكرة في كتاب بعنوان: «أصل القارات والمحيطات»، نُشر في ألمانيا سنة 1912 وبالرغم من نشوب الحرب العالمية الأولى آنذاك، نشره بالإنكليزية بعد ثلاث سنوات.

وبسبب الحرب، لم تجذب نظرية فيجينر كثيراً من الانتباه في البداية، ولكن في 1920، حين أنتج نسخة منقّحة وموسّعة صار بسرعة موضوعاً للنقاش. وافق الجميع على أن القارات انجرفت، ولكن إلى الأعلى والأسفل، وليس جانبياً. إن عملية الحركة العمودية - المعروفة باسم توازن القشرة الأرضية - كانت أساس الاعتقاد الجيولوجي لأجيال، بالرغم من أنه لم يطرح أحد أي نظريات جيدة عن: «كيف حدث هذا ومتى؟». كانت هناك فكرة واحدة، بقيت في المقررات المدرسية، حتى أيام دراستي، هي نظرية «التفاحة المسلوقة» التي طرحها النمساوي إدوارد سويس تماماً قبل انعطاف القرن. قالت النظرية: إنه حين بردت الأرض الذائبة صارت مجمدة كتفاحة مطبوخة، مشكّلة أحواض محيطات وسلاسل جبال. لا يهم أن جيمس هتون قال قبل هذا بوقت طويل: إن أي ترتيب ثابت كهذا سينتج في النهاية كرة بلا ملامح، بما أن الحثّ يمهد الانتفاخات ويملاً الحفر. كان هناك أيضاً المشكلة، التي أشار إليها رزرفورد وسودي في بداية القرن، بأن العناصر الأرضية تحمل احتياطيات كبيرة من الحرارة، كثير

وكثير جداً بحيث لا يسمح بنوع التبريد والتقلص الذي اقترحه سويس. وعلى أي حال، إذا كانت نظرية سويس صحيحة، فإن الجبال ستوزع عندئذ بنحو متساوٍ عبر وجه الأرض - ولكنها لم تكن هكذا على ما يبدو - ومن العمر نفسه تقريباً؛ ومع ذلك، في أوائل التسعينيات كان من الواضح أن بعض السلاسل مثل الأورال وجبال الألب، كانت أكبر من الأخرى بمئات الملايين من السنين، كالألب وجبال روكي. ومن الواضح أن الوقت كان ناضجاً لنظرية جديدة. ولسوء الحظ، لم يكن ألفرد فيجينيير الرجل الذي رغب الجيولوجيون بأن يقدمها.

في البداية، شككت أفكاره الجذرية بأسس نظامهم، وكانت هذه نادراً ما تعدّ طريقة فاعلة لتوليد المودة في الجمهور. سيكون تحدُّ كهذا مؤلماً لوقام به عالم جيولوجيا، ولكن فيجينيير لم يكن يمتلك خلفية في الجيولوجيا. كان عالم أرساد جوية، رجل طقس ألماني، ولم تكن هذه حالات نقص قابلة للعلاج.

وهكذا بذل علماء الجيولوجيا ما بوسعهم؛ كي يرفضوا دليله ويقللوا من أهمية اقتراحاته. وللالتفاف على مشكلة توزيع المستحاثات، وضعوا «جسوراً ترابية» قديمة، بحسب الحاجة. وحين اكتشف أن حصاناً قديماً يدعى هيباريون عاش في فرنسا وفي فلوريدة في الوقت نفسه، رسم جسراً أرضياً عبر الأطلسي. وحين عُرف أن حيوانات التابير عاشت بنحو متزامن في أمريكا الجنوبية وجنوب شرق آسيا رسم جسراً أرضياً هناك، أيضاً. وفي الحال كانت خرائط البحار ما قبل التاريخية مليئة بالجسور، الأرضية الافتراضية من أمريكا الشمالية إلى أوروبا ومن البرازيل إلى إفريقية ومن جنوب شرق آسيا إلى أستراليا، ومن أستراليا إلى أنتاركتيكا. ولم تظهر هذه الحوائق الرابطة بشكل ملائم كلما كان من الضروري نقل متعض حي من كتلة أرض إلى أخرى فحسب، ولكنها تلاشت أيضاً بشكل إلزامي دون أن تترك أثراً لوجودها السابق. ولم يدعم هذا بالطبع أي أدلة ولا شيء يمكن أن يكون خطأ كهذا، ولكن هذه كانت الأرتوذوكسية الجيولوجية في نصف القرن اللاحق.

لم تستطع حتى الجسور الأرضية شرح بعض الأمور. فإحدى الأنواع من ثلاثيات الفصوص التي كانت معروفة جيداً في أوروبا اكتشف أنها كانت تعيش أيضاً في

نيوفاوندلاند*، ولكن على جانب واحد فقط. ولم يستطع أحد أن يشرح بشكل مقنع كيف أنها استطاعت عبور 3000 كيلومتر من المحيط المعادي، ولكنها أخفقت في العثور على طريقها حول زاوية جزيرة عرضها 300 كيلومتر. وكان هناك نوع آخر أكثر شذوذاً من ثلاثيات المفاصل عُثر عليه في أوروبا، وفي الشمال الشرقي الغربي من أمريكا المطل على المحيط الهادئ ولكن لم يُعثر عليه في أي مكان بينهما، مما لن يقتضي كثير من الجسور الأرضية بقدر ما يقتضي طيراناً. مع ذلك في أواخر 1964 حين ناقشت الموسوعة البريطانية النظريات المتنافسة عدت نظرية فيجينيير أنها كانت مليئة «بالعديد من الصعوبات النظرية الخطرة». وللتأكيد، ارتكب فيجينيير أخطاء. جزم بأن غرينلندا تندفع إلى الغرب بسرعة 1.6 كيلومتر في العام، وهذا هراء واضح. (إن الأمر يتم بالسنتمترات). وقبل كل شيء، لم يستطع تقديم شرح مقنع عن: «كيف كانت كتل الأرض تتحرك؟». وللإيمان بنظريته يجب أن تقبلوا أن القارات الكبيرة تدفع نوعاً ما عبر القشرة الصلبة، كمزارع يحرث الأرض، دون أن يترك أي أثلام بعد ذلك. لاشيء إذاً يمكن أن يشرح بنحو معقول ما حرك هذه الانتقالات الكبيرة.

كان آرثر هولمز، عالم الجيولوجيا البريطاني - الذي فعل كثيراً لتحديد عمر الأرض - هو الذي قدم اقتراحاً. كان هولمز أول عالم فهم أن التدفئة الإشعاعية يمكن أن تنتج تيارات نقل داخل الأرض. نظرياً، يمكن أن تكون هذه قوية بما يكفي كي تجعل القارات تتزاح دائرياً على السطح. وفي كتابه المشهور والمؤثر مبادئ الجيولوجيا الفيزيائية، الذي نُشر لأول مرة في 1944، وضع هولمز نظرية لانجراف القارات هي، في مبادئها الجوهرية؛ النظرية السائدة اليوم. كانت ما تزال فرضية جذرية في زمنها وانتقدت على نطاق واسع - خاصة في الولايات المتحدة - حيث استمرت مقاومة الانجراف أكثر من أي مكان آخر. اغتاض هناك أحد المراجعين - دون أي إحساس بالمفارقة - قائلاً: إن هولمز قدم حججه بشكل واضح ومغرٍ للطلاب؛ كي يؤمنوا بها. وفي مكان آخر - على أي حال - حصلت النظرية على دعم مطرد ولو كان حذراً. ففي 1950، أظهر تصويت في الاجتماع السنوي للرابطة البريطانية لتقدم العلم، أن نصف الحاضرين تقريباً

* جزيرة مثلثية الشكل تقريباً واقعة تجاه الساحل الشرقي من كندا. المترجم.

قبلوا فكرة الانجراف القاري. (قام هابجورد حالاً بعد هذا بإيراد هذا الرقم على أنه دليل على كيف أصبح علماء الجيولوجيا البريطانيين مضلّين). ومن المثير للفضول، أن هولمز نفسه تذبذب في معتقده أحياناً. فقد اعترف في 1953: «لم أنجح أبداً في تحرير نفسي من رأي سابق مزعج ضد الانجراف القاري؛ في عظامي الجيولوجية، إذا صح التعبير، أشعر أن الفرضية فنتازية».

لم يكن الانجراف القاري دون دعم بشكل كامل في الولايات المتحدة. فقد دافع عنه رجينال دالي من هارفارد، ولكنه - كما يمكن أن تتذكروا - كان الشخص الذي اقترح أن القمر يشكل من تأثير كوني، وكان هناك ميل إلى عدّ أفكاره مهمة، وحتى جديرة بالثقة، ولكنها فياضة بالحماس بحيث لا تُعدّ تفكيراً جدياً. وهكذا تمسّك معظم الأكاديميين الأميركيين بالاعتقاد بأن القارات شغلت مواقعها إلى الأبد، وأن ملامح سطوحها يمكن أن تُعزى إلى شيء آخر غير الحركات الجانبية.

ومن المثير للاهتمام أن علماء الجيولوجيا في شركات النفط عرفوا طوال سنوات أنك إذا أردت العثور على النفط، يجب أن تعترف بحركات السطح المتضمنة في الألواح التكتونية. لكن علماء الجيولوجيا المختصين بالنفط لم يكتبوا أبحاثاً أكاديمية؛ وإنما عثروا على النفط فحسب.

كانت هناك مشكلة رئيسة أخرى في نظريات الأرض لم يحلها أحد، أو حتى يقترب من حلّها. كانت تلك مسألة أين تذهب كل الرُّسابة. ففي كل عام تحمل أنهار الأرض كميات كبيرة من المادة المتأكلة 500 مليون طن من الكالسيوم، مثلاً إلى البحار. إذا ضربت سرعة الإيداع بعدد الأعوام، تصل إلى عدد مزعج: سيكون هناك نحو 20 كيلومتراً من المواد الرسابية في قاع المحيط أو - إذا عبّرنا عن الأمر بطريقة أخرى - ستكون قيعان المحيطات الآن فوق قممها. وقد تعامل العلماء مع هذه المفارقة بأسهل الطرق: أي تجاهلها. ولكن في النهاية جاءت نقطة لا يستطيعون فيها تجاهل هذا الأمر.

في أثناء الحرب العالمية الثانية، عُيّن عالم معادن في جامعة برنستون يُدعى هاري هيسس مسؤولاً عن سفينة نقل هجومية، يو إس إس كيب جونسون. وعلى متن

هذه السفينة كان هناك مسبار خيالي للأعماق يدعى سابِر الأعماق، صُمم لتسهيل المناورات قرب الشاطئ في أثناء النزول عليه، ولكن هيس أدرك أنه يمكن أن يُستخدم بنحو مساوٍ لأهداف علمية ولم يطفئه أبداً، حتى في أعماق البحار، أو في وطيس المعركة. ما اكتشفه كان غير متوقع بنحو كامل. إذا كانت أرضيات المحيط قديمة - كما افترض الجميع - يجب أن تكون مغطاة بشكل كثيف بالمواد الرسائية، على غرار الطين في قاع نهر أو بحيرة. ولكن قراءات هيس أظهرت أن أرضية المحيط لم تقدم أي شيء سوى نعومة الغرين القديم. إن المحيط معلّم في كل مكان بالأودية والخنادق والصدوع ومنقط بالجبال البحرية البركانية، التي دعاها الموائد البحرية على اسم أحد علماء الجيولوجيا السابقين أرنولد جويوت. كان هذا لغزاً، ولكن هيس خاض حرباً؛ كي يشارك فيه، ووضع أفكاراً كهذه في مؤخره ذهنه.

بعد أن وضعت الحرب أوزارها، عاد هيس إلى برنستون وعاد إلى انشغالاته بالتدريس، ولكن ألفاز قاع البحر واصلت احتلال مكان في أفكاره. في غضون ذلك، وفي أثناء الخمسينيات، كان علماء المحيطات والأوقيانوسات يقومون بالمزيد من المسوحات لأرضيات المحيط. وفي أثناء فعلهم هذا، عثروا على مفاجأة أكبر: إن أضخم وأوسع سلسلة جبال على الأرض كان معظمها تحت الماء. اتبعت مهراً متواصلًا على طول قيعان بحار العالم كمسار كرة تنس. لو انطلقت من إسبندة وسافرت جنوباً، تستطيع أن تتبعها في مركز المحيط الأطلسي، حول قاع إفريقيا، وعبّر المحيط الهندي والجنوبي إلى الهادئ تماماً تحت أستراليا؛ وهناك تدور على نحو زاوي عبر المحيط الهادئ، وكأنها تتجه إلى باجا في كاليفورنيا قبل أن ترتفع في الساحل الغربي للولايات المتحدة إلى آلاسكا. وبين الفينة والأخرى تتناقمها الأعلى فوق الماء كجزيرة أو أرخبيل الأزوريس والكناري في الأطلسي، وهاواي في الهادئ، على سبيل المثال، ولكن معظمها مدفون تحت آلاف القمامات (القمامة = ستة أقدام) من البحر المالح، المجهولة وغير المفكر فيها. حين تضاف كل فروعها سوية فإن الشبكة تمتد 75,000 كيلومتر.

كان جزء قليل من هذا معروفاً لبعض الوقت. فالأشخاص الذين كانوا يرمون كبلات إلى قاع المحيط في القرن التاسع عشر أدركوا أنه كان هناك نوع ما من التدخل

الجبلي في منتصف الأطلسي من الطريقة التي كانت تتحرك بها الكبلات، ولكن الطبيعة المتواصلة والوزن الكلي للسلسلة كانا مفاجأة مذهلة. فضلاً عن ذلك، احتوت على شذوذات مادية لا يمكن شرحها. وفي حيد منتصف الأطلسي كان هناك صدع عرضه 20 كيلومتراً بالنسبة لطوله الكامل الذي يبلغ تسعة عشر ألف كيلومتر. بدا كأن هذا يوحي بأن الأرض تتشق عند خطوط الاتصال، كجوزة تخرج من صدفتها. كانت فكرة سخيفة ومثيرة للأعصاب، ولكن الدليل لا يمكن أن يُنكر.

ثم في 1960 أظهرت العينات الأساسية أن قاع المحيط فتي جداً في حيد منتصف المحيط، لكنه يصبح على التعاقب أكبر حين تنتقل بعيداً عنه إلى الغرب أو الشرق. فكّر هاري هيس بالمسألة وأدرك أن هذا يمكن أن يعني شيئاً واحداً فحسب: شكلت قشرة محيط جديدة على جانبي الانجراف المركزي، ثم دفعت بعيداً عنه بعد أن جاءت قشرة جديدة خلفها. كانت أرضية المحيط ناقلين ضخمين، واحد ينقل القشرة نحو شمال أمريكا، وينقلها الآخر نحو أوروبا. صارت العملية معروفة باسم انتشار أرضية البحر.

حين وصلت القشرة في نهاية رحلتها إلى الحدود مع القارات، غاصت مرة أخرى في الأرض في عملية تُعرف باسم السحج. شرح هذا إلى أين ذهبت الترسبات كلها. لقد تمت إعادتها إلى أحشاء الأرض. شرح أيضاً لماذا كانت قيعان البحار والمحيطات في كل مكان فتية نسبياً. ولم يكتشف أن عمر أي منها أكثر من 175 مليون سنة، وكان هذا الغزأ؛ لأن عمر الصخور القارية كان بلايين الأعوام في الغالب. والآن يستطيع هيس أن يعرف لماذا لا تستمر الصخور المحيطية إلا الوقت الذي تستغرقه كي تنتقل إلى الشاطئ؟ كانت هذه نظرية جميلة شرحت كثيراً جداً. أوضح هيس حججه في بحث مهم جداً، تم تجاهله عالمياً تقريباً. فالعالم أحياناً لا يكون مستعداً لفكرة جيدة.

في غضون ذلك، قام باحثان يعملان على نحو مستقل، باكتشافات مذهلة معتمدين على حقيقة مثيرة للفضول عن تاريخ الأرض اكتُشفت قبل عقود عدة. ففي 1906، اكتشف عالم فرنسي يُدعى برنار برنار Bernard Brunhes أن الحقل المغناطيسي للكوكب يعكس نفسه من وقت لآخر، وأن سجل هذه الانعكاسات ثابت بشكل دائم في

بعض الصخور في وقت تشكلها. وبشكل محدد، إن حبات صغيرة من خام الحديد داخل الصخور تشير إلى أي مكان يصادف أن يكون فيه القطبان المغناطيسيان في وقت تشكلهما، ثم تبقى مشيرة إلى تلك الجهة فيما هي تبرد وتتصلب. بالنتيجة، إنها «تتذكر» أين يكون القطبان المغناطيسيان في وقت تشكلها. لم يكن هذا لسنوات سوى شيء لافت للنظر، ولكن في الخمسينيات درس باتريك بلاكيت من جامعة لندن و س.ك. رنكورن من جامعة نيوكاسل النماذج المغناطيسية القديمة المتجمدة في الصخور البريطانية وفوجئاً - هذا إذا قلنا أقل شيء - حين اكتشفا أنها تشير إلى أنه في وقت ما في الماضي البعيد دارت بريطانيا على محورها وانتقلت قليلاً إلى الشمال، وكأنها فلتت نوعاً ما من مراسيها. فضلاً عن ذلك، اكتشفا أنك إذا وضعت خريطة لنماذج أوروبة المغناطيسية إلى جانب خريطة أميركية من المدة نفسها، فإنهما يتلاءمان سوية كنصفي رسالة ممزقة. كان هذا خارقاً للطبيعة. ولكنه تم تجاهل اكتشافاتهما، أيضاً.

وأخيراً قام رجلان من جامعة كمبريدج، عالم جيوفيزياء (عالم بطبيعة الأرض) يدعى درموند ماثيوس وطالب متخرج يدعى فرديد فاين، بربط الخيوط جميعها سوية. وفي 1963 -مستخدمين الدراسات المغناطيسية لقاع المحيط الأطلسي- بيّنا بشكل قاطع أن أراضيات البحار كانت تنتشر بدقة بالطريقة التي اقترح بها هيس أن القارات تتحرك. واستنتج عالم جيولوجيا كندي غير محظوظ يدعى لورنس مورلي النتيجة نفسها في الوقت نفسه، ولكنه لم يستطع العثور على أي شخص ينشر بحثه. وفيما أصبح ازدرأء مشهوراً، قال له محرر مجلة جورنال أوف جيوغرافيكال ريسيرش (مجلة الأبحاث الجغرافية): «إن تأملات كهذه تشكل حديثاً ممتعاً في حفلات الكوكتيل، ولكنها ليست النوعية التي ينبغي أن تُنشر تحت الرعاية العلمية الجديدة». ووصفه أحد علماء الجيولوجيا مرة بأنه «على الأرجح أهم بحث في علوم الأرض سبق ورفض نشره».

على أي حال، كانت القشرة المتحركة فكرة لم يحن وقتها بعد. وقد عقد كثير من أهم الشخصيات في هذا الميدان ندوة في لندن برعاية الجمعية الملكية في 1964، وفجأة، ارتد الجميع على ما يبدو. اتفق المجتمعون على أن الأرض (خليط متنوع) موازيك من القطع المتداخلة التي يفسر اصطدامها الضخم بعضها بعضاً كثيراً من سلوك سطح الكوكب.

وُبذ بسرعة اسم «الانجراف القاري» حين أدرك أن القشرة كلها تتحرك وليس القارات فقط، ولكن الأمر استغرق مدة للاستقرار على اسم للقطع الفردية. في البداية سمّاها الناس «القطع القشرية»، أو أحياناً «الرصفة». ولكن في أواخر 1968، وبعد نشر مقالة لثلاثة علماء زلازل أميركيين في مجلة الأبحاث الجغرافية، حصلت القطع على اسم وصارت تعرف باسم الألواح. ودعت المقالة نفسها العلم الجديد باسم الألواح التكتونية.

إن الأفكار القديمة لا تموت بسهولة لهذا لم يندفع الجميع إلى اعتناق النظرية الجديدة المثيرة. وفي أواخر السبعينيات، ألح أحد أشهر الكتب الجيولوجية المؤثرة، «الأرض» -والذي ألفه المحترم هارولد جيفريز- بقوة أن الألواح التكتونية تشكل استحالة مادية، كما فعل في الطبعة الأولى في 1924. وقد رفض أيضاً الحمل الحراري وانتشار قاع البحر. وفي كتاب الحوض والسلسلة، الذي نُشر في 1980، قال جون مكفي: إن واحداً من بين كل ثمانية جيولوجيين أميركيين لم يقبل فكرة الألواح التكتونية آنذاك.

واليوم نعرف أن سطح الأرض مشكل من ثمانية إلى اثني عشر لوحاً كبيراً (وهذا يعتمد على كيفية تحديد الكبر) ومن عشرين أو ما يقارب ذلك من الألواح الأصغر، وأنها كلها تتحرك في اتجاهات مختلفة وبسرعات مختلفة. بعض الألواح كبيرة ومهمدة نسبياً، وبعضها الآخر صغير ولكنه نشيط. ولا تجمعها إلا علاقة تصادفية مع كتل الأرض التي توضع فوقها. فاللوح الأمريكي الشمالي، مثلاً أضخم بكثير من القارة التي يُربط بها. فهو يتبع تقريباً مخطط الساحل الغربي للقارة (لهذا السبب المنطقة ناشطة زلزالياً؛ بسبب ارتجاج واندفاع حد اللوح)، ولكنه يتجاهل الشاطئ وبدلاً من ذلك يمتدّ منتصف الطريق عبر الأطلسي إلى الحيد الذي في منتصفه. أيسلندا منشقة في الوسط، مما يجعلها تكتونياً نصف أمريكية ونصف أوروبية. بينما نيوزلندا هي جزء من لوح المحيط الهندي الضخم بالرغم من أنها ليست قريبة منه. وهكذا المسألة بالنسبة لمعظم الألواح.

إن الروابط بين كتل الأرض الحديثة والسابقة تبدو أكثر تعقيداً مما يمكن أن يتصوره المرء. تبين أن كازاخستان كانت مرتبطة مرة بالنرويج ونيوانجلاند.

وإحدى زوايا جزيرة ستيتن، ولكن زاوية واحدة فحسب هي أوروبية. وهكذا جزء من نيوفاوندلاند. التقطوا حصة من شاطئ في ماساتشوسيتس وستكون الحصة الأقرب لها الآن في إفريقية. إن الأراضي المرتفعة الأسكتلندية وكثيراً من إسكندنافيا هي أمريكية بالأساس. إن بعض سلسلة شاكلتون من أنتاركتيكا - كما يُعتقد - ربما كانت تنتمي إلى جبال الأبالاش في الروك الروسية الشرقية، باختصار لقد استدارت.

إن الفوضى المستمرة تمنع الألواح من الانصهار في لوح واحد ثابت. ومفترضين أن الأمور ستستمر كما هو الأمر الآن، فإن المحيط الأطلسي سيتوسّع إلى أن يصبح في النهاية أكبر من المحيط الهادئ. سيعوم كثير من كاليفورنية ويصبح نوعاً من مدغشقر المحيط الهادئ. ستندفع إفريقية شمالاً نحو أوروبا، مما سيؤدي إلى اختفاء المتوسط رافعاً سلسلة جبال على غرار جبال الهملايا المهيبه تمتد من باريس إلى كالكوستا. ستستمر أسترالية جزر شمالها وترتبط بأسية بسرّة برزخية. هذه هي النتائج المستقبلية. والأحداث تحدث الآن. فبينما نجلس هنا، فإن القارات تنجرف، كأوراق في بركة. ولكن بفضل أنظمة الموضعة العالمية نستطيع أن نرى أن أوروبا وأمريكا الشمالية تفصلان بالسرعة نفسها التي ينمو بها ظفر: تقريباً مترين في مدة حياة إنسان. إذا كنت مستعداً للانتظار مدة أطول، فبوسعك أن تنطلق من لوس أنجلس إلى سان فرانسيسكو. إن قصر العمر فقط هو الذي يمنعنا من إدراك هذه التغييرات. انظر إلى الكوكب (الجلوب) وما ستراه في الحقيقة هو لقطة خاطفة للقارات كما كانت فقط لعشر من 1% من تاريخ الأرض.

إن الأرض هي الكوكب الوحيد بين الكواكب الصخرية التي تمتلك الألواح التكتونية والسبب في هذا لا يزال لغزاً. إنها ليست مجرد مسألة حجم أو كثافة. إن كوكب الزهرة هو توأم للأرض في هذه المناحي، ومع ذلك ليس فيه نشاط تكتوني، ولكن ربما لدينا فقط المواد المناسبة في المقاييس الصحيحة لجعل الأرض تمور بالحياة. واعتقد بالرغم من أن الأمر في الحقيقة ليس إلا مجرد فكرة، أن التكتونيات هي جزء مهم من رفاهة الأرض العضوية. وكما عبّر عن الأمر عالم الفيزياء والكاتب جيمس تريفل: «سيكون من الصعب التصديق بأن الحركة الدائمة للألواح التكتونية ليس لها تأثير

على تطور الحياة على الأرض». ويقترح أن التحديات التي تفرضها الألواح التغيرات في المناخ، مثلاً كانت مهماً لتطور الذكاء. ويعتقد آخرون أن الانجرافات القارية من المحتمل أنها أنتجت على الأقل بعض حوادث الانقراض المتنوعة على الأرض. وفي تشرين الثاني (نوفمبر) 2003 أنتج توني دكسون من جامعة كمبريدج تقريراً - نُشر في مجلة ساينس (العلم) - يقترح بقوة أنه يمكن أن تكون هناك علاقة بين تاريخ الصخور وتاريخ الحياة. ما وصل إليه دكسون هو أن المركب الكيميائي لمحيطات الأرض تبدل بشكل مفاجئ ودرامي في أوقات عبر النصف بليون عام الماضية، وغالباً ما تتواشج هذه التغيرات مع حوادث مهمة في التاريخ البيولوجي: البزوغ الضخم للمتعضيات الصغيرة التي أنشأت الجروف الحوَّارية للساحل الإنكليزي الجنوبي، الموضة المفاجئة للأصداف بين المتعضيات البحرية في المدة الكامبرية، وهكذا دواليك.

على أي حال، لم تشرح الألواح التكتونية دينامية سطح الأرض فحسب كيف وصل هيباريون قديم من فرنسة إلى فلوريدة، على سبيل المثال وإنما أيضاً كثيراً من أفعالها الداخلية: الزلازل، وتشكُّل سلاسل الجزر، ودورة الكربون، ومواقع الجبال، ومجيء العصور الجليدية، وأصول الحياة نفسها، وبالكاد كانت هناك مادة لم تتأثر مباشرة بهذه النظرية الجديدة اللافتة للنظر. لقد وجد علماء الجيولوجيا أنفسهم - كما قال (مكفي) - في الموقع الذي يسبب الدوار حيث «الأرض كلها صارت مفهومة فجأة».

ولكن إلى نقطة ما فقط. إن توزيع القارات في الأزمنة السابقة حُلَّ بطريقة أقل أناقة بكثير مما ظنه الأشخاص جميعاً الذين خارج الجيوفيزياء. وبالرغم من أن الكتب تقدم تمثيلات تبدو واثقة لكتل الأرض القديمة بأسماء مثل لوراسيا، وجوندوانا، ورودينيا وبانجيا، إلا أن هذه كانت تستند أحياناً إلى استنتاجات لا تصمد. وكما قال جورج جيلورد سيمبسون في كتابه المستحاثات وتاريخ الحياة، كان لأنواع النباتات والحيوانات في العالم القديم عادة الظهور بشكل غير مناسب، حيث يجب ألا تظهر وتخفق في أن تكون حيث ينبغي عليها أن تكون.

كان مخطط جوندوانا، التي كانت مرة قارة كبيرة تربط أستراليا وإفريقية وأنتاركتيكا وأمريكا الجنوبية يستند بشكل كبير على توزع جنس قديم من الأشنيات

يُدعى جلوسوبتيريس *Glossopteris*، اكتُشف في الأمكنة جميعها. على أي حال، بعد زمن طويل فيما بعد اكتشاف الجلوسوبتيريس في أجزاء من العالم ليس لها ارتباط معروف بجوندوانا. إن هذا التناقض المزعج كان ولا يزال مغفلاً. وبنحو مشابه، إن زاحفة من العصر الترياسي تُدعى ليستروصوروس *lystrosaurus* عثر عليها من أنتاركتيكة طوال الطريق إلى آسية، وهذا دعم فكرة ارتباط سابق بين هذه القارات، ولكنها لم تظهر أبداً في أمريكا أو أستراليا، اللتين اعتقد أنهما كانتا جزءاً من القارة نفسها في الوقت نفسه.

ثمة أيضاً كثير من ملامح السطح التي لا تستطيع الألواح التكتونية شرحها. خذوا دنفر مثلاً. إنها - كما يعرف الجميع - مرتفعة ميلاً، ولكن هذا الارتفاع حديث نسبياً. حين كانت الديناصورات تطوف على سطح الأرض، كانت دنفر جزءاً من قاع المحيط، منخفضة آلاف المترات. مع ذلك إن الصخور التي تستقر عليها دنفر لن تكون مسحوقة أو مشوهة لو أن دنفر دُفعت إلى الأعلى من قبل الألواح المصدمة، وعلى أي حال كانت دنفر بعيدة جداً عن حواف اللوح كي تكون عرضة لأفعاله. سيكون الأمر كما لو أنك تدفع إزاء حافة سجادة، أملاً أن ترفع ثنية في الطرف المقابل. وطوال ملايين السنين يبدو أن دنفر كانت ترتفع بشكل غامض، مثل الخبز داخل بيت النار. وحدث هكذا أيضاً لكثير من جنوب إفريقيا؛ ارتفع جزء مؤلف من 1600 كيلومتر نحو كيلومتر ونصف في مئة مليون عام، دون أي نشاط تكتوني معروف مرتبط بذلك. كانت أستراليا - في غضون ذلك - تتحد وتغوص. وفي الأعوام المئة مليون الماضية، حين انجرفت شمالاً نحو آسية، غاصت حافظتها الأساسية إلى عمق 200 قدم تقريباً. ويبدو كأن إندونيسية تغوص ببطء شديد، وتجر أستراليا معها إلى الأسفل. لا شيء في نظرية التكتونيات يشرح أيّاً من هذا.

لم يعيش الفرد فاغندر أبداً كي يرى أفكاره تُثبت. قام وحده برحلة إلى غرينلندة في 1930، في عيد ميلاده الخمسين؛ كي يفحص نقص المؤونة. لم يعد أبداً. عُثر عليه بعد أيام عدة مجمداً حتى الموت في الجليد. دُفن في المكان نفسه وما يزال قبره هناك، ولكن أقرب نحو متر من أمريكا الشمالية، مما كان عليه يوم موته.

لم يعيش أينشتاين أيضاً بما يكفي كي يرى أنه راهن على الحصان الخاطئ. وفي الحقيقة، وافته المنية في برنستون، نيوجرسي، عام 1955، قبل أن يُنشر هجوم تشارلز هابجود المتقنه لنظريات الانجراف القارية.

كان المؤثر الآخر الرئيس في بزوغ نظرية التكتونيات، هاري هيس، في برنستون أيضاً في ذلك الوقت، وأمضى بقية حياته المهنية هناك. كان أحد طلابه شاباً متألقاً يدعى والتر ألفاريز، الذي غير عالم العلم في النهاية بطريقة مختلفة تماماً. كانت الانقلابات الجيولوجية قد بدأت لتوها، وكان الشاب ألفاريز هو الذي ساعد على إطلاق هذه العملية.

