10

ما هي الحياة إذاً؟

«يمكن للمرء الآن أن يقول، ولو خاطرنا بأن نكون سطحيين، بأنه يوجد بشكل أساسي نوعان من العلماء: النوع الأول، وهم نادرون، يرغبون بأن يفهموا العالم، أن يعرفوا الطبيعة؛ الآخرون، الأكثر عدداً بكثير، يريدون أن يفسروا العالم. الأوائل يبحثون عن الحقيقة، غالباً مع معرفة أنهم لن يحصلوا عليها؛ النوع الثاني يبحث عن المعقول ظاهرياً، لتحقيق نظرة فكرية ثابتة، وبالتالي ناجحة عن العالم».

إيروين تشارغاف (1)

آلة بارعة

أنظمة معقدة

العيش حسب القانون الثاني

أحادي القرن على الحائط

بعد مرور خمسين سنة على كتابة شرودينجر لكتابه الصغير، لا يزال التحدي الذي طرحه يحوم في الجو. ما هي الحياة؟ بعد أن تعلمنا الكثير حول الجزيئات والآليات، البنيات والوظائف، الفزيولوجيا والتبيؤ وعلم تكون الأفراد وعلم تاريخ الأعراق، لماذا لا نزال ضائعين في بحثنا عن جواب مرضٍ؟ طرح شرودينجر نفسه الأحجية بتأنق، لكنه كان حكيماً في الامتناع عن تقديم حل لها؛ نسرع اليوم في تجنب اللغز بابتسامة ساخرة، أو

oberkandl.com

مثَل، أو نكتة (2). يتعلق السبب كثيراً بالفارق بين الشرح والفهم. نحن نتعلم بسرعة شرح أعمال الآلية الحيوية وحتى الكيفية التي أصبحت فيها العضويات بالشكل الذي نراها فيه اليوم، ولكن ليس لدينا جواب مقنع على سؤال لماذا وجدت الحياة في الأصل؟.

احتار لورين أيزلي، منذ ثلاثين سنة، «بجوع العناصر إلى أن تصبح حية،» ولسنا أكثر معرفة منه اليوم. لا يوجد أي شيء في الكتب المدرسية للفيزياء والكيمياء يمنع وجود عالم مفعم بالجراثيم والفراشات. لكنه لا يوجد أيضاً ما يجعل المرء يتوقع أن يكون العالم على طبيعته التي هو عليها. النقطة الحاسمة في الأمر هي أن العضويات الحية لا يمكن أن تستنتج بشكل منطقي ونظامي من المبادئ التي تفسر عادة صفات المواد غير الحية.

ندعي، نحن علماء الأحياء، درجة عالية من الاستقلال الذاتي لعلمنا عن الكيمياء والفيزياء، ويحق لنا ذلك. إن العضويات مخلوقات تاريخية، ونتاج التطور؛ يجب ألا نتوقع أن نستخلص جميع صفاتها من القوانين الكونية. إن السلوك الغريب لجماعة من القردة في المناطق المتغصنة العالية من الغابة تتوافق بلا شك مع كامل الفيزياء والكيمياء، لكن هذه المعلومات لا تقدم أية بصيرة مفيدة لطلاب سلوك الحيوانات. على كل حال، يجب أن يقلق الاستقلال الذاتي لعلم الأحياء في النهاية أولئك الذين، كما كان جاكوب برونوفسكي، «يبحثون عن طبيعية واحدة، وحدة متلاحمة» (3). السبب في أن الكثير من الأشخاص الحكماء يستمرون في إيجاد الحياة محيرة، وحتى مليئة بالألغاز، هو ذلك التقسيم الحاد بين الكرتين الحية واللاحية (الفصل 2). إن التمييز يدور حول تلك الصفات التي تترافق بشكل شامل مع الكيانات التي نسميها حية، لكنها غائبة أساساً من الكيانات غير الحية: التنظيم المعقد والسلوك الهادف اللذان يظهران مع الوقت، على كل من المستوى الفردي ومستوى التجمع الكامل. تنشق هنالك هوة عظيمة يدركها جميع علماء الأحياء، لكن الكثير منهم مترددون في الاعتراف بها.

من الواضح أنه يوجد شيء خاص حول الأشياء الحية لم يكشف نفسه من تحت الكومة الضخمة من المعرفة، ويبدو أنه يقف خارج دائرة الضوء التي يجاهد العلماء المعاصرون لتوسيعها. إن ما نفتقر إليه هو فهم للمبادئ التي تجعل العضويات الحية في نهاية المطاف حية، وبدونها لا نأمل بأن ندمج ظاهرة الحياة في الإطار المألوف من قوانين الفيزياء. أنا لست هنا لأشجع على الحيوية الخفية التي تنفي دور الفيزياء والكيمياء. لكنني أصر على أنه إلى أن نشكل روابط منطقية بين قطاعات عديدة من العلم، فإن فهمنا للحياة سوف يبقى غير كامل وحتى سطحياً. إلى أن يتم تجاوز ذلك الطريق المسدود، لا يمكننا أن نفند الفلاسفة، والمتشككين، والمؤمنين بالأديان والروحيين اللذين يشكون في أن العلم يبعد عن البصر نفس اللغز ذاته الذي يفترض أن يوضحه.

لا يجب علي أن أحل أحجية شرودينجر؛ لا يجب على أي أحد ذلك. حتى أنه من المعقول أننا نقف هنا على أحد حدود العلم، لكن من الباكر جداً أن نقر بالهزيمة. نحن معطلون جداً بامتلاكنا نوعاً وحيداً من الحياة نتأمل فيه، وقد يظهر أننا لا نستطيع أن نقبض بالكلية على الظاهرة العامة إلى إما أن نجد نمطاً آخر من الحياة أو ننتج نمطاً في المختبر.

لا يبدو منظور أي من الاثنين مشرقاً حالياً. لكن، في غضون ذلك، يمكننا أن نسير قليلاً في الطرق الأرضية التي ربما تعطينا لمحات من ذلك الارتباط الغامض بين العالم الفيزيائي والعالم الحي.

آلة بارعة؟

قال ونستون تشرشل في مرة من المرات أننا نرسم شكل أبنيتنا ثم ترسم هي شكلنا. بهذه الطريقة بالذات، صيغت الأسئلة التي نسألها عن الحياة وما نقبله كأجوبة بمجازين من الكلام: أولاً استعارة الآلة، وبعد ذلك استعارة الكومبيوتر .

تجول في أروقة بناء علم الحياة لتسترق السمع على الطلاب، وسوف تجدهم مشغولين بالمسامير الملولبة والعزقات. نحن نجادل حول آلية التركيب الضوئي، أو التطور الجنيني أو حتى التطور. نتكلم بجدية عن «آلة الحياة،» عن «وحدات البناء» الحيوية»، عن خلال «مثبتة بأسلاك» في «الطبعة الزرقاء للرسم الميكانيكي»؛ ونهيئ الطلاب لمستقبل مهني في علم معالجة جديد، خاصة في «الهندسة الوراثية». حتى الطب، أكثر الفنون إنسانية، يبدو أنه يتحول إلى علم قطع غيار، بلاستيكية أو جزيئية. أمسك آيساك دينسن بذلك المزاج باكراً: «ما هو الإنسان (4): عندما تتفكر فيه، سوى مجموعة من قطع دقيقة، آلة بارعة تحول بفن لا متناه كأس عصير العنب إلى بول».

الآلة، كما يعرفها وبستر في قاموسه، هي «تجمع من قطع تنقل القوة، الحركة والطاقة من قطعة إلى أخرى بطريقة محددة مسبقاً لتحقيق هدف مرغوب». إن تطبيق ذلك التعريف على الأشياء الحية تمطيط للتعريف ولكن ليس بدرجة كبيرة: آلات كيميائية، هدفها صنع اثنين في المكان الذي كان فيه واحد من قبل. تحمل الاستعارة قوة مشجعة عظيمة على الاكتشاف. تستحضر نظاماً من القطع المتفاعلة التي لها وظائف محددة جيداً، وتجمعها خدمة لكل أعظم؛ في عمل مفيد يوفر الطاقة، وقوى تظهر في الآلة ككل لم تكن موجودة في أجزائها المعزولة. في كل مرة نعلن فيها عن حل أحجية ميكانيكية أخرى، نتوجه بالتقدير لاستعارة الآلة: إن الآلات هي مظهر حقيقي للكائنات الحية. إضافة إلى ذلك، تلقى الاستعارة صدى في أعمق مفاهيمنا عن الطريقة التي هي عليها الأشياء. لمدة ثلاثمئة سنة، نظر العلماء إلى العالم من عيني ديكارتس وخاصة نيوتن: عالم من جزيئات تتحرك في حقول من القوة، يتحدد سلوكها بالكامل بقوانين الفيزياء المحيطة. بالنسبة لأولئك الذين يؤمنون بوجهة النظر تلك، ما علم الأحياء أكثر من جمع لحالات معينة يجب أن تستوعب ضمن إطار عام؛ لا يوجد ألغاز عميقة هنا.

حسناً إذاً، ما هو العيب في التأكيد على أن خلية ما ـ مثلاً الإشريكية

القولونية، أو المهدبات ـ ليس سوى آلة بالخاصة معقدة وبارعة؟ العيب هو أن ذلك الادعاء ينكل بالموضوع الأساسي. إذا كانت الخلية هي مجرد آلة أخرى، فما هو الأساس للتمييز الذي وضع منذ الأوقات القديمة بين الأشياء الحية والأشياء غير الحية؟ في نهاية المطاف، إن ما نسعى لفهمه ليس ما يشترك فيه هذان الصنفان، بل ما الذي يفصل بينهما! جاء الجواب في القرن الثامن عشر من الفيلسوف الألماني إيمانويل كانت (5)، وهو يدور حول وجود صنف خاص من الأشياء يسمى العضويات. في الآلة، كما يقول كانت، توجد الأجزاء لأجل بعضها البعض ولكن من قبل بعضها البعض؛ إنها تعمل مع بعضها لتحقيق هدف الآلة، ولكن عملها ليس له علاقة ببناء الآلة. الأمر على العكس من ذلك تماماً في العضويات، التي لا تعمل أجزاؤها مع بعض فحسب ولكنها تنتج أيضاً العضوية وجميع أجزائها. إن كل جزء هو فوراً سبب ونتيجة، وسيلة وغاية. نتيجة لذلك، بينما تقتضي الآلة وجود صانع منظم للآلة، فإن العضوية وحدة ذاتية التنظيم. على عكس الآلات، التي تعكس نوايا الصانع، فإن العضويات «أهداف طبيعية». كانت وجهة نظر كانْت معقولة بشكل بارز وهي لا تزال صحيحة، لكنه حتى هو كان في وضع حرج في المرحلة الثانية: كيف يمكن لنا أبداً اكتشاف سبب التنظيم الهادف الذي هو سمة العضويات؟.

إن الوقت وتقدم العلم قد قدما حلاً جزئياً للغز، وأنتجا نظرة أكثر دقة للعلاقة بين العضويات والآلات. نضيف إلى تمييز كانْت بين الآلات التي تُصنع والعضويات التي تصنع نفسها، أن الآلات يمكن أن تصنع بشكل منفرد مع ظهور الحاجة؛ بعض هذه الآلات فريد. العضويات، على النقيض من ذلك، لا بد أن تكون أعضاء في نظام بيئي، مجتمع تاريخي تحدد تحولاته عبر الزمن أشكال ووظائف أفراده. إن معظم العلماء المعاصرين، إن كانوا سيفكرون على الإطلاق في مثل هذه الأمور العويصة، فإنهم سيؤيدون مفهوماً يشتمل على عناصر من كل من العضويات والآلات، أساسه في فهمنا

الجديد للوراثة، والكيمياء الحيوية والتطور. لا عجب أن استعارة اليوم تصف العضويات على أنها آلات تعامل مع المعلومات، نوع من الكومبيوترات. يقفز المشهد إلى أنظارنا: لاحظ شريط الـ «د.ن.أ DNA» الذي يخترن تسلسل نوويداته معلومات يمكن أن تضاعف، وتقرأ ويعبر عنها بلغة من البروتينات، تلك الأجهزة الدقيقة التي تقوم بكل ذلك العمل. بفضل الأخطاء النادرة لكن الحتمية يتحول الشريط مع مرور الزمن، منتجاً أنماطاً جديدة ينخلهاالانتقاء الطبيعي. إذا كانت العضويات لا تزال آلات فهي آلات شديدة الإتقان، لا تنسجم بسهولة مع الفهم التقليدي للتطبيقات الآلية.

مع شدة نبرتها المعاصرة، فإن لاستعارة الكومبيوتر أعماقاً تاريخية كبيرة. تتبعها وبستر وغودوين (5) إلى أوغست وايزمان الذي رسم خطاً حاداً، في نهاية القرن التاسع عشر، بين خط النشوء والجسد. بدلاً من الكل ذاتي التنظيم لكانْت، تحدث وايزمان عن ازدواجية جوهرية، تهيمن على تفكيرنا في يومنا هذا. يعمل المجين، المستمر من فجر الزمن وهو من الناحية المبدئية سرمدي، كعميل موجه مركزي لإنتاج الحيوان أو النبات الظاهرين. هذه الأجسام، التي صنعت بتنفيذ التعليمات المحتواة في المجين، هي في الواقع اصطناعية؛ إنها تتواسط بين المجين والبيئة (إذا استعرنا العبارة من جيفري ويكن)، لكن ليس لها أية أهمية باطنة. إذا تركنا التفاصيل جانباً، لا ينكر أن هذه الطريقة من النظر إلى الحياة لها قبضة قوية على جميع تخيلاتنا. لا يمكن للمرء إلا أن يتساءل، كما فعل وبستر وغودوين، كم تدين تلك القبضة للازدواجية الأقدم بكثير للجسم والنفس، المادة والروح.

وضع الفيلسوف ألفرد نورث وايتهيد ذلك في منظور: لا توجد حقائق كاملة، كما يقول، إن جميع الحقائق أنصاف حقائق؛ تأتي المشكلة من معاملتها على أنها حقائق كاملة. إن الاستعارة المعلوماتية هي بالتأكيد نصف حقيقة لكنها لا تتعدى ذلك، وسوف يرى القراء الذين جازوا خلال الفصول الستة السابقة لماذا. تملك العضويات المادة والطاقة إضافة للمعلومات؛ يمثل

كل منها مفصلاً حركياً في دوامة تيارات عدة، وربما كان التكاثر الذاتي ملكاً للمجموع، وليس للجينات. إن بعض البنيات والوظائف ليست تعبيراً مباشراً عما تمليه الجينات؛ هناك في الوراثة أكثر من مجرد ما هو مرمّز له، ولا يمكنك المضي من النمط الجيني إلى النمط الظاهري إلا عن طريق التخلق المتعاقب. إن الـ «د.ن.أ DNA» نوع غريب من برامج تشغيل الكومبيوتر، لا يمكن أن يفسر بشكل صحيح إلا بلوحاته الصلبة الفريدة الخاصة به. فقط في الخيال العلمي سوف ينتج دنا مستحاثات الديناصور التي توضع في بيضة التمساح ديناصوراً حياً (أو ذلك ما نتمناه بحق)؛ وإن إرسال مجين القطة إلى سكان الفضاء ليس بديلاً عن إرسال القطة نفسها ـ مع ما يكملها من الفئران. إن العضوية هي في الحقيقة وحدة ذاتية التنظيم وأكثر من مجموع الأقسام الجزيئية. إن الاستعارة المعلوماتية تتجاهل الشبكات الكثيرة للعلاقات التي تكوّن الفزيولوجيا، التطوير، التطور والبيئة. مع ذلك، فإن الشريط وقارئه ينظمان جزءاً مما نعرفه، وإن قوة التناظر تتعزز في كل مرة تبدل فيها الجينة، أو تطرح أو تستبدل في البحث عن المعرفة أو الربح؛ ضمن حدود معينة، إن الاستعارة ناجحة ومعلِّمة.

هناك مبرر لجميع الاستعارات شائعة الاستعمال، لكن لا أحد منها مرضٍ بالكلية؛ كما لاحظ كانْت سلفاً، لا يجعل أي منها وجود حتى نصلة واحدة من العشب مفهوماً. لا بد أنه من المهم أننا لا نزال نفتقر إلى لغة تجعل العضويات تحس أنها تقطن في العالم الفيزيائي؛ يبدو واضحاً أن هناك أموراً غير مألوفة أكثر مما نفترض. قد تكون حقيقة الأمر أن فهمنا للفيزياء والكيمياء يفتقر إلى عارضة عندما نجدها سوف تسد الفجوة. لكنه من الممكن أيضاً أن هناك خللاً في برنامج الأبحاث المعاصر ـ برنامج شرودينجر إن شئت ـ الذي يجلب علم الحياة بكامله تحت مظلة العلوم الفيزيائية.

أنظمة معقدة

دراسات التعقيد هو اسم جديد لموضوع مشبع البحث: نظرية الأنظمة العامة، التي كان رائدها لودويغ فون برتالانفي في الثلاثينيات، والأبحاث على قوانين عامة على أنظمة من أنواع شتى، سواء كانت حية أم لا. الجديد هو، بالطبع، قدوم الكومبيوتر، الذي أعاد الشباب إلى هذا الموضوع المتثاقل وجعله، إلى حد ما، موضوعاً للتجربة (6).

يفهم معظمنا بالحدس ماذا يُعنى بكلمة «نظام»: كيان يتألف من أجزاء متفاعلة تنتظم بعلاقة أكيدة مع بعضها البعض. الدراجة الهوائية، الكواكب في مدارها حول الشمس، وجامعة ولاية كولورادو هي جميعاً أنظمة؛ أما كتلة الغرانيت وكومة الرمل فليستا بأنظمة. التعقيد أكثر صعوبة بكثير في تحديده، وأحد المواضيع المتكررة بانتظام في الأدب العلمي هو ما الذي يجعل النظام معقداً تماماً، كصفة مميزة عن مجرد كونه متراكباً. إذا وضعنا الرسميات جانباً، فإنه تسهل معرفة ما هو معقد، وهو عادة موضوع درجة تعقيد، ويُبحث عادة في درجة التعقيد أكثر مما يبحث في ما إذا كان الأمر معقداً أم لا. تتضمن الصفات التشخيصية ظهور صفات في النظام ككل لا يمكن أن تعزى لأي واحد من مكوناته، عدم تفاوت الكل حتى ولو تأرجحت مكوناته، وتفاعل متكامل بين الأسباب المحلية والأسباب الشاملة، بحيث أن كل مستوى يقيد الآخر. إن الأنظمة المعقدة عادة (ولكن ليس بالضرورة) حركية أكثر من كونها ساكنة، وهي مفتوحة لوارد الطاقة والمادة من المحيط. فوق كل شيء، تبدي دائماً «نوعاً من عدم ـ التقليص: أي أن السلوك الذي نهتم به يتلاشى، عندما نحاول أن نقلص النظام إلى نظام أبسط أكثر فهماً» (7). بالطبع، فإن الأنظمة الحية تمثل قمة التعقيد بهذه المعايير (أو أية معايير أخرى)، لكن الأمر لا يقتصر عليها وحدها: يحضر إلى الذهن اللهب، الدوامة، الكثير من الدارات الكهربائية ودوران التيار في المحيطات والغلاف الجوي. حتى كومة الرمل يمكن أن تبدي سلوكاً معقداً.

شرح روبرت روسن (8)، الذي ربما كان أكثر النقاد صرامة وتشدداً للمداخلة الميكانيكية على علم الأحياء، ما الذي يتألف منه عدم ـ تقليص الأنظمة المعقدة. أولاً، لا يمكن للنظام المعقد أن يجزأ: لا توجد علاقة واحد ـ لواحد بين الأجزاء والوظيفة لأن واحداً أو عدة من الأجزاء يلعب عدة أدوار في نفس الوقت.

ثانياً، بينما قد يكون لمظاهر النظام المعقد وصف ميكانيكي بسيط، لا يوجد مثل ذلك الوصف للإحاطة بالنظام ككل. ثالثاً، حتى تلك الوظائف التي يبدو أنها جزئية وبسيطة تتبدل مع الوقت وتبتعد عما قد يكون سلوكها وهي في معزل. لهذه الأسباب جميعاً، إن الأنظمة المعقدة من حيث المبدأ قابلة ككل أن تقلص إلى أنظمة بسيطة، ولا يمكن تطبيق الفكرة النيوتونية عليها. لضرب مثال له صلة بالموضوع، قد يجد علماء الكيمياء الحيوية أن من المفيد التفكير بطي السلسلة الخطية للحموض الأمينية في الشكل ثلاثي الأبعاد للبروتين الموافق. معظم البروتينات تعرف كيف تطوي نفسها بشكل صحيح، بسرعة وتلقائياً، لكن الجهود المضنية لتوقع الشكل النهائي بجمع تفاعلات الحموض الأمينية لم تكن مجدية. هل يمكن أن يكون، كما يعتقد روسن أن الخطأ ليس في الحسابات ولكن في الطريقة التي فهمت فيها المشكلة؟ من المثير أن نقرأ عن مداخلة جديدة أكثر شمولاً (9)، تعتمد على فكرة أن سلسلة الحموض الأمينية نظام معقد يدخل في المكافئ الجزيئي للتكون التشكلي.

يمكن لكل من الشمعة والجامعة أن يعتبرا أنظمة معقدة، لكن كل منهما ليس حياً؛ ما الذي يحدد عندئذ الصنف الفرعي للأنظمة المعقدة التي تنتمي إليها العضويات؟ يبحث روسن عن المعيار الذي يمكن أن يطبق بشكل شامل على أي شكل من الحياة، حتى على الحياة ما بعد النظام الشمسي أو العضويات المخترعة. سوف تكون هذه الأنظمة مستقلة عن أي تجسيد مادي، ويجب أن يستنتج المعيار من تلك المبادئ المجردة للتنظيم التي تجعل الأشياء الحية حية.

بالنسبة لروسن، صميم علم الأحياء هو أنه يدور حول نموذج من الارتباطات بين المكونات، ويسمح ذلك له بأن يقدم حلاً لأحجية شرودينجر: «النظام المادي عضوية إذا وفقط إذا، كان مغلقاً تجاه السببية الفاعلة» (8). هذا يعني، إذا كان س أي مكون لنظام حي وسألنا ما هو سبب س، يكون للسؤال جواب ضمن النظام. لاحظ أن روسن، وهو يلاحق طريدته بالمنطق التقليدي، وصل إلى بصيرة مشابهة كثيراً لما توصل إليه ماتورانا وفاريلا قبله (الفصل 2): الأنظمة الحية ذاتية التكوين، تصنع أنفسها. بالمناسبة، بنظر روسن التطور ثانوي: يمكن أن يتصور المرء أشكالاً من الحياة لم تتطور (مثال، الصنعية)، لكن التطور بلا حياة غير معقول.

في معنى ملفت للنظر وبناء في كامله، ربما كان يمكن وصف روسن على أنه من القائلين بالمذهب الحيوي. إن بحثه عن مبادئ تجعل الأنظمة العضوية مختلفة عن الأنظمة غير العضوية يدعونا إلى إعادة النظر في العلاقة بين علم الأحياء وعلم الفيزياء، وهذا جذري بما فيه الكفاية. يتعامل كل من فرعي العلم مع الأنظمة، وسعى علماء الأحياء طوال القرنين الماضيين إلى تفسير موضوعهم بمد القوانين التي اقتبسها علماء الفيزياء من دراسة الآليات البسيطة. هذا، حسب رأي روسن، يضع العربة أمام الحصان: في الواقع، إن الأنظمة البسيطة مثل الغازات أو مدارات الكواكب أمثلة خاصة ومحدودة، بينما تمثل الأنظمة المعقدة الحالة العامة. إذا كنا سنفهم العضويات على الإطلاق ككيانات فيزيائية مادية، يجب أولاً إعادة تشكيل الفيزياء إلى علم يبحث في الأنظمة المعقدة. إن إعادة التشكيل هذه قد بدأت فعلاً، لكن ثبت أنها ليست سريعة ولا مريحة: بعد نصف قرن، الحركية الحرارية للعمليات العكوسة (تلك التي تهيمن في العالم الحقيقي) قد حققت بعض الإنجازات الجديرة القليلة وبقيت في معظمها خارج التيار الرئيسي لكل من الفيزياء وعلم الأحياء. لست متأكداً إلى أين سيؤدي هذا الخط من البحث؛ لكن وجهة نظر روسن سوف تثير فضول أي شخص يشك، كما أشك أنا، في أن

العلاقة المخادعة بين الفيزياء وعلم الأحياء تحمل مفتاح حل لغز شرودينجر.

■ ■ ■

سلمنا إذاً أن العضويات الحية تشكل صنفاً فرعياً من أصناف الأنظمة الحركية المادية المعقدة؛ هل يتضمن هذا التحديد توقعات معينة تتعلق بصفاتها، سلوكها، أو منشئها؟ يجب علينا ألاّ نتجه إلى المنطق التقليدي لتوقع خصائص الشكل والوظيفة، التي لا بد أنها تحتوي على عنصر كبير من الأمور غير المتوقعة، لكن يمكننا أن نأمل في أن نجد ملامح إحصائية عامة كتلك التي تجعل جميع أودية الأنهار متشابه على الرغم من أن كل واحد منها فريد في ذاته. لقد أنتج هذا المشروع مسبقاً أدباً علمياً كبيراً مشوِشاً، وعدداً متنامياً من التنبؤات. التنبؤ الذي أجده مقنعاً من بين هذه التنبؤات هو أيضاً أكثرها عموماً: الأنظمة المعقدة من النمط الصحيح تولد النظام تلقائياً. تختلف طبيعة هذا النظام. قد يكون فراغياً، كما في أنظمة بريغوجين الخادعة؛ تتضمن الأمثلة خلايا الحمل الحراري التي تظهر في مقلاة الزيت المحماة، والأمواج المنتقلة التي تظهرها تفاعلات كيميائية معينة (الفصل 7). لكن النظام يمكن أن يشير أيضاً إلى التفاعل بين عناصر شبكة، مثل تلك التي درسها ستوارت كوفمان. المضمون هو أن الانتقاء الطبيعي ليس المصدر الوحيد للنظام في العالم الحي، لكنه يتمم النظام الذي ينشأ عن التنظيم الذاتي للأنظمة المعقدة.

تبدي كتب كوفمان (10)، المكتوبة بأسلوب ملون وفي بعض الأحيان أسلوب مهيب، قوة وقيود المداخلة على الحقيقة التي تعتمد على الكومبيوتر بطريقة التجريد الأقصى. تخيل شبكة ضخمة من العناصر المتفاعلة، 100،000 عنصر، قد تكون هذه مربعاً دقيقاً من مربعات الشاشة الضوئية أو قد تكون مصابيح كهربائية. يتصل كل عنصر مع الآخرين، ربما بواحد أو اثنين أو عشرات منها، ويتم التحكم باستجابته حسب قوانين المنطق الجبري.

على سبيل المثال، قد يضيء عنصر معين عندما يكون كل من مدخليه فاعلاً (وظيفة منطقية تتناسب مع و)؛ قد يستجيب عنصر آخر كلما كان واحد من مدخليه فاعلاً (بوابة أو). يحدد كل من نموذج الارتباط والقواعد التي تتحكم بأي عنصر ما عشوائياً. نبدأ الشبكة الآن بحالة افتراضية ما، ونسأل ما إذا كان يمكن استخراج أي نظام منظم من الأنوار التي تضيء وتطفئ. قد يتوقع المراقب الساذج فوضى عارمة، أنوار تضيء وتنطفئ بشكل عشوائي مثل «شجرة يوم الميلاد المسعورة»، لكن ليس ذلك بالضرورة ما يحصل. إن تصرف الشبكة يعتمد بشدة على قوانين الاقتران، بشكل أساسي على العدد الوسطي للمداخل إلى كل عنصر. عندما يكون العدد كبيراً، تقع الشبكة فعلاً في فوضى ظاهرياً. على العكس من ذلك، عندما يتلقى كل عنصر وارداً من عنصر واحد آخر فقط، يظهر بسرعة تسلسل ثابت بسيط. لكن عندما يكون العدد أكبر قليلاً، حوالي 2، يحصل شيء غير متوقع: يستقر النظام على حلقة تتألف من عدد صغير من الحالات، حوالي ثلاثمئة حالة، تعاد بعد ذلك بشكل لا نهاية له. إن الدارة قوية: بدّل أحد العناصر إلى حالته البديلة، وسرعان ما تعود الشبكة إلى نظامها السابق. تظهر شيئاً يشبه التوازن الداخلي. يتصور كوفمان مثل هذه الدارات «كجاذبات» في فراغ التشكيلات المحتملة التي يمكن أن تتبناها الشبكة، ويلاحظ أنها تمثل جزءاً ضئيلاً من رقم كبير بشكل فلكي. تمثل مثل هذه المقارنة «نظاماً شاسعاً، شاسعاً» ينشأ على مزاجه الخاص، لا يوجهه لا الانتقاء ولا الذكاء.

هل يمكن أن يكون لهذا النموذج التجاري العويص أي علاقة بالطيور والنحل؟ سطحياً، لا ـ لكن انتظروا. يمكن أن ينظر للدارات الجينية للخلية على أنها شبكة من العناصر المنطقية التي تفعل وتثبط بعضها البعض، ويدعي كوفمان أن مثل هذه الشبكات سوف تتبنى تلقائياً مناهج منظمة، حتى بغياب الانتقاء الطبيعي. يصبح التنظيم الذاتي التلقائي، «نظام الأحرار،» عندئذ الخلفية من التنظيم التي يعمل عليها الانتقاء الطبيعي، والذي يجب أن تقاس

آثاره حسبها. في الحقيقة، إن النظام ذاتي التنظيم سوف يستمر حتى في وجه الضغوط من الانتقاء الطبيعي.

يجب ألاّ ينظر إلى النظام الذي ينشأ من التنظيم الذاتي، والنظام الذي بناه بعناء التنوع والانتقاء على أنهما نظامين متعاكسين. على العكس، يجادل كوفمان وآخرون بأن الانتقاء الطبيعي لا يمكن أن ينجح مع الشبكات المنطقية التي تخضع نفسها للتغيير التأقلمي بخطوات متزايدة صغيرة. لذلك يعبر عن هذا مايكل كونراد بقوله: «لماذا ينجح التطور؟ لا يمكن إيجاد السبب فقط في القوة السحرية للانتقاء الطبيعي التي تختار الأمثل. يوجد السبب بنفس القدر في البنية التنظيمية التي يحصل فيها التنوع. ينجح التطور لأن التنظيم مطاوع تجاه التطور، ولأن هذه المطاوعة نفسها تزيد في سياق التطور» (11). تنزاح الشبكات المتطورة بالتدريج إلى طرق للعمل لا هي جامدة بصلابة ولا مائعة بفوضى، لكنها تقع في منطقة الانتقال بين هذين الوضعين: ينجح التطور على «حافة الفوضى». إذا صح كل ذلك (يؤكد المؤيدون على أنهم هم أنفسهم يسيرون على حافة الشك)، فإن البصيرة في طبيعة الأنظمة الحية قد بدأت تظهر من خلال الضباب.

هناك أمارات على هذا الأدب تجعل المرء يبدي بعض التساؤل. يحق لنا، علماء الأحياء، أن نتساءل ما إذا كانت هذه الملاحظات والتجارب تعطي تنبؤات متينة قابلة للاختبار. في الواقع، هناك مجموعة تحقق ذلك ـ وإن لم تكن كبيرة. إن عدد الحالات التي تستطيع أن تتبناها شبكة ما ترتبط بالجذر التربيعي لعدد العناصر؛ هل يمكن أن يكون ذلك قانوناً عميقاً يكمن وراء العلاقة التقريبية بين عدد أنماط الخلايا في عضوية والجذر التربيعي لعدد الجينات (ثلاثة في الخمائر التي تملك 6،000 جينة، 300 للبشر الذين يملكون 100،000)؟ الواقع أيضاً عامة هو أن عدد الواردات التنظيمية لكل جينة صغير ـ مع أن طلاب الانتساخ في حقيقيات النوى يمكنهم أن يذكروا استثناءات كثيرة. وهناك ملامح عامة للتطور يمكن توقعها من نظرية الشبكات

الحركية. حسب المرجع الذي تقرأه (12)، تشمل هذه الملامح ظهور كيانات التضاعف الذاتي والحفاظ الذاتي على النفس؛ القيود التطويرية على التغير التطوري؛ التوازن الترقيمي؛ قوانين التطور لدولو وفون بير؛ حتى الميل الفطري للتعقيد بأن يتزايد مع مرور الوقت. لكن من الحكمة الانتباه لأعلام التحذير قبل النزول في المياه العميقة. هل صحيح فعلاً أن الأنظمة الحية تظهر عدداً صغيراً فقط من الحالات الثابتة التي يختار الانتقاء من بينها؟ إذا كان كذلك، فإن قوانين النظام تقيد بالفعل ما يمكن للانتقاء الطبيعي أن يحققه، لكن التنوع المدهش للأشكال الحية يشهد بوجود حرية غير معاقة. وهل فعلاً لم يكن من الممكن تحقيق الدرجة العالية من النظام الحيوي بالتنوع العشوائي والانتقاء وحدهما؟ يظهر تاريخ حياة قنفذ البحر، مثلاً، ذلك النوع المتقلب من التأقلم بحيث أن الانتقاء الطبيعي يرصف إلى بعضه قانون نظام ما لكنه لا يبرز أي نظام شامل.

على الشواطئ الخارجية للعلم، تميل الروح الناقدة بشدة إلى إغفال المساهمة الفعلية لتلك الدراسات حول التعقيد التي تمت سابقاً بالفعل. إن الميزة الأساسية للتفكير المنظم ليس أنه يتوقع حقائق الحياة، ولكن أنه يقلل من وضوح ذلك الخط الجازم الذي يقسم العالم العضوي من غير العضوي. لا يوجد شيء غموضي أو غير طبيعي حول التعقيد، والتنظيم الذاتي، والظهور والكل الذي هو أكبر من مجموع الأجزاء. إن هذه صفات صنف أكبر وأكثر تنوعاً من الأنظمة الفيزيائية؛ حتى أكوام الرمل تبديها. لكن عندما ينظر إلى العضويات على أنها أنظمة حركية معقدة من نمط فريد، فإن الفارق بين العضوي واللاعضوي يبدو أقل رهبة إلى حد ما. يتشجع المرء بالتفكير في الكيفية التي ظهرت فيها الكيانات ذاتية الإنتاج من صنف أكبر بكثير من الأنظمة الحركية المعقدة، وهنا يحمل علم الطاقة الحيوي أكثر مفاتيح الألغاز وعداً.

العيش حسب القانون الثاني

بدأ علم الحركة الحراري والتطور، وهما فرعا العلوم اللذان يدوران حول النظام والزمن، باتجاهين مختلفين: ينظر أحدهما إلى العالم وكأنه ينحدر من عال إلى أسفل، بينما ينظر إليه الآخر على أنه بناء من الأسفل إلى الأعلى، ولا زلنا نجاهد لإغلاق الدائرة.

جاء أولاً التصادم المؤسف حول عمر الأرض. استعمل اللورد ويليام تومبسون كيلفن، الذي كان أول من أدرك المكانة المركزية للطاقة في الفيزياء، معدل إنتاج الحرارة من قبل الأرض لحساب أنها لا يمكن بأي شكل من الأشكال أن تكون أقدم من 20 مليون سنة؛ سمح كلفين بمجال خطأ في حساباته إذا تبين وجود مصدر داخلي للطاقة، لكن لم يكن هناك مصدر داخلي واضح. لم يشك داروين أبداً في أن الأرض أقدم من ذلك بكثير، لكن نبذ حتى احتمالية صحة التطور على أساس عدم توفر الوقت الكافي في عمر الأرض من قبل أحد علماء القرن البارزين أضفى آفة على سنواته الأخيرة. لم تحل المشكلة بالكامل حتى نهاية القرن مع اكتشاف النشاط الشعاعي، الذي أعطى الأرض عمراً يقاس ببلايين السنين.

يبرز صراع أكثر استمرارية من الصفة الأساسية للعضويات الحية: قدرتها على النمو، والتطوير والتطور، محدثة مستويات متزايدة من النظام تتعارض ظاهرياً مع القانون الثاني لعلم الحركة الحراري. تتطلب القوانين الطبيعية الأساسية أن تترافق جميع العمليات الحقيقية مع انحلال الطاقة وتبديد النظام، ولا يزال يصر بعض العلماء على أنه، بسبب ذلك، تستبعد مبادئ علم الحركة الحراري تطور داروين. ينبع اعتراضهم من القراءة الخاطئة للقانون الثاني، الذي وضعه إيروين شرودينجر (من بين آخرين): تستخلص العضويات طاقة خارجية من المحيط. وبدقة أكثر، تستخلص العضويات من المصادر الخارجية للطاقة الحرة لكي تدعم أعمالها الوظيفية المختلفة، بما

فيها التطور. على الرغم من أن الطاقة الكامنة في الكون قد تكون تتضاءل (وإن توسع الكون المستمر يطرح تساؤلاً حتى على هذه الحقيقة القديمة)، فإنه لا يوجد أي سبب يمنع النظام من التزايد في مواضع معينة مفضلة. الأرض هي أحد هذه الأماكن، وهي تسبح في تيار من الطاقة من الشمس. كما أن قانون الجاذبية لا يمنع الرذاذ من الارتفاع من قدم الشلال، فإن القانون الثاني لا يمنع التوليد المحلي للنظام الجزيئي والعضوي؛ إنه فقط يتطلب أن تعوض الزيادة المحلية في النظام بإحداث المزيد من عدم الانتظام في مكان آخر. مهما يكن، حتى مع الحفاظ الأمين لسجلات الطاقة، يبقى هناك تناقض مزعج: لا يقود علم الحركة الحراري التقليدي المرء أبداً إلى توقع عالم يحتوي على البعوض، الغابة المطرية وكل ما يقع بينهما. إن عدم التوافق هذا هو الذي يعدّل اليوم بفضل حلول «الحركية الحرارية غير القابلة للعكس»، علم الأنظمة المفتوحة. يمكننا أن نبدأ بأن نرى أن الميل العفوي للطاقة بأن تنتشر وتفقد التماسك كما يفرض ذلك القانون الثاني قد يكون، بدون أي تعارض مع علم الأحياء، هو السبب النهائي لكامل التعقيد، والتنوع وجمال العالم العضوي (13).

دعوني أؤكد على هذه النقطة، لأن الأمر خفي أكثر مما يبدو وهو مهم جداً. لا يشك أحد أن مورد الطاقة ضروري لوجود العضويات، وتكاثرها وتطورها. إن الأنظمة الجزيئية والفزيولوجية التي تكتسب فيها الطاقة وتزاوج مع أداء العمل المفيد يشكل فرع المعرفة الذي يسمى علم الطاقة الحيوي (13)؛ لا يمكن للحياة أن تستمر بدون آليات من هذا النوع. السؤال المفتوح هو ما إذا كان دور الطاقة هو الإباحة فقط أم أنه سببي بشكل فاعل: هل الطاقة فقط مطلوبة لعمل الحياة، أم هل هي القوة التي تقود ظهور أنظمة الإنتاج الذاتي المعقدة وتطورها اللاحق؟ إن أولئك الذي يتصورون علاقة أساسية بين سهم الحركية الحرارية من انتشار الطاقة والسهم الحيوي من الأرض الخضراء يشكلون أقلية صغيرة، ويقفون بعيداً خارج التيار الأساسي

لعلم الأحياء المعاصر. لكن إذا كانت نظرتهم صحيحة، فإنها تظهر الاستمرارية العميقة بين الفيزياء وعلم الأحياء، المعين النهائي للحياة.

قدم هذا الجدل بشكل كامل من قبل جيفري ويكن في كتاب مدرسي لكنه كثيف جداً، وقدمها بشكل أبسط بروس ويبر، ديفيد ديبيو وستيفن بري (14). الادعاء الأساسي هو أن ظهور الأنظمة المعقدة وظهور الحياة على الأرض البدائية لا يمكن أن يفهم إلاّ كنتيجة للدافع الحركي الحراري. لقد لاحظنا مسبقاً ظهور البنيات الفيزيائية المتشتتة في أنظمة حوفظ عليها بعيداً عن التوازن بتقديم الطاقة المستمر (خلايا الحمل الحراري، الأعاصير، اللهب). إن مفتاح ظهور الحياة هو توليد البنيات والنماذج الحركية في العالم الكيميائي. إن تيار الطاقة، سواء كان كيميوجيولوجياً أو شمسياً في منشئه، قد شحن بشكل تدريجي الأرض البدائية بكمون كيميائي. شُجع أولاً تشكيل المواد العضوية الأساسية (فورم ألدهيد، حمض الهايدرو سيانيد)، ومن ثم الجزيئات الأكثر تعقيداً مثل الحموض الأمينية، والبورينات، وحتى أشباه البروتينات (تكوثرات شبيهة بالبروتين من الحموض الأمينية، الفصل 11). أجبر جريان الطاقة أيضاً على ظهور كيانات أكبر مرتبطة بالأغشية، أصبح بعضها طلائع الخلايا الأولية. حسب هذه النظرة، فإن الأشكال البدئية للاستقلاب والبنية الخلوية قد سبقت اختراع الجزيئات المعلوماتية؛ لكن فقط مع ظهور هذه الأخيرة يمكن للمرء أن يتكلم عن التطور الداروينى وعن الحياة كما نعرفها.

قد لا يكون من الواضح فوراً كيف يمكن لتيار من الطاقة على شكل حرارة وأشعة، وهو يصطدم بالأرض غير العضوية ذات التركيب الكيميائي الملائم، أن يولد الأشكال الأعلى من التنظيم الجزيئي والبنيوي. إذا تركنا جانباً تفاصيل الكيمياء التي تفسر تشكل هذا الجزيء أو ذاك، فإن السبب في أن جريان الطاقة عبر نظام ينظم ذلك النظام هو أن بناء التعقيد يشجع على إنتاج الطاقة التي لا يستفاد منها وعلى هدر الطاقة. كلما زادت كفاءة نظام

معين، كلما زادت حصة الطاقة المتدفقة والمصادر الكيميائية التي يمكن أن يتحكم بها. تقدم دارات التفاعل مثالاً على هذه النقطة. خذ مثلاً جزيئاً معيناً س، يمتص الضوء، وبالتالي فهو يتحول إلى جزيء آخر ع، مع تحول موافق للطاقة الضوئية إلى حرارة. لا يمكن أن تستمر مثل هذه العملية لفترة طويلة إلاّ إذا توفر طريق يعيد تشكيل س من ع. يمكن للأنظمة التي «تكتشف» مثل هذه الدارة أن تستمر، بينما تتوقف الأنظمة التي لا تكتشفها عن العمل؛ تفضل الحركية الحرارية الدارة حتى على الرغم من أنها قد تتضمن عدة خطوات وصل، طالما أن الدارة ككل تنتشر الطاقة. إن التعقيد البنيوي، بنفس الشكل، قد يكون مفضلاً من ناحية الطاقة. يعرف في علم الكيمياء الحيوية عدداً من الأمثلة تتحد فيها عناصر صغيرة بشكل عفوي في معقد أكبر؛ يتضمن ذلك زيادة محلية في النظام لكنه يستمر دون أي وارد من الطاقة إذا نتج عن النظام زيادة في الطاقة غير المستفادة (عدم انتظام) في النظام ككل. الحالة التي تقدم مثالاً هي التشكيل التلقائي للحويصلات الكروية ثنائية الطبقة الشحمية من جزيئات الشحوم الفوسفورية الحرة؛ تحصل زيادة الطاقة غير المستفادة بسبب تحرر جزيئات الماء. إن الصعوبة، كما هي العادة، تكمن في وضع التفاصيل لكن القاعدة العامة صحيحة: إن هدر الطاقة الذي يتطلبه القانون الثاني يقدم قوة قائدة في التكوين الموضعي للمعقدات الكيميائية والفيزيائية.

دعوني أؤكد على نقطة تنطبق على جميع المناقشات الحركية الحرارية. إن وجود قوة قائدة يعني أن العملية موضع التساؤل يمكن أن تحصل، لكنه لا يؤكد أنها سوف تحصل. لا يقدم علم الطاقة أية تنبؤات فيما يتعلق بالسير الفعلي للحوادث. يتكلم علم الطاقة عما هو محتمل، أما ما يحصل فعلاً فهو أمر يتعلق بالحركيات وبالتالي بالآلية. لا تحدد الطاقة التفاصيل، لكنها يمكن أن تؤمن سبباً نهائياً لظهور بنية على أرض لا حياة فيها. «بينما الكون يتناقص من ناحية استنفاذ الكمون الحركي الحراري، فإنه أيضاً يتصاعد من حيث بناء

البنيات. تترافق العمليتان عبر القانون الثاني» (15).

الآن وقد تحدد الإطار العام، يستمر ويْكن في التفكير بالأعمال الصارمة للقانون الثاني كخلفية لتكاثر الحياة وتنوعها. هل الطفرات، وإعادة تنظيم الصبغيات، والأمور الطارئة الأخرى التي تعكر التزايد الدقيق للنظام الحي، سوى نتيجة لذلك الميل العشوائي الذي يفرضه القانون الثاني؟ ليس التنوع فحسب، بل الانتقاء الطبيعي أيضاً، يطبقان القانون الثاني حسب القاعدة العامة التي وضعها أولاً أ. جيه. لوتكا منذ ثمانين سنة. لا يقيّم الانتقاء الطبيعي العضويات في المزرعة الخلوية الصرفة، لكنه يعمل على المجتمعات أو أنظمة البيئة المكونة من أنواع عديدة من العضويات التي تتطور مع بعضها البعض. يمكن لأي نظام بيئي أن يعتبر كمحول للطاقة، يلتقط الطاقة المنتشرة ويحولها إلى شكل كتلة حيوية ويفككها بالتدريج إلى حرارة. مع تقدم هذا التحويل، يؤمن النظام البيئي بيئة ملائمة يمكن أن تزدهر فيها عضويات معينة وأن تتكاثر حسب قدرتها على اكتساب حصة من تيار الطاقة. يعتقد ويْكن، مثل لوتكا من قبل، أن الانتقاء الطبيعي يفضل تلك العضويات الأكثر قدرة على توجيه جريان الطاقة في قنوات خلال أنفسها وقادرة في نفس الوقت على زيادة جريان الطاقة عبر النظام البيئي ككل. يعمل الانتقاء، حسب وجهة النظر هذه، بشكل هرمي على عدة مستويات: ليس فقط على العضويات المنفردة التي تجاهد بشكل أناني للحصول على ميزات آنية، ولكن أيضاً على المجموعة السكانية (الأنواع) والمجتمعات التي تساهم فيها. بفضل جذوره في الحركية الحرارية، يصبح سير التطور قابلاً للتنبؤ: هناك ميل لجريان الطاقة (وللحياة) أن يتوسع في أي بيئة ملائمة، على شرط أن يكون هناك سبيل ميكانيكي؛ سوف يتنوع، وينتشر، ويتخصص؛ وسوف يميل لإنتاج بنيات متزايدة في تعقيدها. حسب نظرة ويْكن، فإنه لا داع لأن يناضل التطور دون هوادة ضد قوى التفكك بل أنه يسير مع التدفق الطبيعي للكون. تبدو الوجوه المتعددة للحياة كملامح يمكن توقعها، وليس كروائع

غير قابلة للتصديق يجب أن تفسر. لكن يجب أن نكون حذرين بأن لا نخلط العام مع الخاص: لا يمكن أن تستخلص التفاصيل الحيوية من القانون الثاني، لأن العضويات التي تركب على تيار الطاقة تبقى مخلوقات تاريخية.

سيكون من الواضح أن هذه النظرة لمنطق التطور تختلف كثيراً عن عقيدة الداروينية الجديدة. إن الافتراض الذي يطرحه أو يطبقه لوتكا وبعض المؤيدين للنظرة الحركية الحرارية (لكن ليس ويْكن)، بأن الانتقاء الطبيعي يكافئ مباشرة العضويات التي تزيد إلى أقصى حد جريان الطاقة وليس اللياقة التكاثرية، غصة في حلق الكثيرين بمن فيهم أنا. لكن الرفض بالجملة لكامل هذا الخط من التفكير على أنه غائي (أي يقول بأن لكل شيء غاية)، وبالتالي غير علمي، يبدو لي مفرط الجزم. بالخاصة، إن التأكيد على أن الانتقاء الطبيعي يعمل بشكل هرمي على مستويات أدنى وأعلى من الأفراد التقليديين (على الجينات، مثلاً، وعلى الأنواع)، له عدد كبير من الداعمين المرموقين بحيث أنه لا يمكن أن يطرح دفعة واحدة. أنا متأثر بتأكيد ويْكن على أن «الأفراد هم الحملة القريبون للمعلومات البنيوية. لكن تلك المعلومات تتضمن استراتيجية النجاة للنوع، الذي دمغ تاريخه المنسوج بيئياً في استراتيجيات تأقلمية لحملة الجينات» (15). بهذا المعنى الجارف، من المشروع أن نجادل بأن «معظم الوحدات العامة للانتقاء ليست فردية، بل هي نماذج متكونة من التدفق الحركي الحراري، وكل من العضويات، والمجموعات السكانية والأنظمة البيئية تمثيل لها» (15).

إن ما لدينا هنا، كما يكون لدينا كثيراً في حقول العلم، ليس نظرية يمكن أن تفند بالتجارب ولكن وجهة نظر موجِّهة. يظهر المنظور الحركي الحراري بعض المظاهر التي يهملها المنظور الجيني، بينما يخفي مظاهر أخرى. إن ما تدعو الحاجة إليه هو للتوفيق بين وجهات النظر المختلفة هو أفكار واضحة حول الكيفية التي يرسم فيها الصراع بين الأفراد الأنانيين على النجاح التكاثري نماذج جريان الطاقة في المشهد الحيوي المختلط، أو في

سندس الصيف المليء بالأزهار والنحل الطنان. تبذل بالفعل مثل هذه الجهود (16)، لكنها تقع خارج الحدود التي وضعتها لهذا الكتاب.

هل تجبر الروح العلمية المرء على ادعاء أن وجهة نظر ما صحيحة بينما الأخرى خاطئة؟ لا أظن ذلك، لأن إحدى وجهات النظر تعالج ما هو محتمل وترى الأخرى فقط الواقع. لكي تنظر في مثال مواز من الحياة اليومية، فكر للحظة في بطل الثقافة الأمريكية العامة، الإنسان الذي صنع نفسه. سيكون من الفظاظة أن ننكر عليه مزايا ومكافآت الذكاء، والعمل الجاد والحظ الجيد. لكن المنطق العام يتطلب أن نأخذ بعين الاعتبار ظروفه، بما فيها المجتمع الذي يعزز التجارة الحرة، والحرية السياسية وحكم القانون. هل كان بطلنا سيحقق نفس النجاح لو أنه ولد في كوخ فلاح في قرية هندية؟

أحادي القرن على الحائط

لمدة ثلاثين سنة أو أكثر، كان ما نعتبره جالباً للحظ في مختبري هو أحادي قرن (حيوان خرافي له جسم فرس وذيل أسد وقرن وحيد في وسط الجبهة) يجلس بهدوء على حظيرة مسيجة، وهو تقليد لإحدى اللوحات التطريزية الموجودة في المتحف الحضري للفنون في نيويورك. كان يثير أنواعاً شتى من التعاليق البذيئة، لكن لم يكن لدي أي شك عما يرمز له. كان أحادي القرن يمثل المجهول في الطبيعة، الغرابة التي لا توصف التي يجاهد العلماء لكي يمسكوا بها ويذللوها. إن أحجية شرودينجر مركزية في هذا البحث.

أما السؤال، ما هي الحياة؟، فإن العلماء يقدمون له حالياً جوابين. يؤكد الأول أن العضويات الحية أنظمة ذاتية الإنتاج: ذاتية البناء، ذاتية الحفاظ على نفسها، كيانات محولة للطاقة ذاتية الحفز. يصرح الجواب البديل بأن العضويات الحية أنظمة قادرة على التطور بالتنوع والانتقاء الطبيعي: كيانات ذاتية التكاثر، تتأقلم أشكالها ووظائفها مع بيئتها وتعكس تركيب

وتاريخ النظام البيئي. إن الجوابين ليسا متطابقين، لكن هناك تداخل كبير بينهما: إنهما يؤكدان مظاهر مختلفة من حقيقة أكمل. يمكن أن يتخيل المرء كيانات ذاتية الإنتاج لم تنشأ عن طريق التطور (تعرف رواد الفضاء في ملحمة آرثر كلارك الفضائية 2010 على بعضها، وقد وضعت بذرتها على المشتري بهدف تحويله إلى شمس أصغر)، لكننا ربما سنسمي هذه الكيانات إنساناً آلياً وليس عضويات مماثلة لنا. بنفس الطريقة، إن جزيئات الـ «ر.ن.أ RNA» في أنبوب الاختبار التي تنسخ باستمرار بمساعدة أنزيم ناسخ تتطور بوضوح بالتنوع والانتقاء، لكن يصعب أن تعتبر حية؛ حتى الفيروسات نفسها تمثل حالة على الخط الفاصل بين الحياة والجماد. يتضمن أفضل جواب يمكن أن نقدمه في الوقت الحالي على كل من الجوابين الجزئيين (17): إن الحياة هي صفة الأنظمة ذاتية الإنتاج القادرة على التطور بالتنوع والانتقاء الطبيعي. يكفي هذا التعريف في الوقت الحالي، لكنه قد يحتاج إلى مراجعة عندما تستطيع تكنولوجياتنا أن تشكل كيانات أكثر وأفضل، أو عندما نكتسب خبرة في علم الأحياء الكوني.

منذ عدة سنوات، انتصبت الآذان حول العالم إصغاءً عندما أعلن العلماء من الوكالة القومية للطيران والفضاء عن اكتشاف مستحاثات مزعومة في صخور النيازك التي يعتقد أنها قد جاءت من المريخ. يبدو أن ذلك الإعلان كان خاطئاً، لكن تأتي الآن أخبار عن كواكب تدور حول عدة نجوم في درب اللبانة، وهي أول نجوم بعد دائرة مجموعتنا الشمسية. يعتبر علماء الفضاء، وفي الواقع معظم العلماء بمن فيهم أنا نفسي، أنه من المسلم به أن الكواكب مشتركة في مجرتنا وأن بعضها على الأقل، سوف يحمل الحياة. بالاشتراك مع معظم كتّاب الخيال العلمي، فإننا نرفض الادعاء بأن الحياة يجب أن تكون نتيجة لمجموعة بعيدة الاحتمال جداً من الحوادث وقعت مرة ولا يمكن أن تقع مرة أخرى ـ كمعجزة في الواقع. على العكس، يعتقد الكثير منا أن الحياة هي الحصيلة المحتملة لأي كوكب بحجم وموقع

وتكوين مناسبين. بعبارة أخرى، نحن نعتبر أنه من المسلم به ظهور علم الأحياء من الفيزياء و الكيمياء التي لا تزال سماتها تحيرنا (الفصل 11). إن هذه قفزة اعتقادية قد يثبت أنها خاطئة؛ في غضون ذلك، فإنها تؤمن نقطة تركيز على التفكير في معنى كون الشيء حياً.

يعادل السؤال تساؤلاً ما إذا كان هناك قوانين شاملة لعلم الأحياء، فوق وأعلى من قوانين الفيزياء والكيمياء؛ أو على الأقل، صفات يمكن أن نتوقعها في أي شكل من الحياة. حسب رأيي، الذي ليس عليه اتفاق شامل (18)، فإن الجواب يجب أن يكون نعم: إن نفس تعريف الأشياء الحية على أنها أنظمة ذاتية الإنتاج قادرة على التطور يتضمن وجود عدد كبير من الملامح العامة للتنظيم. إن الحياة في كل مكان ستكون غالباً صفة مميزة للعضويات: نماذج مادة حركية في المكان والزمان توجد بفضل تيار من المادة، والطاقة والمعلومات. إن العيش يعني تناول الطعام، والاستقلاب، والتكاثر والموت؛ إن الولادة والحياة جزء من النظام الطبيعي. المرشح الآخر للشمولية هو الخلايا، أو شيء يشبهها: وحدات من التكاثر والانتقاء، تفصلها حدود نصف نفوذة عن البيئة وعن بعضها البعض. في الكواكب كما في الأرض، المثل يولد المثل وتأتي العضويات فقط من عضويات موجودة مسبقاً. وتميل الحياة في كل مكان لأن تكون معقدة. اشتهر عالم الرياضيات جون فون نيومان بحسابه ما الذي يلزم لصنع كيان ذاتي التكاثر في الشرائح السيليكونية للكومبيوتر. يجب أن تكون شاشة الكومبيوتر التي تظهر البرنامج مؤلفة من 10^{13} مربع لكبره، على افتراض المربع 1 مم2، سيكون عرض الشاشة 3 كم (19). لذلك لا عجب أن البرنامج لم يجرب بعد.

إن العبارة الحميدة «قادر على التطور»، محشوة بالمثل بالمتضمنات، بما فيها النشوء من العالم غير العضوي بوساطة الدافع الحركي الحراري. حالما ينشأ النظام ذاتي الحفز فإنه سوف يتكاثر بشكل انفجاري، قاضياً على الأعداء السابقين. يمكن أن يتوقع المرء أن الحياة، حيثما وجدت، سوف

تأخذ شكل شبكة كثيفة من العضويات ترتبط بانحدارها من بعضها وباقتصادها الاستقلابي. سوف تظهر التنوع وآثار الطوارئ، لكنها سوف تتأقلم بشكل فاعل مع أي محيط ملائم تقدمه بيئتها. الأكثر من ذلك، سوف تتشكل الحياة من أفراد من أنواع معينة: واحدات تعمل ككل متلاحم، خاضعة للتنوع ومقدمة هدفاً طبيعياً للانتقاء الطبيعي. من وجهة النظر الجليلة ستبدو الحياة أشبه بالعالم الذي نعرفه من المؤلف الرمزي الغريب عن الحيوانات وعاداتها الذي وجد في القرون الوسطى في أوروبا! سوف نجد في يوم من الأيام ما إذا كان ما سبق يمثل استدلالاً محقاً من دراسة الحياة على الأرض، أم أنه يعكس فقط فقر خيال كاتب واحد.

يكفي هذا القدر عن التنظيم؛ ما هي الأمور المشتركة التي يمكن أن نتوقعها على المستوى المادي؟ يدور علم الكيمياء الحيوية الأرضي بشك أساسي حول مركب من مجموعة صغيرة من العناصر: الكربون، الهدروجين، النتروجين، الأكسجين، الفوسفور والكبريت، إضافة لمجموعة من الشوارد غير العضوية.

السبب في ذلك هو أن هذه العناصر (وخاصة الكربون) تشكل بسهولة روابطاً كل مع نفسه ومع الآخرين منها، ويمكنها بذلك أن تشكل طيفاً واسعاً من الأشكال والنشاطات الجزيئية. تبدي العناصر الأعلى علاقات اجتماعية أقل؛ وضعت افتراضات حول مواد كيميائية حيوية بديلة (ربما مبنية على السيليكون) لكن بدا أنها بعيدة المقصد. حسبما أتوقع فإن عناصر الكربون، الهدروجين، النتروجين، الأكسجين، الفوسفور والكبريت سوف تثبت أنها شاملة كونياً ـ وكذلك الماء. تقترح المناقشة، بدورها، أننا قد نستطيع أن نتعرف على كوكب حي بالتركيب الخاص لغلافه الجوي (20). إن الطريق الأساسية للتركيب الضوئي الأرضي يستخدم الماء كمرجع وينتج الأكسجين كنتاج ثانوي. يبدو على الأغلب أن نفس المبدأ قد اكتشف أيضاً في أمكنة أخرى، ربما بعضويات تستخدم الأكسجين للتنفس كنتاج ثانوي إضافي.

بعد هذه النقطة تصبح المناقشة أكثر فأكثر ضعفاً. إن الجزيئات التي قد تشكلت مسبقاً بالكيميائية الكوكبية (بما فيها الغلايسين، والألانين، والبورينات) ستلعب على الأغلب دوراً في ظهور الحياة، لكن البنيات الأكثر تعقيداً ستكون حصراً على هذا المكان أو ذاك. ماذا عن الكلوروفيل، الـ «ر.ن.أ RNA»، الـ «د.ن.أ DNA»، السكر، الأدينوزين ثلاثي الفوسفات، والبروتينات المصنوعة من مجموعة معيارية من عشرين حمض أميني ـ هل هذه وحدات بناء كونية أم أنها تقتصر على الأرض؟ يعتمد السؤال عما إذا كانت هذه البنيات نتاجاً محتملاً للكيمياء قبل الحيوية التي لم تكتشف بعد، أم أنها تمثل نوعاً من حادث تاريخي. أميل شخصياً نحو وجهة النظر الثانية، لكنني أتوقع أنه قد توجد أمور متشابهة على مستوى أكثر تجريداً: الأجسام الجينية الخطية، محفزات بسطوح مجعدة وأغشية سائلة. بالنسبة لعلم الأحياء الكوني، قد تكون الأشكال والمعايير الفيزيائية أكثر أهمية من التركيب الكيميائي. يمثل هذا الافتراض، على المستوى الجزيئي، ما يشير إليه دانييل دينت على أنه «حركات مجبرة في فضاء منظم»: بنيات يغلب أن يكتشفها التطور مرة بعد مرة، لأنها تنفذ العمل المطلوب.

هل يمكن أن نفس النقاش يصح بالنسبة لأرجل للمشي (بدلاً مثلاً من عجلات أو جنزير الدبابة)، وأجنحة للطيران، وعيون في مقدم الرأس وأدمغة تبقي الجميع متناسقاً؟ تعطي هذه التأملات بعض التصحيح لنظرة صرح عنها بقوة س. جيه. غولد في عدة مناسبات (21) تقول أن الحياة التي نعرفها فريدة وسوف لن تتكرر أبداً في أمكنة أخرى؛ الحياة الذكية بالخاصة، رمية من غير رام ستكون نادرة جداً في الكون. ربما سيخبر الوقت ما إذا كانت الطوارئ تحكم أم تخضع لقوة الانتقاء الطبيعي في صنع تصميم ناجح. أما عني أنا، فإنني أتمنى وجود كرة حيوية بديلة يكون فيها أحادي القرن في الحديقة هو ما يتوقعه المرء بالفعل.