11

البحث عن البداية

«ونهاية كل استكشافنا سوف يكون الوصول إلى حيث بدأنا وأن نعرف ذلك المكان لأول مرة».

ت. س. إليوت، بعض الطيش

وضع المشكلة في إطار
البدء بالحساء
ماقبل التاريخ الجزيئي وعالم الـ «ر.ن.أ RNA»
الينابيع الحارة وذهب الأغبياء
جسر ممتد أطول مما يجب؟

من بين جميع الألغاز العلمية التي لم تحل، فإن أكثرها شأناً قد يكون أصل الحياة. ستبدو هذه النظرة على الأغلب مفرطة للكثير من القراء، إذا أردنا أن نجمل في التعبير. ألا يجب أن نضع الانفجار الكبير، والحياة على الكواكب الأخرى، وطبيعة الوعي على الأقل في مستوى مكافئ؟ إن السبب الذي يجعلني أضع منشأ الحياة على قمة قائمة البرامج هو أن حل هذا السؤال مطلوب لكي ترسو العضويات الحية بأمان في العالم الفيزيائي المكون من المادة والطاقة، وبالتالي نريح القلق المتبقي عما إذا كنا قد قرأنا كتاب الحياة بشكل صحيح. يكمن لغز الخلق في صميم جميع الثقافات البشرية،

والعلم غير مستثنى منها؛ إلى أن نعلم من أين أتينا، لا يمكننا أن نعرف من نحن.

إن منشأ الحياة هو أيضاً مشكلة عنيدة، ليس له حل في المنظور القريب. هنا فعلاً أدب كبير ومتزايد من الكتب والمقالات المخصصة لهذا الموضوع، يحمل الكثير منها نظريات مقترحة (1). كثيراً ما تشتمل كتب علم الأحياء المدرسية على فصل يبحث في الكيفية التي يمكن أن تكون الحياة قد نشأت فيها من اللاحياة، وبينما لا يغفل الكتّاب الذي يعون المسؤولية عن التأكيد على المصاعب والأمور غير الأكيدة، فإن القراء لا يزالون يخرجون بانطباع أن الجواب يكاد يكون في متناول يدنا. إن قراءتي الخاصة أكثر تحفظاً بكثير. أظن أن نبرة التفاؤل تعود إلى انبعاث الشعور الديني الفطري من جديد، خاصة في الغرب، وليس إلى التقدم في علم الأحياء. يشعر العلماء أنهم يتأثرون بعنفوان إيمان المؤمنين، ولذلك فإنهم يضعون في أنفسهم إيماناً علمياً. في الواقع، قد لا نكون أقرب في فهم نشوء الحياة من أ. أي. أوبارين و جيه. ب. س. هالدن في الثلاثينيات؛ وعلى المدى الطويل، سيكون العلم أحسن حالاً إذا أقررنا بذلك. على كل، إن الإدعاء الفريد للعلم ليس امتلاك جميع الأجوبة ولكن معرفة الأسئلة، ولن يتنازل في التزامه بالبحث المنطقي عن الحقيقة.

ما الذي يجعل منشأ الحياة صعب المنال بهذا الشكل؟ الهدف هو اكتشاف ما حدث في الماضي البعيد السحيق، تحت ظروف يصعب على المرء تخيلها. إن الأدلة التي تقرأ في الصخور وفي تكوين العضويات المعاصرة هي بأحسن أحوالها ضعيفة. إن المداخلة التجريبية مغرية، لكنها معاقة من أساسها: يمكنها أن تقترح احتمالات، لكنها لا تستطيع أن تظهر السير الفعلي للحوادث. قد تكون العثرة النهائية فكرية. إن الحياة، بالتعريف، هي صفة لأنظمة معقدة تولد نفسها ومكوناتها وتخضع للتطور بالتنوع والانتقاء. إن ما نحاول أن نفهمه هو ليس أصل جزيئات معينة، ولكن نوع

التنظيم الوظيفي الذي يمكن أن يتكاثر ويتنوع ويرث الأرض. تلك جوزة يصعب كسرها.

كنوع من التعويض، فإن هذه حقاً جبهة تتطلب روح المغامرة. تعد جمعيات علماء الأحياء الجزيئي والخلوي أعضاءها بعشرات الألوف، بينما لا يزيد عدد أفراد الجمعية الدولية لدراسة أصل الحياة على أربعمئة عضو؛ لا حاجة للقول، يصعب الحصول على تمويل للقيام بمثل هذه الأبحاث مفتوحة الأفق. لكن هذا هو العلم كما كان في الأيام الخوالي. إن الهدف ليس ملء الزوايا ولكن اكتشاف أحد أعمق أسرار الكون، وبالتالي فإن التفكير لم يغمر بعد بفيض المعلومات. لا يوجد أي ضمان على أن البحث سيكون ناجحاً، وليس فيه سوى القليل من العوائد المادية، لكن منشأ الحياة يبقى غاية سامية تستحق البحث.

وضع المشكلة في إطار

نشأت الحياة هنا على الأرض من مادة غير حية، بنوع من أنواع العمليات التطورية، منذ حوالي أربع بلايين سنة خلت. هذه ليست عبارة تدل على حقيقة جلية، ولكنها افتراض يشترك فيه تقريباً جميع الأخصائيين إضافة للعلماء عامة. لا يدعم هذا الافتراض أي دليل مباشر، وعلى الغالب لن يدعم بدليل مباشر، لكنه متوافق مع ما نملكه من أدلة. إن الادعاء البديل الذي تقدمه الأفكار المسيحية المتعصبة يمكن أن يرفض بوضوح بالأدلة الجيولوجية. مهما يكن، من المهم أن نقر الدرجة التي يبنى فيها هذا الحقل من البحث على الحدس. إن أسباب الإجماع العام هي، أولاً، الافتقار إلى بديل أكثر تقبلاً؛ وثانياً، أن بغياب افتراض المنشأ الأرضي والطبيعي لن يكون هناك أساس للبحث العلمي في أصل الحياة.

إن الإجماع على المبدأ، رغم أنه أكثر صلابة مما كان منذ بضعة عقود، يترك الكثير من المجال لعدم الاتفاق. حتى منذ أن اقترح عالم

الكيمياء السويدي سفانت أرينيوس في مطلع القرن العشرين أن الحياة شاملة في الكون وأن بذورها قد جاءت إلى الأرض على ظهر النيازك أو جزيئات الغبار «النطفية الشاملة»، فقد فكر بعضهم في مصدر الحياة وراء الأرض. يعتبر اليوم أنه من غير المحتمل، وإن كان ليس مستحيلاً، أن أبواغ الجراثيم يمكن أن تكون قد نجت في رحلة فضائية وهي مطمورة في مادة صخرية. عن طريق بديل جذري للحكمة التقليدية، اقترح فرانسيس كريك «النطفية الشاملة الموجهة،» والذي يقول بأن بذور الحياة قد ألقيت هنا عمداً من قبل حضارة في مجرة كونية (2). لا أعتقد أن كريك نفسه قد آمن فعلاً بهذه الفكرة؛ إن اقتراحه كان في الواقع لكي يظهر أن الجدل الذي يدافع عن الزرع المقصود للحياة ليس أضعف (وليس أقوى) من الجدل المدافع عن المنشأ الأرضي. يتطلب الانعطاف الحالي في مجرى القصة إحضار عينة من المريخ (3). إن النيازك التي وجدت في القارة المتجمدة الجنوبية، والتي يعتقد أنها من منشأ مريخي، تحتوي على عناصر يمكن أن تكون تمثل عضويات دقيقة مستحاثة. إن المريخ أصغر من الأرض ويملك حقل جاذبية أضعف. إذا كانت الحياة قد تطورت هناك، فإن العضويات (أو على الأغلب الأبواغ) المحمية في صخور المريخ قد تكون قد قذفت بواسطة اصطدام نيزك ونجت أثناء القفزة القصيرة إلى الأرض (الطريق المعاكس أقل احتمالاً بكثير). سيكون من المثير فعلاً إن اكتشفت حياة، ماضية أو حالية، على المريخ؛ لكن الفكرة أن الحياة الأرضية قد نشأت هناك تبدو أبعد من أن نتعقبها هنا.

إن توقيت استهلال الحياة، مع أنه غير أكيد، فإنه بالتأكيد مقيد بالمعطيات الجيولوجية. هناك دليل جيد للاعتقاد بأن الأرض قد تشكلت منذ حوالي 4،5 بليون سنة مضت. لا يزال هناك جدل حول ما إذا كانت الأرض الوليدة حارة جداً أو مغطاة بالجليد، لكن هناك أدلة على أنها كانت عرضة لاصطدامات نيزكية كثيفة في المرحلة الباكرة. كانت بعض هذه الاصطدامات

قوية إلى الحد الذي يكفي لغليان المحيطات (يعزى انقذاف القمر إلى حادثة أبكر من هذا النوع، تتضمن اصطدام الأرض بجسم بحجم المريخ)؛ حتى لو كانت الحياة قد بدأت أصلاً بالتطور، فالمفترض أن تكون عندها قد تلاشت. انتهى قصف النيازك العنيف منذ 4 بلايين سنة مضت، ولم تزل الأرض قابلة للحياة منذ ذلك الوقت (إذا تركنا جانباً الاصطدامات «الأصغر»، مثل تلك التي يعزى إليها انقراض الديناصورات). في الجانب الأقرب من النافذة، فقد أرخت أبكر مستحاثات مبهمة (خلايا جرثومية وستروماتولايتات) بعمر 3،5 بليون سنة مضت (يفضل البعض 3،2 بليون سنة). تأتي الأدلة غير النهائية على حياة أقدم حتى من منطقة إسوا في غرينلاند، التي يعتقد أن عمرها حوالي 3،8 بليون سنة. خضعت هذه الصخور للتسخين والانضغاط وهي تفتقر إلى مستحاثات يمكن تحديدها، لكنها تحتوي على مواد عضوية ذات معدل كربون12/كربون13 عال نسبياً. يشاهد مثل هذا الغنى بالنظائر أيضاً في المادة الحية، مما يدل على أن المواد العضوية في منطقة إسوا قد يكون لها أصل حيوي. إذا أخذنا جميع هذه الأمور مع بعضها البعض، فإن هذه الموجودات تدل على أن الحياة قد نشأت خلال فترة قصيرة نسبياً لا تتجاوز 500 مليون سنة، أي حوالي نفس الفترة التي تفصلنا عن انفجار الحياة الحيوانية في بداية العصر الكامبرياني. يصعب الحكم عما إذا كانت هذه فترة وفيرة أو ضيقة نسبياً: إلى أن تفهم العملية من حيث المبدأ، لا يمكن للمرء أن يقول ما إذا كان يجب أن يقاس النشوء بالدهور أم بالعقود.

إن علم الجيولوجيا أقل فائدة من حيث الظروف التي سادت على الأرض الفتية؛ تلك المعلومات ضرورية، لأن الوضع الفيزيائي يحدد ما الذي يعتبر كيمياء قبل حيوية معقولة. اعتقد علماء الأحياء لفترة طويلة أن الحياة نشأت في المحيطات، لكن ليس من الواضح تماماً متى تشكلت المحيطات، وكم كانت درجة سخونتها، وما إذا كانت مالحة أم عذبة. كتب داروين نفسه، في رسالة شخصية إلى صديق له، عن «بحرة صغيرة دافئة،»

لكن يبدو الآن من غير المحتمل أن مثل هذا المكان الحميد يمكن أن يكون قد وجد منذ 4 بلايين سنة. كانت حالة الغلاف الجوي موضع اهتمام خاص. يتفق الجميع في أن الأكسجين، الذي يشكل حوالي خمس الغلاف الجوي اليوم، قد أنتج بعضويات بالتركيب الضوئي على مدى البليوني سنة الماضيين؛ لم يكن يوجد سوى أثر ضئيل من الأكسجين عندما نشأت الحياة. ماذا عن الغازات الأخرى؟ يفضل الرواد في تاريخ الكوكب غلافاً جوياً مرجعاً قوياً يحتوي على الميتان والأمونيا وغاز الهدروجين بالإضافة إلى النتروجين وثاني أكسيد الكربون. يشجع مثل هذا الغلاف الجوي على تشكيل مواد عضوية مرجَعة، بما فيها بعض المواد ذات الصلة العضوية، ويعزز ذلك الاعتقاد السائد بأن المحيط البدائي كان يتكون من حساء ممدد من طلائع حيوية جاهزة الصنع. على النقيض من ذلك، تدل الأعمال المعاصرة على أنه كان يوجد غلاف معتدل تقريباً أنتجته النشاطات البركانية وقد تألف بشكل أساسي من ثاني أكسيد الكربون، والنتروجين، وبخار الماء. لا تتشكل المواد العضوية بسهولة تحت هذه الظروف؛ تضع الموجودات الحديثة تساؤلاً حول «خرافة الحساء البدائي» (كما يعبر عن ذلك روبرت شابيرو)، وتقوض جميع سيناريوهات النشوء التي تتطلب فترة طويلة من التطور الكيميائي لتوليد وحدات بناء الحياة (4).

لم يكن الجو الجيولوجي ليهم كثيراً لو كان منشأ الحياة في النهاية حادثة صدفة، ربما كانت تلك نادرة جداً لكنها ليست حادثة قد حصلت في مناسبة واحدة ـ وهنا يمكننا أن نبتهج لحسن حظنا! إن احتمالية حصول حادثة، هي في النهاية، حصيلة كل من الاحتمالات في كل محاولة وعدد المحاولات. بوجود بلايين من السنين وترليونات من الجزيئات لتتصادم، وتنفصل، و تجتمع من جديد، أليس من المعقول أن تظهر خلية أولية من نوع ما بالصدفة (أو لحرف الاحتمالات قليلاً، ظهور جزيء ذاتي التكاثر يبدأ تدحرج الكرة الحيوية)؟ من المستحيل، من حيث المبدأ، استبعاد مثل هذا

الخيال، الذي يقبع في أساس بعض الأفكار الشائعة حول الكيفية التي يمكن أن تكون الحياة قد بدأت بها. لكن المنشأ بالصدفة يحظى باحترام أقل بكثير مما كان يحظى به منذ عقد أو عقدين من الزمن، لأحد سببين. الأول هو أن كلاً من هاتين الحادثتين غير محتمل بنسبة حسابية كبيرة بحيث أن كامل الكون لا يملك الوقت والجزيئات لكي يجري التجارب المطلوبة لهذه النظرية (5). السبب الآخر لرفض المنشأ بالصدفة كلياً هو أن هذا الافتراض سوف يوقف البحث بالكلية: لا يمكن للعلم أن يتعامل في الحقيقة مع حوادث منفردة، تعتبر عملياً معجزات.

يتركنا ذلك بافتراض أن الحياة قد نشأت أو دارت حول مادة غير عضوية بعملية فيزيائية وكيميائية، من حيث المبدأ، مفهومة وقابلة للاكتشاف ـ وربما حتى ممكن إعادتها. إن ماهية هذه العمليات هي مدار بحث علم نشوء الحياة. يجدر أن نكرر أننا لا نعرف بالتأكيد إلاّ الضئيل، وأنه من النادر أن نستطيع أن نكون نظريات يمكن أن تخطئها التجارب؛ لذلك فإن رأي العلماء ملون بالاعتقادات الشخصية حول ما الذي قد حدث، حتى بما تعنيه كلمة «الحياة». يميل علماء الكيمياء للاعتقاد أنه حالما تعرف وحدات البناء الجزيئية فإن معظم العمل الصعب سيكون قد أنجز. بينما يصر علماء الجينات، المشغولون بالحموض النووية، بصحة على أن التطور يحتاج إلى الوراثة، التنوع، والانتقاء؛ ولذلك فهم يحددون المشكلة من ناحية ظهور المعلومات الحيوية. وعلماء الفزيولوجيا مصرون على أنه بدون الأجزاء المستقلة والمصدر الذي يمكن الحفاظ عليه من الطاقة لا يمكن صنع الحموض النووية أو أي شيء آخر. يكاد لا يمكن مقاومة رؤية هذه المستويات الثلاثة من التعقيد كمراحل متتابعة على طريق ظهور الخلايا الكاملة، ولقد قدمت هذه الفكرة إطاراً فكرياً للكثير من البحث المعاصر في أصل الحياة.

البدء بالحساء

منذ حوالي أربعين سنة، وعد فيض من الاكتشافات بأن يجعل تفسير النشوء في متناول يدنا، أو على الأقل أن يجعل هذا البحث قطاعاً من العلم التجريبي. كانت الفكرة السائدة في ذلك الوقت، التي صاغها أ. أي. أوبارين في الاتحاد السوفييتي، وجيه. ب. س. هالدن في بريطانيا، هي أن الحياة قد نشأت عفوياً في بيئة مفعمة بشتى أنواع المواد العضوية، مثل تلك التي تنتجها فقط العضويات الحية. كانت الأرض اليافعة مختلفة جداً عن الأرض التي نعرفها اليوم. لم يكن غلافها الجوي مجرداً من الأكسجين فحسب لكنه كان مرجِعاً بشدة، وبالتالي يفضل التفاعلات الإرجاعية المطلوبة لإنتاج، فلنقل، الحموض الأمينية؛ لم يكن هناك أي كنّاسات تلتهم المواد العضوية حالما تتشكل؛ وقدمت الكرة المضطربة كمية وفيرة من الطاقة على شكل حرارة وبرق. كانت المواد العضوية لذلك ستتراكم في المحيطات أو في البحيرات الضحلة المتصلة بها أو في البحرات المعرضة للمد والجزر، وستخضع لتحول جديد، وخلال عدة آلاف من السنين ستصنع حساء يحتوي على كل ما تدعو إليه الحاجة لتحويل الحساء إلى خلية أولية.

في سنة 1953، صمم ستانلي ميلر، الذي كان آنذاك طالب تخرج في جامعة شيكاغو، تجربة بسيطة لاختبار هذه النظرية ولتحديد ما هي أنواع الجزيئات التي قد تكون موجودة في الأرض الباكرة. تألف جهازه من مجموعة مغلقة من الأوعية المتصلة ببعضها مملوءة بخليط من الميتان والأمونيا وغاز الهدروجين، التي تتوافق مع ما كان يعتقد أنه تكوين الغلاف الجوي البدئي. أبقي الماء في أحد الأوعية في غليان مستمر؛ وأخضع البخار لإفراغ شحنات كهربائية مستمر (لمحاكاة البرق)، ومن ثم كان يكثف ويعاد إلى الخزان. بعد عدة أيام صار لون الماء بنياً وبدأ القطران بالترسب على جدران الأوعية. عندما حلل المحلول ظهر أنه يحتوي على مجموعة من الجزيئات العضوية. كان الغلايسين والألانين، والحموض الأمينية البارزة في

بروتينات اليوم وفيرة جداً؛ كذلك تواجد حمض الأسبارتيك وحمض الغلوتاميك، مع أثر من الحموض الأمينية الأخرى وكميات مختلفة من مركبات لا توجد في البروتينات، مثل حمض ألفا أمينو بوتيريك. بعد عدة سنوات أظهر جوان أورو أن تجارب مماثلة تحت ظروف مختلفة إلى حد ما، لم تظهر فقط الحموض الأمينية، ولكنها أظهرت أيضاً البورينات أدنين وغوانين، وهي مكونات الحموض النووية. أنتج باحثون آخرون سكاكر بسيطة، وحموض دسمة، وحتى تكوثر من الحموض الأمينية يشبه البروتينات. بدأ حقل أساسي جديد من البحث، «علم كيمياء ما قبل التاريخ،» من قبل رواد هذه الدراسات وأثاروا بسرعة خيال العلماء المولعين بمواجهة لغز أصول الحياة (6).

تزايدت الآمال مع اكتشاف أن نيازك معينة، سميت «كربونية،» تحتوي على كمية قليلة من المواد العضوية، مماثلة في تركيبها لمنتجات التصنيع قبل الحيوي وبالتأكيد ذات أصل خارج أرضي. تطلع المتفائلون إلى اليوم الذي تجد فيه معظم مكونات الخلية طلائع محتملة في الحساء المتزايد في كثافته. هناك أدب تخيلي متزايد يدور حول التفاعلات التي يمكن أن تكون قد شكلت الاستقلاب البدئي للأرض، الذي لا تتوسطه الأنزيمات، ولكن تتوسطه المحفزات المعدنية. تاريخياً، تخيل معظم الباحثون أن هذا الاستقلاب البدئي قد حصل ضمن الخلايا البدئية، الذي ربما يكون قد تولد من مكونات مسبقة التشكل. عاشت أول خلية بدئية بتخمير المواد الموجودة بوفرة في البيئة (ربما الغلايسين)، واستعملت مكونات أخرى لتصنيع نسيجها الخاص. مع نضوب الحموض الأمينية والبورينات والحموض الدسمة واحداً تلو الآخر، تطورت الطرق الاستقلابية بشكل عكسي من طليعي متوفر ما إلى التالي. في النهاية عندما نضبت المواد المتخمرة أيضاً، ملأ التركيب الضوئي مكانها مبتدأ، ربما، بالبورفيرينات غير الحيوية من الحساء.

يذهب بعض الكتّاب المعاصرون أكثر من ذلك، مقترحين أن الخلايا

البدئية لا يلزم أن تكون شرطاً لازماً لظهور الاستقلاب. وصف كريستيان دي دوف (7) تفاصيل كثيرة عن كيف يمكن أن تكون الشبكة الاستقلابية البدئية، التي تشبه العضويات المعاصرة، قد نشأت قبل ظهور الأغشية والخلايا. يقترح أن الببتيدات قبل الحيوية تعمل كحافزات، ويؤكد دوراً أساسياً للثيوإيسترات كطلائع لحاملات الطاقة المفسفرة ليومنا هذا. إن أكسدة الحديد الثلاثي بالأشعة فوق البنفسجية قد يكون هو المصدر النهائي للطاقة المرجِعة؛ وكانت البروتينات، والحموض النووية، والأغشية جميعها نتاج الشبكة المتوسعة من التفاعلات وليس أساسها. يبدأ اقتراح ستوارت كوفمان (7) على الرغم من أنه مختلف تماماً، بنفس الفكرة المركزية. لقد تخيل مخزوناً كبيراً من الببتيدات الصغيرة، التي تولدها كيمياء غير حيوية، كل منها قادر على حفز بعض التفاعلات (وإن كان ذلك بشكل ضعيف). إذا أصبح عدد مثل هذه التفاعلات كبيراً إلى حد كاف، فإنها ستشكل شبكة ذاتية التنظيم تصبح في النهاية ذاتية التضاعف. لا تحدد نظرية كوفمان سياجاً ولا حتى مصدراً واضحاً للطاقة. إن ما يشترك فيه هذان الاقتراحان، ومعظم الاقتراحات الأخرى، هو اعتمادها على مورد غزير ومتنوع من الطلائع قبل الحيوية للكيمياء الحيوية المعاصرة.

هل يمكن أن يكون صحيحاً أن التعقيد الجزيئي قد جاء أولاً، وقدم الأساس الذي نشأ عليه التعقيد الخلوي بشكل من أشكال التجمع الذاتي؟ تبقى الفكرة مغرية لأنها تعد بأن تجعل مشكلة المنشأ قابلة للتتبع بالعمليات المخبرية، لكن الثقة البدئية انخفضت كثيراً (8). المشكلة ليست فقط في أن علماء الجيولوجيا قد فقدوا الثقة بالغلاف الجوي المرجِع: كان يمكن للنيازك التي تحمل المواد العضوية المتولدة في الفضاء الخارجي أن تملأ الفجوات في الإنتاج الأرضي. الاعتراض الأخطر هو أنه، على الرغم من أن بعض الجزيئات الأبسط تتشكل بسهولة تحت الظروف التي يمكن مجازاً أن تسمى «قبل حيوية،» فإن معظم الجزيئات لا يتشكل إلاّ بكميات ضئيلة جداً

وجزيئات أخرى لا تتشكل إطلاقاً. البورينات سهلة التشكل، والبيريميدينات أقل سهولة في تشكلها؛ ما يزال لا يوجد أي طريق قبل حيوي للسيتوزين، الموجود في كل من الـ «د.ن.أ DNA» والـ «ر.ن.أ RNA». تتشكل السكاكر البسيطة بسهولة من الفورم ألدهيد، لكن الريبوز مكوِّن بسيط في خليط من السكاكر من جميع الأنواع؛ إضافة إلى ذلك، النيكليوزيدات صعبة الصنع. لا تزال الحموض الدسمة، أيضاً، مراوغة. تتشكل أشباه البروتينات، تكوثرات من الحموض الأمينية التي ترتبط برابطة الببتيد، عندما يسخن مزيج من الحموض الأمينية حتى الجفاف، وهي تظهر نشاطات حفزية ضعيفة لكنها متنوعة. لكن هذه التكوثرات متشعبة وليست خطية، وليس تسلسلها بعيداً عن العشوائية. يشكل الفوسفات أيضاً، وهو مكوِّن رئيسي للجزيئات الحيوية التي تدخل في كل من الوراثة والاستقلاب، معضلة كبيرة، لأن وجود الحديد أو الكالسيوم يجعل الفوسفات يترسب في المحلول. الطلائع غير العضوية الوحيد للأدينوزين ثلاثي الفوسفات والمتبرعات الفوسفوريلية الأخرى هي البيروفوسفات والفوسفات الكثيرة؛ إنها نادرة في الطبيعة ولا تصح لمرشّح حقيقي كحاملات للطاقة.

يقفز كل من الأمل والريبة إلى الذهن عند التفكير بإنتاج الجزيء المعلوماتي الذاتي التضاعف مثل الـ «ر.ن.أ RNA»، من طلائع قبل حيوية جديرة. لقد أيد الكثير من الرواد المرموقين في الحقل، بدرجات متفاوتة من الاقتناع والتردد، نظرية أن الحياة بدأت بجينات بدئية عارية ضاعفت نفسها في الحساء البدئي ومن ثم «تعلمت» أن ترمّز للبروتينات الذي عززت تكاثر الجينات الأولية (9). تحفاظ النظرية على ما يقارب مسكة خانقة على أذهان العلماء والجمهور العام على السواء، وتشحن ما يعتبر حتى الآن أكبر جهد أبحاث مكثف. الهدف هو إيجاد ظروف سوف يتضاعف فيها الـ «د.ن.أ DNA» في أنبوب الاختبار، مكرراً تسلسلاً معيناً بغياب بروتين أنزيمي. ينال الهدف الذي يحيي هذه المحاولة وراء النظرية التي قدمت زخمه المبدئي: إذا

نجحت هذه الجهود، فسوف نتعلم الكثير حول الأساس الكيميائي لكل من التضاعف والحفز، ويمكن تخيل التطبيقات التكنولوجية (10). لا يشك إلا القليل من المساهمين بأنه يمكن القيام بالأمر، وقد تم تحقيق نجاح جزئي. لكن لم يحصل أحد بعد على الجائزة المطلوبة: توليد الـ «ر.ن.أ RNA» من خليط من النوويدات المفعَّلة بغياب الأنزيمات، وجعله يقدم القالب لتكاثره نفسه. حتى ولو بشّر العدد القادم من مجلة الطبيعة بالنجاح، سوف يكون لدى علماء الفيزياء سريعي الغضب بضعة أسئلة يسألونها. مثلاً، من أين أتت تلك الطلائع المفعَّلة على الأرض البدائية؟ ما الذي منعها هي ومنتجاتها من الانتشار بعيداً، أو من التفكك؟ هل شروط التضاعف ممكنة في الإطار الجيولوجي. كيف يمكن لجزيء الـ «ر.ن.أ RNA» ذاتي التضاعف أن يلتقط المتكوثرات «الصحيحة» من حساء يحتوي أيضاً على متكوثرات غير صحيحة؟ سوف يكون الاحتفال مستحَقاً بالتأكيد، لكن كذلك يستحق الأمر التحفظ والقليل من التواضع.

يمكن أن يسكن الكثير من هذه الشكوك لو تم ظهور الاستقلاب، ومنحى الطاقة، والوراثة، ليس في محلول حر ولكن في حجرات من نوع ما. تأخذ الحدود في الخلايا المعاصرة شكل أغشية شحمية ثنائية الشحوم؛ ويمكن أن يجادل المرء بأن الشحوم، أيضاً، كانت متوفرة في الحساء قبل الحيوي - ربما ليس الشحوم الفوسفورية، ولكن حموض شحمية قصيرة (11). في مجموعة مثيرة للجدل من التجارب، حضّر ديفيد ديمر وزملاؤه مستخلصات شحمية من نيزك كربوني؛ شكلت الشحوم بسهولة حويصلات غشائية، تتكون على ما يبدو من خليط من حموض دسمة قصيرة السلسلة ومركبات أروماتية كثيرة الحلقات. يمكن للحويصلات المسمرة بالأصبغة المحلولة بالدسم أن تتحرض بالضوء ومن ثم تنتج فارقاً كبيراً في الحموضة بين الوسط الخارجي واللمعة. يمكن للمرء أن يكتب مخططات تسمح بالاتحاد البسيط بين الأصبغة وحاملات الهدروجين لنقل البروتونات عبر الأغشية؛ تدل هذه بدورها على

مراحل محتملة في تطور تزاوج الطاقة الكيميائية الحلولية (12).

عندما تنشف حويصلات الأغشية، فإنها سوف تأخذ أية مادة موجودة في المزيج بما في ذلك أشباه البروتينات والحموض النووية. تجرى محاولات حالياً لإظهار تركيب الحموض النووية داخل الحويصلات، باستعمال طلائع مزودة من الخارج. مواد ذكية، صنعت بقدرة خالق. هناك تحذير ينطبق على جميع الاقتراحات التي تُدخل عشاء بين بؤرة العمل والعالم الخارجي: إن أي غشاء متين بما يكفي للحفاظ على تزاوج الطاقة بتيارات البروتونات سوف يحجز الشوارد، والغذيات، والمستقلبات عن الدخول. تتطلب الحجرات حاملات نقل نوعية، تتكون عادة من البروتين، يجب أن يحدد مصدرها. لكن يمكن أن يكون هناك مخرجاً لهذه المعضلة: ربما كانت الخلايا البدئية مقلوبة داخلاً للخارج (خلايا مقلوبة)، بحيث أن التفاعلات الاستقلابية وحتى إنتاج البروتينات والحموض الأمينية قد حصلت على الطرف الخارجي الذي يواجه الحساء البدئي، بينما نقلت البروتونات إلى اللمعة. اطو الخلية المقلوبة على نفسها، الصق الحواف، وسيتكون لديك خلية ذات استقطاب صحيح لها غشائين خارجيين، وهي طليعة محتملة للجراثيم سلبية الغرام (12).

يبلغ عمر نظرية أن الخلايا البدئية قد جمّعت نفسها بشكل ما من وسط مفعم بالطلائع المكونة مسبقاً من النوع المناسب، ستين سنة اليوم؛ يكمن شكل من أشكالها أو آخر عملياً وراء جميع التجارب والأدب النظري في هذا الحقل. توجه معظم الانتباه للصف الكيميائي، لكن الهوة التي تفصل الجزيئات عن الخلايا المنظمة أعمق من ذلك. تصنع الخلايا نفسها، ولكن ليس بالتجميع الذاتي لجزيئات مشكلة مسبقاً؛ إنها تنمو، بفضل كيمياء حيوية مولدة تنتج مجموعة جزئية مقيدة من الجزيئات ضمن مكان محدد ومرتب. إذا كانت الأنظمة المعقدة ستنشأ من الكيمياء الفجة، وتصمد أمام قوى التآكل وتكاثر نفسها في المكان والزمان، فإن الطاقة يجب أن تؤمن القوة المحركة.

لا يستحق أي نظام إنتاج حيوي أن يؤخذ على محمل الجد ما لم يؤمن مصدراً ظاهراً للطاقة يمكن إبقاؤه، وطروحاً معقولة لتزاوج تلك الطاقة مع تدفق المادة عبر النظام الذي بدأ بالظهور. إن ما يميز الخلية عن الحساء هو تنظيم الخلية الهادف؛ كم هو غريب إذاً، أن نجد أن الأدب الطبي صامت حول منشأ ذلك التنظيم!

يحب العلماء أن يقيسوا قيمة الفكرة بحجم الأبحاث التي ألهمت بها الفكرة، وبهذا المعيار يكون للحساء قبل الحيوي نصيب جيد. لكن يجب على النظرية التاريخية أن تفسر الحوادث التاريخية، وفي الحقيقة لا يوجد دليل مقنع (وربما لا يمكن أن يوجد دليل مقنع) على أنه قد كان هناك على الإطلاق حساء غني بالمواد العضوية، أو أنه قد لعب الدور الذي تعزوه إليه النظرية. الأمل الآن هو أن كيمياء ذكية سوف تقود الطريق، إن لم يكن إلى منشأ الحياة، فإذاً إلى صورة ما عنه. لم يحصل ذلك بعد، وأنا بين ضدي أن أكون مصاباً بخيبة أو مليئاً بالأمل، أو أن أكون فقط شاكراً بصمت.

ماقبل التاريخ الجزيئي وعالم الـ «ر.ن.أ RNA»

إن علماء ما قبل التاريخ، الذين ليس لديهم سوى قصاصات، وكسيرات فخارية، والقياس التمثيلي يعملون عليها، لا يعيدون تشكيل الماضي بقدر ما يتخيلون نمطاً معقولاً منه. هذا صحيح بشكل مضاعف بالنسبة لزملائهم الجزيئيين، لأن دافع التطور الذي لا يفتر لاكتساب المزايا يبدو أنه قد محا عملياً كل آثار منشأ الحياة الخلوية. لقد استنتجنا في الفصل 8 وجود وصفات السلف (الأسلاف) الشامل الأخير للحياة من المبدأ العام القائل بأن المظاهر الشمولية تميل لأن تكون قديمة. إن العضويات في تلك الفترة من التطور، التي لا بد أنه قد تم الوصول إليها أكثر من 3،5 بليون سنة مضت، كانت قد بنيت على خطوط طلائعيات النوى وكانت قد اكتسبت مسبقاً جميع السمات الكيميائية الحيوية والفزيولوجية للجراثيم: جينات

منقوشة بالـ «د.ن.أ DNA»، بروتنيات لوظائف الحفز والعمل، جسيمات ريبية، جدران خلوية وآليات انقسام، أغشية شحمية مرصعة بأنظمة دعم متنوعة، سلاسل ريدوكسية وأدينوزين ثلاثي فوسفاتازات، وتحويل طاقة كيميائي حلولي. يبقى مثل هذا الاستخلاص متيناً تماماً، لكننا لا نزال في ظلام دامس فيما يتعلق بمنشأ تلك الآلية الجزيئية نفسها.

إن مكونات الخلية كما نعرفها مندمجة بشكل صميم بحيث أن المرء لا يمكن أن يتصور كيف يمكن لوظيفة واحدة أن تكون قد نشأت بغياب الوظائف الأخرى. لا يمكن للمعلومات الجينية أن تضاعف وأن تقرأ إلا بمساعدة البروتينات الأنزيمية، التي هي نفسها محددة بنفس هذه الجينات. تستحصل الطاقة عن طريق الأنزيمات، التي يحتاج إنتاجها إلى وارد من الطاقة. إن التطور الداروينى هو في أصله صراع بين الأفراد الذين تحددهم الأغشية الخلوية، ومع ذلك كيف يمكن للأغشية وحافزات النقل أن تنشأ بدون جينات، وبروتينات وطاقة؟ إن هذه أسرار عميقة، لأنه ما لم يكن المرء مستعداً لأن يدخل نشوءاً إعجازياً، فإن ذلك السلف الشامل لجميع الخلايا يجب أن يكون هو نفسه نتاجاً لتطور طويل الأمد قد حصل على مراحل، يوجهه التنوع والانتقاء الطبيعي. إن مهمة علماء ما قبل التاريخ الجزيئي هي أن يبحثوا عن آثار ذلك الممر إلى نوع الحياة الوحيد الذي نعرفه.

سجل أدب علمي غزير مسبقاً محاولات لرسم ماض محتمل من ترتيب الطرق الاستقلابية وجيناتها، أو من تباعد نقل الأدينوزين ثلاثي الفوسفاتاز؛ لكن هذه التأملات لا تصل إلى السؤال النهائي عن الكيفية التي جاءت فيها الجزيئات إلى الحياة. بالنسبة لمعظم علماء الأحياء، فإن سمة الحياة هي القدرة على التطور الداروينى؛ وأكثر علاقة أساسية هي تلك التي تربط الحموض النووية، حاملات المعلومات، إلى البروتينات التي تؤدي الوظائف وتولد النمط الظاهري. إذا كان هناك سؤال واحد يمكن أن يمثل كامل اللغز، فلا بد أنه منشأ هذا التشارك الصميم جداً.

تدور الخلايا والعضويات المعاصرة حول ثالوث الـ «د.ن.أ DNA»، الـ «ر.ن.أ RNA»، والبروتينات. ولكن حتى منذ ثلاثين سنة، بعد اكتشاف أن الـ «ر.ن.أ RNA» يعمل كمادة جينية في فيروسات معينة ويساهم أيضاً في عدد من الوظائف الفزيولوجية، بدأ علماء علم الأحياء الجزيئي في الشك بأن أبكر مراحل الحياة قد اعتمدت على كيمياء أبسط بكثير توضع فيه التضاعف والتكاثر في الـ «ر.ن.أ RNA». تأكد هذا الافتراض بشدة في الثمانينيات، باكتشاف أن مراحل معينة من عملية انتساخ الـ «ر.ن.أ RNA» تحفزها، ليس فقط الأنزيمات البروتينية من الأنواع المعتادة، ولكن الـ «ر.ن.أ RNA» وحده. أثبتت هذه الموجودات المروعة أن الـ «ر.ن.أ RNA» يمكن أن يعمل كحافزات نوعية جداً، وقد اكتشف خيط من مثل هذه «الريبوزيمات» منذ ذلك الحين. يشار إلى النظرية بأنه، في البداية، لم يكن هناك لا دنا ولا بروتين، ولكن «ر.ن.أ RNA» فقط قد ضاعف نفسه وحفز أيضاً كل وظيفة كانت مطلوبة، بنظرية «عالم الـ «ر.ن.أ RNA»».

تتمتع هذه النظرية بشعبية واسعة لدى علماء علم الأحياء الجزيئي، ولقد أصبحت حجر أساس في أبحاث الإنتاج الحيوي (13).

إن الأدلة التي تدعم وجود نوع ما من عالم الـ «ر.ن.أ RNA» ظرفية، لكنها تستند على مجموعة من الملامح المتميزة التي قد تكون تمثل بقايا من الزمن الذي كان يهيمن فيه الـ «ر.ن.أ RNA». هناك أولاً حقيقة أنه، من بين جميع الجزيئات الكبيرة المعروفة، فإن الـ «ر.ن.أ RNA» وحده يمكن أن يوجه تضاعفه الخاص (عندما تتوفر الأنزيمات الضرورية) وأن يحفز التفاعلات الكيميائية. يساهم الـ «ر.ن.أ RNA» أيضاً في تضاعف الـ «د.ن.أ DNA»، ممهداً لبدء النسخ وداعماً للنسخ إلى أن يكتمل. هل يمكن أن يكون ذلك أثر لآلية ضاعفت في يوم من الأيام، ليس الـ «د.ن.أ DNA» ولكن الـ «ر.ن.أ RNA» ذاته؟ ينسجم هذا الاقتراح مع الحقيقة المعروفة منذ زمن بعيد بأن النوويدات التي تشكل الخلية منها الـ «د.ن.أ DNA» تتولد هي نفسها

بإرجاع طلائع الـ «ر.ن.أ RNA» الموافقة، مما يوحي بأن تصنيع الـ «ر.ن.أ RNA» هو عملية أكثر قدماً. بالالتفات للحافزات، تذكروا أن الـ «ر.ن.أ RNA» يلعب عدة أدوار حيوية في إنتاج البروتين (الشكل 4.6)، حاملاً للمعلومات في بعضها (الـ «ر.ن.أ RNA» الرسول، الـ «ر.ن.أ RNA» الناقل) ولكن عاملاً في كيمياء بعضها الآخر. لا يمكن أن يكون وليد الصدفة أن الـ «ر.ن.أ RNA»، وليس أنزيم بروتيني تقليدي ، يقوم بمهمة الجسيمات الريبية الحيوية: ربط الحمض الأميني التالي إلى سلسلة الببتيد المتنامية. هناك أيضاً الحقيقة المثيرة للانتباه بأن تمائم الأنزيمات، التي قد تلعب أدواراً مختلفة شتى في الاستقلاب، هي عادة نوويدات ريبية معدلة، يقدم الأدينوزين ثلاثي الفوسفلات مثالاً على هذه النقطة (الشكل 4،4). لقد اقترح أن تمائم الأنزيمات قد تكون بقايا لزمن كان فيه كامل الحفز مهمة الـ «ر.ن.أ RNA»؛ وحسب علمي، لم يقدم أحد أي اقتراح أكثر معقولية.

يتصور معظم مؤيدي عالم الـ «ر.ن.أ RNA»، وخاصة وولتر غيلبرت، ذلك العالم على أنه مرحلة قبل خلوية من التطور. حسب وجهة النظر هذه، تألفت أول عضوية بدئية من جزيئات «ر.ن.أ RNA» عارية ذاتية التضاعف قد ظهرت بشكل من الأشكال من الحساء البدئي. تطورت هذه الجزيئات، مع اختيار الطفرات العفوية للإنتاج الأسرع، «وتعلمت» أن ترمّز للبروتينات وتبنيها للمساعدة في تضاعفها. في النهاية، أصبحت هذه المضاعِفات الحرة مشمولة في حويصلات الغشاء، ووجدت طرقاً للضم لخدمة المصلحة العامة؛ يمكن للتطور الخلوي أن يبدأ الآن. لكن عالم الـ «ر.ن.أ RNA» ممكن أن يكون بنفس الاحتمالية (أو أكثر روعة) مرحلة من تطور الخلايا. إذا افترضنا أن الترميز للحياة قد تم من البداية الأولى، فإن أول نمط من الاستقلاب قد يكون ذلك الذي دعت إليه الحاجة لدعم إنتاج النوويدات والتضاعف الذاتي لجزيئات الـ «ر.ن.أ RNA»؛ جاءت البروتينات فيما بعد، والـ «د.ن.أ DNA» أبعد من ذلك حتى. يتعرض كل من التفسيرين بسرعة إلى

المصاعب. رغم كل جهودهم، لم يستطع علماء الكيمياء أبداً أن يضعوا الـ «ر.ن.أ RNA» مع بعضه في ظروف «قبل حيوية»، ناهيك عن جعله يتكاثر. يبدو في الوقت الحالي أنه من غير المحتمل أن هذا يمكن أن يكون قد حصل صدفة في الأرض الخالية من الحياة. يجب على مؤيدي العضويات الريبية الكاملة، التي يجب أن تكون كامل نشاطاتها قد تمت عن طريق الـ «ر.ن.أ RNA»، أن يعترفوا بأن المهارات الحافزة للرنا أكثر تحدداً من مهارات البروتينات؛ إن للرنا جدارة قليلة في أنماط التفاعلات الكيميائية التي تكمن وراء الاستقلاب والطاقة، ناهيك عن النقل عبر الأغشية. أخيراً، بصرف النظر عن المحتوى البنيوي، فإن الطريق الصخري من مضاعِفات الـ «ر.ن.أ RNA» إلى جينات الـ «د.ن.أ DNA» ومن الـ «ر.ن.أ RNA» الحافز إلى الأنزيمات البروتينية يتطلب جزمات متينة وقوة على تسلق المرتفعات.

هل كان هناك حقاً زمن كانت تمثل فيه العضويات ـ الريبية بذرة نشوء علم أحياء أكثر تنوعاً؟ لا أدري. هنا أيضاً، كما هو الحال في الحساء البدئي، إن ثمرة النظرية ليست موضع شك؛ إن ما يجب أن نؤسسه هو صحتها التاريخية.

الينابيع الحارة وذهب الأغبياء

إن إحدى أغرب الموجودات في تاريخ الأعراق الجزيئي هو أن أعمق فروع الشجرة الكونية تحمل بشكل أساسي عضويات ذاتية التغذية ومحبة للحرارة. قد يظهر أن هذه حقيقة مؤقتة، أو مجرد مسألة تصرف الانتباه؛ لكن من الممكن أيضاً أن تحمل معلومات حقيقية عن عالَم آخر سلف مشترك، وتقدم لمحة عريضة حول الظروف التي نشأت فيها الحياة (14). ذلك أيضاً هو رأي غونتر فاتشترشوسر، وهو عالم كيمياء ألماني ومحام لامع، نشّطت نظرياته غير التقليدية وانتقاداته الفلسفية الحقل المتعطش إلى أفكار جديدة. بينما تخيل معظم الباحثين حساء بدائياً من المركبات العضوية

نشأت عنه الجزيئات الكبيرة ذاتية التضاعف ومن ثم الخلايا، فإن فاتشترشوسر يصر على أن الأنظمة الحية كانت ذاتية التوليد من البداية: إن التكاثر عنده ليس غيري التغذية لكنه ذاتي التغذية.

عرض فاتشترشوسر اقتراحاته في سلسلة من المقالات الرئيسية، وحديثاً، في ردود على تعليقات ناقدة من قبل آخرين (15)؛ إن الخلاصة التالية مكثفة بالضرورة. يبدأ فاتشترشوسر برفض مخزون الطلائع العضوية قبل الحيوية بالكلية: ليس فقط أن وجودها غير محتمل، بل أن قبولها الذي لم يُنتقَد قد شجع على ممارسات علمية سيئة (أصبح الحساء أقوى فأقوى، لكن حجته أصبحت أضعف فأضعف). بدلاً من ذلك، نشأت الحياة مباشرة من العالم المعدني بفضل مصدر أصلي للطاقة وبفضل قوة مرجِعة. التفاعل المعين الذي أفرده فاتشترشوسر على أنه الأكثر احتمالاً هو تشكل البيريت، ذهب الأغبياء، من كبريت الحديدي وكبريت الهدروجين (أو شاردة الكبريتي):

كبريت الحديدي + كبريت الهدروجين ؟ كبريتي الحديدي (بيريت) + هدروجين

$$FeS + H_2S \rightarrow FeS_2 \text{ (بيريت)} + H_2$$

كبريت الحديدي + شاردة الكبريت ؟ كبريتي الحديدي (بيريت) + 2 إلكترونين

$$FeS + S_{2-} \rightarrow FeS_2 \text{ (بيريت)} + 2e$$

إن المفاعِلات متوفرة جيولوجياً، في الينابيع الحارة تحت البحر وفي أماكن أخرى؛ وإن تراكيبها محبذ جداً، بشكل أساسي بفضل عدم حلولية البيريت الشديدة. لدينا هنا تفاعل منفرد مرجع جداً وفي نفس الوقت منتج قوي للطاقة، خاصة في درجات الحرارة العالية.

إن الطاقة الحرة المتوفرة من تشكل البيريت كافية لإرجاع ثاني أكسيد

وأول أكسيد الكربون إلى الفورمات، على شرط وجود آلية تزاوج. إن هذا مهم، لأن مفتاح المنشأ المعدني للحياة هو إرجاع ثاني أكسيد الكربون إلى مستقلبات عضوية بغياب الأنزيمات. إن مثل هذه الكيمياء ستكون غير مثمرة إذا حصلت في محلول، لأن منتجاتها ستفقد بالانتشار. يتصور فاتشترشوسر احتواء منذ البداية، ليس بأغشية شحمية ولكن بترافق سطح معدني مع كهرباء ساكنة. نشأ أول استقلاب بدئي من فلم على سطح بلورات البيريت، تثبتت فيها المنتجات ذات الشحنات السالبة في مكانها بسطح إيجابي الشحنة. قد يكون هذا، بالمناسبة، سبب يجعل المواد الشاردية (التي يكون لها عادة شحنات متعددة) بارزة جداً في الاستقلاب المعاصر. تقدم كيمياء السطح فائدة ثانية، ليس أقل أهمية من الأولى: إن تفاعلات التكثيف، مثل تلك المطلوبة لإنتاج جزيئات كبيرة، كثيراً ما تكون مفضلة من الناحية الحركية الحرارية عندما تكون المنتجات مرتبطة بسطح، بينما يهيمن التحلمه في المحاليل الحرة.

يجب أن يكون الاستقلاب قد بدأ بتثبيت ثاني أكسيد الكربون، الذي وفر المخزون الأول للمواد العضوية. تطبق العضويات المعاصرة عدة طرق لإرجاع ثاني أكسيد الكربون، أبرزها يشكل جزءاً من التركيب الضوئي النباتي. لا يمكن أن يكون ذلك هو الطريق الأصلي، لأن تثبيت ثاني أكسيد الكربون بالتركيب الضوئي يعتمد على تشكيل وتحويل السكاكر، التي لم تكن قد وجدت في الأرض قبل الحيوية. بدلاً من ذلك، يقترح فاتشترشوسر الظهور التدريجي لحلقة حمض الليمون، التي تعلقت منتجاتها الشاردية بالسطح. «يؤسس ذلك أول كيان منظم للحياة: مركب... كرة من الروابط العضوية شبه المستقرة حول عنقود متنام من البيريت. تؤمن روابطها الشاردية قناة من شبه الاستقرار في سلسلة عامة من تدفق الطاقة الريدوكسية ـ وسيط ضمن ذلك التدفق العام من الطاقة» (15). بعبارة أخرى، لم تكن العضويات البدائية أجساماً قدر ما كانت أنظمة كيميائية حركية. إن الوارد هو ثاني أكسيد

الكربون والطاقة، وهذه الطاقة مشتقة من تشكل البيريت؛ أما الصادر فيتألف من جزيئات عضوية تبقى مرتبطة بالسطح لفترة ما وفي النهاية تنفصل. تقدم بلورات البيريت كلاً من قناة التفاعل والحافزات البدئية.

يدور معظم الجدل حول استعمال المبادئ الكيميائية و التطورية «للتنبؤ الراجع» بالطرق الاستقلابية التي بدأت بها الحياة (حيث التنبؤ الراجع، وهو نظير التنبؤ، هو فن إعادة تشكيل الماضي من معلومات الحاضر). بدءاً من عالم الحديد ـ الكبريت لبلورات البيريت الأصلية، يدخل فاتشترشوسر بالتدريج اللب الكيميائي الحيوي مع ما يكمله من الثيوإسترات، وتمائم الأنزيمات، والحموض الأمينية، والسكاكر وحاملات الريدوكس. تحصل الخلوية بأغشية يولدها النظام المتطور نفسه. ستكون أول خلية بدئية قد اشتملت على بلورات البيريت وعاشت على تشكيل البيريت، لكن الخلايا اللاحقة تحررت من إرثها اللاعضوي. فقط مع حلول الخلايا البدئية يمكن للمرء أن يتخيل اختراع الجينات والبروتينات، ومعها تحول علم الكيمياء إلى علم الأحياء؛ لكن هذا التحول الهام يبقى مجرد تخطيط تمهيدي.

جذبت أفكار فاتشترشوسر الكثير من الاهتمام، بفضل جدارتها وتقديمها القوي. أنا نفسي أجد هذا المنظور وهذا الاتجاه العام جذاباً، لأنه ينسجم بشكل جيد جداً مع تحيزي الخاص إلى فكرة أن الحياة قد نشأت بتدفق الطاقة وسحبت نفسها للأعلى بقواها الخاصة. لكن هذه النظرية، مثل النظريات الأخرى، سرعان ما وجدت نفسها في الماء الحار. إن الافتراض صريح جداً، بحيث أنه لو صح، فإن المرء يجب أن يتوقع بمرور هذا الوقت تأكيداً لنقاطه الأساسية؛ لم يحصل ذلك. إن تشكيل البيريت من كبريت الحديدي وكبريت الهدروجين يحصل في الطبيعة، وإن كان ببطء، ويمكن له أن يقود بعض التفاعلات المرجِعة؛ لكن التزاوج الضروري جداً مع تثبيت ثاني أكسيد الكربون أو أول أكسيد الكربون يبقى مراوغاً، ومعه تشكيل مجموعة كبيرة من المستقلبات الحمضية. ربما كان هناك حاجة لمعدن

حافز إضافي، أو إلى مصدر مختلف بالكلية للطاقة والقوة المرجِعة، مثل أكسدة الحديد الذي يتوسطه الضوء فوق البنفسجي. لدي تحفظات حول ظهور شبكة من التفاعلات العضوية ضمن فلم السطح ذاك، وأجد أنه من الصعب أن أتصور كيف يمكن لغثاء من بلورات البيريت أن يعزز التفاعلات المخترعَة حديثاً، وأن تتنافس إحداها مع الأخرى وتتطور كمجموعة بغياب نوع ما من المعلومات الموروثة. تحتاج الكثير من الملامح، خاصة اقتراح ظهور ازدواج الطاقة الكيميائي الحلولي، إلى قدر من سرعة التصديق أكثر مما يتحمله الشكوكي؛ يبدو أنه حتى فكرة الحركية الحرارية قد أصبحت اليوم موضع تساؤل (16). مهما يكن، قد يكون هناك شيء من الصحة في الفكرة الأساسية. أراهن على أن فاتشترشوسر، مثل هوراتيو نلسون قبل وصوله لكوبنهاغن، يضع العين العمياء على التلسكوب، لكنه يوجه مركبه اللعين بالاتجاه الصحيح.

جسر ممتد أطول مما يجب؟

يعتقد الرجل المعاصر والعالِم النموذجي اليوم أنه في البداية كان هناك العمل. إذا أعدنا صياغة تلك العبارة، لا يزال العلماء منقسمين إلى أولئك الذي يسعون للبحث عن أصل الحياة في المعلومات وأولئك الذين يبحثون عنها في الطاقة. إن الذين يعتقدون مثلي أن العضويات الحية أنظمة ذاتية الإنتاج قادرة على التطور بالتنوع والانتقاء الطبيعي، يجب أن يحافظوا على موطئ قدم في كل من المعسكرين وأن يخاطروا بأن يزدروا من قبل كل منهما. لكن التعريف يشحذ فعلاً الموضوع: ليس السؤال فقط كيف نشأت الحياة على الأرض، ولكن كيف تولد الطبيعة أنظمة مادية منظمة يمكن أن يطبق عليها اصطلاحات مثل التأقلم، والوظيفة والهدف. سيكون القراء قد لاحظوا أن هذا لا يزال استقصاء مفتوح الجهات، لا تستدعي فيه الحقائق الثابتة القليلة إعاقة الخيال ؛ دعوني أستفيد مما أصبح، للأسف، ميزة نادرة جداً.

إذا سلمنا، كما يقول دي دوف، بأننا مجبرون بعزمنا على الإصرار على إيجاد تفاسير طبيعية في جميع الأوقات؛ فإن الحياة عندئذ يجب أن تكون قد ظهرت في الكيمياء. يسلم أيضاً أن الجزيئات العضوية البسيطة كانت موجودة منذ البداية، في مواضع، وتنوع ووفرة غير أكيدة. اتركوا مجالاً للطوارئ، فإن بعض التأرجحات الكيميائية النادرة التي قد تكون قد لعبت دوراً رشيمياً في استهلال الأنظمة الحية؛ وتذكروا أنكم قد تكونون مخطئين. مع كل ذلك، لا أزال غير قادر على إقناع نفسي بأن العضويات البدئية من أي نوع قد جاءت من اتحاد جزيئات عضوية مسبقة الصنع، ولدت بالعمليات الكيميائية الصرفة في بيئتها. هل بدأت الحياة كمجموعة قطع جزيئية؟ حسب فهمي، إن هذه الفكرة تخص إعادة تشكيل الحياة حسبما نعرفها بدلاً من أن تخص نشوء الحياة من البداية. إنها تؤكد بشكل مفرط ما سماه هارولد موروفيتس سخاء الطبيعة، كرمها في توفير وحدات بناء مجاناً. تجعل هذه الفكرة التنظيم الخلوي فكرة تالية للبنية الجزيئية، ولا تقدم أي موطئ قدم للإنتاج الذاتي. وهي تحذف كثيراً ما أعتقد أنه ينبوع الحياة النهائي، الدافع الحركي الحراري لتبعثر الطاقة، الذي يصنع مستويات متصاعدة من النظام لكي يغربل الانتقاء الطبيعي منها. إذا كان صحيحاً أن الحياة تقع في التنظيم وليس في المادة، عندها فإن ما يبقى غير مفسر هو لب اللغز: منشأ النظام الحيوي.

يضع العلماء نظريات، ليس فقط في نهاية البحث ولكن منذ انطلاقه. لقد درّس كل من كارل بوبر وتوماس كوهن أنه، بغياب فكرة بدئية من نوع ما، فإننا لا نعرف ما هي الأسئلة التي يجب أن نسألها أو حتى ما هي الحقائق التي يحب أن نلاحظها. الجانب القاتم هو أننا سوف نتمسك بالنظريات التي عفا عليها الدهر، مع أننا نعرف تماماً قصورها، إلى أن نحصل على بديل أكثر جدارة. هنا حسبما أعتقد تقف دراسة الإنتاج الحيوي: الماضي غير مدفون، والمستقبل لم يولد بعد. سوف أغامر أيضاً

بطرح فكرة حول أين يجب أن نبحث. المعضلة هي فهم، ليس أصل الجزيئات العضوية، ولكن الأنظمة التي بدأت بالتدريج تظهر صفات العضويات: الحدود، الاستقلاب، تحويل الطاقة، النمو، الوراثة والتطور. هذا ليس بالكاد اقتراح مثير أو حتى أصيل، لكن تكامله غير المتردد يجعله وجهة نظر الأقلية.

أعتقد إذاً أن التنظيم الخلوي لم يكن ملحقاً للمنشأ الحقيقي للحياة، ولكنه جزء وقطعة منه. يقتضي ذلك وجود تشكيل حجرات من نوع ما (لا يشترط أن يكون ذلك بأغشية شحمية) منذ البداية. إن النظام الحيوي حركي، يشكله ويحافظ عليه تيار مستمر من الطاقة، ولا بد أن ذلك كان صحيحاً طوال الوقت. لذلك، فإن نظرية الإنتاج الحيوي التي تحمل مصداقية يجب أن تكون نظرية تولد مستويات متزايدة من التعقيد بشكل طبيعي، بتأمين طرق تحويل جريان الطاقة إلى تنظيم. لكن تبدد الطاقة يمكن أن يحمل الطاقة فقط في القفزة الأولى؛ يكون التطور عاجزاً إلى أن يصبح بالإمكان ترميز «الوظائف» التي تظهر ضمن النظام الذي يتطور في «نص» من نوع ما يمكن أن ينقل، وينفذ، ويعدل، ويختبر استعمالها مرة بعد مرة. لا بد الحموض النووية أو طلائعها قد أتت في مرحلة مبكرة، إن لم يكن منذ أن رفع الستار. لا يوجد مخطط مُرْض من هذا النوع في الوقت الحالي، وليس لدي مخطط أقدمه، ليس لدي سوى إحساس قوي بأن هناك شيء أكثر في هذا السر مما يحلم به في الفلسفة الجزيئية.

سوف يكون من المقبول أن أختم هذا الكتاب بجعجعة بهيجة حول اقتراب العلم، ببطء ولكن بثبات، من حل اللغز النهائي؛ لكن وقت الخطبة البليغة لم يحن بعد. يبدو لي منشأ الحياة غير مفهوم مثلما كان على الدوام، موضوعاً للتساؤل ولكن ليس للتحليل المفصل. لا تزال حتى مبادئ الإنتاج الحيوي تحيرنا، لأسباب فكرية أكثر منها تكنولوجية. لقد نجح علم الفيزياء كثيراً في تكوين قوانين كونية على أساس التجارب القابلة للإعادة، والقياسات

الدقيقة، والنظريات المصممة بوضوح لأن تكون قابلة للدحض. لا يمكن أن تطبق هذه الممارسات الجديرة بالثناء بشكل كامل على أي موضوع تاريخي، تقيد فيه القوانين العامة ما هو ممكن لكنها لا تحدد النتيجة. يجب الحصول على المعلومات هنا من ملاحظة ما حصل بالفعل، ونادراً ما يمكن للنظرية أن تواجه مباشرة بالحقيقة. يكمن منشأ الحياة حيث يتصادم هذان الطريقان من المعرفة. تبدأ المداخلة من العلم المتين بافتراض أن القوانين الفيزيائية تضع قيوداً قوية على ما كان ممكناً تاريخياً؛ لذلك، حتى مع أنه لا يمكن للمرء أن يستبعد أبداً تدخل بعض المصادفات، فإنه يجب أن يكون قادراً على الوصول إلى تفسير معقول للكيفية التي يمكن أن تكون قد حصلت فيها هذه المصادفات. إن مجال الخيارات المقبولة واسع جداً، والقيود رخوة جداً، بحيث أن عدداً قليلاً من السيناريوهات فقط يمكن أن يرفض بقوة؛ وعندما لا تحدد النظريات ولا التجارب حدوداً فعالة، فإن العلم المتين يصاب بالحرج. للأسف فإن أدوات العلوم التاريخية «الرخوة» لا تقدم الملاذ: الممر وعر وبارد جداً، والأثر واه كثيراً.

يتحدثون بقصة ماكس ديلبروك، أحد رواد علم الجينات الجزيئي والمخترع المرموق للة «د.ن.أ DNA»، الذي كان لي شرف لقائه خلال سنواته الأخيرة في معهد كاليفورنيا للتقنيات. كان قد توقف عن قراءة المقالات حول منشأ الحياة؛ كما قال في مرة من المرات؛ إنه ينتظر أن ينتج شخصاً ما وصفة لحبك نسيج الحياة. وكذلك ننتظر جميعاً، ليس بالضرورة ظهور وصفة ولكن ظهور تكنولوجيات جديدة لكشف الماضي السحيق. بدون حصول مثل ذلك الفتح، فإنه بإمكاننا أن نستمر بالتفكير، والافتراض والجدل، ولكن لا يمكننا أن نعلم. ما لم نكتسب طرقاً جديدة وقوية من البحث التاريخي، فإن العلم سيكون عملياً قد وصل إلى الحد.