الحياة في ممر بطيء

في عام 1972، نشرت منظمة تدعى نادي روما نبوءة متشائمة حول مستقبل الإنسانية باسم: «قيود على النمو» Limits to Growth. ومن بين ادعاءاتها الكثيرة حول كارثة وشيكة كانت نبوءة أن مورد العالم من الوقود الأحفوري سينضب خلال عقود قليلة جداً. فأصيب الناس بالذعر، وارتفعت أسعار النفط، وأصبح البحث عن طاقة بديلة «موضة». وها نحن الآن وإلى هذا الوقت لم يظهر، حتى الآن، ما يدل على أن الوقود الأحفوري على وشك أن ينفد. وبالنتيجة، حل الرضا محل الذعر. ومن سوء الحظ، أن حساباً بسيطاً يملي أن مورداً محدوداً لا يمكن أن يستمر إلى الأبد لكونه يُستنفَد بمعدل محدود لا ينقص. فإعسار الطاقة قادم إن عاجلاً أو آجلاً. والاستنتاج نفسه يمكن أن ينسحب على سكان الكرة الأرضية: النمو السكاني لا يمكن أن يستمر إلى ما لا نهاية.

يظن بعض المتشائمين أن الأزمات التي ستنجم عن نقص الطاقة وتزايد السكان سوف تقضي على البشرية مرة واحدة وإلى الأبد. مع ذلك، لا ضرورة إلى موازنة اختفاء الوقود الأحفوري باختفاء النوع البشري. فهناك، في كل مكان حولنا، مصادر واسعة للطاقة، فقط إذا توفرت لدينا الإرادة والبراعة لاستخدامها. وأكثرها أهمية ضوء الشمس الذي يحمل ما يكفي من الطاقة لخدمة أغراضنا. والمشكلة الأكثر صعوبة تتمثل بالسيطرة على النمو السكاني قبل أن يتسبب لنا بمجاعة جسيمة. وهذا يتطلب مهارات اجتماعية، واقتصادية وسياسية أكثر منها علمية. ولكن، إذا تمكنا من التغلب على مشكلة الطاقة التي يسببها استنزاف الوقود الأحفوري، وإذا استطعنا تثبيت عدد السكان من دون صراع كارثي، وإذا استطعنا الحدَّ من الضرر البيئي والتأثير النجمي على كوكبنا، عندئذٍ، أعتقد أن الإنسانية تكون في طريقها إلى الازدهار. فليس هناك قانون للطبيعة يحدد أمد حياة نوعنا.

الدقائق الثلاث الأخيرة

وصفت في الفصول السابقة كيف أن تركيب الكون سيتغير خلال آماد زمنية يصعب تصورها - باتجاه الانحلال عموماً - نتيجة لبطء العمليات الفيزيائية. الإنسان موجود، هنا وهناك، على سطح هذا الكوكب منذ ما لا يقل عن خمسة ملايين سنة (اعتماداً على تعريف الإنسان) والحضارة (بطريقة أو بأخرى) على مدى لا يقل عن بضعة آلاف سنة. ويمكن أن تبقى الأرض صالحة للسكنى على مدى بليونين أو ثلاثة بلايين سنة منذ الآن - بعدد محدود من السكان، طبعاً. وهذا مدى زمني هائل جداً يجلُّ عن الوصف. فقد يبدو كبيراً جداً وكأنه لا نهائي فعلاً. مع ذلك، كنا قد رأينا كيف أنه حتى بليون سنة هو مجرد نبضة ضعيفة على شاشة مقارنة بالمقياس الزمني للتبدل العياني، الفلكي والكوزمولوجي. ولكن قد تبقى مواطن شبيهة بالكرة الأرضية موجودة في مجرتنا إلى بليون - بليون سنة.

يمكننا طبعاً أن نتخيل أحفادنا، وتحت تصرفهم هذه الكمية الهائلة من الزمن، يطورون ريادة فضائية وكل ضرب من التقنيات الرائعة. وسيكون لديهم قدراً كبيراً من الوقت لمغادرة الأرض قبل أن تشويها الشمس كرقاقة من البطاطا. ويمكنهم أن يجدُّوا في البحث عن كوكب آخر ملائم، ثم عن آخر، وهلم جرا. وعن طريق التوسع في الفضاء، يمكن للسكان أن ينتشروا أيضاً. فهل في هذا عزاء - لكي نعرف أن كفاحنا في سبيل البقاء في هذا القرن قد لا يكون عبثاً في النهاية؟

ذكرت في الفصل الثاني أن برتراند راسل، في نوبة اكتئاب بسبب عقابيل القانون الثاني للدينميات الحرارية، كتب بعبارات مكروبة حول عبثية الوجود الإنساني على ضوء حقيقة أن المنظومة الشمسية محكوم عليها بالموت. فقد كان راسل يشعر أن الموت المحتم الواضح المعالم لموطننا يجعل الحياة الإنسانية، بطريقة ما، تافهة وسخيفة. ولا شك أن هذا الاعتقاد أسهم في إلحاده. فهل كان راسل سيشعر أنه في حال أفضل لو عرف أن طاقة الجاذبية في الثقوب السوداء يمكن أن تتفوق على أداء الشمس بمرات كثيرة وتدوم ترليونات من السنين بعد أن تكون المنظومة الشمسية قد تفككت؟ ربما لا. فما يدخل في الحساب ليست الديمومة الفعلية للزمن، بل فكرة أن الكون سيصبح غير صالح للسكنى عاجلاً أو آجلاً؛ وهذه الفكرة تجعل بعض الناس يشعرون أن وجودنا لا معنى له.

8- الحياة في ممر بطيء

من وصف المستقبل البعيد للكون الذي أوردناه في نهاية الفصل السابع، قلما يمكن الافتراض أنه يمكن للمرء أن يتخيل بيئة أقل اعتدالاً وأكثر عدوانية. مع ذلك، يجب ألا نغالي، أو نتشاءم. لا شك في أن الكائنات البشرية سوف تواجه ظروفاً صعبة بخصوص كسب رزقها في كون يتألف من سحاب مخفف من الإلكترونات والبوزِترونات، ولكن المسألة المهمة هي بالتأكيد ليست ما إذا كان نوعنا بحد ذاته خالداً ولكن ما إذا كان أحفادنا سيتمكنون من البقاء. ومن غير المحتمل أن يكون أحفادنا كائنات بشرية.

ظهر النوع البشري على سطح الأرض كناتج لتطور بيولوجي. ولكن نشاطاتنا الخاصة سرعان ما عملت على تعديل عمليات التطور. فقد تدخلنا، حتى الآن، بعمل الاصطفاء الطبيعي. وتتزايد أيضاً إمكانية العمل على توجيه الطفرات. وقد نتمكن عما قريب من تصميم كائنات بشرية ذات صفات وميزات جسدية موصوفة عن طريق التحكم الوراثي. وقد سنحت هذه الفرص التقنية الحيوية أثناء عقود قليلة فقط من عمر المجتمع التقني. فلنتصور ما يمكن أن ننجزه خلال آلاف أو حتى ملايين السنين من عصر العلم والتكنولوجيا.

واستطاع هذا النوع، خلال بضعة عقود فقط، أن يترك الكوكب ويغامر إلى الفضاء القريب. وخلال آماد، يمكن لأحفادنا أن ينتشروا إلى أبعد من الأرض إلى منظومة شمسية أوسع، ثم إلى مجموعات أخرى نجمية ضمن المجرة. ويظن الكثيرون من الناس خطأ أن مشروعاً كهذا يمكن أن يقرِّب الجنس البشري من الخلود. ولكن لا يمكن تفسير المسألة على هذا النحو. مع ذلك، ربما يتقدم الاستعمار بوثبة كوكبية: يغادر المستعمرون الأرض إلى كوكب ملائم يبعد سنوات ضوئية قليلة، وإذا استطاعوا أن يسافروا بسرعة قريبة من سرعة الضوء، فإن الرحلة سوف تستغرق فقط تلك السنوات القليلة. وإذا لم يتمكن أحفادنا من إحراز سرعة أكبر من 1% من سرعة الضوء - هدف متواضع بما يكفي - فإن الرحلة ستتطلب بضعة قرون. وقد يقتضي إكمال التأسيس الفعلي لمستعمرة جديدة زيادة بضعة قرون، وهي مدة يمكن أن تدفع أحفاد المستعمرين الأصليين إلى التفكير بإرسال حملتهم الاستعمارية إلى كوكب آخر ملائم وأكثر بعداً. وبعد بضع مئات من السنين، سيكون الكوكب الثاني هذا قد استُعمِر، وهلم جرا. بهذه الطريقة استعمر البولينيزيون الجزر في المحيط الهادي.

يستغرق الضوء فقط مئة ألف سنة تقريباً لكي يعبر المجرة، وهكذا سيكون الزمن الإجمالي للرحلة، بنسبة 1% من هذه السرعة، هو عشرة ملايين سنة. فإذا استُعمِر مئة ألف كوكب على طول الطريق واستغرق تأسيس كل واحد من هذه الكواكب قرنين من الزمن، فإن هذا لن يكون أكثر من ثلاثة أضعاف السلم الزمني للاستعمار المجرِّيّ. ولكن ثلاثين مليون سنة يعتبر زمناً قصيراً جداً بالمعايير الفلكية والجيولوجية. فالشمس تستغرق حوالي مئتي مليون سنة لتدور حول المجرة مرة واحدة فقط؛ ولكن الحياة ظهرت على الأرض قبل مدة أكبر من هذه المدة بسبعة عشر مرة. وهرم الشمس سوف يؤثر على الأرض إلى حد خطير في غضون 2 أو 3 بليون سنة، ولهذا سيكون التغيير الذي سوف يحدث ضئيلاً جداً خلال 30 مليون سنة. والنتيجة هي أن يتمكن أحفادنا أن يستعمروا المجرة خلال جزء بسيط من الزمن الذي تستغرقه الحياة على الأرض لكي تتطور إلى مجتمع تقني.

أحفادنا المستعمرون هؤلاء، ماذا يشبهون؟ إذا أطلقنا عنان الخيال، فإنه يمكن أن نحدس بأن المستعمرين يمكن أن يكونوا موجَّهين وراثياً بحيث يتكيفوا بسهولة مع الكوكب الهدف. ولنضرب لذلك مثلاً بسيطاً، إذا اكتُشِف كوكب شبيه بالأرض حول كوكبة النهر ووُجد أن جوه يحتوي فقط على 10% من الأكسجين، عندئذٍ، يمكن أن يجري تدبير المستعمرين بحيث يحملون مستويات أعلى من الكريات الحمر. وإذا كانت جاذبية سطح الكوكب الجديد أعلى، فإنهم قد يُمنَحون جسداً أكثر نشاطاً وعظاماً أكثر قوة، وهلم جرا.

والرحلة أيضاً لا تعرض أية مشكلة - حتى لو استغرق إنجازها بضعة قرون. فالسفينة الفضائية يمكن أن تبنى على غرار سفينة نوح - نظام بيئي مكتف بذاته تماماً قادر على إعالة المسافرين على مدى أجيال عديدة. أو يمكن، بدلاً من ذلك، تجميد المستعمرين في ثلاجات بدرجة صفر فهرنهايت على مدى الرحلة. وفي الواقع، يمكن أن يكون لهذا معنى أفضل إذا قلنا إنه يمكن أن نرسل سفينة فضائية صغيرة مع طاقمها ونحملها، فيما تحمل، ملايين البيوض المخصبة المجمدة. ويمكن احتضان تلك البيوض عند الوصول، وبهذا يمكن تأمين سكان جاهزين من دون مشكلات لوجستية واجتماعية من تلك التي تنتج عن نقل أعداد كبيرة من الكائنات الراشدة خلال أمد طويل.

ومن جديد، وبروح التأمل بما يمكن أن يكون كميات ممكنة هائلة مفترضة من الزمن، ليس هناك سبب يفرض أن يكون هؤلاء المستعمرون من بني البشر مظهراً أو حتى عقلياً. فإذا كان يمكن تدبير الكائنات بحيث تلبي حاجات مختلفة، عندئذٍ، يمكن أن تتضمن كل حملة كيانات مصممة لأغراض ذات تشريح وسيكولوجية ضروريين للعمل.

لن يحتاج المستعمرون حتى إلى أن يكونوا متعضيات حية، بالتعريف العادي. حيث أصبح ممكناً الآن زرع معالج مجهري من رقاقة سليكونية إلى الكائنات البشرية. ويمكن لتطوير إضافي لهذه التقنية أن ينتج مزيجاً من أجزاء عضوية وإلكترونية اصطناعية تقوم بكلتا الوظيفتين، الفيزيولوجية والدماغية. فعلى سبيل المثال، قد يصبح ممكناً تصميم ذاكرة «تُثبَّت بمسامير» عوضاً عن الأدمغة البشرية، تشبه تلك الذواكر الإضافية المتوفرة حالياً للحاسبات الإلكترونية. وعلى العكس، قد يثبت قريباً أن تكييف مادة عضوية لإنجاز الحساب هو أكثر فعالية من إنتاج أدوات الأجسام الصلبة للعمل. وفي الواقع، سيكون ممكناً «تنمية» مكونات حاسوبية بطريقة بيولوجية. والأكثر احتمالاً أن يتم استبدال الحاسبات الرقمية بشبكات عصبية لإنجاز الكثير من الأعمال؛ وحتى في الوقت الحاضر، تستخدم مثل هذه الشبكات بدلاً من الحاسبات الرقمية لمحاكاة العقل البشري والتنبؤ بالسلوك الاقتصادي. وقد تكون تنمية شبكة عصبية عضوية من قطع من نسيج دماغي معقولة أكثر من تصنيعها منذ البداية. وقد يكون مناسباً أيضاً تركيب مزيج تكافلي من شبكات عضوية واصطناعية. ومع تطور النانوتكنولوجيا Nanotechnology، يصبح التمييز أقل وضوحاً بين الحي وغير الحي، بين الطبيعي والاصطناعي، بين الدماغ والحاسبة.

تنتمي هذه التأملات في الوقت الحاضر إلى عالم الخيال العلمي. فهل يمكن أن تصبح حقيقة؟ مع ذلك، هذا لا يعني أن شيئاً ما سوف يحدث لمجرد كوننا قادرين على تخيل ذلك الشيء. ولكن، يمكننا تطبيق المبدأ نفسه على العمليات التقنية كما فعلنا مع العمليات الطبيعية: إذا كانت المدة طويلة بما يكفي، فإن أي شيء يمكن أن يحدث سوف يحدث. وإذا استمر بنو البشر أو أحفادهم (قد تكون تلك "إذا" كبيرة) يتعرضون لتحفيز كافٍ، عندئذٍ لن يقيد التكنولوجيا سوى قوانين الفيزياء. إن تحدياً كمشروع

الجينوم البشري، الذي قد يكون عملاً مثبطاً بالنسبة لجيل واحد من العلماء، سيكون واضحاً بما يكفي إذا نهض به مئة، أو ألف، أو مليون جيل.

دعونا نأخذ الموقف المتفائل بأننا سوف نبقى على قيد الحياة ونواصل تطوير تقنيتنا نحو حدودها القصوى. فماذا يتضمن ذلك حول استكشاف الفضاء؟ إن تركيب كائنات حساسة مصممة بهدف سيهيئ إمكانية إرسال وكلاء إلى مواطن معادية كلياً حتى الآن لإنجاز مهمات لا يمكن تصديقها حالياً. ومع أن هذه الكائنات قد تكون نواتج نهائية لتقنية بدأها الإنسان، فإنها نفسها لن تكون إنسانية.

هل ينبغي لنا أن نحمل هماً خاصاً حول قدر هذه الكينونات الغريبة؟ قد يشعر الكثيرون من الناس بالتقزز لتوقع استبدال الجنس البشري بهذه المسوخ. فإذا كان البقاء يتطلب من الكائنات الإنسانية أن تفسح المجال لروبوتات Robots عضوية مدبرة وراثياً، فإننا قد نؤثر الانقراض. مع ذلك، إذا كانت تحزننا أرجحية زوال الجنس البشري، فإنه يجب علينا أن نتساءل بدقة ماذا عن الكائنات الإنسانية التي نتطلع إلى المحافظة عليها. ليس شكلنا الفيزيائي بالتأكيد. أيزعجنا فعلاً أن نعرف أنه في غضون مليون سنة من الآن، قد يصبح أحفادنا من دون أصابع؟ أو بسيقان أقصر أو رؤوس وأدمغة أكبر؟ وبرغم كل شيء، لقد تغير شكلنا الفيزيائي كثيراً خلال القرون القليلة الماضية وهناك اليوم اختلافات واسعة بين مختلف الجماعات العرقية.

أظن أن معظمنا سيُعِدُّ، عند الحاجة، مخزوناً أكبر عن طريق ما يمكن أن يُدعى بالروح الإنسانية - ثقافتنا، مجموعة قيمنا، بنيتنا العقلية المميزة، كما تمثلها إنجازاتنا الفنية، والعلمية، والفكرية. ولا شك أن هذه المسائل جديرة بالصيانة والتخليد. فإذا تمكنا من نقل إنسانيتنا الجوهرية إلى أحفادنا، أياً كان شكلهم الفيزيائي، عندئذٍ، يمكن الوصول إلى بقاء ما هو مهم أكثر.

وتبقى مسألة ما إذا كان ممكناً خلق كائنات شبيهة بالإنسان، ترحل وتنتشر عبر الكون مسألة حدسية إلى حد بعيد. وبعيداً تماماً عن أي شيء آخر، فإن الجنس البشري قد يفقد الدافع لمشروع عظيم كهذا، أو أن تسبب كوارث أخرى اقتصادية، أو غيرها زوالنا قبل أن نغادر الكوكب بصورة جدية. وربما تكون سبقتنا كائنات من خارج نطاق الأرض واستعمرت معظم الكواكب الملائمة (من الواضح أن الأرض ليست

من بينها حتى الآن). وسواء آلت هذه المهمة إلى أحفادنا أو إلى نوع غريب، فإن إمكانية الانتشار عبر الكون والسيطرة عليه بواسطة التكنولوجيا تبقى فكرة جذابة، وتغري بطرح السؤال: كيف سيتعامل مثل هذا العرق المتفوق مع انهيار الكون؟

الآماد الزمنية فيما يخص انهيار الكون التي درسناها في الفصل السابع ضخمة جداً حتى أن أية محاولة لتخمين كيف سيكون شكل تلك التكنولوجيا في المستقبل البعيد، اعتماداً على استقراء الميول الحاضرة ستكون عديمة الجدوى. من يمكنه أن يتصور مجتمعاً تكنولوجياً عمره ترليون سنة؟ قد يبدو لنا وكأن مجتمعاً كهذا يمكن أن يحقق أي شيء. على الرغم من ذلك، إن أية تكنولوجيا، مهما تقدمت، فإنها من المفترض أن تبقى خاضعة للقوانين الأساسية للفيزياء. فعلى سبيل المثال، إذا كانت نظرية النسبية صحيحة في استنتاجها القائل إنه ما من جسم مادي يمكن أن يتجاوز سرعة الضوء، عندئذٍ سوف يفشل الجهد التكنولوجي، حتى وإن كان عمره ترليون سنة، في كسر حاجز الضوء. والأكثر خطورة، هو أنه إذا كان كل نشاط مهم يقتضي، على الأقل، استهلاك بعض الطاقة، عندئذٍ، سوف يشكل استمرار استنزاف مصادر الطاقة الحرة المتاحة في الكون في النهاية تهديداً خطيراً للمجتمع التقني مهما كان تقدمه.

بتطبيق المبادئ الفيزيائية الأساسية على أوسع تعريف للكائنات الواعية، يمكن أن نبحث فيما إذا كان انهيار الكون في المستقبل البعيد يعرض أية عقبات أساسية حقاً في سبيل البقاء. ولكي يكون كائن أهلاً لوصف «واعٍ»، فإنه يجب أن يكون قادراً على معالجة المعلومات. فالتفكير والممارسة كلاهما نموذجان لنشاطات تستلزم معالجة للمعلومات. وبالتالي، ما المطالب التي يفرضها هذا على الحالة الفيزيائية للكون؟

واحد من الملامح المميزة لمعالجة المعلومات هو تبديد الطاقة. وهذا هو السبب الذي يقضي بربط كلمة المعالِج الذي أطبع عليه هذا الكتاب بالإمداد الرئيسي للكهرباء. وتعتمد كمية الطاقة المستهلكة في كل «بت» bit من المعلومات على اعتبارات دينمية حرارية. فيتضاءل التبديد عندما يعمل المعالج بدرجة حرارة قريبة من درجة حرارة محيطه. ويعمل الدماغ الإنساني ومعظم الحاسبات على نحو غير فعال تماماً، فتتبدد كميات وفيرة من الطاقة الزائدة على شكل حرارة. فعلى سبيل المثال، ينتج الدماغ جزءاً ضخماً من حرارة الجسم، وتحتاج كثير من الحاسبات إلى مجموعة تبريد خاصة لمنعها

من الانصهار. ويمكن تتبع منشأ هذه الحرارة المهدورة إلى المنطق ذاته الذي تعمل بموجبه معالجة المعلومات، والذي يحتم نبذ المعلومات. فعلى سبيل المثال، إذا أنجزت حاسبة العملية الحسابية: 1 + 2 = 3، عندئذٍ، يُستبدَل (2 بت) من المعلومات المدخلة (1 و 2) ببت واحد من المعلومات المخرجة (3). وعندما تُنجَز العملية الحسابية، فإن الحاسبة قد تنبذ معلومات الدخل، وبالتالي، تستبدل (2 بت) ببت واحد. وبالفعل، فإنها لكي تمنع مجموعات ذواكرها من الانسداد، يجب على الآلة أن تطرح هذه المعلومات غير الجوهرية في كل وقت. وعملية المحو، بالتعريف، غير عكوسة، ولذلك تقتضي زيادة في «الاعتلاج» Entropy. وهكذا، يبدو أن جمع ومعالجة المعلومات، على أرضيات أساسية جداً، سيستنزف حتماً، وبصورة لاعكوسة، الطاقة الموجودة ويرفع اعتلاج الكون.

فكر فريمان دايسون ملياً بالحدود التي يواجهها مجتمع الكائنات الواعية - المقيد بالحاجة إلى تبديد الطاقة بسرعة ما، لو أنه يفكر فقط - عندما يبرد الكون نحو موت حراري. أول تقييد هو أن درجة حرارة الأحياء يجب أن تكون أعلى من درجة حرارة محيطها، وإلا فإن الحرارة المهدورة لن تتدفق منها. ثانياً، تحدد قوانين الفيزياء السرعة التي يمكن عندها لمنظومة فيزيائية أن تشع طاقة إلى محيطها. ومن الواضح أنه لا يمكن للأحياء أن يشتغلوا لمدة طويلة إذا لم ينتجوا حرارة مهدورة بسرعة أكبر من سرعة تخلصهم منها. هذه الشروط تضع حداً أدنى على السرعة التي يبدد فيها الأحياء الطاقة بصورة حتمية. والشرط الأساسي هو أن يكون هناك مصدر لطاقة حرة يزود هذا الدفق الحراري الحيوي بالوقود. ويخلص دايسون إلى أن كافة هذه المصادر مقدر لها أن تتضاءل في المستقبل الكوني البعيد، حتى أن كافة الكائنات الواعية ستواجه في النهاية أزمة طاقة.

والآن، هناك وسيلتان لإطالة أمد الوعي. الأولى، البقاء على قيد الحياة أطول مدة ممكنة؛ والثانية، زيادة سرعة التفكير والخبرة. وقد وضع دايسون افتراضاً معقولاً هو أن الخبرة الذاتية لكائن ما بمرور الزمن تعتمد على سرعة معالجة المعلومات من قبل ذلك الكائن: كلما كانت آلية المعالجة المستخدمة أسرع، كلما ازدادت أفكار ومعارف الكائن في وحدة الزمن، وينقضي الزمن، كما يبدو، بسرعة أكبر. يستخدم هذا الافتراض بطريقة مسلية في رواية الخيال العلمي، «بيضة التنين»، لمؤلفها روبرت

فورورارد، التي تحكي قصة مجتمع من كائنات واعية تعيش على سطح نجم نيوتروني. وتستخدم هذه الكائنات العمليات النووية بدلاً من الكيميائية لتعزيز وجودها. وبما أن التفاعلات النووية أسرع بآلاف المرات من التفاعلات الكيميائية، فإن الكائنات النيوترونية تعالج المعلومات بسرعة أكبر بكثير. فالثانية الواحدة بالمقياس الإنساني تساوي عدة سنوات عندهم. ومجتمع النجم النيوتروني بدائي تقريباً عندما يحتك لأول مرة مع بني البشر، ولكنه يتطور بالدقيقة وسرعان ما يدركهم.

ومن سوء الحظ أن تبنّي هذه الإستراتيجية كوسيلة للبقاء في المستقبل البعيد ينطوي على جانب سلبي: كلما كانت معالجة المعلومات أسرع، كانت سرعة تبديد الطاقة أكبر ومثل ذلك استنزاف مصادرها المتاحة. قد يظن المرء أن هذا يشكل موتاً حتمياً لأحفادنا، أياً كان الشكل الفيزيائي الذي يمكن أن يختاروه. ولكن المسألة ليست بالضرورة هكذا. فقد أظهر دايسون أنه يمكن أن تكون هناك تسوية بارعة، يقوم المجتمع بموجبها بإبطاء سرعة نشاطه تدريجياً لكي تتلاءم مع تضاؤل نشاط الكون-لنقل مثلاً، الدخول في سبات لمُدَدٍ من الزمن تزداد دائماً. وخلال كل طور منوِّم، يجب أن يُسمَح للحرارة من محاولات الطور النشيط السابق بالتبدد وللطاقة المفيدة بالتراكم، وذلك من أجل الاستخدام في الطور النشيط التالي.

سيمثل الزمن الذاتي الذي تخبُرُه الكائنات الحية التي تتبنّى هذه الإستراتيجية جزءاً أصغر فأصغر من الزمن الحقيقي المنقضي، لأن وقت توقف المجتمع يكون دائماً أطول. ولكنني أعود إلى القول إن «إلى الأبد» زمن طويل، وعلينا أن نتعامل مع الحدود المتعارضة: تميل الموارد إلى الصفر ويميل الزمن إلى اللاتناهي. وبيّن دايسون، من فحص بسيط لهذه الحدود، أن إجمالي الزمن الذاتي يمكن أن يكون لامتناهياً حتى وإن كان إجمالي الموارد متناهياً. ويستشهد بإحصائية مدهشة: يمكن لمجتمع من كائنات حية بالمستوى نفسه لعدد السكان، كالمجتمع البشري اليوم، أن يبقى إلى الأبد، حرفياً، إذا استخدم طاقة إجمالية مقدارها 6×10^{30} جول، وهذا الرقم يعادل نتاج الشمس لـ 8 ساعات فقط.

ولكن الخلود الحقيقي يتطلب أكثر من القدرة على معالجة كمية لامحدودة من المعلومات. فإذا كان عند كائن ما عدد محدود من حالات الدماغ، فإنه يمكن أن

يفكر فقط بعدد محدود من الأفكار المختلفة. ولو بقي إلى الأبد، فإن هذا يعني أن الأفكار نفسها يجب التفكير بها مراراً. وجود كهذا يبدو تافهاً كوجود نوع محكوم عليه بالهلاك. وللإفلات من هذا الزقاق المسدود، يصبح من الضروري بالنسبة للمجتمع - أو لكائن وحيد فائق - أن يواصل النماء من دون أية حدود. وهذا يطرح تحدياً شديداً في المستقبل البعيد بالذات، لأن المادة سوف تتبخر بصورة أسرع من إمكانية مصادرتها كمادة دماغية. وربما سيحاول شخص متهور أو بارع استخدام النيوترينوات الكونية المراوغة إنما الموجودة دائماً لتوسيع مدى نشاطه العقلي.

يفترض دايسون ضمناً في معظم دراساته - يدور معظم تفكيره، في الواقع، حول مصير الكائنات الواعية في المستقبل البعيد - أن العمليات العقلية لهذه الكائنات تُختَصَر دائماً إلى نوع من عملية حوسبة رقمية. ولا شك أن حاسبة رقمية هي آلة لحالة محدودة، ولذلك تواجه حداً دقيقاً حول ما يمكن أن تنجزه. ولكن، هناك أنواع أخرى من الأجهزة، تعرف باسم الحاسبات بالقياس. ونموذجها البسيط هو المسطرة (الحاسبة) المنزلقة. ويمكن إجراء الحسابات بتعديل المسطرة باستمرار، وفي حالة مثالية، يمكن أن يكون هناك عدداً لامحدوداً من الحالات. وبالتالي، فإن الحاسبات بالقياس تفوِّت بعض تحديدات الحاسبات الرقمية، التي يمكن أن تختزن وتعالج فقط كمية محدودة من المعلومات. إذا تم تشفير المعلومات على غرار حاسبة بالقياس - مثلاً، من خلال أوضاع أجسام مادية أو زواياها - فإن قدرة الحاسبة تبدو غير محدودة. وهكذا، إذا تمكن كائن متفوق أن يشتغل كحاسبة بالقياس، فلربما يصبح بإمكانه أن يفكر ليس بعدد لامحدود من الأفكار، ولكن بعدد لامحدود من أفكار مختلفة.

ومن سوء الحظ أننا لا نعرف ما إذا كان الكون ككل يعمل كحاسبة بالقياس أو كحاسبة رقمية. وترى فيزياء الكمّ أن الكون نفسه لا بد أن يكون «مُكَمّىً»(*) - أي، مبنية في كافة خواصه «وثبات منفصلة» أكثر منها «اختلافات متواصلة». ولكن هذا مجرد حدس. كما أننا لا نفهم حقاً العلاقة بين النشاط الدماغي الفكري والفيزيائي؛ فربما لا يمكن ببساطة ربط الأفكار والخبرات بفيزياء الكم التي ندرسها هنا.

---

* أي، موجود بشكل مضاعفات لكم ثابت. - المترجم.

8- الحياة في ممر بطيء

وأياً كانت طبيعة العقل، فلا شك أن كائنات حية ستواجه، في المستقبل البعيد، الأزمة البيئية النهائية: التبديد الكوني لكافة مصادر الطاقة. ومع ذلك، يبدو أنه بـ«التغلب عليها» يمكن لتلك الكائنات أن تكتسب نوعاً من الخلود. وسيتضاءل تأثير نشاطاتها على الكون شيئاً فشيئاً في سيناريو دايسون الذي لا يكترث كثيراً لحاجاتها، وتبقى على مدى دهور لا تحصى خاملة، تجتر ذكرياتها من دون أن تضيف إليها شيئاً، بالكاد يتعكر هدوء الظلمة في كون محتضر. وعن طريق تنظيم حاذق، يبقى بإمكان تلك الكائنات أن تفكر بعدد غير محدود من الأفكار وتخبُر عدداً غير محدود من التجارب. فإلى ماذا يمكن أن نتطلع أكثر من ذلك؟

موت حرارة الكون هي الأسطورة الأكثر استمرارية بين أساطير عصرنا. وقد رأينا كيف أن راسل وآخرين اهتموا بانحطاط الكون الذي يبدو حتمياً كما تنبأ به القانون الثاني للدينميات الحرارية لتأييد فلسفة الإلحاد، والعدمية، واليأس. ومع تحسن فهمنا لعلم الكون، أصبح بإمكاننا أن نرسم صورة مختلفة إلى حد ما. فالكون قد يتوقف، ولكنه لن ينتهي. ويصح القانون الثاني للدينميات الحرارية طبعاً، ولكنه لن يحول بالضرورة دون الخلود الثقافي.

في الواقع، قد لا تكون الأمور بمثل تلك الحالة من السوء التي يصفها سيناريو دايسون. كنت، حتى الآن، أفترض أن الكون يبقى منتظماً تقريباً عندما يتوسع ويبرد، ولكن هذا الافتراض قد لا يكون صحيحاً. فالجاذبية هي مصدر العديد من اضطرابات التوازن الكوني، والانتظام الكوني الواسع النطاق الذي نشهده اليوم يمكن أن يحل محله تنظيم أكثر تعقيداً في المستقبل البعيد. فعلى سبيل المثال، يمكن أن تتضخم الاختلافات الطفيفة في سرعة التوسع في مختلف الاتجاهات. وقد تتجمع الثقوب السوداء الضخمة مع بعضها بعضاً عندما يتغلب جذبها المتبادل على التأثير المشتت للتوسع الكوني. ستؤدي هذه الحالة إلى منافسة غريبة: لنتذكر أنه كلما كان الثقب الأسود أصغر، كانت حرارته أشد وتبخره أسرع. فإذا التحم ثقبان، فإن الثقب النهائي سيكون أكبر، وبالتالي أكثر برودة، وتلاقي عملية التبخر عقبة رئيسية. والسؤال الرئيسي، فيما يتعلق بالمستقبل البعيد للكون، هو ما إذا كانت سرعة اندماج الثقوب السوداء كافية لمجاراة سرعة التبخر. فإذا كانت كذلك، عندئذٍ، ستكون هناك دائماً ثقوب

سوداء يمكن أن تؤمِّن، بواسطة الطاقة التي تحملها من أشعة هوكينغ، مصدراً من الطاقة المفيدة لمجتمع خبير تقنياً، ربما يلغي الحاجة للإسبات. تشير الحسابات التي أجراها الفيزيائيان دون بيج وراندول ماك-كي إلى أن هذه المنافسة مسألة على كف عفريت وتعتمد، بشكل حاسم، على السرعة الدقيقة التي بها يتواصل انخفاض توسع الكون؛ وفي بعض النماذج، التحام الثقوب السوداء هو الذي يفوز في الواقع.

أهملت رواية دايسون أيضاً احتمال أن يقوم أحفادنا أنفسهم بمحاولة تعديل النظام الواسع النطاق للكون بحيث يحافظون على طول أعمارهم. لقد درس عالما الفيزياء الفلكية جون بارو وفرانك تبلر الوسائل التي بها يمكن لمجتمع متقدم تقنياً أن يُدخِلَ بعض التعديلات الطفيفة على حركات النجوم لتدبير تنظيم تجاذبي خاص لمصلحتهم. فعلى سبيل المثال، يمكن استخدام أسلحة نووية لتشويش مدار أحد الكويكبات - مثلاً، تكفي بحيث يتلقى دفعة من كوكب ما ويمضي ليصطدم بالشمس. يعمل زخم ذلك الاصطدام على تغيير مدار الشمس في المجرة بصورة طفيفة جداً. ومع أن التأثير بسيط، إلا أنه تراكمي: كلما كان انتقال الشمس أبعد، كان الانزياح المتحقق أكبر. وعلى مدى كثير من السنوات الضوئية، يمكن للزحزحة أن تسبب اختلافاً خطيراً إذا اقتربت الشمس من نجم آخر، حيث تتبدل مجرد مواجهة ضئيلة إلى مواجهة تعدّل بشكل عنيف مسار الشمس عبر المجرة. وعن طريق معالجة عدد من النجوم بهذه الطريقة، يمكن تكوين عناقيد الأجسام الفلكية واستخدامها لفائدة المجتمع. وبما أن هذه التأثيرات تتضخم وتتراكم، فإنه لا حدود لحجم المنظومات التي يمكن التحكم بها بهذه الطريقة - وكزة صغيرة هنا وأخرى هناك. ومع مزيد من البعد الزمني - لا شك في أنه سيكون تحت تصرف أحفادنا وقتاً كافياً - يمكن تحريك حتى جميع المجرات.

هذه الهندسة الكونية المتكلفة لا بد أن تتنافس مع الحوادث الطبيعية العشوائية التي فيها تندفع النجوم والمجرات خارج العناقيد المقيدة ثقالياً، كما وصفنا في الفصل السابع. وقد وجد بارو وتبلر أن إعادة تنظيم مجرة عن طريق معالجة كويكبية يستغرق 10^{22} سنة. ومن سوء الحظ أن التمزق الطبيعي يحدث في حوالي 10^{19} سنة، وهكذا، فإن المعركة محسومة، كما يبدو، لمصلحة الطبيعة. ومن الناحية المقابلة، فإن أحفادنا قد يتوصلون إلى التحكم بأجسام أكبر بكثير من الكويكبات. تعتمد سرعة التشتت

الطبيعي أيضاً على السرعات المدارية للأجسام. وعند الحديث عن كامل المجرات، فإن هذه السرعات تهبط مع توسع الكون. والسرعات الأكثر بطئاً أيضاً تجعل المعالجة الاصطناعية أكثر بطئاً، ولكن التأثيرين لا ينقصان بالسرعة نفسها. وبمرور الزمن، يبدو أن سرعة التمزق الطبيعي يمكن أن تهبط إلى أقل من السرعة التي فيها يمكن لجماعة من المهندسين إعادة تنظيم الكون. يطرح هذا إمكانية مهمة هي أنه، بمرور الزمن، يمكن للكائنات العاقلة أن تحقق المزيد والمزيد من التحكم بكون تعاني موارده الكثيرة من مزيد ومزيد من النقص، حتى تسيطر التقنية على كل شيء في الطبيعة ويختفي التمييز بين الطبيعي والاصطناعي.

الافتراض الرئيسي لتحليل دايسون هو أن تلك العمليات الفكرية تبدد طاقة بصورة حتمية. ولا ريب في أن العمليات الفكرية الإنسانية تستهلك طاقة. وبقي الافتراض قائماً حتى الوقت الحاضر بأن أي شكل لمعالجة المعلومات لا بد له من أن يدفع ثمناً دينمياً حرارياً أصغرياً. ومن المدهش ألا يكون هذا صحيحاً تماماً. فقد أثبت عالما الحاسبات تشارلز بِنِت و رولف لانداوَر، من مؤسسة الصواريخ البالستية العابرة للقارات، أن الحساب العكوس ممكن من حيث المبدأ. هذا يعني أن بعض المنظومات الفيزيائية يمكن أن تعالج المعلومات بدون تبديد (ما يزال هذا مجرد افتراض). يمكن للمرء أن يتخيل منظومة تفكر بعدد غير محدود من الأفكار من دون الحاجة إلى أي نوع من الإمداد بالطاقة! وليس واضحاً ما إذا كانت منظومة كهذه قادرة على جمع المعلومات إضافة إلى معالجتها، لأن أي اكتساب لمعلومات غير تافهة من البيئة يتطلب، كما يبدو، تبديداً للطاقة بشكل أو بآخر، وإن يكن لمجرد تمييز الإشارة من التشويش. ولذلك، فإن هذا الكائن غير الملحاح قد لا يدرك العالم من حوله. ولكنه يمكن أن يتذكر الكون الذي كان. وربما يمكنه أن يحلم أيضاً.

استحوذت صورة كون يحتضر على تفكير العلماء على مدى قرن من الزمن. والافتراض بأننا نعيش في كون ينحط باطراد من خلال التبذير الاعتلاجي هو جزء من فولكلور الثقافة العلمية. ولكن ما مدى ثبوت هذا الافتراض؟ وهل يمكن أن نتأكد من أن كافة العمليات الفيزيائية تؤدي حتماً إلى فوضى وانحلال؟

وماذا عن علم الأحياء الذي تلمح إليه الطريقة الدفاعية جداً التي يستخدمها بعض

علماء الأحياء للدفاع عن التطور الداروينى؟ وأظن أن رد فعلهم ينشأ من تناقض مزعج لعملية بنائية بشكل واضح تدميرها قوى فيزيائية يفترض أن تكون تدميرية في أدنى مستوى لها. ربما بدأت الحياة على سطح الأرض على شكل نوع ما من طين بدائي. والغلاف الحيوي اليوم نظام بيئي غني ومعقد، إنه شبكة من المتعضيات المعقدة بشكل متقن والمتنوعة إلى درجة رفيعة في تفاعل دقيق. ومع أن البيولوجيين يرفضون، ربما خوفاً من معنى ضمني لغرض ديني، أي دليل على التقدم المنهجي في التطور، فإنه بات واضحاً للعلماء ولغير العلماء، على حد سواء، أن شيئاً ما قد تقدم، في اتجاه واحد تقريباً، منذ نشأت الحياة على سطح الأرض. وتتمثل المشكلة في أن نميز أن التقدم أكثر حدة. وعلى وجه الدقة، ما الذي تقدم؟

تركزت المناقشات السابقة بخصوص البقاء، على الكفاح بين المعلومات (أو النظام) والاعتلاج - وبالاعتلاج دائماً يتحقق الانتصار. ولكن هل المعلومات بحد ذاتها هي الكمية التي يجب أن نهتم بها؟ ومع ذلك، إن الخوض منهجياً خلال الأفكار مثير كقراءة دليل الهاتف. ولا ريب في أن المهم هو نوعية الخبرة - أو، على نحو أكثر تعميماً، نوعية المعلومات التي تُجمَع ويستفاد منها.

بدأ الكون، على حد ما نعرف، في حالة ساكنة تقريباً. وبمرور الزمن، نشأ الغنى والتنوع في المنظومات الفيزيائية التي نراها اليوم. فتاريخ الكون إذاً هو تاريخ تطور التعقيد المنظم. يبدو هذا كمفارقة.

كنت قد بدأت روايتي بوصف كيف أن القانون الثاني للدينميات الحرارية يقول لنا إن الكون يحتضر، منزلقاً بعناد من حالة أولية لاعتلاج ضعيف إلى حالة نهائية لاعتلاج أعظمي وتوقعات صفر. وبالتالي، هل تتحسن الأحوال أو تسوء؟

في الواقع، ليس هناك أي تناقض، لأن التعقيد المنظم يختلف عن الاعتلاج. فالاعتلاج، أو الاضطراب، هو سلبية المعلومات، أو النظام: كلما كانت المعلومات التي نعالجها أكثر- أي، أن نولّد المزيد من النظام - كان الثمن الاعتلاجي الذي ندفعه أكبر: والنظام هنا يسبب الاضطراب في مكان آخر. هذا هو القانون الثاني؛ الاعتلاج هو الرابح دائماً. ولكن التنظيم والتعقيد ليسا مجرد نظام ومعلومات، بل يشيران إلى نماذج معينة من النظام والمعلومات. فنحن نميز اختلافاً مهماً بين الجرثوم والبلّورة، مثلاً.

كلاهما منظم، إنما بطريقة مختلفة. فنسق بلّوري يمثل انتظاماً منظماً بدقة - جميل إلى حد صارخ ولكنه ممل أساساً. وعلى العكس، إن التعضية المنظمة بدقة لجرثوم ما ممتعة جداً.

تبدو هذه كاجتهادات ذاتية، ولكن يمكن تثبيتها بالرياضيات. وفي السنوات الأخيرة طُرِق حقل كامل جديد للبحث وضع هدفاً له تكميم Quantification هذه المفاهيم على اعتبارها تعقيداً منظماً، ويسعى لترسيخ مبادئ عامة للتنظيم توازي القوانين الموجودة للفيزياء. وما يزال الموضوع في المهد، ولكنه يتحدى، في الوقت الحاضر، كثيراً من الافتراضات التقليدية حول النظام والفوضى.

اقترحت، في كتابي «التصميم الكوني»، أن نوعاً من «قانون التعقيد المتزايد» يعمل في الكون بموازاة القانون الثاني للدينميات الحرارية. وليس هناك أي تضارب بين هذين القانونين. فمن حيث المبدأ، إن زيادة في التعقيد التنظيمي لمنظومة فيزيائية يزيد الاعتلاج. في التطور البيولوجي، مثلاً، ينشأ متعضٍّ جديد أكثر تعقيداً فقط بعد حدوث عدد كبير من العمليات التدميرية، الفيزيائية والبيولوجية (الموت المبتسر للطوافر السيئة التكيف، مثلاً). حتى تشكيل كسفة ثلجية يسبب هدراً للحرارة وهذا بدوره يزيد اعتلاج الكون. ولكن التناوب غير مباشر، كما ذكرت، لأن التنظيم ليس نقيض الاعتلاج.

شجعني، إلى حد كبير، أن أكتشف أن العديد من الباحثين الآخرين قد توصلوا إلى استنتاجات مماثلة، وبُذِلَت محاولات لصياغة «قانون ثانٍ» للتعقيد. ومع أن قانون التعقيد منسجم مع القانون الثاني للدينميات الحرارية، فإنه يقدم رواية مختلفة للتبدل الكوني، حيث يصف ارتقاء الكون (البحوث التي ألمحت إليها جعلته صارماً بمعنى ما) من بدايات ساكنة إلى حد كبير إلى حالات هي دائماً أكثر تعقيداً ودقة.

في إطار نهاية الكون، ينطوي وجود قانون للتعقيد المتزايد على مغزىً عميق. فإذا لم يكن التعقيد المنظم نقيضاً للاعتلاج، عندئذٍ لا يحتاج المخزون المحدود من الطاقة السلبية في الكون إلى وضع باوند واحد على مستوى التعقيد. والثمن الاعتلاجي المدفوع لتحسين التعقيد قد يكون عرضياً إلى حد بعيد - أكثر منه أساسياً، كما هي الحال مع مجرد التنظيم أو معالجة المعلومات. فإذا صح ذلك، فإنه قد يصبح بإمكان أحفادنا

الدقائق الثلاث الأخيرة

بلوغ حالات من التعقيد التنظيمي أكبر من أي وقت مضى من دون تبديد الموارد المتضائلة. ومع أنهم قد تقيدهم كمية المعلومات التي يعالجونها، إلا أنه قد لا يكون هناك حد لغنى وجودة نشاطاتهم العقلية والفيزيائية. حاولت، في هذا الفصل والفصل السابق، أن أقدم لمحة لكون يتباطأ ولكن ربما لن يخلو من الطاقة تماماً، ولا من مخلوقات الخيال العلمي التي تحتال على العيش بوجود شذوذات تتكدس دائماً ضدها، وتجرب عبقريتها ضد المنطق العنيد للقانون الثاني للديناميات الحرارية. إن صورة كفاحها اليائس إنما ليس العبثي بالضرورة في سبيل البقاء يبعث البهجة في نفوس بعض القراء والكآبة في نفوس آخرين. أما أنا، فمشاعري خليط من بهجة وكآبة.

ولكن التخمين بالكامل قائم على افتراض أن الكون سيواصل توسعه إلى الأبد. وكنا رأينا كيف أن هذا مصير واحد فقط محتمل للكون. فإذا تباطأ التوسع بسرعة كافية، فإن الكون قد يتوقف يوماً ما عن التوسع ويبدأ بالانكماش نحو الانسحاق الكبير. وأي أمل في البقاء سيكون عندئذٍ؟!