

ارتقاء الحياة

الاختراعات العشرة العظيمة للتطور



نيك لين

ارتقاء الحياة

ارتقاء الحياة

الاختراعات العشرة العظيمة للتطور

تأليف

نيك لين

ترجمة

محمد عبد الرحمن إسماعيل

مراجعة

محمد فتحي خضر



الطبعة الأولى م ٢٠١٥
رقم إيداع ١٦٠٢٦ / ٢٠١٤
جميع الحقوق محفوظة للناشر مؤسسة هنداوي للتعليم والثقافة
المشهرة برقم ٨٨٦٢ بتاريخ ٢٦/٨/٢٠١٢

مؤسسة هنداوي للتعليم والثقافة

إن مؤسسة هنداوي للتعليم والثقافة غير مسؤولة عن آراء المؤلف وأفكاره
 وإنما يعبر الكتاب عن آراء مؤلفه
٤٤ عمارات الفتح، حي السفارات، مدينة نصر ١١٤٧١، القاهرة
جمهورية مصر العربية
تليفون: +٢٠٢ ٣٥٣٦٥٨٥٣ فاكس: +٢٠٢ ٢٢٧٠٦٣٥٢
البريد الإلكتروني: hindawi@hindawi.org
الموقع الإلكتروني: <http://www.hindawi.org>

لين، نيك.

ارتفاع الحياة: الاختراعات العشرة العظيمة للتطور /تأليف نيك لين.
تمدك: ٩٧٨ ٩٧٧ ٧٦٨ ٠٨٢٠

- الاختراعات

- العنوان

٦٠٨,٧

تصميم الغلاف: خالد المليجي.

يُمنع نسخ أو استعمال أي جزء من هذا الكتاب بأية وسيلة تصويرية أو إلكترونية أو ميكانيكية،
ويشمل ذلك التصوير الفوتوغرافي والتسجيل على أشرطة أو أقراص مضغوطة أو استخدام أية وسيلة
نشر أخرى، بما في ذلك حفظ المعلومات واسترجاعها، دون إذن خطى من الناشر.

Arabic Language Translation Copyright © 2015 Hindawi
Foundation for Education and Culture.

Life Ascending

Copyright © Nick Lane 2008.

All rights reserved.

المحتويات

٧	من أفضل ما قيل عن الكتاب
١٣	شكر وتقدير
١٧	مقدمة
٢٥	١- أصل الحياة
٥٣	٢- دyi إن إيه
٨٣	٣- عملية البناء الضوئي
١١٥	٤- الخلية المعقدة
١٤٩	٥- التكاثر الجنسي
١٧٩	٦- الحركة
٢٠٩	٧- الإبصار
٢٤٧	٨- الدم الحار
٢٧٩	٩- الوعي
٣٠٩	١٠- الموت
٣٣٩	الخاتمة
٣٤١	ملاحظات
٣٦١	مصادر الصور
٣٦٥	ثبت المراجع

من أفضل ما قيل عن الكتاب

إذا خرج تشارلز داروين من قبرهاليوم، فسأعطيه هذا الكتاب القيّم حتى يلحق بركب الحياة العلمية الحديثة.

مات ريدلي

نيك لين كاتبٌ من نوع نادر؛ فهو عالم لا يكتفي وحسب بتقديم نظرة شاملة لجال كامل، وإنما يخبرنا أيضًا بأفكاره المثيرة للاهتمام.

كارل زيمير، مجلة «ساينس»

سردٌ أصيل مبهر! أول فصلَيْن من الكتاب يُمثلان أكثر المخلصات التي قرأتها عن فجر الحياة اتساقاً وإقناعاً ... إنها رحلة تخطف الأنفاس في عالم أعمق الأفكار وأهمها في علم الأحياء. وأي شخص مهتم بالحياة ينبغي عليه قراءة هذا الكتاب. يُوصى بقراءة هذا الكتاب بشدة.

مجلة «نيو ساينتيست»

متخصص في الكيمياء الحيوية، حاصل على جوائز عديدة، يُعيد بناء تاريخ الحياة من خلال التركيز على أهم عشرة اختراعات للتطور ... يمنحك نيك لين رؤى حية كافية عن طبيعة وجودنا على كوكب الأرض.

مجلة «جود بوك جايد»

كتاب رائع! ... تظهر فيه براعة نيك لين بوضوح ... كتاب منفرد متكامل الأركان.

مجلة «بابليشرز ويكلي»

كتاب رائع، ممتع للغاية وسهل الاستيعاب، ويمتاز بالحماس ولا يتهيّب مناقشة النقاط الخلافية، بل والأفكار الغريبة ... لا يصلح هذا الكتاب لأن يكون كتاباً تقرؤه قبل النوم؛ إذ لن يجعلك تنام.

جراهام كرينز سميث، مجلة «كيمستري وورلد»

نظرة مذهلة على الكيفية التي توصلَ بها العلماء إلى فهم التطور؛ وذلك ببراعة تصاهي براعة الطبيعة ذاتها.

مجلة «ساينس نيوز»

مفهوم بارع يُقدم بحماس ووضوح يناقض ما يتسم به العلم من تعقيد ...
صحيفة «ذا جارديان»

هذا الكتاب مصاغ بشكل جميل، ولدى نيك لين نزعة حقيقة لتقديم المعلومات العلمية في شكل قصصي جذاب ... كتاب آسرٌ بحقٍّ.

الجمعية البريطانية لعلم الأحياء الفلكي

من أفضل ما قيل عن الكتاب

يعرض نيك لين عمليات ذات تعقيد محير بلغة نثرية سلسة رشيقه.
مجلة «كيرگس ريفيوز»

سرد مدهش مكتوب بلغة جميلة عن أعظم الغاز الحيا: كيف نشأت؟ وكيف
تسير؟ ولماذا تموت الكائنات؟ وكيف تطور الوعي؟ إنه كتاب ممتع في قراءته،
ويقدم رؤية متبصرة حقيقية للتفكير العلمي الحالي في الألغاز التطورية الكبيرة
دون أن يعلق في أي صعوبات.

إيان ستิوارت، مؤلف كتاب
«خزانة البروفيسور ستิوارت للألغاز الرياضية»

صورة حية للكيفية التي أثرى بها التطور الحياة.

صحيفة «ذا جلوب آند ميل» (كندا)

شرح رائع لأحدث الاكتشافات في مجال التطور.

صحيفة «صندي ستار تايمز» (نيوزيلندا)

كاتب لا يخشى من التفكير بحرية، والتفكير بجدية.
فرانك ويلكزك، الحاصل على جائزة نوبل في الفيزياء لعام ٢٠٠٤

إنه كتاب ممتاز، واسع الخيال ... مليء بالمفاجآت ... كتاب مذهل لكل من يهتم
بالحياة وبالتطور.

لويس وولبرت، مجلة «نيتشر»

بوضوح وحماس، يُقدم لين الحجج والبراهين القوية بطريقته السلسلة؛ ليظهر
كيف نشأت المكونات المهمة للحياة المعقّدة وألياتها.

صحيفة «ذا نيويورك تايمز»

ارتفاع الحياة

هذا كتابٌ علميٌّ لا يغش أحداً؛ فتركتيبته منطقية، وصياغته ذكية، وقد تمتْ
معالجة الأسئلة العويصة بتركيز وبشكل مباشر.

صحيفة «ذا جارديان»

أُهدي هذا الكتاب لأمي وأبي.

الآن بعد أن أصبحت أباً، أقدر كلَّ ما فعلته من أجلي أكثر من ذي قبل.

شكر وتقدير

لم يكن هذا الكتاب ليخرج إلى النور بمجهودي الفردي فحسب. ففي معظم الوقت كان ابني الصغيران، إنيكو وهو جو، في المنزل وقد أضفت وجودهما — الذي لم يكن مساعداً لي دائمًا على التركيز — المعنى والسرور على كل كلمة كتبتها. أما زوجتي، د. أنا هيدالجو، فقد ناقشت معها كل موضوع وكل فكرة وكل كلمة، وكثيراً ما كانت تُقدّم وجهات نظر جديدة، وتحذف حشو الكلام بمقص لا يرحم. ولقد تعودت على أن أعتمد على صدق حكمها، العلمي والأدبي، وحين كنت أجادلها بغية الوصول إلى الحقيقة كان يتبيّن لي أنني كنت مخطئاً، أما الآن فأسارع بتقبّل نصحتها. كان هذا الكتاب سيخرج بصورة أسوأ كثيراً مما هو عليه لولاه، ويعزى الكثير من إيجابياته إليها.

فضلاً عن هذا، فقد أجريتُ الكثير من المحادثات المحفزة للتفكير عن طريق البريد الإلكتروني مع شخصيات من جميع أنحاء العالم، في جميع أوقات النهار والليل، وحاوتُ أن أغطي جميع الأفكار ووجهات النظر والمفاهيم التي وصلتني من متخصصين في مجالات علمية متعددة ومتشرعة. ومع أنني أتبع دوماً مساري الخاص، فإنني أقدر بالمثل كرمهم وخبراتهم تقديرًا عظيمًا. وإنني أوجه الشكر بصفة خاصة إلى الأساتذة الجامعيين: بيل مارتن بجامعة هاينريش هايني في دوسلدورف، وجون ألين في كلية كوبين ماري؛ جامعة لندن، ومايك راسل؛ الذي يعمل الآن بمشروع الدفع النفاث التابع لوكالات ناسا في جامعة كالتك. وجميعهم مفكرون أقوياء وأصياء في فكرهم، وأنا مدين لهم لما بذلوه من وقتهم وتشجيعهم، بل ولما وجّهوه من كلماتٍ نقدٍ شديدة، وما استلهمنته منهم من حب للعلم. وكلما خبا حماسي كنت ألتلقى منهم جرعة منشطة في صورة لقاء أو رسالة بالبريد الإلكتروني.

لكني لست مدينًا لأولئك الأساتذة وحدهم، فأنا شديد الامتنان أيضًا لعدد من الباحثين الآخرين لتوضيهم أفكارهم لي، ولقراءتهم وتعليقهم على فصول الكتاب. ولقد استفاد كلُّ فصل من الكتاب من كلمات النقد البناء التي تلقيتها من اثنين على الأقل من المتخصصين في حقل من حقول المعرفة. وإننيأشكر كلًا من: البروفيسور جوستافو بارخا من جامعة كمبولتونسي بمدريد، والبروفيسور بوب بلانكنشيب بجامعة واشنطن، والبروفيسور شيلي كوبلي بجامعة كولورادو، ود. جويل داكس بجامعة ألبرتا، والبروفيسور ديريك دنتون بجامعة ملبورن، والبروفيسور بول فالكونفسكي بجامعة روتجرز في نيوجرسي، والبروفيسور هيوي هكسي بجامعة برانديس، ماساتشوستس، والبروفيسور مارسيل كلاسين بالمعهد الهولندي لعلم البيئة، والبروفيسور كريستوف كوخ في جامعة كالتك، ود. يوجين كونين بهيئة المعاهد القومية للصحة في ماريلاند، والبروفيسور بافل كوتبيا بالجامعة الياجيلونية ببولندا، والبروفيسور مايكل لاند بجامعة ساسكس، والبروفيسور بيورن ميرك بجامعة أوبسالا، والبروفيسور سلفادور مونكادا بكلية لندن الجامعية، والبروفيسور خوزيه موساكيو بجامعة نيويورك، والبروفيسور سالي أوتو بجامعة كولومبيا البريطانية، والبروفيسور فرانك سيباخر بجامعة سيدني، ود. لي سويتلاف بجامعة أكسفورد، ود. جون تيرني والبروفيسور بيتر وارد بجامعة واشنطن. وأي أخطاء وردت بالكتاب إنما هي مسئوليتي وحدي.

كماأشكر أفراد عائلتي سواء هنا أو في إسبانيا لما قدّموه لي من حب ودعم، ولا سيما والدي الذي اقطع من وقته الذي كرَّسه لتأليف بعض الكتب عن التاريخ؛ لكي يقرأ جميع فصول الكتاب تقريرًا ويعلّق عليها، متغلّبًا على كراهيته لموضوع جزئيات المادة. كماأعرب عن امتناني كذلك لمجموعة من أقرب أصدقائي الذين ما زالوا يقرءون فصول كتابي الثالث ويعلّقون عليها. وأشكر بصفة خاصة مايك كارتراذر الذي شملني بكرمه حتى في أحراج الأوقات، وأندرو فيليبس لمناقشاته المحفزة وتعليقاته الرقيقة، وبول أسبوري الذي لازمني في كثير من حركاتي وسكناتي وخطبتي وجولاتي المختلفة. وبصفة أعم أقدم شكري للبروفيسور باري فولر لمساهماته لي ومناقشاته المنتظمة معى عن العلوم فترة طويلة، والبروفيسور كولن جرين لاهتماماته القوية وإيمانه بقدراتي حينما كنت محتاجًا لذلك، ود. إيان أكلاند سنو لمحاسنه غير المشروط ولذكره لي على فترات منتظمة بأنني محظوظ، ود. جون إمسلي لمحادثاته الكثيرة المحفزة عن الكتابة العلمية على مَرِّ السنوات، ولمساعدته لي على الخوض في هذا المجال كاتبًا، والبروفيسورين إريش وأندريا جنايجر

شكر وتقدير

اللذين غمراني بكرمهمما الزائد، والسيد ديفاني والسيد آدامز، وهما مُدرّسان كانا نبراسين لي، وبذَرَا في حياتي منذ سنين عديدة بذور حُبٌّ لعلمِي الأحياء والكيمياء. وأخيراً أشكر المحررَين أندرو فرانكلين وأنجيلا فون دير ليبي بدارِي نشر بروفایل ودبليو دبليو نورتن، اللذين لم يبخلا عليَّ بالدعم والإيمان بفائدة هذا الكتاب منذ البداية، كما أشكر إدي ميتسى لذوقه المرهف ومعرفته الدقيقة بمجال تحرير النسخ، وكارولين داوناي، وكيلتي في يونايد إيجننس التي كانت مستعدة دائمًا لتشجيعي بكلمة رقيقة دون أن تتخَّل عن آرائها الراسخة.

لندن ٢٠٠٩

مقدمة

الاختراعات العشرة العظيمة للتطور

في جوف الفضاء المظلم، تلمع الأرض ككرة بلونيها الأزرق والأخضر. لم تُنْجِ فرصة معايشة إحساس رؤية الأرض من القمر وما وراءه إلا لعدٍ قليل فقط من الناس، ومع هذا فقد ظَلَّ الجمال الرقيق للصور التي أرسلوها إلى الأرض محفوراً في الأذهان على امتداد جيل كامل. لا شيء يُقارن بهذه الصورة. إن صراعات البشر التافهة على الحدود وعلى النفط والأديان تتلاشى عند معرفة أن هذه الكرة الحية المحاطة بخواص لا نهاية لها هي موطننا المشترك، بل وأكثر من هذا؛ الوطن الذي نتشارك معه، وندين له بأكثر اختراعات الحياة روعة.

لقد حَوَّلت الحياة كوكبنا من صخرة قاحلة متَّقدة كانت ذات مرة تَدور حول نجم يافع إلى عالمنا المنتصب كمتأصلة مضيئَةٌ تُرى من الفضاء. لقد منحت الحياة كوكبنا اللونين الأخضر والأزرق؛ وذلك حين نَظَفَتِ البكتيريا القائمةُ بعمليَّة البناء الضوئي المحيطاتِ وهواء الغلاف الجوي وملأتها بالأسجين. وبفضلِ هذا المصدر الجديد القوي للطاقة، تفجَّرَت الحياة بأزهارها المتفتحة المتمالية، والمرجان بتركيبة المُعَقد الذي يخفى الأسماك الذهبية الرشيقة، والوحوش الضخمة القابعة في الأعمق المظلمة، والأشجار السامقة التي تشق عنان السماء، والحيوانات الصاذبة المتحركة الناظرة لما حولها. ووسط كل هذا، تحرَّكنا جميعاً تلك الألغازُ غير المحكية الكامنة وراء هذا الخلق، وما نحن سوى تجميعات كونية من الجزيئات تشعر وتفكر وتتعجب وتتسائل عن الكيفية التي جئنا بها إلى هنا.

ولأول مرة في تاريخ كوكبنا، صرنا نعرف. ليست هذه بمعرفة خاصة، أو حقيقة منقوشة على لوح حجري، بل هي ثمرة ناضجة لمسعى البشر الأعظم، مسعانا خلف معرفة وفهم العالم الحي المحيط بنا والكامن داخلنا. اكتسبنا بطبيعة الحال فهـماً عـاماً للأمر منذ وقت داروين، الذي نشر كتابه «أصل الأنواع» منذ ١٥٠ عاماً. ومنذ داروين نـمت معرفتنا بالماضي ليس فقط بفضل الحفريات التي تملأ الفجوات، بل أيضاً بفهمـنا للبنية الدقيقة للجينات، وهو الفهم الذي يقوم عليه الآن كل تفصـيلة من تفاصـيل الحياة المعقدـة. ومع هذا، فـفي العقود الأخيرة وحسبـ بدأـنا في الانتقال من النظـريات والمعرفـة المجردة إلى الصورة الحـية المـفصـلة للحياة والمـكتوبـة بلـغـة بدـأـنا منـذ وقت حدـيث الـغاـية في فـك طـلاـسمـها، وتحـمـل مـفـاتـيح فـهمـ العالمـ منـ حولـنا وأـيـضاـ فـهمـ المـاضـي البعـيد.

إن القصة المكتشفـة أكثرـ تأثـيراً، وأـكـثرـ إـحـاحـاً، وأـكـثرـ تـعـقـيـداً منـ أيـ قـصـةـ عنـ الـخـلـقـ. لكنـ، شأنـ أيـ قـصـةـ عنـ الـخـلـقـ، هيـ قـصـةـ طـفـراتـ وـتـغـيـرـاتـ مـفـاجـئـةـ مـذـهـلـةـ، تـفـجـرـ لـلـاخـتـراـعـاتـ الـتـيـ غـيـرـتـ وـجـهـ كـوـكـبـناـ وـمحـتـ الثـورـاتـ السـابـقـةـ بـطـبـقـاتـ جـديـدـةـ منـ التـعـقـيـدـ. إنـ الجـمـالـ الـهـادـئـ الـذـيـ يـبـدوـ عـلـيـهـ كـوـكـبـناـ مـنـ الـفـضـاءـ يـخـفـيـ التـارـيخـ الـحـقـيقـيـ لـهـذاـ الـكـوـكـبـ، ذـكـرـ الـتـارـيخـ الـمـلـءـ بـالـنـضـالـ وـالـإـبـادـعـ وـالـتـغـيـرـ. وـمـنـ قـبـيلـ الـمـفارـقـةـ أـنـ تـعـكـسـ صـرـاعـاتـنـاـ التـافـهـةـ مـاضـيـ كـوـكـبـناـ الـمـضـطـرـبـ، وـأـنـنـاـ وـحـدـنـاـ مـفـسـدـيـ الـرـضـ منـ نـسـطـعـ الـارـتـقاءـ فـوقـهـاـ لـنـرـىـ الـوـحدـةـ الـجمـيلـةـ لـلـكـوـكـبـ كـلــاًـ.

تبـلـورـ السـوـادـ الـأـعـظـمـ مـنـ هـذـاـ الـحـرـاكـ الـذـيـ مـرـ بـهـ كـوـكـبـناـ بـفـعـلـ عـدـدـ قـلـيلـ مـنـ الـاخـتـراـعـاتـ الـتـطـوـرـيـةـ؛ اـخـتـراـعـاتـ غـيـرـتـ الـعـالـمـ وـفـيـ النـهـاـيـةـ مـكـنـنـتـاـ مـنـ الـحـيـاـةـ. يـجـبـ أـنـ أـوـضـحـ أـنـنـيـ لـأـوـدـ أـنـ أـعـنـيـ ضـمـنـاـ مـنـ وـرـاءـ كـلــمـةـ «ـاـخـتـراـعـ»ـ وـجـودـ مـخـتـرـعـ مـتـعـمـدـ. يـعـرـفـ قـامـوسـ أـكـسـفـورـدـ الـاخـتـراـعـ بـأـنـهـ: «ـاـسـتـحـدـاثـ أـوـ إـنـتـاجـ الـأـصـلـيـ لـطـرـيقـةـ أـوـ وـسـيـلـةـ جـديـدـةـ لـعـمـلـ شـيـءـ مـاـ، لـمـ تـكـنـ مـعـرـوفـةـ مـنـ قـبـلـ، وـمـنـ مـرـادـفـاتـهـ الـابـتـادـ وـالـابـتـادـ». لـيـسـ لـلـتـطـوـرـ بـصـيرـةـ مـسـتـقـبـلـيـةـ، وـلـاـ بـخـطـطـ لـلـمـسـتـقـبـلـ. فـمـاـ مـنـ مـخـتـرـعـ، وـلـاـ تـصـمـيمـ ذـكـيـ. وـمـعـ ذـكـ، يـعـرـضـ الـانـتـقاـءـ الـطـبـيـعـيـ جـمـيعـ السـمـاتـ لـأـكـثـرـ الـاخـتـبارـاتـ قـسوـةـ، وـصـاحـبـ التـصـمـيمـ الـأـفـضـلـ يـفـوزـ. إـنـهـ مـخـتـرـ طـبـيـعـيـ يـسـتـخـفـ بـالـسـرـحـ الـبـشـرـيـ، وـيـمـحـصـ تـرـيلـيـونـاتـ الـفـوارـقـ الضـئـيلـةـ فيـ الـوقـتـ نـفـسـهـ، مـعـ كـلــ جـيلـ بـعـينـهـ. التـصـمـيمـ مـوـجـودـ حـولـنـاـ فيـ كـلــ مـكـانـ، وـهـوـ نـتـاجـ عـمـلـيـاتـ عـمـيـاءـ لـكـنـ مـبـدـعـةـ. عـادـةـ ماـ يـتـحـدـثـ الـتـطـوـرـيـونـ عـلـىـ نـحـوـ غـيرـ رـسـميـ عـنـ الـاخـتـراـعـ، وـلـاـ تـوـجـدـ كـلــمـةـ أـفـضـلـ مـنـهـاـ تـعـبـرـ عـنـ الـإـبـادـعـ الـذـهـلـ لـلـطـبـيـعـةـ. إـنـ اـكـتـسـابـ الـعـرـفـةـ عـنـ الـكـيـفـيـةـ الـتـيـ حـدـثـ بـهـاـ كـلــ هـذـاـ هـوـ الـهـدـفـ الـمـشـتـركـ بـيـنـ جـمـيعـ الـعـلـمـاءـ، بـغـضـ النـظـرـ عـنـ مـعـقـدـاتـهـ الـدـيـنـيـةـ، وـهـوـ أـيـضاـ هـدـفـ أـيـ شـخـصـ يـهـتمـ بـوـجـودـنـاـ.

هذا الكتاب يدور حول أعظم اختيارات التطور، وكيف غير كل اختيار منها من وجه العالم الحي، وكيف تعلمنا نحن البشر أن نقرأ هذا الماضي ببراعة تصاهي براعة الطبيعة ذاتها. إنه احتفاء بقدرة الابتكار العجيبة للحياة، وبقدرتنا نحن أيضاً. وهو يستعرض، في الواقع، قصة وجودنا الطويلة؛ أبرز العالم القائمة على امتداد هذه الرحلة الملحمية بدايةً من أصل الحياة وحتى حياتنا وموتنا نفسيهما. إن نطاق هذا الكتاب واسع، وستتعرّض من خلاله للحياة بطولها وعرضها؛ من منشئها في الفوهات البحرية العميقه وحتى الوعي البشري، ومن البكتيريا الدقيقة إلى الديناصورات العملاقة. وستتعرّض لختلف العلوم؛ من الجيولوجيا والكيمياء إلى التصوير العصبي، ومن فيزياء الكم إلى علم الكواكب. كما سنتعرّض لنطاق الإنجازات البشرية؛ من أكثر العلماء شهرة في التاريخ إلى الباحثين الذين لم يعرفوا بعد والذين قد يكتب لهم يوماً ما أن يصيروا من المشاهير.

بطبيعة الحال قائمة الاختيارات الواردة هنا ذاتية تماماً، وكان من الممكن أن تضم اختيارات مختلفة، بيد أنني طبّقت أربعة معايير رأيت أنها تحكم عملية الانتقاء في نطاق الأحداث القليلة المحورية في تاريخ الحياة.

المعيار الأول: هو أن يتسبّب الاختيار في إحداث ثورة في العالم الحي، ومن ثم الكوكب ككلٌّ. تحدثت عن البناء الضوئي بالفعل، الذي حولَ الأرض إلى الكوكب العاشر بالطاقة والغنى بالأكسجين الذي نعرفه (ودون هذه العملية كان من المستحيل للحيوانات أن تُوجَد). التغييرات الأخرى أقل بروزاً، لكنها لا تقل في أثرها. ثمة اختياراتان كان لهما أوسع الأثر؛ وهما: الحركة التي مكّنت الحيوانات من أن تهيّم بحثاً عن الطعام، والبصر الذي غيرَ من شخصية جميع الكائنات الحية وسلوكها. ومن المحتمل أن التطور المفاجئ للعين، منذ نحو ٥٤٠ مليون عام، قد أسهم بقدر ليس باليسير في الظهور المفاجئ للحيوانات في موضعها الملائم في سجل الحفريات، والمعروف بالانفجار الكلموري. وسأناقش التبعات المزللة لكل اختيار في مقدمة الفصل الذي يتتناوله.

المعيار الثاني: هو ضرورة أن يكون للاختيار أهمية استثنائية اليوم. أفضل الأمثلة هي التكاثر الجنسي والموت. ولقد وصف التكاثر الجنسي بأنه السخافة الوجودية العظمى، وذلك إذا تجاهلنا كل ما يرتبط بالجنس من أفكار، من الخوف إلى ابتلاء النشوة، والتركيز فقط على آليات التكاثر الجنسي الخاصة بين الخلايا. إن ما يدعو كل تلك الحيوانات، بل وحتى النباتات، إلى الانغمام في سلوكيات التكاثر الجنسي مع أنه كان بمقدورها أن تنتج نسخاً من نفسها في هدوء هو لغز؛ لغز صرنا الآن قريباً جداً من الإجابة عنه. لكن

إذا كان التكاثر الجنسي هو السخافة الوجودية العظمى، فلا بد أن الموت هو السخافة الوجودية العظمى. لم نكرب في العمر ونموت، ونعناني على مَرِّ الطريق من أبشع الأمراض وأبغضها؟ هذا الاهتمام الحديث لا تملئه قوانين الديناميكا الحرارية ولا القوانين القاضية بتعاظم الفوضى والفساد؛ فليس كل الكائنات الحية تهرم، وحتى تلك التي تهرم يمكنها التوقف عن ذلك. سترى أن التطور قد مَدَ المدى العمري للحيوانات بقدر كبير، مراراً وتكراراً. فالحبة المضادة للشيخوخة ليست بخرافة.

المعيار الثالث: هو أن كل اختراع يجب أن يأتي نتيجة مباشرة للتطور بواسطة الانتقاء الطبيعي وليس، مثلاً، التطور الثقافي. أنا متخصص في الكيمياء الحيوية، وليس لدى من جديد أضيقه بشأن اللغة أو المجتمع. ومع هذا، فإن ركيزة كل ما حققناه، كل ما هو بشريٌّ، هو الوعي. من الصعب تصوّر أي نوع من اللغة المشتركة أو المجتمع لا يقوم على القيم أو الفهم أو المشاعر المشتركة؛ تلك المشاعر التي لا تُعبّر عنها الكلمات كالحب والسعادة والحزن والخوف والاشتياق والأمل والإيمان. وما دام العقل البشري تطور، فعلينا أن نُفَسِّر كيف يمكن للتواصل العصبي داخل المخ أن يؤدي إلى الإحساس الروحي غير الملموس، إلى قوة المشاعر الذاتية. أرى أن هذه مشكلة بيولوجية، وإن كانت مربكة، وأسأل أحوال تفسير ذلك في الفصل التاسع. وبهذا يكون الوعي أحد الاختراعات العظيمة، بينما اللغة والمجتمع ليسا كذلك؛ لأنهما ناتجان بالأساس عن التطور الثقافي.

معياري الأخير: هو ضرورة أن يُمثِّل الاختراع رمزاً بارزاً للتطور في حد ذاته بصورة ما. ربما يُعدُّ الكمال المفترض للعين هو التحدى التقليدي؛ إذ يعود إلى عصر داروين وما قبله. ومنذ ذلك الوقت تمَّ التعرض لهذا الموضوع عدة مرات، وبطرق عديدة، لكن التزايد الهائل في المعلومات الخاصة بالجينات في العقد الأخير يُقدم لنا تحدياً جديداً، وغير متوقع. يُعدُّ لولب الحمض النووي الريبيوزي المنقوص الأكسجين (الذي إن إيه) المزدوج الملت� حول ذاته أعظم رموز عصر المعلومات الذي نعيش فيه. كما أن منشأ الخلية المعقدة (الخلية حقيقة النواة) يُعدُّ رمزاً بارزاً هو الآخر، وإن كان معروفاً بين العلماء أكثر منه بين العامة. ظل هذا المعلم البارز أحد أهم الموضوعات التي يجري النقاش حولها بين التطوريين على مدار العقود الأربع الماضية، وله أهمية عظيمة في مسألة مدى انتشار الحياة المعقدة في أرجاء الكون. يتعامل كل فصل على حدة مع قضيّاً بارزاً مثل هذه. في البداية، ناقشت قائمتي مع صديق لي، وقد اقترح عليَّ أن تكون «الأمعاء» رمزاً للحيوانات، عوضاً عن الحركة. هذه الفكرة قد لا تفي بمعايير الرمز البارز؛ ففي رأيي – على الأقل –

قوة العضلات رمز بارز — فقط فَكُرْ في عظمة الطيران — أما الأمعاء، فبدون قوَّةٍ تُحرِّكها ما هي إلا نفاخات؛ أعمدة متمايلة من الأحشاء الملتصقة بصخرة. وهي بهذا ليست رمزاً بارزاً.

بالإضافة إلى هذه المعايير الرسمية، كان على كل اختراع أن يأسر خيالي. فهذه هي الاختراعات التي أردت أنا نفسي، بوصفني إنساناً حريصاً على المعرفة، أن أفهمها. كتبت عن بعض هذه الاختراعات من قبل، وأردت أن أتعرض لها ثانية على نطاق أوسع، وهناك اختراعات أخرى، على شاكلة الذي إن إيه، لها جاذبية آسرة لكل العقول المحبة للمعرفة. إن الكشف عن الأدلة المدفونة داخل بنية الذي إن إيه لهو من أعظم قصص حل الألغاز العلمية على مدار نصف القرن المنصرم، ومع هذا فلم يُعرَف عنه سوى القليل، حتى بين العلماء أنفسهم. آمل أن أكون قد نجحت في توصيل بعض من حماسي حيال هذا المسعى. مثال آخر: هو الدم الحار. إذ إنه لا يزال مسرحاً لخلاف محتمد؛ نظراً للعدم اتفاق الرأي حول ما إذا كانت الديناصورات حيوانات قاتلة نشطة ذات دم حار أم عظايا عملاقة تمثل للكسل، وحول ما إذا كانت الطيور ذات الدم الحار قد تطورت مباشرة من أقرباء الديناصور تي ريكس المقربين أم أنه لا علاقة تربطها على الإطلاق مع الديناصورات. فلن أجد فرصة أفضل من هذه لمراجعة الأدلة بنفسي!

لدينا إذن قائمة. سنبدأ بأصل الحياة نفسها، وننتهي بموتنا وباحتمالات الخلود، ونمر في طريقنا بأهم المعالم البارزة؛ وهي: الذي إن إيه، والبناء الضوئي، والخلايا المعقدة، والتکاثر الجنسي، والحركة، والبصر، والدم الحار، والوعي.

لكن قبل أن نبدأ، يجب أن أتحدث قليلاً عن الفكرة الأساسية المهيمنة على هذه المقدمة؛ «اللغات» الجديدة التي قدمت مثل هذه الرؤى في أعماق التاريخ التطوري. حتى وقت قريب، كان هناك سبيلان رئيسيان لمعنى الماضي: الحفريات، والجينات. ولكلٌ منها قدرة هائلة على بَثُّ الحياة في الماضي، لكن لكُلّ منها نقاطه. إن «الفجوات» المفترضة في سجل الحفريات مبالغ في أهميتها كثيراً، والعديد منها تمَّ رأيه بعملٍ شاقٍ على مدار ١٥٠ عاماً منذ أن قلق داروين بشأنها. المشكلة هي أن الحفريات، بفعل الظروف نفسها التي أددت إلى الحفاظ عليها، تعجز عن أن تمدنا بمرآة صادقة للماضي. وحقيقة تمكنا من جمع هذا الكم من المعلومات منها هي أمر استثنائي. وبالمثل، تمكّنا مقارنة تفاصيل التتابعات الجينية من بناء شجر للأنساب، الأمر الذي يبيّن لنا كيفية ارتباطنا بالكائنات الأخرى. لسوء الحظ، من الحتمي أن تفترق الجينات لدرجة لا يصير هناك أي شيء مشترك بينها؛

فيما وراء نقطة معينة يصير الماضي، كما نقرؤه بواسطة الجينات، مشوّهاً. لكن توجّد طرق فعالة يُمكّنها تجاوزُ الجينات والحرفيات حتى أعمق أعمق الماضي، وهذا الكتاب يُعدُّ في جزء منه احتفاءً ببراعة هذه الطرق.

دعني أعطيك مثلاً، وهو من الأمثلة المفضّلة لدىَ، لم تُتح لي فرصة الحديث عنه في الكتاب على النحو الملائم. يدور المثال حول أحد البروتينات (أو الإنزيمات أو العوامل المحفزة واسمه سترات سينثاز) المحورية في الحياة، وهو موجود لدى جميع الكائنات الحية، من البكتيريا إلى الإنسان. جرّت مقارنة هذا الإنزيم في نوعين مختلفين من البكتيريا؛ أحدهما يعيش في الفوهات الحرماضية شديدة الحرارة، والثاني في القطب الجنوبي المتجمد. التتابعات الجينية التي تحمل شفرة هذين الإنزيمين مختلفة؛ إذ إنها تباعدت بعضها عن بعض إلى درجة صارت معها متمايزة تماماً. ونحن نعلم أنها تباعدت من خلال سلف مشترك؛ لأننا نرى طيفاً من المراحل الوسيطة في البكتيريا التي تعيش في الظروف المعتدلة. لكن من منظور التتابعات الجينية وحدها، لا يمكن قول ما هو أكثر من ذلك. لقد تباعد النوعان بالتأكيد لأن ظروفهما المعيشية مختلفة، لكن هذه معرفة نظرية مجردة، معرفة جامدة ذات بعدين فقط.

لكن الآن بوسعنا النظر إلى البنية الجزيئية لهذين الإنزيمين، التي تخرقها الأشعة السينية الكثيفة ويفك طلاسمها التقدم الرائع في علم البلوريات. البنيتان متناظرتان، تشبه إداهاما الأخرى لدرجة أن كل ثانية وشق، وكل ركن ونتوء في إداهاما موجود على نحو دقيق في الأخرى، في الأبعاد الثلاثة جميعها. قد تعجز العين غير المدربة عن التفريق بين الاثنين. بعبارة أخرى، بالرغم من استبدال عدد كبير من الوحدات البنائية مع مرور الوقت، فإن الشكل والبنية الإجماليين للجزيء – ومن ثم وظيفته – ظلّاً محفوظين على مر عملية التطور، كما لو أن هذا الإنزيم كاتدرائية مبنية بالحجر القديم، ويعاد بناؤها من الداخل بالطوب، لكن دون فقدان التصميم المعماري الكلي. وهنا يأتي كشف مهم؛ أي الوحدات البنائية تُبدل لماذا؟ في بكتيريا الفوهات الحرماضية يكون الإنزيم على أقصى صور الصلاحة الممكنة. ترابط الوحدات البنائية عن كثب بعضها مع بعض، من خلال الروابط الداخلية التي تعمل عمل الأسمنت، وبهذا تحافظ على بنية الإنزيم بالرغم من كم الطاقة المهول الآتي من الفوهات ذات الحرارة القائمة. إنه كالكاتدرائية المبنية بحيث تحتمل الزلزال المتواصلة. في الجليد، الصورة معكوسة. هنا تتسم الوحدات البنائية بالمرونة، وهو ما يسمح بالحركة مع أنها في درجة التجمد، وكأن الكاتدرائية أُعيد بناؤها على رولان بلي

بدلًا من قوالب الطوب. إذا قارنت بين نشاط الإنزيمين في درجة حرارة قدرها ٦ درجات مئوية، فستجد أن الإنزيم البارد أسرع بتسعة وعشرين مرة، لكن عند درجة حرارة ١٠٠ درجة مئوية سينتهي ذلك الإنزيم تماماً.

الصورة التي تظهر أمامنا صورة حية وثلاثية الأبعاد؛ فقد صار للتغيرات في تتابعات الجينات معنى؛ فهي تحفظ بنية الإنزيمes ووظيفته، بغض النظر عن الحاجة للعمل تحت ظروف مختلفة تماماً. يمكننا الآن أن نرى ما حدث بالفعل على مدار عملية التطور، وسيبيه. لم يُعد الأمر يقتصر على إشارات جامدة، بل صرنا نحصل على رؤى حقيقة.

وبالمثل، يمكن الحصول على رؤى حية بشأن ما حدث بالفعل بالاستعانة بأدواء بارعة أخرى متاحة في الوقت الحالي. على سبيل المثال، يمكننا علم الجينوم المقارن ليس فقط من مقارنة الجينات بعضها ببعض، بل مقارنة جينومات كاملة، تحوي آلاف الجينات، بين مئات الأنواع المختلفة. ومجدداً، لم تُتح هذه الطريقة إلا في السنوات القليلة الماضية، مع زيادة أعداد تتبعات الجينومات المكتشفة. بعد ذلك يمكننا علم البروتينومات من الحصول على طيف البروتينات العاملة داخل الخلية في أي وقت بعينه، ومن فهم كيفية التحكم في هذا الطيف بواسطة عدد صغير من الجينات المنظمة التي ظلت محفوظة على امتداد دهور من التطور. تمكننا البيولوجيا الحوسبة من تحديد الأشكال والبني المحددة، المهيمنة، التي تُوجَد دوماً في البروتينات، بالرغم من تغيير الجينات. يمكننا التحليل النظائي للصخور أو الحفريات من إعادة بناء تغيرات الماضي في الغلاف الجوي وفي المناخ. كما تمكننا تقنيات التصوير من رؤية وظيفة الخلايا العصبية في المخ أثناء عملية التفكير، أو إعادة بناء البنية ثلاثية الأبعاد الخاصة بالحفريات الميكروسكوبية المطموءة داخل الصخور دون التأثير عليها. وهكذا دواليك.

ليس أَيُّ من هذه التقنيات بجديد. الجديد هو التعقييد والسرعة والتوافر الذي صارت تتسم به. وعلى غرار «مشروع الجينوم البشري» الذي سار بسرعة متزايدة متقدماً على الموعد المحدد له، فإن السرعة التي تُجمَع بها البيانات تذهل العقول. أَغلب هذه المعلومات ليس مكتوبًا بلغة كلاسيكية كتلك الخاصة بعلم الوراثة السكاني أو علم الحفريات، بل بلغة الجزيئات، على المستوى الذي يحدث عنده التغيير الحقيقي في الطبيعة. وبهذه الوسائل الجديدة ظهر للنور قطاع جديد من العلماء التطوريين، القادرين على رصد آليات عمل التطور وقت حدوثها. الصورة المرسومة على هذا النحو تحبس الأنفاس من فرط اتساع تفاصيلها ونطاقها، الذي يتراوح من المستوى دون الذرى إلى المستوى الكوكبي.

ارتفاع الحياة

ولهذا السبب قلت إننا، وللمرة الأولى في التاريخ، صرنا نعلم. لا شك أن قدرًا كبيراً من معرفتنا المتنامية مؤقت، بيد أنه عامر بالحياة والمعنى. إنه لأمر ممتع أن نعيش في وقتنا هذا، الوقت الذي صرنا نعرف فيه الكثير، ومع ذلك لا يزال بإمكاننا التطلع إلى المستقبل لمعرفة ما هو أكثر بكثير.

الفصل الأول

أصل الحياة

من أعماق كوكب الأرض

خلف الليلُ النهار في تعاقب سلس. كان النهار يدوم في ذلك الوقت على كوكب الأرض قرابة خمس ساعات أو ست. كان الكوكب يدور في جنون حول محوره، وكان القمر يلوح في السماء ثقيلاً مخيفاً، أقرب بكثير مما هو عليه اليوم؛ ومن ثم بدا أكبر حجماً. نادراً ما بدأ النجوم ساطعة؛ لأن الغلاف الجوي كان مليئاً بالدخان والضباب والغبار، لكن كثيراً ما شقت سماء الليل شهباً خلابةً. أما الشمس، حين كانت ترى من بين كل هذا الضباب والدخان الثقيل أحمر اللون، فكانت شاحبة وضعيفة وتنقصها القوة التي تتمتع بها الآن وهي في ريعانها. لم يكن بمقدور البشر العيش وقتها، لأن أعيننا كانت ستجحظ وتتفجر كما قد يحدث على كوكب المريخ، وإنما لأن رئاتنا لم تكن لتجد أي أكسجين. كانوا سنصارع لحقيقة في يأس، ثم نموت اختناقًا.

لم يكن اسم «الأرض» ملائماً، بل كان من الأفضل أن يسمى الكوكب باسم كوكب «البخار». وحتى في يومنا هذا، تُغطي المحيطات ثلثي كوكبنا، وتهيمن على المنظر من الفضاء. في الماضي البعيد، كانت الأرض تتكون بالكامل تقريباً من الماء، خلا بضع جزر بركانية صغيرة الحجم تبرز من بين الأمواج الهائجة. وتحت أسر ذلك القمر القريب، كانت قوى المد جباراً، تصل على الأرجح إلى مئات الأقدام. كان تأثير الكويكبات والمذنبات أقل مما كان عليه الحال في وقت سابق، حين تسبب أكبر الكويكبات في انفصال القمر عن الأرض، لكن حتى في هذه الفترة من الهدوء النسبي كثيراً ما كانت المحيطات تغلي وتتضطرب. كما كانت تغلي من الأسفل أيضاً؛ إذ كانت القشرة الأرضية تمتلئ بالشقوق،

وكانت الصخور المنصهرة تتفجر وتلتوي، وجعلت البراكين للعالم السفلي وجوداً دائمًا على السطح. كان عالماً يخلو من التوازن، عالماً من النشاط الذي لا يهدأ، كوكباً وليداً محموماً.

كان هذا هو العالم الذي ظهرت عليه الحياة منذ ٣٨٠٠ مليون عام خلت، ربما بفعل الاضطراب المتواصل للكوكب ذاته. نحن نعلم هذا بفضل قليل من الصخور الدقيقة التي أتننا من ذلك العهد الغابر واجتازت دهوراً طويلاً من الاضطراب حتى وقتنا هذا. داخل هذه الصخور تقبع أصغر آثار الكربون، التي تحمل في تركيبها الذري طابع الحياة الذي لا يمكن لأحد أن يخطئه. قد يُعد ذلك دليلاً واهياً على زعم هائل، ولا يوجد إجماع بين الخبراء على هذا الأمر. لكن إذا اجتننا بضع حَقَب زمنية فسنجد أنه بحلول ٣٤٠٠ مليون عام مضت، تشير علامات الحياة جلية أيماء جاء. كان العالم يجيش بالبكتيريا وقتها؛ بكتيريا خلقت علاماتها ليس فقط على صورة آثار من الكربون، بل أيضاً داخل الحفريات الدقيقة ذات الأشكال المتنوعة وداخل صروح الحياة البكتيرية؛ ونقصد بهذا الرقائق الكلاسية الطحلبية التي قد يصل ارتفاعها إلى المتر. هيمنت البكتيريا على كوكبنا نحو ٢٥٠٠ مليون عام آخر إلى أن ظهرت أولى الكائنات المعقدة في سجل الحفريات. يقول البعض إن البكتيريا لا تزال المهيمنة؛ إذ إن بريق النباتات والحيوانات لا يضاهي البكتيريا في حجم الكتلة الحيوية.

ما السمات التي وُجدت في الأرض المبكرة وبثت الحياة للمرة الأولى في العناصر غير العضوية؟ أنحن متفردون، أم نادرون للغاية، أم أن كوكبنا ليس أكثر من أحد مليارات الكواكب الحاضنة للحياة والمتناشرة في أرجاء الكون؟ وفق المبدأ الإنساني لا يهم هذا الأمر؛ فإذا كانت احتمالية وجود الحياة في الكون تبلغ واحداً من مليون مليار، فثمة فرصة إذن أن تظهر الحياة على كوكب واحد في مكان ما من كل مليون مليار كوكب. ولأننا وجدنا أنفسنا على كوكب يستضيف الحياة، فمن البديهي أننا نعيش على كوكب من الكواكب الصالحة للحياة. وبغض النظر عن الندرة الشديدة لفرص وجود الحياة، ففي الكون غير المحدود تُوجَد دوماً احتمالية ظهور الحياة على أحد الكواكب، ومن المؤكد أننا نعيش على أحد هذه الكواكب التي ظهرت عليها الحياة.

إذا كنت ممن لا يقنعون كثيراً بالإحصائيات – شأنى – فإليك إجابة أخرى غير مُرضِّية طرَحَها عددٌ من كبار العلماء؛ على غرار فريد هويل وبعده فرانسيس كريك. تقضي هذه الإجابة بأن الحياة بدأت في مكان آخر ثم انتقلت إلى كوكبنا، إما بمحض

الصدفة أو بتدبير من كائنات فضائية ذكية. ربما هذا ما حدث بالفعل — فمَنْ ذا الذي سيخاطر بالقول إن هذا لم يحدث؟! — بيد أن العلماء غير مستعدين للخوض في مثل هذا النوع من التفكير، وهم مُحِقُّون في ذلك. الأمر أشبه بالزعم بأن العلم لا يستطيع الإجابة عن هذا السؤال قبل حتى أن ننظر في إمكانية ما إذا كان بمقدور العلم الإجابة عنه أم لا. إن السبب المعتاد وراء البحث عن الخلاص في مكان آخر من الكون هو الزمن؛ فلم يَمْضِ زمانٌ كافٍ على الأرض ليتطور ذلك التعقيد المذهل للحياة.

لكن من يقول بهذا؟ يخرج علينا العالم الفائز بجائزة نوبل كريستيان دي دوف، الذي لا يقل مكانةً عن سابقيه، برأي صادم تماماً يقضي بأن حتمية الكيمياء تعني وجوب ظهور الحياة بسرعة. ما يعنيه في الأساس هو أن التفاعلات الكيميائية يجب أن تَحدُث بسرعة وإلا فلن تَحدُث على الإطلاق، وإذا احتاج أي تفاعل لآلاف السنين حتى يكتمل، فمن المرجح إذن أن تتبدل كل المواد الدالة في التفاعل أو تتحلل في غضون هذه الفترة، ما لم تستكمله تفاعلات أخرى أسرع. لا ريب أن أصل الحياة ما هو إلا عملية كيميائية، ومن ثم يسري عليها نفس المنطق؛ أن التفاعل الأصلي للحياة لا بد أنه حَدَثَ على نحو تلقائي وسريع. وهكذا يرى دي دوف أنه من الأكثر ترجيحاً بكثير أن تتطور الحياة في غضون عشرة آلاف عام عن أن تستغرق عشرة مليارات عام كي تتطور.

لا نستطيع مطلقاً أن نعرف كيف بدأت الحياة على الأرض. وحتى إذا نجحنا في إنتاج بكتيريا أو حشرات تزحف خارجةً من مواد كيميائية بأنبوب اختبار، فلن نعرف أبداً ما إذا كانت الحياة على كوكبنا قد بدأت بهذه الصورة تحديداً، بل كل ما نعرفه أن هذا التفاعل يعنيه يمكنه إنتاج الحياة وأنه قد يكون أكثر ترجيحاً عما كنا نظن من قبل. لكن العلم ليس معنِّياً بدراسة الاستثناءات، بل القواعد، وينبغي للقواعد الحاكمة لظهور الحياة على كوكبنا أن تسري في أرجاء الكون. إن السعي وراء أصل الحياة ليس هدفه إعادة بناء ما حدث في الساعة السادسة والنصف من صباح يوم الخميس قبل الميلاد بـ ٣٨٥١ مليون عام، بل الهدف هو معرفة القواعد العامة التي يجب أن تحكم ظهور الحياة في أي مكان في الكون، خاصة على كوكبنا — المثال الوحيد الذي نعرفه. ومع أن القصة التي سنرسمها قد لا تكون صحيحة في كل تفاصيلها، فإنها حسبما أعتقد مقبولة على نحو واسعٍ. أريد أن أُبَيِّنَ أَنَّ أصل الحياة ليس ذلك اللغز العظيم الذي يجرِي تصويره أحياناً، وأن الحياة تظهر، ربما بشكل حتمي، من خضم الحراك الدائم لكونكينا.

بالطبع ليس العلم معنِّياً بالقواعد وحسب، بل هو معنِّي بالتجارب التي تُفسِّر هذه القواعد أيضًا. تبدأ قصتنا في عام ١٩٥٣، ذلك العام الأسطوري الذي شَهَدَ تتويج الملكة إليزابيث الثانية والوصول لقمة جبل إفرست ووفاة ستالين وتفسیر بنية الدي إن إيه وأخيرًا وليس آخرًا، تجربة ميلر-يوري؛ البداية الأيقونية الشهيرة للأبحاث المعنية بأصل الحياة. كان ستانلي ميلر في ذلك الوقت طالب دكتوراه طموحًا يعمل بمختبر العالم الفائز بجائزة نوبل، هارولد يوري، وقد تُوفي في عام ٢٠٠٧ وهو يشعر على الأرجح بلمحة من المرارة، وكان لا يزال يدافع عن الآراء التي حمل عبئها بشجاعة على مدار نصف قرن. لكن بعض النظر عن مصير أفكار ميلر الخاصة، فإن إرثه الحقيقي كان ذلك المجال الذي أرسى قواعده على تجاربه الاستثنائية، التي لا تزال نتائجها قادرة على إثارة ذهولنا حتى اليوم. ملأ ميلر دورقاً زجاجيًّا كبيرًا بالماء وخليط من الغازات؛ وذلك لمحاكاة ما اعتبره التركيب البدائي للغلاف الجوي للأرض. وقد اختار الغازات التي كان من المعتقد (من واقع التحليل الطيفي) أنها تُؤلَّف الغلاف الجوي للمشتري، وهناك افتراض منطقي بأنها كانت متوفّرة بكثرة في الغلاف الجوي للأرض في أيامها المبكرة كذلك، وهي تحديداً النشادر والميثان والهيدروجين. مررَ ميلر عَبْرَ هذا الخليط شراراتٍ كهربائيةً لمحاكاة البرق، ثم انتظر. وبعد بضعة أيام، وبضعة أسابيع، وبضعة أشهر، أخذ عينات من الماء وحلّلها كي يُحدِّد ماهية الناتج بالضبط. وقد فاقت النتائج أقصى تصوُّراته جموجًا.

لقد نجح في تحضير حسأ بدائي؛ ذلك الخليط شبـه الأسطوري من الجزيئات العضوية، الذي يحيـي عدـدًا قـليلـاً من الأحماض الأمـينـية، التي تـُعـدـ الوـحدـاتـ الـبـنـائـيـةـ للبروتـينـاتـ وأـكـثرـ الجـزـيـئـاتـ التي تـرـمزـ لـلـحـيـاـةـ عـلـىـ الأـرـجـحـ، وـتـحـدـيـداـ فيـ ذـلـكـ الـوقـتـ، قـبـلـ أنـ يـشـهـرـ الـدـيـ إنـ إـيهـ. وـالـأـدـهـىـ مـنـ ذـلـكـ أـنـ الـأـحـمـاسـ الـأـمـينـيـةـ الـتـيـ تـكـوـنـتـ بـالـفـعـلـ فيـ حـسـأـ مـيلـرـ كـانـتـ مـطـابـقـةـ تـقـرـيـبـاـ لـتـلـكـ الـتـيـ تـسـتـخـدـمـهاـ الـحـيـاـةـ، وـلـيـسـ مـجـرـدـ تـرـاكـيـبـ عـشـوـائـيـةـ مـنـ مـخـزـونـ التـرـاكـيـبـ المـاتـاحـةـ. بـعـبـارـةـ أـخـرىـ، لـقـدـ عـرـضـ مـيلـرـ خـلـيـطـاـ بـسـيـطـاـ مـنـ الغـازـاتـ لـلـتـيـارـ الـكـهـرـبـيـ، وـتـكـوـنـتـ الـوـحدـاتـ الـبـنـائـيـةـ الـأـسـاسـيـةـ لـلـحـيـاـةـ دـاـخـلـ هـذـاـ خـلـيـطـ. الـأـمـرـ يـبـدوـ وـكـانـهـ كـانـتـ تـنـتـظـرـ أـنـ تـظـهـرـ إـلـىـ الـوـجـودـ. وـعـلـىـ حـيـنـ غـرـةـ بـدـاـ أـصـلـ الـحـيـاـةـ أـمـرـاـ بـسـيـطـاـ. وـلـاـ بـدـ أـنـ الـفـكـرـةـ مـسـتـ وـتـرـاـ مـهـمـاـ فيـ رـوـحـ ذـلـكـ الـعـصـرـ، خـاصـةـ وـأـنـهـ ظـهـرـتـ عـلـىـ غـلـافـ مجلـةـ «ـتـاـيـمـ»ـ، وـهـوـ مـسـتـوـىـ مـنـ الشـهـرـةـ لـمـ تـحـظـ بـهـ أـيـ تـجـربـةـ عـلـمـيـةـ مـنـ قـبـلـ قـطـ.

لكن بمرور الوقت فقدت فكرة الحسأ البدائي جاذبيتها. وقد فقدت قبولها تماماً حين أوضحت التحاليل التي أجريت على الصخور القديمة أن الأرض لم تكن غنية قط

بالميثان والنشادر والهيدروجين، على الأقل ليس بعد القصف الكويكبي الهائل الذي تسبب في انفصال القمر عنها. شَقَّ هذا القصفُ الهائلُ غلافَ كوكبنا الجوي للمرة الأولى وأطاح به إلى الفضاء، كما أن عمليات المحاكاة الأكثر واقعية للغلاف الجوي البدائي كانت مخيّبة للآمال. جَرِّبْ تمرير تيار كهربائي عَبْرَ خليط من ثاني أكسيد الكربون والننيتروجين مع مستويات بسيطة من الميثان والغازات الأخرى، وستتساقط الجزيئات العضوية المتكونة في تعاسة، ولن يتَكَوَّنْ أي حمض أميني تقريباً. وهكذا صارت فكرة الحساء البدائي أمراً مثيراً للفضول لا أكثر، وإن كان بياناً مُعْبِراً عن «إمكانية» تكوين الجزيئات العضوية بواسطة وسائل بسيطة في المختبر.

عادت فكرة الحساء البدائي لدائرة الضوء مجدداً مع اكتشاف العديد من الجزيئات العضوية في الفضاء، وخاصة على المذنبات والكويكبات. بدا أن بعض هذه المذنبات والكويكبات يتَّألف بالكامل من الثلج الملوث بالغبار ومن الجزيئات العضوية، ويحمل نطاقاً مشابهاً على نحو مدهش للأحماض الأمينية التي تكونَتْ داخل الغازات المكهربة. وبالإضافة إلى حقيقة وجودها التي تدعو للدهشة في حد ذاتها، بدا الأمر وكأن هناك شيئاً مميزاً على نحو خاص في جزيئات الحياة؛ مجموعة فرعية صغيرة من المكتبة الشاسعة لكل الجزيئات العضوية الممكنة. الآن اتَّخذ القصف الكويكبي الهائل معنى جديداً بالكامل؛ إذ لم يَعُدْ هذا القصف مدمراً، بل صار المصدر الأساسي لكل المياه والجزيئات العضوية التي تحتاجها الحياة كي تُوجَد. لم يتَكَوَّنْ الحساء على كوكب الأرض، بل جاءنا من الفضاء الخارجي. ومع أن أغلب الجزيئات العضوية ستتفَكَّر عند الاصطدام، فإن الحسابات تشير إلى أن عدداً كافياً منها أمكنه النجاة بحيث يتراكم مُكَوَّناً الحساء.

حتى إذا لم تحظِ فكرة غرس بذور الحياة من الفضاء الخارجي بتأييد عالم الكونيات فريد هويل، فإن الفكرة مع ذلك تربط أصل الحياة، أو على الأقل أصل الحساء البدائي، بنسيج الكون ذاته. لم تَعُدْ الحياة مجرد استثناء وحيد، بل صارت ثابتاً كونيًّا جليلاً حتمياً، شأنه شأن الجاذبية. ولا حاجة لنا بالقول بأن البيولوجيين الفلكيين أحبوا هذه الفكرة، لكن لا يزال العديد منهم يؤيدها؛ وبالإضافة إلى كونها فكرة مرضية، فإنها تمدهم أيضاً بالأمان الوظيفي.

حَظِيَتْ فكرة الحساء بقبول مماثل من جانب علم الوراثة الجزيئي، وخاصة فكرة أن الحياة قائمة على المتضاعفات، وتحديداً الجينات، المؤلفة من الحمض النووي الريبوزي المنقوص الأكسجين (الذي إن إيه) أو الحمض النووي الريبوزي (الذر إن إيه)، التي تننسخ

نفسها بدقة وتنتقل إلى الجيل التالي (المزيد عن هذا في الفصل التالي). من المؤكد أن الانتقاء الطبيعي لا يمكنه العمل دون وجود نوع من المتضاعفات، ومن الصحيح أيضًا أن الحياة لا يمكنها أن تتطور التعقيد إلا من خلال الانتقاء الطبيعي. وبهذا يكون أصل الحياة من منظور العديد من علماء البيولوجيا الجزيئية هو أصل عملية النسخ نفسها. تتوافق فكرة الحسأ مع هذه الفكرة على نحو جيد؛ لأنها من الظاهر توفر كل المقومات التي تحتاجها المتضاعفات للنمو والتطور. ففي الحسأ الغليظ الملائم، تأخذ المتضاعفات ما تحتاجه، وتكون مركبات كيميائية (بوليمرات) أكثر تعقيداً، وفي النهاية تستغل الجزيئات الأخرى لتكوين بنى معقدة على غرار البروتينات والخلايا. وفق هذه النظرة، ما الحسأ سوى بحر للأبجدية يموج بالحروف التي تنتظر أن يصطادها الانتقاء الطبيعي ويحولها إلى نصوص ذات معنى.

مع هذا، تُعد فكرة الحسأ البدائي فكرة خبيثة. ليست خبيثة لأنها خاطئة بالضرورة، فمن المحتمل أنه وُجد حسأ بدائي بالفعل في وقتٍ ما من الأوقات، وإن كان أخف بكثير مما زعم. بل هي خبيثة لأن فكرة الحسأ حوّلت الانتباه بعيداً عن الأسس الحقيقية للحياة لعقود. خذ وعاءً كبيراً معمقاً من الحسأ (أو من زبد الفول السوداني) واتركه للبلايين السنين. هل ستظهر الحياة؟ كلا. لمَ لا؟ لأن محتويات الوعاء إذا تركت لحالها فلن تفعل شيئاً سوى التحلل. وإذا عرضت المحتويات لشحنة كهربية على نحو متكرر، فلن يتحسن الوضع كثيراً، بل إن الحسأ سيتحلل بشكل أسرع. من شأن شحنات البرق الضخمة المتقطعة أن تتسبب في تجمع بعض الجزيئات معًا لتكون كتلًا من الجزيئات، لكن الأكثر ترجيحاً أن تتسبب في تمزيقها إرباً مجدداً. هل بإمكانها تخلق مجموعة من المتضاعفات المعقدة داخل الحسأ؟ أشك في هذا. فكما تقول كلمات أغنية «مسافر من أركنسو»: «لا يمكنك الوصول إلى هناك من هنا». الأمر ليس منطقياً من منظور الديناميكا الحرارية وحسب، تماماً مثلما يستحيل إعادة جثمان ميت إلى الحياة عن طريق تعريضه لشحنة كهربية على نحو متكرر.

إن مصطلح الديناميكا الحرارية هو أحد تلك المصطلحات التي من المجد لأي كتاب يزعم مخاطبة غير المتخصصين أن يتजنبها، لكنه سيصير أكثر قبولاً إذا نظرنا إليه على ما هو عليه بالفعل: علم «الرغبة». إن وجود الذرات والجسيمات تهيمن عليه أمور مثل «التجاذب» و«التنافر» و«الرغبات» و«تفريغ الشحنات» لدرجة أنه من المستحيل تكريبياً الكتابة عن الكيمياء دون منحها قدرًا ما من التجسيم الشهوانى. فالجزئيات «ترغب» في

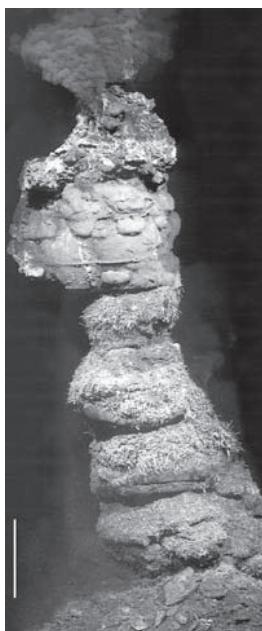
فقدان الإلكترونيات أو اكتسابها، وهي تجتذب الشحنات المعاكسة، وتتنفر من الشحنات المشابهة، وتعابيش مع الجزيئات الأخرى ذات الطبيعة المشابهة. يحدث التفاعل الكيميائي على نحو تلقائي إذا رغب كل الشركاء من الجزيئات في المشاركة، أو يمكن إجبارها على التفاعل قهراً بواسطة قوة أكبر. بالطبع بعض الجزيئات ترغب بالفعل في التفاعل لكنها تعجز عن التغلب على خجلها الفطري، وقد يتسبب قدرٌ يسيرٌ من المغازلة في إطلاق دفق هائل من الشهوة؛ تفريغاً للطاقة الصافية. لكن ربما من الأفضل أن أتوقف عند هذا الحد. المغزى مما أقول هو أن الديناميكا الحرارية هي التي تحرّك العالم. فإذا لم يرحب اثنان من الجزيئات في التفاعل أحدهما مع الآخر، فسيكون من العسير إقناعهما بذلك، وإذا رغباً في التفاعل فسيحدث هذا، حتى إن استغرقاً بعض الوقت للتغلب على خجلهما. إن حياتنا تحرّكها رغبات من هذا النوع. فالجزيئات الموجودة داخل الغذاء ترغب بشدة في التفاعل مع الأكسجين، لكن لحسن الحظ أنها لا تتفاعل معه على نحو تلقائي (إذ إنها خجولة بقدر ما)، وإلا اشتعلت أجسادنا جميغاً. بيّن أن شعلة الحياة – ذلك الاحتراق البطيء الذي يبقينا جميغاً أحياءً – هي بالتحديد تفاعل من هذا النوع؛ فالهيروجين المنتزع من الغذاء يتفاعل مع الأكسجين كي يطلق الطاقة التي تحتاجها للحياة.^۱ وفي جوهرها، تقوم أشكال الحياة كافة على «تفاعل رئيسي» من نوع مشابه: تفاعل كيميائي يرغب في الحدوث، ويطلق الطاقة التي يمكن استخدامها لتشغيل كل التفاعلات الجانبية التي تتألف منها عملية البناء الغذائي. وكل هذه الطاقة، وحياتنا كلها، تقوم على التقاء جزيئين اثنين يفقدان توازنهم تماماً حين يكون أحدهما مع الآخر؛ وهما: الهيدروجين، والأكسجين. جسمان متعارضان يتوحدان في رباط جزيئي مبارك، ويطلقان دفعةً غزيرًا من الطاقة، ولا يخلفان سوى بركة صغيرة حارة من الماء.

وهذه هي مشكلة الحسأء البدائي؛ أنه فاتر من منظور الديناميكا الحرارية. فلا شيء في هذا الحسأء تحديداً يرغب في التفاعل، على الأقل ليس على النحو الذي يرغب الهيدروجين والأكسجين في التفاعل وفقه. لا وجود لاحتلال التوازن، لا وجود لقوة محركة تدفع الحياة إلى أعلى وأعلى وأعلى نحو قمة تل الطاقة شديد الانحدار حتى نصل إلى نقطة تكون البوليمرات المعقّدة بحق، على غرار البروتينات والدهنيات وعديدات السكاريد وعلى الأخص الذي إن إليه والآخر إن إليه. إن فكرة أن تكون المتضاعفات على غرار الآخر إن إليه هي أولى شظايا الحياة، وأنها تسبق أي قوة محركة ديناميكية حرارية، هي حسب كلمات مايك راسل «أشبه بنزع المحرك من السيارة ثم توقع أن يقوم الكمبيوتر المعنى بالتنظيم بقيادة السيارة.» لكن إذا لم يأتِ المحرك من الحسأء، فمن أين أتى إذن؟

جاءنا أول دلائل الإجابة عن هذا السؤال في أوائل سبعينيات القرن العشرين، حين رُصدَتْ تيارات صاعدة من الماء الدافئ على امتداد أخدود جالاباجوس، على مقربة من جزر جالاباجوس. وعلى نحو ملائم، فإن الجزر التي أوحى تنوع الكائنات بها إلى داروين بأصل الأنواع قدمت لنا الآن دليلاً مهماً على أصل الحياة نفسها.

لم يحدث الكثير لبعض سنوات. ثم في عام ١٩٧٧، بعد هبوط نيل أرمسترونج على القمر بثمانية سنوات، هبطت الغواصة البحرية الأمريكية «ألفين» في الأخدود، باحثة عن الفوهات الحرمانية التي يفترض أن تيارات الماء الدافئ انبعاث منها، وبالفعل وجدت هذه الفوهات. لكن مع أن وجود هذه الفوهات لم يكن بالأمر المفاجئ، جاء تنوع الحياة الشديد في الأعماق المظلمة لهذا الأخدود بمنزلة صدمة حقيقية. فهناك كانت تُوجَد الديدان الأنبوية العملاقة، التي يصل طول بعضها إلى ثمانية أقدام، بجوار المحار الصافي وبلح البحر الذي يصل في حجمه إلى أطباق الطعام. وإذا لم يكن وجود هذه الكائنات العملاقة في أعماق المحيط بالأمر غير المعتاد – فقط فكراً في شكل الحبار العملاق – فإن وفترتها في حد ذاتها كانت أمراً مذهلاً. كانت كثافة هذه الكائنات في الفوهات البحرية العميقة تصاهي كثافة الكائنات في الغابات المطيرة أو الشعاب المرجانية، مع أن مصدر طاقتها الوحيدة هو انبعاثات الفوهات الحرمانية وليس الشمس.

ربما كانت أكثر الأمور إثارة هي الفوهات نفسها، التي سريعاً ما صارت تُدعى باسم «المدخن السوداء» (انظر الشكل ١-١). وقد تبيّن أن فوهات أخدود جالاباجوس أعدادها متواتعة مقارنة ببعض حقول الفوهات الأخرى التي يصل فيها عدد الفوهات إلى ٢٠٠ فوهة، والمتناشرة على امتداد أخاديد المحيط الهادئ والأطلسي والهندي. تضُخ تلك الفوهات المتداعية، التي يصل ارتفاع بعضها لارتفاع ناطحات السحاب، كتلًا من الدخان الأسود في مياه المحيطات السابقة. ليس هذا الدخان دخاناً حقيقياً، بل كبريتيد معدني محترق يغزو مياه المحيطات بعد أن يصعد من الصهارة المتقدة بالأسفل، وهو حمضى كالخل، وتصل حرارته إلى ٤٠٠ درجة مئوية تحت الضغط الساحق لأعماق المحيطات قبل أن يتسرّب إلى المياه الباردة. الفوهات نفسها تتألف من أملاح معدنية كبريتية على غرار بيريت الحديد (الذي يُعرف باسم «ذهب الحمقى»)، التي تستقر بعد انبعاثها من الفوهات وتتراكم في ترسيبات سميكية على مساحات واسعة. تنمو بعض الفوهات بمعدلات مذهلة، بما يصل إلى ثلاثين سنتيمتراً في اليوم الواحد، ويمكنها أن ترتفع إلى نحو ستين متراً قبل أن تتحطم. بدا هذا العالم العجيب المنعزل أشبه بالجحيم، وكان يمتلك بالمدخن السوداء التي ينبعث منها الكبريت وغاز الكبريتيد الهيدروجين ذو الرائحة الخبيثة. بالقطع لم يكن



شكل ١-١: مدخنة سوداء ذات منشأ بركاني، تصل درجة حرارتها إلى ٣٥٠ درجة مئوية، موجودة بأخدود خوان دي فوكا، شمال شرق المحيط الهايدروليكي. العلامة تساوي ارتفاعاً قدره متراً واحداً.

إلا لعقل مضطرب كعقل الرسام هيرونيموس بوش أن يتخيّل وجود الديدان الأنبوية العلاقة، التي تفتقر إلى الفم والشرج على حد سواء وأسراط الجمبري عديم الأعين، وهي تحتشد بأعداد لا حصر لها على الحواف الموجدة أسفل الفوهات، في مشهد مذهل غريب وكأنها جماعات من الجراد. ليس الأمر أن الحياة في تلك الفوهات تحتمل هذه الظروف القاسية وحسب، بل إنها لا يمكنها الوجود من الأساس بدونها؛ إذ إنها تزدهر بفضل هذه الظروف. لكن كيف؟

تكمن الإجابة في انعدام التوازن. بينما تتخلل مياه البحر الصهارة الموجدة أسفل المدخن السوداء، تسخن بشدة وتتشبع بالأملاح المعدنية والغازات — أبرزها كبريتيد الهيدروجين — تستطيع بكتيريا الكبريت استخلاص الهيدروجين من هذا الخليط وربطه

ثنائي أكسيد الكربون لتكوين المواد العضوية. هذا التفاعل هو أساس الحياة في الفوهات، وهو يسمح للبكتيريا بالازدهار دون وجود مصدر مباشر لضوء الشمس، بيد أن تحويل ثاني أكسيد الكربون إلى مادة عضوية يحتاج إلى طاقة، وللحصول على هذه الطاقة تحتاج بكتيريا الكبريت إلى الأكسجين. إن تفاعل كبريتيد الهيدروجين مع الأكسجين يطلق الطاقة التي يقوم عليها عالم الفوهات، وهو مكافئ لتفاعل الهيدروجين مع الأكسجين الذي تقوم عليه حياتنا. تكون نواتج التفاعل هي الماء، شأن التفاعل الآخر، لكن يُضاف إليه عنصر الكبريت؛ الكبريت الخالص الذي يمنح بكتيريا الكبريت اسمها.

جدير بالذكر أن بكتيريا الفوهات لا تستخدم الحرارة أو غيرها من السمات الأخرى للفوهات على نحو مباشر، والاستثناء الوحيد لهذا هو كبريتيد الهيدروجين المنبعث من الفوهات.^٢ ليس هذا الغاز غنياً بالطاقة بطبيعته، بل إن تفاعله مع الأكسجين هو الذي ينتج الطاقة، وهذا يعتمد على منطقة «التماس» بين الفوهات والمحيطات؛ التقاء عالمين في حالة ديناميكية من عدم التوازن. وحدها البكتيريا التي تعيش بجوار الفوهات مباشرة وتعتمد على كلا العالمين، وفي الوقت ذاته يمكنها القيام بهذه التفاعلات. وترعى حيوانات الفوهات نفسها على مراعي البكتيريا هذه، في حالة جموري الفوهات، أو تربى هذه البكتيريا داخلها، كما لو أنها مزرعة داخلية. وهذا يفسّر لنا لماذا، مثلاً، لا تحتاج الديدان الأنبوية العلاقة لقناة هضمية؛ إذ إنها تتغذى من الداخل على قطعان من البكتيريا. بيد أن المطلب القاسي المتمثل في ضرورة توفير كلٌ من كبريتيد الهيدروجين والأكسجين يضع الحيوانات المضيفة أمام معضلة مثيرة للاهتمام؛ إذ إن عليها احتواء القدر اليسير من كلا العالمين داخلها. ويمكن تفسير السواد الأعظم من التكوين التشريحي العجيب للديدان الأنبوية في ضوء هذه الضرورة القاهرة.

لم يستغرق الأمر وقتاً طويلاً حتى لفتت ظروف عالم الفوهات انتباه العلماء المعنيين بدراسة أصل الحياة، وأولهم عالم المحيطات جون باروس، من جامعة واشنطن بسياتل. حلّت الفوهات على الفور العديد من مشكلات الحساء، وأبرزها مشكلة الديناميكا الحرارية؛ إذ إن الماخن السوداء أبعد ما تكون عن التوازن. مع هذا، كان التفاعل بين الفوهات والمحيط مختلفاً في الأرض المبكرة؛ إذ لم يكن هناك سوى القليل من الأكسجين في ذلك الوقت، أو كان منعدماً تماماً. ولم تكن القوة المحركة وقتها هي التفاعل بين كبريتيد الهيدروجين والأكسجين، كما هو الحال في عملية التنفس الحديثة. على أي حال، فإن التنفس على المستوى الخلوي عملية معقدة لا بد أنها استغرقت وقتاً طويلاً كي

تطور، ومن المستحيل أن تكون هي مصدر الطاقة البدائي. بدلًا من ذلك؛ وفقاً لجونتر فاختزهاوزر – الكيميائي الألماني المعروف دائمًا ومحامي براءات الاختراع – فإن المركب الأولي للحياة كان تفاعلاً كبريتيد الهيدروجين مع الحديد لتكون بيريت الحديد، وهو تفاعل يتم تلقائياً، ويطلق قدرًا يسيراً من الطاقة يمكن اقتناصه، على الأقل من حيث المبدأ.

خرج فاختزهاوزر بمخطط كيميائي عن أصل الحياة لم يسبق أنْ فَكَرَ بمثله أحدُ. إن الطاقة التي يُطلقها تكون البيريت ليست كافيةً لتحويل ثاني أكسيد الكربون إلى مادة عضوية؛ لذا لجأ فاختزهاوزر إلى أول أكسيد الكربون بوصفه وسيطاً أكثر تفاعلاً، وهذا الغاز بالفعل موجود في الفوهات الحمضية. وقد حفز تفاعلات أخرى بطيئة بالاستعانة بالعديد من أملاح الحديد-الكبريت المعدنية، التي بدا أن لها قوة غير عادية بوصفها عاملًا محفزاً. وتكراراً لما حدث من قبل، تمكّن فاختزهاوزر وزملاؤه من إثبات العديد من هذه التفاعلات النظرية في المختبر، وهو ما أثبت أنها أكثر من مجرد نظرية مقبولة. كان ذلك عملاً أمعياً أطاح بعقود من الأفكار القديمة عن الكيفية التي ربما بدأت بها الحياة، وجعل الحياة تظهر في بيئه كالجحيم من أكثر المكونات غير المتوقعة، وتحديداً كبريتيد الهيدروجين وأول أكسيد الكربون وبيريت الحديد؛ غازين سامين وذهب الحمقى. على أحد العلماء، عند أول قراءة له لعمل فاختزهاوزر، قائلاً إن الأمر أشبه بالعثورصادفةً على ورقة علمية سقطت عبر منحنى زمني آتيٍة من نهاية القرن الحادي والعشرين.

لكن هل فاختزهاوزر محقٌ؟ وُجّهَ نَقْدٌ لاذعٌ لفاختزهاوزر هو الآخر، وهو ما يرجع في جزء منه إلى أن تفسيره ثوريٌّ بحقِّه، ويقلب الأفكار الأثيرة لوقت طويل رأساً على عقب، وفي جزء آخر إلى أن أسلوبه المتعجرف يميل إلى إثارة غضب زملائه العلماء، وفي جزء آخر إلى وجود مواطن شُكٌّ مشروعة في الصورة التي يرسمها. ربما يُعدُّ أبرز مواطن الضعف هو «مشكلة التركيز» التي أصابت هي الأخرى نظرية الحساء؛ فأي جزيئات عضوية يجب أن تتحلل في محيط من المياه، ومن ثمَّ يصير من المستبعد للغاية أن يلتقي بعضها ببعض ويتتفاعل لتكوين البوليمرات على غرار الـإن إيه والـدي إن إيه. لا يوجد شيء يحتويها. يرد فاختزهاوزر على هذا بالقول بأن كل تفاعلاته يمكن أن تقع على سطح الأملاح المعدنية مثل بيريت الحديد. بيده أن هذا أيضًا تكتنفه صعوبة معينة؛ وهي أن التفاعلات لا يمكنها أن تتم وصولاً إلى درجة الاتكمال إذا لم يتم إطلاق المنتجات النهائية من على سطح العامل المحفز؛ فكل شيء إما يختلط ببعضه أو يتبدّل.^٢

اقترح مايك راسل، الذي يعمل حالياً في مختبر الدفع النفاث في باسادينا، حلًّا لكل هذه المشكلات في أواسط ثمانينيات القرن العشرين. راسل أشبه بشاعر ذي رؤية علمية تنبعية، وهو يميل إلى استخدام «اللغة الجيولوجية الشعرية»، ونظرته للحياة مبنية على مبادئ الديناميكا الحرارية والكيمياء الجيولوجية التي تبدو غامضة بالنسبة للكثير من متخصصي الكيمياء الحيوية. لكن عَبر العقود، جذبت أفكار راسل عدداً متزايداً من المؤيدين، الذين يرون في رؤيته حلًّا عمليًّا فريداً لمسألة أصل الحياة.

يتفق كُلُّ من فاختزهاوزر وراسل على أن الفوهات الحرمائية تلعب دوراً محورياً في نشأة الحياة، لكن فيما وراء ذلك هما يختلفان أشد الاختلاف؛ فبينما يعتمد أحدهما على النشاط البركاني يعتمد الآخر على نقشه، وبينما يُفضل أحدهما الأحماس يُفضل الآخر القلوبيات. والعجيب بحق أن هاتين الفكرتين المتداخلتين لا يجمع بينهما إلا القليل من الأشياء المشتركة. اسمحوا لي بتوضيح ذلك.

إن أخاديد المحيط، التي تأوي المداخن السوداء، هي مصدر القاع البحري الجديد المتد. فمن مراكز النشاط البركاني هذه تُجبر الصهارة المرتفعة ببطء الصفائح التكتونية الملائقة لها على التباعد؛ فتتباعد الصفائح بعضها عن بعض بسرعة تُماثل سرعة نمو الأظافر. وبينما تتصادم هذه الصفائح المتحركة ببطء، تُجبر إحداها على الانزلاق أسفل أخرى، بينما ترتفع الثانية في اضطراب عظيم. إن سلاسل جبال الهيمالايا والأنديز والألب كلها برزت عن سطح الأرض بفعل تصدام الصفائح التكتونية بهذه الطريقة، لكن الحركة البطيئة للقشرة الحديثة على امتداد قاع المحيط تكشف أيضاً الصخور الجديدة الآتية من طبقة الوشاح، الطبقة الموجودة أسفل القشرة الأرضية مباشرةً؛ تلك الصخور تتسبب في وجود نوع ثانٍ من الفوهات الحرمائية، نوع مختلف بشدة عن المداخن السوداء، وهذا النوع من الفوهات هو الذي يناصره راسل بنفسه.

النوع الثاني من الفوهات ليس بفوهات بركانية، ولا يحتوي على أي صهارة. بدلاً من ذلك هو يعتمد على تفاعل هذه الصخور المنكشفة حديثاً مع مياه البحر. إن الماء لا يكتفي بتخلل هذه الصخور وحسب، بل إنه يتفاعل معها على نحو طبيعي، ويندمج داخلها، ويُغيّر من بنيتها لتكوين أملاح الهيدروكسيد المعدنية على غرار السربنتين المعروف بحجر الحياة (الذي سُمي بهذا الاسم لأنَّه يشبه الحراشف الخضراء المرقطة للحياة). يتسبَّب تفاعل الماء مع الصخور في تشققها وتكسرها، وهو ما يسمح للمزيد من ماء البحر

بتخلّها، وهكذا في عملية دائمة. إن معدل حدوث هذا التفاعل مذهل؛ إذ يُعتقد أن حجم المياه الحبيسة داخل الصخور بهذه الصورة يعادل حجم مياه المحيطات نفسه. ومع اتساع قاع المحيط، تتمدد هذه الصخور، ويتحتم على الصخور المشبعة بالمياه أن تنزلق أسفل صفيحة تكتونية أخرى، حيث تسخن بدرجة كبيرة ثانية داخل طبقة الوشاح. وقتها تتخلّي عما تحوي من مياه، مطلقة إياها في أحشاء الأرض. هذا التلوث بمياه البحر يدفع دورة الحمل الحراري إلى أعماق كبيرة داخل طبقة الوشاح، وهو ما يجرّ الصهارة على الخروج إلى السطح عبر أخاديد المحيطات والبراكين. وهكذا يعود النشاط البركاني العنيف لوكوكينا في الأساس إلى التدفق المتواصل لمياه البحر عبر طبقة الوشاح. هذا ما يبقى العالم في حالة من عدم التوازن، هذا هو ما يُحرّك كوكينا.^٤

لكنَّ تفاصُل مياه البحر مع الصخور الآتية من طبقة الوشاح يتسبّب فيما هو أكثر من النشاط البركاني الدءوب لوكوكينا؛ فهو أيضًا يطلق الطاقة على صورة حرارة، إلى جانب كميات ضخمة من الغازات كغاز الهيدروجين. في الواقع، يُغيّر التفاعل شكل كل ما هو مذاب بمياه البحر كما لو كان مرآة سحرية مشوهة، تعكس صورًا منتفخة غريبة تكون فيها كل عناصر التفاعل محملة بالإلكترونات (من الناحية الفنية يُقال عنها إنها «مخترلة»). الغاز الأساسي المنبعث هو الهيدروجين، وهو ما يرجع إلى أن مياه البحر هي في الغالب مياه، لكن ثمة وجود لمقادير أقل من الغازات الأخرى التي تذكرنا بخلط ستاني ميلر، والمفيدة للغاية في تكوين البنى السابقة على الجزيئات المعقدة كالبروتينات والدي إن إيه. وهكذا يتحول ثاني أكسيد الكربون إلى ميثان، والنитروجين إلى نشادر، والكبريتات إلى كبريتيد هيدروجين.

تشق الحرارة والغازات طريقها ثانية نحو السطح؛ حيث تبرز كنوع ثانٍ من الفوهات الحرماضية. يَبْدُأُّ هذا النوع يختلف قليلاً وقليلًا عن المداخن السوداء؛ إذ إنها ليست حمضية بالمرة، بل تميل إلى القلوية الشديدة. تكون هذه الفوهات دافئة أو حارّة، لكنها أقل حرارة بكثير من الأتون المتّقد للمداخن السوداء. عادةً ما تُوجّد هذه الفوهات بعيداً قليلاً عن أخاديد منتصف المحيط؛ مصدر قاع البحر الحديث المتّقد. وبدلًا من أن تكون مداخن عمودية سوداء ذات فتحة واحدة يتّدفق منها الدخان الأسود، فإنّها تميل إلى تكوين بنى معقدة مليئة بالحصى الدقيقة والحجيرات، التي تترسّب مع تخلّل السوائل الحرماضية القلوية الدافئة مياه المحيط الباردة أعلىها. أشكُّ أن سبب عدم معرفة الناس، سوى قلة نادرة، بهذا النوع من الفوهات يرجع إلى ذلك المصطلح المنفرد «التحول السرينتيني»

(والمشتق من اسم معدن السربنتين). لكن تسهيلاً للأمر لنطلق عليها «الفوهات القلوية» وحسب، حتى وإن بدا هذا المسمى ركيكاً مقارنة بمصطلح «الماخن السوداء» القوي. وسنعرف على المغزى الكامل من استخدام كلمة «قلوية» لاحقاً.

المثير للاهتمام أنه حتى وقت قريب كان قد جرى التنبؤ بوجود الفوهات القلوية نظرياً، لكنها لم تكن معروفة إلا من خلال قلة من الرواسب الحفرية. أشهر هذه الرواسب، في تينا بأيرلندا، عمرها ٢٥٠ مليون عام، وهي التي دفعت مايك إلى التفكير في الأمر في ثمانينيات القرن الماضي. وحين فحص قطاعاً رفيعاً من الصخور المسامية الآتية من فوهة حفرية قريبة تحت المجرأ الإلكتروني، وجد أن الحجيرات الرفيعة كانت مشابهة في الحجم للخلايا العضوية؛ إذ كان قطرها يبلغ عشر المليمتر أو أقل، وأنها كانت متصلة بعضها ببعض عبر مجموعة من الشبكات المتداخلة. وقد خمن أنه بالإمكان تكون خلايا معدنية مشابهة عندما اختلطت سوائل الفوهات القلوية بمياه المحيط الحمضي، وسريعاً ما نجح في إنتاج بنى صخرية مسامية عن طريق خلط القلوبيات بالأحماض. وفي خطاب نُشر بمجلة «نيتشر» في عام ١٩٨٨ ذكر راسل أن ظروف الفوهات القلوية تجعل منها مهد الحياة المثالي. وفرَّت الحجيراتُ وسيلةً طبيعيةً لتركيز الجزيئات العضوية، بينما أمدَّت الجدران، المكونة من أملاح الحديد-الكربونيت المعدنية على غرار «الماكيناوايت»، هذه الخلايا المعدنية بالخصائص المحفزة التي تصورها جونتر فاخترهاوزر. وفي ورقة بحثية نُشرت عام ١٩٩٤ اقترح راسل وزملاؤه أن:

الحياة نشأت من المجموع المتاممي لفقاعات كبريتيد الحديد التي تحتوي على محلول قلويٌّ حرمائيٌّ شديد الاختزال. تضخت هذه الفقاعات هيدروستاتيكياً في ينابيع الكبريت الساخنة الواقعة تحت مياه المحيط على مبعدة من المراكز المحيطية المتعددة منذ ٤ مليارات عام مضت.

كانت كلماتهم تنبئية؛ لأنه في ذلك الوقت لم يكن نظام الحياة داخل الفوهات القلوية الموجودة في الأعماق قد اكتُشف بعد. بعد ذلك، في مطلع الألفية الجديدة، عثر العلماء على متن الغواصة أطلنطس على هذا النوع من الفوهات عينيه، وذلك على بعد نحو خمسة عشر كيلومتراً من أخدود وسط الأطلسي، على جبل مغمور تحت الماء تصادف أنه يُسمى «مسيف أطلنطس». سُمي الموقع في النهاية باسم «المدينة المفقودة»، على غرار قارة أطلنطس المفقودة، وجعلت أعمدة الكربونات البيضاء المرتفعة قبلة السواد الحالك

للأعمق وأصابعها هذا المسمى ملائماً على نحو عجيب. لم يكن حقل الفوهات يبدو مثل أي شيء جرى اكتشافه من قبل. بعض الفوهات كانت في نفس ارتفاع الماخن السوداء، وأكبرها حجماً – التي تحمل اسم بوسايدون – وصل ارتفاعها إلى ستين متراً. بيده أن هذه الفوهات لم تكن بالبني القوية الراسخة، بل كانت هذه الأصابع الهشة ممزخرفة كالعمارنة القوطية، وملينة بـ«الرسوم المفرغة» حسب كلمات جون جوليوس نوريتش. هنا، كانت انبعاثات الفوهات الحرمائية عديمة اللون، معطية الانطباع بأن المدينة هُجرت على نحو مفاجئ، وحفظت طوال كل هذا الوقت ببهائها القوطي المعقد. لا وجود لداخلن سوداء قبيحة، بل فوهات بيضاء هشة، تشير هيكلها المتحجرة نحو السماء (انظر الشكل ٢-١).

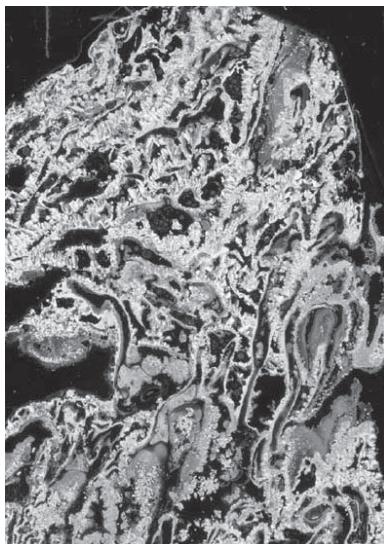
قد تكون هذه الانبعاثات غير مرئية، بيده أنها حقيقة لا مراء فيها، وهي قادرة على استضافة مدينة حية. لا تتألف هذه الفوهات من أملاح الحديد-الكربون المعدنية (نادرًا ما يذوب الحديد في مياه المحيط الغنية بالأكسجين، وتنتهي راسل متصلة بحقب زمنية شديدة القدم)، لكن لا تزال بنيتها مسامية، متاحة من الحجيرات المجهريّة ذات جدران من الأرجونيت الهش (انظر الشكل ٣-١). ومن العجيب أن البني القديمة التي صمتت ولم تَعُدْ تُفُور بالسوائل الحرمائية أكثر صلابة بمراحل؛ إذ تمتلئ مسامتها بالكلاسيت. على النقيض، تتعجب الفوهات الحية بالحياة؛ إذ تمتلئ مسامتها بالنشاط البكتيري الصاخب الذي يتجلّ في عدم التوازن الكيميائي في أوضح صوره. تُوجَد هناك أيضًا حيوانات، تُماثل في تنوعها تلك الموجودة حول الماخن السوداء، وإن كانت تقل عنها كثيراً من حيث الحجم. يبدو أن سبب ذلك يتعلق بالبيئة؛ فبكتيريا الكربون التي تعيش في الماخن السوداء تتکيف بسرعة مع الحياة داخل عوائلها من الحيوانات، بينما البكتيريا (أو تحديداً العتائق) التي عُثر عليها في المدينة المفقودة لا تدخل في مثل هذا النوع من الشرارة. وفي ظل انعدام «المزارع» الداخلية، تنمو حيوانات الفوهات بشكل أقل كفاءة.

الحياة في المدينة المفقودة مبنية على تفاعل الهيدروجين مع ثاني أكسيد الكربون، الذي هو في الحقيقة أساس الحياة كلها على كوكبنا. ففي المدينة المفقودة، وعلى نحو غير معتاد، يتم التفاعل على نحو مباشر، بينما في كل الحالات الأخرى يتم على نحو غير مباشر؛ فالهيدروجين الخام، المنبعث من الأرض على صورة غاز، هدية نادرة الوجود على كوكبنا، وعادة ما تكون الحياة مجبرة على البحث عن إمدادات خفية من ذرات هذا الغاز تكون مرتبطة في روابط جزيئية محكمة بذرات أخرى؛ مثل الماء أو كبريتيد الهيدروجين.



شكل ٢-١: فوهة قلوية نشطة ارتفاعها ٣٠ متراً، تُعرف باسم «نيتشر تاور»، موجودة في حقل «المدينة المفقودة»، وتبعد من القاعدة الصخرية السربنتينية. المناطق النشطة تظهر بالأبيض الساطع. العلامات تساوي ارتفاعاً قدره متر واحد.

ونزع الهيدروجين من مثل هذه الجزيئات وربطه بثاني أكسيد الكربون يستهلك طاقة، طاقة تأتي في النهاية من الشمس على صورة بناءً ضوئيًّا، أو من خلل التوازن الكيميائي في عالم الفوهات. فقط في حالة غاز الهيدروجين نفسه يحدث التفاعل على نحوٍ تلقائيًّا، وإن كان بطبيعة الحال. لكن من المنظور الديناميكي الحراري، هذا التفاعل بمنزلة غذاء مجاني يُدفع لك مقابل تناوله (حسب تعابير إيفريت شوك البارز). بعبارة أخرى، يولد التفاعل جزيئاتٍ عضويةً على نحوٍ غير مباشر، ويُطلق على الفور كميةً غنيةً من الطاقة يمكن استخدامها، نظرياً، في دعم التفاعلات العضوية الأخرى.



شكل ٣-١: بنية مجهرية لإحدى الفوهات القلوية تظهر بها الحجيرات المتداخلة التي توفر ملادًّا مثالياً لنشأة الحياة. المقطع المبين يبلغ عرضه نحو سنتيمتر واحد وسُمكه نحو ٢٠ ميكروناً.

هكذا تستوفي فوهات راسل المقومات الضرورية لنشأة الحياة؛ فهي جزء لا يتجزأ من نظام يقلب سطح الكره الأرضية رأساً على عقب، ويعزز النشاط البركاني المتواصل للكوكب. وهي تفتقر على نحو متواصل للتوازن مع المحيطات، وتتفتت مخزوًناً ثابتًا من الهيدروجين الذي يتفاعل مع ثاني أكسيد الكربون لتكوين الجزيئات العضوية. وهي تكون متاهة من الحجيرات المسامية التي تحتفظ بأي جزيئات عضوية تتكون وتركزها، وهو ما يجعل عملية تجميع البوليمرات، كالآخر إن إيه، أمراً مرجحاً بشدة (كما سنرى في الفصل التالي). وهي طويلة العمر؛ ففوهات المدينة المفقودة تعمل منذ أربعين ألف عام، أي تبلغ من العمر ضعفي عمر أغلب المداخن السوداء. كما أنها كانت وفيرة العدد في الأرض المبكرة، حين كانت طبقة الوشاح التي تَقْدِ حارتها تتلامس بشكل مباشر مع المحيطات. في تلك الأيام أيضًا كانت المحيطات مُحمَّلة بالحديد الذائب، وكانت

الحجيرات المجهرية تملك جدراناً محفزة مُكونة من أملاح الحديد-الكربون المعدنية، على غرار حفريات الفوهات الموجودة في تينا بأيرلندا. في الواقع الأمر كانت هذه الفوهات تعمل كمفاعلات تدفق طبيعية؛ حيث تعمل التتريجات الحرارية والكهروكيميائية على تدوير السوائل المتفاعلة عبر الحجيرات المحفزة.

كل هذا لا يأس به، لكن من النادر أن يتمكن مفاعل وحيد، مهما كان ذا قيمة، من أن يؤلف الحياة بأسرها. كيف تقدمت الحياة من مثل هذه المفاعلات الطبيعية إلى ذلك النسيج المعقد البديع من الابتكار والبراعة الذي يحيط بنا؟ الإجابة – بالطبع – مجهولة، لكن ثمة دلائل تأتينا من خصائص الحياة نفسها، وعلى الأخص من لُبِّ داخليٍّ من التفاعلات المحفوظة بعمق تتشاركه كل أشكال الحياة على الأرض اليوم. لب الأيض هذا، الحفرية الداخلية للحياة، يحتفظ بأصداء آتية من الماضي البعيد، أصداء تتناغم مع الأصول البدائية للحياة داخل الفوهات الحرمائية القلوية.

ثمة سبيلان لدراسة أصل الحياة: «من الأسفل إلى الأعلى» و«من الأعلى إلى الأسفل». حتى الآن في هذا الفصل تناولنا أصل الحياة «من الأسفل إلى الأعلى»؛ إذ تدبرنا الظروف الجيوكيميائية وتدرجات الديناميكا الحرارية التي من المرجح أنها وُجدت في الأرض المبكرة. وقد توصلنا إلى أن الفوهات الحرمائية الدافئة الموجودة في أعماق المحيطات، والتي تغلي بفقاعات الهيدروجين وتنتفت في مياه المحيط المشبعة بثنائي أكسيد الكربون، هي أكثر البيئات ترجيحاً لظهور الحياة. كان من شأن هذه المفاعلات الكهروكيميائية الطبيعية أن تستطيع توليد كلٌّ من الجزيئات العضوية والطاقة، لكننا لم نتدبر بعد أي تفاعلات تحديداً وقعت، أو كيف أدت إلى الحياة التي نعرفها.

الدليل الوحيد الحقيقي لمعرفة ما صارت عليه الحياة هو الحياة كما نعرفها اليوم، بمعنى دراسة أصل الحياة «من الأعلى إلى الأسفل». يمكننا تصنيف كل السمات التي تتقاسمها الكائنات الحية كي نعيده بناءً السمات الافتراضية التي اتصف بها آخر سلف مشترك عام». وهكذا، مثلاً، يمكن أن نستنتج من حقيقة أن مجموعة فرعية صغيرة فقط من البكتيريا قادرة على القيام بالبناء الضوئي أنه من غير المرجح أن يكون هذا السلف المشترك نفسه قد اتسم بهذه السمة. فلو كان كذلك لتعينَ على قطاع كبير من ذريته أن يتخلَّ عن مهارة قيمة، وهو ما يبدو أمراً بعيداً الاحتمال وإن تعذر إقصاؤه كلية على نحوٍ مؤكَّد. وعلى العكس، تتقاسم كل أشكال الحياة على الأرض سمات مشتركة: فكل الكائنات

الحياة مكونة من خلايا (خلا الفيروسات، التي يمكنها العمل فقط داخل الخلايا)، وكلها تملك جينات مكونة من الـ دـي إن إـيه، وكـاـلـاـ تـشـفـرـ البرـوتـيـنـاتـ بـواـسـطـةـ شـفـرـةـ عـامـةـ منـ أـجـلـ تـكـوـيـنـ أـحـمـاصـ أـمـيـنـيـةـ بـعـيـنـهـاـ. كلـ الـكـائـنـاتـ الـحـيـةـ تـتـشـارـكـ فـيـ عملـ طـاـقةـ وـاحـدـةـ،ـ تـعـرـفـ بـثـلـاثـيـ فـوـسـفـاتـ الـأـدـيـنـوـسـيـنـ الـذـيـ يـعـمـلـ عـلـىـ نـحـوـ أـشـبـهـ بـالـوـرـقـةـ الـنـقـدـيـةـ فـئـةـ عـشـرـةـ جـنـيـهـاتـ اـسـتـرـلـيـنـيـةـ،ـ بـحـيـثـ يـمـكـنـهـ أـنـ «ـيـسـدـ ثـمـنـ»ـ كـلـ أـنـوـاعـ الـعـلـمـ الـخـاصـ بـالـخـلـيـةـ (ـالـمـزـيدـ عـنـ هـذـاـ لـاحـقاـ).ـ وـهـكـذـاـ يـمـكـنـاـ أـنـ نـسـتـتـجـ مـنـطـقـيـاـ أـنـ كـلـ الـكـائـنـاتـ الـحـيـةـ وـرـثـتـ سـمـاتـهاـ المـشـرـكـةـ مـنـ ذـلـكـ السـلـفـ الـبـعـيـدـ المشـترـكـ.

كلـ أـشـكـالـ الـحـيـةـ الـيـوـمـ تـتـقـاسـمـ أـيـضـاـ جـوـهـرـاـ مـشـترـكـاـ مـنـ تـفـاعـلـاتـ الـأـيـضـ،ـ الـتـيـ تـقـبـعـ فـيـ قـلـبـهـ دـورـةـ صـغـيرـةـ مـنـ التـفـاعـلـاتـ مـعـروـفـةـ باـسـمـ دـورـةـ حـمـضـ الـسـتـرـيكـ،ـ أوـ دـورـةـ كـرـبـسـ عـلـىـ اـسـمـ السـيـرـ هـانـزـ كـرـبـسـ،ـ الـعـالـمـ الـأـلـاـنـيـ الـحـائـرـ جـائـزـ نـوـبـلـ وـأـولـ مـنـ فـسـرـ عـلـمـ الدـوـرـةـ فـيـ شـيفـيلـيدـ فـيـ ثـلـاثـيـنـياتـ الـقـرـنـ الـعـشـرـيـنـ،ـ بـعـدـ أـنـ فـرـ مـنـ النـازـيـنـ.ـ لـدـورـةـ كـرـبـسـ مـكـانـةـ جـلـيلـةـ فـيـ الـكـيـمـيـاءـ الـحـيـوـيـةـ،ـ لـكـنـ لـأـجيـالـ مـنـ الـدارـسـيـنـ بـدـأـتـ هـذـهـ الدـوـرـةـ كـأـسـوـأـ نـوـعـ مـنـ الـتـارـيـخـ الـعـتـيقـ الـلـيـهـ؛ـ فـكـانـواـ يـسـتـظـهـرـونـهـاـ دـوـنـ فـهـمـ فـيـ أـوـقـاتـ الـاخـتـيـارـاتـ ثـمـ يـنـسـونـهـاـ بـعـدـ ذـلـكـ.

لـكـنـ ثـمـةـ شـيـءـ مـمـيـزـ فـيـ دـورـةـ كـرـبـسـ؛ـ فـعـلـ جـدـرانـ حـجـرـاتـ أـقـسـامـ الـكـيـمـيـاءـ الـحـيـوـيـةـ الـتـيـ يـعـوـزـهـاـ التـنـظـيمـ –ـ تـلـكـ الـحـجـرـاتـ الـتـيـ تـجـدـ فـيـهـاـ أـكـوـاـمـاـ مـنـ الـكـتـبـ وـالـأـورـاقـ مـكـدـسـةـ عـلـىـ الـمـاـكـاتـ وـتـكـادـ تـقـعـ عـلـىـ الـأـرـضـ وـعـلـىـ سـلـةـ الـمـهـلـاتـ الـتـيـ لـمـ تـفـرـغـ مـنـدـ سـنـوـاتـ –ـ عـادـهـ مـاـ سـتـجـدـ رـسـمـاـ تـخـطـيـطـيـاـ بـاهـتـاـ مـجـعـداـ بـالـيـاـ لـعـلـمـيـةـ الـأـيـضـ،ـ وـحـينـ تـنـظـرـ إـلـىـ مـثـلـ هـذـهـ الـمـخـطـطـاتـ بـمـزـيدـ مـنـ الـاـنـبـهـارـ وـالـرـعـبـ أـثـنـاءـ اـنـتـظـارـكـ عـودـهـ أـسـتـاذـكـ،ـ سـتـجـدـ أـنـهـاـ ذاتـ درـجـةـ تـعـقـيـدـ صـادـمـةـ،ـ وـكـانـهـاـ خـرـيـطـةـ وـضـعـهـاـ مـجـنـونـ لـمـتـروـ الـأـنـفـاقـ؛ـ فـهـيـ مـلـيـئـةـ بـالـأـسـهـمـ الصـغـيرـةـ الـتـيـ تـشـيرـ فـيـ كـلـ اـتـجـاهـ،ـ وـيـلـتـفـ بـعـضـهـاـ حـولـ بـعـضـ.ـ وـمـعـ أـنـهـاـ بـاهـتـةـ،ـ فـإـنـكـ سـتـتـبـيـنـ أـنـ هـذـهـ الـأـسـهـمـ كـلـهـاـ تـحـمـلـ أـلـوـانـاـ رـمـزـيـةـ تـشـيرـ إـلـىـ مـسـارـاتـ مـخـلـفـةـ،ـ حـيـثـ الـبـرـوتـيـنـاتـ بـالـلـوـنـ الـأـحـمـرـ وـالـشـحـومـ بـالـأـخـضـرـ وـهـكـذاـ.ـ قـرـبـ الـجـزـءـ السـفـلـيـ لـلـمـخـطـطـ سـتـجـدـ دـائـرـةـ ضـيـقةـ صـغـيرـةـ تـعـطـيـ الـانـطـبـاعـ بـأـنـهـاـ مـرـكـزـ ثـورـةـ الـأـسـهـمـ تـلـكـ،ـ رـيـبـاـ تـكـوـنـ هـيـ الـدـائـرـةـ الـوـحـيـدـةـ عـلـىـ الـخـرـيـطـةـ كـلـهـاـ،ـ وـهـيـ بـالـتـأـكـيدـ الـجـزـءـ الـوـحـيـدـ الـمـرـتـبـ فـيـهـاـ.ـ هـذـهـ هـيـ دـورـةـ كـرـبـسـ.ـ وـبـيـنـماـ تـنـظـرـ إـلـيـهـاـ مـجـدـاـ سـتـبـيـنـ أـنـ كـلـ الـأـسـهـمـ الـمـلـوـنـةـ عـلـىـ الـمـخـطـطـ تـخـرـجـ مـنـ دـورـةـ كـرـبـسـ،ـ وـكـانـهـاـ بـرـامـقـ عـجلـةـ مـشـوـهـةـ.ـ إـنـهـاـ مـرـكـزـ كـلـ شـيـءـ،ـ جـوـهـرـ الـأـيـضـ بـالـخـلـيـةـ.

لـمـ تـعـدـ دـورـةـ كـرـبـسـ مـبـهـمـةـ الـآنـ.ـ فـقـدـ بـيـنـتـ أـحـدـثـ الـأـبـحـاثـ الطـبـيـةـ أـنـهـاـ تـقـعـ فـيـ قـلـبـ جـمـيعـ الـعـلـمـيـاتـ الـبـيـولـوـجـيـةـ لـلـخـلـيـةـ إـلـىـ جـانـبـ عـلـمـيـاتـ الـكـيـمـيـائـيـةـ أـيـضـاـ.ـ وـمـنـ شـأنـ التـغـيرـ

في سرعة دوران هذه الدائرة التأثير على كل شيء من الشيخوخة إلى السرطان إلى حالة الطاقة. لكن ما مماثلًّا مفاجأةً أكبر هو أن دورة كربس يمكنها الدوران إلى الخلف. في المعتاد تستهلك الدورة الجزيئات العضوية (من الغذاء) وتطلق الهيدروجين (المقدر له أن يحترق برفقة الأكسجين في عملية التنفس) وثاني أكسيد الكربون. وبهذا لا توفر الدورة المتطلبات الأساسية للمسارات الأيضية وحسب، بل إنها تنتج أيضًا حزماً صغيرة من الهيدروجين المطلوب من أجل توليد الطاقة كثلاثي فوسفات الأدينوسين. حين تسير الدورة على نحو معakens ينقلب الأمر؛ إذ تمتضي ثانية أكسيد الكربون والهيدروجين كي تكون نوعاً جديداً من الجزيئات العضوية، وكلها الوحدات البنائية الأساسية للحياة. لكن بدلاً من إطلاق الطاقة مع دورانها، تستهلك الدورة العكسية ثلاثة فوسفات الأدينوسين. فإذا وفرت لها ثلاثة فوسفات الأدينوسين وثانية أكسيد الكربون والهيدروجين، تخرج الدورة الوحدات البنائية الأساسية للحياة، كما لو كان بفعل السحر.

هذا الدوران المعakens لدورة كربس ليس شائعاً حتى في البكتيريا، لكنه شائع نسبياً في البكتيريا التي تعيش في الفوهات الحرمانية. إنها وسيلة مهمة، وإن كانت بدائية، لتحويل ثاني أكسيد الكربون إلى الوحدات البنائية للحياة. وقد عكف الكيميائي الحيوي البارز بجامعة بيل هارولد موروفيتس، الذي يعمل حالياً بمعهد كراسنو للدراسات المتقدمة بفيرفاكس، فيرجينيا، على رصد خصائص دورة كربس العكسية عدة سنوات. وبصورة عامة تقضي النتيجة التي توصل إليها بأنه في ظل تركيزات كافية من كل المكونات، ستدور الدورة من تلقاء نفسها. إنها عملية كيميائية بسيطة: إذا زاد تركيز أي وسيط؛ فسيميل إلى التحول إلى الوسيط التالي بالتبعية. والجزيئات العضوية الموجودة بدوره كربس هي أكثر الجزيئات العضوية الممكنة ثباتاً؛ ومن ثم هي الأكثر ترجيحاً في التكثُّن. بعبارة أخرى، لم «تُخترع» دورة كربس بواسطة الجينات، بل هي مسألة كيمياء احتمالات وديناميكا حرارية. وحين تطورت الجينات، لاحقاً، أدارت هذه العملية الكيميائية التي كانت موجودة بالفعل، تماماً مثلما يكون مايسترو الفرقة الموسيقية مسؤولاً عن عملية تفسير القطعة الموسيقية — من حيث سرعة الإيقاع والوقفات الفرعية — لكن ليس الموسيقى نفسها. فالموسيقى موجودة طوال الوقت؛ موسيقى كونية.

بمجرد البدء في دورة كربس وتزويدها بمصدر للطاقة، تشير التفاعلات الجانبية أمراً محتملاً، وتؤدي إلى ظهور متطلبات الحياة الأكثر تعقيداً على غرار الأحماض الأمينية والنيوكليوتيدات. إن مسألة تحديد أي مقدار من عملية الأيض الجوهرية للحياة على

الأرض جاء بصورة طبيعية، وأي مقدار أتى لاحقاً نتاجاً للجينات والبروتينات قضيةٌ مثيرةٌ للاهتمام، بَيْدَ أَنَّها خارج نطاق كتابنا هذا، لكنني أود أن أوضح نقطة عامة؛ وهي أن الغالبية العظمى من محاولات تخليل وحدات الحياة البنائية كانت تقليدية أكثر مما ينبغي. فهي تبدأ بجزئيات بسيطة كالسيانيد، التي ليس لها أدنى علاقة بكيمياء الحياة كما نعرفها (في الواقع هي بمنزلة اللعنة لها)، ثم تعمد إلى تخليل وحدات الحياة البنائية من خلال معالجة عوامل مثل الضغط أو درجة الحرارة أو التفريغ الكهربائي، وهي عوامل جماعتها غير بيولوجية بالمرة. لكن ماذا سيحدث حين تبدأ بجزئيات لدورة كربس وبعض ثلاثي فوسفات الأدينوسين في الأحوال المثلية داخل مفاعل كهروكيميائي كالذى اقترحته مايك راسل؟ كم عدد المخططات الأيضية البالية التي تظهر على نحو تلقائياً من هذه المكونات فيما يشبه تجسيداً أثيرياً يمتلىء تدريجياً من الأسفل بأكثر الجزيئات ترجيحاً من منظور الديناميكا الحرارية؟ لست الوحيد الذي يشك في ظهور العديد منها، ربما وصولاً لمستوى البروتينات (وتحديداً عديدات الببتيد) والأرإن إيه، وعند هذه النقطة يبدأ الانتقاء الطبيعي في تولي الأمر برمته.

كل هذا خاضع للتجريب، وأغلب هذه التجارب لم يتم حتى الآن. ولكي يكون أيُّ من هذا واقعياً؛ سنحتاج لعملية إنتاج أنيقة ثابتة لذلك المكوّن السحري، ثلاثي فوسفات الأدينوسين. وفي هذا الصدد ربما تشعر أننا نستبق الأمور قليلاً؛ إذ نحاول الجري قبل أن نتعلم المشي. كيف يمكننا توليد ثلاثي فوسفات الأدينوسين؟ الإجابة الأكثر إقناعاً في نظري تأتي من بيل مارتن، الكيميائي الحيوي الأمريكي اللامع والمصريح دائماً، الذي هجر الولايات المتحدة للعمل في وظيفة أستاذ لعلم النبات في جامعة دوسلدورف. ومن هنا، كان مارتن مصدرًا لدفق ثابت من الأفكار المخالفة للسائد بشأن أصل كل شيء تقريباً له أهمية في علم الأحياء. قد تكون بعض هذه الأفكار خاطئة، لكنها دائمًا ما تكون شديدة وغالباً ما تجعل المرء يرى البيولوجيا من منظور مختلف. منذ بضع سنوات جلس مارتن مع مايك راسل، وتدارس الاثنان عملية الانتقال من الكيمياء الجيولوجية إلى الكيمياء الحيوية، ومنذ ذلك الوقت والأفكار تتتدفق في حرية. لِنُلْقِ نظرةً على هذه الأفكار.

عاد مارتن وراسل إلى الأساسيات؛ تدفق الكربون إلى العالم العضوي. فقد ذَكَرَ أنه تُوجَد اليوم خمسة سبل أرضية فقط يمكن بها للنباتات والبكتيريا أن تُدخل الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون إلى عالمها الحيّ؛ من أجل توليد المادة العضوية، وأحد هذه السُّبُل

هو دورة كربس العكسية كما رأينا. أربعة من السبل الخمسة تستهلك ثلاثة فوسفات الأدينوسين (مثلاً تفعل دورة كربس)؛ وبهذا لا يمكن أن تحدث إلا في وجود مدخل من الطاقة. لكن السبيل الخامس، التفاعل المباشر للهيدروجين مع ثاني أكسيد الكربون، لا يُنْتَج جزيئات عضوية وحسب، بل ويُطْلِق طاقة أيضًا. ثمة مجموعتان من الكائنات القديمة تفعل هذا تحديًّا، عن طريق سلسلة من الخطوات المشابهة بصورة عامة. قابلنا بالفعل إحدى هاتين المجموعتين؛ العتاائق التي تعيش في حقل فوهات المدينة المفقودة.

إذا صَحَّ رأي مارتن وراسل، فإن الأسلاف البعيدة لهذه العتاائق كانت تؤدي مجموعة التفاعلات نفسها في بيئه مطابقة تقريبًا، وذلك منذ ٤ مليارات عام، أي في فجر الحياة. لكن تفاعل الهيدروجين مع ثاني أكسيد الكربون ليس مباشرةً كما يبدو؛ لأن الجزيئين لا يتفاعلان على نحو تلقائي. إنهم «خجلان» إلى حدٍ ما، ويحتاجان إلى عامل مساعد يقنعهما بالتفاعل، كما أنها يحتاجان مدخلاً صغيراً من الطاقة لبدء التفاعل. وعندئذٌ فقط يتَّحد الجزيئان، ويطلقان المزيد من الطاقة مع اتحادهما. العامل المساعد بسيطٌ للغاية؛ فالإنزيمات التي تحفظ على التفاعل اليوم تحوي عناقيد صغيرة من الحديد والنحيل والكربيت في أليابها لها تركيب مشابه للغایة لتركيب الأملاح المعدنية الموجودة في الفوهات. يُرجح هذا أن الخلايا البدائية ضمت عالماً مساعداً جاهزاً بالفعل، وهو الملهم الذي يشير إلى قِدَم هذا السبيل؛ إذ إنه لا يتطلب تطوير بروتينات مُعَقدَة. وكما يُعبَر مارتن وراسل عن الأمر فإن لهذا السبيل جذوراً صخرية.

اتَّضح أن مصدر الطاقة الذي كان مطلوبًا لإتمام التفاعل، على الأقل في عالم الفوهات، هو الفوهات نفسها. فقد أوضح ناتج غير متوقع للتفاعل عن تأثيرها؛ نوع مشع من الخل يُعرف باسم «أسيتيل ثيوإستر».٦ تتكون جزيئات الأسيتيل ثيوإستر؛ لأن ثاني أكسيد الكربون ثابت إلى حدٍ ما ويقاوم هجوم الهيدروجين، لكنه ضعيف حال شظايا «الجذور الحرة» للكربون أو الكربيت الموجود بالفوهات والأكثر تفاعلاً. نتيجة لذلك، تأتي الطاقة المطلوبة لإقناع ثاني أكسيد الكربون بالتفاعل مع الهيدروجين من الفوهات نفسها على صورة جذور حرة متفاولة، وهذه هي التي تنتج جزيئات الأسيتيل ثيوإستر.

لجزيئات الأسيتيل ثيوإستر أهمية كبيرة لأنها تُوجَد في نقطة تفرع قديمة في عملية الأيض، والتي لا تزال موجودة في كائنات اليوم. فحين يتفاعل ثاني أكسيد الكربون مع الأسيتيل ثيوإستر تكون بهذا على طريق تكون الجزيئات العضوية الأكثر تعقيداً. يحدث التفاعل على نحو تلقائيٍّ ويطلق طاقة؛ كي ينتَج جزيئاً ذا ثلات ذرات من الكربون يُسمَّى

البيروفات؛ وهو الاسم الذي من شأنه أن يثير اهتمام الكيميائيين الحيويين؛ لأنَّه أحد نقاط الدخول إلى دورة كربس. بعبارة أخرى، ينقلنا عدد قليل من التفاعلات — كلها مواتية من المنظور الديناميكي الحراري، وعدد منها يُحفَّز بواسطة إنزيمات ذات عناقيد أشبه بالأملاح المعدنية في أليافها، ما يمنحها «جذوراً صخرية» — مباشرة إلى القلب الأيضي للحياة؛ دورة كربس، دون أي جلبة إضافية. وبمجرد الدخول إلى دورة كربس، كل ما ستحتاج إليه هو إمداد ثابت من ثلاثي فوسفات الأدينوسين لبدء عملها، من أجل توليد الوحدات البنائية للحياة.

الطاقة تحديداً هي ما ينتج عن الطرف الآخر لهذا التفاعل، حين يتفاعل الفوسفات مع جزءِ أسيتيل ثيوإستر آخر. يجب الإقرار بأنَّ هذا التفاعل لا ينتج ثلاثي فوسفات الأدينوسين، بل صورة أبسط منه تُسمى أسيتيل الفوسفات. ومع هذا يؤدي الناتج نفس الغرض ويُستخدم هو الآخر إلى جوار ثلاثي فوسفات الأدينوسين من جانب بعض أنواع البكتيريا اليوم. وهو يفعل نفس ما يفعله ثلاثي فوسفات الأدينوسين؛ إذ ينقل مجموعة الفوسفات المتفاعلة الخاصة به إلى جزيئات أخرى، مانحاً إياها دفعة الطاقة التي تنشطها بدورها. هذه العملية تشبه لعبة المطاردة التي يلعبها الأطفال، والتي فيها يتبعن على الطفل «المطارد» أن يلمس طفلاً آخر حتى يصير الطفل الثاني هو «المطارد» بدلاً منه. وعلى الطفل «المطارد» أن ينشط كي ينقل الدور إلى طفل آخر غيره. تتم عملية نقل الفوسفات من جزءٍ إلى آخر بالطريقة عينها تقريباً؛ إذ تنشط عملية النقل الجزيء المتلقى الذي لولاهما لظل خاملاً. هذه هي الصورة التي يستطيع بها ثلاثي فوسفات الأدينوسين تحريك دورة كربس بشكل عكسي، ويفعل أسيتيل فوسفات الأمر عينه. وبمجرد نقل الفوسفات النشط، يتبقى لدينا الخل؛ وهو منتج شائع للبكتيريا اليوم. في المرة التالية التي تفتح فيها زجاجة نبيذ فاسد (أي تحول النبيذ بها إلى خل) فكراً قليلاً في البكتيريا التي تعمل داخل الزجاجة، وتولد منتجاً مهملاً قدِّم الحياة ذاتها، لكنَّ هذا المنتج المهمل أعلى مكانة من أفراد أنواع النبيذ.

بوضع كل هذا معاً، تعمل الفوهات الحرمانية القلوية على توليد جزيئات أسيتيل ثيوإستر على نحو متواصل، وتتوفر كلاً من نقطة بداء تكون الجزيئات العضوية الأكثر تعقيداً والطاقة المطلوبة لتصنيعها، وذلك في صيغة مماثلة في جوهرها لتلك المستخدمة في الخلايا اليوم. توفر خلايا الأملاح المعدنية التي تتخلل الفوهات في الوقت عينه وسيلة لتركيز المنتجات، وتعزيز هذه التفاعلات، وكعامل مساعد لتسريع العملية، وذلك دون

احتياج لأي بروتينات معقدة في هذه المرحلة. وأخيراً، يعني انبعاث الهيدروجين وغيره من الغازات الأخرى داخل متاهة خلايا الأملاح المعدنية أن كل المواد الخام تتجدد على نحو متواصل وتحتاط على نحوٍ تام. إنها ينبوع الحياة بحق، خلاً تفصيلة واحدة تافهة لها تبعات عميقة للغاية.

تعلق المشكلة بدفعـة الطاقة الصغيرة المطلوبة مقدماً لتدفـة العلاقات بين الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون. ذكرت أن هذه ليست مشكلة في الفوهـات نفسها؛ لأن الظروف الحرمانـية تعمل على تكوين جذور حـرة متفاعلـة تبدأ العمـلية، بيـد أنها مشكلـة حـقيقة للخلايا المستقلـة التي لا تعيش داخل الفوهـات؛ فهي تحتاج عوـضاً عن ذلك إلى استهـلاك ثـلـاثـي فـوسـفـاتـ الأـديـنـوـسـينـ لـبدـءـ التـفـاعـلـ، ما يـشـبـهـ شـرـاءـ المـشـرـوبـ منـ أـجـلـ إذـابـةـ الجـمـودـ فيـ المـوـعـدـ الغـرامـيـ الأولـ. ما مشـكلـةـ ذـلـكـ الـأـمـرـ؟ المشـكلـةـ حـسابـيةـ بـالـأـسـاسـ؛ فـتفـاعـلـ الهـيدـروـجـينـ معـ ثـانـيـ أـكـسـيدـ الـكـرـبـونـ يـُطـلـقـ طـاقـةـ تـكـفيـ لـتـولـيدـ جـزـيءـ واحدـ منـ ثـلـاثـيـ فـوسـفـاتـ الأـديـنـوـسـينـ. لكنـ إـذـاـ اـسـتـهـلـكـ جـزـيءـ واحدـ منـ ثـلـاثـيـ فـوسـفـاتـ الأـديـنـوـسـينـ، فـلنـ يـصـيرـ لـدـيكـ مـكـسـبـ صـافـ. وإنـاـ لمـ يـكـنـ لـدـيكـ أيـ مـكـسـبـ صـافـ فـلنـ تـسـتـطـعـ بـدـءـ دـورـةـ كـرـبـسـ، ولـنـ تـنـتـجـ أيـ جـزـيـئـاتـ عـضـوـيـةـ مـعـقـدـةـ. قدـ تـسـتـطـعـ الـحـيـاةـ الـاستـمـارـ دـاخـلـ الفـوهـاتـ، لكنـ سـيـكـتـبـ عـلـيـهـ الـإـرـتـبـاطـ بـالـفـوهـاتـ إـلـىـ الـأـبـدـ بـوـاسـطـةـ حـبـلـ سـرـّيـ دـيـنـامـيـكـيـ حـرـارـيـ لـاـ يـمـكـنـ قـطـعـهـ مـطـلـقاـ.

من الواضح أن الحياة ليست مقصورة على الفوهـاتـ. إذاـ لمـ يـكـنـ كـلـ هـذـاـ تـصـوـرـاـ زـائـفاـ بـالـكـاملـ، فـمـاـ المـخـرـجـ؟ كـانـتـ الإـجـابةـ التـيـ اـقـرـحـهاـ مـارـتنـ وـرـاسـلـ مـدـهـشـةـ؛ لأنـهـاـ تـفـسـرـ لـنـاـ لـمـاـذـاـ تـسـتـفـيدـ الـحـيـاةـ الـيـوـمـ مـنـ وـسـيـلـةـ تـنـفـسـ غـرـيبـةـ بـالـكـامـلـ لـتـولـيدـ الطـاقـةـ، رـبـماـ تـعـدـ أـكـثـرـ آـلـيـةـ مـحـيـرـةـ مـنـافـيـةـ لـلـمـنـطـقـ فـيـ عـلـمـ الـأـحـيـاءـ بـأـسـرـهـ.

في رواية «دلـيلـ المسـافـرـ إـلـىـ المـجـرـةـ» يـهـبـطـ أـسـلـافـ الـبـشـرـ الـمـعاـصـرـينـ الـحـمـقـىـ بـالـكـامـلـ عـلـىـ كـوكـبـ الـأـرـضـ وـيـحـلـونـ محلـ الرـجـالـ الـقـرـودـ. بـعـدـ ذـلـكـ يـشـكـلـونـ لـجـنةـ فـرعـيـةـ لـإـعادـةـ اـخـتـرـاعـ الـعـجلـةـ وـيـعـتمـدـونـ أـورـاقـ الـأـشـجـارـ عـلـمـاتـ قـانـونـيـةـ، وـهـوـ مـاـ يـجـعـلـ الـجـمـيعـ أـثـرـيـاءـ ثـرـاءـ فـاحـشـاـ. بيـدـ أـنـهـمـ يـصـادـفـونـ مشـكلـةـ عـوـيـصـةـ مـعـ التـضـخمـ؛ إـذـ بـاتـتـ حـمـولةـ سـفـينةـ وـاحـدةـ منـ الـفـولـ السـوـدـانـيـ تـعـادـلـ أـورـاقـ ثـلـاثـ غـابـاتـ مـتـسـاقـطـةـ الـأـورـاقـ. مـنـ ثـمـ؛ عـمـدـ أـسـلـافـنـاـ إـلـىـ بـرـنـامـجـ ضـخـمـ لـتـقـلـيلـ التـضـخمـ وـحرـقـواـ جـمـيعـ الـغـابـاتـ. كـلـ هـذـاـ يـبـدوـ مـقـبـولاـ، وـإـنـ كـانـ عـلـىـ نـحـوـ بـغـيـضـ.

إذا تجاوزنا العبث الذي يتسم به الأمر برمته، فسنجد أنه يثير نقطةً جادّةً بشأن طبيعة العملة النقدية؛ وهي أنه لا يوجد إطلاقاً ما يثبت القيمة. يمكن أن تساوي حبة الفول السوداني قيمة سبيكة ذهبية، أو مليم واحد، أو ثلاثة غابات متساقطة الأوراق؛ كل هذا يعتمد على التقييم النسبي والندرة وغيرها من العوامل. ويمكن للورقة النقدية فئة عشرة جنيهات استرلينية أن تساوي أي قيمة، لكن ليس هذا هو الحال في الكيمياء.منذ قليل، شبهت ثلاثة فوسفات الأدينوسين بالورقة النقدية فئة عشرة جنيهات، وكانت حريصاً عند انتقائي هذه القيمة. إن روابط الطاقة داخل ثلاثة فوسفات الأدينوسين تُحتم عليك إنفاق عشرة جنيهات حتى يتم تصنيع جزء واحد من ثلاثة فوسفات الأدينوسين، على أن تتلقى عشرة جنيهات بالضبط حين تنفق هذا الجزء. ليست القيمة نسبية مثلما هو الحال مع العملة النقدية البشرية، وهذا هو أساس المشكلة التي تواجهها أي بكتيريا تحاول الخروج من الفوهات. ليس ثلاثة فوسفات الأدينوسين بالعملة العالمية مثل الورقة النقدية فئة عشرة جنيهات استرلينية؛ فهو غير مرن في قيمته، ولا يمكن تقسيمه إلى وحدات أصغر، أو فكّه. فإذا أردت شراء مشروب رخيص من أجل إذابة الجمود في الموع드 الغرامي الأول، فعليك دفع الورقة النقدية فئة عشرة جنيهات، وحتى إن كان المشروب يتكلّف جنيهين فقط فلن تحصل على المبلغ المتبقى؛ إذ لا يوجد ما يُسمى بخمس جزء ثلاثة فوسفات الأدينوسين. وحين تقتصر الطاقة التي يطلقها تفاعل الهيدروجين مع ثاني أكسيد الكربون، يمكنك فقط استعادتها على صورة عملات نقدية فئة عشرة جنيهات. لِنَقُلْ إنك تستطيع، نظرياً، أن تكسب ثمانية عشر جنيهًا من التفاعل، لن يكون هذا كافياً لتصنيع جزئين من ثلاثة فوسفات الأدينوسين؛ لذا ستكتفي بتصنيع جزء واحد فقط. ستخسر ثمانية جنيهات؛ لأنك لا يمكن تقسيم الجزء إلى وحدات أصغر. أغلبنا يواجه هذه المشكلة مع مكاتب الصرافة التي لا تتعامل إلا بالبالغ الكبيرة.

إجمالاً، إذن، بالرغم من الحاجة إلى إنفاق جنيهين استرلينيين لبدء التفاعل، مع الحصول على عائد قدره ثمانية عشر جنيهًا، فإننا حين نكون مجبرين على استخدام ورقتنا النقدية العالمية فئة عشرة جنيهات سيعتَدِّ علينا أن ننفق عشرة جنيهات للحصول على عشرة جنيهات. لا تستطيع البكتيريا تجنب هذه المعادلة؛ فليس بوسع أي منها النمو بواسطة التفاعل المباشر للهيدروجين مع ثاني أكسيد الكربون باستخدام ثلاثة فوسفات الأدينوسين وحده. لكنها تنمو بالفعل، من خلال طريقة عقرية تحول بها ورقة عشرة جنيهات إلى وحدات أصغر؛ طريقة لها اسم مهيب هو «التناضح الكيميائي»، والتي عادت

على أول من كشف عنها — عالم الكيمياء الحيوية البريطاني غريب الأطوار بيتر ميتشيل — بجائزة نوبل عام ١٩٧٨. أنهت الجائزة عقوداً من الخلافات المريدة. لكن اليوم، من منظور الألفية الجديدة، يمكننا أن نرى أن اكتشاف ميتشيل يُعدُّ من أعظم اكتشافات القرن العشرين.^٧ لكن حتى تلك القلة من الباحثين الذين أيدوا أهمية التناضخ الكيميائي يجدون صعوبة في تفسير سبب شيوغ مثل هذه الآلية الغريبة في الحياة بهذا الشكل. فالتناضخ الكيميائي — شأنه شأن الشفرة الوراثية ودورة كربس وثلاثي فوسفات الأدينوسين — شائع في كل أشكال الحياة، ويبدو أنه كان من سمات آخر سلف مشترك عام. يفسر لنا مارتن وراسل السبب.

بشكل عام، التناضخ الكيميائي هو حركة البروتونات عبر غشاء (ومن هنا جاء التشابه في الاسم مع عملية التناضخ، التي تعني حركة الماء عبر غشاء). في عملية التنفس، يحدث الآتي: تُنتَرِّعُ الإلكترونات من الغذاء وتُمْرَرُ على امتداد سلسلة من النواقل إلى الأكسجين، وتسُتَخدَّم الطاقة الحرارية عند نقاط متعددة في دفع البروتونات عبر غشاء، وتكون النتيجة تدرج البروتونات عبر الغشاء. يعمل الغشاء كسدٌ كهرومائي. ومثلاً تُحرِّك المياه المندفعةُ من أعلى المخزون التوربينات لتوليد الكهرباء، داخل الخلايا يتسبَّب تدفقُ البروتونات عَبْر توربينات البروتينات الموجودة في الغشاء في بدء عملية تخليق ثلاثي فوسفات الأدينوسين. لم تكن هذه الآلية متوقعة بالمرة؛ فبدلاً من وجود تفاعل أنيق مباشر بين جزيئين، أُقْحِمَ تدرج غريب للبروتونات في المنتصف.

الكيميائيون معتادون على التعامل مع الأرقام الصحيحة؛ فليس من الممكن للجزيء أن يتفاعل مع نصف جزء آخر. ربما يكون أغرب ملامح التناضخ الكيميائي هو توافر العديد من أجزاء الأرقام الصحيحة. كم إلكترونًا يحتاج أن ننقله لإنتاج جزء واحد من ثلاثي فوسفات الأدينوسين؟ ما بين ٨ إلى ٩ إلكترونات. وكم بروتوناً؟ أدق التقديرات الحالية هو ٤,٣٣ بروتوناً. لم يكن لهذه الأرقام معنى على الإطلاق، إلى أن تم إدراك قدرة التدرج على التوسط. إن التدرج، في نهاية المطاف، مُكوَّن من الملايين من عمليات التدرج؛ أي لا ينقسم إلى أرقام صحيحة. والمزية الكبرى للتدرج هي أن بإمكان تفاعل واحد أن يتكرر مراراً وتكراراً فقط من أجل توليد جزءٍ ثلاثة فوسفات الأدينوسين واحد. فإذا أطلق تفاعلاً واحد بعينه جزءاً من مائة من الطاقة المطلوبة لتوليد جزءٍ ثلاثة فوسفات الأدينوسين واحد، تكرَّر هذا التفاعل مائة مرة، بانياً التدرج خطوة بخطوة إلى أن يصير مخزون البروتونات كبيراً بما يكفي لتوليد جزءٍ ثلاثة فوسفات أدينوسين

واحد. فجأة صارت الخلية قادرة على الادخار، وصار لديها جيب مليء بالعملات النقدية صغيرة القيمة.

ما الذي يعنيه كل هذا؟ لنعود إلى تفاعل الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون. لا تزال البكتيريا تتکلف جزئاً واحداً من ثلاثي فوسفات الأدينوسين لبدء التفاعل، لكنها الآن صارت قادرة على توليد أكثر من جزءٍ ثلثيٍّ فوسفات الأدينوسين واحد؛ لأنها قادرة على الادخار حتى تتمكن من تصنيع جزءٍ ثلثيٍّ فوسفات أدينوسين ثانٍ. ربما لا تكون عيشة مترفة لكنها نزيهة. وأهم ما في الأمر أنها تصنع الفارق بين القدرة على النمو وعدم القدرة على النمو. إذا صحَّ رأي مارتن وراسل، وصحَّ أيضاً أن أول أشكال الحياة نما من هذا التفاعل، فلا بد أن السبيل الوحيد الذي تركت به الحياة الفوهات البحرية العميقة كان التناضخ الكيميائي. ومن الصحيح والمؤكد أن أشكال الحياة الوحيدة القادرة على العيش من هذا التفاعل اليوم إنما تعتمد على التناضخ الكيميائي وأيضاً لا تستطيع النمو دونه. ومن الصحيح بالمثل أن كل أشكال الحياة على الأرض تقريباً تتقاسم نفس الآلة العجيبة، مع أنه لم تكن هناك حاجة لها على الدوام. لماذا؟ أعتقد أن السبب ببساطة هو أنها ورثتها عن سلف مشترك لم يستطع الحياة دونها.

لكن هنا يمكن السبب الرئيسي وراء صحة آراء مارتن وراسل؛ استخدام البروتونات. لماذا مثلاً لا تُستخدم ذرات الصوديوم أو البوتاسيوم أو الكالسيوم المشحونة المستخدمة من جانب أنظمتنا العصبية؟ لا يوجد سبب جليٌ يفسِّر تفضيل البروتونات عن أي تدرج من نوع آخر من الجسيمات المشحونة، وهناك بالفعل بعض البكتيريا التي تولد تدريجًا للصوديوم بدلاً من تدرج البروتون، بالرغم من ندرة الأمر. أظن أن السبب الرئيسي يعود إلى سمات فوهات راسل. تذكَّر أن الفوهات تتفتح السوائل القلوية في المحيط الحمضي بفعل ثاني أكسيد الكربون الذائب فيه. تتحدد الأحماض من خلال البروتونات؛ فالحمض غني بالبروتونات بينما السائل القلوبي يفتقر إليها. وبهذا يتسبب نفث السوائل القلوية في المحيطات الحمضية في إنتاج تدرج طبيعي للبروتونات. بعبارة أخرى تنسم خلايا الأملاح المعدنية الموجودة في فوهات راسل القلوية بالتناضخ الكيميائي بصورة طبيعية. وقد أوضح راسل نفسه هذا الأمر منذ عدة سنوات، لكن إدراكه أنه ليس بواسع البكتيريا أن تترك الفوهات دون تناضخ كيميائي كان أحد ثمار تعاونه مع مارتن، الذي كان يدرس علم طاقة الميكروبات. وهكذا لا تُولد هذه المفاعلات الكهروكيميائية جزيئات عضوية وثلاثي فوسفات الأدينوسين وحسب، بل وفرت أيضاً خطة هروب؛ طريقة التغلب على مشكلة الورقة النقدية فئة عشرة جنيهات غير القابلة للتجزؤ.

بالطبع لن يكون لتدريب البروتونات الطبيعي فائدة إلا إذا استطاعت الحياة تسخيره، وبعد ذلك توليد تدريجها الخاص. ومع أنه من الأسهل بالتأكيد تسخير التدريب الموجود بالفعل عن توليد شيء جديد من نقطة الصفر، فإن كلتا الطريقتين ليست مباعدة. لقد تطوّرْت هذه الآليات بواسطة الارتفاع الطبيعي بلا شك، واليوم هي تحتاج إلى بروتينات عديدة تحدّدها جينات، ولا يوجد سبب يدعونا لافتراض أن مثل هذا النظام المعقد يمكن أن يكون قد تطوّر في المقام الأول دون بروتينات أو جينات؛ جينات مكونة من الدي إن إيه. وهكذا لدينا حلقة مفرغة مثيرة للاهتمام. فلم يكن بمقدور الحياة أن تغادر الفوهات تدريجها الخاص إلا باستخدام الجينات والدي إن إيه. يبدو أنه لا مفر من الأمر؛ فمن المؤكد أن الحياة طورت درجة مدهشة من التعقيد وهي في حضانتها الصخرية.

يرسم لنا هذا صورةً غير عاديةً لأخر سلف مشترك عام للحياة على الأرض. وإذا صحَّرأي مارتن وراسل — وأعتقد أنه صحيح — فلن يكون هذا السلف خلية حية مستقلة، بل متاهة صخرية من خلايا الأملاح المعدنية، تتخلالها جدران محفزة مؤلفة من الحديد والكبريت والنحاس، وتستمد الطاقة من تدريجات البروتونات الطبيعية. كانت أولى صور الحياة صخراً مساميّاً ولدُت جزيئات معقدة وطاقة، وصولاً إلى تكوين البروتينات والدي إن إيه نفسه. وذلك يعني أننا تتبعنا نصف القصة فقط في هذا الفصل. وفي الفصل التالي، سنتدبر النصف الثاني؛ اختراع أهم وأشهر الجزيئات قاطبة: المادة الوراثية (الدي إن إيه).

الفصل الثاني

دي إن إيه

شفرة الحياة

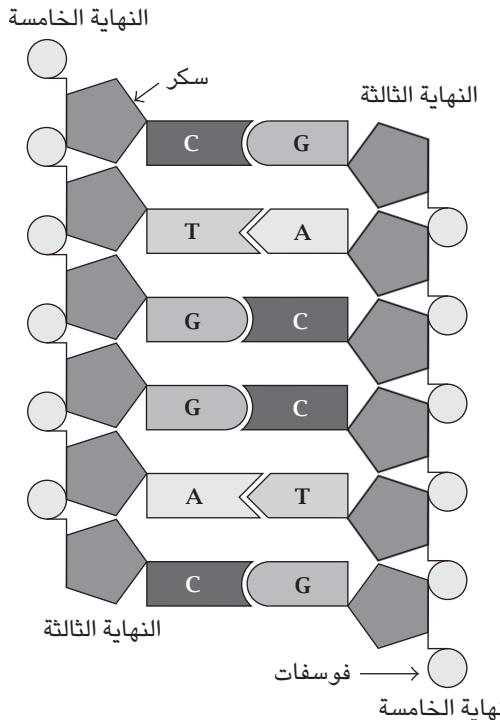
في العام ٢٠٠٣ عُلِقَت لافتة زرقاء على حائط حانة إيجل في كامبريدج احتفالاً بالذكرى الخمسين لتحولٍ غير معتاد في محاذيات الحانات. ففي الثامن والعشرين من فبراير عام ١٩٥٣، وفي وقت الغداء، اندفع شابان عاديّان — جيمس واطسون وفرانسيس كريك — إلى الحانة وأعلنا أنهما اكتشفا سر الحياة. ومع أن الأمريكي المنفعل والبريطاني الفصيح ذوي الضحكة المثيرة للضيق لا بد أنهما بداياً أحياناً على شفا القيام بعرض كوميدي مشترك، فإنهما في تلك المرة كانوا جائِين، ونصف مُحقِّقين. فإذا كان بالإمكان القول إن للحياة سراً، فهو الذي إن إيه بالتأكيد. لكن واطسون وكريك، بالرغم من براعتهما، لم يدركَا سوى نصف السر.

في ذلك الصباح، توصلَّ واطسون وكريك إلى أن الذي إن إيه عبارة عن لوب مزدوج. كانت تلك وثبة عقلية ملهمة مبنية على خليط من العبرية وبناء النماذج والتفكير الكيميائي وعدد قليل من صور انكسار الأشعة السينية المختلسة، وكان تصورهم، حسب كلمات واطسون، «جميلاً للغاية، لدرجة أنه لا بد أن يكون صحيحاً». وكلما تحدّثا في وقت الغداء ذاك زادت معرفتهما بأنه كذلك. نُشر حلهما في مجلة «نيتشر» في الخامس والعشرين من أبريل على هيئة خطاب من صفحة واحدة، لا يختلف كثيراً عن إعلانات التهنئة بالمواليد في الجرائد المحلية. اختتم الخطاب المكتوب في لهجة متواضعة غير معتادة (اشتهر عن واطسون أنه كتب قائلاً: إنه لم يحدث قط أن قابل كريك وهو في مزاج متواضع، ولم يكن واطسون نفسه بأفضل حالاً هو الآخر)، بعبارة خجولة لا

تفى الإنجاز حقه قالا فيها: «نعتقد أن نموذج الأزواج الذى افترضناه يمكن أن يكون آلية نسخ ممكنة للمادة الوراثية.»

الدي إن إيه، بالطبع، هو أساس الجينات؛ إنه المادة الوراثية. فهو يُحدّد الشفرة الجينية للبشر والأمبيا وعش الغراب والبكتيريا وكل ما على الأرض من كائنات، خلا قلة من الفيروسات. ولوليه المزدوج أيقونة علمية: إذ يلتف خيطاه أحدهما حول الآخر في مطاردة لا نهاية لها. أوضح واطسون وكرييك كيف يُكمل كلُّ خيط الآخر على المستوى الجزيئي. وإذا فصلت بين الخيطين فسيعمل كلُّ منهما كقالب بهدف إعادة تشكيل الخيط الثاني، ومن ثم يتكون لدينا لوليان جيديان مما كان من قبل لولباً واحداً. وفي كل مرة يتناصل فيها كائناً حيًّا، فهو يمرر نسخة من الدي إن إيه الخاص به إلى ذريته. وكل ما يحتاجه الأمر هو الفصل بين خيطي الدي إن إيه لإنتاج نسختين مطابقتين من الأصل.

مع أن الآلية الجزيئية المفصلة يمكن أن تصبب أي شخص بالصداع، فإن المبدأ نفسه بسيط على نحو جميل فتأن: فالشفرة الجينية ما هي إلا تتابع من الأحرف (أو بالمعنى الفني «قواعد»). ثمة أربعة أحرف في أبجدية الدي إن إيه؛ وهي: A، وT، وG، وC. وهي اختصار لكل من الأدينين والثايمين والجوانين والسايتوسين، لكننا لسنا بحاجة إلى القلق بشأن التسميات الكيميائية. فالغزى هنا هو أن هذه القواعد محكومة بفعل شكلها وبنية روابطها؛ يرتبط الأدينين بالثايمين فقط فيما يرتبط السايتوكرومين بالجوانين فقط (انظر الشكل ١-٢). وإذا فصلت بين خيطي اللولب المزدوج، فستنتصب من كل خيط أطراف الأحرف غير المرتبطة. وكل قاعدة أدينين مكشوفة لا يمكنها الارتباط إلا بقاعدة ثايمين، وكل قاعدة سايتوكرومين لا يمكنها الارتباط إلا بقاعدة جوانين، وهكذا دواليك. تلك الأزواج القاعدية لا يمكن بعضها بعضاً وحسب، بل إن بعضها – في الواقع – «يرغب» في الارتباط ببعض؛ فهناك شيء واحد فقط من شأنه أن يُسعد الحياة الكيميائية المملاة لقاعدة الثايمين، وهو الارتباط اللصيق بقاعدة أدينين. وإذا جمعت بين القاعدتين فستتمايل روابطهما في تناغم بهيج. هذه هي الكيمياء الحقيقة: علاقة «انجذاب أساسية» حقيقة. وبهذا لا يكون الدي إن إيه مجرد قالب سلبي، بل تمارس كل خيوطه نوعاً من المغناطيسية كي تجذب القواعد المحببة إليها. فإذا فصلت بين الخيوط فستتجد أنها تعاود التجمع تلقائياً مجدداً، وإذا حافظت على بعدها بعضها عن بعض؛ فسيكون كل خط قالباً ذا حاجة ماسة للعنود على شريكه المثالى.



شكل ١-٢: أزواج القواعد في الـ دـي إـن إـيه. تقضي هندسة الأحرف بارتباط الجوانين G مع السايتوسين C، والأدينين A مع الثايمين T.

يبعد تتابع الأحرف في الـ دـي إـن إـيه طويلاً كأنه بلا نهاية له؛ فهناك مثلاً قرابة ٣ مليارات حرف (زوج قاعدي) في الجينوم البشري، أو باللغة العلمية ٣ جيجا من القواعد. يعني هذا أن مجموعة الكروموسومات الواحدة في نواة الخلية تحتوي على قائمة قوامها ٣ مليارات حرف منفرد. وإذا طبعت محتوى الجينوم البشري فسيملأ نحو ٢٠٠ كتاب، كل منها بحجم دليل الهاتف. وليس الجينوم البشري هو الأكبر بين الجينومات على الإطلاق. ومن المثير للدهشة أن هذا العدد يُعد قليلاً للغاية مقارنة بالأمبيرا من نوع «أمبيرا دوبايا»، التي يحوي جينومها ٦٧٠ مليار قاعدة؛ أي نحو ٢٢٠ مرة ضعف الجينوم

البشري. ويبدو أن السواد الأعظم لهذا الجينوم «مهمل»؛ الذي لا يشفر أي شيء على الإطلاق.

في كل مرة تنقسم فيها خلية، فهي تضاعف كل محتوى الذي إن إيه الموجود بها، وهي عملية تتم في غضون ساعات. الجسم البشري يتتألف من ١٥ مليون مليون خلية، وكل خلية منها تحافظ بنسختها الأمينة من الذي إن إيه نفسه (نسختان في واقع الأمر). ولكي يتكون الجسم البشري البالغ من خلية بوبيضة واحدة؛ تعين على لوالب الذي إن إيه أن تنقسم كي تعمل كال قالب ١٥ مليون مليون مرة (وفي الواقع أكثر من هذا بكثير؛ لأن الخلايا التي تموت تحل محلها أخرى طوال الوقت). وكل حرف يُنسخ بدقة تصل إلى حد العجزة، بحيث يُعاد إنتاج النسخة الأصلية بنسبة خطأ قدرها نحو حرف واحد في كل ألف مليون. وعلى سبيل المقارنة، كي يعمل الناسخ بدقة مماثلة سيعين عليه أن ينسخ الإنجيل بالكامل ٢٨٠ مرة قبل أن يرتكب خطأ واحداً. في الحقيقة، لم يتحقق الناسخون هذه النسبة من النجاح؛ إذ إنه تُوجَد ٢٤ ألف مخطوطة يدوية باقية من العهد الجديد، يَبْدِأ أنه لا تُوجَد نسختان منها متطابقتان بالكامل.

لكن حتى في الذي إن إيه تتراكم الأخطاء، وقد يكون سبب ذلك حجم الجينوم الكبير. تُسمى هذه الأخطاء الطفرات الموضعية، وهي تحدث حين يحل حرف محل آخر على سبيل الخطأ. وفي كل مرة تنقسم فيها الخلية البشرية، من المتوقع أن تنتج ثلاثة طفرات في كل مجموعة من الكروموسومات. وكلما انقسمت الخلية أكثر زاد تراكم هذه الطفرات، إلى أن تسهم في نهاية المطاف في ظهور أحد الأمراض كالسرطان. أيضاً تَعْبُرُ الطفرات الأجيال؛ فإذا نمت البوبيضة الملقحة وصارت جينيناً لأنثى، فستستغرق نحو ثلاثين دورة من الانقسام الخلوي كي تكون بوبيضة جديدة، وكل دورة تضيف القليل من الطفرات الإضافية. والأمر أسوأ في حالة الرجال؛ إذ إن تكوين الحيوان المنوي يحتاج نحو مائة دورة من الانقسام الخلوي، وكل دورة منها معرضة على نحو حتمي للمزيد من الطفرات. ولأن إنتاج الحيوانات المنوية يتواصل طوال الحياة، في دورة تلو الأخرى من الانقسام الخلوي، فكلما كان الرجل أكبر سنًا صار الناتج أسوأ. وكما قال عالم الوراثة جيمس كرو فإن أكبر خطر مسبب للطفرات في أي جماعة سكانية هو الرجال كبار السن المتمتعون بالخصوصية. لكن حتى الطفل العادي لوالدين شابين يملك في المتوسط نحو ٢٠٠ طفرة جديدة مقارنة بوالديه (لكن قلة قليلة من هذه الطفرات قد تكون مضرة على نحو مباشر).^١

وهكذا بالرغم من الدقة المذهلة التي يُنسخ بها الدي إن إيه، تحدث تغييرات. فكل جيل مختلف عن سابقه، ليس فقط لأن الجينات تتمازج بفعل العمليّة الجنسية، بل أيضًا لأننا جميعًا نحمل طفرات جديدة. العديد من هذه الطفرات طفرات «موضعية» كالتي تحدّثنا عنها؛ مجرد تغيير في حرف وحيد بالدي إن إيه، بيّد أن بعضها أكثر عرقًا. تتضاعف كروموسومات بأكملها أو تقشل في الانفصال، تُحذف رقع كاملة من الدي إن إيه، تُدخل فيروسات أجزاءً من الدي إن إيه الخاص بها، تعكس أجزاء من الكروموسومات نفسها، ومن ثم تعكس تتبع أحرفها. الاحتمالات لا نهاية لها، ومع ذلك فإن أغلب التغييرات نادرًا ما يكون لها علاقة بالبقاء على قيد الحياة. بالنظر إلى الجينوم على هذا النحو، يبدو وكأنه جحر هائج من الأفاعي، بينما كروموسوماته الأفعوانية تندمج وتنقسم على نحو متواصل دون كلل. والانتقاء الطبيعي، من خلال التخلص من كل هذه الوحوش عدا قلة قليلة منها، هو في الواقع قوة هادفة للاستقرار. فالدي إن إيه يتغير ويتحوّر، بينما الانتقاء الطبيعي يحافظ على استقامة الأمور. وأي تغيير إيجابيّ يُحافظ عليها، فيما تُجهض أي أخطاء أو تغييرات خطيرة، حرفياً. أما عن الطفرات الأخرى، الأقل خطورة، فقد تكون مرتبطة بأمراض تظهر لاحقاً في مراحل متقدمة من الحياة.

إن التتابع المتغيّر للأحرف داخل الدي إن إيه يقع خلف كل ما نقرأ عنه تقريباً في الصحف ويتعلق بجيناتنا. مثلًا البصمة الوراثية — المستخدمة في إثبات الأبوة أو اتهام الرؤساء أو إدانة المجرمين بعد عقود من ارتکابهم الجرائم — مبنية على الاختلافات في تتابعات الأحرف بين الأفراد. ولأن ثمة عدداً كبيراً للغاية من الاختلافات في الدي إن إيه، يكون لدى كل شخص هنا «بصمة» وراثية خاصة به. وبالمثل، تعتمد فرص إصابتنا بأمراض كثيرة على اختلافات طفيفة في تتابعات الدي إن إيه. وفي المتوسط، يتباين البشر بمعدل حرف واحد كل ألف حرف أو نحو ذلك، ما يصل مجموعه من ٦ إلى ١٠ ملايين اختلاف في الحروف الفردية في الجينوم البشري، المعروفة باسم «الاختلافات الفردية متعددة الأشكال للنيوكليوتيد» يعني وجود هذه الاختلافات الفردية لأننا جميعاً نحمل نسخاً مختلفة اختلافاً طفيفاً من الجينات عينها. ومع أن أغلب هذه الاختلافات الفردية عديمة الأثر، فإن بعضها مرتبط إحصائياً بأمراض على غرار الداء السكري وألزهايمير، وإن كانت الكيفية المحددة التي تفرض بها تأثيراتها كثيراً ما تكون غير مؤكدة. وبالرغم من هذه التغييرات الفردية، فإنه لا يزال بمقدورنا الحديث عن «جينوم بشري» واحد؛ إذ إنه بغضّ النظر عن تلك التغييرات فإن ٩٩٩ من كل ألف حرف لا تزال

متطابقة فيها جميًعاً. ثمة سببان لهذا: الزمن، والانتقاء. من المنظور التطوري، لم يمر زمن كبير منذ أن كنا جميًعاً من القردة العليا، بل في الواقع يمكن لمتخصص في علم الحيوان أن يؤكد أننا ما زلنا كذلك. وعلى افتراض أن البشر انفصلوا عن سلفنا المشترك مع الشمبانزي منذ نحو ٦ ملايين عام، وراكموا الطفرات بمعدل ٢٠٠ طفرة لكل جيل منذئذ، فهذا يعني أنه لم يُنْجَح لنا زمن إلا لتعديل نحو ١ بالمائة من جينومنا. وبما أن الشمبانزي تطوروا هم أيضًا بمعدل مشابه، فيمكننا من الناحية النظرية أن نتوقع وجود اختلاف قدره ٢ بالمائة بين النوعين. وفي الحقيقة نسبة الاختلاف أقل من هذا؛ إذ إنه من ناحية تتابعات الذي إن إيه، فإن البشر والشمبانزي متباينان بنسبة ٩٨,٦ بالمائة.^٢ سبب هذا هو أن التطور يكبح جماح هذه العملية، عن طريق التخلص من أغلب التغييرات المؤذية. وإذا تم التخلص من التغييرات بواسطة الانتقاء، فإن التتابعات المتبقية تكون على نحو بدائيٍّ أكثر تشابهًا فيما بينها مما قد يكون الحال عليه إذا سارت عملية التغيير دون قيود. أي إن عملية الانتقاء، كما ذكرنا من قبل، تحافظ على استقامة الأمور. بالعودة أكثر إلى الأزمنة الغابرة، تتعاون هاتان السمتان — الزمن والانتقاء — لإنتاج أروع الصور وأكثرها تعقيداً. فكل أشكال الحياة على كوكبنا مترابطة، وبينن لنا السجل المقوء لأحرف الذي إن إيه كيف حدث هذا بالضبط. فمن خلال مقارنة تتابعات الذي إن إيه يمكننا أن نحسب إحصائياً مدى قربنا من أي نوع آخر، على غرار القردة أو الجراثيم أو الزواحف أو البرمائيات أو الأسماك أو الحشرات أو القشريات أو الديدان أو النباتات أو الأوليات أو البكتيريا، اختر ما شئت؛ فكل الأنواع تتعدد بواسطة تتابعات قابلة للمقارنة من الذي إن إيه، بل إننا نتشارك بمجموعات من التتابعات في العموم؛ تلك الأجزاء التي حفظها الانتقاء العام، بينما تغيرت أجزاء أخرى على نحو يستحيل معه التعرف عليها. فإذا قرأت تتابعات الذي إن إيه الخاصة بأربن فستجد نفس التتابعات اللانهائية من القواعد، بعض القواعد مطابقة لتتابعاتنا، وبعضها مختلف، وكلها تتمازج على نحو دائم التغيير كما المشكال. الأمر عينه ينطبق على نبات الشُّوك؛ إذ تكون التتابعات متطابقة — أو متشابهة — في مواضع، لكن السواد الأعظم منها مختلف الآن، وهو ما يعكس الحقب الزمنية الشاسعة التي تفصلنا عن سلفنا المشترك معها، وطرق الحياة المختلفة تماماً التي نعيشها. لكن لا تزال الكيمياء الحيوية واحدة؛ فكل الكائنات مبنية من خلايا تعمل على النحو ذاته تقريباً، وهذه الخلايا لا تزال تتحدد بواسطة تتابعات متشابهة من الذي إن إيه.

في ظل أوجه الشبه الكيميائية الحيوية هذه، قد نتوقع أن نجد تتابعات مشتركة حتى مع أبعد صور الحياة هنا؛ كالبكتيريا، وهو ما يحدث بالفعل. لكن في الواقع لا يوجد مجال للحيرة هنا؛ لأن تشابه التتابعات لا يُحدّد على مقياس يتراوح من ٠ إلى ١٠٠ بالمائة، كما قد نتوقع، بل على مقياس قدره من ٢٥ إلى ١٠٠ بالمائة. وهذا يعكس أربعة الأحرف المكونة لدى إن إيه. فإذا حلَّ حرفٌ محلَّ آخرَ على نحو عشوائي، فثمة احتمالية قدرها ٢٥ بالمائة أن يكون الحرف الجديد هو نفسه القديم. وبالمثل، إذا تم تكوين قطاع عشوائي من الذي إن إيه في المختبر، فمن المحتم وجود نسبة تشابه قدرها ٢٥ بالمائة على الأقل مع أحد جيناتنا المختارة عشوائياً؛ إذ إن احتمالية أن يتواافق كل حرف مع حرف مقابل في الذي إن إيه البشري هي الربع. ونتيجة لذلك؛ فإن فكرة أن الإنسان «نصف موزة» لأننا نتشارك ٥٠ بالمائة من تتابعات جينومنا مع الموز هي فكرة مضللة، وهذا على أقل تقدير. وبالمنطق نفسه، أي قطاع مولد عشوائياً من الذي إن إيه سيكون ربع بشري. وما لم نعرف ما تعنيه الأحرف بالفعل، فلن نستفيد أبداً من مثل هذه المعلومات.

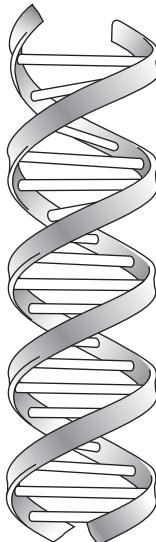
ولهذا السبب لم يتوصَّل واطسون وكريك إلا لنصف سر الحياة في صبيحة ذلك اليوم من عام ١٩٥٣. لقد عرفا بنية الذي إن إيه وفهموا كيف يعمل كل خيط من خيوط الذي إن إيه كقالب لخيط آخر، وبهذا يُشكِّل الشفرة الوراثية لكل كائن حي. لكن ما لم يذكراه في ورقتهما البحثية الشهيرة، وما استغرق عشر سنوات أخرى من البحث البارع لاكتشافه، هو ما يحمله كل تتابع من الأحرف من شفرة وراثية. وبالرغم من افتقاره للرمزية الجليلة الخاصة باللولب المزدوج، ذلك اللولب الذي لا يكتثر البة ل Maherية الأحرف التي يُؤْويها في ثنایاه؛ فإن فك طلاسم شفرة الحياة ربما كان هو الإنجاز الأعظم والاكتشاف الذي شارك فيه كريك نفسه على نحو بارز. والأهم من ذلك، من منظور فصلنا هذا، أن الشفرة التي فكَّت طلاسمها – والتي مثلت في البداية أكثر الأمور المحبطبة والمثيرة للحيرة في البيولوجيا الحديثة – تمنحنا أفكاراً شديدة حول الكيفية التي تطور بها الذي إن إيه في المقام الأول، منذ نحو ٤ مليارات عام.

يبدو الذي إن إيه حديثاً للغاية، لدرجة أنه من العسير أن ندرك مدى قلة ما كنا نعرفه بشأن مبادئ البيولوجيا الجزيئية في عام ١٩٥٣. لقد ظهر الذي إن إيه للنور من خلال الورقة البحثية الأصلية لواتسون وكريك ونسخت بنيته التي وضعت لها أوديل، زوجة

كريك الفنانة، رسمًا تخطيطيًّا على صورة السلم الملتوى وظللت هكذا دون تغيير لنصف قرن (انظر الشكل ٢-٢). وقد رسم كتاب واطسون الشهير «اللولب المزدوج»، الذي وضعه في ستينيات القرن العشرين، صورةً حديثةً للعلم. في الواقع كانت هذه الصورة من التأثير بحيث بدا أن الحياة تحاكي الفن. عن نفسي، قرأت كتاب واطسون وأنا بالمدرسة وحلمت بجائزه نوبل وبالاكتشافات البارزة. لكن بالنظر لحالى وقتها، أدرك الآن أن إحساسى بالكيفية التي كانت تتم بها ممارسة العلم فعلًّا كان مبنيًّا بالكامل تقريبًا على كتاب واطسون، وعلى الأغلب نبع تحرُّري الحتميُّ من هذا الوهم وأنا بالجامعة من فشل الواقع في الارتفاع إلى مستوى الإثارة الذي حسبته عليه. وبدلًا من هذا اتجهت صوب تسلُّق الجبال بحثًّا عن الإثارة، واستغرق الأمر مني أعواماً حتى بدأت الإثارة العقلية في التسرب مجدداً إلىَّ.

بيَّنَ أن ما تعلمته في الجامعة، كلَّه تقريباً، كان مجھوِّلاً لواطسون وكريك في عام ١٩٥٣ من المتعارف عليهاليوم أن «الجينات تحمل شفرة تصنيع البروتينات»، لكن في أوائل خمسينيات القرن الماضي لم يكن ثمة اتفاق كبير حول هذا الأمر. وحين وصل واطسون لأول مرة إلى كامبريدج في عام ١٩٥١ سرعان ما أثار حنقه التشکك المفتح من جانب ماكس بيرتس وجون كندرو. وبالنسبة لهما، لم يُثبت بعد بما لا يدع مجالاً للشك أن الجينات تتَّألف من الدي إن إيه وليس البروتينات. وبينما كانت البنية الجزيئية للدي إن إيه مجھولة، فإن تركيبها الكيميائي كان بسيطًا للغاية ونادرًا ما كان يتغير من نوع إلى آخر. فإذا كانت الجينات هي أساس الوراثة وتحمل شفرة الاختلافات العديدة بين الأفراد والأنواع؛ فكيف يمكن لمثل هذا المركب الريتيب، غير المتغير في تركيبته من الحيوان إلى النبات إلى البكتيريا، أن يفسِّر ولو من بعيد ذلك التراء والتتنوع اللذين تتسم بهما الحياة؟ بدأ البروتينات، بتتنوعها اللانهائي، أكثر ملائمة لمثل هذه المهمة الضخمة.

كان واطسون نفسه واحداً من قلة من البيولوجيين الذين اقتنعوا بالتجارب شديدة التدقيق التي أجراها الكيميائي الحيوي الأمريكي أوزوالد إفري، والمنشورة عام ١٩٤٤، والتي تُظہر أن الجينات تتكون من الدي إن إيه. وحده حماس واطسون وإيمانه حفز كريك على القيام بالمهمة التي بين أيديهما؛ لأنَّه هو فك طلاسم بنية الدي إن إيه. وب مجرد حل هذه القضية، صار التساؤل عن الشفرة ملحاً. ومجدداً، تثير أعمق الجهل دهشة الجيل المعاصر؛ فالدي إن إيه ما هو إلا تتبع لانهائي من أربعة أحرف وحسب، في ترتيب يبدو وكأنه ترتيب عشوائي. كان من السهل، نظرياً، رؤية أن ترتيب هذه الأحرف يمكن



شكل ٢-٢: لوب الدي إن إيه المزدوج، بيّن كيف يمكن لخيطي الدي إن إيه الالتفاف أحدهما حول الآخر. الفصل بين الخيطين يمكن كلاً منها من العمل كقالب لخيط جديد متocom له.

أن يُمثّل شفرة من نوعٍ ما لتخليق البروتينات؛ فالبروتينات هي الأخرى مكوّنة من تتابع من الوحدات البنائية المسماة الأحماض الأمينية. ومن المفترض أن يُمثّل تتابعُ الأحرف داخل الدي إن إيه شفرةً للتتابع الأحماض الأمينية داخل البروتينات، لكن إذا كانت هذه الشفرة واحدة، كما بدا بالفعل، فمن الحتمي أن تكون قائمة الأحماض الأمينية واحدة هي الأخرى. ولم يكن هذا مؤكداً بأي حال من الأحوال. لم يتم التفكير في هذا الأمر إلى أن جلس واطسون وكريك في حانة إيجل ليخطّا القائمة الحصرية للأحماض الأمينية العشرين، الموجودة في المراجع الدراسية اليوم، وهما يتناولان الغداء. ومن المثير للدهشة أنه على الرغم من أن أيّاً منهما ليس بمتخصص في الكيمياء الحيوية، فإنّهما حدّداها على نحو صحيح من المرة الأولى.

تحدد التحدي الآن وصار الأمر مجرد لعبة رياضية، لا يحكمها أيٌ من التفاصيل الجزيئية التي تحفظها الأجيال التالية عن ظهر قلب. كان على أحرف الدي إن إيه الأربع المختلفة أن تضع الشفرة الخاصة بالأحماض الأمينية العشرين. أسقط هذا إمكانية النسخ المباشر؛ إذ إنه من البديهي أن الحرف الواحد من أحرف الدي إن إيه لا يمكن أن يُمثل حمضاً أمينياً واحداً. كما تم استبعاد فكرة الشفرة المزدوجة أيضاً، التي بموجبها لن يمكن تخليق أكثر من 16 حمضاً أمينياً (4 × 4). كانت هناك حاجة لما لا يقل عن ثلاثة أحرف؛ أي شفرة ثلاثة (أثبتت لاحقاً على يد كريك وسيدني بريزير)، تشارك فيها ثلاثة أحرف من الدي إن إيه لعمل شفرة حمض أميني واحد، لكن بدا في هذا إهانة خطير؛ فالأحرف الأربع يمكنها الاتحاد لتكوين 64 شفرة ثلاثة (4 × 4 × 4)؛ ومن ثم يمكنها عمل شفرة 64 حمضاً أمينياً منفصلاً. لماذا إذن 20 وحسب؟ كان من الضروري أن تتوافق الإجابة مع الأبجدية رباعية الأحرف، المرتبة في 64 كلمة ثلاثة الأحرف، تحمل شفرة 20 حمضاً أمينياً.

ولعل مما يستحق الذكر أن أول من قدّم إجابة من نوع ما على هذا السؤال لم يكن عالم أحياء، وإنما كان عالم فيزياء أمريكيّاً روسيّاً المولد، متحمساً، يُدعى جورج جاموف، الذي عُرف أكثر بنظرياته عن الانفجار العظيم في نشأة الكون؛ إذ قال جاموف إن الدي إن إيه يُعتبر - حرفيّاً - قالباً للبروتينات التي تتكون من أحماض أمينية تستقر في أخدود ماسية الشكل فيما بين استدارات اللولب. إلا أن نظرية جاموف كانت تعدادية بالأساس، ولم يكن يكترث كثيراً بأن يعلم أن البروتينات لا يتم بناؤها في نواة الخلية مطلقاً؛ ومن ثم، فلا تتماس مباشرةً مع الدي إن إيه. ثم صارت فكرته أكثر تجريداً؛ إذ كان مقترحة في جوهره يقضى بوجود شفرة متراكبة، الأمر الذي يُعتبر ذا ميزة عظيمة، تتمثل في تعظيم كثافة المعلومات، وهو ما أήجَهُ المُنكِبون على فك الشفرات الوراثية. تخيل تتابعاً يمكن قراءته هكذا ATCGTC. أول «كلمة» منه، أو لنسِمَّها تسمية تقنية هي الكودون، ستكون ATC، والثانية TCG، وهكذا دواليك. ولكن من الأهمية بمكانت أن نعرف أن الشفرات المتراكبة تقيد تتابع الأحماض الأمينية المسموح بها وتحصره في نطاق ضيق. فإذا كانت الشفرة ATC تخص حمضاً أمينياً معيناً، فإنه يجب أن يكون متبعاً بحمض أميني يكون الكودون الخاص به بادئاً بالحرفين TC، ومتبوعاً بثانٍ يجب أن يبدأ بالحرف C. وحينما يتم المرور بجميع التباديل الممكنة حتى الرمق الأخير، فإنه يبقى عدد كبير من الثلاثيات التي لا يسمح بتكونها؛ حيث لا يمكن أن

تكون جزءاً من هذه الشفرة المتراكبة؛ لأن الحمض الأميني A يجب دائمًا أن يأتي تالياً على الـ T، والا T تالياً على الـ C ... وهكذا. فكم عدد الثلاثيات المتبقية لتشفي الأحماض الأمينية؟ إن عددها ٢٠ بالضبط! هكذا يقول جاموف وكأنه ساحر يخرج أربناً من قبعته.

كانت هذه أول فكرة من العديد من الأفكار الذكية التي تم نسفها بفعل معطيات لا ترحم؛ فجميع الشفرات المتراكبة ثبت خطأها بفعل المقيادات النابعة من داخلها. وبدايةً نقول إن النظرية تزعم أن أحماضاً أمينية معينة يجب أن تظهر دائمًا بعضها إلى جوار بعض في البروتينات، ولكن جاء فريد سانجر، ذلك العبقري الهادئ الذي فاز بجائزة نوبل – إدحاهما عن تحديد تتبع البروتينات، والأخرى عن تحديد تتبع الـ di إن إيه – وكان في نفس ذلك الوقت مشغولاً بتحديد تتبع الأنسولين. ولم يثبت أن تبين أن أي حمض أميني يمكن أن يكون إلى جوار أي حمض أميني آخر؛ إذ إن التتابع البروتيني لا يتم تقديره على الإطلاق. وكان ثمة مشكلة كبيرة ثانية، وهي أن أي طفرة موضعية (حيث تتم إزاحة حرف واحد ليحل محله حرف آخر) يتطلب أن تؤثر على أكثر من حمض أميني واحد في الشفرة المتراكبة، ولكن أظهرت المعطيات التجريبية أنه غالباً ما يكون حمض أميني واحد فقط هو الذي تغير. وببساطة، نقول إن الشفرة الحقيقية لا يحدث بها تراكب. وقد ثبت فساد نظرية جاموف عن الشفرات المتراكبة قبل اكتشاف الشفرة الحقيقية بوقت طويل، وكان المُنْكِبون على فك الشفرات الوراثية في سبيلهم بالفعل للشك في أن خللاً ما يصيب هذه الفكرة بشكل أو بأخر.

ثم جاء كريك نفسه بعد ذلك، فافتراض فكرةً كانت من الجمال لدرجة أن تبنيها الجميع، بالرغم من شكوكاه هو نفسه من نقص المعطيات المضادة للفكرة. استفاد كريك من الرؤى الجديدة المنشقة من عدد من المختبرات المتخصصة في البيولوجيا الجزيئية، ومن أبرزها المختبر الجديد الخاص بواطسون في هارفرد. كان واطسون قد صار مهووساً بالآر إن إيه؛ وهو نسخة معدلة من الـ di إن إيه ذات خيوط مفردة وأقصر من خيوط الـ di إن إيه، ويُوجَد في سيتوبلازم الخلية كما يُوجَد في نواتها. والأفضل من هذا، كما يعتقد واطسون، أن الآر إن إيه يدخل في بنية تلك الآلات الخلوية الدقيقة التي تُعرف الآن بالأجسام الريبية أو الريبيوسومات، والتي يبدو أنها موقع تخلق البروتينات. ومن ثم؛ فإن الـ di إن إيه يسكن في النواة، خاماً لا يتحرك، فإذا احتاج الأمر إلى بروتين ما فإن قسماً من الـ di إن إيه يُستخدم ك قالب لصنع نسخة من الآر إن إيه، الذي ينتقل

بعد ذلك إلى خارج النواة تجاه الريبوسومات المنتظرة في الخارج. وهذا الساعي المجنح سرعان ما أطلق عليه اسم الآر إن إيه المرسال. ومن ثم وضع واطسون فكرته في خطاب أرسله إلى كريك في وقت مبكر يرجع إلى عام ١٩٥٢ قائلاً فيه: «إن الذي إن إيه يصنع الآر إن إيه، وهذا الأخير يصنع البروتينات». وكان السؤال الذي أثار اهتمام كريك هو: كيف تتم ترجمة التتابع المحدد للحرروف في الآر إن إيه المرسال إلى تتابع من الأحماض الأمينية في بروتين ما؟

ف Skinner في هذا الأمر، وافتراض أن رسالة الآر إن إيه يمكن ترجمتها بمساعدة سلسلة من جزيئات «مهایئه» محددة، واحدة لكل حمض من الأحماض الأمينية. وهذه أيضاً يجب أن تكون مصنوعة من الآر إن إيه، ويكون لكل منها كودون مضاد يمكنه أن يميز الكودون في الآر إن إيه المرسال ويرتبط به. وقال كريك إن المبدأ في هذا الأمر مطابق بالضبط لما يحدث في الذي إن إيه؛ إذ يرتبط الأدينين بالثايدين، فيما يرتبط السايتوسين بالجوانين، وهكذا.^٢ ويجب ملاحظة أن وجود تلك الجزيئات المهايئ كان أمراً افتراضياً تماماً في هذا الموضوع، ولكن اكتُشفَ وجودها بالفعل في غضون سنوات قليلة وتبيّن أنها تتكون من الآر إن إيه كما تنبأ كريك. وهي الآن تسمى وحدات الآر إن إيه الناقل. وقد بدأ هذا الصرح الذي تكون يبدو مثل لعبة مكعبات «الليجو» التي تتالف من أجزاء يتم فكها وتركيبها لتكوين تركيب رائعة وإن كانت سريعة الزوال.

في هذا الموضوع أخطأ كريك، وسوف أشرح هذا الأمر ببعض التفصيل الآن – مع أن الواقع أكثر جموحاً مما توقع كريك – لأن أفكاره قد يكون لها ارتباط بالكيفية التي بدأ بها الأمر كلّ في المقام الأول. فقد تصوّرَ كريك الآر إن إيه المرسال مستقرّاً في سيفولازم الخلية مع بروز الكودونات منه وكأنها حلمات أثداء خنزيرية، وكلّ منها مستعد لأن يتلقمه الآر إن إيه الناقل مثل خنزير رضيع. وفي نهاية الأمر، تصفّ جميع وحدات الآر إن إيه الناقل وتستقر جنباً إلى جنب على طول جسم الآر إن إيه المرسال بالكامل، مع بروز الأحماض الأمينية للخارج مثل ذيول خنازير دقيقة، على استعداد للارتباط معًا سريعاً لتكوين أحد البروتينات!

كانت المشكلة بالنسبة لكريك أن وحدات الآر إن إيه الناقل تأتي بشكل عشوائي، كما ظهرت في الساحة، وترتبط أنفسها بأقرب كودون متاح. ولكن إذا لم تبدأ من البداية وتنتهي عند النهاية؛ فكيف يمكنها أن تعرف أين يبدأ أحد الكودونات وأين ينتهي الذي سبقه؟ وكيف يمكنها تحديد المكان الصحيح الذي تتم قراءته؟ فإذا كان التتابع يُقرأ

هكذا ATCGTC كما قلنا من قبل، فيمكن لآخر إن إيه الناقل الارتباط بـ ATC ويرتبط التالي بـ GTC، ولكن ما الذي يمنع الآخر إن إيه الناقل عن تمييز التتابع CGT في المنتصف والارتباط به بدلاً من الارتباط بالتتابع GTC؟ مما يؤدي إلى إرباك الرسالة ككل؟ وكانت الإجابة التعسفية لكريك هي عدم السماح بحدوث ذلك. فإذا كانت الرسالة ككل يجب قراءتها دون التباس، فلا يمكن أن تكون جميع الكودونات منطقية ذات مغزى. أي الكودونات إذن يجب عدم السماح بها؟ من الواضح أن التتابعات المكونة فقط من A أو C أو T أو G لا يُسمح بحدوثها؛ ففي وجود تسلسل مكون من التتابع AAAAAAA لن تكون ثمة طريقة لتحديد موضع الهيكل الصحيح الذي تتم قراءته. ثم دار كريك بذهنه خلال جميع المجموعات الممكنة من الحروف. وباختصار نقول على هذا الأساس: إذا كان للكodon ATC أي مغزى ضروري، فإن جميع التباديل الأخرى المكونة من تلك الحروف الثلاثة يجب عدم السماح بها (إذا سمحنا بالترتيب ATC، فإن الترتيبين TCA و CAT يجب معهما). فكم عدد الاحتمالات المتبقية بعد ذلك؟ إن عددها ٢٠ بالضبط مرة أخرى! (فمن بين الكودونات الـ ٦٤ المحتملة، يجب حذف الاحتمالات AAA و UUU و CCC و GGG، فيبقى ٦٠، ثم إذا تم السماح بتبديل دورى واحد بين كل ثلاثة أحرف، فإن ٦٠ إذا قسمناها على ٢ يكون الناتج ٢٠).

وخلالاً للشفرات المترابكة، فإن شفرة كريك لا تفرض قيوداً على ترتيب الأحماض الأمينية في أحد البروتينات، كما أن حدوث طفرة موضعية لا يُغير بالضرورة اثنين أو ثلاثة من الأحماض الأمينية. وحينما تمَّ افتراض تلك الشفرة وعرضها، فإنها حلت مشكلة قراءة هيكل الكودونات بشكل رائع؛ إذ اختزلت الكودونات الـ ٦٤ إلى ٢٠ حمضاً أمينياً بطريقة مرضية من الناحية العددية، وكانت متوافقة تماماً مع جميع المعطيات المعروفة. ولكنها ما زالت خطأً بالرغم من ذلك! ففي خلال بعض سنوات اتضحت إمكان وجود آخر إن إيه اصطناعي يتكون بالكامل، بصورة نقية، من التتابع AAA (الذي استبعده كريك) ويمكنه بعد ذلك أن يصنع شفرة الحمض الأميني اللايسين، وأن يتحول إلى بوليمير بروتيني يتكون بالكامل من اللايسين.

ومع زيادة تعقد الأدوات التجريبية تمكنت مجموعات بحثية عدّة، بشكل تدريجي، من ضم أجزاء الشفرة الحقيقية معاً في منتصف ستينيات القرن الماضي. وبعد الجهود المستمرة من المهتمين بالشفرة الجينية لفكِّ منظومة الشفرة القديمة ظهرت الحقيقة التي قد تبدو عشوائية على نحوٍ مثيرٍ للارتباك والحيرة. فالشفرة الحقيقية ليست أنيقة

(بمعنى أنها مليئة بالقرار) وفيها تُشَفَّر ثلاثة أحماض أمينية بستة كودونات مختلفة، بينما تُشَفَّر أحماض أخرى بكودون واحد أو اثنين. جميع الكودونات لها فائدة، وثلاثة منها تقوم بدور «التوقيف الموضعي»، وبقيتها تُشَفَّر حمضًا أمينيًّا (أو أكثر). يبدو أنه لا يوجد نظام محدد، ولا تُوجَد أناقة ولا روعة، بل في الواقع يُعتبر الأمر المضاد المثالي للفكرة القائلة إن الجمال دليل على الحقيقة في العلم.^٤ بل يبدو أنه لا يوجد أي سبب بنويي معين يمكن أن تُعزِّز إلَيْه الشفرة؛ فلا يظهر أي وجود لارتباطات كيميائية أو فيزيائية قوية بين الأحماض الأمينية وكودونات معينة.

وقد صرَّح كريك بأن تلك الشفرة الجديدة المخيبة للأمال هي «مصادفة مجيدة»، وأكانت الغالبية بالإيماء بالموافقة على هذا. وقد قال إنها «مجيدة» لأن أي تجاوزات أو أضرار — تحدث عند إزالة تجميدتها — ستكون لها عواقب وخيمة؛ فأي طفرة واحدة تحدث عند نقطة معينة تغيير أحد الأحماض الأمينية هنا أو هناك، وكذلك أي تغيير في الشفرة نفسها سيسبب تغييرًا كارثيًّا في كل شيء حوله. وهناك فرق بين حدوث خطأ مطبعي عَرَضي في كتابٍ ما، مما لا يغير المعنى كثيرًا، وبين تحويل الأبجدية كلها إلى خلط مشوّه للحروف. ويستطرد كريك قائلاً إنه ما إن تُوضع الشفرة في إطارها، فإن أي عبث آخر بتلك الشفرة قد تتم معاقبته بالموت؛ وهي وجهة نظر ما زالت ترن في آذان علماء الأحياء اليوم على نطاق واسع.

ولكن الطبيعة «العرضية» سببَت مشكلةً لكريك. فلماذا تحدث مصادفة واحدة؟ لم لا تكون عدة مصادفات؟ فإذا كانت الشفرة اعتباطية؛ فلن يكون ثمة فضل معين لأي شفرة على شفرة أخرى، ولن يكون ثمة مبرر لوجود «عنق زجاجة» انتقائي يمكن فيه، على حد قول كريك، لأي نسخة معدلة من الشفرة «ميزة انتقائية تفوق بها جميع منافسيها وتجعلها تصمد وحدها». وإذا لم يكن هناك أي عنق زجاجة؛ فلماذا لم يوجد عدد من الشفرات معًا في كائنات حية مختلفة؟

الإجابة البديهية هي أن جميع الكائنات الحية على ظهر الأرض تنحدر من أصل مشترك كانت الشفرة فيه ثابتة بالفعل. وبأسلوب فلسفـي أكثر نقول إن الحياة نشأت مرة واحدة على الأرض؛ مما يجعلها تبدو حدثًا متفردًا غير مرجح، بل ربما حدثًا غريباً. وفي اعتقاد كريك، هذا يوحـي أن الحياة أشبه بعدوـي، أو لفـاح واحد. وقد مضى كريك في أفكاره قائلاً إن الحياة «بُـدـرـت» في الأرض مثل مستعمرة بكتيرـية اشتـقـت من كائن غير أرضـي واحد. واستطرد ذاهـبـاً إلى أن البكتـيرـيا قد تم بذرـها بذـكـاء مـتفـوقـ — من

خارج الأرض — عمداً من سفينة فضائية أرسلت إلى الأرض، وهي فكرة أسمتها «التبذر الشامل الموجه»، ووضع هذه الفكرة في كتاب بعنوان «طبيعة الحياة» نُشر عام ١٩٨١. وقد علقَّ مات ريدلي في كتابه الرائع عن سيرة كريك قائلاً: «إن موضوع فكرة كريك قد جعل عدداً غير قليل من الناس يُصابون بالدهشة والذهول؛ فإن ما كتبه كريك الرائع عن صور الحياة التي جاءت من الفضاء وبذرت في العالم من مركبة فضائية لهو شيء عجيب! فهل أدار النجاح رأسه إلى هذا الحد؟!

تبنيان الآراء حول ما إذا كانت فكرة الشفرة العَرَضِيَّة تُبرّر بالفعل هذا القدر الكبير من الجدل الفلسفـي أم لا. لم تكن الشفرة نفسها بحاجة إلى أن تُقدّم أي مزايا، أو عيوب، معينة لكي تَعْبُر عنـق زجاجـة؛ فـمن شأنـ أي عملية انتقاء قوية، بل من شأنـ أي حادث عَرَضـي – كارتـظام مـذنب فـضـائي – أن يكونـ قد أهـلك كل صورـ الحياة على الأرضـ وأـبـقـى على نـسـخـة وـحـيدـة مـنـها، تلكـ الشـفـرةـ التـيـ صـارـتـ – بالـتـبعـيـةـ – الشـفـرةـ الوحـيـدةـ المـوـجـودـةـ عـلـىـ الأـرـضـ. لكنـ حتـىـ إـنـاـ كـانـ هـذـاـ الـاحـتمـالـ قـائـمـاـ، فـقدـ كانـ توـقـيـتـ كـريـكـ غـيرـ مـوـقـعـ. فـمـنـذـ بـدـايـاتـ ثـمـانـينـيـاتـ القرـنـ العـشـرـينـ، حينـماـ كـانـ كـريـكـ يـؤـلـفـ كـتابـهـ، بـدـأـنـاـ نـدـركـ أـنـ شـفـرةـ الـحـيـاةـ لـيـسـ مـجـمـدـةـ وـلـيـسـ أـيـضاـ حدـيـاـ عـشوـائـيـاـ وـقـعـ مـصـادـفـةـ. فـهـنـاكـ أـنـماـطـ خـفـيـةـ دـاخـلـ الشـفـرةـ، مـاـ يـمـكـنـ أـنـ نـقـولـ إـنـهـ «ـشـفـرةـ دـاخـلـ الـكـوـدـوـنـاتـ»ـ، تـعـطـيـ أـمـارـةـ عـلـىـ أـصـوـلـهاـ التـيـ تـرـجـعـ إـلـىـ حـوـالـيـ ٤ـ مـلـيـارـاتـ سـنـةـ مـضـتـ! وـنـحنـ آنـ نـعـرـفـ أـنـ هـذـهـ الشـفـرةـ تـخـتـلـ كـثـيـراـ عـنـ تـالـ التـيـ رـفـضـهاـ الـذـكـيـرـونـ عـلـىـ فـكـ الشـفـراتـ الـوـرـاثـيـةـ، وـأـنـهاـ شـفـرةـ وـاحـدـةـ مـنـ بـيـنـ مـلـيـونـ تـسـتـطـيـعـ أـنـ تـقاـومـ التـغـيـرـ وـأـنـ تـسـرعـ وـتـيـرـةـ التـطـوـرـ فيـ الـآنـ ذاتـهـ.

إنها شفرة داخل الكودونات! تم تمييز أنماط مختلفة من الشفرة منذ عقد الستينيات حتى اليوم، ولكن أغلبها كان من السهل التجاوز عنه بوصفه محض شذوذ عجيب أو تدبّب إحصائي، وهو ما فعله كريك نفسه. وحتى حينما تجمع تلك الأنماط معاً، فإن النمط المجمع لا يبدو معقولاً بالقدر الكافي. لماذا؟ هذا سؤال جيد، ناقشه عالم في الكيمياء الحيوية من ولاية كاليفورنيا الأمريكية يُدعى بريان كيه ديفيز، الذي كان لديه اهتمام طويل الأمد بجذور الشفرة الجينية. يرى ديفيز أن فكرة «المصادفة المجمدة» ذاتها تجعلنا ننبعض عن الاهتمام بأصول الشفرة؛ فلماذا ندرس تلك المصادفة أو نبحث فيها؟ إن المصادفات تحدث وكفه.. وفهما وراء ذلك، يعتقد ديفيز أن حفنة الباحثين

الذين يحتفظون باهتمام خاص بهذا الأمر قد انخدعوا بتلك الفكرة السائدة عن وجود ما يمكن تسميته «الحساء البدائي». فإذا كانت الشفرة قد نشأت في «حساء» بدائي، فلا بد أن تكون أعمق جذورها متغللقة في الجزيئات المرجح تولّدها عن العمليات الفيزيائية والكيميائية الجارية داخل «الحساء». وهذا أوحى بوجود مجموعة أساسية من الأحماض الأمينية كأساس للشفرة، ثم أضيفتً أحماض أخرى فيما بعد. وقد كان في هذه الفكرة ما يكفي من الحقيقة لجعل الدليل عليها مثيرًا للاهتمام ومُحِبِّرًا في الوقت نفسه. لكن فقط حين ننظر إلى الشفرة كنحتاج لما يُسمَّى عملية «التخليل الحيوي» — التي تكون الخلايا بمقتضاه قادرة على صنع وحداتها البنائية من الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون — يكون لتلك الأنماط التي تحدَّثنا عنها سابقًا معنى.

إذن ما هذه الأنماط المراوغة؟ يُوجَد نمط مختلف يرتبط بكل حرف من الشفرة الثلاثية، والحرف الأول هو الأكثر لفتًا للانتباه؛ لأنَّه يرتبط بالخطوات التي تُحوَّل مادة طبيعية بسيطة إلى حمض أميني. وهذا المبدأ مذهل لدرجة أنه يستحق أن نوضّحه باختصار. ففي الخلايا اليوم، تُصنَّع الأحماض الأمينية عبر سلسلة من الخطوات البيوكيميائية، بدءًا من تلك المواد الطبيعية البسيطة المختلفة. المدهش أنه تُوجَد رابطة بين أول حرف من الكودون ثلاثي الشفرة وبين تلك المواد الطبيعية البسيطة. ومن ثم؛ فإن جميع الأحماض الأمينية التي نشأت من المادة الطبيعية التي تُسمَّى «البيروفات» مثلاً تتشارك في نفس الحرف الأول من الكودون؛ وهو T في هذه الحالة.^٥ أستخدم هنا مثال البيروفات لأننا صادفناه بالفعل في الفصل الأول؛ إذ يمكن أن يتكون في الفوهات الحرماضية من غازٍ ثانٍ أكسيد الكربون والهيدروجين في وجود عوامل مساعدة، هي الأملاح المعدنية الموجودة في تلك الفوهات، ولكن مادة البيروفات ليست الوحيدة في هذا الصدد؛ فكل المواد الطبيعية للأحماض الأمينية هي جزء مما يُسمَّى دورة كربس التي تُشكِّل لب الكيمياء الحيوية لجميع الخلايا، ومن المفترض أن تتكون في ذلك النوع من الفوهات الحرماضية المذكورة في الفصل الأول. والمعنى الضمني، الذي نقرّ بأنه لا يزال ضعيفًا عند هذه النقطة ولكن يُتوَقَّع أن يزداد عمّا هو أنه تُوجَد رابطة بين الفوهات الحرماضية وبين الموضع الأول للشفرة الثلاثية.

ماذا عن الحرف الثاني؟ هنا يُوجَد ارتباط مهم بالدرجة التي يصل إليها الحمض الأميني في كونه قابلاً للذوبان في الماء أو غير قابل لذلك، بمعنى درجة محنته أو كراهيته للماء؛ فالأحماض الأمينية المحبة للماء تذوب فيه، بينما لا تختلط الأحماض الأمينية

الكارهة للماء به، بل تذوب في المواد الدهنية أو الزيتية، مثل الأغشية الدهنية للخلايا. ويمكن تصنيف الأحماض الأمينية إلى طيف واسع، يمتد من تلك «الكارهة للماء جدًا» إلى «المحبة للماء جدًا»، وهذا الطيف هو الذي يحمل صلة مع الموضع الثاني للشفرة الثلاثية. خمسة من الأحماض الأمينية الستة الأكثر كراهية للماء لديها T كقاعدة وسطي. بينما جميع الأحماض الأمينية الأكثر حبًا للماء لديها A في ذلك الموضع. أما الأحماض الأمينية المعتدلة في درجة تقبلها للماء فلديها G أو C هناك. وبصفة عامة، تُوجَد علاقات حتمية قوية بين الموضعين الأولين لكل كودون وبين الحمض الأميني الذي يتم تشفيره لأي أسباب كانت.

يقع الحرف الأخير في موضع الانحلالية، حيث تعاني ثمانية أحماض أمينية مما يُطلق عليه «الانحلالية الرباعية»، وهو لفظ تقني غريب. يعني علماء الكيمياء الحيوية ببساطة بهذا أن الموضع الثالث للكودون خالٍ تماماً من المعلومات، ولا يهم أي قاعدة من القواعد تُوجَد فيه؛ فكل الاحتمالات الأربع تشفّر نفس الحمض الأميني. وفي حالة الجلايسين، الذي يتم تشفيره من قبل الكودون الثلاثي GGG، يمكن تحويل حرف الـ G الأخير إلى T أو A أو C؛ ومع ذلك لا يزال كل كودون ثلاثي يشفّر الجلايسين.

لانحلالية الشفرة في الموضع الثالث دلالات عدة مثيرة للاهتمام؛ فقد أوردنا سابقاً أن الشفرة المزدوجة يمكنها أن تشفّر ما يصل إلى 16 من بين الأحماض الأمينية العشرين المختلفة. فإذا حذفنا منها الأحماض الأمينية الخمسة الأكثر تعقيداً (تاركين 15 بالإضافة إلى كودون توقيفي واحد) فإن الأنماط التي في الحرفين الأولين من الشفرة تشير أكثر قوة. ولهذا نقول: لعل الشفرة البدائية الأصلية كانت مزدوجة، ثم بعد ذلك فقط تمددت فصارت شفرة ثلاثية، وذلك عن طريق «اقتناص الكودون»؛ إذ تنافست الأحماض الأمينية فيما بينها على الموضع الثالث. وإذا كان الأمر كذلك، فربما كان لأقدم الأحماض الأمينية ميزة «غير عادلة» في «الاستيلاء» على الكودونات الثلاثية، وهذا يبدو صحيحاً. فعلى سبيل المثال، فإن الـ 15 حمضاً أمينياً الأكثر احتمالاً أن يكون قد تم تشفيرها بالشفرة المزدوجة القديمة استولت فيما بينها على 53 من بين الكودونات الثلاثية الأربع والستين المحتملة؛ أي بمعدل 3,5 كودونات لكل حمض أميني. وعلى النقيض من هذا، فإن الأحماض الخمسة اللاحقة تَعَيَّنُ عليها توزيع الكودونات الثمانية المتبقية فيما بينها، بمعدل 1,6 كودون فقط. وهذا يشابه ما يحدث حينما تقتتنص الطيور المبكرة غذاءها من الديدان.

لذا فلننفكّر قليلاً في احتمال أن الشفرة كانت في بداية الأمر مزدوجة، وليس ثلثية، شفرة لعدد إجمالي مقداره ١٥ حمضاً أمينياً (زاد كودون «توقيفي» واحد). هذه الشفرة القديمة يبدو أنها كانت حتمية بالكامل تقريباً، بمعنى أنها يتم إملاؤها من قبل عوامل فيزيائية وكيميائية، وثمة استثناءات قليلة لهذه القواعد بأن يكون الحرف الأول متحالفاً مع المادة السابقة (الطبيعية)، بينما يكون الحرف الثاني مرتبطاً بدرجة تقبلُ الحمض الأميني للماء. وثمة مجال قليل هنا لدور المصادفة؛ فلا تحرر من القواعد الفيزيائية.

إلا أن الحرف الثالث يُعدُّ شيئاً مختلفاً؛ إذ يوجد قدرُ كبير من المرونة المتعلقة بهذا الحرف، وثمة دور للمصادفة يمكن أن تلعبه، ومن ثم صار ممكناً أن يعمل الانتقاء على تحسين الشفرة. هذا، على أي حال، كان الافتراض المتطرف الذي تقدّم به اثنان من علماء الأحياء الجزيئية الإنجليز؛ وهما لورنس هيرست وستيفن فريلاند، في أواخر تسعينيات القرن العشرين. لقد صار الاثنان في بؤرة الاهتمام العلمي حين قارنا الشفرة الجينية بمتلويين من الشفرات العشوائية المنتجة بالكمبيوتر. وفجأاً في مقدار الضرر الذي يمكن أن ينجم عن الطفرات الموضعية؛ إذ يزول أحد الحروف من مكانه ليحل محله حرف آخر. وتساءلاً: أي شفرة يمكنها أن تقاوم هذه الطفرات بشكل أفضل، إما بالاحتفاظ بنفس الحمض الأميني بالضبط، وإما بإبداله بأخر مماثل؟ ووجدوا أن الشفرة الجينية الحقيقية مقاومة للتغيير بشكل مذهل؛ فغالباً ما تحافظ الطفرات الموضعية على تتبع الأحماض الأمينية، وإذا ما حدث تغيير ما فإنه يكون هناك ميل لأن يجيء حمض أميني ذو صلة فيزيائياً ليحل محل الحمض الأميني المتغير. وفي الواقع، أعلن هيرست وفريلاند أن الشفرة الجينية الطبيعية أفضل من مليون شفرة بديلة مولدة عشوائياً. ليس الأمر محض تعصب من طرف المهتمين بالشفرة الطبيعية، ولكن شفترنا الجينية فريدة بحق. فلا يقتصر الأمر على أن الشفرة تقاوم التغيير، بل إنها أيضاً تعمل عن طريق تقييد العواقب الكارثية الناجمة عن التغيرات التي تحدث على تسريع عملية التطور؛ فمن الواضح أن الطفرات، إن لم تكن كارثية، فهي مفيدة على الأرجح.

وإذا نَحَّينا فكرة التصميم غير الأرضي للشفرات جانباً، فإن الطريقة الوحيدة التي قد يفكر فيها أحدهنا لتفسير تحسين الشفرة هي عن طريق عمليات الانتقاء. وإذا كان الأمر كذلك فإن شفرة الحياة لا بد أن تكون قد تطورت. بالتأكيد، يظهر عدد الاختلافات الطفيفة في الشفرة «العامة» فيما بين البكتيريا، بعضها والبعض، والميتوكوندريا الخلوية

أن الشفرة يمكن أن تتطور، على الأقل تحت ظروف استثنائية، ولكن قد تتساءل: كيف تتغير الشفرة دون التسبب في إزعاج كريك؟ والإجابة: إن هذا يحدث بشكل غير مترابط؛ أي في صورة حالات فردية. فإذا تم تشفير حمض أميني ما من قبل أربعة أو حتى ستة كودونات مختلفة، فإن بعضها يميل لأن يستخدم أكثر من غيره. والكودونات نادرة الاستخدام يمكن عملياً أن يعاد تخصيصها لحمض أميني مختلف (وإن كان يرجح أن يكون ذا صلة) دون عواقب وخيمة، وبذلك تتطور الشفرة.

إذن، بشكل إجمالي، تتحدث عبارة «شفرة داخل الكودونات» عن عملية فيزيائية، تكون في البداية مرتبطة بالتركيب الحيوي ومدى قابلية الأحماض الأمينية للذوبان، ثم فيما بعد ذلك بتمددتها وتحسينها. والسؤال الآن هو: ما نوع العملية الفيزيائية التي بدأ الانتقاء يعمل على أساسها؟

الإجابة غير معروفة بشكل مؤكد، وتُوجَد إزاءها عوائق كثيرة. ومن أقدم تلك العوائق المعضلة العويصة الخاصة بالدي إن إيه والبروتينات. كانت المشكلة تمثل في أن الدي إن إيه خامل تقريباً بطبيعة، ويحتاج إلى بروتينات محددة ليضاعف نفسه، فضلاً عن أمور أخرى. ومن الناحية الأخرى، لا تتحدد البروتينات بفعل الصدفة، بل تتطور بالانتقاء الطبيعي، ولكي يحدث ذلك لا بد أن يكون تركيبها متوارثًا ومتغيرًا. ولا تعمل البروتينات مثل قالبها المتوارث، بل يتم تشفيرها من قبل الدي إن إيه؛ ومن ثم لا يمكن أن تتطور البروتينات بدون الدي إن إيه، وأيضاً لا يمكن أن يتطور الدي إن إيه بدون البروتينات. فإذا لم يكن ممكناً لأيٍّ منها أن يتطور دون الآخر، فلا يمكن أن تبدأ عملية الانتقاء حينئذ.

ثم حدث في منتصف عقد الثمانينيات من القرن الماضي ذلك الاكتشاف المذهل الذي يتمثل في أن الـآر إن إيه يعمل كعامل مساعد محفز. نادرًا ما يأخذ الـآر إن إيه شكل اللولب المزدوج، ولكنه بدلاً من ذلك يأخذ شكل جزيئات أصغر حجمًا بأشكال معقدة تجعلها مناسبة للعمل كمواد محفزة. ومن ثم يكسر الـآر إن إيه حلقة الـدي إن إيه والبروتينات المفرغة. وفي «عالم الـآر إن إيه» الافتراضي يقوم الـآر إن إيه بدور كلٍّ من البروتينات والـدي إن إيه، عاملًا كمادة محفزة لعملية تخليقه هو لنفسه، فضلاً عن تفاعلات أخرى كثيرة. وهكذا وجدنا فجأة أن لا حاجة لأن يكون تفسير الشفرة كله معتمدًا على الـدي إن إيه، بل يمكن أن تكون الشفرة قد نتجت عن التفاعلات المباشرة للـآر إن إيه مع البروتينات.

بدا هذا معقولاً بشكل جيد فيما يختص بكيفية أداء الخلايا الحديثة لعملها. ففي الخلايا في عصرنا هذا، لا تُوجَد تفاعلات مباشرة بين الـ *إن إيه* والأحماض الأمينية، ولكن أثناء عملية تخليل البروتين، يتم تحفيز الكثير من التفاعلات الأساسية بإنزيمات الـ *الـ آر إن إيه* التي تُعرَف بالريبيوزيمات (الإنزيمات الريبيية). أما لفظ «*عالم الـ آر إن إيه*» فقد صاغه زميل لواطسون في جامعة هارفرد يُدعى والتر جلبرت ونشر في واحد من أكثر مقالات مجلة «نيتشر» اطلاعاً حتى الآن. وكان لهذه الفكرة تأثير رائع في هذا المجال، بينما أعيدت صياغة التساؤل المتعلق بشفرة الحياة من عبارة «*كيف يعمل الـ دى إن إيه على تشغيل البروتينات؟*» إلى «*ما أنواع التفاعلات التي يجب أن تكون قد حدثت بين الـ آر إن إيه والأحماض الأمينية؟*» إلا أن الإجابة كانت بعيدة عن الوضوح المطلوب.

وفي خضم الاهتمام المركّز بـ *عالم الـ آر إن إيه*، ربما كان من العجيب أن حَدَث تجاهل كبير للخصائص المحفزة لقطع الـ *آر إن إيه* الأصغر حجماً. فإذا كانت جزيئات الـ *آر إن إيه* الكبيرة يمكنها أن تحفّز التفاعلات، فمن المرجح أن الفئات الأصغر حجماً منها — أي «الحروف» المفردة أو أزواج «الحروف» — يمكنها أيضاً أن تحفز التفاعلات، وإن كان هذا يتم بشكل أقل شدة. وتتحوّي أبحاث حديثة أجراها عالم الكيمياء الحيوية الأمريكي الرائع هارولد موروفيتيس، ومعه عالمة البيولوجيا الجزيئية شيلى كوبلي وعالم الفيزياء إريك سميث، بهذا الاحتمال بالضبط. قد لا تكون أفكارهم صحيحة، ولكني أعتقد أن هذا هو نوع النظرية الذي ينبغي أن نبحث فيه لتفصير أصل شفرة الحياة.

يفترض موروفيتيس وزميلاه أن أزواج الحروف (التي تُسمّى تقنياً «النيوكليوتيدات الثنائية») تعمل بالفعل كعوامل محفزة. وقد تصوّروا نيوكلويوتيداً ثنائياً يرتبط بطليعة حمض أميني، مثل البيروفات، ويحفز عملية تحوله إلى حمض أميني. ويعتمد نوع الحمض الأميني الذي يتكون على الحروف التي تتزاوج معًا في النيوكليوتيد الثنائي (مع اتباع قاعدة الشفرة داخل الكودونات التي ناقشناها من قبل). وباختصار نقول إن الموضع الأول يحدّد نوع طليعة الحمض الأميني، ويحدّد الثاني نمط عملية التحول. فإذا كان الحرفان هما UU على سبيل المثال، تترابط أجزاء البيروفات ويتحول إلى حمض أميني كاره للماء بوضوح؛ وهو الليوسين. وقد دعم موروفيتيس هذه الفكرة البسيطة الجميلة ببعض آليات التفاعل الماهرة؛ مما يجعلها على الأقل مقبولة، مع أنني أؤدّي أن أرى في أدبيات اختبار بعض الأدلة على أن التفاعلات المفترضة تحدث بالفعل.

ويحتاج الأمر إلى خطوتين آخرتين لنصل إلى شفرة ثلاثة من هنا، على الأقل مبدئياً، ولا تفترض هاتان الخطوتان أي شيء أكثر من عملية التزاوج العادية بين الحروف. ففي

الخطوة الأولى، يرتبط جزء آر إن إيه بالنيوكليوتيد الثنائي ذي الحرفين عن طريق عملية تزاوج أساسية قياسية؛ وهي: G مع C، A مع U، وهكذا. وينتقل الحمض الأميني إلى الآخر إن إيه الأكبر، الذي تكونه أكبر تكون لديه قوى جذب أقوى.^١ ويكون الناتج هو آر إن إيه مرتبط بحمض أميني؛ يعتمد تمييز نوعه على الحروف التي كُوّنت النيوكليوتيد الثنائي. ويعتبر، في واقع الأمر، نموذجاً أصلياً من جزيئات كريك المهايئة، وهو آر إن إيه تم تحميشه بالحمض الأميني «الصحيح».

وتعمل الخطوة النهائية على تحويل الشفرة ذات الحرفين إلى شفرة ثلاثة الأحرف، ويمكنها مرة أخرى ألا تعتمد على أكثر من القواعد القياسية للتزاوج بين جزيئات الآخر إن إيه. فإذا كانت تلك التفاعلات تعمل بثلاثة أحرف أفضل مما تعمل بحرفين (ربما لأن التباعد حينئذ يكون أفضل، أو الارتباط أقوى)، فإننا حينئذ ننتقل بسهولة إلى الشفرة الثلاثية، وفيها يتحدد الحرفان الأولان بفعل قيود عملية التخليق، بينما يمكن أن يختلف الحرف الثالث في حدود ما، مُتيحاً الفرصة لتحسين الشفرة في مرحلة تالية. وهذا أشك في أن مفهوم كريك الأصلي عن جزيئات الآخر إن إيه، التي تستقر مثل خنازير دقيقة رضيعة ترضع من أثداء الخنزير الأم، قد يكون صحيحاً، إذ يمكن أن تدفع القيود المكانية جزيئات الآخر إن إيه المتاخمة إلى تحديد معدل ثلاثة حروف في المتوسط. لاحظ أنه حتى الآن لا يوجد إطار للقراءة، ولا بروتينات، بل مجرد أحماض أمينية تتفاعل مع جزيئات الآخر إن إيه. ولكن أساس الشفرة صار بالفعل في مكانه الصحيح، ويمكن إضافة أحماض أمينية إضافية في مرحلة تالية عن طريق قنص كودونات ثلاثة شاغرة. يُعتبر هذا السيناريو بكامله افتراضياً ومن المؤكد أنه حتى الآن لا تُوجَد سوى أدلة قليلة تدعمه. وأكبر ميزة له أنه يلقي الضوء على أصل الشفرة، آخذًا إلينا من مجرد التفكير في ارتباطات كيميائية بسيطة إلى وجود كودون ثلاثي بطريقة مقبولة ويمكن اختبارها. وحتى في هذه الحالة ربما تشعر أن هذا الأمر مقبول، لكن المشكلة أنه يعتمد بشدة على جزيئات الآخر إن إيه، وكأنها شيء سهل المنال ينمو على الأشجار. ولهذا الأمر أسئلة: كيف ننتقل من مجرد ارتباطات كيميائية بسيطة إلى عملية الانتقاء للبروتينات؟ وكيف ننتقل من الآخر إن إيه إلى الذي إن إيه؟ في هذا الصدد، ثمة إجابات قوية تدعمها اكتشافات مدهشة ظهرت في السنوات القليلة الماضية. ومما يثير الشعور بالرضا أن الاكتشافات الجديدة تتوافق بشكل رائع مع فكرة أن الحياة تطورت داخل الفوهات الحرمانية، وهو ما ورد ذكره في الفصل الأول.

السؤال الأول هو: من أين تأتي جميع جزيئات الأرض إن إيه؟ فبالرغم من مرور عقود من الأبحاث المكثفة في عالم الأرض إن إيه، فإنه ندر أن وجه هذا السؤال بطريقة جادة. بل كان ثمة افتراض فكري غير معقول ولم يُقله أحد، أن الأرض إن إيه كان «يُوجَد على الدوام» داخل حسأء بدائي وحسب.

لا أقصد الخداع هنا، ولكن هناك مشكلات معينة كثيرة في العلوم، ولا يمكن الإجابة عنها جميـعاً دفعة واحدة. وتعتمد القدرة التفسيرية العجيبة لعالم الأرض إن إيه على أمر محدد؛ لأنـا وهو الوجود الأصلي السابق للـأرض إن إيه. وبالنسبة لرواد عالم الأرض إن إيه لم يكن من المهم أن يسألوا من أين جاء الأرض إن إيه؛ بل كان السؤال الذي يوجه أحـاثـهم هو: ما الذي يمكن أن يفعـلـه؟ بالتأكيد، كان هناك آخرون مهتمون بعملية تخليق الأرض إن إيه، ولكنـهم كانوا منقسمين إلى فئـات متجـادـلة على طـول المـدىـ، ومتـناـحـرة فيما بينـهاـ حول افتراضـاتـهمـ المفضلـةـ. فبعضـهمـ يذهبـ إلىـ أنهـ ربماـ تمـ تخـليـقـ الأرضـ حينـماـ ضـربـ البرـقـ الخارـجيـ منـ مـادـةـ السـيـانـيدـ، أوـ أنهـ ربماـ صـنـعـ هـنـاـ عـلـىـ ظـهـرـ الـأـرـضـ حـيـنـماـ ضـربـ البرـقـ غـازـاتـ المـيـثـانـ وـالـنـشـادـرـ، أوـ ربماـ تـشـكـلـ عـلـىـ ذـهـبـ الـحـمـقـىـ فـيـ أـحـدـ الـبـرـاكـينـ. وـلـمـ تـقـدـمـ كـلـ تلكـ السـيـنـارـيوـهـاتـ إـلـاـ القـلـيلـ مـنـ النـفـعـ، بلـ عـانـتـ جـمـيـعاًـ نـفـسـ المشـكـلةـ الـأـسـاسـيـةـ، وهـيـ «مشـكـلةـ التـرـكـيزـ»ـ.

من الصعوبة بمـكانـ صـنـعـ حـرـوفـ الـأـرـضـ إنـ إـيهـ المـفـرـدةـ (الـنيـوـكـلـيـوـتـيـدـاتـ)، ولكنـهاـ تـرـتـبـطـ مـعـاـ فـيـ شـكـلـ بـولـيمـرـ (جزـيءـ أـرـ إنـ إـيهـ عـادـيـ)ـ إـذـاـ كـانـتـ الـنيـوـكـلـيـوـتـيـدـاتـ مـوـجـودـةـ بـتـرـكـيزـ عـالـىـ. فـإـذـاـ كـانـتـ مـوـجـودـةـ بـكـمـيـةـ كـبـيرـةـ فـإـنـهاـ، أيـ الـنيـوـكـلـيـوـتـيـدـاتـ، تـنـكـثـفـ تـلـقـائـيـاـ إـلـىـ سـلـاسـلـ طـوـلـيـةـ. وـلـكـنـ إـذـاـ كـانـ التـرـكـيزـ مـنـخـفـضاـ يـحـدـثـ العـكـسـ؛ بـمـعـنـىـ أـنـ يـتـكـسرـ بـولـيمـرـ الـأـرـ إنـ إـيهـ إـلـىـ مـوـكـونـاتـهـ مـنـ الـنيـوـكـلـيـوـتـيـدـاتـ. وـالـمـشـكـلةـ أـنـ كـلـ مـرـةـ يـعـملـ فـيـهاـ الـأـرـ إنـ إـيهـ عـلـىـ تـكـرـارـ نـفـسـهـ، فـإـنـهـ يـسـتـهـلـكـ الـمـزـيدـ مـنـ الـنيـوـكـلـيـوـتـيـدـاتـ؛ مـاـ يـؤـديـ إـلـىـ خـفـضـ تـرـكـيزـهــ. فـإـذـاـ لـمـ يـتـمـ تـعـوـيـضـ كـمـيـةـ الـنيـوـكـلـيـوـتـيـدـاتـ باـسـتـمـارـ وـبـمـعـدـلـ أـسـرـعـ مـنـ استـهـلاـكـهــ، فـلـنـ يـسـتـمـرـ عـالـمـ الـأـرـ إنـ إـيهـ فـيـ عـمـلـهـ بـكـلـ قـدـرـتـهـ التـفـسـيرـيـةــ. لـنـ يـسـتـمـرـ أـبـداـ وـفـقـ هـذـاـ السـيـنـارـيوــ. وـمـنـ ثـمــ، فـإـنـ مـنـ كـانـواـ يـرـيدـونـ إـحـرـازـ بـعـضـ النـتـائـجـ الـعـلـمـيـةـ الـنـافـعـةــ. يـتـقـبـلـونـ وـجـودـ الـأـرـ إنـ إـيهـ كـمـاـ هـوـ دونـ تـفـسـيرــ.

وـقدـ أـحـسـنـواـ صـنـعـاـ؛ لـأـنـ الـجـوـابـ الـذـيـ يـحـتـاجـونـهـ لـمـ يـأـتـ إـلـاـ بـعـدـ وـقـتـ طـوـيلـ، وـعـلـىـ نـحـوـ درـامـيــ. مـنـ الـمـؤـكـدـ أـنـ الـأـرـ إنـ إـيهـ لـاـ يـنـمـوـ عـلـىـ الـأـشـجـارـ، وـلـكـنـهـ يـتـكـونـ فـيـ الفـوهـاتـ الـحرـمـائـيـةـ الـطـبـيعـيـةـ، أـوـ الـاـصـطـنـاعـيـةـ عـلـىـ الـأـقـلــ. فـفـيـ بـحـثـ نـظـريـ مـهـمـ فـيـ عـامـ ٢٠٠٧ــ.

أورد عالم جيوكيميائي نشطً يُدعى مايك راسل (ذكرناه في الفصل الأول) بالتعاون مع دير براون وزملائه في ألمانيا، أن النيوكلويوتيدات يجب أن تراكم حتى مستويات قصوى في تلك الفوهات. ويرتبط سبب ذلك بالدرجات الحرارية القوية التي تنشأ هناك. ارجع إلى الفصل الأول لتتذَّكر أن الفوهات الحرمانية القلوية مليئة بثقوب متصلة فيما بينها. وتسبِّب الدرجات الحرارية نوعين من التيارات يدوران عَبْر تلك الثقوب؛ وهما: تيارات الحمل الحراري (كما يحدث في غلاية الشاي)، والانتشار الحراري (وهو انتقال الحرارة إلى مياه أكثر برودة). وهدان النوعان من التيارات الحرارية يعملان تدريجيًّا على ملء الثقوب السفلية بالكثير من الجزيئات الصغيرة، ومنها النيوكلويوتيدات. وقد صنع أولئك الباحثون نظامًا حراريًّا مائِيًّا اصطناعيًّا، وصل فيه تركيز النيوكلويوتيدات إلى مستوى يزيد بمقدار آلاف، بل ملايين الأضعاف، عن مستوى الابتدائي. وهذه المستويات العالية يجب أن تؤدي بشكل كافٍ إلى تكتيف النيوكلويوتيدات إلى سلسل من الآر إن إيه أو الذي إن إيه. وكما استنتج الباحثون، فإن هذه الأحوال أو الشروط توفر «نقطة بدء من التركيز المرتفع تدفع عملية التطور الجزيئي للحياة».

ولكن هذا ليس كل ما يمكن أن تفعله الفوهات؛ فجزيئات الآر إن إيه أو الذي إن إيه الأكثر طولاً تراكم نظريًّا إلى مستويات أعلى من النيوكلويوتيدات المفردة؛ فأحجامها الأكبر يجعلها أكثر قابلية للتراكم في الثقوب. وإن جزيئات الذي إن إيه التي تتركب من ١٠٠ زوج قاعدي يتوقع لها أن تراكم إلى مستويات خيالية، قد تصل إلى مليون مليار مرة فوق مستوى التركيز الابتدائي، وهذه التركيزات العالية يجب مبدئيًّا أن تتيح حدوث جميع أنواع التفاعلات التي نقاشناها، مثل ربط جزيئات الآر إن إيه بعضها ببعض، وهذا. بل وأفضل من هذا، فإن درجات الحرارة المتذبذبة (أي الدورانية الحرارية) تعزز تضاعف الآر إن إيه، بنفس الطريقة التي تحدث في التقنية المعملية العامة التي تسمى «تفاعل البوليمرات المتسلسل». ففي هذا التفاعل تؤدي درجات الحرارة المرتفعة إلى حل جزيئات الذي إن إيه؛ مما يُمكِّنها من أن تعمل ك قالب، بينما يؤدي التكتيف في درجات الحرارة المنخفضة إلى إتاحة الفرصة لخيط الذي إن إيه المكمل لأن يتبلمر ويكون الناتج هو حدوث معدل مرتفع جدًّا من التضاعف.^٧

وإذا أخذنا الأمرين معًا، فإن الدرجات الحرارية يجب أن تركز النيوكلويوتيدات المفردة إلى مستويات قصوى في الفوهات؛ مما يعزز تكون الآر إن إيه. ثم يجب على نفس هذه الدرجات أن تتركز الآر إن إيه؛ مما يعزز التفاعلات الفيزيائية بين الجزيئات، وفي

النهاية يجب على درجات الحرارة المتذبذبة أن تعزز تضاعف الأر إن إيه. ومن الصعب أن تخيل وضعًا أفضل من هذا لعالم الأر إن إيه البدائي.

والآن، ماذا عن سؤالنا الثاني: كيف ننتقل من عملية التضاعف لجزيئات الأر إن إيه، التي تتنافس فيما بينها، إلى منظومة أكثر دقة وتعقيدًا وفيها يبدأ الأر إن إيه في تشفير البروتينات؟ ونقول مجددًا إن الفوهرات قد تحمل الإجابة عن هذا السؤال.

ضع جزيئات الأر إن إيه في أنبوبة اختبار، مع المواد الخام والطاقة (ثلاثي فوسفات الأدينوسين) التي تحتاجها، وسوف تتضاعف. في الواقع، إنها لن تفعل هذا فحسب، بل لقد اكتشف عالم البيولوجيا الجزيئية سول سبيجلمان وأخرون في عقد السبعينيات من القرن الماضي أن جزيئات الأر إن إيه سوف تتطور. وعلى مدى أجيال من تجارب أنابيب الاختبار تزداد سرعة جزيئات الأر إن إيه في التضاعف؛ مما يجعلها في نهاية الأمر عالية الكفاءة بشدة، أي إنها «تتوحش» في كفاءتها. ووحش سبيجلمان هذا عبارة عن خيط متضاعف من الأر إن إيه على الخصوبة، يعمل على نحو نشط محموم في بيئه اصطناعية. وما يثير العجب، أنه لا يهم من أين تبدأ؛ إذ يمكن أن تبدأ بفيروس كامل أو بقطعة اصطناعية من الأر إن إيه. بل يمكن أن تبدأ بخلط من النيوكليوتيديات مع إنزيم البوليمراز لربط ذلك الخليط معاً. وأيًّا كان ما تبدأ به ينتهي بك المآل إلى نفس «الوحش»، أي نفس خيط الأر إن إيه الذي يتضاعف بسعار وجنون، والذي بالكاد يصل طوله إلى خمسين حرفًا؛ ووحش سبيجلمان. ويذكر الأمر مرة تلو الأخرى بلا نهاية.

المهم في الأمر أن وحش سبيجلمان لا يصير أكثر تعقيدًا. ويرجع السبب في ضرورة ألا يزيد طوله عن خمسين حرفًا إلى أن هذا هو التتابع الارتباطي المناسب لإنزيم التضاعف، الذي بدونه لا يمكن أن يحقق خيط الأر إن إيه تضاعفه المطلوب. في الواقع الأمر، يهتم الأر إن إيه بنفسه فقط ولا يستطيع أن يتحقق درجة التعقيد المطلوبة في حالة الحلول؛ فكيف إذن ولماذا يبدأ الأر إن إيه في تشفير البروتينات، على حساب سرعة تضاعفه الذاتي؟ إن الطريق الوحيد لكسر هذه الحلقة المفرغة هو أن يحدث الانتقاء عند «مستوى أعلى»؛ حتى يصير الأر إن إيه جزءًا من كيان أكبر، الذي يُعدُّ الآن وحدة الانتقاء، وهي الخلية على سبيل المثال. المشكلة أن جميع الخلايا العضوية شديدة التعقيد لدرجة أنها لا يمكنها أن تنبثق إلى الوجود فجأة دون أن تتطور، بمعنى أنه يجب أن يحدث انتقاء للسلالات التي تكون الخلية، وليس انتقاء لسرعة تضاعف الأر إن إيه. هذه معضلة عويصة، يتعدد تجنبها تماماً مثل حلقة الدي إن إيه والبروتينات المفرغة، وإن كانت أقل شهرة.

رأينا أن الآر إن إيه يكسر حلقة الذي إن إيه والبروتينات المفرغة بشكل رائع، ولكن ما الذي يكسر حلقة الانتقاء المفرغة؟ تمثل الإجابة الظاهرة أمام أعينا في الخلايا غير العضوية الجاهزة المكونة في الفوهات الحرماضية؛ فهذه الخلايا تكون في نفس حجم الخلايا العضوية تقريباً وت تكون طوال الوقت في الفوهات النشطة. ومن ثم، إذا كانت مكونات خليةٍ ما صالحة لتجديد المواد الخام الازمة لضاغطة نفسها، فإن الخلية تبدأ في ضاغطة نفسها، فتتبرع لتكون خلية غير عضوية جديدة. وعلى النقيض من هذا، فإن جزيئات الآر إن إيه «الأنابينة» التي تضاغط نفسها بأسرع ما يمكن تبدأ في التدهور؛ إذ تكون عاجزة عن تجديد المواد الخام الازمة لاستمرار ضاغطتها ذاتياً.

بعبرة أخرى، في بيئه الفوهات المذكورة ينتقل الانتقاء تدريجياً من مسألة السرعة التضاغطية لجزيئات الآر إن إيه المفردة إلى مسألة «الأيض» الكلي للخلايا، التي تعمل كوحدات مفردة. وتعتبر البروتينات، دون سواها، هي المتحكم في الأيض. ومما لا مفر منه أنها في نهاية الأمر تحمل الآر إن إيه. ولكن بطبيعة الحال، فإن البروتينات لا تأتي إلى الوجود في الحال، بل من المرجح أن المعادن والنيوكليوتيدين، وجزيئات الآر إن إيه، والأحماس الأمينية والمركبات الجزيئية (الأحماس الأمينية التي ترتبط بالآر إن إيه على سبيل المثال) كلها تسهم في إنتاج نموذج أصلي من الأيض. والفكرة هنا هي أن ما بدأ على صورة ارتباطات بسيطة بين الجزيئات، صار في عالم الخلايا المتکاثرة طبيعياً هذا انتقاءً للقدرة على إعادة إنتاج محتويات الخلايا كلّ. لقد صار الأمر حينئذٍ انتقاءً للكفاءة الذاتية، وفي نهاية الأمر، للوجود المستقل نفسه. ومما يثير التعجب أننا نجد في الوجود المستقل للخلايا اليوم مفتاحنا النهائي للغز أصل الذي إن إيه ذاته.

يُوجَد فيما بين البكتيريا شق عميق. وسوف ندرك أهمية هذا الشق الكبيرة لتطورنا نحن أنفسنا في الفصل الرابع. أما الآن، فسوف نكتفي بتذكرة تبعات ذلك على أصل الذي إن إيه؛ تلك التبعات العميقـة في حد ذاتها بما يكفي. يُوجَد هذا الشق بين ما يُسمى البكتيريا الحقيقة وبين مجموعة ثانية تبدو مماثلة تقريباً للمجموعة الأولى. تُعرف هذه المجموعة الثانية باسم البكتيريا العتيقة، أو «العتائق» اختصاراً. واسمها مشتق من الفكرة القائلة إنها قديمة بدائية عتيقة، وإن كان يندر أن يعتقد أحد من الناس اليوم أن تلك العتائق أقدم من البكتيريا الحقيقة.

في الواقع، ساهم الحظ في اكتشاف أن كلتا المجموعتين من البكتيريا، الحقيقة والعتائق، قد نشأتا من نفس المنشأ الحراري المائي. فلا يُوجَد شيء آخر تقريباً يمكنه

أن يُفَسِّر حقيقة أنهما تشركان في نفس الشفرة الجينية، فضلاً عن تفاصيل كثيرة في تخليق البروتينات. ولكن يبدو أنهما لم تتعلماً أن تُضاعفاً الدي إن إيه الذي لديهما إلا في وقت لاحق، وبشكل مستقل تماماً. فمع أن الدي إن إيه والشفرة الجينية قد تطوراً مرة واحدة، فإن عملية تضاعف الدي إن إيه – وهي الآلية الفيزيائية للوراثة في جميع الخلايا الحية – يبدو أنها تطورت مرتين.

لو أن ذلك الزعم صدر عنّ من أقل شأنًا من يوجين كونين – المتخصص في علم الوراثة، وهو أمريكي ولد في روسيا، ويتصف بالذكاء والدقة والاهتمام بالحسابات والتقديرات، ويعمل في هيئة المعاهد القومية للصحة في الولايات المتحدة – لشككت فيه. إن كونين وزملاؤه لم يقصدوا من وراء جهدهم أن يثبتوا مفهوماً ثوريًا، بل اكتشفوا ذلك الأمر – الذي سندكره حالاً – بالمصادفة أثناء إجرائهم لسح استقصائي منظم عن عملية تضاعف الدي إن إيه في البكتيريا والعتائق؛ إذ وجد كونين وزملاؤه عن طريق مقارنات تفصيلية للتتابع الجيني أن البكتيريا والعتائق تشركان بشكل واسع في نفس آليات تخليق البروتينات. على سبيل المثال، الطريقة التي تتم بها قراءة الدي إن إيه لتحوله إلى آر إن إيه، ثم تتم ترجمة الآر إن إيه إلى بروتينات متماثلة في البكتيريا والعتائق، اللتين تستخدمان إنزيمات من الواضح (من خلال تتبعهما الجيني) أنها قد ورثت عن سلف مشترك. إلا أن هذا الأمر لا ينطبق على الإنزيمات الازمة لعملية تضاعف الدي إن إيه؛ فأغلبها لا يعتبر مشتركاً بالمرة. وهذه الحالة المثيرة للفضول يمكن تفسيرها بمجرد اختلافهما العميق، ولكن يبرز هنا سؤال: لماذا لم يؤد التفاوت العميق بين عمليتي نسخ الدي إن إيه وترجمته إلى حالة من عدم التمايز بينهما بشكل كامل؟ وأبسط تفسير لهذا هو الافتراض الثوري الذي أبداه كونين؛ وهو: إن عملية تضاعف الدي إن إيه قد تطورت مرتين؛ مرّة في العتائق، ومرة في البكتيريا.^٨

لا بد أن مثل هذا الزعم بدا خيالياً للكثرين، ولكن بالنسبة لرجل المعي عنيد، ولكن بلطف، من تكساس ويعمل في ألمانيا، كان هذا هو المطلوب تماماً. ذلك الرجل هو الكيميائي الحيوي بيل مارتن، الذي مَرَّ بنا في الفصل الأول، وكان قد شَكَّل فريقاً مع مايك راسل لاستكشاف أصول الكيمياء الحيوية في الفوهات الحرمانية. واجه الرجالان الآراء التقليدية في عام ٢٠٠٣، وكتباً افتراضهما الشخصي قائلين إن السلف المشترك للبكتيريا والعتائق لم يكن كائناً حُرّ المعيشة إطلاقاً، ولكنه كان كائناً متضاعفاً رديء النوع، حبيساً في الصخر المسامي، لم يخرج عن نطاق الخلايا المعدنية التي تملأ الفوهات

الحرمائية. ولكي يدعم مارتن وراسل آراءهما أصدرا قائمة بالفروق الشديدة التي بين البكتيريا والعتائق. وبوجه خاص، فإن الأغشية والجدر الخلوي تختلف تماماً فيما بينهما؛ بما يوحي بأن المجموعتين قد انبثقتا بشكل مستقل من نفس المناطق الصخرية. كان افتراضهما هذا ثوريًا في نظر الكثرين، ولكن كونين اعتبره متواافقًا مع ملاحظاته كما يناسب القفاز اليدين.

ولم يلبث مارتن وكونين أن انضمما معاً ليفكرا معاً ويدرسا أصل الجينات والجينومات للكائنات الدقيقة في الفوهات الحرمائية، وتم نشر أفكارهما المثيرة عن هذا الموضوع في عام ٢٠٠٥. وقد افترض الاثنان أن «دورة حياة» الخلايا المعدنية ربما كانت تشابه الفيروسات القهقرية الحديثة مثل فيروس نقص المناعة البشرية؛ إذ إن لدى الفيروسات القهقرية جينوماً دقيقاً، ويتم تشفيره بالأر إن إيه وليس الذي إن إيه. وحينما تغزو تلك الفيروسات خلية ما فإنها تنسخ الآر إن إيه الذي لديها إلى دي إن إيه مستخدمةً إإنزيماً يُسمى «إنزيم النسخ العكسي». يتم إدخال الذي إن إيه الجديد أولاً إلى جينوم العائل، ثم تتم قراءته مع الجينات الخاصة بخلية العائل. ومن ثم، حين يعمل الفيروس على صنع نسخ متعددة من نفسه، فإنه يعمل من منطلق الذي إن إيه؛ ولكن بينما يقوم بتجميع نفسه استعداداً للجيل التالي فإنه يعتمد على الآر إن إيه لينقل المعلومات الوراثية. وللحظ أن ما ينقصه هو قدرته على تضاعف الذي إن إيه، الذي يُعتبر عملية مرهقة تحتاج إلى عدد من الإنزيمات.

هناك ميزات وعيوب في دورة الحياة تلك. الميزة الكبرى هي السرعة؛ فبسطرة الفيروسات القهقرية على آليات خلية العائل لتحويل الذي إن إيه إلى آر إن إيه، وترجمة الآر إن إيه إلى بروتينات، تُخلص تلك الفيروسات أنفسها من الحاجة إلى وجود عدد كبير من الجينات؛ ومن ثم تُوفر على أنفسها قدرًا كبيراً من الوقت والمشقة. والعيب الأكبر هو أنها تعتمد بالكامل على الخلايا المناسبة لباقتها. وثمة عيب آخر أقل وضوحاً، وهو أن الآر إن إيه فقير في تخزين المعلومات بالمقارنة بالذي إن إيه. وتلك، على أي حال، الناحية الكيميائية، بمعنى أنه أكثر قابلية للتفاعل من الذي إن إيه. ولكن هذه التفاعلية تعني أن جينومات الآر إن إيه الكبيرة تكون غير مستقرة ومُعرّضة للتحلل؛ مما يفرض عليها حدًّا أقصى للحجم أقل مما تحتاجه لوجودها المستقل. وفي الواقع يُعتبر الفيروس القهري مساوياً – تقريباً – في درجة تعقده بالفعل لأي كيان يتم تشفيره بالأر إن إيه.

ولكن هذا لا ينطبق على الخلايا المعدنية، فإن لديها مميزتين؛ مما يتتيح الفرصة لنشوء صور من الحياة أكثر تعقيداً. الميزة الأولى هي أن الكثير من الخصائص المطلوبة للوجود المستقل يتم تقديمها مجاناً في الفوهات الحرمائية؛ مما يعطي الخلايا دفعه قوية منذ البداية؛ إذ تُقدم الخلايا المعدنية المتکاثرة بالفعل الأغشية التي تحيط بها، والطاقة، وهكذا. ومن ثم؛ فمن المنطقي أن يكون للآر إن إيه ذاتي التضاعف الذي يستوطن تلك الفوهات سمات فيروسية بالفعل. الميزة الأخرى هي أن «جحافل» الآر إن إيه تختلط وتتوافق معًا من خلال الخلايا المترابطة؛ وهكذا فإن المجموعات التي «تعاون» فيما بينها جيداً يمكن انتقاها معًا إذا كانت تنتشر في انسجام لكي تستوطن خلايا حديثة التكوين.

ومن ثم تخيل مارتن وكونين جحافل من جزيئات الآر إن إيه وهي تنبثق في الخلايا المعدنية، وكل واحد من الآر إن إيه يُشفّر عدداً من الجينات ذات الصلة. عيب هذا النسق، بالطبع، هو أن جحافل الآر إن إيه ستكون معرّضة لأن تختلط مجدداً في مجموعات مختلفة وقد تكون غير مناسبة. والخلية التي يتقرر لها أن تضم «الجينوم» الخاص بها معًا عن طريق تحويل مجموعة من جزيئات الآر إن إيه المعاونة إلى جزيء دي إن إيه واحد، يُتوقع منها أن تحتفظ بجميع ميزاتها. وحينئذ يكون تضاعفها مماثلاً للفيروس القهري، ويتم تحويل الذي إن إيه الخاص بها إلى حشد من جزيئات الآر إن إيه، التي تغزو الخلايا المجاورة، مُكتسبةً إياها نفس القدرة على تخزين المعلومات في بنك الذي إن إيه. وتكون كل «دفعة» من جزيئات الآر إن إيه قد خرجت تلوًّا، من البنك، ومن ثم تكون أقل قابلية للتشوه بالأخطاء.

والسؤال الآن: ما درجة الصعوبة التي جابهت الخلايا المعدنية لكي «تخرع» الذي إن إيه في تلك الأحوال؟ الأمر ليس شديد الصعوبة، وربما كان أسهل بكثير من «اختراع» منظومة كاملة من عملية تضاعف الذي إن إيه (عوضاً عن الآر إن إيه). يوجد فرقان كيميائيان بسيطان فقط بين الآر إن إيه والذي إن إيه، ولكن الاثنين معًا يحداث فارقاً بنبيوياً هائلاً؛ وهو الفارق بين جزيئات الآر إن إيه الملتقة المحفزة، والذي إن إيه ذي شكل اللولب المزدوج الأيقوني (وهو الشكل الذي تنبأ به عفويًا كلٌ من كرييك وواطسون وزكراه في بحثهما الذي نُشرَ في مجلة «نيتشر» عام ١٩٥٣)^٩. وسيكون من الصعب إيقاف حدوث التغييرين – الآتي ذكرهما – في الفوهات الحرمائية بشكل تلقائي. أول هذين التغييرين هو إزالة ذرة أكسجين واحدة من جزيء الآر إن إيه (الحمض الريبوذى

النوعي) للحصول على الذي إن إيه (الحمض النووي الريبوزي المنقوص الأكسجين). لا تزال آلية ذلك تجري اليوم على نوع المواد الوسيطة المتفاعلة (تُعتبر جذوراً حرة من الناحية التقنية) الموجود في الفوهات الحرمانية. والتغيير أو الفارق الآخر هو إضافة مجموعة ميثيل CH_3 إلى حرف الــ*يوراسيل* للحصول على الثايمين. ونقول مجدداً إن مجموعات الميثيل هي «جذور» حرة متفاعلة من غاز الميثان، تكثر في تلك الفوهات القلوية.

وهكذا، فإنَّ صُنْعَ الذي إن إيه يُعتبر سهلاً نسبياً؛ فهو يتكون تلقائياً في الفوهات الحرمانية مثل الآر إن إيه (وأقصد تكونه من مواد سابقة بسيطة، وهي عملية يتم تحفيزها بفعل بعض المعادن والنيوكليوتيدات والأحماض الأمينية، وهكذا). ولكن ثمة عمل بارع أكثر صعوبة قليلاً، وهو الاحتفاظ بالرسالة التي تم تشفيرها؛ بمعنى صنع نسخة مطابقة تماماً من تتابع الحروف في الآر إن إيه في شكل دي إن إيه. هذه أيضاً ليست عملية شديدة الصعوبة؛ فتحوّل الآر إن إيه إلى الذي إن إيه يتطلب إنزيمياً واحداً؛ وهو إنزيم النسخ العكسي الذي تستخدمه الفيروسات القهقرية اليوم، مثل فيروس نقص المناعة البشرى. فكم هو عجيب أن ذلك الإنزيم الوحيد الذي «يحطم» الركيزة الأساسية للبيولوجيا الجزيئية – وهي عملية تحوّل الذي إن إيه إلى الآر إن إيه ومنها إلى بروتين – هو نفسه الإنزيم الذي حول صخراً مسامياً مليئاً بالآر إن إيه الفيروسي إلى صورة الحياة التي نعرفها اليوم! ربما نحن مدینون بنشوء الخلايا الحية لتلك الفيروسات القهقرية المتواضعة.

لا يزال هناك الكثير في هذه القصة لم أُقله بعد، وكثير من الأحادي والألغاز التي أغفلتها في محاولتي لإعادة بناء قصة تكون منطقية، بالنسبة لي على الأقل. ولا يمكنني أن أدعّي أن جميع الأدلة التي ناقشناها قطعية، أو أنها أكثر من مجرد دلالات على الماضي السحيق. إلا أنها دلالات أصلية، يتعين على أي نظرية ثبت صحتها أن تفسّرها. هناك أنماط بالفعل في شفرة الحياة، وهي أنماط تفرض إعمال كلٍّ من علم الكيمياء وعملية الانتقاء الطبيعي. تعمل التيارات الحرارية في الفوهات الموجودة في عمق المحيط حقاً على تركيز النيوكليوتيدات والآر إن إيه والذي إن إيه، مُحوّلة الخلايا المعدنية التي تموّج بها إلى عالم مثالي من الآر إن إيه. وهناك حقاً فروق عميقة بين العთائق والبكتيريا، وهي فروق لا يمكن تفسيرها بشكل اعتباطي، وهي فروق توضّح بالتأكيد أن الحياة بدأت بدورة حياة فيروسية قهقرية.

إننيأشعر بالإثارة الحقيقية حينما أفكّر أن القصة التي حالنا خيوطها هنا يُرجح أن تكون صحيحة، ولكن هناك شيء واحد يجعل الشك يعتدل في عقلي؛ وهو النتيجة التي توصلنا إليها وتقضي بأن الحياة الخلوية انبثقت مرتين من تلك الفوهات في عمق المحيط. فهل أصابت جزيئات الآخر إن إيه الفوهات المجاورة لها بالعدوى، ثم سيطرت في نهاية الأمر على أجزاء كبيرة من المحيط، متىحة الفرصة لتفعيل عملية الانتقاء على نطاق عالمي؟ أم هل كان ثمة شيء متفرد ما فيما يتعلق بمنظومة معينة من تلك الفوهات، التي أدت ظروفها غير النمطية إلى نشوء كلٌّ من العتاائق والبكتيريا؟ قد لا نعرف الجواب طوال حياتنا؛ ولكن الدور الذي تلعبه الصدفة والضرورة يجب أن يجعل كل إنسان هنا يتوقف ببرهة من أجل التفكير.

الفصل الثالث

عملية البناء الضوئي

نتائج تأثير الشمس

تخيل عالماً لا تحدث فيه عملية البناء الضوئي. بادئ ذي بدء، لن يكون أخضر اللون. إن كوكبنا الزمardi يعكس روعة النباتات والطحالب وجمالها؛ بما تتميز به من أصباغ طبيعية خضراء تمتلك الضوء لإجراء عملية البناء الضوئي. وأول تلك الأصباغ هو محول الطاقة الرائع المسمى الكلوروفيل، الذي يتمتص أشعة الضوء ويحولها إلى دفقة من الطاقة الكيميائية؛ مما يتيح الحياة لكلٌ من النبات والحيوان.

من المرجح أن العالم، بغير تلك العملية، لن يكون حتى أزرق اللون؛ إذ إن زرقة السماء والبحار والمحيطات تعتمد على صفاء السماء والمياه، التي تتنقّى من الغيوم والغبار بفعل القدرة التطهيرية للأكسجين. ودون البناء الضوئي لن يكون لدينا أكسجين حر. وفي واقع الأمر، قد لا يكون في حالتنا هذه ثمة محيطات كذلك؛ فبدون الأكسجين لا يوجد أوزون، وبدون الأوزون لن يكون هناك إلا القليل ليحدّ من القوة اللافحة للأشعة فوق البنفسجية. هذه الأشعة نفسها تعمل على تحليل الماء إلى شقيه: الأكسجين، والهيدروجين. فاما الأكسجين فإنه يتكون ببطء ولا يتراكم في الهواء، بل إنه يتفاعل مع الحديد في الصخور، مُحوّلاً إياها إلى لون أحمر ضارب إلى اللون البني. وأما الهيدروجين – أخف الغازات – فإنه يفلت من أسر الجاذبية، وينسلل إلى الفضاء. قد تكون العملية بطيئة، ولكنها أيضاً تتم باستمرار بلا هوادة وكأن المحيطات تنزف إلى الفضاء. إن الإشعاع فوق البنفسجي حَرَمَ كوكب الزهرة من محياطاته، وربما حَرَمَ كوكب المريخ منها أيضاً.

وهكذا فإننا لا نحتاج للكثير من الخيال لكي نتصور عالماً خالياً من البناء الضوئي؛ إذ سيبدو إلى حدٍ بعيد مثل المريخ: مكان مُتَرَّب أحمر اللون؛ بغير محيطات من المياه، وبدون أي آثار واضحة تتم عن الحياة. تُوجَد بالطبع صور من الحياة في غياب البناء الضوئي، ويبحث العديد من علماء البيولوجيا الفضائية عنها على كوكب المريخ. ولكن حتى إن وجدوا قليلاً من البكتيريا مختفية تحت سطحه، أو مدفونة في كتلة جليدية، فإن الكوكب نفسه يُعتبر ميتاً. إنه في حالة من شبه التوازن — فلا حياة حقيقة ولا موت تماماً — وهي علامة مؤكدة على الجمود.

إن الأكسجين هو مفتاح الحياة على الكواكب. ومع أن الأكسجين لا يزيد عن كونه منتجًا ثانويًا مهملاً لعملية البناء الضوئي، فإنه حقاً هوالجزيء الذي تكون منه العالم بصورته الحالية. يتكون الأكسجين سريعاً وبكثافة من عملية البناء الضوئي لدرجة أنه يتغلب على قدرة الكوكب على ابتلاعه. وفي نهاية الأمر يتآكسد كل التراب، وكل الحديد في الصخور، وكل الكبريت في البخار والميثان في الهواء، وأي شيء يمكن أكسدته، ويستمر الأكسجين الحر في التدفق في الهواء والمحيطات. علاوة على هذا، فإن الأكسجين يُوقف ضياع الماء من كوكبنا؛ فحين ينطلق الهيدروجين من الماء، فإنه يُضطر إلى الاتحاد بالمزيد من الأكسجين قبل أن يجد طريقه إلى الفضاء؛ فهو يتفاعل سريعاً ليكون الماء مجدداً، الذي يصبح مطراً يسقط مرة أخرى من السماء، فيعود ما يُفقد بالبخار من مياه المحيطات. وحينما يتراكم الأكسجين في الهواء، يتكون درع من غاز الأوزون، وذلك يحد من الشدة اللافحة للأشعة فوق البنفسجية و يجعل العالم أكثر صلاحية للحياة.

لا يقتصر دور الأكسجين على إنقاذ الحياة على كوكبنا وحسب، بل إنه ينشر الحياة على نطاق واسع. صحيح أن البكتيريا تستطيع أن تحيا بشكل جيد تماماً بغير الأكسجين؛ فلديها مهارة لا تُنْظَهِي في الكيمياء الكهربائية، وهي قادرة على أن تجعل جميع الجزيئات تقريباً تتفاعل معًا لتجني القليل من الطاقة. إلا أن الناتج الإجمالي للطاقة الذي يمكن اشتراكه من التحمر، أو عن طريق تفعيل جزيئين — مثل الميثان وال الكبريت — معًا، يُعتبر كاماً مهماً إذا قُورِن بقدرة التنفس الهوائي؛ أي بالتحديد: حرق الطعام بالأكسجين. بمعنى أكسدته بالكامل إلى ثاني أكسيد الكربون وبخار ماء. ولا شيء آخر يمكنه تقديم الطاقة المطلوبة كوقود للوفاء باحتياجات حياة الكائنات متعددة الخلايا. تعتمد الحيوانات والنباتات جميعها على الأكسجين لجزء على الأقل من دورة حياتها، والاستثناء الوحيد الذي أعرفه هو دودة خيطية ميكروسوبية (متعددة الخلايا)،

تعيش في الأعماق الراكدة الخالية من الأكسجين في البحر الأسود. ومن ثم أقول إن العالم الخالي من الأكسجين يكون ميكروسكوبياً، على الأقل على مستوى الكائنات المفردة. ويسمهم الأكسجين في كبر حجم الكائنات بصور أخرى أيضاً. فـكـر في السلسلة الغذائية؛ إذ تستقر المفترسات على قمتها، وهذه تأكل الحيوانات الأصغر حجماً، التي بدورها قد تأكل الحشرات التي تأكل حشرات أصغر، والتي بدورها تعيش على أكل الفطريات أو أوراق النباتات. ليس من العجيب أن نجد في شبكة غذائية خمسة أو ستة مستويات من الكائنات. وفي كل خطوة يحدث إهار لقدر من الطاقة، فلا تُوجَد صورة من صور التنفس تبلغ درجة كفاءتها مائة بالمائة. وفي الواقع، تبلغ نسبة كفاءة التنفس الهوائي حوالي ٤٠ % بالمائة، بينما تقل كفاءة أغلب صور التنفس الأخرى (باستخدام الحديد أو الكبريت، على سبيل المثال، بدلاً من الأكسجين) عن ١٠ % بالمائة. هذا يعني أنه عند عدم استخدام الأكسجين، تتضاعل الطاقة المتاحة إلى ١ بالمائة عن مستواها الابتدائي فيغضون مستويين فقط، بينما تحتاج ستة مستويات عند استخدام الأكسجين حتى تصل إلى نفس النقطة. وهذا يعني بدوره أن السلسل الغذائية الطويلة لا تكون ملائمة إلا بالتنفس الهوائي. وتعني اقتصادية السلسلة الغذائية أن المفترسات يمكن أن تقوم بدورها بالقدر المطلوب في عالم مؤكسج، غير أن عملية الافتراض بوصفها نمط حياة لن تؤتي ثمارها بغير الأكسجين.

إن عملية الافتراض تقضي تصاعداً في الحجم، بطبيعة الحال، ومن ثم تفرض سباق تسليح بين المفترس والفريسة. فالدروع والأغلفة الصلبة تصد الأثنيات، والحيل التمويهية تخدع أبصار الأعداء، وحجم الحيوان يبْثُ الرهبة في قلب كلٍّ من الصياد والفريسة. ففي وجود الأكسجين، إذن، يكون للافتراض فائدة، وفي وجود الافتراض يكون لحجم الحيوان فائدة. ومن ثم فإن الأكسجين لا يجعل الحيوانات أكبر حجماً فحسب، وإنما يجعل وجودها أكثر ترجيحاً منذ البداية.

الأكسجين يساعد أيضاً على بناء أجسام الحيوانات. يُسمى البروتين الذي يكسب الحيوان قوَّته المرنة الكولاجين، وهو البروتين الرئيسي في جميع الأنسجة الضامة، سواء أكانت متخلسة في العظام والأسنان والدروع، أو غير مُغلفة بممواد صلبة في الأربطة والأوتار والغضاريف والجلد. ويُعدُّ الكولاجين أكثر البروتينات وفرة في الثدييات، مُشكلاً نسبةً مدهشةً قدرها حوالي ٢٥ بالمائة من البروتين الكلي للحيوان. وخارج نطاق الحيوانات الفقارية، يُعتبر الكولاجين مكوِّناً مهمَا في الأغلفة الصلبة للأجسام، والبشرة، ودروع

الظهر والأنسجة الليفية من جميع الأنواع؛ فكأنه بمنزلة «الشريط الرا بط والغراء» بالنسبة لعالم الحيوان بأكمله. ويكون الكولاجين من وحدات بنائية غير عادية، وهي تحتاج إلى أكسجين حر لتكون روابط متقاطعة بين الألياف البروتينية المجاورة؛ مما يعطي البنية ككل قوًّا توتيرية عالية. والاحتياج إلى الأكسجين الحر يعني أن الحيوانات الكبيرة، التي تحميها أغلفة صلبة أو هيكل قوية لم يكن بإمكانها أن تنشأ وتتطور إلا حينما كانت مستويات الأكسجين الهوائي عالية بدرجة تكفي لدعم إنتاج الكولاجين، وهو عامل ربما أدى إلى الظهور السريع المباغت للحيوانات الكبيرة في سجل الحفريات في بداية العصر الكمبري، الذي يرجع إلى حوالي ٥٥٠ مليون سنة خلت، بعد ارتفاع نسبة الأكسجين في الغلاف الجوي للأرض بوقت قصير.

قد لا تبدو الحاجة للأكسجين لصنع الكولاجين أكثر من مجرد حادثة عَرضية، فإن لم يكن الكولاجين فلماذا لم يكن شيء آخر لا يحتاج إلى أكسجين حر؟ فهل الأكسجين ضروري لإِكساب القوة أم أنه مجرد مكوٌّن عشوائي تصادف دخوله في تلك العملية ثم بقي للأبد جزءاً منها؟ لا نعرف على وجه التحقيق، ولكن من المدهش أن النباتات الراقية أيضاً تحتاج إلى الأكسجين الحر لتكون مادتها البنائية الداعمة، في شكل مادة بوليمرية شديدة القوة تُسمى اللجنين، التي تُكبس الخشب قوته المرنة القابلة للانثناء. تتكون مادة اللجنين بطريقة تبدو كالمصادفة كيميائياً، مستخدمة الأكسجين الحر في تكوين روابط متقاطعة قوية بين سلاسل من تلك المادة؛ مما يجعل من الصعب جدًا كسرها، ولهذا نجد الخشب قوياً جدًا ولا يتعطّن إلا بعد وقت طويل جدًا. ولو أزلت اللجنين من الأشجار — وهي فكرة جربها بعض القائمين على صناعة الورق؛ إذ احتاجوا أن يزيلوه بصعوبة من لب الخشب لصنع الورق — فستسقط الأشجار على الأرض، غير قادرة على الحفاظ على كيانها كأشجار ولا تحتمل حتى أخف الأنسام.

وهكذا، بغير الأكسجين لم تكن تُوجَد حيوانات ولا نباتات كبيرة، ولا افتراس، ولا سماء زرقاء، وربما لم تكن تُوجَد محيطات أيضًا، ومن المرجح ألا يكون على الأرض إلا التراب والبكتيريا. لا ريب أن الأكسجين هو أثمن منتج ثانوي مهملاً يمكن تخيله في العالم، إلا أنه ليس مجرد منتج ثانوي وحسب، ولكنه أيضًا يُعتبر غير مر ج النشوء. فمن المتصور أن عملية البناء الضوئي كان من الممكن أن تنشأ هنا على الأرض، أو على كوكب المريخ أو أي مكان آخر في الكون دون إنتاج أي أكسجين حر على الإطلاق. وفي هذه الحالة، كانت الحياة — بصفة مؤكدة تقريباً — ستختصر في درجة تعقيدها عند

مستوى البكتيريا، ولم يكن الإنسان ليعيش على ظهر الأرض، وكانت الأرض ستظل عالماً يعج بالبكتيريا.

هناك سبب يمنع الأكسجين من أن يتراكم في الهواء، وهو التنفس. فالبناء الضوئي والتنفس عمليتان متعادلتان ومتضادتان في الاتجاه. ففي النبات تقوم عملية البناء الضوئي بصنع جزيئات عضوية من جزيئين بسيطين هما ثانوي أكسيد الكربون والماء، مستخدمة ضوء الشمس للإمداد بالطاقة المطلوبة. أما التنفس فيفعل العكس تماماً؛ فحينما نحرق جزيئات عضوية (في الطعام) فإننا نطلق ثاني أكسيد الكربون والماء اللذين يعودان إلى الهواء، وتنتطلق في هذه العملية طاقة، وهي التي تثبت القوة في حياتنا. فكل طاقتنا تعود إلى حزمة من ضوء الشمس ووصلت إلى طعامنا واخترنَّ فيه.

تسير عمليتا البناء الضوئي والتنفس في اتجاهين متضادين، ولا يقتصر هذا على التفاصيل الكيميائية لكُلّ من العمليتين، بل أيضاً في تأثير كلٍّ منها عالمياً. فلو لم يكن ثمة تنفس – أي لم يكن هناك حيوانات وفطريات وبكتيريا تحرق طعامها النباتي – لكان غاز ثاني أكسيد الكربون كله قد تم شفطه من الهواء منذ زمن بعيد، متحولاً إلى كتلة حيوية. وبذلك تتوقف مسيرة الحياة، إلا إذا تسرّب قدر محدود من ثاني أكسيد الكربون بفعل التحلل البطيء أو من فوهات البراكين. ولكن هذا بعيد تماماً عما يحدث حقاً. فما يحدث حقاً هو أن التنفس يحرق كل الجزيئات العضوية التي تكونها النباتات؛ وفي نطاق زمني جيولوجي، سرعان ما ستحتفى النباتات. لهذا الأمر عاقبة واضحة؛ وهي أن كل الأكسجين الذي يتم دفعه إلى الهواء بعملية البناء الضوئي يتم أخذها مجدداً بعملية التنفس. هذا توازن طويل الأمد لا يتغير ولا تبدو له نهاية، وهو منزلة قبلة الموت لأي كوكب. والطريقة الوحيدة التي يمكن بمقتضاها أن يمتلك الكوكب غالباً جوياً مليئاً بالأكسجين – ومن ثم يتجنب مصيرًا كمصير كوكب المريخ – هو أن يتبقى قدر من المادة النباتية ويتم حفظه سليماً، منيعاً ضد عناصر البيئة وضد محاولات الحياة البارعة للعثور على طرق لتحليل تلك النباتات للحصول على الطاقة. يجب أن يكون هذا المقدار مدفوناً في باطن الأرض.

وهذا هو ما يحدث بالفعل. فالمادة النباتية المحفوظة يتم دفنها في صورة فحم أو نفط أو غاز طبيعي أو سناج أو فحم نباتي أو تراب، في صخور في عمق باطن الأرض. وحسبما قال عالم الكيمياء الجيولوجية روبرت بيرنر، الذي تقاعد مؤخراً من جامعة

ييل، فإن مقدار الكربون العضوي «الميت» المحتبس في القشرة الأرضية يزيد بحوالي ٢٦ ألف مرة عما يقابله من الكربون العضوي الذي في جميع أجسام الكائنات الأرضية الحية. إن كل ذرة كربون هي المقابل لجزيء من الأكسجين في الهواء. ومقابل كل ذرة من الكربون نحفر الأرض لاستخرجها، ونحرقها كوقود حفري، يتم سحب جزء من الأكسجين من الهواء، وتحويله إلى ثاني أكسيد الكربون مجدداً، مع حدوث عاقب وخيمة، وإن كانت غير متوقعة، للمناخ. لحسن الحظ، لن تتمكن من استنزاف إمدادات الأكسجين في العالم بمجرد حرق أنواع الوقود الحفري، حتى إذا تمددنا تدمير المناخ؛ لأن الغالبية العظمى من الكربون العضوي مدفونة كفتات مجهرى في صخور مثل الصخر الصلصالي الطبيعي، الذي لا تستطيع الصناعات البشرية استغلاله، على الأقل على نحو اقتصادى. فحتى الآن، وبالرغم من محاولاتنا المستمرة لحرق كل الاحتياطيات المعروفة من أنواع الوقود الحفري، فكل ما تم خفضه من المحتوى الأكسجيني للهواء هو مجرد جزأين أو ثلاثة أجزاء من المليون؛ أي حوالي ١٠٠٠٠ بالمائة.^١

ولكن هذا الخزان الشاسع من الكربون العضوي المدفون لا يتكون بصفة مستمرة، بل إنه دُفن خلال نوبات وتقلبات الحقب الجيولوجية. الوضع الحالي قريب جدًا من التوازن التام؛ حيث يلغى التنفس تأثير البناء الضوئي (وتتغنى عوامل التعرية أي عمليات دفن)؛ ومن ثم لا تحدث عمليات دفن للكربون تقريباً. ولهذا بقيت مستويات الأكسجين عند حوالي ٢١ بالمائة على مدى عشرات الملايين من السنين. وفي العصور الجيولوجية السحرية، وإن كان هذا في أحوال نادرة، كانت الأمور مختلفة جدًا. وربما كان أقوى مثال هو العصر الفحمي أو الكربوني، منذ ٣٠٠ مليون سنة، حينما كانت اليعاسيب الكبيرة في حجم طيور النورس ترفرف في الهواء، والديadan ألفية الأرجل طولها متر وتحف بين الشجيرات. تلك الكائنات العملاقة دانت بوجودها إلى المعدل الاستثنائي للكربون المدفون في العصر الفحمي، الذي أكبّ وجود المخزونات الفحمية الهائلة هذا العصر اسمه. ولأن الكربون كان مدفوناً أسفل المستنقعات الفحمية؛ فقد ارتفعت مستويات الأكسجين لما فوق ٣٠ بالمائة؛ مما أعطى بعض الكائنات الفرصة لتنمو بما يتجاوز حدود أحجامها الطبيعية، وهي بالتحديد، الحيوانات التي تعتمد على الانتشار السلبي للغازات من خلال قنوات في أجسامها أو عبر الجلد، مثل اليعاسيب، وليس من خلال عملية التنفس الإيجابية عن طريق الرئتين.^٢

والسؤال الآن: ما الذي كان وراء المعدل غير المسبوق لدفن الكربون في العصر الفحمي؟ هناك تشكيلة من العوامل العرضية؛ وهي: اصطدام القرارات، والمناخ الربط،

ووجود السهول الشاسعة التي تغطيها الفيضانات. ولكن ربما كان أهمها نشوء مادة اللجنين؛ مما أدى إلى تكون الأشجار الضخمة والنباتات القوية القادرة على استيطان مساحات شاسعة من الأرض. واللجنين مادة يصعب على البكتيريا والفطريات أن تحالها، ويبدو أنها بدأت تمثل تحدياً لا يُبارى في هذا الشأن بعد نشوئها بقليل، ولا تزال كذلك حتى اليوم. فبدلاً من أن تتحلل لإنتاج الطاقة، فإنها دفنت سليمة على نطاق شاسع، وبقي الأكسجين، الذي يعتبر مقابلاً لها، بنسب كبيرة في الهواء.

وقعت حوادث جيولوجية في زمنين آخرين جعلت مستويات الأكسجين ترتفع، وربما كانت الحالتان تتاجأ لما حديث من طغيان متكرر للجليد على الأرض، وهو ما سُمي «الكرة الأرضية الثلجية». حدث الارتفاع الكبير الأول في مستويات الأكسجين منذ حوالي ٢٢٠٠ مليون سنة، وقد تبع فترة صعبة من التقلبات الجيولوجية والتجلد العالمي في أنحاء العالم في ذلك الزمن. وحدثت الفترة الأخرى من التجلد العالمي منذ حوالي ٨٠٠ إلى ٦٠٠ مليون سنة مضت، ويبدو أيضاً أنها أدت إلى رفع مستويات الأكسجين. ومن المرجح أن تلك الأحداث العالمية الكارثية قد غيرت التوازن بين البناء الضوئي والتنفس، وبين دفن المواد الكربونية وتأكلها. فمع انصهار الكتل الجليدية الضخمة وسقوط الأمطار، تسربت المعادن والعناصر الغذائية (كالحديد والنترات والفوسفات)، التي كانت قد انحلّت من الصخور بفعل الثلوج، إلى مياه المحيطات، مسببة زيادة كبيرة في نمو البكتيريا والطحالب الناتجة عن البناء الضوئي، وهو أمر يشبه تأثير الأسمدة الكيميائية في الوقت الحاضر، ولكن بقدر أكبر بكثير. ولم يقتصر تأثير الثلوج الذائب على إحداث ذلك الإزدهار والنمو، ولكن كان هناك ميل أيضاً لدفنه؛ إذ اخترط التراب والثلوج المتسلخ وفتات الصخور التي انجرفت إلى مياه المحيطات بالبكتيريا النامية، وترسب الخليط تدريجياً، دافناً الكربون بدرجة غير مسبوقة. وحدث مع هذه الواقعة ارتفاع عالمي طويل الأمد في الأكسجين.

وهكذا يُوجَد انتطاع بالتصادف العرضي يتعلق بأكسجة كوكبنا الأرضي. ويتعذر هذا الانتطاع بفعل غياب أي تغير على مدى فترات طويلة فيما عدا الذي ذكرناه. ففي الحقبة الطويلة من ٢٠٠٠ مليون سنة مضت إلى حوالي ١٠٠٠ مليون سنة مضت – وهي حقبة يُسمّيها علماء الجيولوجيا «المليار الممل» – يبدو على وجه التقرير أنه لم يحدث شيء يستحق الذكر؛ إذ بقيت مستويات الأكسجين ثابتة ومنخفضة طوال تلك الحقبة الموجلة في القدم، كما حدث في أزمان أخرى على مدى مئات الملايين من السنين. إن الركود المطبق هو الأساس، بينما تسبب نوبات عدم الاستقرار الجيولوجي في تغيرات

طويلة الأمد، ربما تقع عوامل جيولوجية مشابهة على كواكب أخرى أيضًا. ولكن يبدو أن حدوث الحركات التكتونية والنشاط البركاني أمر ضروري لإحداث التفاعلات العرضية اللازمة لكي يتراكم الأكسجين. وليس من المستحيلات أن تكون عملية البناء الضوئي قد ظهرت على كوكب المريخ منذ زمن بعيد، ولكن هذا الكوكب الصغير بما فيه من لب بركاني منكمش لم يستطع الحفاظ على مستوى التدفق الجيولوجي المطلوب حتى يتراكم الأكسجين، ثم لاحقًا فقد هذه القدرة.

ولكن ثمة سبب آخر أكثر أهمية جعل عملية البناء الضوئي لا تؤدي بالضرورة إلى وجود غلاف جوي من الأكسجين على كوكب ما؛ فعملية البناء الضوئي في حد ذاتها قد لا تعتمد على الماء كمادة خام مطلقاً. كلنا نعرف تلك الصورة من البناء الضوئي التي نراها حولنا؛ فالنخيل والأشجار والأعشاب البحرية كلها تعمل أساساً بنفس الطريقة لإطلاق الأكسجين – وهي عملية تُعرف بالبناء الضوئي الأكسجيني – ولكن إذا رجعنا عدة خطوات إلى الوراء وتأملنا البكتيريا فسنجد أن لديها خيارات أخرى كثيرة؛ فبعض البكتيريا البدائية نسبياً تستخدم الحديد المذاب أو كبريتيد الهيدروجين بدلاً من الماء. وإذا كانت تلك المواد تبدو كمواد خام غير معقولة بالنسبة لنا، فهذا فقط لأننا اعتدنا تماماً على عالمنا المؤكسج – الذي هو نتاج البناء الضوئي «الأكسجيني» – لدرجة تجعل من الصعب علينا أن نتخيل حالات كانت تحدث في فترة مبكرة من حياة كوكب الأرض حينما نشأت عملية البناء الضوئي لأول مرة.

يصعب علينا كذلك أن نفهم آلية البناء الضوئي، التي قد تتعارض مع البداهة ولكنها في الواقع بسيطة. دعني أعطيك مثالاً أشك – ربما بشكل غير عادل – في أنه يوضح المفهوم العام للبناء الضوئي. في كتابه الرائع «الجدول الدوري»، الذي نُشر في عام ١٩٧٥، واختاره جمهور القراء (ومنهم أنا شخصياً) أكثر كتب العلوم شعبية على الإطلاق، وتم ذلك الانتقاء في المعهد الملكي بلندن في عام ٢٠٠٦؛ يقول المؤلف بريمو ليفي:

تدخل ذرة من الكربون ورقة النبات، فتصطدم بجزيئات أخرى لا حصر لها (وإن كانت هنا بلا فائدة) من النيتروجين والأكسجين. وهي تلتقط بجزء كبير ومعقد ينشطها، وفي نفس الوقت تتلقى الرسالة الحاسمة من السماء، في صورة حزمة وامضة من الضوء الشمسي، وفي لحظة، متلماً يقتنص العنكبوب

الحشرة ينفصل الكربون عن الأكسجين الذي ارتبط به، ويتحدد مع الهيدروجين (وأظن) مع الفسفور أيضًا. وفي النهاية ينعقد في سلسلة، لا يهم إن كانت طويلة أو قصيرة، ولكنها سلسلة الحياة.

هل لاحظت الخطأ؟ في الحقيقة هناك خطأ، ومن المؤسف أن ليفي تفاصي عنهم؛ إذ إن الكيمياء الحقيقية للبناء الضوئي جرى توضيحها قبل تاريخ هذا الكتاب بأربعين عاماً؛ فليس ما يحدث أن حزمة وامضة من الضوء الشمسي تقوم بتنشيط ثاني أكسيد الكربون، بل إنه يمكن تنشيطه بنفس الدرجة أيضاً في الليل، وهو حقاً لا يتم تنشيطه بالضوء، أيًّا كان، حتى في أشد أشعة الشمس سطوعاً. كما لا ينفصل الكربون في لحظة عن الأكسجين، بل يبقى الأكسجين مرتبطاً بالكربون بشدة. وأما افتراض ليفي بأن الأكسجين المنطلق من عملية البناء الضوئي يأتي من ثاني أكسيد الكربون – وهو افتراض شائع – فإنه خطأ مؤكد. فهذا لا يحدث، بل يأتي الأكسجين من الماء، وهذا يصنع كل الفارق في عالمنا. وإنها الخطوة الأولى لكي نفهم كيف نشأ البناء الضوئي، كما أنها الخطوة الأولى لحل أزمات الطاقة والبيئة في كوكبنا.

تشق حزم الطاقة الشمسية التي تُستخدم في عملية البناء الضوئي جزء الماء إلى عنصرية: الهيدروجين والأكسجين. وهو نفس التفاعل الذي يحدث على مستوى كوكبنا ككلٌ حينما «تنزف» المحيطات إلى الفضاء، مدفوعة بقوة تأثير الإشعاع فوق البنفسجي. وما تحققه عملية البناء الضوئي – وما فعلنا نحن في تحقيقه حتى الآن – هو أن يكون لديها عامل محفز يمكنه العمل على فصل الهيدروجين عن الماء بأقل مأخذ من الطاقة، باستخدام ضوء الشمس اللطيف وليس الأشعة اللاحقة فوق البنفسجية أو الكونية. وحتى يومنا هذا انتهت كل جهودنا الإبداعية البشرية إلى استهلاك المزيد من الطاقة في تحليل الماء إلى شققٍ بأكثر مما يتم الحصول عليه بهذه العملية. وحينما ننجح في محاكاة البناء الضوئي، باستخدام عامل محفز بسيط يمكنه فصل ذرات الهيدروجين ببساطة عن الماء سنكون قد حللنا أزمة الطاقة العالمية؛ إذ يمكن بحرق ذلك الهيدروجين الوفاء باحتياجات الطاقة العالمية دون عناء، مع استعادة الماء مجدداً كناتج ثانوي وحيد؛ فلا تلوث ولا آثار كربونية، ولا احتمار عالمي. إلا أنها ليست بال مهمة السهلة؛ إذ يُعتبر الماء تركيبة من الذرات شديدة الثبات بشكل مذهل، وتشهد المحيطات على هذا؛ فحتى أقصى العواصف وأهوجها، التي تضرب الصخور وتتكاد تسحقها، تعجز عن تفكيك الماء إلى مكوئيه من الذرات. إن الماء في الحقيقة هو أكثر المواد الخام انتشاراً في كوكبنا وأكثرها

صعبه في التكوين. وكم سيحب **البحار** الحديث أن يُزود سفينته بالماء كوقود مستعيناً بالقليل من أشعة الشمس. ولعله يسأل الطفاوة الخضراء العائمة على أمواج البحر عن كيفية عمل ذلك.

ولقد واجهت نفس المشكلة الأسلاف البعيدة لتلك الطفاوة، أي أسلاف البكتيريا الزرقاء التي تعيش اليوم، والتي هي الصورة الوحيدة للحياة على كوكبنا التي جربت حيلة تحليل الماء إلى شقيقه. والأمر الغريب أن البكتيريا الزرقاء تحلل الماء لنفس السبب الذي جعل أقرباءها من البكتيريا تحلل كبريتيد الهيدروجين أو تؤكسد الحديد؛ فهي تحتاج إلى الإلكترونات. وظاهرياً، يبدو الماء آخر مكان يمكن العثور فيه على تلك الإلكترونات.

وهكذا إذا تأملنا عملية البناء الضوئي فسنجد لها بسيطة؛ إذ إنها كلها تتعلق بالإلكترونات. أضف قليلاً من الإلكترونات إلى ثاني أكسيد الكربون، وأضف معها قليلاً من البروتونات لموازنة الشحنات الكهربائية، وهكذا نحصل على السكر. والسكريات جزيئات عضوية؛ فهي سلسلة الحياة التي تحدث عنها بريمو ليفي والمصدر الأساسي لطعامنا كله. ولكن من أين تأتي الإلكترونات؟ يمكن بقليل من الطاقة الشمسية أن تأتي الإلكترونات من أي مكان تقريباً. في حالة الصورة «الأكسجينية» المألوفة من البناء الضوئي تأتي الإلكترونات من الماء، ولكن في واقع الأمر من الأسهل بكثير أن تزعزها من مركبات أخرى أقل ثباتاً من الماء. فخذ الإلكترونات من كبريتيد الهيدروجين وبذلاً من أن تطلق الأكسجين إلى الهواء، فإنك ترسب عنصر الكبريت، أو خذ الإلكترونات من الحديد الذائب في المحيطات (في صورة حديديك)، والذي يستقر كصخور جديدة، وهي عملية ربما كانت مسؤولة منذ القدم عما تسمى «ترسبات الحديد الشريطي» الشاسعة التي توجد في أنحاء العالم، وتشكل في يومنا هذا أكبر الاحتياطيات المتبقية من خام الحديد منخفض الجودة. يُعتبر هذان الشكلان من البناء الضوئي هامشيين في عالمنا اليوم الغني بالأكسجين، والسبب ببساطة أن المادتين الخام - كبريتيد الهيدروجين أو الحديد المذاب - نادراً ما تجد أيهما في المياه جيدة التهوية. ولكن في العصور السحيقة حينما كانت الأرض في مقتبل عمرها، وقبل ظهور الأكسجين الحر، كانت إلى أبعد حدّ مما أسهل مصدر الإلكترونات، وكانت المحيطات مشبعة بهما. وهذا الأمر يثير تساؤلاً فيه تناقض ظاهري، ويعتبر حله أساسياً في فهم كيفية نشوء البناء الضوئي لأول مرة: لماذا تحولت العملية

عن مصدر ثري ومريح للإلكترونات إلى مصدر أكثر إثارة للمشاكل وهو الماء؛ الذي يُعد ناتجه الثانوي أو «نفايته» — وهو الأكسجين — غازاً ساماً بالنسبة للبكتيريا ويمكن أن يُسبب أضراراً مادية جسيمة لجميع أنواع البكتيريا التي تنتجه؟ إن حقيقة أنه في ضوء توافر قوة الشمس، وعامل محفز ماهر، يكون الماء أكثر وفرة من كلتا المادتين الخام سالفتي الذّكر ليست لها أهمية؛ إذ لا يتمتّع التطور بنظرية مستقبلية. الأمر عينه ينطبق على حقيقة أن البناء الضوئي الأكسجيني قد غير وجه العالم؛ إذ إن هذا لا يُشكّل أي فارق من منظور العالم. فما نوع الضغوط أو الطفرات البيئية التي يمكن أن تكون قد دفعت إلى حدوث هذا التحوّل نحو الماء؟

الإجابة السهلة التي ستجدها في كثير من الكتب الدراسية هي أن المادتين الخام السابقتين كانتا قد بدأتا في النضوب؛ فتحوّلت الحياة نحو الماء؛ نظراً لعدم وجود بدائل سهلة متاحة، تماماً كما يتوقّع لنا أن تتحوّل إلى استخدام الماء كوقود بعد أن تنضب أنواع الوقود الحفري. ولكن هذه الإجابة لا يمكن أن تكون صحيحة؛ فالسجل الجيولوجي يوضح أن البناء الضوئي «الأكسجيني» كان قد نشأ قبل أن تنضب جميع تلك المواد الخام السابقة، بأكثر من مليار سنة. فالحياة لم تكن مجبرة على هذا التحوّل قسراً.

ثمة إجابة أخرى، بدأت تنبثق الآن، وتكمّن مخفية في آلية البناء الضوئي ذاتها، وهي إجابة أجمل حقاً. إنها إجابة تجمع بين المصادر والاحتمالية؛ إجابة تلقي الضوء وتضفي البساطة على واحدة من أكثر عمليات الاستخراج تعقيداً والتّعاوّفاً في العالم.

في النباتات، تجري عملية استخراج الإلكترونات فيما تُسمّى حبيبات (أو بلاستيدات) الكلوروفيل، وهي تراكيب دقيقة خضراء تُوجَد في خلايا جميع أوراق النباتات، وجميع أوراق الحشائش، وتُضفي لونها الأخضر على أوراق النباتات ككل. وسُمِّيت هكذا تبعاً للصبغ النباتي الذي أسبغ عليها لونها. ذلك الصبغ هو الكلوروفيل، الذي يُعتبر مسؤولاً عن امتصاص طاقة الشمس في عملية البناء الضوئي. ويُوجَد الكلوروفيل مدفوناً في نظام غشائي غير عادي يكُون الجانب الداخلي لحبيبات الكلوروفيل. تأخذ تلك الحبيبات شكل أقراص مسطحة تتقدّس في الخلايا النباتية، وتبدو من يتأملها مثل محطة طاقة فضائية في فيلم من أفلام الخيال العلمي، ويرتبط بعضها ببعض عن طريق أنابيب سريعة النقل، تتقاطع عَبْر سينوبلازم الخلية بجميع الزوايا والارتفاعات. وداخل هذه الأقراص

الخضراء نفسها يجري العمل الأهم لعملية البناء الضوئي: استخراج الإلكترونات من الماء.

قللنا إن استخراج الإلكترونات من الماء عمل صعب؛ ومن ثم فإن النباتات تصنع في هذا العمل وجبة غير عادية. إن مركبات البروتينات والأصباغ النباتية كبيرة جدًا — من الناحية الجزيئية — لدرجة أنها تقارب في عملها عمل مدينة صغيرة. وهي ككل تُشكّل مجموعتين كبيرتين من المركبات؛ تعرّفان بالنظام الضوئي ١ والنظام الضوئي ٢، وتحتوي كل حبيبة كلوروفيل على آلاف من هذين النظائر. ووظيفتها هي التقاط حزمة من الضوء، وتحويلها إلى مادة حية. وقد أجريت أبحاث كثيرة لمعرفة كيفية إنجاز هذا العمل واستغرقت تلك الأبحاث جانباً كبيراً من قرن كامل، وتطلبت بعضاً من أكثر التجارب ذكاءً ومهارة في التاريخ. ومما يُؤسّف له أن المكان هنا لا يسمح بشرح تلك الأمور.^٣ ولكننا في حاجة إلى أن نشغل أنفسنا فقط بما تعلمناه وما يجب أن نقوله عن ذلك الاختراع الذي يُسمّى البناء الضوئي.

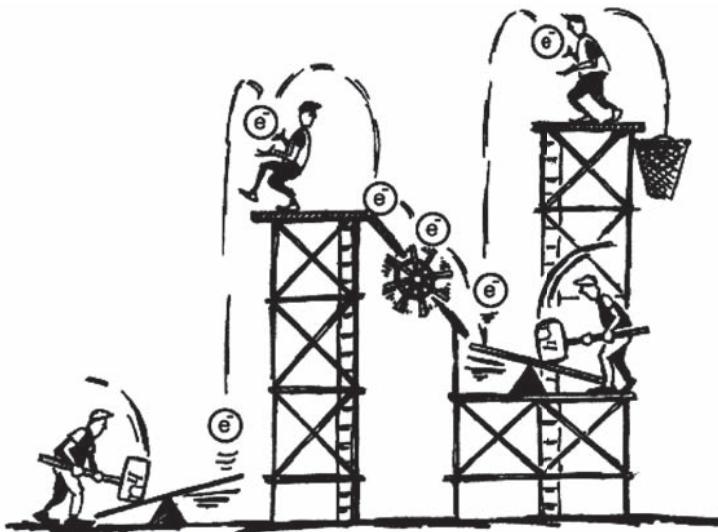
يعرف الأساس المفاهيمي لعملية البناء الضوئي؛ أي خارطة الطريق التي تفسر عمله، بما يُسمّى «المخطط Z»، وهو صيغة تُلهب خيال طلبة الكيمياء الحيوية وتثبت الربع في قلوبهم على حد سواء. وضع هذا المخطط رجل إنجليزي المعि، وإن كان شديد التحفظ، يُدعى روبن هيل في عام ١٩٦٠، ويشرح المخطط Z «ملامح الطاقة» لعملية البناء الضوئي. كانت ألفاظ هيل مبهمة مقتضبة، فلم يشاً أو لم يجرؤ حتى من زاملوه في معمله أنفسهم على إظهار جهلهم بما يفعله، حتى إنهم فوجئوا بنشر فرضيته تلك في مجلة «نيتشر» في عام ١٩٦٠، فلم تكن لديهم فكرة، إلا القليل، عما كان يقوم به. وفي واقع الأمر لم يكن المخطط Z مبنِّياً على تجارب هيل، التي كانت لها أهمية كبيرة، ولكنه كان مأخوذاً من عدد من الملاحظات التجريبية المحرّبة. وعلى رأس تلك الملاحظات موضوع مثير للفضول يتعلق بالдинاميكا الحرارية. فقد تبيّن أن عملية البناء الضوئي لا تنتج مادة عضوية جديدة فحسب، بل إنها تنتج أيضًا مادة ثلاثة فوسفات الأدينوسين، التي تُعتبر «عملة الطاقة» للحياة. وما يثير التعجب أن هذين الشيئين يبدو أنهما يكونان معًا دائمًا؛ فكلما زاد ما ينتجه البناء الضوئي من مادة عضوية زاد مقدار ثلاثة فوسفات الأدينوسين، والعكس بالعكس (إذا انخفضت كمية المادة العضوية انخفض كذلك إنتاج ثلاثة فوسفات الأدينوسين). يبدو أن الشمس ترسل وجبيًّا غذاء مجانيتين بشكل متزامن. وكان روبن هيل يتمتع بالبصرة التي جعلته يفهم آلية البناء الضوئي

بكمالها من هذه الحقيقة بمفردها؛ فمن العبرية — كما يُقال — أن يكون لدى المرء القدرة على رؤية ما هو واضح بيديه قبل أي شخص آخر.

لكن تبيّن أن مصطلح المخطط Z خادع، شأنه شأن أي شيء آخر مرتبط بهيل. فحرف Z يجب حفّاً أن نديره بزاوية ٩٠ درجة ليصبح حرف N؛ وحينئذ سوف يعكس بشكل أدق ملامح الطاقة المتعلقة بالبناء الضوئي. تخيل الجزء الصاعد من حرف N كتفاعل رأسي متوجه إلى أعلى؛ فيجب أن يتم التزود بالطاقة ليتم هذا التفاعل. أما الجزء النازل بميل من حرف N فهو تفاعل متوجه لأسفل كشلال مائل؛ وهو يطلق الطاقة التي يمكن التقاطها وتخزينها في صورة ثلاثة فوسفات الأدينوسين. ثم الارتفاع الأخير من حرف N هو تفاعل متوجه لأعلى مجدداً ويطلب إمداداً بالطاقة.

في عملية البناء الضوئي يقع كلا النظامين الضوئيين ١ و ٢ عند النقطتين السفليتين من الحرف N. ففوتون الضوء يضرب النظام الضوئي ١ فيطلق الإلكترون لأسفل نحو مستوى أعلى من الطاقة، ثم يهبط مستوى الطاقة لهذا الإلكترون في سلسلة من الخطوات الجزيئية الصغيرة التي توفر الطاقة المطلوبة لصنع ثلاثة فوسفات الأدينوسين. وحين يعود الإلكترون إلى مستوى طاقته المنخفض يصل إلى النظام الضوئي ٢، حيث يطلقه فوتون ثان لأسفل في المرة الثانية لمستوى طاقة أعلى. وفي هذه النقطة العالمية الثانية يكون الإلكترون قد انتقل إلى ثاني أكسيد الكربون، وهي الخطوة الأولى لصنع السكر. وقد رسم ريتشارد ووكر رسمياً كاريكاتورياً (انظر الشكل ١-٣) يصور العملية كجعة اختبار قوة في الساحة، حيث يضرب المباري على رافعة معدنية بالمطرقة لتدفع قطعة معدنية لأسفل على طول عمود رأسي ليدق الجرس في أعلى العمود. وفي هذه الحالة يعطي تأرجح المطرقة الطاقة اللازمة لضرب قطعة الدق لكي ترتفع لأسفل العمود، وفي حالة عملية البناء الضوئي تقوم طاقة فوتون صادر من الشمس بنفس المهمة.

يُعتبر المخطط Z — أو لِتُسمّه المخطط N إذا شئت — طريقة ملتفة بشكل غريب لعمل الأشياء، ولكنَّ هناك أسباباً تقنية قوية لذلك. فهي تقوم بمهمة تمثل في الإقراان بين إزالة الإلكترونات من الماء وبين تحويل ثاني أكسيد الكربون إلى سكر، وهي مهمة من المستحيل كيميائياً القيام بها بصورة أخرى. ويتعلّق السبب بطبعية نقل الإلكترونات، وبوجه خاص، بالإنجذاب الكيميائي للإلكترونات تجاه مركبات معينة. وكمارأينا من قبل، فإن الماء شديد الثبات، وله قوة جذب عالية لإلكتروناته. ولكي نسرق الإلكترونَّا من الماء فهذا يتطلب قوة شد هائلة، بمعنى أننا نحتاج إلى عامل مؤكسد قوي جداً،



شكل ١-٣: رسم كاريكاتوري لريتشارد ووكر يصور المخطط Z. طاقة الفوتون، التي ترمز إليها ضربة المطرقة، تضرب الإلكترون ليارتفاع إلى مستوى طاقة أعلى. وحينما يهبط الإلكترون عائداً لأسفل، كما يسقط الشلال إلى مستوى طاقة أقل، ينطلق قدرًّ من الطاقة ليُبيِّث النشاط في الخلية. ثم يأتي فوتون ثانٍ حينئذٍ ليضرب الإلكترون ليارتفاع لأعلى الطاقة إلى مستوى طاقة أعلى من السابق، حيث يتم التقاطه في صورة جزءٍ على الطاقة NADPH وذلك يتفاعل فيما بعد مع ثاني أكسيد الكربون ليكون جزءاً عضوياً.

وهذا العامل المؤكسد القوي هو شكلٌ شرٌّ من الكلوروفيل، يمكننا تسميته «السيد هايد الجزيئي» الذي تحولَ إلى هذه الصورة من صورة دكتور جيكل الخنوع عن طريق امتصاص فوتونات عالية الطاقة.^٥ ولكن من المعروف أن الشيء الذي يكون ماهراً في الأخذ يميل إلى أن يكون أقلَّ مهارة في العطاء. ومن ثم؛ فإن الجزيء الذي يمسك بالإلكترون بإحكام يكون غير ميال كيميائياً لأن يتخلَّ عنه طواعية، تماماً مثل السيد هايد ببغض البشر، أو أي شخص بخجل عضوض على ما له؛ فليست لديه قابلية لأن يعطي من ثروته بكرم تلقائي. وكذلك الحال مع ذلك الشكل من الكلوروفيل؛ فحينما يتم تشتيطه بالضوء تكون لديه قوة هائلة في جذب الإلكترونات من الماء، ولكن تقلُّ

لديه القدرة على الدفع بها مجدداً لأي مادة أخرى. أي باختصار مُبَسَّط نقول إنه عامل مؤكسد قوي، ولكنه عامل مختزل ضعيف.

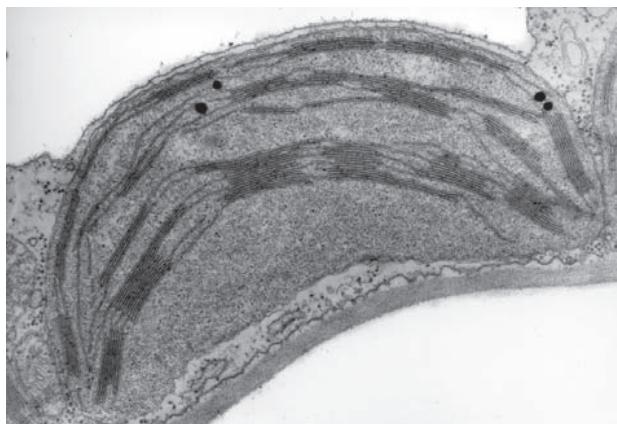
أما ثانـي أكسـيد الكـربـون فيـعـانـي من مشـكلـة عـكـسـيـة؛ فـهـوـ كـذـكـ شـدـيدـ الثـباتـ،ـ ولكنـ لاـ تـكـوـنـ لـدـيـهـ الرـغـبـةـ كـيـمـيـائـيـاـ فيـ أـنـ يـتـلـقـىـ المـزـيدـ منـ إـلـكـتـرـوـنـاتـ.ـ فـهـوـ لـنـ يـقـبـلـ أـيـ إـلـكـتـرـوـنـاتـ إـلـاـ عـلـىـ مـضـضـ مـنـ عـاـمـلـ آـخـرـ شـدـيدـ الـقـوـةـ فيـ الدـفـعـ بـإـلـكـتـرـوـنـاتـ؛ـ أـيـ مـنـ عـاـمـلـ مـخـتـزلـ قـوـيـ.ـ وـهـذـاـ يـتـطـلـبـ شـكـلـآـخـرـ مـنـ الـكـلـورـوفـيلـ؛ـ شـكـلـآـ يـكـونـ شـدـيدـ الـمـهـارـةـ فيـ الدـفـعـ،ـ وـشـدـيدـ الـضـعـفـ فيـ الـجـذـبـ،ـ فـبـدـلـآـ مـنـ أـنـ يـكـونـ بـخـيـلـآـ قـابـضاـ عـلـىـ حـاجـيـاتـهـ،ـ فـإـنـهـ أـقـرـبـ لـلـبـائـعـ الـمـتـجـولـ الـذـيـ يـجـبـرـ الـمـارـةـ عـلـىـ شـرـاءـ مـنـتـجـاتـ رـدـيـةـ مـنـهـ.ـ وـحـينـمـاـ يـتـمـ تـنـشـيـطـ ذـلـكـ الشـكـلـ مـنـ الـكـلـورـوفـيلـ بـالـضـوـءـ تـكـوـنـ لـدـيـهـ الـقـدـرـةـ عـلـىـ الدـفـعـ بـإـلـكـتـرـوـنـاتـهـ إـلـىـ جـزـءـ آخرـ –ـ يـمـكـنـ تـشـبـيهـهـ بـمـسـاعـدـ الـبـائـعـ الـمـتـجـولـ –ـ يـرـيدـ فـيـ الـوقـتـ نـفـسـهـ أـنـ يـتـخـلـصـ مـنـهـ وـهـوـ جـزـءـ NADPHـ؛ـ وـمـنـ ثـمـ تـدـفـعـ إـلـكـتـرـوـنـاتـ إـلـىـ ثـانـيـ أـكـسـيدـ الـكـربـونـ.^١

وهـكـاـ هـنـاكـ سـبـبـ لـوـجـوـدـ نـظـامـينـ ضـوـئـيـنـ فـيـ عـلـمـيـةـ الـبـنـاءـ الضـوـئـيـ،ـ وـلـاـ عـجـبـ هـنـاكـ.ـ وـلـكـنـ السـؤـالـ الأـكـثـرـ صـعـوبـةـ هوـ:ـ كـيـفـ نـشـأـ وـتـطـوـرـ هـذـاـ النـظـامـ المـعـقـدـ المـتـرـابـطـ؟ـ وـلـلـإـجـاـبـةـ نـقـوـلـ:ـ يـوـجـدـ فـيـ الـحـقـيقـةـ خـمـسـةـ أـجـزـاءـ مـتـابـعـةـ فـيـ هـذـاـ النـظـامـ.ـ أـوـلـهـاـ هوـ «ـمـرـكـبـ إـنـتـاجـ الـأـكـسـجـينـ»ـ؛ـ وـهـوـ نـوـعـ مـنـ كـسـارـةـ الـبـنـدقـ الـجـزـيـئـةـ الـتـيـ تـضـبـطـ مـوـاضـعـ وـأـوـضـاعـ جـزـيـئـاتـ الـمـاءـ بـحـيثـ يـتـمـ تـكـسـيرـهـاـ الـواـحـدـ مـنـهـاـ تـلـوـ الـأـخـرـ إـلـخـرـ إـلـكـتـرـوـنـاتـهـ مـنـهـاـ،ـ معـ إـلـاقـ الـأـكـسـجـينـ كـنـاتـجـ ثـانـويـ.ـ ثـمـ يـأـتـيـ دـوـرـ النـظـامـ الضـوـئـيـ،ـ ٢ـ،ـ (ـوـهـذـاـ مـاـ يـثـيـرـ الـارـتـبـاكـ؛ـ إـذـ سـُـمـيـ النـظـامـانـ الضـوـئـيـانـ ١ـ وـ ٢ـ بـتـرتـيبـ مـعـكـوسـ لـأـسـبـابـ تـارـيـخـيـةـ)،ـ الـذـيـ حـينـماـ يـنـشـطـهـ الـضـوـءـ يـتـحـوـلـ إـلـىـ مـسـتـرـ هـايـدـ الـجـزـيـئـيـ،ـ فـيـنـتـزـعـ هـذـهـ إـلـكـتـرـوـنـاتـ مـنـ مـرـكـبـ إـنـتـاجـ الـأـكـسـجـينـ.ـ ثـمـ تـأـتـيـ سـلـسلـةـ خـاصـةـ بـنـقلـ إـلـكـتـرـوـنـاتـ،ـ وـهـذـهـ تـنـقـلـ إـلـكـتـرـوـنـاتـ بـعـيـدـاـ،ـ مـثـلـ لـاعـبـيـ الرـجـبـيـ الـذـيـنـ يـمـرـرـونـ الـكـرـةـ بـعـرـضـ الـمـلـعـبـ.ـ ثـمـ تـسـتـخـدـمـ سـلـسلـةـ نـقـلـ إـلـكـتـرـوـنـاتـ فـرـقـ مـسـتـوـيـ الطـاـقـةـ الـمـتـرـاجـ لـصـنـعـ الـقـلـيلـ مـنـ ثـلـاثـيـ فـوـسـفـاتـ الـأـدـيـنـوـسـيـنـ،ـ قـبـلـ تـسـلـيمـ نـفـسـ إـلـكـتـرـوـنـاتـ إـلـىـ النـظـامـ الضـوـئـيـ ١ـ.ـ وـهـذـاـ يـأـتـيـ فـوـتوـنـ آخرـ لـيـضـرـبـ إـلـكـتـرـوـنـاتـ لـتـرـقـعـ إـلـىـ مـسـتـوـيـ طـاـقـةـ أـعـلـىـ؛ـ حـيـثـ يـتـلـقـفـهـاـ جـزـءـ NADPHـ (ـمـسـاعـدـ الـبـائـعـ الـمـتـجـولـ الـجـزـيـئـيـ)ـ وـهـوـ قـادـرـ عـلـىـ دـفـعـ إـلـكـتـرـوـنـاتـ بـقـوـةـ،ـ وـلـاـ يـرـيدـ أـفـضلـ مـنـ أـنـ يـتـخـلـصـ مـنـهـ مـجـدـاـ.ـ وـفـيـ النـهاـيـةـ تـأـتـيـ الـآـلـيـاتـ الـجـزـيـئـةـ الـمـطـلـوـبـةـ لـتـنـشـيـطـ ثـانـيـ أـكـسـيدـ الـكـربـونـ وـتـحـوـيـلـهـ إـلـىـ سـكـرـ.ـ وـبـاستـخـدـامـ إـلـاـ NADPHـ الـمـتـوـلـدـ عـنـ النـظـامـ الضـوـئـيـ ١ـ يـتـمـ تـشـغـيلـ عـلـمـيـةـ تـحـوـيـلـ ثـانـيـ أـكـسـيدـ الـكـربـونـ إـلـىـ سـكـرـ،ـ وـذـلـكـ بـوـاسـطـةـ الـكـيـمـيـاءـ وـلـيـسـ الضـوـءـ،ـ وـهـوـ مـاـ يـعـرـفـ بـالـتـفـاعـلـ الـمـلـمـلـ،ـ وـهـوـ مـلـمـحـ أـخـفـ بـرـيمـوـ لـيـفيـ فـيـ إـدـراـكـهـ.

تعمل هذه الأنظمة الخمسة في تتبع لانتزاع الإلكترونات من الماء ودفعها مجدداً إلى ثاني أكسيد الكربون. إنها طريقة شديدة التعقيد لكسر بندقة، ولكنها على ما يبدو تكاد تكون الطريقة الوحيدة لكسر تلك البندقة تحديداً. والسؤال التطوري الكبير هنا هو: كيف ظهرت تلك الأنظمة المعقدة المترابطة فيما بينها إلى حيز الوجود، وكيف تم تنظيمها بهذه الطريقة الصحيحة، تلك الطريقة التي قد تكون الطريقة الوحيدة لجعل البناء الضوئي الأكسجيني يؤدي مهمته؟

إن كلمة «حقيقة» من المرجح دائمًا أن تجعل علماء الأحياء يرتدون؛ إذ إن هناك الكثير من الاستثناءات لكل قاعدة، ولكن هناك حقيقة تُعتبر مؤكدة فعليًا في عملية البناء الضوئي الأكسجيني، وهي أنها نشأت دفعه واحدة. فمقر البناء الضوئي، أي حببية أو بلاستيда الكلوروفيل، يوجد في جميع الخلايا المتخصصة في البناء الضوئي في جميع النباتات وجسم الطحالب؛ فحببيات الكلوروفيل واسعة الانتشار ويرتبط بعضها ببعض بوضوح. وهي تشتهر معاً في تاريخ سري. وتتمكن القريئة على ماضيها في حجمها وشكلها؛ إذ تشبه البكتيريا الصغيرة التي تعيش داخل خلية عائل أكبر جمماً (انظر الشكل ٢-٣). وهذا الشبه بالبكتيريا تم إثباته بوجود حلقات مستقلة من الدي إن إيه في جميع حببيات الكلوروفيل. وهذه الحلقات من الدي إن إيه يتم صنع نسخ منها كلما انقسمت حببيات الكلوروفيل، ويجري تمريرها إلى «نسلها» بنفس الطريقة مثل البكتيريا. أيضًا، فإن التتابع التفصيلي لأحرف الدي إن إيه الخاص بحببيات الكلوروفيل لا يقتصر أمره على كونه يؤكد الرابطة التي بينها وبين البكتيريا، ولكنه يشير أيضاً إلى أقرب أقربائهما الأحياء؛ وهي البكتيريا الزرقاء. وأخيراً وليس آخرًا، فإن مخطط Z المتعلق بالبناء الضوئي النباتي، بجميع أجزائه الخمسة المكونة له، يوجد تماماً (ولكن بآلية أبسط) في البكتيريا الزرقاء. واختصاراً نقول بلا شك إن حببيات الكلوروفيل كانت أسلافها من البكتيريا الزرقاء الحرة.

وبكتيريا الزرقاء، التي كانت تُسمى سابقاً خطأً بالطحالب الزرقاء المخضرة، تُعتبر المجموعة الوحيدة المعروفة من البكتيريا التي يمكنها أن تُحلل الماء من خلال الشكل «الأكسجيني» من عملية البناء الضوئي. ولكن لا تزال كيفية وصول بعض من أعداد تلك البكتيريا لتعيش داخل خلية عائل أكبر جمماً لغزاً مخفية في غياهب أحقاد جيولوجية موغلة في القدم. لا شك أن ذلك حدث منذ أكثر من ١٠٠٠ مليون سنة خلت، ولكن



شكل ٢-٣: شكل نموذجي لحبّيبة كلوروفيل من نبات البنجر (من نوع بيتا فلجاريس)، تظهر أكوام الأغشية (الثيلاكوبيدات)؛ حيث يتحل الماء إلى عنصره لإطلاق الأكسجين في عملية البناء الضوئي. وليس ذلك التشابه مع البكتيريا من قبيل المصادفة؛ فحببيات الكلوروفيل كانت أسلافها من البكتيريا الزرقاء الحمراء.

يُفترض أنها ابتُلعت ببساطة في وقت ما، ولم تُهضم (وهو أمر شائع)، ثم ظهرت فائتها لخلية العائل الخاصة بها في نهاية الأمر. والعائل الذي تم تلقيحه وتلقيمه بالبكتيريا الزرقاء، استمرَ تطوّرها حتى تكونَت منه مجموعتان نباتيتان كبيرتان هما: الطحالب والنباتات؛ لأنها جميعاً اليوم تتميّز بقدرتها على أن تعيش على الشمس والماء، عن طريق ذلك الجهاز المختص بالبناء الضوئي الذي توارثته عن أسلافها من البكتيريا.

ومن ثمَّ يصبح التساؤل عن أصل البناء الضوئي تساؤلاً عن أصل البكتيريا الزرقاء، وهي النوع الوحيد من البكتيريا الذي حلَّ مشكلة تحلُّ الماء. هذه واحدة من أكثر روايات علم الأحياء الحديث إثارة للجدل، جدل لم يُحسم أمره إلى اليوم.

حتى منعطف الألفية الحالية، كان معظم الباحثين مقتنعين — وإن كانوا في حيرة — بالنتائج المدهشة التي توصلَ إليها عالم يُدعى بيل شوبف، الأستاذ النشيط الميال للنزاع لعلم الأحياء الحفري في جامعة كاليفورنيا، بمدينة لوس أنجلوس الأمريكية. فمنذ عقد الثمانينيات من القرن العشرين اكتشف شوبف وحلَّ عدداً من أقدم حفريات الحياة على

الأرض، والتي يرجع زمنها إلى حوالي ٣٥٠٠ مليون سنة. ويحتاج لفظ «حفرية» إلى قليل من التوضيح هنا. فما وجده شوبف كانت خيوطاً من كبسولات صخرية ميكروسكوبية، وهذه كانت تشبه البكتيريا كثيراً، وفي نفس أحجامها الحقيقية تقريباً. وقد افترض شوبف في بداية الأمر، على أساس البنية التفصيلية لتلك الحفريات الميكروسكوبية، أنها من البكتيريا الزرقاء. كانت تلك الحفريات الميكروسكوبية الدقيقة تُوجَد ضمن قطع نسيجية حفرية (تُسمى «ستروماتوليتيات» حفرية). أما الستروماتوليتيات الحية فهي على شكل قباب مشبعة بالمعادن وتنمو في طبقات متزايدة، تصل ارتفاعاتها إلى متر تقريباً، وتتكوّن من مجتمعات مزدهرة من البكتيريا التي تشكّل قشور الطبقات المعدنية المدفونة (انظر الشكل ٣-٣). وفي نهاية الأمر تتحوّل البنية كلها إلى صخر صل، وغالباً ما يبدو جميل المنظر عند أخذ قطاع منه. عادة ما نجد الطبقات الخارجية الحية من الستروماتوليتيات الحديثة تعج بالبكتيريا الزرقاء، ومن ثم افترض شوبف أن تلك الأشكال العتيقة دليل إضافي على الظهور المبكر للبكتيريا الزرقاء. وخشية من وجود أي شك، استطرد شوبف في عمله ليظهر أن تلك الحفريات المشكوك في أمرها تحتوي على بقايا من كربون عضوي، من نوع اعتُبر علامة مؤكدة على الحياة؛ ليست فقط أي حياة قديمة، ولكنها حياة مارست البناء الضوئي. وقال شوبف إن البكتيريا الزرقاء، أو كائنات شابتها كثيراً، قد نشأت على الأرض منذ ٣٥٠٠ مليون سنة مضت، أي بعد نهاية فترة تعرُض الأرض للقصف الكبير من الكويكبات — تلك الفترة التي ميزَت السنوات المبكرة لكونينا — ببعض مئات من ملايين السنوات فقط، بل إن هذا حدث بعد تكون النظام الشمسي نفسه بفترة قصيرة نسبياً.

لم يكن سوى قلة من الناس مستعدين لتحدي تقييم شوبف لهذه الحفريات العتيقة، بل إن هذه القلة نفسها بدت مقتنة بما قال. كان هناك آخرون أكثر تشكيكاً، وإن كانوا أقل خبراً. لم يكن من السهل أن يقبل المرء بفكرة النشوء المبكر للبكتيريا الزرقاء — والمفترض أنها كانت تطلق الأكسجين كناتج ثانوي كما تفعل اليوم — مع وجود أول علامات جيولوجية للأكسجين في الجو، واستمرار ذلك إلى ما يزيد عن مليار سنة بعدها. ولعل ما كان أكثر أهمية أن تعقيد المخطط Z جعل معظم علماء الأحياء يرفضون فكرة أن يكون البناء الضوئي الأكسجيني قد نشأ بهذه السرعة. ونظرًا لأن أشكال البناء الضوئي الأخرى أكثر بساطة؛ فقد بدا أنها تتواافق على نحو أفضل مع تلك الأوقات العتيقة. وبصفة عامة نقول إن معظم الناس تقبّلوا أن ما تم اكتشافه هو



شكل ٣-٣: ستروماتوليات حية في بركة هاملين، قرب خليج القرش في غرب أستراليا. تصل درجة ملوحة البركة إلى ضعف ملوحة البحر والمحيطات العادلة، وهذا يُعوق تكاثر الكائنات البحرية مثل القواقيع، ويمكن مستعمرات البكتيريا الزرقاء من الازدهار.

بكتيريا بالفعل، وربما كانت بكتيريا تستخدم البناء الضوئي، ولكن كان ثمة شكوك عما إذا كانت بالفعل من البكتيريا الزرقاء، وهذه هي قمة المشكلة.

ثم جاء مارتن برايسير أستاذ علم الأحياء الحفريات بجامعة أكسفورد، وخطا إلى الحلبة، فتحوّل الأمر إلى واحدة من أحمى المعارك في علم الحفريات في العصر الحديث، وهو علم عُرف عامّة بالطبع الانفعالي لكتار رجاله، مع مرونة ومطاطية الكثير من أدله. اتّكل معظم الباحثين المهتمين بالحفريات الشديدة القدّم على العينات القابعة في متحف التاريخ الطبيعي بلندن، ولكن برايسير رجع إلى المكان الجيولوجي الذي استخرج منه شوبف حفرياته أصلًا، فشعر بالصدمة؛ إذ وجد المكان بعيدًا عن أن يكون ذلك المسطح البحري الضحل الهدائِي الذي افترض شوبف وجوده، بل كانت المنطقة كلها تتخللها العروق الحرارية الأرضية، وهو دليل على وجود ماض جيولوجي عنيف، على حد قول برايسير الذي أردف قائلاً إن شوبف انتقى عينات بعينها ليبرز أفكاره، وأخفى عينات أخرى كانت تبدو مماثلة سطحياً، ولكنها رسميًا غير بيولوجية، ويرجح أنها

كلها تكونت بتأثير الماء الشديد السخونة على الرواسب المعدنية. وتتابع كلامه قائلاً إن الستروماتولييات أيضاً تكونت بعمليات جيولوجية وليس بكتيرية، ولم يكن أمرها أكثراً عموماً من ظهور تموّجات في الرمال. لم يكن للكربون العضوي بنية ميكروسكوبية على الإطلاق؛ مما جعله لا يختلف عن الجرافيت غير العضوي الذي نجده في كثير من الأماكن الحرارية الأرضية. وفي النهاية، وهو ما عُدَّ بمنزلة دُقَّ المسمار الأخير في نعش عالم كان يُعتبر عظيماً في وقتٍ ما، قال طالبُ سابقٍ لدى شوبف إنه يتذمّر أنه حين كان طالباً بالجامعة أجبره شوبف على إصدار تأويلات مشكوك فيها. بدا الأمر وكأن شوبف قد تحطّم تماماً.

لكن شوبف لم يكن من طراز الرجال الذين ينهزمون بسهولة، فierz للمعركة، ورتب بعض المعطيات ليدلل على آرائه. ثم تقابل مع برايسير على المسرح في مناظرة ربيعية نارية أجرتها وكالة ناسا الفضائية في أبريل ٢٠٠٢، ودافع كلُّ منهما عن قضيته. فبدأ برايسير الأستاذ بجامعة أكسفورد بعجرفته المعهودة، فشجب قضية شوبف قائلاً: «إنها حقاً تمثيلية حرارية مائئة؛ فكلها حرارة وليس فيها الكثير من الضوء». ومع ذلك، لم يقنع المحتلفون في هذه المناظرة حقاً بأراء أيٍّ من الطرفين الدقيق، فإن هناك حفريات أخرى – يعود تاريخها إلى مائة مليون سنة فقط بعدها – لم تتعرض إلا لقليل من الدحض؛ بل إن برايسير نفسه كان قد تقدّم بحفريات رشحها للعرض من نفس ذلك الزمن. إن معظم العلماء، وفيهم شوبف، يُطْبِقُون الآن معايير أكثر تشديداً لإثبات صحة المصادر البيولوجية التي لديهم. لكن لا تزال هناك جزئية من العشوائية؛ وهي المتعلقة بالبكتيريا الزرقاء، التي كانت حجر الأساس لشهرة شوبف. وحتى شوبف يعترف بأن الحفريات الدقيقة التي عرضها يرجح أنها ليست من البكتيريا الزرقاء، أو على الأقل ليست أكثر ترجيحاً لأن تكون من البكتيريا الزرقاء عن أي نوع آخر من البكتيريا الخيطية. وهكذا عادت قضية البكتيريا الزرقاء إلى المربع صفر، وهدأت حدة الجدل، مع عدم وجود فكرة أفضل عن نشوء تلك البكتيريا مما كان في البداية.

ذكرت تلك القصة لإظهار مدى صعوبة أن يغوص المرء في أعماق الزمن الجيولوجي، مستخدماً سجل الحفريات وحده. فحتى إثبات وجود البكتيريا الزرقاء، أو أسلافها على الأقل، لا يثبت أنها تمكنت من تحليل الماء بالفعل. ولعل أسلافها اعتمدت على صورة

من البناء الضوئي أكثر بدائية. لكن هناك طرق أخرى لاستقاء المعلومات من العصور السحرية، التي يمكن أن يثبت أنها أكثر نفعاً؛ وهي الأسرار المدفونة داخل الكائنات الحية نفسها، في داخل جيناتها الوراثية وأيضاً في تراكيبها الجسمانية، لا سيما في تراكيبها البروتينية.

فعلى مدى ما يزيد عن العقدين أو العقود الثلاثة الماضية، تعرّضت التراكيب الجزيئية التفصيلية للأنظمة الضوئية النباتية والبكتيرية للتدقيق والفحص العميق، مع استخدام العلماء لترسانة كبيرة من التقنيات لها أسماء تُثير الرهبة؛ مما يدل على أن طرق عملها ليست أقل بُنًا للرهبة في القلوب، بدءاً من استخدام جهاز التصوير البلوري بالأشعة السينية إلى استخدام مطياط الرنين بالتدويم الإلكتروني. لا تعنينا الآن كيفية عمل تلك التقنيات المعقدة، بل يكفي أن نعرف أنها استُخدِمت لرسم صور وتكونيات مركبات عملية البناء الضوئي بدرجة تقارب الوضوح الذري؛ وإن كانت للأسف لا تصل إليها. وحتى يومنا هذا تستغرق المجادلات في الاجتماعات، ولكنها مجادلات تخص التفصيلات. وأثناء تأليفني لهذا الكتاب، كنت قد رجعت توً من لقاء للمناقشة في الجمعية الملكية بلندن، وكان اللقاء ثريًّا بالجدل عن الموضع المحددة لخمس ذرات مهمة في مركب إنتاج الأكسجين. وسرعان ما صارت المجادلات ذات جانبين أحدهما سطحي والآخر عميق. فأما الجانب العميق فلأن الموضع المحدد للذرات تحدد الآلة الكيميائية الدقيقة التي يتم بمقتضها تحليل الماء، وتُعدُّ معرفة هذا الأمر هي الخطوة المفتاحية لحل أزمة الطاقة العالمية. وأما الجانب السطحي فهو أن مشاجرات العلماء في هذا الصدد كانت عن تحديد مواضع تلك الذرات الخمس داخل مسافة قطران قليلة للذرّة؛ أي بضعة أنجسترومات (أي أقل من واحد على المليون من المليمتر). وما يثير دهشة الجيل الأكبر سنًا من الباحثين، أنه لا يوجد إلا القليل من الخلاف بشأن مواضع جميع الذرات الأخرى التي تخص النظام الضوئي ٢ وعددها ٤٦٣٠ ذرة، والتي حددتها فريق جيم باربر في جامعة إمبريال كوليدج في عام ٢٠٠٤، بل وحُدِّدت في وقت أحدث بتفصيل أكثر.

صحيح أن تلك الذرات القليلة المتبقية لا يزال مطلوبًا تحديد مواضعها استقرارها النهائية، إلا أن المعمار الأكبر للنظمتين الضوئيين، الذي تم التلميح إليه على مدى أكثر من عقد مضى، قد صار الآن أمراً بسيطاً، وهناك كتب تتحدث عن تاريخ هذين النظمتين التطوري. ففي عام ٢٠٠٦ أظهر فريق صغير قاده بوب بلانكتشيب، الذي صار اليوم أستاذًا متميّزاً في جامعة واشنطن، بمدينة سانت لويس الأمريكية، أن النظمتين الضوئيين

محفوظان جيداً بشكل رائع في البكتيريا.⁷ وبالرغم من المسافات التطورية الشاسعة بين المجموعات المختلفة من البكتيريا، فإن التراكيب الأساسية للنظامين الضوئيين متماثلة تقريباً، لدرجة إمكان مطابقتهم مكانيّاً بوضع أحدهما فوق الآخر باستخدام الكمبيوتر. وفضلاً عن هذا، فقد أكدَ بلانكنشيب وجود رابطة أخرى كان الباحثون يشكُّون في وجودها زمناً طويلاً؛ وهي أن النظمتين الضوئيين (١ و ٢) يتشاركان أيّضاً في التراكيب الأساسية، ومن المؤكّد تقريباً أنّهما نشأاً من سلف واحد منذ زمن بعيد جداً.

بتعبير آخر نقول إنه كان هناك سابقاً نظام ضوئي واحد. وفي وقتٍ ما حدث ازدواج لأحد الجينات لإنتاج نظمتين ضوئيين متماثلين، ثم تباعد النظمان ببطء أحدهما عن الآخر تحت تأثير الانتقاء الطبيعي، بينما احتفظا بتشابه تركيبيٍّ وثيق فيما بينهما. وفي نهاية الأمر اقتنى النظمان معًا ضمنَ المخطط Z المتعلق بالبكتيريا الزرقاء، ثم وصلاً فيما بعد إلى النباتات والطحالب، وتحديداً في حبيبات الكلوروفيل. ولكن هذا السرد البسيط يخفي معضلة عجيبة، فازدواج نظام ضوئي بدائي لا يحل مشكلة البناء الضوئي الأكسجيني مطلقاً؛ إذ لا يمكن أن تقرن بين جاذب قوي للإلكترونات ودافع قوي لها مطلقاً. وقبل أن يتمكّن البناء الضوئي من ممارسة عمله، يجب على كلا النظمتين أن يتبعاً في الاتجاهين المضادين، وحينئذٍ فقط يمكنهما أن يتراصطاً معًا بشكل مفيد. ومن ثم يكون السؤال: ما تتبع الأحداث الذي يمكن أن يباعد بين النظمتين، فقط لكي يعيد ربتهما معًا كشريكين حميمين ولكن متضادين، تماماً مثل ذكر وأنثى حيوان ما، يُعاد تزويجهما معًا، بعد أن كانوا قد خرجا في السابق منفصلين من بوابة واحدة؟ إن أفضل وسيلة للوصول إلى الإجابة هي أن ننظر إلى النظمتين الضوئيين أنفسهما. فهما يتراصطاً ضمن المخطط Z في البكتيريا الزرقاء، ولكن فيما عدا هذا فإن لديهما تارixinin تطوريين متبعدين بشكل يثير الاهتمام. فدعنا الآن ننحني جانبًا التساؤل عن المصدر الذي جاء منه النظمان الضوئيان أصلًا، ونلقي نظرة سريعة على توزيعهما الحالي في العالم البكتيري؛ فبعض مجموعات البكتيريا لديها النظام الضوئي ١ فقط، ولدى مجموعات أخرى النظام الضوئي ٢ فقط. وكل نظام ضوئي يعمل بنفسه ليحقق غايات مختلفة، وتقدم لنا مهمتها المحددة فكرة دقيقة عن الكيفية التي نشأ بها البناء الضوئي الأكسجيني في البداية.

ففي البكتيريا، يفعل النظام الضوئي ١ بالضبط ما يفعله في النباتات. فهو يسحب الإلكترونات من مصدر غير عضوي ويعمل كالبائع المتحول السابق الإشارة إليه ولكن

على المستوى الجزيئي؛ إذ يدفع بتلك الإلكترونات بقوّة إلى ثانوي أكسيد الكربون لصنع السكريات. وما يختلف هنا هو المصدر غير العضوي للإلكترونات. فبدلًا من الماء، الذي لا يستطيع النظام الضوئي ١ التعامل معه مطلقاً، يسحب ذلك النظام الإلكترونات من كبريتيد الهيدروجين أو الحديد، وكلاهما يُعتبر هدفاً أسهل من الماء بكثير. وفي نفس الوقت، فإن مساعد «البائع المتجول» الجزيئي الآخر، وهو جزيء NADPH، يمكن أيضًا أن يتكون بالكيمياء وحدها، على سبيل المثال: في الفوهات الحرمانية التي شرحتناها في الفصل الأول. هنا أيضًا يستخدم جزيء NADPH لتحويل ثانوي أكسيد الكربون إلى سكريات عن طريق منظومة مشابهة من التفاعلات. ومن ثم، فإن الشيء الوحيد الذي استجَدَ في النظام الضوئي ١ هو ترويض الضوء ليؤدي مهمة كانت الكيمياء تؤديها وحدها في السابق.

ومما يستحق الذكر هنا أيضًا أنه لا يوجد شيء خاص فيما يتعلق بالقدرة على تحويل الضوء إلى كيمياء، فأي مادة صبغية طبيعية يمكنها أن تفعل هذا. إذ تبرع الروابط الكيميائية في تلك الأصباغ في امتصاص فوتونات الضوء، وحينما تفعل هذا يرتفع أحد الإلكترونات إلى مستوى طاقة أعلى، فتستطيع الجزيئات القريبة بسهولة أن تقتتنصه. نتيجة لهذا يكون الصبغ قد تأكسد ضوئياً؛ فهو بحاجة إلى أحد الإلكترونات ليوازن حساباته، فيأخذه من الحديد أو كبريتيد الهيدروجين. هذا كلُّ ما يفعله الكلوروفيل. والكلوروفيل مادة بورفيريَّة، ولا يختلف كثيراً في صيغته البنائية عن مادة الهيم؛ ذلك الصبغ الحياني الذي يحمل الأكسجين في دمائنا (ويشكل أحد جزئيَّ هيموجلوبين الدم). وهناك بورفيرينات أخرى كثيرة يمكنها أن تنجز أفعالاً عجيبة مماثلة بالضوء، وأحياناً ما تكون عواقب ذلك غير محمودة، كما يحدث في أمراض كالبورفيريَا.^٨ ومن المهم أن نعرف أن البورفيرينات هي ضمن أكثر الجزيئات تعقيداً التي تمَّ عزلها من الكوبيكبات الفضائية وتخليقها أيضًا في المختبرات تحت ظروف تمهيدية حيوية معقولة. بتغيير آخر نقول إن البورفيرينات يُرجح أنها تكونت تلقائياً على الأرض في أزمنة مبكرة.

اختصاراً، التقط النظام الضوئي ١ صبغًا بسيطًا نسبيًا هو البورفيرين، وأضاف قدرته الكيميائية التي تتأثر بالضوء تلقائياً إلى تفاعلات تحدث في الخلايا البكتيرية على أي حال. وكان نتاج ذلك صورة بدائية من البناء الضوئي يمكنها أن تستخدم الضوء لسحب إلكترونات من مصادر «سهلة» مثل الحديد وكبريتيد الهيدروجين، وتمرير الإلكترونات إلى ثانوي أكسيد الكربون لصنع السكريات. ومن ثم؛ فإن تلك البكتيريا تستخدم الضوء لصنع الغذاء.

ماذا عن النظام الضوئي؟ إن البكتيريا التي تستخدم هذا النظام الضوئي تستخدم الضوء لتنجز مهاماً مختلفة تماماً. فلا ينتج هذا النوع من البناء الضوئي مادة عضوية، ولكنه يُحول الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية، وهي في الواقع طاقة كهربائية يمكن استخدامها لشحن الخلية. وألية ذلك بسيطة؛ فحينما يصطدم أحد الفوتونات بجزيء من الكلوروفيل، ينفصل منه الإلكترون ويرتفع إلى مستوى طاقة أعلى، كما ذكرنا سابقاً، حيث يلتقطه أحد الجزيئات القريبة. ثم يتم تمرير هذا الإلكترون سريعاً من حامل للإلكترونات إلى آخر على طول سلسلة هابطة ناقلة للإلكترونات، مع إطلاق القليل من الطاقة في كل مرة، إلى أن يعود مجدداً إلى مستوى طاقة أقل. ويتم التقاط بعض من الطاقة المنطلقة في هذه العملية لإنتاج ثلاثي فوسفات الأدينوسين. وفي النهاية، يعود الإلكترون الذي أضناه الجهد إلى نفس الكلوروفيل الذي خرج منه في البداية، وبهذا تتم دورة كاملة. ومخترق القول إن الضوء يُسبب انفصال الإلكترون ورفعه إلى مستوى طاقة عالٍ، وحينما يرجع لأسفل إلى مستوى «مستقر» فإن الطاقة المنطلقة يتم التقاطها لتكوين ثلاثي فوسفات الأدينوسين؛ وهو نوع من الطاقة التي يمكن أن تستعملها الخلية. فهي إذن بمنزلة دورة كهربائية تُشحّن بالضوء.

من أين جاءت هذه الدورة؟ نقول مجدداً إنها جاءت من مصادر متعددة هي الأخرى. إن سلسلة نقل الإلكترونات مماثلة تقريباً لتلك المستخدمة في التنفس، التي نشأت وتطورت في الفوهات كما رأينا في الفصل الأول، فكأنها استعيرت منها لأداء غرض أكثر حداثة قليلاً. ففي التنفس، كما لاحظنا، يتم نزع الإلكترونات من الغذاء وتتمريرها في نهاية الأمر إلى الأكسجين لتكوين الماء. ويتم استخدام الطاقة المنطلقة لتوليد ثلاثي فوسفات الأدينوسين. وفي هذا النوع من البناء الضوئي يحدث نفس الشيء؛ إذ يتم تمرير الإلكترونات عالية الطاقة على طول سلسلة، ولكن ليس إلى الأكسجين، وإنما إلى نوع «جشع» (مؤكسد) من الكلوروفيل. وكلما كان الكلوروفيل أكثر قدرة على «نزع» الإلكترونات (أي كلما كان أقرب إلى الأكسجين في طبيعته الكيميائية) كانت السلسلة أكثر كفاءة، وهي تمتص الإلكترونات أولاً بأول وتسحب طاقتها منها. والميزة الكبيرة هي أن تلك العملية لا تحتاج إلى وقود، ولا غذاء، على الأقل لتوفير الطاقة (ولكن الطاقة مطلوبة لتركيب جزيئات عضوية جديدة).

وكاستنتاج عام نقول إن النوعين الأكثر بساطة من البناء الضوئي يشبهان الفسيفساء في طبيعتهما. وكل النوعين أوصلا محلاً جديداً للطاقة؛ هو الكلوروفيل، إلى

آلية جزيئية موجودة بالفعل. ففي إحدى الحالتين تحوّل هذه الآلية ثانية أكسيد الكربون إلى سكريات، وفي الحالة الأخرى تنتج ثلاثة فوسفات الأدينوسين. أما عن الكلوروفيل فمن المرجح تكون أصباغ بورفيرينية مشابهة على الأرض في الأزمنة المبكرة تلقائياً، ثم تكفل الانتقاء الطبيعي بالباقي. وفي كلتا الحالتين يؤدي حدوث تغيرات طفيفة في بنية الكلوروفيل إلى تعديل الطول الموجي للضوء المتص، ومن ثم الخصائص الكيميائية. كل هذه التغيرات تُعدّل كفاءة العمليات التي تحدث تلقائياً، وإن كانت في بادئ الأمر يُشوبها الكثير من الهدر. ويكون الناتج الطبيعي هو نشوء نمط «بخيل جشع» من الكلوروفيل لتخليق ثلاثة فوسفات الأدينوسين في بعض أنواع البكتيريا الحرة، ونمط «البائع المتجول» من الكلوروفيل لصنع السكريات في البكتيريا التي تعيش بالقرب من موارد كبريتيد الهيدروجين أو الحديد. ولكن لا يزال السؤال الأساسي ماثلاً دون جواب: كيف ترتبط كل تلك العوامل معًا في المخطط Z للبكتيريا الزرقاء؛ لكي تحل الوقود النهائي، وهو الماء؟

إِجابة القصيرة عن السؤال هي: لا نعرف على وجه التأكيد. هناك طُرُق للتوصُل إلى إِجابة محددة، لكنها للأسف لم تفلح. فمثلاً، يمكننا بشكل منظم أن نقارن ونبين الجينات المتعلقة بالنظامين الضوئيين في البكتيريا؛ لبناء شجرة جينية تدل على أسلاف النظامين الضوئيين. إلا أن تلك الأشجار الجينية لا معنى لها فيما يخص الحياة البكتيرية بسبب حقيقة تخص تلك الحياة؛ وهي الجنس. فالجنس في عالم البكتيريا يختلف تماماً عن الجنس في عالم الإنسان مثلاً؛ ففي عالم البشر تتوارث الجينات عبر الأجيال خطوة بخطوة؛ مما يُشكّل شجرة عائلية واضحة محددة جيدة التنظيم. أما البكتيريا فتنشر جيناتها الوراثية بشكل مفرط دون أن تلقي بالاً لجهود خبراء الأنساب والجينات الوراثية. وتكون نتيجة هذه الفوضى هي شكل أقرب إلى الشبكة العنكبوتية وليس شجرة على الإطلاق؛ حيث تنتهي جينات بعض البكتيريا عند بكتيريا أخرى لا علاقة لها بها بالمرة. وهذا يعني أنه ليس لدينا دليل جيني حقيقي على الكيفية التي تمّ بها تجميع النظامين الضوئيين ضمن المخطط Z.

لكن هذا لا يعني أننا لا نستطيع أن نعطي أي إِجابة. إن القيمة الكبيرة للفرضيات النظرية في العلوم هي أنها تلّجأ إلى القيام بقفزات تخيلية إلى المجهول، فتقترن زوايا وتجارب جديدة يمكن أن تؤكّد الافتراضات أو تُفنّدها. وفيما يلي واحدة من أفضل تلك

الفرضيات؛ وهي فكرة جميلة من جون إلن أستاذ الكيمياء الحيوية في كلية كوين ماري بجامعة لندن وصاحب العقل المبدع. تحدثت عن إلن في ثلاثة كتب متابعة، وفي كل مرة كنتُ أقدم فكرة إبداعية مختلفة صادرة عنه. وفرضيته هي مثل أفضل الأفكار في العلوم، تتميز بالبساطة التي تُمْرِّق سريعاً طبقاتٍ عَدَّة من التعقيد. قد لا تكون صحيحة؛ فليست كل الأفكار الكبيرة في العلوم صحيحة. ولكن حتى إذا كانت خطأ، فإنها تُظْهِر كيف «يُحتمل» أن تكون الأمور قد صارت إلى ما هي عليه، كما أنها عن طريق اقتراح التجارب المطلوبة لاختبار تلك الأمور، ترشد الباحثين إلى الطريق الصحيح. إنها تُقدِّم الفكرة الثاقبة والحافز في الوقت ذاته.

يقول إلن كثيراً من أنواع البكتيريا تشغل الجينات الوراثية أو تُعطلها استجابةً للتغييرات في بيئتها؛ وهذه في حد ذاتها تُعدُّ من المعلومات العامة، ومن أهم المفاتيح البيئية المسئولة عن تشغيل الجينات وتعطيلها وجود المواد الخام أو غيابها. وبصفة عامة، فإن البكتيريا لا تُهدر الطاقة في بناء بروتينات جديدة بهدف معالجة مواد خام إذا لم تجد أياً منها حولها، بل إنها تكتفي بإيقاف أنشطتها إلى حين صدور إشعار آخر. ومن ثم؛ فإن إلن يتخيّل بيئَةً متقلبةً – ربما كانت في شكل ستروماتوليّات في البحار الضحلة، أو عند فوهات حرمائية تُطلق كبريتيد الهيدروجين إلى العالم. وتنتفاوت الأحوال تبعاً لتأثير المد والجزر البحري، والتيارات الأخرى، والوقت من العام، والنشاط المائي الحراري وغيرها. والعامل الحاسم هو وجوب أن يكون لبكتيريا إلن الافتراضية كلا النظامين الضوئيين، كما هو حال البكتيريا الزرقاء في يومنا هذا، ولكن تلك البكتيريا تختلف عن البكتيريا الزرقاء في كونها تستخدم أحد النظامين فقط في كل مرة. فحينما يكون كبريتيد الهيدروجين موجوداً، فإن البكتيريا تشغل النظام الضوئي ١ وتستخدمه لإنتاج المادة العضوية من ثاني أكسيد الكربون، ويمكنها أن تأخذ هذه المادة الجديدة وتستخدمها في النمو والتكاثر، وهكذا. ولكن إذا تغيَّرت الظروف، وصارت الستروماتوليّات بغير مواد خام فإن تلك البكتيريا تنتقل إلى تشغيل النظام الضوئي ٢. وحينئذ تكف تلك البكتيريا عن صنع مواد عضوية جديدة (فهي لم تَعُدْ تنمو ولا تتکاثر)، ولكن يمكنها الحفاظ على وجودها عن طريق استخدام ضوء الشمس في صنع ثلاثة فوسفات الأدينوسين مباشرة إلى أن تتحسَّن الأحوال. لكلا النظامين الضوئيين فائدته، وكلُّ منها نشاً وتطورَ من خلال سلسلة من الخطوات البسيطة كما رأينا سابقاً.

ولكن ماذا يحدث إذا اندرت إحدى الفوهات الحرمائية، أو أَدَتِ التياراتُ الهوجاء إلى تغييرات طويلة الأمد في البيئة؟ لا بد حينئذ أن تعتمد البكتيريا على دورة الإلكترونيات

للنظام الضوئي ٢ في أغلب أحوالها. ولكن هنا تكمن مشكلة محتملة؛ إذ يمكن أن تنسد الدورة بـالإلكترونات من البيئة، حتى إذا حدث هذا ببطء في محيطها الفقير في الإلكترونات. إن دورة الإلكترونات تشبه إلى حد ما لعبة تمريض الطرود، فـإما أن يكون لدى حامل الإلكترونات إلكترون وإما لا، تماماً مثل الطفل؛ فـإما أن يكون لديه طرد بينما تتوقف الموسيقى وإنما لا. ولكن تخيل الآن مشرقاً وغداً على هذه اللعبة معه كومة من الطرود، فهو مستمر في تمريضها إلى دائرة الأطفال الواحد تلو الآخر. وفي نهاية اللعبة يكون لكل طفل طرد واحد، ولا يمكن لأحد منهم أن يمرر طرده لمن يليه؛ فتتوقف اللعبة بسبب حالة الارتباك تلك.

نفس هذه الحالة تتطبق في أغلبها على النظام الضوئي ٢؛ إذ تكمن المشكلة في ضوء الشمس، لا سيما في تلك الأيام التي سبقت وجود طبقة الأوزون؛ حيث كان المزيد من الإشعاع فوق البنفسجي يشق طريقه وصولاً إلى مستوى سطح البحر. ولا يقتصر تأثير الأشعة فوق البنفسجية على تحليل الماء، ولكن يمكن أيضاً أن تفصل الإلكترونات عن الأملاح المعدنية والمعادن الذائبة في المحيطات، وعلى رأسها المنجنيز والحديد. وهذا يُوضّح بالضبط نوع المشكلة التي تحبط لعبة تمريض الطرود التي لدينا؛ إذ يتسرّب بعض من الإلكترونات إلى دورة الإلكترونات دون استعداد لها.

لا يوجد الحديد ولا المنجنيز بتركيزات عالية في مياه البحار اليوم؛ لأن مياه المحيطات تُؤكِّس ما فيها تماماً من هذين المعادنين، ولكن في الأزمنة الغابرة كانوا بكميات وفيرة؛ فالمنجنيز، على سبيل المثال، يوجد بكميات هائلة في قاع البحر على شكل عقيدات عجيبة مخروطية الشكل، تراكمت على مدى ملايين السنين حول أشياء مثل أسنان أسماك القرش، وهي واحدة من الأشياء الحية التي يمكنها أن تتحمّل الضغوط الهائلة للماء عند قاع المحيط. ويُعتقد أن هناك تريليون طن من العقيدات الغنية بالمنجنيز، مبعثرة على قيعان البحار، وهو مخزون هائل ولكنه غير اقتصادي. وحتى المخزونات الأكثر اقتصادية مثل حقول المنجنيز الهائلة في كالاهاري بجنوب أفريقيا (وتحتوي على كمية أخرى مقدارها ١٣,٥ مليار طن من الخام) فقد ترسّبت أصلاً في المحيطات منذ ٢٤٠٠ مليون سنة. خلاصة القول إن المحيطات كانت في قديم الزمان مليئة بالمنجنيز. وبالنسبة للبكتيريا، يُعدُّ المنجنيز بضاعة قيمة؛ فهو يعمل كمضاد للأكسدة ليعي الخلايا من التأثير المدمر للإشعاع فوق البنفسجي. وحينما تمتص ذرة المنجنيز فوتوناً من الإشعاع فوق البنفسجي فإنها تُطلق إلكترونًا، فتتأكسد ضوئياً، وفي هذه العملية تكون

قد «عادلت» الأشعة. وبهذا تتم «التضخيّة» بالمنجنيز بدلاً من قطع وأجزاء الخلية الأكثر أهمية، مثل البروتينات والدبي إن إيه، التي لو لا ذلك لتفتت بفعل الأشعة؛ ومن ثم ترحب بشدّة البكتيريا بوجود المنجنيز لديها. وتكون المشكلة أنه حينما تفقد ذرات المنجنيز إلكترونًا؛ فمن المرجح دائمًا أن يتلقّفه ذلك النوع «البخيل الطعام» من الكلوروفيل في النظام الضوئي ٢. ومن ثم تننسد الدائرة تدريجيًّا بالإلكترونات، تماماً مثلما غرقت دائرة الأطفال — التي ذكرناها — في الظروف. وما لم يكن ثمة وسيلة لاستنزاف والإلكترونات الزائدة التي تعيق الدائرة فإن النظام الضوئي ٢ يصير أقل كفاءة رويدًا رويدًا.

ولكن كيف يمكن أن تستنزف البكتيريا بالإلكترونات من النظام الضوئي ٢؟ هنا تكمن عبقرية فرضية إن كلها؛ فالنظام الضوئي ٢ يكون قد انسدَّ بالإلكترونات، بينما يبقى النظام ١ عاطلًا عن العمل بسبب نقص الإلكترونات لديه. إن كل ما تحتاجه البكتيريا هو تعطيل مفتاح التشغيل الذي يمنع عمل كلا النظامين الضوئيين في الآن عينه، إما بطريق فسيولوجية وإما عن طريق طفرة من الطفرات. فماذا يحدث حينئذ؟ تدخل الإلكترونات النظام الضوئي ٢ مجلوبة من ذرات المنجنيز المؤكسدة، ثم يتم إطلاقها إلى مستوى عالي من الطاقة، بينما يمتص النوع «البخيل الطعام» من الكلوروفيل شعاعًا من الضوء. ومن هنا يتم تمريرها لأسفل عبر سلسلة نقل الإلكترونات، مع استخدام الطاقة المنطلقة لتوليد قليل من ثلاثي فوسفات الأدينوسين، ثم تحدث هنا عملية التغيير. فبدلاً من العودة إلى النظام الضوئي ٢ المعاكِر بكثرة الإلكترونات، يقوم النظام الضوئي ١ النشط بالتقاط تلك الإلكترونات الجديدة الزائدة التي هو متعرّض لها. ثم يتم إطلاق الإلكترونات لمستوى مرتفع من الطاقة مجددًا، مع امتصاص نوع «البائع المتجول» من الكلوروفيل لشعاع من الضوء. ومن ثم — بطبيعة الحال — يتم تمرير الإلكترونات في نهاية الأمر إلى ثاني أكسيد الكربون، لتكوين مادة عضوية جديدة.

هل هذا الكلام يبدو مألوفًا لك؟ لقد شرحتْ تواً المخطط Z مجددًا؛ إذ يمكن بواسطة طفرة وراثية واحدة ربط النظامين الضوئيين في سلسلة واحدة، مع تمرير الإلكترونات من ذرات المنجنيز عن طريق المخطط Z بأكمله إلى ثاني أكسيد الكربون لصنع السكريات. وهكذا فما تبدو الآن فقط كعملية شديدة الالتفاف والتعقيد يمكن فجأة جعلها ممكنة، بل حتمية، وذلك بإجراء طفرة جينية واحدة. هذا منطق سليم ومعقول؛ فالقطع الجزئية كلها في مواضعها وكلها تؤدي وظيفة كوحدات مفردة، كما أن الضغوط البيئية معقولة ويمكن توقعها. ولم يحدث من قبل أن أذُرت طفرة واحدة إلى إحداث مثل هذا الفارق الكبير في العالم.

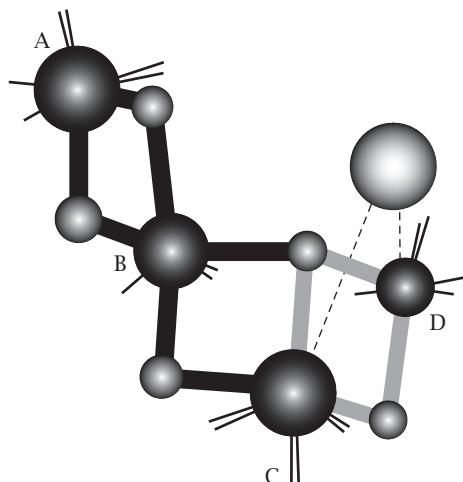
الأمر يستحق تلخيصاً سريعاً لتقدير الصورة الكبيرة بالكامل. في البداية كان هناك نظام ضوئي واحد، يُرجح أنه استخدم ضوء الشمس لاستخلاص الإلكترونات من كبريتيد الهيدروجين ودفعها إلى ثاني أكسيد الكربون لصنع السكريات. وفي مرحلةٍ ما صار الجين مزدوجاً، ربما لدى أحد أسلاف البكتيريا الزرقاء. وتبعاً لذلك، انتظم الضوئيان وصار لكلٍّ منها استخدام مختلف.⁹ فاضططع النظام الضوئي 1 بأداء ما كان يفعله في السابق، بينما تخصص النظام الضوئي 2 في توليد ثلاثي فوسفات الأدينوسين من ضوء الشمس عن طريق دائرة إلكترونات. وكان يتم تشغيل النظامين الضوئيين أو إيقافهما تبعاً لحالة البيئة، ولكن لم يحدث قط أن تم تشغيل النظامين معاً في آن واحد. وبمرور الزمن، مع ذلك، يقع النظام الضوئي 2 في مشكلة نتجت عن خصائص دائرة الإلكترونات؛ فأي زيادة فيما يرد من الإلكترونات من البيئة يؤدي إلى إرباك الدائرة وإعاقتها. ومن المرجح أنه كان ثمة ورود بطيء ومستمر من الإلكترونات من ذرات المجنز لاستخدامه البكتيريا في حماية نفسها من الإشعاع فوق البنفسجي. وهناك حل لهذه المشكلة يتمثل في تثبيط عملية التحويل بين النظامين الضوئيين، مع تمكينهما من العمل في آن واحد. وبهذا تتدفق الإلكترونات من المجنز، خلال كل النظامين الضوئيين، إلى ثاني أكسيد الكربون، وذلك عن طريق مسار معتقد يُعتبر إرهاصاً للمخطط Z الملفت بكل تفصيلاته الغريبة.

والآن صرنا على بعد خطوة واحدة من البناء الضوئي الأكسجيني بكل عنفوانه؛ فنحن نسحب الإلكترونات من المجنز، وليس من الماء. كيف إذن يحدث التحول النهائي المطلوب؟ الإجابة المدهشة هي أننا في غير حاجة إلى شيء معيّن لإحداث التغيير.

يعتبر المركب المطلق للأكسجين مثل كسارة البندق؛ إذ يكبل الماء حتى يتم ضربه وإطلاق الإلكترونات منه الواحد تلو الآخر. وحينما تتم إزالة الإلكترونات ينطلق الأكسجين، ذلك الناتج الثنوي الثمين، إلى العالم. وذلك المركب المطلق للأكسجين في حقيقته أحد مكونات النظام الضوئي 2، ولكنه يستقر عند آخر حافته، مواجهًا للعالم الخارجي، ومعطياً انطباعاً بأنه «مثبت» في موضعه، وهو صغير بدرجة عجيبة. ويكون ذلك المركب من عنقود من أربع ذرات من المجنز وذرة واحدة من الكالسيوم، ترتبط كلها معاً بشبكة من ذرات الأكسجين. هذا كل ما في الأمر.

على مدى سنوات، كان العالم قويًّا الشكيمة، مايك راسل – الذي صادفناه في الفصلين الأول والثاني – يجادل قائلاً إن بنية ذلك المركب مشابهة بشكل ملحوظ

بعض المعادن التي تتأثر بحرارة الفوهات الحرماطية، مثل خام الهولنديت أو منجنيت الكالسيوم النفقى. ولكن حتى عام ٢٠٠٦ لم نكن نعلم بنية عنقود المنجنيز هذا بالتحليل الذري، وكان راسل مجرد صوت في البرية، ولكننااليوم نعرف تلك البنية. ومع أن راسل لم يكن مُصيباً تماماً، فإن مفهومه بصفة عامة كان صحياً تماماً. والصيغة البنائية التي كشف عنها فريق كان يرأسه فيتال ياشاندرا في بيركلي تحمل تشابهاً واضحًا للأشكال المعدنية التي افترضها راسل (انظر الشكل ٤-٣).



شكل ٤-٣: البنية المعدنية القديمة للمركب المطلق للأكسجين: أربع ذرات من المنجنيز (موضحة بالحروف من A إلى D) ترتبط بالأكسجين ضمن شبكة، مع وجود ذرة من الكالسيوم قريبة منها. وقد تم الكشف عن هذه البنية باستخدام التصوير البلوري بالأشعة السينية.

لا نعرف ما إذا كان المركب المطلق للأكسجين في الأصل مجرد قطعة من المعدن اندمجت ضمن النظام الضوئي ٢ أم غير ذلك. فربما صارت ذرات المنجنيز مرتبطة بالأكسجين في شكل شبكة أثناء أكسدتها بالإشعاع فوق البنفسجي؛ مما أدى إلى تكون بلورة دقيقة في نفس الموقع ونموها.^{١٠} وربما أدى قرب ذلك العنقود من الكلوروفيل،

أو من قطع البروتين القريبة، إلى تغيير شكله بطريقة ما؛ مما أدى إلى تحسين وظيفته. ولكن أياً كان أصل ذلك العنقود، فهناك قدر كبير من الأحداث التصادفية المتعلقة به. فهو قريب إلى حدٍ بعيد من التركيب المعدني لدرجة يتعجب منها المرء من كونه نتاجاً لعملية بيولوجية. وهو مثل قليل من العناقيد المعدنية الأخرى التي تُوجَد في قلب الإنزيمات، فنکاد نكون على يقين من أنه ارتداد إلى الأحوال التي كانت موجودة منذ مليارات السنين في الفوهات الحرمائية. وذلك العنقود المعدني، أغلب الجوادر الثمينة، ترَكَ في مادة بروتينية، واحتفظت به وصانته البكتيريا الزرقاء على طول الزمان.

وأياً كانت طريقة تكون ذلك العنقود الصغير من ذرات المنجنيز فإنه فتح عالماً جديداً، ليس للبكتيريا التي احتفظت به منذ زمن البداية فحسب، ولكن لجميع صور حياة الكائنات على ظهر الأرض. فبمجرد تكون ذلك العنقود الصغير من الذرات، بدأ في تحليل الماء، وبدأت ذرات المنجنيز المؤكَسدة الأربع بتجميع شراحتها الطبيعية لانتزاع الإلكترونات من الماء، ومن ثم إطلاق الأكسجين كناتج ثانوي. ويُلاحظ أن تحليل الماء الذي تمّ حفظه بفعل المؤكسدة المستمرة للمنجنيز بتأثير الإشعاع فوق البنفسجي، لا بد أنه كان بطبيعاً في بادئ الأمر. ولكن بمجرد أن صار العنقود مرتبطاً بالكلوروفيل بدأت الإلكترونات في التدفق. ومع تأقلم الكلوروفيل مع هذه العملية ازدادت سرعته، وبدأ سحب الماء وتحليله، وسحب إلكتروناته وإخراجها، وطرد الأكسجين. وهذا التدفق المانح للحياة للإلكترونات — الذي بدأ ببطء ثم تسارع كالفيضان الغامر — وراء جميع مظاهر ازدهار الحياة على الأرض. إننا يجب أن نشكر تلك العملية الحيوية مرتين: مرّة لأنها مصدر جميع أنواع الغذاء الذي نأكله، ثم مجدداً لما انطلق بسببها من الأكسجين الذي تحتاجه لحرق الغذاء الذي يعيقنا أحياء.

تلك العملية هي أيضاً مفتاح حل أزمة الطاقة العالمية؛ فلا حاجة بنا لوجود نظامين ضوئيين؛ إذ لا يعنينا صنع المادة العضوية في هذا الصدد. بل نحتاج فقط إلى منتجين ينطلقاً من تحليل الماء — وهما الأكسجين والهيدروجين — فجعلهما يتفاعلان معًا مجدداً يُولِّد كل الطاقة التي تحتاجها، والنفاية الوحيدة الناتجة هي الماء. وبتعبير آخر، نقول إننا بذلك العنقود الصغير من المنجنيز يمكننا استخدام طاقة الشمس في تحليل الماء، ثم نجعل المكونين الناتجين يتفاعلان معًا مرة أخرى لتوليد الماء مجدداً؛ ما يمكن تسميتها اقتصاد الهيدروجين. فلا مزيد من التلوث، ولا مزيد من أنواع الوقود الحفري، ولا مزيد من أضرار غازات الكربون ومركباته الضارة، ولا مزيد من الاحتراق العالمي.

الذي تسبب فيه البشر، وذلك إذا استثنينا احتمالات حدوث بعض الانفجارات. وإذا كان ذلك العنقود الصغير من الذرات قد غيرَ تركيبة العالم منذ زمن بعيد، فإن معرفتنا لتركيبته الذرية لا بد أن تكون الخطوة الأولى نحو تغيير عالمنا اليوم. وأنثاء كتابتي لهذا الفصل، يتتسابق الكيميائيون في أنحاء العالم في تخليق ذلك العنقود المتجنزي الدقيق في المعمل، أو أي شيء مشابه له يحقق الفائدة مثله، وإنني مُوقن أنهم سريعاً ما سيتحققون النجاح. حينئذ لن يمر وقت طويل حتى نتعلم أن نعيش حياتنا بقدر من الماء وشيء من أشعة الشمس.

الفصل الرابع

الخلية المعقدة

نتائج مصادفة قدرية

«عالم النبات هو من يستطيع أن يعطي أسماء متشابهة لنباتات متشابهة، وأسماء مختلفة لنباتات مختلفة؛ حتى تكون معروفة ومميزة لكل إنسان.» هذا ما قاله العالم السويدي الكبير في علم تصنيف الكائنات كارولوس لينيروس، الذي كان هو نفسه عالم نبات. وقد نعتبر هذا الكلام بدائياً بعض الشيء أو طموحاً محدوداً في يومنا هذا، إلا أن لينيروس وهو يحمل على تصنيف العالم الأرضي الحي تبعاً لصفات الأنواع أرسى قواعد علم الأحياء الحديث. وقد كان بالتأكيد فخوراً بإنجازاته، حتى إنه كان يسعده أن يقول: «الله يخلق، وللينيروس يُصنّف». ولا شك أنه كان سيسعد إذا علم أن العلماء سيظلون — حتى يومنا هذا — يستخدمون نظامه التصنيفي الذي يُقسّم الكائنات الأرضية تحت عناوين: المملكة، والشعبة، والطائفة، والجنس، والنوع.

هذه الرغبة في التصنيف، واتباع النظام بدلاً من الفوضى، بدأت تجعل العالم الذي حولنا ذا معنى، وصارت أساساً لعدد من العلوم التي تنفعنا. فأين يكون موقع علم الكيمياء بدون الجدول الدوري للعناصر؟ أو الجيولوجيا بدون معرفة الحقب والعصور؟ ولكن هناك أمر مختلف فيما يتعلق بعلم الأحياء. ففي علم الأحياء فقط لا يزال هذا التصنيف للكائنات جزءاً نشطاً من الأبحاث الجارية. وقد صارت الكيفية التي تبني بها «شجرة الحياة» — تلك الخريطة الكبيرة التي تُبيّن العلاقات بين جميع الكائنات الحية — مصدراً للحقد، بل والغضب بين علماء يفترض فيهم دماثة الأخلاق. وقد نشر أحد

العلماء واسمه فورد دوليتل، ويُعتبر من أكثر العلماء رقة وهدوءاً، مقالة يُعبر في عنوانها عن هذا الاتجاه، وهو «تشذيب شجرة الحياة».

وليس المشكلة فيمن كانوا يُعتبرون رقيقين الطبع، بل في أمور تتعلق بأكثر الفروق والميزات أهمية من الناحية المادية. فأغلبنا، مثل لينيوس، لا يزال بالفطرة يُقسم العالم إلى نباتات وحيوانات وجمادات، وهي على أي حال الأشياء التي يمكننا أن نراها. أليست هذه الفئات مختلفة بما يكفي؟ إن الحيوانات تضج بالحياة حولنا، مهتمة بأجهزتها العصبية الراقية المعقدة، وتأكل النباتات والحيوانات الأخرى. والنباتات تنتج مادة جسمها من ثاني أكسيد الكربون والماء، مستخدمة طاقة أشعة الشمس، وهي مغروسة في أماكنها فلا حاجة بها إلى المخ. والجمادات خالية من الحياة، حتى إذا كان نمو البلورات قد أقنع لينيوس بأن يضمها إلى تصنيفاته باعتبارها من مظاهر الحياة، في حين أن البلورات ليست حية.

إن جذور وأسس علم الأحياء بوصفها مادة دراسية تنقسم إلى علم الحيوان وعلم النبات، ولم يلتقط الاثنان قط على مدى أجيال. بل إن اكتشاف أشكال الحياة المجهرية لم يفعل إلا القليل لكسر هذا التقسيم القديم؛ فالحيوانات الدقيقة، مثل الأمبيا التي تتحرك حولنا بنشاط، أدرجت ضمن المملكة الحيوانية، وأطلق عليها فيما بعد اسم الحيوانات الأولية أو الأوليات، بينما أضيفت الطحالب الملوية والبكتيريا إلى عالم النباتات. ولو كان لينيوس حياً بيننا اليوم وسره أن يجد أن نظامه التصنيفي لا يزال يستخدم، لصُعق عند اكتشافه أنه انخدع كثيراً بالظواهر الخارجية. فالاليوم ضاقت كثيراً الفجوة التي نجدها بين النباتات والحيوانات، بينما افتتح بحر واسع بين البكتيريا وبقية صور الحياة المعقدة. وعبر هذا البحر يُسبب الكثير من التزاع بين العلماء، ويجعلهم يتساءلون: كيف انتقلت الحياة من بساطة البكتيريا البدائية إلى تعقيد النباتات والحيوانات الراقية؟ هل كان هذا الانتقال مرجح الحدوث، أم غير محتمل الحدوث بشكل مؤكد؟ هل حدث في مكان آخر في الكون الفسيح، أم أن الكون خارج الأرض خالٍ من الحياة؟

وخشية أن يستغل البعض حالة عدم اليقين هذه في الترويج لأفكار غير علمية؛ فقد صدرت أفكار كثيرة جديرة بالتصديق، ولكن تكمن المشكلة في وجود الأدلة والبراهين، وتحديداً في تأويل الأدلة المتعلقة بالأؤمنة السحرية في القدم، وهي أزمنة ربما تعود إلى ٢٠٠٠ مليون سنة مضت حينما نشأت أولى الخلايا المعقدة حسبما يعتقد العلماء. وأعمق الأسئلة يتعلق بسبب ظهور الحياة المعقدة دفعة واحدة فقط في تاريخ الحياة على كوكبنا

بأكمله؛ فكل النباتات والحيوانات بلا شك ترتبط بعلاقات فيما بينها، بمعنى أننا جمِيعاً نتشارك في سلف واحد حسبما يقول العلماء؛ فالحياة المعقّدة لم تنبثق بشكل متكرر من البكتيريا في أوقات منفصلة، بمعنى انبعاث النباتات من نوع من البكتيريا، والحيوانات من نوع آخر، والفطريات أو الطحالب من أنواع أخرى. بل على العكس، ففي وقت واحد نشأت خلية معقّدة من البكتيريا، واستمرت ذرية تلك الخلية لتنشأ عندها الممالك الكبيرة للحياة المعقّدة؛ وهي: النباتات، والحيوانات، والفطريات، والطحالب. وتلك الخلية الأم، أي السلف الأكبر لكل صور الحياة المعقّدة، تختلف كثيراً عن البكتيريا؛ فإذا نظرنا إلى شجرة الحياة، فكأنّ البكتيريا تشكل جذورها، بينما تشكل الكائنات المعقّدة المألوفة أغصانها. ولكن ماذا بشأن جذع الشجرة؟ مع أننا يمكن أن نعتبر الكائنات الأولية وحيدة الخلية، مثل الأميبا، أشكالاً وسيطة؛ فإنها في الواقع ومن نواحٍ كثيرة تُعتبر معقّدة مثل النباتات والحيوانات. إنها بالتأكيد تستقر عند فرع سفلي أدنى، ولكنها مع ذلك تتطلّب فوق مستوى جذع الشجرة.

ذلك البون الشاسع بين البكتيريا والكائنات الأخرى الأكبر رقّياً هو بالأساس مسألة تنظيم على مستوى الخلايا. فمن حيث مورفولوجيتها على الأقل – أي شكلها وحجمها ومكوناتها – تُعتبر البكتيريا بسيطة؛ فشكلها بسيط عادة، وأغلبها كروي أو عصوي. وهذا الشكل يدعمه جدار خلوي صلب يحيط بالخلية من الخارج، ولا يوجد في داخلها سوى القليل لنزاه، حتى مع استخدام قوة تكبير المجهر الإلكتروني. فالبكتيريا اختزلت أجسامها لأقل درجة تتفق مع نمط حياتها حر المعيشة، وحياتها تسير في خط واحد لا تَحِيد عنه؛ فكل شيء مسخّر للتکاثر والتضاعف السريع، والكثير منها يحتفظ بأقل قدر ممكن من الجينات الوراثية لتعيش حياتها، ولديها قابلية لأن تنتزع المزيد من الجينات من بكتيريا أخرى حينما تتعرض للضغوط؛ وذلك حتى تدعم احتياجاتها الجينية، ثم تفقد تلك الجينات الزائدة مجدداً عند أقرب فرصة، ويتم نسخ جينوماتها الصغيرة بسرعة. وبعض أنواع البكتيريا يمكنها أن تتضاعف كل ٢٠ دقيقة؛ مما يتتيح لها نمواً مضاعفاً بسرعات مذهلة طالما بقيت المواد الخام اللازمة لذلك، فإذا حصل أحدها – يزن واحداً على تريليون من الجرام – على ما يكفيه من موارد بغير حدود (وهو أمر مستحيل بالفعل)، يمكنه أن يتکاثر بحرّية حتى يصل وزن مجموع أعداده إلى ما يعادل وزن الكوكبة الأرضية نفسها في أقل من يومين.

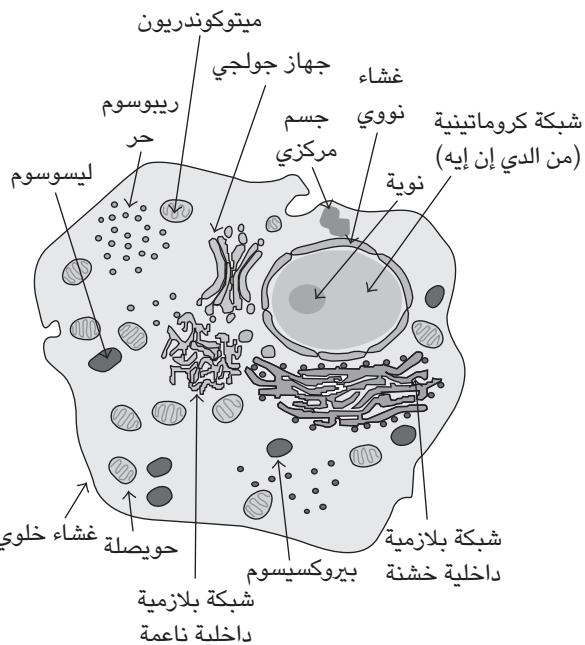
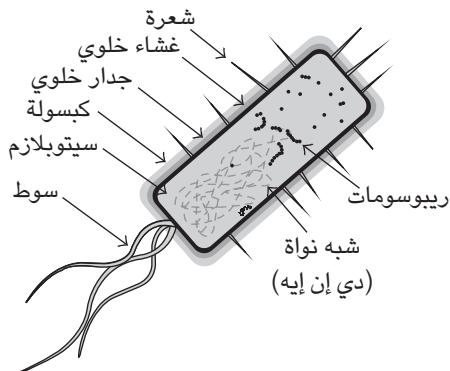
والآن لننظر إلى الخلايا المعقّدة، التي تتنّع بعنوان يثير الرهبة، وهو حقائق النوى eukaryotes. كنت أود أن يكون لها اسم أرق من هذا، وهو على أي حال غير مُعبّر

عنها بدقة. فكل شيء وأي شيء على ظهر الأرض من جميع صور الحياة المعقدة التي نتحدث عنها هو من حقائق النوى. وهذا الاسم مشتق من لفظ يوناني هو *eu* بمعنى « حقيقي » karyon و معنى « قلب الجوزة » أو « النواة ». وهكذا لهذا النوع من الخلايا نوى حقيقة؛ مما يميّزها عن البكتيريا، التي تُسمى بدائيات النوى prokaryotes بسبب حرمانها من النواة. بالنظر للأمر نجد أن البدائية *pro*، ومعناها « قبل »، تُعتبر ذات قيمة توضيحية؛ إذ تدل على أن بدائيات النوى نشأت قبل حقيقة النوى. وأعتقد أن هذا أمر صحيح بالتأكيد ولكن بعض الباحثين لا يتفقون معى في هذا الرأى. وبغضّ النظر عن زمن نشوء تلك الكائنات الحية بالضبط فإن وجود النواة يُعدُّ الفيصل والمظهر المحدد لجميع الخلايا حقيقة النوى. ولا يمكننا أن نأمل في تفسير تطويرها بدون أن نفهم كيف ظهرت تلك النواة ولماذا، وعلى العكس من ذلك، لماذا حُرِّمت جميع أنواع البكتيريا من وجود النواة؟

النواة هي « مركز القيادة » في الخلية، وهي معبأة بالدي إن إيه؛ المادة الجينية الوراثية. وفضلاً عن وجود النوى في حد ذاتها، هناك أوجه أخرى عدّة مميزة للخلايا حقيقة النوى لا تُوجَد في البكتيريا. فالخلايا حقيقة النوى ليس لديها كروموسوم دائري واحد، مثل البكتيريا، ولكن لديها عدد من الكروموسومات المستقيمة التي تكون غالباً مقتربة في أزواج. كما أن الجينات نفسها ليست مصقوفة على طول الكروموسومات كحبات المسبيحة، كما في البكتيريا، ولكنها تنقسم إلى قطع وأجزاء، مع وجود مسافات أو امتدادات واسعة من مادة الدي إن إيه غير المشفرة فيما بينها؛ أي إن حقيقة النوى لديها جينات تأخذ شكل قطع لسبب ما. وفي النهاية، فإن جينات الخلايا حقيقة النوى ليست مكشوفة مثل جينات البكتيريا، ولكنها مغطاة بالبروتينات، وهو نسق يجعلها منيعة ضد العبث والاختراق مثل الأغلفة البلاستيكية الحديثة التي تُغلّف بها الهدايا.

وخارج نطاق النواة أيضاً، تُعتبر الخلايا حقيقة النوى عالماً مستقلاً بذاته (انظر الشكل ٤-١). وعادة ما تكون تلك الخلايا أكبر بكثير من البكتيريا – بما يصل في المتوسط من عشرة آلاف إلى مائة ألف مرة قدر حجم البكتيريا – كما أنها مليئة بأشياء أخرى كثيرة ومتنوعة. ومنها أكdas من الأغشية ووفرة من الحويصلات المغلقة، وهيكل خلوي داخلي ديناميكي يُؤثِّر دعماً بناياً للخلية، وفي نفس الوقت يكون قادرًا على أن ينقض بناءه ثم يُجددده داخل الخلية، بما يتتيح حدوث تغيرات في شكلها وحركتها. ولعل أهم تلك المكونات هو العضيات (أي الأعضاء الدقيقة الداخلية).

الخلية المعقدة



شكل ٤-٤: الاختلافات بين الخلايا بدائية النوى، مثل البكتيريا، والخلايا حقيقة النوى المعقدة التي «تُوَجَّدُ فيها مكونات داخلية»، وتشمل نواة، وعضيات وتراكيب غشائية داخلية. هذا الرسم بالتأكيد ليس مرسوماً بمقاييس رسم حقيقة؛ إذ يصل حجم حققيات النوى في المتوسط من عشرة الآف إلى مائة ألف مرة قدر حجم البكتيريا.

وذلك الأعضاء المجهريّة مكرسة لأداء مهام خاصة في الخلية، تماماً كما تضطلع الكلّي أو الكبد بمهام متخصصة في الجسم البشري. وأكثُرها أهميّة هي الميتوكوندريا، التي تُعرَف بأنّها «محطات توليد الطاقة» في الخلية، التي تُولِّد الطاقة في صورة ثلاثة فوسفات الأدينوسين. وتحتوي الخلية حقيقة النواة في المتوسط على بضع مئات من الميتوكوندريا، ولكن يحتوي بعضها على ما يصل إلى مائة ألف منها. ويقول العلماء إنّه فيما مضى كانت تلك الميتوكوندريا بكتيريا حرّة المعيشة، ثم وقعت في شَرك الخلايا الراقية لتهدي وظائفها فيها، وسُنُّت بعثات ذلك بتوسُّع أكثر في هذا الفصل.

هذه مجرد فروق في المظهر. أما في السلوك، فإنّ الخلايا حقيقة النوى رائعة بنفس الدرجة، كما أنها مختلفة تماماً عن البكتيريا. ويمكّنا القول إنّ جميع حقائقيات النوى — فيما عدا استثناءات قليلة — لها جنس محدد؛ فهي تولِّد خلايا جنسية مثل المني والبويضات، والتي تندمج معًا لتكون خلية هجينًا (مخصبة) بها نصف عدد الجينات من الأب والنصف الآخر من الأم (وسنذكر المزيد عن هذا في الفصل التالي). وجميع الخلايا حقيقة النوى تنقسم من خلال ممارسة الكروموسومات لما يشبه رقصة الجافوت الفرنسية الساحرة؛ إذ تُضاعف أعدادها وتتصفُ أنفسها في شكل مغزل من الأنبيبات الدقيقة قبل أن تراجعاً صوب الطرفين المتضادين للخلية، وكأنّها تحسي بعضها في كياسة. تتّوال قائمة السلوكيّات المدهشة لحقائقيات النوى، وأود أن أذكر مجرد واحدة أخرى وهي البلعمة، أو قدرة الخلية البلعمية على ابتلاء خلايا أخرى بكمالها وهضمها داخلها. وهذه السمة يبدو أنها عتيقة حتى وإن كان ثمة مجموعات قليلة من الكائنات، مثل الفطريات والنباتات، قد فقدتها مجدداً. ومن ثم على سبيل المثال، مع أنّ أغلب الخلايا الحيوانية والنباتية لا تحتشد من أجل ابتلاء خلايا أخرى، فإنّ الخلايا المناعية تفعل هذا تماماً حينما تلتهم البكتيريا، فهي تسلك في هذا سلوك الأمبيا.

كلّ هذا يتعلق بجميع الخلايا حقيقة النوى، سواء أكانت نباتية أم حيوانية أم أمبية. هناك بالطبع فروق كثيرة بينها أيضاً، ولكن إذا وضعنا تلك الفروق أمام الخصائص المشتركة بينها فإنّها تكون غير ذات بال. كثير من الخلايا النباتية تحتوي على حبيبات الكلوروفيل على سبيل المثال، وهي عضيات مسؤولة عن عملية البناء الضوئي. وتلك الحبيبات، شأنها في هذا شأن الميتوكوندريا، كانت في قديم الزمان بكتيريا حرّة المعيشة (في هذه الحالة من البكتيريا الزرقاء)، ثم ابتلعتها بكمالها سلف مشترك لجميع النباتات والطحالب. وأيّاً كان السبب، فإنّ تلك الخلية السلف أخفقت في هضم وجبتها

الشهية، ومن خلال حالة من عسر الهضم اكتسبت تلك الخلايا كل ما يلزمها للاكتفاء الذاتي والاعتماد على النفس؛ إذ تحصل على طاقتها من الشمس والماء وثاني أكسيد الكربون فقط. وهكذا، في بلعة واحدة تحرق قطار الظروف الحياتية التي فصلت في نهاية الأمر بين عالم النباتات الساكن وعالم الحيوانات المفعّم بالحركة. إلا أن وجود حبيبات الكلوروفيل تلك ما هو إلا فارق واحد مقابل ألف صفة مشتركة. ويمكننا أن نستمر في هذا؛ فالنباتات والفطريات تكونت لديها جدر خلوية خارجية لتدعم بنية أجسامها، وبعضها لديه فجوات خلوية، وهكذا. ولكن كل ذلك ليس أكثر من فروق طفيفة؛ إذ لا تُوجَد أي فروق تضاهي تلك الهوة الساحقة التي تفصل الخلايا حقيقة النوى عن البكتيريا.

إلا أنها هوة تثير الحيرة؛ فهي حقيقة وخيالية في آن واحد. فيُوجَد شيء من التراكب أو التداخل بين البكتيريا والخلايا حقيقة النوى في جميع الصفات – تقريباً – التي تأملناها. فثمة عدد قليل من البكتيريا كبيرة الحجم، كما يُوجَد كثير من الخلايا حقيقة النوى صغيرة الحجم، وهناك تراكب في المدى الحجمي بينهما. كما أن للبكتيريا هيكل خلويًّا داخليًّا، يُعْظِن جدارها الخلوي ويتكوّن من ألياف تشبه كثيراً الهيكل الخلوي حقيقي النواة، بل إنه يبدو ديناميكياً إلى حدٍ ما. وهناك بكتيريا لديها كرومومسومات مستقيمة (وليس دائرية)، ولها تراكيب تحاكي النواة وبها أغشية داخلية. قليل من البكتيريا يفتقر للجدر الخلوي، في جزء من دورة حياتها على الأقل. وبعضها يعيش في مستعمرات ذات طبيعة مُعَقدَة، وربما يمكن اعتبارها بمنزلة كائنات متعددة الخلايا، وهذا بالطبع في رأي المدافعين عن البكتيريا. بل إن هناك حالة أو حالتين من البكتيريا التي تحمل بكتيريا أخرى أصغر حجماً في داخلها، وهو اكتشاف غامض، خاصة في ضوء أنه لا يُوجَد نوع واحد من البكتيريا تُعرَف عنه القدرة على ابتلاء الخلايا بخاصية البلعمة. ورأيي أن البكتيريا بدأت طريقها محتوية على كل الصفات حقيقة النواة الممكنة تقريباً، ثم توقفت متخلفة عن الرَّكْب، غير قادرة على الاستمرار في تلك التجربة الحياتية، لأي سبب من الأسباب.

قد تشعر – معدوراً في ذلك – بأن هذا التراكب الذي ذكرناه ما هو إلا تدرج متصل للسمات؛ ومن ثمَّ فلا شيء يحتاج إلى تفسير. وكان من الممكن ألا يوجد بون شاسع بين البكتيريا وحقائقيات النوى إذا كان ثمة طيف متصل بدءاً من البكتيريا البسيطة عند إحدى النهائين وحتى حقائقيات النوى المعقّدة عند النهاية الأخرى من ذلك الطيف.

وهذا صحيح بشكلٍ ما، ولكنني أعتقد أنه مضلل؛ فبالرغم من وجود درجة ما من التراكب حقاً، فإنه تراكب من طيفين مختلفين بالفعل. أحدهما طيف مبتور خاص بالبكتيريا، يتراوح بين «البساطة المتناهية» و«التعقيد المحدود»، والآخر أطول كثيراً يخص حقائقات النوى، ويتراوح بين «التعقيد المحدود» و«التعقيد الشديد والمحير للعقل». نعم؛ هنا تراكب ولكن البكتيريا لم ترتفِع كثيراً على طيف حقائقات النوى، وحدها حقائقات النوى هي التي فعلت ذلك.

ويظهر الفارق جلياً في التاريخ بقوّة؛ فعل مدى ثلاثة الآلاف مليون سنة الأولى تقريباً من الحياة على الأرض (منذ أربعة آلاف مليون إلى ألف مليون سنة مضت)، سادت البكتيريا تلك الحياة. لقد غيرت وجه العالم تماماً، ولكنها بالكاد غيرت نفسها؛ فالتغيرات البيئية التي سببتها البكتيريا كانت هائلة، لدرجة يصعب علينا نحن البشر أن نتخيلها. فكل الأكسجين الذي بالهواء، على سبيل المثال، مشتق من عملية البناء الضوئي، التي كانت ممارستها – في الفترة المبكرة – ملقة على عاتق البكتيريا الزرقاء وحدها. كما أن «واقعة الأكسدة العظيمة» حين تشبع الهواء وكذلك أسطح المحيطات المشمسة بكميات هائلة من الأكسجين، وذلك منذ حوالي ٢٢٠٠ مليون سنة، أدت إلى تغيير كبير في كوكبنا إلى الأبد، ولكن هذا التغيير لم يترك بصماته على البكتيريا ذاتها، بل كان هناك مجرد تحول في النظام البيئي تجاه نوع البكتيريا التي تحب الأكسجين؛ فحدث تفضيل لنوع واحد من البكتيريا على الآخر، ولكن بقيت أفراد النوع كلها بكتيرية بشكل واضح ومؤكد. ونفس الشيء ينطبق على سائر التحولات البارزة في الظروف والأحوال. كانت البكتيريا مسؤولة عن خنق أعماق المحيطات بكبريتيد الهيدروجين، فترة وصلت إلى ٢٠٠ مليون سنة، ولكنها بقيت دائماً كما هي؛ بكتيريا. وكانت البكتيريا مسؤولة عن أكسدة غاز الميثان الجوي؛ مما أدى إلى حدوث ظاهرة تجمد أرضي شامل، وكان هذا أول حادث من نوعه في تاريخ الأرض، ولكنها بقيت كما هي؛ بكتيريا. ولعل أهم تغيير من نوعه بالنسبة للبكتيريا قد حدث بسبب نشوء حقائقات النوى عديدة الخلايا المعقدة خلال الـ ٦٠٠ مليون سنة الماضية. فقد قدمت حقائقات النوى طرقاً جديدة للحياة للبكتيريا، مثل تسبب البكتيريا في الأمراض المعدية، ولكن بقيت البكتيريا كما هي؛ بكتيريا. فلا شيء من الكائنات أكثر مقاومة للتغيير من البكتيريا.

وهكذا بدأ التاريخ بحقائقات النوى؛ فلأول مرة صار من الممكن أن نجد « شيئاً مختلفاً عما سبقه» بدلًا من التكرار النمطي الممل لنفس النمط على مرّ الزمان. وفي

أحياناً قليلة، حدثت بعض الأشياء بسرعة. الانفجار الكمبري، على سبيل المثال، كان بالأساس انتشاراً سريعاً لطرز بدائية من الخلايا حقيقة النوى. كان ذلك الانفجار لحظة جيولوجية من عمر الزمان؛ إذ استمر مليوني عام فقط. ظهرت حيوانات كبيرة فجأة، وتركت آثارها في سجل الحفريات لأول مرة. لم تكن تلك الأنواع مختلفة اختلافات ظاهرية وحسب، وإنما كانت حيوانات عجيبة الأشكال، رائعة الأجسام، اختفى بعضها مجدداً سريعاً كما ظهر سريعاً. فكان تلك الحيوانات كانت نائمة خامدة في سجل القدر ثم استيقظت فجأة لتعوض دهوراً سابقة خالية.

ثمة مصطلح تقني لهذا الانفجار هو «الإشعاع»، الذي يظهر فيه نوع من الأنواع فجأة، لسبب من الأسباب، ويستمر مطلق العنوان فترة قصيرة من التطور. وهكذا نشأت أنواع جديدة إبداعية من أسلافها القديمة كأشعة ضوء خرجت من مصباح. صحيح أن الانفجار الكمبري هو الأكثر شهرة في هذا الصدد، إلا أن هناك أمثلة أخرى كثيرة؛ مثل: استعمار الأرض بالكائنات، ونشوء النباتات الزهرية، وانتشار الحشائش، ونشوء الثدييات وتبسيط أنواعها. وهذا قليل من كثير. وتلك الأحداث تمثل للحدث حينما يكون التطور الجيني في مواجهة حدث بيئي غير مبرر، لأن تسود حالة انقراض جماعي. ولكن أياً كان السبب، فإن تلك الإشعاعات الهائلة يميزها أنها حقيقة النوى. ففي كل مرة لم تزد هرث إلا حقائق النوى؛ أما البكتيريا فبقت كما هي. ولا يسع المرء هنا إلا أن يستنتج أن الذكاء البشري والوعي، وسائر الخصائص التي نعتر بها ونبحث عنها في أنحاء الكون، لم تكن لتنشأ في البكتيريا – التي تعيش على كوكبنا الأرضي على الأقل – بل إنها صفات حقيقة النواة ممحضة.

هذه التفرقة تثير الأسى؛ ففي حين أن البكتيريا تجعلنا نعجب بها ونغبطها لما فيها من صفات كيميائية حيوية علقة، فإنها تتصرف بالتقزم الشديد فيما يختص بإمكاناتها المورفولوجية. ويبعدون أنها عجزت عن التطور لتصل إلى مستوى الكائنات الراقية، نباتية كانت أم حيوانية، كالتي نراها حولنا ونعجب بها. ولعل هذا يجعل الانتقال من البكتيريا البسيطة إلى حقائق النوى المعقّدة أهم عملية انتقالية في تاريخ كوكبنا.

يتضمن أنصار المذهب الدارويني بأنهم لا يحبون الفجوات كثيراً. وإن فكرة الانتقاء الطبيعي باعتباره سلسلة تدريجية من خطوات صغيرة، تمثل فيها كل خطوة تحسناً

وتميزاً فوق الخطوة التي قبلها، تملي علينا أن نرى كائنات ببنية – أي حلقات من تلك السلسلة – أكثر مما نراه بالفعل. ولقد ناقش داروين نفسه هذه القضية في كتابه «أصل الأنواع»، وأورد ملاحظة بسيطة تقول إن كل الخطوات الفاصلة تكون تحديداً أقل قدرة على التأقلم من «النقط النهائية» التي نراها حولنا اليوم. وبمقتضى طبيعة الانتقاء فإن الأنواع الأسوأ تخفي من الساحة وتتقرض لتفسح المجال لمنافسيها الأفضل. من الواضح أن الطيور التي تستطيع الطيران بمهارة تكون أفضل من أقربائها الذين أجبروا على الزحف على الأرض بدلاً من الطيران بالأجنحة. وبينما الطريقة نعرف أن إصدارات برمجيات الكمبيوتر الجديدة تحل محل الإصدارات القديمة منها من السوق، فهل تجد الآن نظام التشغيل ويندوز ٢٨٦ أو ٢٨٧ في محلات لوازم الكمبيوتر؟ من المؤكد أنها اختفت، مع أنها كانت في السابق تجد إقبالاً كثيراً، وكذلك النماذج الأصلية لأجنحة الطيور كانت شائعة منذ ملايين السنين ثم اندثرت (وإن كنا نجد بعض الحيوانات التي تعيش اليوم لديها القدرة على ما يشبه الطيران الشراعي مثل السناباج الطائر والثعابين المنزقة). وكما نعلم، فقد اختفت أنظمة تشغيل الكمبيوتر القديمة دون أثر تاركة فجوة ظاهرية قبل أن تظهر أنظمة مثل ويندوز إكس بي.^١ إننا نُسلم بأن أنظمة تشغيل ويندوز قد تحسّنت بمرور الزمن، ولكن إذا بحثنا عن أدلة على هذا التطور بمجرد مقارنة أجهزة الكمبيوتر المستخدمة اليوم؛ فلن نجد الكثير منها إلا إذا عثينا على القليل المهمل من تلك الأجهزة مما يعلوه التراب في المخازن. نفس الشيء ينطبق على الكائنات الحية، فإذا أردنا أن نجد أدلة على وجود طيف من تلك الكائنات، فعلينا أن نطالع سجل الحفريات وأن نراجع الفترة التي حدثت فيها التغيرات.

لا شك أن سجل الحفريات يبدو منقطع التسلسل، ولكن تُوجَد في الحقيقة أنواع ببنية أكثر بكثير مما ت يريد أن تعرف به قلة صاحبة من المتشددين. وحينما كان داروين يؤلف كتابه، كانت تُوجَد بالفعل «حلقة مفقودة» بين القردة العليا والبشر؛ إذ لم يجد أحد وقتها أي حفريات لأنسان البشر الذين لديهم صفات ببنية. ولكن على مدى نصف القرن الأخير اكتشف علماء الحفريات نماذج منها، وكانت بصفة عامة تتتوافق تماماً مع ما قد يتوقعه المرء فيما يختص بالصفات الشخصية مثل حجم المخ وطريقة المشي. وبغضّ النظر عما كان يbedo من قبل من غياب لأنواع البينية، فإننا الآن في مواجهة حالة من الإحراج سببها كثرة هذه الأنواع. وتكمّن الصعوبة في أنه من الصعب أن نعرف أي تلك الأشكال شبه البشرية هم أسلاف البشر الحاليين، وأيها أخفقى دون سبب واضح.

ولأننا لا نعرف جميع الإجابات (حتى الآن) فما زلنا نسمع ادعاءات عالية الصوت بأن الحلة المفقودة تلك لم تُوجَد قط، وهذا افتراء على مبدأي النزاهة والحقيقة.

ولكن من وجهة نظري، بوصفني اختصاصياً في الكيمياء الحيوية، ما الحفريات إلا تسلية جميلة مشتتة. ففي ضوء عدم احتمالية العثور على حفريات وعدم القدرة على التنبؤ بأماكن وجودها – فضلاً عما تتسم به عملية البحث عن الحفريات من انحياز ضد الكائنات ذات الأجسام اللينة؛ مثل قنديل البحر، وضد النباتات والحيوانات التي تعيش على تربة جافة – فإن الحفريات يجب ألا تُعتبر سجلات غير قابلة للمناقشة عن الماضي. فإذا حدث هذا فيجب أن نشتبه في وجود غش وخداع. وإذا حدث أن أمدّنا الحفريات بسجل للماضي بين الحين والآخر، فيجب أن نعتبر هذا من قبيل الحظ السعيد نتيجة لتحالف نادر من الظروف التي أتاحت لنا التوصل إليها، وأنها ليست أكثر من تأكيد للدليل الحقيقي على حقيقة الانتقاء الطبيعي. ذلك الدليل الحقيقي نجده حولنا دائمًا – في عصر علوم الجينوم – في تسلسلات الجينات الوراثية.

إن تلك التسلسلات الجينية تحفظ في داخلها شيئاً أقرب إلى جوهر النشوء والتطور من أي حفريات. خذ أي جين تريده، وستجد تسلسله نظماً طويلاً للحروف، وهذا النظم يتضمن شفرة من تتبع الأحماض الأمينية في البروتين. يوجد في المعادن نحو مائتي حمض أميني في أي بروتين، وكل منها يشفره ثلاثة من أحرف الذي إن إيه (انظر الفصل الثاني). وكما لاحظنا بالفعل فإن جينات حقيقيات النوى غالباً ما تشمل فواصل طويلة من الذي إن إيه غير المشفر، تكون متثورة بين امتدادات مشفرة أقصر طولاً. بجمع كل ذلك معًا، فإن تسلسل أحد الجينات يصل طوله إلى آلاف من الحروف. ثم إن هناك عشرات الآلاف من الجينات، وكل منها ينتظم بطريقة مماثلة. وإنجمالاً، يتآلف الجينوم من شريط من مليارات الحروف، وتكتشف طريقة انتظام هذه الحروف الكثير عن الميراث التطوري للكائن الحي الذي يحتويه.

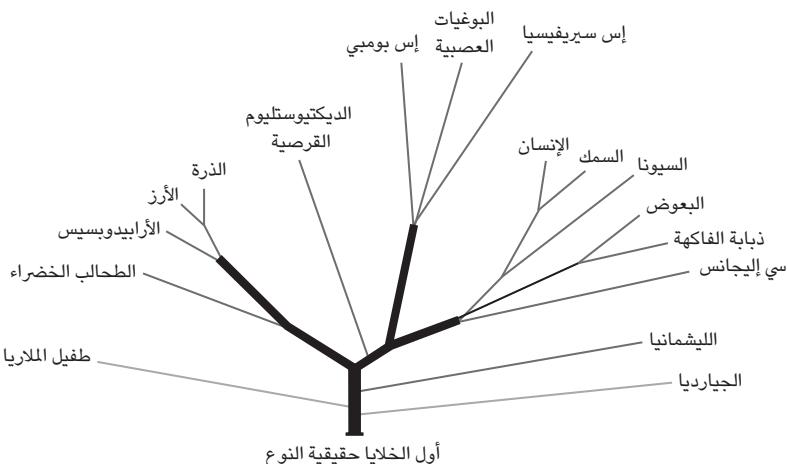
إن الجينات التي تُشفّر البروتينات المسئولة عن أداء نفس المهام في أنواع متباينة من الكائنات متماثلة، بدءاً من البكتيريا وحتى البشر. وعلى مدى الزمن التطوري، حدثت طفرات ضارة في التسلسلات الجينية، وتم التخلص منها بالانتقاء الطبيعي، وكانت نتيجة ذلك أن تم الاحتفاظ بنفس الحروف في مواضع متكافئة في التسلسل الجيني. ومن وجهة نظر عملية بحثة، فإن هذا يعني بدوره أنه يمكننا التعرّف على الجينات ذات الصلة في الأنواع المختلفة بالرغم من مرور دهور لا تُحصى. لكن كقاعدة عامة،

نسبة ضئيلة فقط من آلاف الحروف الموجودة في أي جين هي التي تُعتبر فعلياً ذات أهمية، أما بقيتها فيمكن أيضاً أن تتفاوت بحرية مع تراكم الطفرات بمرور الزمن؛ ذلك لأن التغيرات في هذه الحالة ليست ذات أهمية كبيرة؛ ومن ثم لا يتم التخلص منها بالانتقاء الطبيعي. وكلما مَرَ المزيد من الوقت زاد تراكم تلك الطفرات، وكذلك يصير التسلسلان الجينييان أكثر تمايزاً. وهكذا يكون لدى الأنواع التي تشتراك معًا في سلف مشترك حديث نسبياً، مثل الشمبانزي والبشر، تسلسلات جينية عدة مشتركة، بينما التي تشتراك في سلف مشترك آخر أكثر بعدها، مثل الترجس البري والبشر، تحافظ بقدر أقل منها. وتنطبق نفس القاعدة إلى درجة كبيرة على اللغات، التي تتبعها بمرور الزمن بين الجماعات، فتفقد باطراد أي تشابه لها مع السلف المشترك فيما عدا بعض نقاط من التشابه الخفي التي ما زالت تجمعها.

تُبني الأشجار الجينية على أساس الاختلافات في التسلسل الجيني بين الأنواع. وبالرغم من وجود درجة من العشوائية فيما يتعلق بتراكم الطفرات، فإن تأثيراتها تتواءن حين تُقسم على مدى آلاف من الحروف؛ مما يعطي احتمالية إحصائية لوجود نسبة وقراية. وباستخدام جين واحد يمكننا أن نعيّد إنشاء شجرة العائلة لجميع حقيقيات النوى بدرجة من الدقة تتجاوز أعمق أحلام صائدِي الحفريات. فإذا كان في صدرك أي شكوك، فما عليك سوى أن تكرر التحليل مستخدماً جيناً مختلفاً، وانظر ما إذا كنت ستحصل على نفس النمط. ونظرًا لأن حقيقيات النوى لديها مئات، إن لم يكن آلاف، من الجينات المشتركة، فإنه يمكن تكرار هذا الأسلوب مراراً، وتتراكب الأشجار فوق بعضها البعض. وبقليل من أدوات الكمبيوتر يمكن بناء شجرة «تواافقية»؛ مما يعطي أكثر العلاقات احتمالية بين جميع حقيقيات النوى. وهذا الأسلوب يُجنبنا الفجوات الموجودة في سجل الحفريات؛ إذ يمكننا أن نرى بالضبط ماهية علاقتنا بالنباتات والفطريات والطحالب ... إلخ (انظر الشكل ٢-٤). لم يكن داروين يعرف شيئاً عن الجينات، ولكن البنية الدقيقة للجينات، أكثر من أي شيء آخر، هي التي تخلصت من كل الفجوات البغيضة في النظرة الداروينية للعالم.

كل هذا جيد إلى الآن، ولكن هناك بعض المشكلات أيضاً، وهي في أغلبها نتيجة لأخطاء إحصائية في قياس التغيير الحادث على مدى زمن بالغ القدم. والمشكلة الأساسية هي أنه تُوجَد أربعة حروف مختلفة فقط في الدي إن إيه، وعادة ما تُبدل الطفرات الجينية (على الأقل بالنسبة للنمط الذي نحن بصدده هنا) حرفًا بأخر. فإذا تم استبدال

الخلية المعقّدة



شكل ٢-٤: شجرة الحياة التقليدية، وتُظهر تشعبًّا حقيقيات النوى من سلف مشترك؛ وهو كائنٌ وحيدٌ للخلية، كان يعيش منذ نحو ملياري عام مضت. وكلما كان الفرع أطول، كانت المسافة التطورية أكبر؛ أي كانت الجينات أكثر اختلافاً.

معظم الحروف مرة واحدة فقط؛ فلا بأس، ولكن على مدى المسافات الشاسعة من الزمن التطوري، لا بد أن يحدث استبدال لأكثر من مرة. ونظرًا لأن كل تغيير ينطوي على الحظ، فمن الصعب أن نعرف ما إذا كان كل حرف قد تم استبداله مراتٍ خمسًا أم عشر مرات. وإذا لم يكن قد حدث تغيير لأحد الحروف مطلقاً، فربما لم يكن قد تم استبداله مطلقاً، أو ربما تم استبداله مرات عدّة، مع وجود فرصة في كل مرة بنسبة ٢٥ بالمائة أن يتم استعادة الحرف الأصلي. ونظرًا لأن تلك التحليلات هي مسألة احتمالية إحصائية، فإن من المتوقع أن تأتي مرحلة لا نستطيع وقتها أن نميز بين الاحتمالات المختلفة. وقد يسوء الحظ، فيتصادف أن يكون الوقت الذي نتخبط فيه في بحر من الشك الإحصائي متواافقاً – تقريرياً – مع انبعاث الخلية حقيقة النواة نفسها. والانتقال الحاسم والمهم من طور البكتيريا إلى حقيقيات النوى غارق في بحر من الشك وعدم اليقين من الناحية الجينية. والطريقة الوحيدة للخروج من هذه المشكلة هي أن نستخدم «غربالاً» إحصائياً ذا فتحات أدقّ؛ لتنقى جيناتنا بحرص وعناء أكبر.

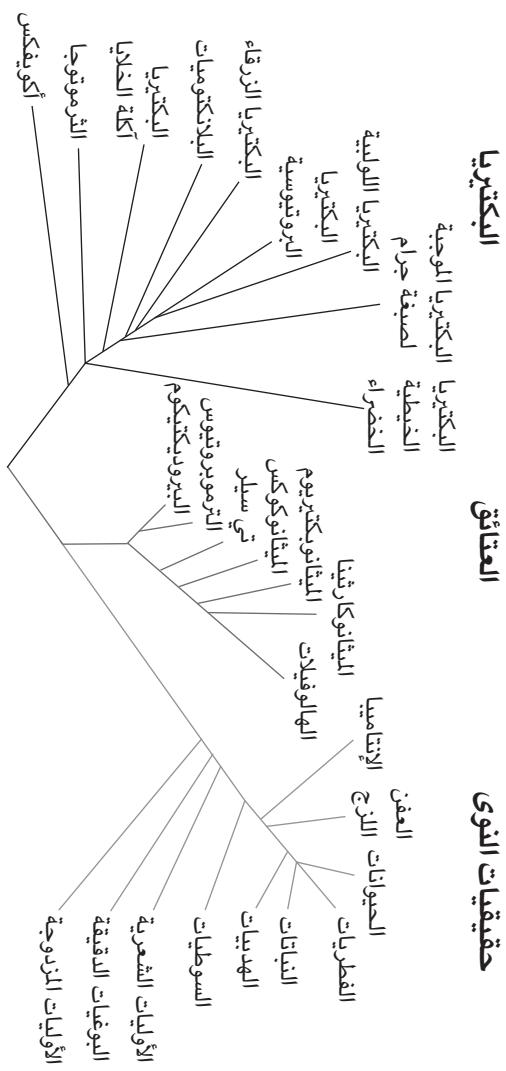
تُوجَد في الخلايا حقيقة النوى فتُنَسِّب عريضتان من الجينات: الجينات التي لها مكافئات في البكتيريا والجينات التي يبدو أنها تقتصر في وجودها على حقائقيات النوى بشكل فريد، ولم يُكتَشَف مثُلها حتى الآن في عالم البكتيريا.^٢ هذه الجينات الفريدة تُعرَف باسم «الجينات التوقيعية لحقائقيات النوى»، وميراثها هو مصدر نزاع مرير؛ إذ يقول البعض إنها تثبت أن نطاق حقائقيات النوى له وزنه واحترامه كما أن للبكتيريا وزنها واحترامها. وحقيقة أن هناك جينات حقيقة النوى كثيرة مميزة، على حد قولهم، تعني بالتأكيد أن حقائقيات النوى كانت تباعد نفسها عن البكتيريا منذ بداياتها. وإذا افترضنا أن سرعة تباعدها هذه ثابتة (إذ يعمل معدل التحول كساعة جزيئية) فإن مقياس الاختلافات من شأنه أن يجعلنا نعتقد أن حقائقيات النوى قد نشأت منذ أكثر من ٥ مليارات سنة، أي قبل أن تتكون الأرض نفسها بنصف مليار سنة على الأقل. وهذا خطأ فادح لا يُصدِّقه عقل سليم ولا غير سليم، على حد ما قد تقوله المجلة الإنجليزية الساخرة «برايفت آي» إذا سمعت بهذا القول.

يقول البعض الآخر إن الجينات التوقيعية لحقائقيات النوى لا تخربنا بشيء عن الميراث التطوري لحقائقيات النوى؛ إذ ليست لدينا طريقة نعرف بها السرعة التي يمكن أن تكون الجينات قد تطورت بها في الماضي البعيد، ولا سبب يدعونا لافتراض أنَّ تباعدُها كان له معدل منتظم كالساعة. نحن نعرف بالتأكيد أن بعض الجينات تتتطور بسرعة أكبر من جينات أخرى اليوم. كما أن الحقيقة القائلة إن الساعات الجزيئية تشير إلى ذلك الماضي العتيق المشكوك فيه توحى بأنه إما أن الحياة قد تمَّ بدُرها من الفضاء – وهو تفسير لا يُفي بالطلوب فيرأيي – وإما أن تلك الساعات خطأ. فلماذا تكون خطأ؟ لأن السرعة التي تتتطور بها الجينات تعتمد كثيراً على ظروف الحياة وأحوالها، ولا سيما نوع الكائن الذي تجد نفسها فيه. وكما قلنا منذ قليل، فإن البكتيريا كائنات متحفظة تقابو التغيير، فبقيت كما هي على مَرِّ الزمان بينما تبدو حقائقيات النوى أكثر استجابة لنوبات من التغيير الكبير، كما حدث فيما سُمِّي بالانفجار الكمبري الذي ذكرناه سابقاً. ويمكن القول إنه لا تُوجَد نوبة من التغيير أقوى وأشد تأثيراً، من وجهة النظر الجينية، من تكون الخلية حقيقة النواة ذاتها، وإذا كان الأمر كذلك، فلا بد أن نتوقع أنه قد حدَث معدل هائل من التغيير في تلك الأيام المبكرة التي تشكَّلت فيها حقائقيات النوى. فإذا كانت حقائقيات النوى قد نشأت في وقت أحدث من البكتيريا، كما يعتقد أغلب الباحثين، فإن جيناتها لا بد أن تكون مختلفة جداً؛ لأنها في وقتٍ ما، أو على مدى فترة ما، تطورت بسرعة كبيرة، وتحوَّلت وتکاثرت وتضاعفت، ثم تحوَّلت مجدداً.

وهكذا، فإن الجينات التوقيعية لحقويقيات النوى ليس لديها سوى القليل لتخبرنا به عن تطُور حقويقيات النوى. ببساطة هي تطُورت بسرعة وبقدر كبير لدرجة أن أصولها فُقدَت في غياهـب الزمن. ماذا عن المجموعة الثانية من الجينات؟ تلك التي لديها مكافئات معروفة في البكتيريا؟ هذه الجينات مفيدة أكثر من الناحية التعريفية؛ إذ يمكننا عن طريقها أن نبدأ في المقارنة بين المشابهـات منها. فالجينات التي تُوجـد في كلٍ من البكتيريا وحقويقيات النوى غالباً ما تشفـر عمليات أساسية في الخلية، سواء أكانت من الأيض الأسـاسي (والأـرض هو الطريقة التي يتم بمقتضـاها تولـيد الطـاقة ويـستخدم في بناء الـبنـات المـهمـة للـحـيـاة؛ مثلـ: الأـحمـاض الأمـينـية والـدهـونـ)، أو العمـليـات التعـرـيفـية الأساسية (أـيـ الطـرـيقـةـ التيـ تـتـمـ بـمـقـضـاـهاـ قـراءـةـ الـديـ إنـ إـيهـ وـتـرـجمـتـهـ إـلـىـ عـملـةـ نـشـطةـ منـ البرـوتـينـاتـ). وتـلكـ العـمـليـاتـ الأـسـاسـيـ عـادـةـ ماـ تـتـطـوـرـ بـبـطـءـ؛ـ نـظـارـاـ لـوـجـودـ الـكـثـيرـ غـيرـهـاـ مـاـ يـعـتمـدـ عـلـيـهـاـ.ـ إـذـاـ اـسـتـطـعـنـاـ تـغـيـرـ وـجـهـ وـاحـدـ مـنـ وـجـوهـ تـرـكـيبـ الـبرـوتـينـاتـ،ـ فـسـوـفـ تـغـيـرـ عـلـيـاتـ تـصـنـيـعـ جـمـيعـ الـبرـوتـينـاتـ وـلـيـسـ بـرـوتـينـاـ وـاحـدـاـ فـقـطـ.ـ وـبـالـمـثـلـ،ـ فـإـنـ تـغـيـرـ عـمـلـيـةـ تـولـيدـ الطـاـقةـ،ـ وـلـوـ بـقـدرـ طـفـيفـ،ـ يـعـرـضـ نـظـامـ الـخـلـيـةـ كـلـاـ لـلـخـطـرـ.ـ وـنـظـارـاـ لـأـنـ التـغـيـرـاتـ فيـ الـجـينـاتـ الأـسـاسـيـ تـكـوـنـ أـكـثـرـ قـابـلـيـةـ لـأـنـ تـرـصـدـهـاـ عـلـيـةـ الـانتـقاءـ الـطـبـيـعـيـ وـتـزـيلـهـاـ،ـ إـنـ هـذـهـ الـجـينـاتـ تـتـطـوـرـ بـبـطـءـ،ـ وـمـنـ ثـمـ يـجـبـ أـنـ تعـطـيـنـاـ تـحلـيـلاـ دـقـيـقـاـ لـلـنـشـوـهـ وـالـتـطـوـرـ.ـ إـذـاـ بـُـيـيـتـ شـجـرـةـ مـنـ تـلـكـ الـجـينـاتـ فـيمـكـنـهـاـ مـبـدـيـاـ أـنـ تـظـهـرـ الـعـلـاقـةـ بـيـنـ حـقـويـقيـاتـ النـوىـ وـالـبـكتـيرـياـ.ـ وـلـعـلـهـ تـشـيرـ إـلـىـ الـمـجـمـوعـةـ الـتـيـ نـشـأتـ مـنـهـاـ الـجـينـاتـ،ـ بـلـ وـربـماـ أـعـطـتـ تـلـيمـاـ عنـ سـبـبـ تـلـكـ النـشـأـةـ.

كان عالم الأحياء الدقيقة الأمريكي كارل وويس أول من بنى شجرةً بهذا الشكل في أواخر سبعينيات القرن العشرين. وقد اختار أحد الجينات التي تشفـر جـزـءـاـ من العمـليـاتـ التعـرـيفـيةـ بـالـخـلـيـةـ –ـ وـتـحدـيـداـ،ـ جـزـءـاـ مـنـ تـلـكـ الـآـلـاتـ الـجـزـيـئـيـةـ الـدـقـيـقـةـ الـتـيـ تـسـمـيـ الـرـيـبـوـسـومـاتـ،ـ الـتـيـ تـضـطـلـعـ بـعـلـيـةـ تـخـلـيـقـ الـبرـوتـينـاتـ.ـ وـلـأـسـبـابـ تقـنيـةـ،ـ لمـ يـسـتـخدـمـ وـوـيـسـ الـجـينـ نـفـسـهـ أـصـلـاـ،ـ وـإـنـمـاـ اـسـتـخدـمـ نـسـخـةـ تـتـكـوـنـ مـنـ الـأـرـ إـنـ إـيهـ،ـ وـتـلـكـ تـقـرـأـ مـنـ الـجـينـ،ـ ثـمـ تـدـخـلـ مـبـاشـرـةـ إـلـىـ الـرـيـبـوـسـومـ.ـ وـقـدـ عـزـلـ وـوـيـسـ ذـلـكـ الـأـرـ إـنـ إـيهـ الـرـيـبـوـسـومـيـ مـنـ أـنـوـاعـ مـخـلـفـةـ مـنـ الـبـكتـيرـياـ وـحـقـويـقيـاتـ النـوىـ،ـ وـحدـدـ تـتـابـعـاتـهاـ وـرـسـمـ شـجـرـةـ بـمـقـارـنـةـ التـتـابـعـاتـ.ـ وـكـانـتـ النـتـائـجـ صـدـمةـ؛ـ إـذـ تـحدـدـ أـفـكـارـاـ طـالـماـ تـمـسـكـ بـهاـ الـعـلـمـاءـ قـبـلـ ذـلـكـ عـنـ الـكـيـفـيـةـ الـتـيـ يـنـبـغـيـ أـنـ يـكـونـ الـعـالـمـ الـحـيـ قدـ تـشـكـلـ بـهـاـ.

وـجـدـ وـوـيـسـ أـنـ كـلـ صـنـوفـ الـحـيـاةـ عـلـىـ كـوكـبـناـ تـنـدـرـجـ ضـمـنـ ثـلـاثـ مـجـمـوعـاتـ أوـ نـطـاقـاتـ (ـانـظـرـ الشـكـلـ ٣ـ٤ـ):ـ الـمـجـمـوعـةـ الـأـوـلـيـ هـيـ الـبـكتـيرـياـ،ـ كـمـاـ هـوـ مـتـوقـعـ،ـ



شكل ٣-٢: شجرة الحياة على أساس الأثر إن إلية الريبوسوم، وتظهر منظومة كارل وويس التي تقسم الكائنات الحية إلى ثلاثة مجموعات كبيرة للحياة؛ وهي: البكتيريا، والعائمة، وتحقيقيات النوى.

والمجموعة الثانية هي حقائق النوى. ولكن هناك مجموعة ثالثة، تُعرَف الآن بالعٰنائق، لأنها جاءت من المجهول لتتّخذ موقعاً بارزاً على مسرح الحياة في العالم. ومع أن عدد أنواع العٰنائق التي عُرِفت على مدى قرن تقريباً كان قليلاً للغاية يمكن عده على الأصابع؛ فقبل ظهور شجرة وويس الجديدة كان ينظر إليها كقطاع صغير داخل مجموعة البكتيريا. ولكن بعد أن جاء وويس صارت لها أهمية تماثل أهمية حقائق النوى، بالرغم من حقيقة أنها «تبعد ظاهرياً» مثل البكتيريا؛ فهي دقيقة الحجم، وعادة ما يكون لها جدار خلوي خارجي، وليس بها نواة أو أي شيء إضافي في داخلها يستحق التعليق، ولا تتكون منها مستعمرات قد تجعل المرء يخطئ فيعتبرها من الكائنات متعددة الخلايا. وقد صدّمت المغalaة في إضفاء الأهمية عليها الكثرين، واعتبروا هذا محاولة لإعادة تركيب العالم بأسلوب وقع، يجري فيه استبعاد ذلك التنوّع المتشعب الرائع للنباتات والحيوانات والفطريات والطحالب والكائنات الأولية إلى ركن غير مهم من شجرة تسودها الخلايا حقيقة النوى. إن وويس يريدنا أن نعتقد أن كل الاختلافات المتّوّعة بين النباتات والحيوانات هي لا شيء إذا قُورِنَت بالهوة غير المرئية بين البكتيريا والعٰنائق. شعر عدد من علماء الأحياء المشهورين مثل إرنست ماير ولين مارجوليس بالغضب الشديد. وبعد ذلك بسنوات وإيماءً إلى تلك المحاولات الحادة أوردت مجلة «ساينس» العلمية هذه القضية واصفةً وويس بأنه «عالم الأحياء الدقيقة الثوري الجريح».

وبعد كل ما نشب من معارك، صار أغلب الباحثين اليوم متّ皈لين لشجرة وويس، أو على الأقل متّ皈لين للمكان البارز الذي تحتله العٰنائق. والحقيقة أن العٰنائق على المستوى الكيميائي الحيوي تختلف عن البكتيريا من جميع النواحي تقريباً؛ إذ يتكون الغشاء الخلوي فيها من دهون مختلفة، يتم تركيبها بمساعدة مجموعة مختلفة من الإنزيمات. ولا شيء مشترك بين جدرها الخلوية والجدر الخلوية البكتيرية، ويُوجَد تراكب طفيف بين مساراتها الأيضية ومسارات البكتيريا. وكما رأينا في الفصل الثاني، فإن الجينات التي تتحمّم في تضاعف الدي إن إيه في الحالتين مختلفة تماماً ولا علاقة بينهما. والآن وقد صارت تحاليل الجينومات الكاملة شيئاً مألوفاً، صرنا نعرف أن العٰنائق تشتّرك مع البكتيريا في أقل من ثلث جيناتها، والباقي يُعتبر فريداً ومميّزاً. وبصفة عامة، فقد ساعدت شجرة الـ آر إن إيه – التي لم تكن في الحسبان – لويس في التركيز على سلسلة من الاختلافات الكيميائية الحيوية الرئيسية بين البكتيريا والعٰنائق، وإن كانت طفيفة إلى درجة عدم ملاحظتها؛ مما يجعلها معاً تدعم ما أقدم عليه من جرأة في إعادة تصنيف الكائنات الحية.

كان الجانب الثاني غير المتوقع من شجرة وويس هو وجود علاقة وثيقة بين العتاائق وحقائق النوى (انظر الشكل ٣-٤)؛ فكلاهما نشأ من سلف مشترك مختلف على نحوٍ كبير عن البكتيريا. وبتعبير آخر نقول إن السلف المشترك للعواائق وحقائق النوى قد تفرّع بعيداً عن البكتيريا في مرحلة مبكرة جدًا من التطور، ثم بعد ذلك انشقَ إلى نصفين ليكونُ العتايق الحديثة وكذلك حقائق النوى. ومرة أخرى، دعمت الكيمياء الحيوية شجرة وويس، في عدة نواحٍ مهمة على الأقل. تُوجَد أشياء كثيرة مشتركة بين العتايق وحقائق النوى فيما يتعلَّق بعملياتها التعريفية الأساسية بصفة خاصة؛ فكلاهما يلُف ويغلف ما به من الدي إن إيه ببروتينات (هستونات) متشابهة بشكل ممِيز، وكلاهما يتضاعف ويقرأ جيناته بطريقة مشابهة، وكلاهما يبني بروتيناته بآلية مشتركة، وكلاهما يختلف جملةً وتفصيلاً عن البكتيريا. ومن هذه النواحي يمكن اعتبار العتايق بمنزلة حلقة مفقودة، تسد جزئياً الفجوة الكبيرة التي بين البكتيريا وحقائق النوى. وخلاصة القول، إن العتايق تضاهي البكتيريا في المظهر والسلوك، ولكنها تميَّز بشكل مذهل ببعضٍ من صفات حقائق النوى في طريقة التعامل مع الدي إن إيه والبروتينات.

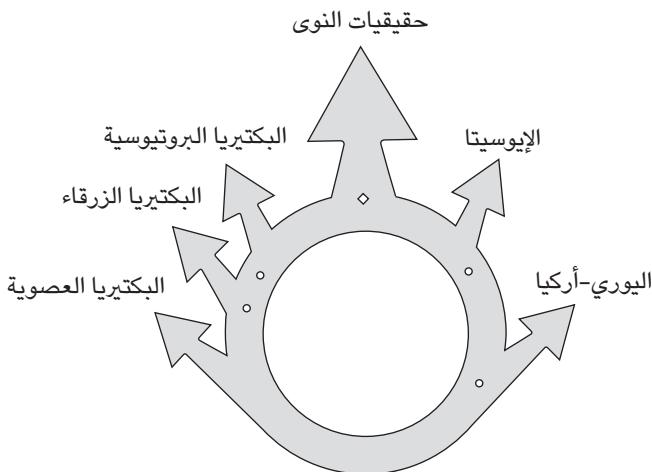
مشكلة شجرة وويس أنها بُنيَتْ من جين واحد؛ ومن ثم تفتقد القوة الإحصائية التي تُكتسب بـمطابقة الأشجار الجينية بعضها ببعض. ويمكنا فقط أن نعتمد على شجرة جينية واحدة إذا أمكننا التأكيد من أن الجين المختار يعكس الميراث الحقيقى للخلايا حقيقة النوى. وأفضل طريقة لاختبار ما إذا كان هذا هو الحال حَقّاً ومعرفة ذلك؛ هي أن نطابق جينات أخرى بطيئة التطور لمعرفة ما إذا كانت هي أيضًا تكرر نفس ذلك النمط شديد التفرع. وحينما يتم هذا، تصير الإجابات مُحْيِّرة. فإذا اختربنا الجينات المشتركة فقط بين كل المجموعات الثلاث من الكائنات الحية (أى التي تُوجَد في البكتيريا والعواائق وحقائق النوى) فيمكنا حينئذ أن نُعيَّد إنشاء أشجار قوية للبكتيريا والعواائق ولكن ليس لحقائق النوى. فحقائق النوى خليط يثير الارتباك؛ فبعض جيناتها مشتق ظاهريًّا من العتايق والبعض الآخر من البكتيريا. وكلما زاد عدد الجينات التي ندرسها — وقد جمَع أحد التحاليل الحديثة ٥٧٠٠ جين، أخذَتْ من ١٦٥ نوعاً مختلفاً في «شجرة فائقة» — زاد الاقتناع بالحقيقة القائلة إن الخلية حقيقة النواة لا تتطور بطريقة «داروينية» قياسية، ولكن بنوعٍ ما من الالتحام الجيني الهائل. ومن وجهة النظر الجينية، كانت الخلية حقيقة النواة الأولى هجينًا؛ نصفه من العتايق والنصف الآخر من البكتيريا.

طبقاً لما قاله داروين، فإن الحياة تتتطور بترابط بطيء للاختلافات بمرور الزمن، مع تشعب الذريات المختلفة بعيداً عن سلفها المشترك. النتيجة هي شجرة متفرعة، ولا ريب أن تلك الأشجار هي خير وسيلة لاستيصال تطور أغلب الكائنات التي يمكن أن نراها، وهي – بالإضافة – أغلب حقيقيات النوى الكبيرة. ولكن من الواضح بدرجة متساوية أن تلك الأشجار ليست أفضل وسيلة لإيضاح تطور الميكروبات، سواء من البكتيريا أو العتائق أو حقيقيات النوى.

ثمة نوعان من العمليات يلحقان الارتكاب بالأشجار الجينية الداروينية؛ وهما: عمليات النقل الجيني الجانبي، وعمليات الدمج الجينومي الكلي. وبالنسبة لعلماء النشوء والتطور الميكروبي الذين يحاولون إضفاء المنطق على العلاقات بين البكتيريا والعتائق، تُعتبر عمليات النقل الجيني شائعة بشكل يُثير الضيق. وهذا المصطلح الثقيل على اللسان شيئاً ما يعني ببساطة أن الجينات يتم تمريرها هنا وهناك مثل النقود، من كائن حي إلى آخر. والنتيجة هي أن الجينوم الذي يُمرر أحد أنواع البكتيريا إلى نسله قد يكون أو لا يكون مماثلاً للجينوم الذي ورثه من أبيه. فبعض الجينات مثل الآر إن إيه الريبوسومي لوويس يميل لأن يمرر لأسفل «رأسيًا» من أحد الأجيال إلى الذي يليه، بينما تحدث مقايسة لجينات أخرى هنا وهناك، وغالباً ما يكون هذا من وإلى ميكروبات لا علاقة لها بها مطلقاً.^٢ وتكون الصورة الكلية شيئاً ما بين الشجرة والشبكة، مع وجود جينات أساسية (مثل الآر إن إيه الريبوسومي لوويس) تميل إلى تكوين شجرة، وأخرى تميل إلى صنع شبكة. ليس ثمة اتفاق حول ما إذا كانت تُوجَد مجموعة أساسية من الجينات لا يمكن أن تُنْقَل بعملية نقل جيني جانبي أم أنه لا وجود لمثل تلك المجموعة. وإذا لم تكن تُوجَد، فإن مجرد فكرة تتبع التطور وصولاً إلى مجموعات معينة من حقيقيات النوى تشير أمراً لا معنى له؛ فتلك «المجموعات» تكون لها هوية تاريخية فقط إذا كانت ترث صفات أغلبها من أسلافها، وليس من مجموعات عشوائية أخرى. وعلى العكس، فإذا كانت مجموعة صغيرة فقط من الجينات هي التي لا يتم تمريرها أبداً بينما يحدث هذا لجميع الجينات الأخرى، فماذا يعني هذا بالنسبة للهوية؟ هل تظل بكتيريا إيه كولي مثلاً كما هي حتى إذا تم استبدال ٩٩ بالمائة من جيناتها عشوائياً؟^٤

وكذلك فإن عمليات الدمج الجينومي تُسبِّب صعوبات مماثلة. والمشكلة هنا هي أن الشجرة الداروينية تكون مقلوبة رأساً على عقب؛ فبدلًا من أن تكون متشعّبة تشير مجتمعة. ومن ثم يصير السؤال هو: أي الشريكين (أو الشركاء) يعكس المسار الحقيقي

للتطور؟ فإذا تتبَّعْنا فقط الجين الخاص بالآخر إن إيه الريبوسومي، فسنحصل على شجرة داروينية متفرعة بشكل تقليدي، ولكن إذا وضعنا في اعتبارنا عدداً كبيراً من الجينات، أو جينومات كثيرة كاملاً، فستحصل على حلقة تصير فيها الفروع — التي كانت في السابق متشعبة — متجمعة ومندمجة معًا (انظر الشكل ٤-٤).



شكل ٤-٤: «حلقة الحياة»: السلف المشترك الأخير لجميع الكائنات الحية يُوجَد في الأسفل، ثم ينقسم إلى البكتيريا (إلى اليسار) والعتائق (إلى اليمين)، ثم يندمج أفراد من المجموعتين مجدداً وصولاً إلى حقائقيات النوى المهجينة في الأعلى.

لا شكَّ أن الخلية حقيقة النواة هجين جيني، ولا أحد ينكر هذا. ويقتصر التساؤل، الذي يسبب انقساماً للعلماء الآن إلى معسكرات عدة، على مقدار التركيز الواجب منه لنظرية التطور الداروينية القياسية وذلك الواجب منحه لنظرية الدمج الجيني الكلي. بعبارة أخرى، ما مقدار خصائص الخلية حقيقة النواة الناشئة بالتطور التدريجي لخلية عائل، ومقدار الخصائص التي يمكن أن تنشأ «فقط بعد» عملية دمج جيني؟ وعلى مدى عقود عدة صدرت أعداد لا حصر لها لنظريات عن أصل الخلية حقيقة النواة، وتتراوح من التخييل المحض، إن لم يكن الفبركة، وحتى النظريات الكيميائية الحيوية

جيدة الصياغة، ولكن لم يثبت أي منها. وتُصنَّف كل النظريات ضمن مجموعتين كبيرتين؛ وذلك بالتركيز إما على التشعب الدارويني البطيء وإما على الدمج الجيني الكلي. وهاتان المجموعتان ما هما إلا انعكاس لصراع أقدم، في مجال علم الأحياء، بين الذين يجادلون قائلين إن التطور يتقدّم بالتغير المستمر التدريجي، والذين يُصرُّون على وجود فترات هائلة من الركود أو التوازن تقطعها أحياناً فترات قليلة من التغيير المفاجئ الجذري. وكما قال البعض متندراً: إنه التطور بالزحف في مقابل التطور بالقفزات.^٥

وفيما يخص الخلية حقيقة النواة يُسمّى العالم كريستيان دي دوف المجموعتين: «الخلية البلعومية البدائية»، و«المصادفة القدّرية». فأما فكرة الخلية البلعومية البدائية فتندرج ضمن المفهوم الدارويني، وأكثر العلماء اقتناعاً بها وتأييدها هما توم كافالير سميث ودي دوف نفسه. وتقول تلك الفكرة أساساً إن سلف الخلية حقيقة النواة تراكمت فيه تدريجياً جميع خصائص الخلية حقيقة النواة الحديثة، بما فيها وجود النواة، والتکاثر الجيني، والهيكل الخلوي، وأهمها جمیعاً؛ وهي خاصية البلعومية الخلوية – أو القدرة على ابتلاع خلايا أخرى. ويتم ذلك بأن تُغَيِّر شكلها ثم تبتلع الخلايا الأخرى وتهضمها في داخلها. والصفة الوحيدة التي تنقص هذه الخلية البلعومية البدائية، مقارنة بحقائقيات النوى الحديثة، هي الميتوكوندриا، التي تولّد الطاقة باستخدام الأكسجين. ومن المفترض أن تلك الخلية البلعومية البدائية اعتمدت على عملية التخمر للحصول على الطاقة، وهي عملية أقل كفاءة بكثير.

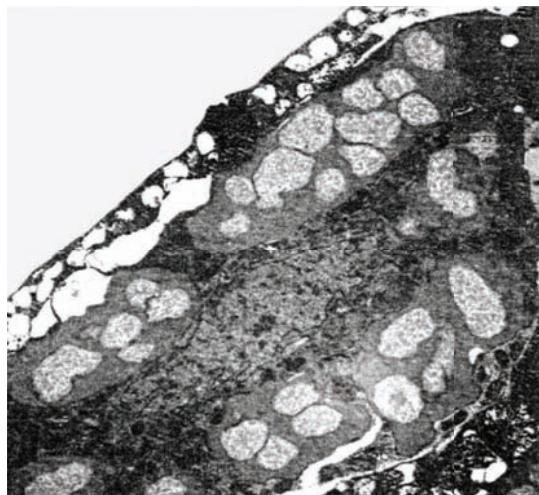
لكن بالنسبة للخلية البلعومية كان التهام أسلاف الميتوكوندريا مجرد جزء من نشاطها اليومي المفید. فماذا يمكن أن يكون أسهل من ذلك؟ في الواقع، هل من طريقة أخرى كان يمكن بمقتضاها أن تدخل خلية في خلية أخرى؟ حقاً؛ إن امتلاك الخلية البلعومية البدائية للميتوكوندريا أعطاها ميزة مهمة – فقد حققت لها ثورة في توليد الطاقة – ولكنها لم تُغَيِّر كيانها بشكل أساسی؛ فقد كانت خلية بلعومية قبل أن تبتلع الميتوكوندريا وبقيت خلية بلعومية بعدها، وإن صار لديها المزيد من الطاقة. ولكن ربما انتقل الكثير من الجينات من الميتوكوندريا الحبيسة إلى جينوم خلية العائل، وربما كان هذا الانتقال هو السبب في الطبيعة الهجينية للخلية حقيقة النواة الحديثة. والجينات المشتقة من الميتوكوندريا ذات ميراث بكثيري أصلًا. ومن ثم، فإن من يدافعون عن فكرة الخلية البلعومية البدائية لا يتشاركون في الطبيعة الهجينية لحقائقيات النوى الحديثة،

ولكنهم يفترضون نمطاً غير هجين للخلية البلعومية الأصلية، باعتبارها خلية العائل، وهو أمر منطقي إذا اعتبرناها خلية حقيقة النواة بدائية.

في بدايات عقد الثمانينيات من القرن الماضي، ألقى توم كافالير سميث الضوء على مجموعة مكونة من ألف نوع أو أكثر من حقيقيات النوى وحيدة الخلية التي تبدو بدائية وتعوزها الميتوكوندриا. وقال كافالير سميث إن قليلاً منها ربما نجا وعاش منذ الأيام المبكرة من حياة الخلية حقيقة النواة، مع اعتبارها ذرية مباشرة للخلية البلعومية البدائية التي لم تكن تمتلك ميتوكوندريا مطلقاً. إذا كان الأمر كذلك، فمن المفترض لا تظهر عليها أي علامات على التهجين الجيني، على أساس أنها نشأت وتطورت بعمليات تتفق تماماً مع النظرية الداروينية. ولكن على مدى العقود التالية لقوله ذلك العالم تبيّن أن جميع تلك الخلايا ظهرت عليها علامات التهجين الجيني؛ فجميعها على ما يبدو كانت لديها ميتوكوندريا في وقتٍ ما ثم فقدتها بعد ذلك، أو تعددت إليها إلى شيء آخر. والحقيقة إن «جميع» الخلايا حقيقة النوى المعروفة إما تمتلك ميتوكوندريااليوم، وإما امتلكتها في الماضي. وإذا كانت تُوجَد خلايا بلعومية بدائية تعوزها الميتوكوندريا، فلا بد أنها لم تُخْلِف وراءها أي ذرية مباشرة. وذلك لا يعني أنها نقول إنها لم تُوجَد مطلقاً، ولكن نقول ببساطة إن كلامنا عن وجودها ضرب من الحدس.

أما المجموعة الثانية من النظريات فتدرج تحت راية «المصادفة القدّرية». فجميعها تفترض أنه كان ثمة نوع ما من الارتباط بين اثنين من الخلايا بدائية النوى، وانتهى الأمر بتكونين مجموعة وثيقة الصلة والتشابك من الخلايا؛ أي هجين خلوي جيني. ولو لم تكن خلية العائل خلية بلعومية ولكن خلية من العتاقة لها جدار خلوي، لبرز السؤال الأكبر وهو: كيف دخلت الخلايا الأخرى داخلها؟ ويشير المناصرون الرئيسيون لهذه الفكرة، لا سيما لين مارجوليس وبيل مارتن (الذين صادفناهما بالفعل في الفصل الأول) إلى احتمالات مختلفة. فمثلاً يفترض مارجوليس وجود مفترس بكتيري شق طريقه بالقوة داخل بكتيريا أخرى (وتُوجَد أمثلة لذلك). وأما مارتن فإنه، على العكس، يفترض وجود علاقة أيضية متبادلة بين الخلايا، التي يكشف عنها بالتفصيل، بينما يتداول كل شريك المواد الخام مع الآخرين.^۱ وفي هذه الحالة، من الصعب أن ترى كيف يمكن أن تدخل خلية بدائية النواة مادياً داخل خلية أخرى دون استخدام خاصية البلعومية، ولكن مارتن يعرض مثالين لحدوث هذا بالضبط في البكتيريا (انظر الشكل ۵-۴).

وتعتبر نظريات «المصادفة القدّرية» جميعها غير داروينية بالأساس، وذلك في كونها لا تفترض حدوث تغيرات صغيرة كأسلوب للتطور، ولكن تفترض نشأة مفاجئة



شكل ٤-٥: خلايا بكتيرية تعيش داخل خلايا بكتيرية أخرى. يظهر عدد من البكتيريا من نوع متكلبات جاما (بلون رمادي فاتح منقط) تعيش داخل بكتيريا من نوع متكلبات بيتا (بلون رمادي أدقن)، وجميعها داخل خلية حقيقة النواة، وتظهر نواتها المبرقشة عند أسفل مركز الصورة.

نسبيًّا لكيان جديد تماماً. المهم أن هذا الافتراض يقول إن جميع الصفات الوراثية لحقويات النوى نشأت فقط «بعد» حدوث الاتحاد القدري. كانت الخلايا المتحدة نفسها من بدائيات النوى بالتحديد، وتعوزها خواص البلعمة الخلوية والتکاثر الجنسي وجود هيكل خلوي فعال، ونواة، وهكذا. ولم تظهر صفاتها إلا بعد ثبات الاتحاد وتناسكه. يعني هذا أنه كان هناك شيء متعلق بالاتحاد نفسه حول الخلية بدائية النواة المتحفظة أساساً، المقاومة للتغيير، إلى التقييض: خلية حقيقة النواة نشيطة دائمة التغير.

كيف يمكننا أن نُميّز بين هذين الاحتمالين؟رأينا بالفعل أن الجينات التوقيعية لحقويات النوى لا يمكنها أن تساعدنَا. ولا وسيلة أمامنا لمعرفة ما إذا كانت قد نشأت وتطورت على مدى ٤ مليارات سنة، أم مiliاري سنة، وما إذا كانت قد نشأت قبل حدوث الاندماج بالميكروكوندرريا أم بعد ذلك. وحتى الجينات المتطرورة ببطء التي لها نظائر من بدائيات النوى لا يمكن الوثيق بها؛ فالأمر يعتمد على أيها نختار منها. مثلاً، إذا

نظرنا إلى شجرة الآخر إن إيه الريبوسومية لرويس، نجد أن البيانات متسقة مع نموذج الخلية الباعمية البدائية. السبب هو أنه في شجرة رويس تعتبر حقائق النوى والعتائق مجموعتين «شقيقتين» تشاركان في سلف مشترك؛ أي إن لديهما نفس «الأم». وهذا يعني أن حقائق النوى لم تنشأ «من» العتائق، تماماً مثلما لا تلد الأخت أختها. كان السلف المشترك في هذه الحالة خلية بدائية النواة، وهذا أمر شبه مؤكد (وإلا فلا بد أن جميع العتائق قد فقدت نواها)، ولكن فيما وراء ذلك، لا يوجد سوى القليل الذي يمكننا أن نقوله يقيناً. من المحتمل أن السلسلة حقيقة النواة تطورت إلى خلية باعمية بدائية قبل أن تتبع الميتوكوندريا، ولكن لا يوجد أي دليل جيني يدعم هذا الرعم.

على العكس من هذا، إذا بنينا أشجاراً جينية أكثر تعقيداً، مستخدمنا عدداً أكبر من الجينات، فإن صلة الأخوة بين حقائق النوى والعتائق ستبدأ في التحطّم، بل سيبدو كأن العتائق بالفعل قد تولّدت عنها حقائق النوى. ليس من المؤكد من أي العتائق تحديداً تولّدت حقائق النوى، ولكن أكبر دراسة أجريت حتى الآن – التي ذكرت تواً أنها بنت شجرة عملاقة مكونة من ٥٧٠٠ جين – توصلت إلى أن خلية العائل كانت من العتائق، ولعلها أقرب ما تكون إلى الترموبلازم الحديثة. هذا الفرق حاسم تماماً؛ فإذا كانت خلية العائل من العتائق (وهو ما يعني أنها من بدائيات النوى؛ نظراً لعدم وجود نواة، ولا هيكل خلوي فعال، ولا صفات التكاثر الجنسي ولا البلعمة الخلوية ... إلخ)، فمن الواضح أنها لم تكن خلية باعمية بدائية. وإذا كان الأمر كذلك، فلا بد أن تكون نظرية «المصادفة القدّرية» صحيحة؛ بمعنى أن الخلية حقيقة النواة قد انبثقت من اتحاد بين خلايا بدائية النوى. لم يكن ثمة خلية باعمية بدائية مطلقاً، وبهذا ينقلب غياب الدليل على وجودها إلى دليل على غيابها.

لكن ليس من المرجح أن تكون هذه الإجابة النهائية؛ إذ يعتمد الكثير على أي الجينات أو الأنواع بالضبط يتم انتقاءها، وما هي ضوابط الانتقاء. ففي كل مرة تتغير هذه الأشياء، وتعيد الشجرة تشكيل نفسها إلى نمط ذي تفرّع مختلف، يحدث ارتباك وخلط بين الأمور بسبب افتراضات إحصائية، أو عمليات نقل جانبي بين بدائيات النوى، أو غير ذلك من المتغيرات غير المعروفة. وليس معروفاً ما إذا كان الموقف يمكن حلّه بالمزيد من البيانات الجينية أم أنه ببساطة لا يمكن الإجابة عنه بعلم الجينات؛ وهذا هو المرادف البيولوجي لمبدأ عدم اليقين الذي وفقه كلما افترضنا من شيء ما ازدادت الأشياء غموضاً. ولكن إذا لم يكن بالإمكان حل هذه المسألة بالبيانات الجينية، فهل كتب علينا أن

نبقي واقفين مُلطّخين من كرات الولح التي تتقاذفها حولنا فرق متصارعة من العلماء الذين امتلأت نفوسهم بالغلو؟ لا بد أن هناك طريقة أخرى.

إن جميع الخلايا حقيقة النوى المعروفة إما تحتوي على الميتوكوندريا الآن، وإما كانت لديها في وقتٍ ما في الماضي. ومن المثير للاهتمام أن كل الميتوكوندريا التي ما زالت تؤدي وظيفتها المحددة — بمعنى أنها تُولد الطاقة مستخدمةً الأكسجين — تحافظ في داخلها بعدد من الجينات من بقايا حياتها السابقة كبكتيريا حرة المعيشة. وفي اعتقادي أن هذا الجينوم الميتوكوندري الدقيق يخفي السر العميق للخلية حقيقة النواة.

لقد استمرتْ حقيقة النوى في التسُّبُّ على مدى جزء كبير من المليارِ عام الماضية، وخلال هذا الزمن كانت تَفقد جيناتها الميتوكوندриة. وقد فُقدتْ جميعها ما بين ٩٦ إلى ٩٩,٩ بالمائة من جيناتها الميتوكوندриة، وربما نُقلَّتْ أغلبها إلى نواة الخلية، ولكن لم يحدث أن فقدتها جميعاً أي خلية دون أن تَفقد — في نفس الوقت — القدرة على استخدام الأكسجين. هذا لا يبدو إذن أمراً عشوائياً، بل إن عملية نُقل جميع الجينات الميتوكوندриة إلى النواة عملية منطقية ومُرتَبة. فلماذا يتم الاحتفاظ بمئات من القواعد الجينية في كل خلية، في حين أن ٩٩,٩ بالمائة من الجينات يتم اختزانها كنسخة واحدة، مع وجود نسخة احتياطية، داخل النواة؟ وإن الاحتفاظ بأي جينات على الإطلاق في الميتوكوندريا يعني أن الجهاز — بكامله — المخصص لقراءتها وترجمتها إلى بروتينات يجب أيضاً أن يتم الاحتفاظ به في كل ميتوكوندريون بلا استثناء. لا بد أن مثل هذا التبذير من شأنه أن يزعج المحاسبين الماليين، والانتقاء الطبيعي هو أكثر المحاسبين تشدداً، أو هكذا ينبغي أن يكون.

وهنالك المزيد؛ فالميتوكوندريا تُعدُّ مكاناً غير مناسب لاختزان الجينات. غالباً ما يُطلق عليها — باختصار — اسم محطات توليد الطاقة بالخلية، وهذا التشبيه ملائم للغاية. فأغشية الميتوكوندريا تُولد شحنة كهربية، وهذه تعمل على نطاق أجزاء قليلة من المليون من المليمتر مع فرق جهد يساوي شحنة صاعقة من البرق، وهو أقوى ألف مرة من التيار الكهربائي المنزلي. واحتزان الجينات هنا لا يشبه تخزين نفائس كتب المكتبة البريطانية في محطة دائمة الحركة لتوليد الطاقة النووية. والتهديد هنا ليس نظرياً وحسب؛ فالجينات الميتوكوندриة تتطاول بسرعة تفوق بكثير جينات النواة. فمثلاً، في الخميرة، وهذا مثال تجاري بي سهل، تتطاول هذه الجينات بسرعة تزيد بحوالى عشرة

آلاف مرة. ولكن مع ذلك، من المهم أن نعرف أنَّ الجينومين الاثنين (أي جينومي النواة والميتوكوندريا) يعملان معاً بشكل سليم. ويتم توليد القوة عالية الفولتية التي تشحذ الخلايا حقيقة النوى من قبل بروتينات يتم تشفيرها بدورها من قبل كلاً الجينومين. فإذا أخفقا في العمل بشكل جيد معاً تكون العاقبة هي الموت، أي موت الخلية، وكذلك موت الكائن نفسه. ومن ثم، يجب أن يعمل الجينومان معاً لتوليد الطاقة. فـأي إخفاق في التعاون بينهما ينتهي بالموت، ولكن الجينات الميتوكوندورية تتطاير بسرعة أسرع عشرة آلاف مرة من جينات النواة؛ مما يجعل ذلك التعاون الحكم قريباً من المستحيل. هذا بالتأكيد أكثر صفة مميزة للخلايا حقيقة النوى. ولو ألغفنا هذا الأمر، معتبرين إياه مجرد نادرة من النواهد، وهو ما تتجه إليه معظم الكتب الدراسية، فهذا يشبه إغفال قرينة مهمة من القرائن. ولو كان من المفيد أن يتم التخلص من جميع الجينات الميتوكوندورية، لكان الانتقاء الطبيعي قد فعل هذا بالتأكيد قبل الآن بزمان، على الأقل بالنسبة لنوع واحد من الأنواع. لا بد إذن أن تكون تلك الجينات موجودة لحكمة ما.

لماذا يبقى الجينوم الميتوكوندوري محفوظاً إذن؟ يقول العالم جون ألين الذي ناقشنا أفكاره في الفصل الثالث إن الإجابة ببساطة هي: للتحكم في التنفس. ولا يوجد سبب آخر ذو أهمية نسبية كبيرة. والتنفس يعني أشياء مختلفة لأناس مختلفين؛ فمعظم الناس هو يعني مجرد التنفس الذي نعرفه، ولكن بالنسبة لعلماء الكيمياء الحيوية فالتنفس يقصد به تفاصيل عملية التنفس على المستوى الخلوي، وهي سلسلة من خطوات دقيقة يتم فيها التفاعل بين الغذاء والأكسجين لتوليد طاقة فولتية داخلية لها قوة البرق. ولا يمكنني التفكير في ضغط انتقائي أكثر مباشرة وفورية من التنفس، ونفس الشيء ينطبق على المستوى الجزيئي داخل الخلايا. فالسيانيد، على سبيل المثال، يُعطِّل التنفس الخلوي ويقضي على وظائف الخلية وأنشطتها بأسرع مما يفعله كيس من البلاستيك يربط على الرأس لتُكتم به الأنفاس. وحتى حين يعمل التنفس على نحوٍ طبيعيٍ، فلا بد أن «ينفَّع» بدقة بصفة مستمرة؛ مثل ضبط النغمة الموسيقية، وذلك بضبط الطاقة حسب الحاجة. وتقضي وجهاً نظر ألين المهمة بأن أقلمة الطاقة حسب الحاجة بهذه الطريقة تتطلب مرجعية ثابتة، وهذا يمكن فقط تحقيقه بالتحكم «الموضوعي» في النشاط الجيني. وتماماً مثلما يجب ألا يجري التحكم في التنظيم التكتيكي لأحد الجيوش على الأرض من قبل حكومة مركبة بعيدة، فإن النواة ليست في موقع مناسب لكي تضطلع بعملية

التنفس، بالإضافة أو النقص، لملئات عديدة من وحدات الميتوكوندريا داخل الخلية. ولذا فإن الميتوكوندريا تحفظ بجينوم صغير لضبط التنفس، وملاعمة الطاقة للحاجة.

لم تثبت بعد صحة أفكار ألن، وإن كانت الأدلة تتزايد دعماً لها. ولكن إذا قلنا إنه على صواب، فإن التبعات الضمنية تساعد في تفسير تطور الخلية حقيقية النواة.

إإن كان التحكم بالتنفس في الخلايا حقيقة النوى «يتطلب» عدداً من القواعد الجينية، فإن من المنطقي أن الخلية الكبيرة المعقّدة لا يمكنها أن تتحكم في التنفس بدونها.

لتذكر الآن في الضغوط الانتقائية التي تواجه البكتيريا والعتائق؛ فكلاهما ينتج ثلاثة فوسفات الأدينوسين بنفس الطريقة مثل الميتوكوندريا، وذلك بتوليد شحنة كهربائية على أحد الأغشية بها. ولكن بدائيات النوى تستخدم غشاءها الخلوي الخارجي لهذا الغرض، وهذا يسبب لها مشكلة فيما يتعلق بالحجم. فتلك الكائنات تتنفس من خلال أغشيتها الخلوية. ولكي تفهم هذه المشكلة؛ فكّر فقط في عملية تقوير البطاطس مثلاً.

إإنما احتجت أن تقوير طنّاً من البطاطس يجب أن تختار أكبر وحدات منها فقط، وب بهذه الطريقة تحصل على أكبر كمية ممكنة من البطاطس مقارنة بالقشر. وعلى العكس من هذا فإنك تحصل على قدر أكبر من القشر إنما استخدمت البطاطس الصغيرة. والبكتيريا في هذا المفهوم مثل البطاطس، وهي تتنفس من خلال أغشيتها الخلوية؛ فكلما زادت أحجام البكتيريا، قلّت قدرتها على التنفس.⁷

نظرياً، تستطيع البكتيريا أن تتجنب مصاعبها التنفسية بأن تكون لها أغشية داخلية مولدة للطاقة. وهذا يحدث عملياً لدرجة ما، كما أوردنا سابقاً؛ فبعض البكتيريا لديها أغشية خلوية داخلية مما يعطيها مظهراً من مظاهر حقيقيات النواة. ولكنها لا تذهب إلى أبعد من هذا كثيراً؛ فال الخلية حقيقة النواة العادي لديها أغشية داخلية مكرّسة لتوليد الطاقة أكثر بمئات الأضعاف حتى من أكثر أفراد البكتيريا نشاطاً. وكما هو الحال في صفات أخرى كثيرة، بدأت البكتيريا في صعود سلم التطور، ثم توّقفت بعد فترة. فلماذا؟ إنني أشتّبه في أن السبب هو عدم قدرتها على التحكم في التنفس من خلال مساحة أوسع تشغّلها الأغشية الداخلية. فلكي تفعل هذا سيلزمها أن تجمع وتدخل في داخلها مجموعات عديدة من الجينات، كما في الميتوكوندريا، وهذا ليس من السهل تحقيقه كلّه. فكل الضغوط الانتقائية الملقاة على عاتق البكتيريا – بأن تتضاعف سريعاً؛ بحيث لا يكون لديها سوى أقل جينوم ممكن – تعمل ضد البكتيريا الكبيرة المعقّدة.

ولكن ذلك بالضبط هو ما تفرضه البلعمة الخلوية. فالخلايا البلعمية يلزمها أن تكون كبيرة الحجم لدرجة تكفي لأن تبتلع خلايا أخرى. ولكي تنجز عملية البلعمة؛

فإنها تحتاج إلى الكثير من الطاقة حتى تتحرك، وتغير شكلها، وتلتئم فريستها. ومشكلة البكتيريا أنها كلما كبرت في الحجم، صارت أقل نشاطاً وأقل قدرة على استبقاء الطاقة لإنفاقها في التحرك وتغيير الشكل. ويبدو لي أن البكتيريا الصغيرة القادرة على التضاعف السريع يمكنها أن تسود على البكتيريا الأكبر حجماً والأقل نشاطاً في كل مرة بشكل ملحوظ، وذلك قبل أن تتمكن تلك الخلية الأكبر من أن تطور جميع الخصائص متعددة الجوانب للخلية البدائية.

إلا أن نظرية «المصادفة القدرية» هي شيء مختلف؛ فيها يعيش اثنان من الخلايا بدائية النوى معًا في تناغم أرضي متبادل، وكلٌّ منها تُقدم للأخرى خدمةً ما. وتعتبر العلاقات التكافلية من هذا النوع شائعة بين بدائيات النوى، لدرجة أنها تكون القاعدة وليس الاستثناء. أما ما يُعتبر أمراً شديداً الندرة، ولكن تم تسجيل حدوثه في بدائيات النوى، فهو الابتلاء الحقيقي من أحد الشركين للأخر. فإذا حدث هذا بالفعل؛ فإن الخلية بكمالها، بما فيها البكتيريا التي داخلها، تتطور حينئذٍ ككيان واحد. وبينما يستمر كلٌّ منها في تقديم الخدمة للأخر، يحدث تآكل تدريجي للصفات الزائدة عن الحاجة، إلى أن يترك للبكتيريا التي تم إدخالها مهمة بسيطة وحسب تؤديها ل الخلية العائل، إلا وهي توليد الطاقة؛ وذلك في حالة البكتيريا التي تحولت إلى ميتوكوندريا.

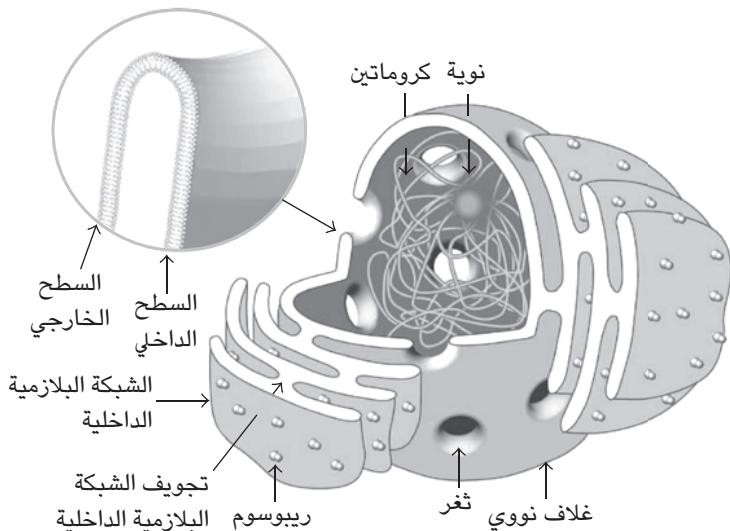
وتتمثل الميزة الهائلة التي قدمتها الميتوكوندريا، بل والسبب الذي مكّن الميتوكوندريا من التطور من الأساس، في أنها أتاحت منظومة جاهزة من الأنشطة الداخلية النشطة، إضافة إلى قواعد من الجينات المطلوبة للتحكم في التنفس موضعياً. وما إن امتلكت خلية العائل الميتوكوندريا حتى استطاعت حينئذٍ فقط أن ترفع درجتها لتصبح خلية بعلمية كبيرة نشطة دون أن تتکبد خسارة فادحة في الطاقة. وإذا كان هذا كله صحيحاً، فإن الخلية البدائية التي تعوزها الميتوكوندريا لم يكن لها وجود قط؛ لأن خاصية البلعمة الخلوية لا تكون ممكنة بغير الميتوكوندريا.^٨ وقد تم تشكيل الخلية حقيقة النواة من اتحاد بين خليتين من بدائيات النوى. وقد أوقفَ هذا الاتحاد ضغوط الطاقة التي كانت تُجبر البكتيريا على أن تبقى كما هي باستمرار. وب مجرد إيقاف تلك الضغوط، انفتح طريق جديد للحياة – وهو البلعمة الخلوية – وصار متاحاً لأول مرة. ولقد نشأت الخلية حقيقة النواة دفعة واحدة فقط؛ لأن اتحاد اثنين من بدائيات النوى – بحيث تدخل خلية في الأخرى – هو حدث نادر حقاً؛ مصادفة قدرية بالفعل. فكل ما نَعْتَزُ به في هذه الحياة وكل عجائب الدنيا تنبع من حدث واحد كان تجسيداً مقصوداً للمصادفة وللحاجة.

في بدايات هذا الفصل أوردتُّ أَنَّا لَن نُسْتَطِعْ أَنْ نَفْهُمْ أَوْ نُفْسِرْ أَصْلَ الْخَلِيَّةِ حَقِيقِيَّةَ النَّوَافِذِ إِلَّا حِينَمَا نَدْرَكُ أَهْمَيَّةَ رَمْزِهَا الْمَمِيزِ؛ وَهُوَ النَّوَافِذُ ذَاتُهَا. وَمَنْ ثُمَّ يَجِبُ الْآنَ أَنْ نُعْرِضَ لِلنَّوَافِذِ لَكِي نَخْتَمُ هَذَا الْفَصْلِ.

شأنها شأن الخلية حقيقة النواة نفسها، كان أصل النواة ولا يزال موضوعاً لَقَدْرٍ هائلٍ مِنَ الْأَفْكَارِ وَالنَّظَرِيَّاتِ، بَدْءًا مِنْ أَنَّهَا كَانَتْ فَقَاقِعَ بِسِيَطَةٍ نَشَائِتْ عَلَى الغشاء الخلوي، إِلَى أَنَّهَا نَتَاجٌ لِابْتِلاعِ خَلِيَّاً بِكَاملِهَا. وَأَغْلَبُ هَذِهِ الْأَفْكَارِ يَسْقُطُ عِنْدَ أَوْلَى عَقَبَةٍ. فَمَثَلًا، لَا يَدِرِكُ الْكَثِيرُونَ الْبَنِيَّةَ الْحَقِيقِيَّةَ الدَّقِيقَةَ لِلْغَشَاءِ النَّوَافِذِ؛ فَهُوَ لَيْسَ غَشَاءً مُسْتَمِرًا، مُثَلَّ الْغَشَاءِ الْخَلْوِيِّ الْخَارِجيِّ لِأَيِّ خَلِيَّةٍ، وَلَكِنْ سَلْسَلَةً مِنَ الْحَوَيْصَلَاتِ الْمَسْطَحَةَ الْمُثَقَّبَةَ بِتَغُورٍ كَبِيرٍ نَسْبِيًّا، وَهَذِهِ تَتَصَلُّ بِأَغْشِيَّةِ دَاخِلِيَّةٍ أُخْرَى دَاخِلِ الْخَلِيَّةِ (انْظُرِ الشَّكْلَ ٦-٤). وَلَا تُقَدِّمُ الافتراضاتُ الْأُخْرَى أَيِّ أَسْسٍ تُفَسِّرُ السَّبَبَ فِي أَنَّ الْخَلِيَّةَ تَكُونَ أَفْضَلُ إِنْذَا كَانَتْ فِيهَا نَوَافِذُ مَا لَوْ كَانَتْ بِغَيْرِهَا. وَالْإِجَابَةُ التَّقْلِيدِيَّةُ الَّتِي تَقُولُ إِنَّ غَشَاءَ النَّوَافِذِ يَحْمِيُ الْجِينَاتِ شُتُّرِيَّ تَسْأَلًا آخَرَ هُوَ: ضَدَّ مَاذَا؟ السَّرْقَةُ أَمُّ الْاعْتِدَاءِ الْخَارِجيِّ؟ وَلَكِنْ إِنْذَا كَانَ ثَمَّةُ أَيِّ مَيْزَاتٍ اِنتِقَائِيَّةٍ عَامَّةٍ تُحَبَّذُ وَجُودُ نَوَافِذٍ، مُثَلُ التَّلْفِ الْجُزِيَّيِّ، فَلِمَذَا لَا يُوجَدُ أَيُّ نَوْعٍ مِنَ الْبَكْتِيرِيَّا لِدِيهِ نَوَافِذٌ؟ عَلَمًا بِأَنَّ بَعْضَهَا، كَمَا عَرَفْنَا مِنْ قَبْلِهِ، لِدِيهِ أَغْشِيَّةِ دَاخِلِيَّةٍ تَفِي بِتَلْكِ الْحَاجَةِ.

وَفِي مَوَاجِهَةِ نَدْرَةِ الْأَدَلَّةِ الْقَوْيِّةِ، أُوْدُّ أَنْ أَعْرِضَ فَرَضِيَّةَ تَخْيِيلِيَّةَ رَائِعَةَ أُخْرَى، قَدَّمَهَا الثَّنَائِيُّ الْبَارِعُ الَّذِي صَادَفَنَا فِي الْفَصْلِ الثَّانِي؛ بِيلُ مَارْتِنُ وَبِيُوجِينُ كُونِينُ. وَلَفَكْرَتُهُمَا مَيْزَيَّتَانِ عَظِيمَيْتَانِ؛ فَهِيَ تُفَسِّرُ السَّبَبَ فِي أَنَّ النَّوَافِذَ يَجِبُ أَنْ تَنْشَأُ فِي خَلِيَّةِ هَجِينَةٍ بِصَفَةٍ خَاصَّةٍ، وَبِالذَّاتِ الَّتِي يَكُونُ نَصْفُهَا عَتَائِقٍ وَنَصْفُهَا بَكْتِيرِيَّا (وَهُوَ، كَمَا عَرَفْنَا سَابِقًا، الْأَصْلُ الْأَكْثَرُ مَصَدَّاقِيَّةً لِلْخَلِيَّةِ حَقِيقِيَّةَ النَّوَافِذِ ذَاتُهَا). وَهِيَ تُفَسِّرُ السَّبَبَ فِي أَنَّ نَوَى جَمِيعِ الْخَلِيَّا حَقِيقِيَّةَ النَّوَى، فِي الْوَاقِعِ، يَجِبُ أَنْ تَمْتَلِئَ بِالْبَكْتِيرِيَّا إِنْ إِيَّهُ حَتَّى لَوْ تَكُونَ تَشْفَرَ لِأَيِّ شَيْءٍ، وَهِيَ فِي ذَلِكَ تَخْتَلِفُ تَمَامًا عَنِ الْبَكْتِيرِيَّا. وَحَتَّى لَوْ كَانَتِ الْفَكْرَةُ خَطَأً، فَأَعْتَقَدُ أَنَّهَا مِنْ «نُوْعِيَّة» الْأَفْكَارِ الَّتِي يَبْنِيَّ غَيْرُهَا، وَهِيَ تَعْرُضُ مَشَكْلَةَ حَقِيقِيَّةَ تَوَاجِهُ حَقِيقِيَّاتِ النَّوَى الْبَكْرَةِ الَّتِي يَجِبُ أَنْ تَحْلَهَا بِشَكْلٍ مَا. وَهَذِهِ هِيَ نُوْعِيَّةُ الْأَفْكَارِ الَّتِي تُضِيفُ السُّحْرَ إِلَى الْعِلْمِ، وَأَتَمْنَى أَنْ تَكُونَ صَحِيقَةً.

تَدَبَّرَّ مَارْتِنُ وَكُونِينُ تَرْكِيَّةَ «الْجِينَاتِ الْمَقْطَعَةِ» الْعَجِيبَةِ الَّتِي تَتَسَمُّ بِهَا الْجِينَاتِ حَقِيقِيَّةَ النَّوَى، وَهُوَ الْاِكْتِشَافُ الَّذِي جَاءَ بِوَصْفِهِ وَاحِدًا مِنْ أَكْبَرِ مَفَاجَاتِ عِلْمِ الْأَحْيَاءِ فِي الْقَرْنِ الْعَشِرِيِّ. فَبَدَلًا مِنْ أَنْ تَرْتَبَ الْجِينَاتِ حَقِيقِيَّةَ النَّوَى فِي خَطُوطٍ بِشَكْلٍ مَنْتَظَمٍ



شكل ٦-٤: البنية الدقيقة للغشاء النووي، الذي يتَّصل بأغشية أخرى بالخلية (وبالذات الشبكة البلازمية الداخلية). يتَّكون الغشاء النووي من هذه الْحُوَيَّصلات حين تلتَّحم معاً، ولا يُوجَد أي تشابه في التَّركيب بين هذا الغشاء والغشاء الخارجي لأي خلية؛ بما يؤكِّد أنَّ النُّواة لم تكن مشتقة من خلية تعيش داخل أخرى.

مثَّل الجينات البكتيرية، فإنَّها تنقسم إلى فئات وقطعٍ تفَصل بينها تسلسلاً غير مشفرة. وهذه التسلسلاط غير المشفرة تُسمَّى «المناطق داخل الجين» أو «الإنترونات»، ولم يدخل تاريخها التطوري الذي طالما حَيَّرَ العلماء إلى دائرة الضوء إلا مؤخراً.

بالرغم من وجود فروق كثيرة بين الإنترونات، فإننا الآن نعرف بعض التفاصيل المشتركة التي تكشف عن أنَّ سلفها المشترك هو نوع من «الجينات القافزة»، وهذا النوع قادر على أن يُصيِّب جينوماً ما بالعدوى بأن يضاعف نفسه بلا مبالغة كأنَّه جين أنانبي مجنون لا يهتم إلا بنفسه، وحياته ببساطة إلى حدٍ ما؛ فحينما تتم قراءة الجين القافز على أنه من الآر إن إيه، وعادة ما يكون هذا جزءاً من تسلسل أطول، فإنه ينطوي تلقائياً إلى شكل يشبه مقصًّا من الآر إن إيه ويُفصل نفسه عن الشريط الأطول، ثم يعمِّل كفَّال ليوَّلد نفسه بشكل متكرر على صورة دي إن إيه. ويتم إدخال الذي إن إيه الجديد إلى

الجينوم، وذلك بطريقة شبه عشوائية؛ لت تكون نسخ مطابقة للجين الأذاني الأصلي. وثمة أنماط كثيرة من الجين القافز، وهي أنواع عجيبة أساسها واحد. وقد تم التأكيد على نجاحها التطوري المذهل من جانب مشروع الجينوم البشري وغيره من الجهود الهادفة لتحديد التسلسل الجيني. إن حوالي نصف الجينوم البشري يتكون من جينات قافزة أو بقایاها البالية (الطافرة). وفي المتوسط، تحوّي جميع الجينات البشرية في داخلها ثلاثة جينات قافزة أذانية؛ ميّة أو حيّة.

بطريقة ما، يكون الجين القافز «الميت» — وهو الذي فسد وذو لدرجة أنه لم يُعد قادرًا على «القفز» — أسوأ من الجين القافز «الحي». فعلى الأقل، الجين القافز «الحي» يفصل نفسه عن الآخر إن إيه دون أن يُسبِّب ضررًا حقيقىًّا، أما الجين الميت فإنه يبقى مكانه كقطاع طريق. فإذا لم يستطع أن يفصل نفسه، تكون خلية العائل مضطربة للتعامل معه، وإلا فقد يتحول إلى بروتين ويسبِّب أضرارًا للخلية. ولقد ابتكرت الخلايا حقيقة النوى طرificeً لفصل أي آخر إن إيه غير مطلوب في فترة مبكرة من تطورها. وعلى نحوٍ مثير للاهتمام، تتلاقَّف هذه الخلايا ببساطة مقص الآخر إن إيه من الجين القافز، فتُجبرُ وتشحنه بالبروتينات. وكل حقيقة النوى الحية — من النباتات إلى الفطريات إلى الحيوانات — تستخدم هذا المقص العتيق لفصل الآخر إن إيه غير المشفر. وبهذا تكون في مواجهة موقف غير عادي، تكون فيه جينومات الخلايا حقيقة النوى مُرصعة بالإنترنونات المشتقة من جينات قافزة أذانية. وهذه تُفصِّل عن الآخر إن إيه في كل مرة يتم فيها التعامل مع أحد الجينات باستخدام مقص الآخر إن إيه مسروق من الجينات القافزة ذاتها. وتكمِّن المشكلة — والسبب في علاقة تلك المشكلة بموضوع أصل النواة — في أن ذلك المقص العتيق بطيء القص شيئاً ما.

على العموم، لا تتحمّل بدائيات النوى وجود الجينات القافزة ولا الإنترنونات؛ ففي بدائيات النوى لا يوجد فصل بين الجينات نفسها وبين الجهاز المخصص لبناء بروتينات جديدة. ففي غياب النواة، تختلط الآلات البارية للبروتينات، أي الريبيوسومات، بمادة الذي إن إيه ويتم التعامل مع الجينات ضمن قالب آخر إن إيه، وذلك يُترجم في آنٍ واحدٍ إلى بروتين. المشكلة أن عملية بناء البروتينات على يد الريبيوسومات سريعة جدًا، بينما يكون مقص الآخر إن إيه الذي يتخلص من الإنترنونات بطيئًا. ففي الوقت الذي يكون فيه المقص قد فصل أحد الإنترنونات، تكون البكتيريا قد بنتَ عدة نسخ معيبة وظيفيًّا من البروتين المعتمد على الإنترنون. ليس معروفاً كيف تخلص البكتيريا نفسها من الجينات

القاڤزة والإنترونات (ويمكن معرفة ذلك بتنقية عملية الانتقاء ضمن مجموعات كبيرة من البكتيريا)، ولكن الواقع يقول إنها تستطيع ذلك، وأغلب البكتيريا تمكّنت من طرد جميع الجينات القاڤزة والإنترونات تقريباً، وإن كان بعضها، بما فيها أسلاف الميتوكوندريا، لا يزال لديها بعضها. وحتى تلك البكتيريا يكون لديها فقط حوالي ثلاثين نسخة بكل جينوم، مقارنة بكميات هائلة تصل إلى آلاف أو ملايين النسخ في جينوم الخلية حقيقة النواة!

يبدو من الظاهر أن السلف الهجين لحققيات النوى قد استسلم لغزو من الجينات القاڤزة الآتية من الميتوكوندريا الخاصة به. ونحن نعرف هذا؛ نظراً لأن الجينات القاڤزة في حققيات النوى تشابه في بنيتها تلك القليلة التي في البكتيريا. وفضلاً عن هذا، فإن أغلب الإنtronات في حققيات النوى الحية تُوجَد في نفس المكان تماماً ضمن جينات حققيات النوى من الأمبيا إلى النبات الشوكي، ومن الذبابة إلى الفطر إلى الإنسان. من المفترض أنه حدث عدوٍ شاملة مبكرة من الجينات القاڤزة، التي نسخت نفسها في أنحاء الجينوم، ثم «ماتت» في نهاية أمرها وفسدت مُتحوّلة إلى إنtronات ثابتة داخل سلف مشترك لجميع حققيات النوى. ولكن لماذا تندفع الجينات القاڤزة كالمسورة داخل تلك الخلايا حقيقة النوى المبكرة؟ أحد الأسباب هو أن الجينات القاڤزة البكتيرية كانت تلهو وتتقافز على كروموسوم خلية العائل، من العتائق، الذي من الواضح أن لم تكن لديه فكرة عن كيفية التعامل معها. وسبب آخر هو أن المجموعات الأولى من الخلايا الهجينة لا بد أنها كانت صغيرة، ومن ثم لم يعمل الانتقاء التطهيري الذي يتخلص من العيوب الموجودة في أي مجموعات كبيرة من البكتيريا.

وأيًّا كان السبب، فإن حققيات النوى المبكرة واجهت مشكلة عويصة؛ إذ كانت موبوءة بالإنترونات، وكثير من تلك بدوره كان قد اُدخل ضمن بروتينات؛ وذلك لأن مقص الآر إن إيه لم يستطع أن يفصلها بسرعة كافية. صحيح أن ذلك الموقف لا يقتل الخلايا بالضرورة – إذ إن البروتينات التي اختلت وظيفياً تتحلل وفي نهاية الأمر ينهي «المقص» البطيء مهمته حتى يتم إنتاج بروتينات صالحة وظيفياً – إلا أنه تضمن قدرًا كبيراً من الفوضى بالتأكيد. ولكن كان يُوجَد حلًّا واضح أمام تلك الخلايا المشوasha. فكما يقول مارتن وكونين، هناك وسيلة بسيطة لاستعادة النظام، وإنتاج بروتينات صالحة وظيفياً طوال الوقت، وهي أن تتأكد من أن «المقص» يحصل على وقتٍ كافٍ لينهي مهمته في القص قبل أن تتتابع الريبوسومات مُهمتها في بناء البروتينات. بتعبير آخر، أن

نتأكد من أنّ الأَرِ إنْ إِيَه، مع إنترولاته، يَتَّجه أَوْلًا إلى المقص، وحينئذٍ فقط يتم تمريره إلى الريبيوسومات. وهذا الانفصال في الوقت يمكن تحقيقه ببساطة بانفصال مكاني، وذلك باستبعاد الريبيوسومات من جوار الدي إنْ إِيَه. فكيف يتم هذا؟ يتم باستخدام غشاء به فتحات واسعة نسبيًّا! فإذا خصصت الخلية غشاءً موجودًا بالفعل، وجمعت الجينات داخله، وتأكَّدَتْ من وجود مسامات كافية لنقل الأَرِ إنْ إِيَه إلى الريبيوسومات، فسيكون كل شيء على ما يرام. وهكذا فإن النواة، التي هي الشيء المميز لجميع حقيقيات النوى، لم تنشأ وتطُور لتضمِّي الجينات مطلقاً، على حد قول مارتن وكونين، ولكن لكي تستبعدها من مصانع بناء البروتينات في السيتوبلازم.

قد يبدو هذا الحل حادًّا ومتسرعاً (وإن كان مفيداً من المنظور التطوري) ولكنه قدّم على الفور بعض المزايا؛ فبمجرد أن تصير الجينات القافزة مأمونة لا تُشكّل تهديداً، فإن الإنترولات نفسها تتحول إلى نعمة بدلاً من أن تكون نقمـة. السبب الأول هو أنها مَكَّنت الجينات من التجمُّع معًا بشكل مختلط، بطرق مختلفة وغير عادية، فأنتجت خليطاً «فسيفسائيًّا» من البروتينات الفعالة، وهو مظهر أساسـي لجينات حقيقيات النوى اليوم. فإذا كان جين مُعَيَّن يتكون من خمس مناطق تشـفـيرية مختلفة، فإن الإنترولات يمكن فصلها بطرق مختلفة؛ مما يعطي تشـكـيلـة من البروتينات ذات الصلة من نفس الجين. وإذا كان هناك حوالي ٢٥ ألف جين فقط في الجينوم البشري، فإنـها عند خلطـها عشوائـياً — بالطـريقـة المـذـكـورة تـوًـا — يـنـتجـ عنـها ما لا يـقلـ عنـ ٦٠ ألف بـروـتـينـ مختلفـ، وهي ثـرـوةـ من الاختـلافـ والـتـابـيـانـ. فإذا كانت البكتيريا هي أكثر الكائنـاتـ تحـفـظـاً، فإن الإنترولـاتـ حـوـلـتـ حـقـيـقيـاتـ النـوىـ إـلـىـ كـائـنـاتـ دائـمـةـ التـجـريـبـ بلاـ هـوـادـةـ!

ثـمـةـ نـعـمةـ أـخـرىـ، هي أنـ الجـينـاتـ القـافـزـةـ مـكـنـتـ حـقـيـقيـاتـ النـوىـ منـ أـنـ تـزـيدـ حـجمـ جـينـوـماتـهاـ. فـبـمـجـرـدـ أـنـ اـخـذـتـ حـقـيـقيـاتـ النـوىـ الأـسـلـوبـ الـبـلـعـمـيـ للـحـيـاةـ، لمـ تـعـدـ مـقـيـدةـ بـأـسـلـوبـ الـكـدـحـ عـلـىـ طـولـ الزـمـانـ الـذـيـ يـمـيـزـ الـحـيـاةـ الـبـكـتـيرـيـةـ، ولاـ سـيـماـ حاجـتهاـ لـكـبـحـ أـنـفـسـهـاـ بـهـدـفـ التـضـاعـفـ السـرـيعـ. لمـ يـعـدـ يـتـعـيـنـ عـلـىـ حـقـيـقيـاتـ النـوىـ أـنـ تـتـنـافـسـ معـ الـبـكـتـيرـيـاـ، بلـ يـمـكـنـهـاـ أـنـ تـلـتـهـمـهـاـ وـتـهـضـمـهـاـ فـيـ دـاخـلـهـاـ فـيـ قـوـتـهـاـ. وـحـينـماـ تـحرـرـتـ حـقـيـقيـاتـ النـوىـ الـأـوـلـىـ تـلـكـ مـنـ الـحـاجـةـ إـلـىـ السـرـعـةـ، اـسـتـطـاعـتـ أـنـ تـجـمـعـ وـتـرـكـمـ الـدـيـ إـنـ إـيـهـ وـالـجـينـاتـ، مـعـ إـعـطـائـهـاـ مـجـالـاًـ لـمـزـيدـ هـائـلـ مـنـ التـعـقـيدـ. وـقـدـ سـاعـدـتـ الـجـينـاتـ القـافـزـةـ عـلـىـ زـيـادـةـ حـجمـ جـينـوـماتـ حـقـيـقيـاتـ النـوىـ إـلـىـ آـلـافـ الـأـضـعـافـ أـكـثـرـ مـنـ الـحـجـمـ الـبـكـتـيرـيـ العـادـيـ. صـحـيـحـ أـنـ قـدـرـاًـ كـبـيـراًـ مـنـ الـدـيـ إـنـ إـيـهـ الزـائـدـ كـانـ قـلـيلـ الـفـائـدـ، فـإـنـ بـعـضـهـ

تعاون لتشكيل جينات وسلسلات تنظيمية جديدة. وتبع ذلك قدُرٌ أكْبَرٌ من التعقيد كأثر جانبِي.

لأنَّه إذا تحدثت عن حتمية الحياة المعقّدة على الأرض أو حتمية الوعي الإنساني؛ فالعالم ينقسم إلى قسمين: بدائيات النوى طولية الأمد، وحقائق النوى المتنوعة والمُتعددة الأشكال والألوان. ويبدو أنَّ الانتقال من الأولى إلى الثانية ليس تطوراً تدريجياً، وليس صعوباً بطيئاً نحو التعقيد؛ إذ هناك مجتمعات لا حصر لها من بدائيات النوى تظهر عليها كل علامات التنوع. بالتأكيد هناك مجتمعات شاسعة من البكتيريا ملگَّط طرقاً كثيرة من التنوع والنجاح بوصفها بكتيريا، ولكنها بقيت هكذا على الدوام؛ فهي مقيدة بعدم قدرتها على زيادة حجمها وطاقتها في نفس الوقت. ولم يكسر حاجز الفشل هذا إلا حَدَثٌ نادرٌ عَرَضيٌّ؛ وهو تعاون بين خليتين من بدائيات النوى، دخلت إحداهما بطريقَة ما في الأخرى. إنها مصادفة عجيبة. وقد واجهت الخلية الهجينَة الجديدة العديد من المشكلات، ولكن تحقق لها شيء جديد ومهم من الحرية الرائعة؛ وهي الحرية في الزيادة في الحجم دون التعرض لعقوبة تضر بطاقتها ونشاطها قد تسبب لها العجز والتوقف، والحرية في أن تصير خلية بلعمية، وتخرج عن الطوق البكتيري. ولما واجهتها مشكلة تفشي الجينات الأنانية، فلربما لم يقتصر الحل السعيد على مجرد تكون نواة للخلية ولكن الميل كذلك إلى جمع الدي إن إيه وإعادة ضمه ضمن تلك الكوكبات الرائعة التي لا حصر لها من الكائنات التي تعيش حولنا. وهذه مصادفة أخرى. يبدو إذن أنَّ هذا العالم من الروائع حولنا قد انبثق عن مصادفتين مقصودتين كبيرتين، وعلى هذه الخيوط الرقيقة تتعلق أقدارنا. وإنَّه من حسن حظنا أننا نعيش جميعاً هنا من الأساس.

الفصل الخامس

التكاثر الجنسي

أعظم يانصيب في العالم

يُعزَى الكثير من الحكايات والنوادر، الحقيقي منها وغير الحقيقي، للكاتب المسرحي الأيرلندي الراحل جورج برنارد شو. ومن تلك الحكايات أن ممثلة جميلة قابلته ذات مرة في إحدى الحفلات،^١ وراودته عن نفسه، قائلة له في دلال وهي تضحك: «يجدر بنا يا عزيزي أن ننجب طفلاً؛ إذ سينعم بجمالي الفتّان ويرثُ عنك عقلك العبرقي». فردَ عليها شو قائلاً في سخرية: «حسناً، ولكن ماذا سيكون الحال إذا ورث جمالي أنا وعقلك أنت؟!»

كان لدى شو وجهة نظر صائبة؛ فالتكاثر الجنسي هو أكثر العوامل المعروفة بتأثُّر العشوائية في الجينات الناجحة، وربما كانت تلك القوة العشوائية هي التي أدّت في المقام الأول إلى ظهور شخصية نابغة مثل شو أو ممثلة فاتنة مثل تلك المرأة. ولكن مثلاً يقدر التكاثر الجنسي على هندسة توليفة ناجحة من الجينات وتجميعها، يمكن بنفس الدرجة ألا يتحقق إلا تركيبة فاشلة أو مُخيبة للأمال. وقد وقعت منظمة سيئة السمعة، تُسمّى «بنك نobel للسائل المنوي»، في ذلك الفخ تماماً؛ فهو بنك يجمع السائل المنوي للحاصلين على جوائز نobel. فلما دُعيَ عالم الكيمياء الحيوية جورج والد كي يتبرع بسائله المنوي للبنك باعتباره من فازوا بجائزة نobel في الكيمياء، رفض قائلاً إنهم ربما كانوا بحاجة لأناس مثل أبيه، الذي كان خياطاً من المهاجرين الفقراء ولم يكن يفكِّر لحظة أنه سيخرج من صلبه ينبوع للعبرية. واستطرد قائلاً: «ولكن بماذا جاء سائلي المنوي للعالم؟ لقد أنجبت ولدين، كانا مجرد عازفي جيتار عاديين!» صحيح أن صفة

العمرية، أو الذكاء والألوعية بصفة عامة، قابلة للتوارث بالتأكيد (بمعنى أن الجينات الوراثية تؤثر على نتاج الإنجاب، ولا تحدّد ماهيته بشكل مؤكّد) إلا أن التكاثر الجنسي يجعل الأمر كله بمنزلة يانصيب لا يمكن التنبؤ بما سيُسفر عنه.

معظمنا يشعر أن سحر الجنس (بوصفه صورة من صور التكاثر) يكمن في هذه القدرة تحديداً على تحقيق التنوع والاختلاف، وإخراج كائن فريد من القبة في كل مرة. ولكن بدراسة الأمر من منظور أحد أخصائيي علم الوراثة والرياضيات يكون من الواضح للغاية أن مراعاة التنوع مجرد التنوع هو أمر غير محمود. فلماذا نخاطر بإفساد مزيج ناجح؟ لم لا نستنسخه وحسب؟ إن استنساخ شخصية فذّة لامعة مثل موتسارت أو برنارد شو ربما يصدّم مشاعر معظم الناس، معتبرين إياها تحدياً للرب، وتلاعباً بكائناته، وأنه مظهر خطر لغرور الإنسان وتفاخره بنفسه، وزهوه بقدراته التي منحه الرب إليها. ولكن هذا ليس ما يفكّر به علماء الوراثة، فوجهة نظرهم أكثر تصاقاً بالدنيا؛ إذ يقولون إن ذلك التنوع غير المحدود وغير المحسوب، الذي يُحدّث الجنس، يمكن أن يؤدي بشكل مباشر إلى مشكلات البؤس والمرض، ثم الموت نتيجة لهما. أما الاستنساخ البسيط فلا يُنطرّ منه هذا. فالاستنساخ، عن طريق حفظ توليفات جينية توضع في بوتقة الانتقاء، غالباً ما يكون الرهان الأفضل.

ولنضرب مثلاً واحداً: هو مرض أنيميا الخلايا المنجلية. هذا المرض مرض جيني (وراثي) خطير؛ إذ تتلوى خلايا الدم الحمر في شكل يشبه المنجل الصلب، الذي لا يمكنه أن ينضغط داخل الشعيرات الدموية الرفيعة. وينتج هذا المرض عن وراثة نسختين «معيتيتين» من أحد الجينات. لماذا لا يقوم الانتقاء الطبيعي بطرد الجين المعيب؟ الإجابة هي أن وجود نسخة واحدة من هذا الجين المعيب أمر مفيد حقاً! فإذا ورثنا نسخة «سليمة» وأخرى «معيبة» من أبوينا، فلن تقتصر النتيجة على «عدم» معاناتنا أنيميا الخلايا المنجلية، بل إننا سنكون أيضاً أقل قابلية للإصابة بالملاريا، وهو مرض آخر يؤثر على خلايا الدم الحمراء؛ إذ إن وجود نسخة سيئة معيّنة واحدة من جين الخلايا المنجلية يؤدي إلى تغيير طبيعة أغشية خلايا الدم الحمراء، بما يمنع دخول طفيليات الملاريا من خلالها، وذلك دون تحويل الخلايا إلى الشكل المنجي الضار. والاستنساخ (أي التكاثر الجيني) يمكنه توريث هذا النمط الجيني «المختلط» والمفید في كل مرة، أما التكاثر الجنسي فيخلط (أو بالأحرى «يلبّط») الجينات عشوائياً دون هواة. فإذا افترضنا أن كلاً الأبوين لديه هذا النمط الجيني المختلط، فإن حوالي نصف عدد أطفالهما يرث هذا

النقطة الجنيني، ولكن يتلقى الربع نسختين «معيتيتين» من الجنين؛ مما يتسبب في إصابته بأنيميا الخلايا المنجلية، بينما ينتهي الأمر بالربع الآخر بحصوله على نسختين «جيدتين» من الجنين؛ مما يجعله مُعرّضاً بدرجة عالية للإصابة بالملاريا، على الأقل إذا عاشوا في أي مكان من الأماكن الكبيرة من العالم التي تستوطن فيها بعوضة الأنوفيليس (التي تنقل المرض). وبتعبير آخر، فإن التنوع الكبير يعرض ما لا يقل عن نصف تعداد السكان لخطر الإصابة بأمراض خطيرة؛ فالتكاثر الجنسي يمكن أن يُعرض حياة البشر للخطر بشكل مباشر.

وهذا ليس العيب الوحيد للتكاثر الجنسي، بل في الواقع إن قائمة عيوبه وأضراره ينبغي أن تجعل أي شخص عاقل يُبعد عن عقله هذه الفكرة للأبد. ولقد أَلْفَ جاريد ديماموند ذات مرة كتاباً بعنوان «لماذا يكون الجنس ممتعًا؟» ومن الغرابة أنه أغفل تقديم الإجابة. فلا بد أنه فَكَرَ أنها بدائية واضحة؛ فلو لم يكن الجنس ممتعًا، لما أُقبل أحدٌ سليم العقل عليه، وربما لَمَا أَقْبَلَ الناس على الزواج، ومن ثُمَّ ما كنا أتينا إلى هذه الدنيا. ولنتخيَّل الآن أن شوأُلقي بحذره المعهود أدرج الرياح، وغامر بحظه للحصول على طفل ذي عبقرية وجمال. وسوف نتخيل أيضًا — ربما بشكل غير عادل، ولكن لغرض التوضيح — أن تلك المثلثة قد عاشت طبقاً للسمعة الشائعة (المشبوهة) عن مهنتها. من المرجح أنها أُصِيبَتْ بمرض تناسلي، ول يكن الزهري وأن لقاءهما تمَ قبل اكتشاف المضادات الحيوية، وقبل أن يفقد الزهري الكثير من تأثيره المخيف في نفوس أناس محظمين من جنود وموسيقيين وفنانين، الذين كانوا يتربدون على نساء على شاكلتهم من نساء الليل. في ذلك العصر الماضي كانت الإصابة بمضاعفات الزهري المخيفة مثل الجنون — التي لحقت رموزاً مثل نيتشه وشومان وشوبرت — بمنزلة عقوبة حقيقة على الانغماس في الشهوات الجنسية. وفي تلك الأيام كانت العلاجات غير المجدية — مثل الزرنيخ أو الزئبق — مقاربة في أضرارها للمرض الأصلي. حتى كان يُقال في ذلك الزمن إن ليلة يقضيها المرء في أحضان امرأة قد تنتهي به إلى قضاء باقي حياته مريضاً.

بالطبع ما الزهري إلا مرض واحد فحسب من الأمراض التنااسلية المخيفة الكثيرة، مثل الإيدز، الذي تفشى وانتشر عبر مناطق كثيرة من العالم. وإن ارتفاع معدلات الإصابة بالإيدز في الدول الأفريقية الواقعة جنوب الصحراء الكبرى يصيب الإنسان بالخرى والهلع معًا. ففي لحظتنا هذه يعاني حوالي ٢٤ مليون أفريقي من عدو فيروس نقص المناعة البشرية؛ أي ما يوازي نحو ٦ بالمائة من صغار البالغين. وتصل معدلات الإصابة

بالعدوى لدى الدول الأشد ابتلاء به إلى ما يزيد عن ١٠ بالمائة، مع انخفاض في متوسط أعمار المصابين بأكثر من عشر سنين. وتتضاعف تلك الكارثة حقاً بفعل عوامل مثل عدم كفاءة العلاج، والفقر والمجاعات والإصابة بأمراض أخرى إضافية مثل الدرن، ومع ذلك تُشكّل الممارسات الجنسية العشوائية الجزء الأكبر من المشكلة.^٢ ولكن أيّاً كان السبب، فإن النطاق الهائل للمشكلة يشي بما يُمثله الجنس من حماقة.

لكن دعْنا نعود إلى شو، فلو كان قد واقع المثلث دون تحرُّز لكان من المحتمل أن ينتج طفلاً فيه أسوأ صفات والديه، وربما أدى به ذلك إلى المرض والجنون. إلا أن شو كان كذلك يتمتع ببعض المميزات بخلاف ظروف الكثيرين من الناس. فحينما غازلته تلك المثلثة، كان بالفعل غنياً ومشهوراً، فلم يكن محوراً للحكايات فحسب، ولكن كما يقولون في الأسلوب الحديث – كان مغناطيسيّاً للآنسات صغيرات السن أيضاً. وإذا أذعن لغريزة الجنس فستجد جيناته أرضًا خصبة في تلك النسوة، ولن يُضطرّ للاقتاء الهوان والعقاب اللذين يعانيهما الكثيرون في بحثهم عن الشريك المناسب أو أي شريك على الإطلاق.

لا أريد أن أدخل في نقاش عن التكاليف العالمية للممارسة الجنسية؛ فمن الواضح أن هناك تكلفة ما للعثور على شريك، ومن ثم لنقل الجينات إلى الطرف الآخر. ولا أعني التكاليف المالية – وإن كان هذا ملاحظاً تماماً لكل من يواعد فتاة للمرة الأولى، أو يسعى جاهداً لإنهاء إجراءات طلاقه – ولكن هناك تكلفة يتعدّر تعويضها فيما أُهدر من وقت وعواطف، وتظهر جليّاً في عمود «القلوب الوحيدة» بالصحف والمجلات، وفي انتشار صفحات المواعدة على الإنترنت. إلا أن التكاليف الحقيقة، وهي التكاليف البيولوجية، يصعب إدراكها في المجتمعات الإنسانية؛ لأنها مدفونة تحت طبقات من الثقافة وأداب السلوك. وإذا كنت تشكك في وجود تكلفة بيولوجية، فلنفكّر فقط في ذيل الطاووس، بريشه الرائع، الذي هو رمز لخصوصية الذكر ولزياته، فإنه بلا شك يُمثل – بحجمه الكبير وألوانه الخلابة – مشكلة تعوق بقاءه على قيد الحياة، ونفس الأمر ينطبق على سائر الطيور الكثيرة التي تستعرض جمالها الرائع وألوانها الزاهية. ولعل أقوى مثال من بين كل الأمثلة هو طائر الطنان؛ فهذا الطائر العجيب يصل عدد أنواعه إلى ٣٤٠٠ نوع جميعها تدفع ثمن العثور على شريك للحياة، ليس للطائر الطنان نفسه (وإن كان هذا الأمر صعباً عليه بلا شك) ولكن للنباتات المزهرة.

بسبب ثباتها في الأرض بفعل الجذور، قد تكون النباتات أبعد الكائنات عن المخيلة من حيث الاهتمام بالجنس، ومع ذلك فالسواد الأعظم منها يهتم بالجنس اهتماماً

بالغاً، باستثناء الهندباء البرية، ومعها قليل من الأنواع الأخرى، التي تُضرب عن الجنس صفةً. أما باقي النباتات فتجد لها سبيلاً لذلك، وأروعها تلك النباتات المزهرة ذات الجمال الخلاب التي ملأت العالم منذ حوالي ٨٠ مليون عام، حوت خلالها الغابات بلونها الأخضر الرتيب إلى لوحة مفعمة بألوان الأزهار المبهجة التي نراها اليوم. ومع أن أول نشوء لها كان في أواخر العصر الجوراسي، منذ نحو ١٦٠ مليون عام، فإن انتشارها في أنحاء العالم تأخر كثيراً، ثم ارتبط في نهاية الأمر بظهور الحشرات اللاحقة، مثل النحل. وتُعد الأزهار تكلفة إضافية للنبات؛ إذ يتعمّن عليها أن تجذب الحشرات اللاحقة بألوانها الفاقعة وأشكالها الجميلة، وأن تتنفس رحيقاً حلواً لتشجع الكائنات اللاحقة على زيارتها (يحتوي رحيق الأزهار على ربع وزنه سكرًا)، وأن تتوزع في الحقول بدقة وبراعة؛ فلا تكون شديدة التقارب (وإلا زاد معدل التلقيح الذاتي وصار التكاثر الجنسي بلا معنى) ولا شديدة التباعد (حتى لا تنفر الكائنات اللاحقة فلا تأتي لأداء مهمتها). وما إن يستقر النوع الذهري على كائن لاقح معين حتى يتطورا معاً يداً بيد، وكلهما يفرض عبئاً وكلفة على الآخر ويمنه فوائد بالمقابل. ولا تُوجَد كلفة أو ثمن أدنى مما يدفعه ذلك الطائر الضئيل المسمى بالطنان من أجل الحياة الجنسية للنباتات الساكنة.

هذا الطائر الطنان يجب أن يكون ضئيلاً، ولو كان أكبر حجماً لما تمكّن من التحويم دون أن ينتقل من مكانه في حلق الزهرة، مرتفعاً بجناحيه بمعدل ٥٠ ضربة في الثانية. وهذا الجمع بين الحجم الدقيق للأصغر الطيور جميعاً وبين معدل أيضه الهائل والضروري لكي يرفرف باستمرار يعني أن الطيور الطنانة يتبعي عليها أن تتزوّد بالوقود باستمرار تقريباً. إنها تقوم باستخراج أكثر من نصف وزنها رحيقاً كل يوم، وتزور من أجل ذلك مئات الزهور. وإذا اضطررت للتوقف عن الأكل مدة طويلة نسبياً (أكثر من ساعتين)، فإنها تسقط مغشياً عليها وتروح في حالة سبات تشبه الغيبوبة، يتدهور خلالها معدل دقات القلب والتنفس إلى أقل بكثير مما يكون أثناء النوم الطبيعي، بينما تنخفض درجة الحرارة الأساسية لأجسامها بشدة. فكأن تلك الطيور الضئيلة قد غوثها الأزهار برحيقها الذي فارتبطت بها ارتباطاً لا ينفصّم، وهي تُحلق بلا كل من زهرة إلى زهرة، وتوزّع حبوب اللقاح أثناء ذلك، ولو حرمت الرحيق لسقطت في غيبوبة قد تنتهي بموتها.

إذا كان كل هذا ليس شيئاً بدرجة كافية، فلا يزال هناك المزيد من الغموض يكتنف الجنس. فحتى كلفة العثور على شريك لا تُعد شيئاً يُذكر إذا قُورِنَت بكلفة

الاحتفاظ بهذا الشريك؛ فتلك هي الكلفة المزدوجة المشهورة للجنس. وإن المناصرات الغاضبات لحقوق المرأة الالتي ينتقدن مجرد وجود الرجال في هذه الدنيا يستندن إلى منطق يبدو معقولاً من الظاهر. فظاهرياً، يُعَدُ الرجال تكلفة ثقيلة حقاً، والمرأة التي حلّت مشكلة التوّالد البكري تستحق التقدير. وإذا كان ثمة رجال قليلون يحاولون تبرير وجودهم بتحمل أعباء رعاية الأطفال وتربيتهم، وتوفير الاحتياجات المادية، فإن هذا لا ينطبق على كثير من تلك الكائنات الأقل مستوى، سواء الذكور من البشر أو غيرهم من الكائنات؛ إذ يهرب أغلبهم من تحمل المسؤوليات. ومع ذلك فلا تزال الأنثى الحامل تلد ذكوراً وإناثاً بنسب متساوية. وهكذا يضيع خمسون بالمائة من جهودها هباء في إنجاب وتنشئة ذكور عاقين في هذا العالم، يساهمون في إطالة أمد المشكلة. وأي أنثى، من أي نوع هي، وليس لها ذكر يرعاها، تستطيع أن تمضي في حياتها دون ذكور على الإطلاق وعلى طول الأمد، من شأنها أن تضاعف نجاحها التكافيري. ومن شأن سلالة من الإناث الالتي تولدن بالاستنساخ أن تتضاعف عددياً في كل جيل، بحيث تمحو شركاءها الجنسيين (من الذكور) من مجموع السكان على مدى أجيال قليلة. ومن منظور حسابيًّا بحسبِ، تستطيع أنثى واحدة خاضعة للاستنساخ أن تحل محل عدد من السكان يصل إلى مليون من الذكور القادرين على التكافير على مدى خمسين جيلاً فقط.

تدبرُ هذا الأمر على مستوى الخلايا. ففي التكاثر الاستنساخي، أو التوّالد البكري، تنقسم الخلية إلى اثنتين. أما في التكاثر الجنسي فيحدث العكس؛ إذ تلتزم خلية ذكرية (الحيوان المنوي) بخلية أنوثية (البويضة) لإنتاج خلية واحدة متكاملة (البويضة المخصبة). وهكذا نجد أن خليتين جنسيتين قد أنتجتا خلية واحدة؛ أي إنه تضاعف عكسي. وظهور التكلفة المضاعفة للتکاثر الجنسي جلياً في أعداد الجينات. فكل من الخليتين الجنسيتين، الحيوان المنوي والبويضة، ينقل ٥٠ بالمائة فقط من الجينات حينما تندمج الخليتان الجنسيتان. وهذا تم استعادة النصيب الكامل من الجينات حينما تندمج الخليتان الجنسيتان. في هذا السياق، فإن الكائن الذي يجد طريقة لنقل ١٠٠ بالمائة من جيناته إلى جميع ذريته، عن طريق الاستنساخ، تكون لديه ميزة مضاعفة. ونظرًا لأن كل مستنسخ ينقل عدداً من الجينات يعادل ضعف عدد ما ينقله الكائن الممارس للجنس، فإن جينات المستنسخين لا بد أن تنتشر سريعاً بين مجموع السكان، بحيث تحل في نهاية الأمر محل جينات من يتکاثرون جنسياً.

والأدھي من ذلك، أن نقل نصف جيناتك فقط إلى الجيل التالي يفتح الباب لجميع صنوف الخدع المريبة من الجينات الأنانية.^٣ ففي التكاثر الجنسي، بصفة مبدئية على

الأقل، يكون لدى جميع الجينات احتمال بنسبة ٥٠ بالمائة تماماً لكي تنتقل إلى الجيل التالي. وهذا، من الناحية العملية، يخلق فرصة للغش والخداع؛ بحيث تعمل الجينات لصالحها الأنانية فتنتقل لأكثر من ٥٠ بالمائة من الذرية. وهذا ليس مجرد احتمال نظري لا يحدث بالفعل، بل هناك الكثير من الأمثلة عن الصراع بين الجينات، بين الجينات «الطفيلية» التي تخرق القانون وبين غالبية الجينات التي تخدم القانون وتحتشد لتوقيفها. فهناك جينات طفيلية تقتل الحيوانات المنوية، أو حتى كل الذرية التي لا ترثها، وجينات تعقم الذكور، وجينات تُوقف نشاط الأعداد المقابلة من الجينات الآتية من الوالد الآخر، وجينات قافزة تتكاثر في أنحاء الجينوم. فكثير من الجينومات، بما فيها الجينوم البشري، تمتلئ برفات وبقايا الجينات القافزة التي كانت قد تضاعت من قبل في جميع أنحاء الجينوم، كما رأينا في الفصل الرابع. إن الجينوم البشري مقبرة للجينات القافزة «الميتة»، ويتكوّن نصفه بالتحديد من جثثها البالية. بل إن الجينومات الأخرى حالها أسوأ من هذا؛ فمن العجيب أن ٩٨ بالمائة من جينوم القمح يتكون من جينات قافزة ميتة. وعلى العكس من هذا، فإن أغلب الكائنات التي تستنسخ نفسها لديها جينومات أكثر «رشاقة» ولا تسقط فريسة للجينات الطفيلية بأي حال كالذى يحدث لغيرها.

بصفة عامة، ثمة عوامل كثيرة تحتشد ضد الجنس بصفته طريقة للتکاثر. ربما يفكر عالم بيولوجيا مبدع في ظروف خاصة فريدة قد يكون فيها الجنس مفيداً، ولكن أغلبنا، في مواجهة هذا الرأي، يشعر أنه مجبر على إغفال الجنس باعتباره شيئاً مثيراً للاستغراب. فإنه يعرضنا لتكلفة مضاعفة معروفة، مقارنة بالتولد البكري، وهو ينقل جينات طفيلية أنانية يمكنها أن تصيب جينومات بأكملها بالعجز، وهو يفرض عبئاً للعثور على شريك؛ وهو ينقل أشد الأمراض التناسلية إثارة للفرز، كما أنه يدمر، بشكل منتظم، جميع التوليفات الجنينية الأكثر نجاحاً.

ولكن بالرغم من كل ذلك، فإن ما يثير الشعور بالإحباط أن التكاثر الجنسي يكاد يكون عالمياً الانتشار بين جميع صور الحياة المُعقدة. فجميع حقيقة النوى تقريباً (أي المكونة من خلايا بها نوى؛ انظر: الفصل الرابع) تنتمي في التكاثر الجنسي في وقت ما من دورات حياتها، والغالبية العظمى من النباتات والحيوانات تُعتبر جنسية إجبارياً، بمعنى أنها تعجز عن التكاثر إلا عن طريق الجنس. وليس هذا هو الاستثناء؛ فالأنواع غير الجنسية التي تتکاثر بالاستنساخ بشكل عملي نادر بالتأكيد، ولكن بعضها،

مثل الهدباء البرية، موجود أمام أعيننا. والحقيقة العجيبة أن كل هذه المستنسخات تقريباً تعتبر أنواعاً حديثة نسبياً؛ إذ يميزها أنها انبثقت منذآلاف وليس ملايين السنين. إنها أصغر الفروع في شجرة الحياة، ومحكوم عليها بالفناء. فكثير من الأنواع تعود إلى الاستنساخ، ولكن لا تكاد تصل إلى سن ناضجة في فترة حياتها كنوع حي؛ إذ تموت دون سبب واضح. ولا يعرف سوى عدد قليل من المستنسخات القديمة، وهي أنواع نشأت منذ عشرات الملايين من السنين وتم خصبت عنها مجموعات كبيرة من الأنواع ذات الصلة. والأنواع التي فعلت هذا، مثل حيوانات مجهرية تسمى الدوارات العاقية، صارت مشهورة بيولوجياً بوصفها استثناءات غير جنسية في عالم مغرم بالجنس، وكأنها رهبان يمرون بحي للبغاء مرور الكرام.

وإذا كان التكاثر الجنسي حمقاً وظيفياً وسخافة وجودية، فإن الحقيقة بالرغم من كل ما قلنا سابقاً أن عدم اللجوء للتكاثر الجنسي يجعل الأمور تزداد سوءاً؛ لأن هذا يؤدي في معظم الحالات إلى الفناء والانقراض، وهذا في حد ذاته سخافة لا وجودية. ومن ثم، فلا بد أن تكون هناك مميزات كبيرة للتکاثر الجنسي، مميزات تتغلب على حماقة الإيتيان به. والعجيب أن ميزاته يصعب تقاديرها وأنها جعلت نشوء التكاثر الجنسي وتطوره أكبر المشكلات التطورية خلال جزء كبير من القرن العشرين. وربما كان الأمر أنه دون التكاثر الجنسي ليس من الممكن أن تُوجَد الصور الكبيرة المعقدة من الحياة على الإطلاق؛ فبغير التكاثر الجنسي تكون جميعاً عرضة للانقراض على مدى أجيال معدودة، وأن نبلى مثل كروموسوم 21 الضعيف. وعلى أي حال، فإن التكاثر الجنسي يصنع فارقاً بين كوكب صامت منكفي على ذاته، مليء بكائنات قاسية جافة تتضاعف ذاتياً (وهذا يذكرني بقول الملاح العجوز في قصيدة كولريidge الشهيرة «ألف ألف شيء زلق») وبين تفجر السعادة والروعة من حولنا. فالعالم دون تكاثر جنسي عالم محروم من أغانيات الشباب والفتيات، وكذلك الطيور المغبردة وحتى الضفادع، ومحروم من ألوان الأزهار الرائعة وتحديات المصارعين وقصائد الشعر والحب والنشوة والطرب. إنه عالم لا يثير أدنى اهتماماً. إن التكاثر الجنسي بالتأكيد يقف شامحاً بوصفه واحداً من أعظم مخترعات الحياة، ولكن لماذا نشأ هذا النوع من التكاثر؟ وكيف؟

كان داروين من أوائل من تأملوا فوائد الجنس، وكان براجماتياً كما هو العهد به دائماً. فقد رأى الفائدة الرئيسية للتکاثر الجنسي باعتباره نشاطاً تهجينياً تكون فيه ذرية

أبوبين لا قرابة بينهما أصلًا أقوى وأصح وأنسب للحياة وأقل عرضة لمعاناة أمراض وراثية — مثل الهيموفيليا أو مرض تاي-ساكس — مما لو كان بين الأبوبين صلة قرابة الأمثلة كثيرة، وما على المرء سوى أن ينظر إلى الملكيات الأوروبيّة القديمة والمنتسبين إليها مثل آل هابسبورج ليجد أناسًا مرضى ومعتوهين ومجانين، ويدرك الآثار الضارة للإسراف في زواج الأقارب. والجنس بالنسبة لداروين كان كله يعني تزاوج الأبعد وليس الأقارب، وإن كان هذا لم يمنعه من أن يتزوج ابنة عمه الأولى «رمز الفضيلة» إيماءً ويدجود، التي أنجب منها عشرة أطفال.

لكلام داروين فضيلتان رائعتان، ولكن يعييه جهله التام بالجينات. والفضيلتان الرائعتان هما أن النشاط التهجيني يكون مفيداً بصفة مباشرة وأن الفوائد تتركز على المستوى الفردي؛ فتزاوج الأبعد يكون أكثر قابلية لإنتاجأطفال أصحاء، فلا يموتون في طفولتهم، ومن ثم يبقى عدد أكبر من الجينات إلى الجيل التالي. وهو تفسير دارويني حسن له أهمية أوسع سوف نعود إليه فيما بعد. (الانتقاء الطبيعي يعمل هنا على مستوى الأفراد وليس المجموعات الكبيرة). المشكلة أن هذا يُعدُّ بحق تفسيراً لتزاوج الأبعد وليس للجنس. ومن ثم فإنها ليست حتى نصف القصة.

توجّب على الناس الانتظار عدة عقود حتى يصلوا إلى الفهم السليم لآلية الجنس، حينما أعيد اكتشاف الملاحظات المشهورة للراهب النمساوي جريجور مندل عن خصائص نبات البازلاء في مستهل القرن العشرين. ويجب أن أعترف بأنني حينما كنت طالباً بالمدرسة كنت دائمًا ما أجده قوانين مندل فجّةً لدرجة الغموض، وهذا الأمر أتذكره الآن مصحوباً بإحساس طفيف بالخجل. وحتى في هذه الحالة، أظن أن من الأسهل علينا أن نفهم أوليات علم الجينات إذا أغفلنا قوانين مندل كلية؛ فلقد تمَّ شرحها بغير معرفة حقيقة لتركيبة الجينات والكروموسومات. دعْنا ندخل مباشرة إلى التفكير في الكروموسومات باعتبارها أشرطة من الجينات، وحينئذ سترى بوضوح ما يحدث في الجنس، ولماذا يُعتبر تفسير داروين قاصراً.

إن الخطوة الأولى في التكاثر الجنسي هي اندماج خليتين جنسيتين — الحيوان المنوي والبويضة — كما رأينا سابقاً. وكلٌّ منها يأتي لعملية الاندماج بمجموعة واحدة من الكروموسومات؛ مما يعطي البويضة المخصبة مجموعتين كاملتين. ومن النادر أن تكون النسختان متطابقتين تماماً، ويمكن أن تخفي النسخة الجيدة آثار النسخة المعيبة. هذا هو أساس النشاط التهجيني؛ فتزاوج الأقارب يرفع اللثام عن أمراض مخفية؛ لأنك تكون

أكثر عرضة لوراثة نسختين «معيبيتين» من نفس الجين إذا كان والدك قريبين، ولكن هذا لا يُعتبر في الحقيقة عيباً لزواج الأقارب وليس ميزة للتکاثر الجنسي. ولكن ميزة النشاط التهجيني تكمن في الحصول على نسختين مختلفتين قليلاً من كل كروموسوم بحيث يمكن أن «تغطّي» كلّ منها الأخرى، إلا أن هذا ينطبق على المستنسخات التي تكون لديها نسختان مختلفتان من كل كروموسوم بالقدر الذي يحدث للكائنات الجنسية. وهكذا، فإن النشاط التهجيني تأتي فائدته من الحصول على مجموعتين مختلفتين من الكروموسومات، وليس من التکاثر الجنسي في حد ذاته.

أما الخطوة الثانية – التي هي تجديد الخلايا الجنسية، وبكلّ منها نسخة واحدة من كل جين – فهي التي تُعتبر مفتاح التکاثر الجنسي، والأكثر صعوبة في التفسير. تُعرف هذه العملية باسم «الانقسام الاختزالي»، الذي يبدو من الظاهر رائعاً ومحيراً في الوقت نفسه. فهو رائع؛ لأن الكروموسومات ترقص جذلاً حينما تجد شركاءها، وتحتضنها بقوّة لفترة ما، ثم تتنطلق مهتاجة نحو القطبين المتقابلين من الخلية؛ لكي تؤدي رقصتها بمثيل هذا الجمال والإتقان، لدرجة أن رواد العمل المجهري كان من الصعب عليهم أن يكتموا شعورهم بالذهول وهم يعُدون أصاباغهم المجهريّة، المرة تلو الأخرى ليصيغوا الكروموسومات الراقصة بها، ويحملقون فيها مشدوهين وكأنها صور فوتوغرافية قديمة الشكل لفرقة رقص أكروباتي في ذروة نشاطها. والانقسام الاختزالي مُحِير؛ لأن خطوات الرقص فيه تكون أكثر تعقيداً مما كان يتوقعه أي شخص من تلك الأمم الرءوم الأكثر عطاء بين واضعي الألحان؛ أمّا الطبيعة .

والانقسام الاختزالي يبدأ بخلية لديها نسختان من كل كروموسوم، وفي النهاية تخصص نسخة واحدة لكل خلية جنسية. وهذا أمر منطقي؛ فإذا كان التکاثر الجنسي يعمل على دمج خلتين معًا لإنتاج فرد جديد لديه مجموعتان من الكروموسومات فمن الأسهل كثيراً لو حصلت الخليتان الجنسيتان على مجموعة لكلّ منها. وما يثير التعجب أن الانقسام الاختزالي يبدأ بمضاعفة جميع الكروموسومات لإنتاج أربع مجموعات لكلّ من الخليتين. وهذه يحدث بينها حيئنة خلط وملاءمة – والمصطلح التقني هو أنها «تناسب» أي يُعاد تجميعها – لإنتاج أربعة كروموسومات جديدة تماماً، وكل كروموسوم منها يأخذ قطعة من هنا وقطعة من هناك، وهذا التأشيب هو اللب الحقيقي للجنس؛ ومعناه أن الجين الذي جاء من أبيك من قبل يجد نفسه الآن مستقرّاً على نفس الكروموسوم الذي يوجد عليه جين قادم من أمك. وقد يتم تكرار هذا العمل البارع عدة

مرات على كل كروموسوم؛ لإعطاء تسلسل من الجينات التي تكون بالترتيب التالي، على سبيل المثال: أبيو - أبيو - أمي - أمي - أبيو - أبيو. وتصير الكروموسومات المكونة حديثاً الآن فريدة في كيانها؛ فهي لا تختلف بعضاً عن بعض فحسب، بل تختلف أيضاً - بصفة مؤكدة تقريباً - عن أي كروموسوم آخر كان موجوداً من قبل (إذ تكون عمليات التحويل عشوائية، وتم عادة في أماكن مختلفة). وفي النهاية تنقسم الخلية إلى نصفين، وتنقسم الخليتان الوليدتان مرة أخرى لإنتاج «علقة» مكونة من أربع خلايا «حفيدة»، كل منها مزود بمجموعة واحدة من الكروموسومات الفريدة؛ وهذا هو الجنس.

من الواضح إذن أنَّ ما يفعله التكاثر الجنسي هو خلط الجينات لصياغة تراكيب جديدة، وهي توليفات ربما لم تُوجَد من قبل قط. وهو يفعل هذا بطريقة منتظمة عَبْر الجينوم بكامله، وهذا يشبه خلط رزمة من أوراق اللعب مع تفكيك المجموعات السابقة للتأكد من حصول جميع اللاعبين على نصيب عادل إحصائياً من تلك الأوراق. والسؤال هو: لماذا؟

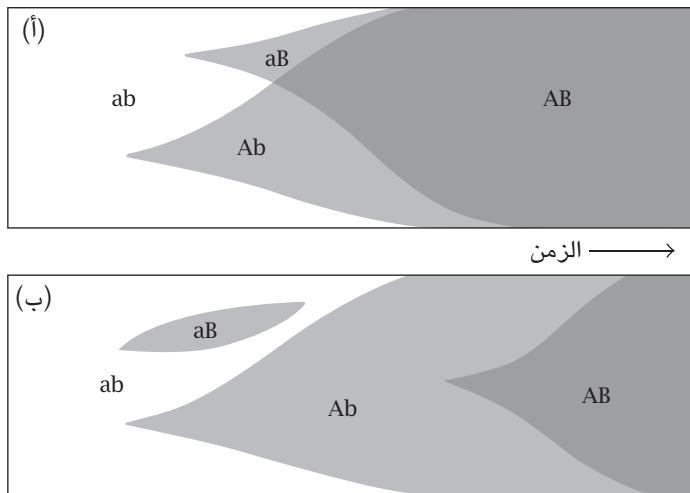
الإجابة التي تبدو معقولة بالبداهة لمعظم علماء الأحياء، حتى اليوم، تعود إلى أو جست فايسمان، المفكر الألماني المبدع وخليفة داروين، الذي افترض في عام ١٩٠٤ أن التكاثر الجنسي يُولِّد تبايناً أكبر لكي يؤدي الانتقاء الطبيعي عمله عليه. كانت إجابته مختلفة جدًا عن إجابة داروين؛ إذ افترضت أن فائدة التكاثر الجنسي ليست للفرد ولكن لمجموع السكان. وقال فايسمان إن التكاثر الجنسي يُحتمل أن ينتج توليفات «جيدة» أو «معيبة» من الجينات بنفس الدرجة؛ فيبينما قد تكون التوليفات الجيدة مفيدة بشكل مباشر لحامليها، فإن التوليفات المعيبة تكون ضارة بشكل مباشر أيضاً. وهذا يعني أنه لا تُوجَد ميزة خالصة ولا عيب خالص في التكاثر الجنسي بالنسبة للأفراد من أي جيل. ومع هذا، فإن المجتمع ككل يُستفيد منه. وكان هذا ما افترضه فايسمان على أساس أن التوليفات الضارة يتم التخلص منها بفعل الانتقاء الطبيعي، تاركاً في نهاية الأمر (بعد أجيال كثيرة) التوليفات الجيدة في الأغلب الأعم.

طبعية الحال، فإن التكاثر الجنسي في حد ذاته لا يدخل أي تنوع في المجموعة السكانية. فدون حدوث طفرات، لا يفعل التكاثر الجنسي سوى خلط الجينات الموجودة بالفعل، مزيلاً الجينات المعيبة من طريقة، وبهذه الطريقة فإنه يُقيِّد التنوع. ولكن إذا

أضيفَ القليل المتناثر من الطفرات الجديدة إلى المعادلة، كما فعل عالم الوراثة الإحصائية الكبير رونالد فيشر في عام ١٩٣٠، فإن ميزات التكاثر الجنسي تزداد حدة ووضوحاً. ونظرًا لأن الطفرات تعتبر أحداثاً نادرة، فقد افترض فيشر أن الطفرات المختلفة يُحتمل أن تحدث بدرجة أكبر في أشخاص مختلفين. وبينما الطريقة، يكون من المحتمل بدرجة أكبر أن يضرب البرق شخصين مختلفين بدلاً من أن يضرب شخصاً واحداً مرتين (وإن كان كلاماً – أي الطفرات والبرق – أحياناً ما يضران نفس الشخص مرتين).

وللتوضيح وجهة نظر فيشر، دعمنا نفترض حدوث طفرتين مفیدتين في مجتمع يتکاثر بالاستنساخ. فكيف تنتشر الطفرتان؟ الإجابة هي أنه لا يمكن أن ينتشر أيٌ منها إلا على حساب الأخرى، أو على حساب أشخاص تتقسمهم الطفرات (انظر الشكل ١-٥). فإذا كانت كلتا الطفرتين مفیدتين بنفس الدرجة، فقد ينتهي الأمر بالمجتمع إلى انتقامته مناصفةً بينهما. ومن المهم أن نؤكد أن لا أحد يمكنه الإلقاء باللوم على طفرتين دفعه واحدة ما لم تتكرر الطفرة الثانية في شخص يستفيد بالفعل من الأولى؛ أي إذا ضرب البرق نفس الشخص مرتين! ويعتمد معدل حدوث هذا بدرجة كبيرة أو قليلة على عوامل؛ مثل: معدل التطافر، وحجم المجتمع. ولكن بصفة عامة لا تحدث الطفرات المفيدة إلا نادراً في مجتمعات تتکاثر بطريقة استنساخية صارمة.^٤ وعلى النقيض من هذا، يستطيع التكاثر الجنسي أن يأتي بالطفرتين الاثنتين معًا في لحظة واحدة من التسامي والتعالي. ومن ثم، فإن فائدة التكاثر الجنسي، كما قال فيشر، هي إمكان الإتيان بالطفرات الجديدة معًا في نفس الشخص بصفة تكاد تكون فورية، وهو ما يمنح الانتقاء الطبيعي فرصة اختبار صلاحية الطفرتين معًا. وإذا ثبتت بالفعل صلاحية الطفرتين الجديدين، فيساعد التكاثر الجنسي على نشرهما في سلسة عبر المجتمع كله، وهو ما يجعل الكائنات أكثر تأقلمًا ويسرع من عملية التطور (انظر الشكل ١-٥).

وفيما بعد جاء عالم الوراثة الأمريكي هيرمان مولر، الذي حصل على جائزة نوبل في الفسيولوجيا أو الطب عام ١٩٤٦ عن اكتشافه أن الأشعة السينية تسبب تطاير الجينات؛ ليعمل على تطوير افتراض فيشر ليشمل الطفرات الضارة. وقد عرف مولر – من خلال تجاربه على ذباب الفاكهة وإحداثه، شخصياً، آلاف الطفرات فيها – أكثر من أي شخص آخر في عصره أنأغلب الطفرات الجديدة تكون ضارة. وقد واجه مولر سؤالاً فلسفياً أعمق مفاده: كيف يمكن أن يخلص مجتمع استنساخى نفسه من تلك الطفرات الضارة؟ وللإجابة عن هذا السؤال، قال مولر: تخيل أن كل الذباب تقريباً



شكل ١-٥: انتشار الطفرات المفيدة الجديدة في الكائنات الجنسية (أعلى) مقابل الكائنات اللاجنسية (أسفل). في حالة التكاثر الجنسي، نجد أن الطفرات المفيدة التي تُغير الجين a إلى A ، والجين b إلى B ، سريعاً ما تتحدد مرة أخرى لتعطي النمط الجيني الأفضل AB . وبغير الجنس، لا يمكن أن ينتشر الجين A إلا على حساب الجين B ، والعكس صحيح. ومن ثم، لا يمكن أن يتكون النمط الجيني الأفضل AB إلا حينما تتكرر الطفرة B في مجتمع Ab من الكائنات.

حدث فيه طفرة واحدة أو اثنان، تاركاً عدداً قليلاً فقط من الأفراد «النظيفين» جينياً. فماذا سيحدث بعد ذلك؟ في مجتمع استنساخي صغير بعض الشيء، لا يكون ثمة مفر من حدوث انخفاض لا رجعة فيه في الصلاحية يتم تشبيهه بالسقاطة. المشكلة هي أن احتمالية التكاثر لا تعتمد على الكفاءة الجينية فحسب، بل تعتمد أيضاً على دور الحظ، وعلى أن تكون في المكان الصحيح، في الوقت الصحيح. ولتصور ذبابتين، إحداهما لديها طفرتان والأخرى بدون طفرات. ثم يحدث أن تجد الذبابة الطافرة نفسها وسط طعام وفيه، بينما تتضور الذبابة الأخرى «النظيفة» جوغاً؛ فمع أن الذبابة الطافرة أقل كفاءة، فإنها وحدها هي التي ستعيش حتى تنتقل جيناتها إلى ذريتها. والآن تخيل أن الذبابة الجائعة كانت آخر ذبابة من نوعها، أي إنها الذبابة غير الطافرة الوحيدة المتبقية؛

فعلى هذا يكون الآن لدى كل ذبابة أخرى تعيش ضمن مجتمع الذباب طفرة واحد على الأقل. فما لم يحدث لإحدى الذبابات الطافرة تحول رجوعي، وهو حدث شديد الندرة، فإن مجتمع الذباب ككل سيصير الآن أقل كفاءة بمقدار درجة عما كان في السابق. ويمكن تكرار نفس السيناريو المرة تلو الأخرى، وكل مرة تقل الكفاءة وكأنها تكتكة في السقطة. وفي نهاية الأمر يحدث تدهور شديد لمجتمع الذباب بكماله لدرجة الانقراض، وهو تطور يُعرَف الآن باسم «سقطة مولر».

تعتمد «سقطة مولر» على الحظ؛ فإذا كان مجتمع السكان كبيراً يَقلُ دور الحظ، وتكون الاحتمالية الإحصائية أن يبقى أنساب الأفراد أحياء. أي إنه في المجتمع كبير العدد يُلغى دور الحظ الكبير، وإذا كانت سرعة التكاثر أكبر من المعدل الذي يحدث به تراكم الطفرات الجديدة، فإن المجتمع ككل يكون آمناً من تأثير السقطة. من ناحية أخرى، إذا كان مجتمع السكان صغيراً أو إذا كان معدل التطافر عالياً فإن تأثير السقطة يعمل. وفي هذه الظروف يبدأ المجتمع المستنسخ يذوي ويضمحل، وتتراكم فيه الطفرات بشكل نهائي لا رجعة فيه.

التكاثر الجنسي هو طوق النجاة؛ لأنه يستطيع أن يُعيد تشكيل الأفراد غير المعيبين بأن يأتي بجينات غير طافرة ويضمها في نفس الفرد. وبينما الطريقة إذا تعطلت سياراتان مثلاً – ولنُقل إن في إداحتها صندوق تروس معيب، وفي الأخرى مُحرّك تالف، وباستخدام تشبيه جون ماينارد سميث – فإن التكاثر الجنسي يشبه ميكانيكيًّا يقوم بتركيب سيارة صالحة للاستخدام بتجميع الأجزاء العاملة من السياراتين. ولكن التكاثر الجنسي يختلف عن الميكانيكي الذي في كونه يقع في مشكلة تجميع الأجزاء التالفة أيضاً لينتاج حينئِ كومة معطلة من الخردة. وبفعل التعادل، تُلغى الفوائد الفردية للتکاثر الجنسي على مرّ الزمان بفعل ما يحدث من ضرر فردي في المقابل.

إلا أن هناك مهرباً واحداً فقط من هذا المصير التعادلي للجنس، ورَدَ ضمن افتراض قدَّمه في عام ١٩٨٣ عالم الوراثة التطورية الروسي الداهية أليكسى كوندراشوف، الذي صار الآن أستاذاً بجامعة ميشيغان الأمريكية. حصل كوندراشوف على درجة العلمية في علم الحيوان في العاصمة الروسية موسكو قبل أن يصبح باحثاً نظرياً في مركز بوشينو للأبحاث، وكانت قدرات الكمبيوتر هي التي مكَّنته من التوصل إلى نتائجه العلمية المذهلة عن التكاثر الجنسي. تتضمن نظريته افتراضين جريئين، لا يزالان يثيران جدلاً كبيراً بين المهتمين بالنشوء والتطور. ويشير أولهما إلى أن معدل التطافر أعلى مما كان يظن معظم

الناس؛ لكي تؤدي نظرية كوندراشوف مهمتها، يجب أن تحدث واحدة أو أكثر من الطفرات الضارة في كل شخص من كل جيل. والافتراض الثاني هو أن أغلب الكائنات تكون مقاومة – تقريباً – لتآثيرات الطفرات المفردة؛ فإننا لا نبدأ فعلاً في التدهور في مستوى الكفاءة واللياقة إلا حينما نirth عدداً كبيراً من الطفرات في نفس الوقت. وقد يحدث هذا، على سبيل المثال، إذا كان الجسم يتمتع بفائض ما. ومثلاً يمكن أن يحدث للبعض هنا إذا فقد إحدى كلويته، أو إحدى رئتيه، أو إحدى عينيه (إذ يستمر العضو السليم في أداء وظيفته لصالح الجسم)، فعلى مستوى الجينات كذلك تُوجَد درجة من التراكب في الوظيفة؛ إذ يمكن أن يؤدي أكثر من جين واحد نفس الشيء، وهو ما يُخفّف العبء والضرر عن الجسم ككل ضد التلف الشديد. وإذا كان من الصحيح حقاً أن الجينات يمكن أن يؤدي بعضها مهام بعض بهذه الطريقة، فإن حدوث طفرة واحدة لن يكون كارثياً، وبهذا يمكن أن تكون نظرية كوندراشوف فعالة.

كيف يفيينا هذان الافتراضان؟ أما عن الافتراض الأول – وهو ارتفاع معدل التطافر – فيعني أن المجتمعات المستنسخة لن تكون أبداً في أمان من سقاطة مولر، بل ستتعرض لا محالة للبلل والانحلال، وستعاني في نهاية الأمر من حالة «انفجار في الطفرات». وأما الافتراض الثاني فأبرع من ذلك؛ إذ يعني أن التكاثر الجنسي بإمكانه أن يتخلص من أكثر من طفرة واحدة في الحال. وقد عَقَد مارك ريدلي قياساً رائعاً، شبيهه فيها الاستنساخ والتكاثر الجنسي بالعهدين القديم والجديد من الإنجيل، على الترتيب. إذ قال إن الطفرات هي مثل الخطيئة؛ فإذا وصل معدل التطافر إلى طفرة واحدة لكل جيل (وهذا يقابل القول إن كل ابن آدم خطاء)؛ فحينئذ يكون السبيل الوحيد للخلاص من الخطيئة في مجتمع استنساخي هو أن تمحو المجتمع كله تماماً بأن تغرقه بالطوفان، أو تحرقه بالنار والكبريت، أو يتفشّي فيه الطاعون. وعلى العكس من هذا، يمكن أن تكُدّس الكائنات الجنسية عدداً من الطفرات بدون أضرار (وصولاً إلى نقطة اللاعودة)؛ ومن ثم فإن التكاثر الجنسي لديه القدرة على تجميع عدد كبير من الطفرات في كلٍ من الأبوين السليمين، وأن يركزها كلها في طفل واحد. وهذا ما يمكن تسميته طريقة العهد الجديد؛ إذ يقول ريدلي إن المسيح تعذّب وتعرّض للقتل؛ لأنه كان يجمع أوزار البشر، وكذلك التكاثر الجنسي؛ إذ يمكن أن يضم الطفرات المتراكمة لمجتمعٍ ما معاً في كبش فداء واحد، ثم يذبحه.

وقد استنتج كوندراشوف أن التكاثر الجنسي وحده يمكنه أن يمنع انفجار الطفرات في الكائنات المعقدة الكبيرة. والنتيجة الطبيعية الحتمية هي أن الحياة المعقدة لا تكون ممكناً بغير التكاثر الجنسي، وهو استنتاج يثير الإلهام في النفوس، ولكن لا يمكن قبوله من جميع الأطراف. فما زالت المجادلات تنشب عن كلا افتراضي كوندراشوف، وليس من السهل قياس معدل التطافر ولا التفاعلات التي تحدث بين الطفرات المختلفة بشكل مباشر. وإن كان هناك أي إجماع فهو على أن النظرية قد تكون صحيحة في قليل من الأحوال، وأن الافتراضين كثيراً ما يكونان خطأ بدرجة تجعلهما لا يُبرران ذلك الكَم الهائل من التكاثر الجنسي الذي يجري في العالم. كما لا تُفسِّر نظرية كوندراشوف منشأ التكاثر الجنسي لدى الكائنات وحيدة الخلية البسيطة التي لا تقلق بشأن كونها كبيرة أو مُعقدة.

وهكذا، فإن التكاثر الجنسي ينفع المجتمعات بأن يأتي بتجمعيات مفيدة من الجينات، وبأن يتخلص من التجمعيات غير المفيدة. وعلى مدى النصف الأول من القرن العشرين كانت تلك القضية تُعتبر محسومة تقريباً، وإن كان السير رونالد فيشر قد أعرب عن بعض التحفظات بخصوص نظريته هو شخصياً. وبصفة عامة، كان فيشر - مثل داروين - يعتقد أن الانتقاء الطبيعي يؤثِّر على الأفراد بوصفهم أفراداً، ولا يعمل لصالح النوع ككلٍ. إلا أنه وجد نفسه مجبراً على أن يستثنى عملية إعادة تجميع الجينات (التأشيب) التي يمكن تفسيرها على أنها نشأت لصالح النوع وليس لصالح الفرد. وصحِّح أن نظرية كوندراشوف هي في صالح غالبية الأفراد، وإن كانت تصحِّي بأحد الأفراد بين الحين والحين، ولكن حتى في هذه الحالة فإن الفوائد المباشرة للتكاثر الجنسي لا يمكن الشعور بها إلا بعد أجيال كثيرة. كما أن هذه الفوائد لا تمس الأفراد بالفعل، بالمعنى التقليدي على الأقل.

كان الفتيل الذي أشعله فيشر بطيء الاشتعال، ولكن القنبلة الموقوتة انفجرت في النهاية في منتصف عقد السبعينيات، حين بدأ التطوريون التشبث بأفكار الجينات الأئمانية ومفارقة السلوك الإيثاري. ظهرت بعض الأسماء الكبيرة في نظرية التطور؛ مثل: جورج سي ويليامز، وجون ماينارد سميث، وبيل هاملتون، وروبرت تريفرز، وجراهام بل، وريتشارد دوكينز؛ ليضططعوا بالمشكلة. ولقد صار واضحًا أن السلوك الإيثاري يندر في عالم الأحياء؛ فنحن حَقّا - كما قال دوكينز - دمى عمياء لجينات أئمانية لا تعمل في الغالب إلا لصالحها الشخصية. وقد كان السؤال، من وجهة النظر الأئمانية تلك هو: لماذا

لا يفوز المحتالون على الدوام؟ ولماذا يضحي أي فرد بأفضل مصالحه الآن (وهو التكاثر بالاستنساخ) من أجل فائدة (الصحة الجينية) لا يمكن أن يكتسبها نوعه إلا في مرحلة بعيدة ما في المستقبل؟ فبالرغم من كل ما نتمتع به من بصائر، فإننا بوصفنا بشراً نجد صعوبة في العمل من أجل مصالح ذرياتنا في المستقبل القريب، ولتفكر فيما يحدث من تدمير الغابات، وارتفاع حرارة الأرض، والانفجار السكاني. فكيف إذن يمكن أن يعيلى التطور الأنثاني الأعمى (حسبما يقولون) فوائد التكاثر الجنسي طولية الأمد للناس فوق مستوى تكاليفه وأعبائه المضاعفة قصيرة الأمد، بكل عيوبها الواضحة الحاضرة؟

تُوجَد إجابة واحدة ممكنة، هي أن استمرار وجود التكاثر الجنسي إنما راجع إلى صعوبة أن يختفي بفعل عملية تطُور عكسية. وإذا كان الأمر كذلك فإن الكلفة قصيرة الأمد للتكاثر الجنسي هي أمر غير قابل للمناقشة. تتسم هذه الحاجة بقدر من الواجهة. كما ذكرت سابقاً فإن جميع الأنواع المستنسخة نشأت مؤخرًا، أي منذ آلاف، وليس ملايين السنين. وهذا هو بعينه نوع النمط الذي نتوقعه إذا كانت الأنواع المستنسخة تنشأ بصفة نادرة، ثم تستمر فترة وتض migliori بعدها باضطراد إلى أن تتعرض على مدى آلاف السنين. وبالرغم من «ازدهار» الأنواع اللاجنسية أحياناً فإن التكاثر اللاجنسي لم يحل محل التكاثر الجنسي بالكامل إلا نادرًا؛ لأننا في أي لحظة بعينها لا نجد إلا القليل من الأنواع اللاجنسية حولنا. وفي الواقع إن هناك بعض الأسباب القوية التي جعلت من الصعب على الكائنات الجنسية أن تنتقل إلى التكاثر بالاستنساخ. ففي الثدييات على سبيل المثال، تُوجَد ظاهرة تُعرف باسم الدمغ (يتم بمقتضاه تعطيل بعض الجينات الأمومية أو الأبوية) وتعني أن أي ذرية يجب أن ترث الجينات من كلا الأبوين، وإلا فلن تكون قابلة للحياة. ويبعد من العسير من الناحية التقنية التخلّي عن ذلك الاعتماد على وجود جنسين؛ فلم يحدث أن تخلي حيوان ثديي عن الاتصال الجنسي. وبالمثل في النباتات الصنوبرية، من الصعب إبطال وجود الجنسين؛ لأن الميتوكوندريا تورث في البويضة، بينما يتم توريث بلاستيدات الكلوروفيل في حبة اللقاح. ولكي تكون الذرية قابلة للحياة، يجب أن ترث كليهما؛ مما يتطلب وجود أبوبين. ونؤكِّد مرة ثانية أن كل النباتات الصنوبرية المعروفة جنسية.

لكن هذه الحاجة تتوقف عند هذا الحد. فهناك أسباب عدة تجعلنا نعتقد أن التكاثر الجنسي لا تقتصر فائدته على المجتمع عموماً، بل يجب أن تكون له منافع مباشرة للفرد أيضاً. فأولاً، هناك عدد كبير من الأنواع – بل أغلب الأنواع إذا وضعنا في اعتبارنا العدد

الهائل من الكائنات وحيدة الخلية — يُعتبر جنسياً «اختيارياً»؛ بمعنى أنه لا ينخرط في التكاثر الجنسي إلا بين الحين والآخر، بل قد لا يحدث هذا إلا مرة كل ثلاثة جيلاً أو نحو ذلك. وفي الواقع، بعض الأنواع مثل طفيلي الجيارديا لم يحدث مطلقاً أن رُصد وهو ينخرط في عملية تكاثر جنسي، ولكنه مع ذلك يحتفظ في داخله بكل الجينات الازمة للانقسام الاختزالي، بما يوحي بأنه ربما يلجأ إلى اختلاس التزاوج حينما يكون بعيداً عن أعين المراقبين وحسب. وهذا المنطق لا ينطبق على الكائنات وحيدة الخلية العجيبة فقط، بل على بعض الكائنات الكبيرة أيضاً، مثل القوّاص والعظايا والحشائش، التي تتنقل من الاستتساخ إلى التكاثر الجنسي حينما تملي عليها الظروف ذلك. ومن الواضح أنها يمكن أن تعود إلى الاستتساخ كلما شاءت، ومن ثم لا يُعتبر حاجزاً «الصدفة» هو الجواب.

ويُوجَد افتراض مماثل ينطبق على منشأ عملية التكاثر الجنسي. فحينما تم «اختراع» التكاثر الجنسي للمرة الأولى من قِبَل أول حقيقة النوى (وسنذكر المزيد عن هذا فيما بعد)، فلا بد أن كان ثمة عدد قليل من الخلايا التي تتکاثر جنسياً ضمن مجتمع أكبر من الخلايا التي تتکاثر لا جنسياً. ولكي تنتشر في أنحاء ذلك المجتمع (كما لا بد أن يكون قد حدث؛ لأن جميع حقائق النوى تنحدر من سلف كان جنسياً بالفعل) لا بد أن تكون عملية التكاثر الجنسي نفسها قد أعطت ميزة لذرية الخلايا المتکاثرة جنسياً. وبتعبير آخر نقول إن التكاثر الجنسي لا بد أن يكون قد انتشر أصلًا لأنه نفع أفراداً ضمن مجتمع ما وليس المجتمع كُلّاً بصفة عوممية.

هذا الإدراك الواضح — بأن التكاثر الجنسي لا بد أن ينفع الأفراد، بالرغم من كلفته المضاعفة — ورد على لسان جورج سي ويليامز في عام ١٩٦٦. وقد بدا وقتها كأنَّ المشكلة قد حلَّتْ، لكنها الآن بربت مجدداً في أعقد صورة. فلكي ينتشر التكاثر الجنسي في مجتمع لا جنسي، كان حتماً على الأفراد الجنسيين أن ينجحوا أكثر من ضعف عدد الذرية الباقيَة على قيد الحياة من كل جيل. ومع ذلك، فقد كانت آليات التكاثر الجنسي العادلة مفهومَة جيداً؛ فمقابل كل فائز هناك خاسِر، ومقابل كل مجموعة جيدة من الجينات هناك واحدة معيَّنة. وقد تتحمَّ أن يكون التفسير دقيقاً وهائل الأثر في الآن عينه، بحيث يكون ماثلاً أمامنا ومع ذلك خفيَا علينا فلا نراه. ولا غرو أنَّ جذب هذا اللغز بعضاً من أرقى العقول في ميدان علم الأحياء.

نقل ويليامز بؤرة التركيز من التركيز إلى الجينات إلى البيئة، أو تحديداً إلى علم البيئة. وطرح تساؤلاً: لماذا يكون من الخير أن تكون مختلفاً عن والديك؟ وأجاب قائلاً: قد يكون

هذا مهمًا إذا كانت البيئة تتغير، أو إذا كانت الكائنات تغزو منطقة جديدة، وتوسّع نطاق نشاطها؛ بالانتشار أو الهجرة. ومن ثم خلس ويليامز إلى أن التكاثر بالاستنساخ يشبه شراء مائة تذكرة يانصيب، كلها بنفس الرقم، لكن من الأفضل أن تشتري خمسين تذكرة، كل منها برقم مختلف، وهذا هو الحل الذي يُقدمه الجنس.

تبعد الفكرة معقوله، وبالتأكيد هناك حالات تكون فيها صحيحة، ولكنها كانت الأولى من بين فرضيات بارعة كثيرة تم وزنها في مقابل المعطيات وتبيّن ضعفها. فإذا كان التكاثر الجنسي هو الحل لمشكلة تقلّب البيئة، فلا بد أن نجد المزيد من الممارسة الجنسية في المناطق المرتفعة أو البعيدة عن خط الاستواء المعرّضة للأحوال المتقلبة، أو في مجاري المياه العذبة التي تتعرّض للفيضانات أو للجفاف بشكل متناوب. ولكن كقاعدة عامة فإننا لا نجد هذا يحدث، بل إن هناك المزيد من التكاثر الجنسي في البيئات المستقرة المكتظة بالسكان، مثل ضفاف البحيرات أو البحار والمناطق المدارية. وبصفة عامة، إذا تغيّرت البيئة سلبيًّا فإن النباتات والحيوانات تتبع الأحوال الأفضل لها؛ بحيث تنتقل شمالاً — على سبيل المثال — بعد ذوبان الثلوج في الشمال. ومن النادر أن تتحسن البيئة بسرعة لدرجة يجعل الذرية تحتاج إلى أن تختلف في كل جيل. من المفترض أن تكون الممارسة الجنسية المتباعدة أفضلاً؛ فالنوع الذي يتکاثر بالاستنساخ أغلب الوقت، لكنه يتزاوج مرة كل ثلاثة جيلاً على سبيل المثال، يستطيع أن يتغلب على الكلفة المضاعفة للتکاثر الجنسي دون أن يفقد فائدة التأشيب. ولكن هذا ما لا نجد له في الواقع في أغلب الأحوال، على الأقل بالنسبة للكائنات الكبيرة كالنباتات والحيوانات.

كما أخفقت أفكار بيئية أخرى، مثل التناسق على الأرض، في أن تجد دعماً من المعطيات المتاحة. ولكن على نحو مفاجئ ظهرت فكرة في هذا الاتجاه الذي هجره العلماء، وهي فكرة «المملكة الحمراء». هذه الملكة، إذا لم تكن قد صادفتها من قبل، هي شخصية سريالية مأخوذة من القصة العبيبية التي ألفها لويس كارول بعنوان «عبر المرأة». فحينما تقابل أليس الملكة، تكون أليس في حالة الجري المحموم، دون أن تصل إلى هدف محدد، فتقول لها الملكة: «توقفي وفكري فيما أقول؛ مما جريت بأقصى ما تستطيعين، فستبقين في نفس المكان.» وبينما يستخدم علماء الأحياء هذه الفكرة عند حديثهم عن سباق التسلح والتکالب على مناطق النفوذ بين الأنواع المختلفة من الكائنات التي تدور في فَلَك المنافسة الدائمة المستمرة — فهم يتسابقون معًا دائمًا، دون أن يسبق أحدُ منهم غيره إلا لوقت قصير — فإن نفس الفكرة لاقت أكبر صدى لها فيما يختص بنشوء الجنس.^٥

حظيت نظرية الملكة الحمراء بتأييد قوي في بدايات ثمانينيات القرن الماضي على يد بيل هاملتون، وهو عالم لامع في علم الجينات الرياضية وأحد أنصار المذهب الطبيعي، ويعتبره الكثيرون «أبرز مؤيدي المذهب الدارويني منذ عصر داروين». وبعد أن قدّم هاملتون سلسلةً من المقالات المهمة في تعضيد النظرية الداروينية (إذ قدّم، على سبيل المثال، نماذج لارتفاع الأقرباء لتفصير السلوك الإيثاري) سقط فريسة للطفيليات، ولا سيما طفيلي الملاريا الذي غزا جسمه بشراسة في سن ٦٣ عاماً، حينما كان ضمن حملة جريئة في حوض نهر الكونغو بأفريقيا في عام ١٩٩٩؛ إذ كان يبحث عن قرود الشمبانزي المصابة ببعدي فيروس الإيدز، ثم مات في عام ٢٠٠٠. وإثر ذلك نشر أحد زملائه – ويدعى روبرت تريفيرز – نعيًا مؤثراً في مجلة «نيتشر»، وكتب قائلاً: «إن هاملتون كان عقله أكثر العقول التي صادفتها في حياتي غموضاً وتعددًا في مستوياتها. فما كان يقوله غالباً ما يكون له معنیان أو ثلاثة معان، فإذا كان الآخرون يتحدثون ويفكرون بنغمات مفردة، فإنه كان يفكر بنغمات متعددة متالفة».

وقبل ظهور هاملتون باهتماماته الحماسية كانت للطفيليات سمعة سيئة، حتى إن عالماً بريطانياً في علم الحيوان كان يعيش في عصر الملكة فيكتوريا وكانت آراؤه ذات تأثير قوي، ويدعى راي لانكستر، كان يزدري الطفيليات وينبذها باعتبارها نتاجاً حقيراً للتردي والانحطاط التطوري (وكان يعتقد أن هذا سيكون أيضاً مصير الحضارة الغربية في المستقبل)، واستمرت آراء لانكستر التشاورية تخيم بظلالها على علماء الحيوان على مدى قرن كامل بعدها. ونذر أن يوجد باحثون من خارج نطاق علم الطفيليات راغبون في أن يبرزوا ما تتمتع به الطفيليات من قدرات مذهلة على التألف؛ إذ يتغير شكلها وطبعتها من عائل لآخر، وتؤلم نفسها مع أهدافها بدقة عجيبة، وهي أسس حيرت علماء الطفيليات على مدى عقود عدة. إن الطفيليات بعيدة تماماً عن فكرة الضعف والتحلل؛ إذ هي من بين أكثر الأنواع المعروفة براعة في التألف، بل وأكثر من هذا، فإنها ناجحة بشكل يثير الدهشة؛ فبعض التقديرات تشير إلى أنها تزيد في أعدادها عن الأنواع حرة المعيشة بأربعة أضعاف. وسرعان ما أدرك هاملتون أن التنافس الذي لا يلين بين الطفيليات وعوائلها هو الأرضية التي تجعل التكاثر الجنسي يُقدّم مزية عظيمة.

لماذا يكون المرء أحياناً مختلفاً عن والديه؟ ربما كان السبب هو إصابة الوالدين بالطفيليات بكثافة، وربما كانت إصابتهم تلك طويلة الأمد. وبينما الأشخاص المحتظون الذين يعيشون في بيئات صحية في أوروبا أو أمريكا الشمالية قد لا يحسون بأضرار

العدوى الشنيعة بالطفيليات وأهواها، فإن باقي أنحاء العالم ليس في أغلبه محظوظاً مثلك؛ فهناك أمراض خطيرة مثل الملاريا ومرض النوم والعمى النهري تُسبّبها كائناتٌ طفيليَّة وتجلب للكثيرين البؤس والشقاء، بل يوجد في أنحاء العالم ما لا يقل عن ملياريْ نسمة مصابين بعدي الطفيليات بنوع أو بأخر. وإننا بصفة عامة أكثر عرضة لأن نَّقَع فريسة لهذه الأمراض أكثر من وقوعنا فريسة للحيوانات المفترسة، أو الأحوال الجوية المتطرفة أو المجاعات. وبصفة أكثر عمومية، من الشائع أن تكون الحيوانات والنباتات المدارية عوائل لما يصل إلى عشرين نوعاً مختلفاً من الطفيليات دفعة واحدة.

والتكاثر الجنسي مفيد هنا لأن الطفيليات تتطور بسرعة؛ فأعمارها قصيرة ودورات حياتها سريعة وأعدادها هائلة. فلا تحتاج لوقت طويل حتى تتأقلم مع عوائلها حتى عند أدق المستويات الجزيئية: بروتين لبروتين، وجين لجين. وإخفاقها في هذا الصدد يكلفها حياتها، ونجاجها يعطيها الحرية في النمو والتکاثر. وإذا كان مجتمع العوائل متماثلاً من الناحية الجينية، فسيجد الطفيلي الناجح حريته في التفشي في المجتمع بأكمله، وقد يقضي عليه تماماً. ولكن إذا كانت العوائل متغيرة فيما بينها، فهناك فرصة، بل فرصة قوية، لأن يكون لدى بعض الأفراد منها نمط جيني نادر يمكنه أن يقاوم الطفيلي. ويمكن لهؤلاء الأفراد أن يعيشوا بشكل لا بأس به إلى أن يُضطر الطفيلي إلى أن يركز اهتمامه في هذا النمط الجيني الجديد وإلا واجه الانقراض هو نفسه. ومن ثم تستمر لعبة القط والفأر، جيلاً بعد جيل، وتدور الأنماط الجينية وتتوالى، ويستمر الجري، ويتوالى السعي، بلا نهاية محددة ولا وجهة مقصودة؛ تماماً مثل تلك الملة الحمراء في قصة لويس كارول العبيثية. ومن ثم فإن التكاثر الجنسي موجود ليحدَّ من انتشار الطفيليات.^٦

أو هكذا تقول النظرية على أي حال. من الحقيقي بالتأكيد أن التكاثر الجنسي يتفشّى في المناطق المكتظة بالسكان؛ حيث تزدهر الطفيليات، ومن الحقيقي أيضاً بنفس الدرجة أن التكاثر الجنسي يمنحك فائدة فورية واضحة لذرية أولئك الناس بصفة فردية تحت هذه الظروف. لكن حتى في هذه الحالة، هناك شكوك عما إذا كان التهديد الذي تفرضه الطفاليات خطيرًا بالفعل لدرجة تكفي لتبرير نشوء التكاثر الجنسي وتطوره وانتشاره على نطاق واسع. وإن نوع دورات النمط الجيني الذي لا يلين، والذي تنبأت به نظرية الملة الحمراء، لا يمكن اكتشافه بسهولة في الطبيعة، كما أن نماذج الكمبيوتر المصممة لاختبار الظروف التي تعزز التكاثر الجنسي ترسم صورة أكثر محدودية بكثير من التصور الأصلي المتفجر لها ملتوون.

وفي عام ١٩٩٤، على سبيل المثال، اعترف كيرتس ليفلي — وهو أحد الرواد الذي تبنّوا نظرية الملكة الحمراء — بأن عمليات المحاكاة المعتمدة على الكمبيوتر أظهرت أن الطفيلييات لا تعطي ميزة مؤكدة واضحة للتكاثر الجنسي إلا حينما تكون احتمالات العدوى بالطفيلييات مرتفعة (بنسبة أكبر من ٧٠ بالمائة) وتكون أضرار الطفيلييات على كفاءة العوائل فادحة (بنسبة نقصان للكفاءة تزيد عن ٨٠ بالمائة). ومع أن هذه الظروف والشروط تنطبق في حالات قليلة، فإن أغلب حالات العدوى بالطفيلييات لا تكون بالشدة الكافية لإعطاء التكاثر الجنسي اليد العليا. كما أن حدوث الطفرات يعني أن المستنسخات أيضًا يمكن أن تصير متباعدة جينيًّا بمرور الزمن، وتظهر نماذج الكمبيوتر أن المستنسخات المتباعدة تميل لأن تصيب نجاحًا أكثر من الكائنات الجنسية. إلا أن عمليات التدقيق البارعة المختلفة تعطي نظرية الملكة الحمراء المزيد من القوة، لكنها ليست قوة كافية. ومع حلول منتصف التسعينيات لم يكن ثمة أحد من أطراف هذه القضية إلا وكان يشعر بشيء من الإحباط، وهو إحباط ناجم عن أنه لا تُوجَد نظرية واحدة استطاعت أن تبرّر نشوء التكاثر الجنسي واستمراره.

بالطبع ما من شيء يُحَتمُّ أن تُفسِّر نظريةً واحدةً فقط التكاثر الجنسيًّا. فلا تُوجَد نظرية تُقصِّي غيرها من النظريات عن الساحة تمامًا، ومع أن هذا الحل قد يبدو غير منضبط من وجهة النظر الرياضية، فإن الطبيعة يمكنها أن تسير على هذا النحو غير المنضبط كما تشاء. وبداءً من منتصف التسعينيات بدأ الباحثون في الدمج بين النظريات ليروا ما إذا كان بعضها يدعم بعضاً بطريقة ما. وهذا يحدث بالفعل؛ فمن المهم معرفة النظريات التي قد تتوافق مع نظرية الملكة الحمراء، وهي تتفق مع بعض النظريات بأكثر مما تتفق به مع غيرها. وقد أظهر كيرتس ليفلي أننا إذا استعنًا بنظرية الملكة الحمراء وسقاطة مولر معًا، فإن احتمالية نشوء التكاثر الجنسي ترتفع، وهو ما يجعل كلتا النظريتين أكثر قابلية للتطبيق. ولكن حينما عاد الباحثون مجددًا لفحص المعاملات المختلفة، تبيَّن أن أحدهما خطأً بالتأكيد؛ فقد كان البناء محكمًا من الناحية الرياضية لدرجة لا تُناسب عالمَنا الواقعيًّا. ونعني بهذا افتراض أن حجم مجتمع الكائنات لامحدود؛ فأغلب المجتمعات السكانية من الكائنات ليست أبعد ما تكون عن صفة اللامحدودية وحسب، بل إن حتى أوسع المجتمعات السكانية انتشارًا تكون مبنية على أسس جغرافية، ومقسمة إلى وحدات محدودة مراعاة للأمان، وتكون معزولة جزئيًّا. وهذا يصنع فارقاً يُثير الدهشة.

ولعل أكبر مفاجأة هي الشيء الذي تغيّر بالتحديد. فلقد بُرِزَت الأفكار القديمة عن علم جينات السكان التي ترجع إلى فيشر ومولر في الثلاثينيات مجدداً من مرقدها داخل أضابير الكتب؛ لكنه تصوير - في اعتقادي - أكثر النظريات نجاحاً في تفسير انتشار التكاثر الجنسي واستمراره. ومع أن عدداً من الباحثين من عقد الستينيات وما بعده طوروا أفكار فيشر - لا سيما ويليام هيل وللان روبرتسون وجو فلسنشتاين - فإن المعالجات الرياضية الملموسة من جانب نيك بارتون في جامعة إدنبرة، وسارة أوتو في جامعة كولومبيا البريطانية؛ هي التي دفعت الجهود قدمًا بالفعل. وعلى مدى العقد الماضي نجح نموذجها الموضع في تفسير التكاثر الجنسي سواء فيما يتعلق بفائدة للأفراد أو فائدة للمجتمعات. ومما يبعث على السرور أن الإطار الجديد يضمُ أيضاً نظريات أخرى، بدءاً من يانصيب ويليام وحتى الملكة الحمراء نفسها.

تعتمد الأفكار الجديدة على تفاعل المصادفة والانتقاء في المجتمعات المحدودة. أما في المجتمعات اللامحدودة، إن وُجِدتْ، فأي شيء يمكن أن يحدث سوف يحدث. فمن المحتم أن تبرز التوليفة المثالية من الجينات، ومن المرجح لا يستغرق هذا وقتاً طويلاً. ولكن في المجتمعات المحدودة يختلف الموقف كثيراً؛ ذلك لأنه بدون إعادة تجميع الجينات على الكروموسومات (أي التأشيب) تكون الجينات مرتبطة معًا على الكروموسوم مثل حبات المسحة على الخيط. ويعتمد مصير الكروموسوم على الخيط الرابط ككل، وليس على نوعية الجينات المفردة. أغلب الطفرات الجينية تكون ضارة، ولكنها ليست معيبة لدرجة أن تُودي بكروموسوم جيد مباشرة. وهذا يعني أن بإمكانها أن تتراكم وأن تقلل من كفاءة الكروموسومات تدريجياً؛ مما يسهم في تكون خلفية كروموسومية معيبة. ومن النادر أن تكون الطفرات الجينية البطيئة خطيرة لدرجة تكفي لأن تُعطل أو تقتل، ولكنها تثبط النشاط الجيني وتقلل كفافته في المتوسط بشكل غير محسوس.

ومن قبيل المفارقة أن الطفرات المفيدة، حينما تعمل في ظل خلفية كروموسومية معيبة، قد تُسبّب الفوضى والأضرار. ولنفترض جدلاً أن هناك ٥٠٠ جين على أحد الكروموسومات، فيمكن أن يحدث أحد أمرين: إما أن تتم إعاقة انتشار التطافر الجيني من جراء ضعف الخلفية الكروموسومية، أو لا يحدث هذا. في الحالة الأولى يتبدّل التأثير الجيّد للانتقاء الإيجابي القوي لأحد الجينات بفعل الانتقاء الضعيف لـ ٤٩٩ جيناً الأخرى. ويكون التأثير الكلي في هذه الحالة متعدّلاً، وهناك فرصة لا يأس بها أن يحدث فقدان للطفرة المفيدة مجدداً؛ لأن الجين لا يملك بالكاف مزية يفضلها الانتقاء الطبيعي. بتعبير

آخر، فإن التداخل بين الجينات على نفس الكروموسوم، والمعنى «التداخل الانتقائي»، يحجب فوائد الطفرات المهمة ويعوق الانتقاء.

إلا أن البديل الثاني يتميز بنوع من البراعة الساحرة. فتخيل أن هناك خمسين شكلاً مختلفاً من نفس الكروموسوم موزعة عشوائياً على مجتمع ما من السكان، فإذا ظهرت طفرة جديدة تكون مفيدة بدرجة تكفي لأن تنتشر في المجتمع بكامله، فلا بد لها تحديداً أن تزيح جميع الأشكال الأخرى من نفس الجين. وتكمم المشكلة في أنها لا تكتفي بإزاحة جميع الأشكال الأخرى من نفس الجين، ولكن جميع الأشكال الأخرى من جميع الجينات على نفس الكروموسوم، بمقتضى التنافس المحموم. فإذا حدثت الطفرة الجديدة على واحد من هذه الكروموسومات الخمسين، فلا بد حينئذ أن يفقد التسعة والأربعون كروموسوماً من ذلك المجتمع. وفي الواقع، إن الأمر أسوأ من هذا؛ إذ لا ينطبق هذا المبدأ على الجينات المرتبطة بنفس الكروموسوم فحسب، بل على جميع الجينات التي تشارک في مصيرها داخل الكائن المستنسخ، أي جميع جينات الكائن. وعلى نحو كارثيٍّ يتم هكذا فقدان كل التنوع الجيني عملياً.

عموماً إذن، نقول إن الطفرات «السيئة» تفسد الكروموسومات «الجيدة»، بينما تبقى الطفرات الجيدة لصيقة بالكروموسومات «السيئة»؛ مما يسبب تآكل الكفاءة في كلتا الحالتين. وفي الحالات النادرة التي تحدث فيها طفرةٌ ما فارقاً كبيراً، يكون للانتقاء القوي تأثير كارثي على التنوع الجيني. ويمكن إدراك نتاج ذلك بوضوح في كروموسوم Y الضعيف في الرجال، الذي لا يحدث له تأشيب مطلقاً.⁷ إن الكروموسوم Y مجرد ظلٌّ للكروموسوم X الأنثوي (الذي يحدث له تأشيب؛ لأن النساء لديهن نسختان من كروموسوم X)، وهو لا يزيد كثيراً عن كونه جنلاً به قليل من الجينات الباقية عليه، مختلطة بمقدار كبير من اللغو الجيني عديم المعنى. ولو كانت كل الكروموسومات بمثل ذلك القدر من التردد، لما كان ثمة أشكال ممكنة من الحياة المعقده.

ولا تتوقف البراعة الساحرة عند هذا الحد؛ فكلما كان الانتقاء أقوى كان هناك احتمال أكبر أن تحدث إزاحة انتقائية لأحد الجينات أو غيره. وأي قوة انتقائية قوية يكون لها تأثيرها هنا، سواء أكانت الطفيلييات أو المناخ، أو المجاعات، أو الانتقال والتشتت إلى أماكن معيشة جديدة، ومن ثم جاءت الرابطة بنظرية الملكة الحمراء، أو غيرها من نظريات التكاثر الجنسي. ويكون النتاج في كل حالة هو فقدان للتنوع الجيني؛ مما يسبب خفضاً للحجم الفعال للمجتمع السكاني. وبصفة عامة، تحتوي المجتمعات

الكبيرة على الكثير من التنوع الجيني، والعكس صحيح. والمجتمعات التي تتكاثر لا جنسياً (بالاستساخ) تفقد التنوع الجيني، مع كل عملية تطهير انتقائية. ومن منظور الآليات الجينية للمجتمعات السكانية، تتصرف المجتمعات الكبيرة (التي بالمليين) كأنها صغيرة (أي بالآلاف) وهذا يفتح الباب للصدفة العشوائية مجدداً. ومن ثم يحول الانتقاء المكثف حتى المجتمعات الضخمة إلى مجتمعات صغيرة الحجم في فعاليتها؛ مما يجعلها مهيضة الجناح وعرضة للانحلال والانقراض. وقد أظهرت سلسلة من الدراسات أن هذا النوع بعينه من الفقر الجيني واسع الانتشار، ليس في المستسخات فحسب، ولكن أيضاً في أنواع الكائنات التي لا تتزاوج إلا قليلاً جدًا. والميزة الراوعة للتكاثر الجنسي هي أنه يسمح للجينات الجيدة بأن تتأثر بعيداً عن الفوضى الضاربة في خلفياتها الجينية، بينما تحافظ بشكل فوري على قدرٍ كبير من التنوع الجيني المختفي ضمن المجتمعات السكانية.

وُثبِّتَ النماذج الرياضية لبارتون وأوتو أن «التدخل الانتقائي» بين الجينات ينطبق على الأفراد، وليس المجتمعات فحسب. وفي الكائنات التي يمكنها أن تتكاثر جنسياً ولا جنسياً معًا، يمكن أن يتحكم جين واحد في مقدار الممارسة الجنسية. ويشير التغير في معدل انتشار ذلك الجين الجنسي إلى نجاح التكاثر الجنسي بمورور الزمن. فإذا ارتفع معدل انتشاره يفوز التكاثر الجنسي، وإذا انخفض يفوز التكاثر اللاجنسي. ومن المهم أن نلاحظ أنه إذا ارتفع معدل انتشار ذلك الجين من جيل إلى الذي يليه نقول حينئذ إن التكاثر الجنسي ينفع الأفراد. وفي الواقع إنه يرتفع. ومن بين جميع الأفكار التي ناقشناها في هذا الفصل، يُعتبر التداخل الانتقائي هو الأكثر تطبيقاً على نطاق واسع. ويكون التكاثر الجنسي أكثر نجاحاً من الاستساخ (بالرغم من تكلفته المضاعفة) تحت جميع الظروف تقريباً، ويكون الفارق أكبر ما يمكن حينما يكون المجتمع متنوعاً بدرجة عالية، ويكون معدل التطافر عالياً، وضغط الانتقاء قوياً؛ وهي ثالوث غير مقدس يجعل النظرية مناسبة بشكل جلي لتفسير منشأ التكاثر الجنسي نفسه.

لقد عانى بعض من أفضل العقول في علم الأحياء في سبيل حل معضلة التكاثر الجنسي، ولكن لم يُقدم إلا قلة جريئة على تخمين أصله العميق ومناقشته. فهناك الكثير من الأمور غير المؤكدة بشأن نوعية الكيان أو البيئة التي نشأ التكاثر الجنسي فيها؛ ومن ثم يجب أن ننظر إلى أي تخمينات بشأن هذا الأمر بوصفها محض تخمينات لا أكثر. وحتى في

هذه الحالة، وبالرغم من المجادلات التي لا تزال مُستَعِرة، فإن هناك نقطتين أعتقد أن أغلب المنتهين لهذا الحال يمكن أن يتفقوا عليهما.

أولاًهما أن السلف المشترك لجميع حقيقيات النوى قد مارس التكاثر الجنسي. بمعنى أننا لو أعدنا بحث الخصائص المشتركة للنباتات والحيوانات والطحالب والفطريات والكائنات الأولية، فسنجد أن التكاثر الجنسي هو واحد من الخصائص الرئيسية التي تُوجَد لدينا جميعاً بصفة مشتركة. إن الحقيقة القائلة إن التكاثر الجنسي سمة أساسية لحقويات النوى جلية بدرجة كبيرة. وإذا كان ننحدر جميعاً من سلف مارس الجنس، والذي بدُوره انحدر من البكتيريا اللاجنسي، إذن فلا بد أن يكون ثمة عنق زجاجي ما لا يمكن أن تكون قد مرّت منها إلا حقيقيات النوى الجنسي. ومن المفترض أن أوائل حقيقيات النوى كانت لا جنسية مثل أسلافها البكتيرية (لم يحدث أن انخرطت البكتيريا في التكاثر الجنسي) ولكنها اندثرت جميعاً.

والنقطة الثانية التي أعتقد أن الكل يتفق فيها معي تتعلق باليتوكوندريا، التي هي «محطات توليد الطاقة» للخلايا حقيقية النوى. فلا خلاف الآن على أن الميتوكوندريا كانت فيما مضى من البكتيريا حرفة المعيشة، ويبدو بصفة شبه مؤكدة أن السلف المشترك لحقويات النوى التي تعيش اليوم كان لديه ميتوكوندريا بالفعل. كما لا شك في أن هناك المئات إن لم يكن الآلاف من الجينات التي انتقلت من الميتوكوندريا إلى خلية العائل وأن «الجينات القافزة» التي ترتصع جينومات جميع حقيقيات النوى تقريباً مشتقة من الميتوكوندريا، ولا يخضع أيٌ من هذه الملاحظات للجدل، ولكنها ترسم معًا لوحةً شديدةً

الوضوح لضغوط الانتقاء التي ربما دفعت إلى نشوء التكاثر الجنسي في المقام الأول.^۸

حاوِلْ أن تخيلِ الأمر: إنها أول خلية حقيقة النواة، وهي خلية هجينة، بها بكتيريا دقيقة الحجم تعيش داخل خلية عائل أكبر حجماً. وكل مرة يموت فيها واحد من تلك البكتيريا المحتبسة داخلياً تتحرر جيناتها؛ فتنتمر كالمطر على كروموسومات خلية العائل. وتدخل بعض شذراتها عشوائياً إلى كروموسوم العائل مستعينة بالطرق القياسية التي تتبعها البكتيريا في إدخال الجينات. وبعض هذه الجينات الجديدة يكون ذا قيمة، والبعض الآخر بلا فائدة، وإنما هي نسخ طبق الأصل من الجينات الموجودة بالفعل. ولكن بعضها يعمل كإسفين منحرش وسط جينات العائل فيقطعها قطعاً وشظايا. إن الجينات القافزة تلحق الفوضى بالخلايا، ولا تملك خلية العائل سبيلاً لکبح جماحها وإيقاف تفاصيلها؛ ومن ثم نجدها تقفز مطلقة السراح نحو الجينوم، فتحشر أنفسها

بين الجينات، فتقطعُ الكروموسوم الدائري لخلية العائل إلى كروموسومات مستقيمة متعددة؛ وهي التي تُوجَد فينا جميعاً معشر حقيقيات النوى التي تعيش اليوم (انظر الفصل الرابع).

إنه حقيقةً مجتمع سكاني شديد التنوع، يتطور سريعاً. إن الطفرات البسيطة تُكَلِّف الخلية جدارها. وهناك طفرات أخرى تؤلم الهيكل الخلوي البكتيري إلى الصورة الأكثر ديناميكية لحقائق النوى. ويُحتمل أن خلية العائل تشكل ما بها من نواة وأغشية داخلية عن طريق نقل غير منظم للجينات الآتية من البكتيريا الداخلية وتستخدمها في تكوين الدهون (اللازمة لتكوين أغشية النواة وغيرها). ولا يحتاج أيٌ من هذه التغيرات للقفز إلى المجهول؛ فجميع الخطوات يمكن أن تنشأ بإجراء نقلات جينية بسيطة وطفرات صغيرة. ولكن تُعتبر التغيرات، جميعها تقريباً، ضارة. فمقابل كل منفعة هناك ألف من الخطوات غير الموقفة، والطريق الوحيد لصياغة كروموسوم لا يقتلك والطريق الوحيد لضمّ أفضل الإبداعات والجينات معاً داخل خلية واحدة هو التكاثر الجنسي، التزاوج بكامل معناه، وليس مجرد عملية مقايضة ضعيفة وجزئية للجينات. والتكاثر الجنسي وحده يمكنه أن يجمع بين غشاء خلوي من إحدى الخليتين وهيكل خلوي ديناميكي، أو آلية للتوجيه البروتينات من الخلية الأخرى، ويمعن في الوقت نفسه جميع الإخفاقات. إلا أنَّ القدرة العشوائية للانقسام الاختزالي ربما «تسحب» فائزاً واحداً بالجائزة من بين ألف متسابق (أو من الأنساب أن نقول: باقياً واحداً على قيد الحياة) ولكنه على أي حال أفضل بكثير جداً من الاستنساخ. ففي مجتمع متتنوع ومتغير، ومع وجود معدل مرتفع في الطفرات الجينية وضعوط انتقالية مكثفة (ناتجة جزئياً عن ذلك الوابل من الجينات القافزة الطففية) لا يصلح الاستنساخ، بل يُحكم عليه بالبوار. ولا غرو أن يكون الجنس هو وسيلة التكاثر السائدة؛ فدون هذا التزاوج، لم يكن لنا نحن حقائق النوى أن نُوجَد في هذه الدنيا مطلقاً.

والسؤال الآن هو: إذا كان الاستنساخ محكوماً عليه بالبوار كما قلنا، فهل استطاع التكاثر الجنسي أن ينشأ ويتطور بسرعة تكفي ليأخذ دوره ووظيفته في الحياة؟ والإجابة، التي ربما تثير الدهشة، هي «نعم». كان من اليسير أن ينشأ التكاثر الجنسي كآلية ويتطور بسهولة. ومن الناحية الجوهرية للتکاثر الجنسي ثلاثة أوجه هي: الاندماج الخلوي، وفصل الكروموسومات، والتأشيب. ولنلقي نظرة سريعة على كلٍ منها على التوالي. الاندماج الخلوي هو أمرٌ يكاد يكون غير ممكِن في البكتيريا؛ لأنَّ الجدار الخلوي يُفقد جزئياً في هذه العملية، لكن حين تزول الجدرُ بين الخلايا قد تكون المشكلة معكوسه؛

إذ يصير من العسير تجنب الاندماج. فكثير من حقيقيات النوى البسيطة، مثل العفن الغروي والفطريات، تندمج خلاياها معاً لتكون خلايا عاملة عديدة النوى. وت تكون شبكات مفككة من الخلايا يُسمى كل منها «مدمج خلوي» بانتظام كجزء من دورات الحياة حقيقة النوى البدائية. و تستفيد الجينات القافزة المتطفلة، وكذلك الميتوكوندريا، من اندماج الخلايا معاً؛ إذ يمكنها حينئذ أن تصل إلى عوائل جديدة. ولقد تبيّن وجود عوامل عدة تحت على الاندماج الخلوي. وفي هذا السياق، قد تكون المشكلة الأصعب هي استحداث طرق لمنع الاندماج الخلوي. ومن ثم نقول إن أول متطلبات التكافث الجنسي، وهو الاندماج الخلوي، لم يكن - تقريرياً - يُمثل مشكلة.

أما فصل الكروموسومات، فيبدو للوهلة الأولى أكثر إثارة للتحمّي. وللتذكر أن الانقسام الاختزالي هو بمنزلة رقصة معقدة للكروموسومات التي تبدأ بشكل غير متوقع؛ إذ يحدث تضاعف في عدد الكروموسومات قبل أن تنفصل إلى أربع خلايا وليدة. فلماذا نصف الانقسام الاختزالي بأنه معقد؟ في الواقع إنه ليس كذلك تماماً؛ فمن المفترض بصفة عامة أنه ليس أكثر من عملية تعديل لطريقة الانقسام الخلوي الموجودة والعادلة التي نعرفها باسم الانقسام الفتيلي (غير المباشر)، التي تبدأ أيضاً بمضاعفة عدد الكروموسومات. ويرجح أن يكون الانقسام الفتيلي قد نشأ عن طريق تتبع بسيط للخطوات التي تحدث في عملية الانقسام الخلوي البكتيري، حسبما قال توم كافالير سميث، الذي استطرد في قوله؛ فأشار إلى أنه لا يوجد سوى تغيير أساسي ضروري واحد فقط لتحويل الانقسام الفتيلي إلى صورة بدائية من الانقسام الاختزالي، وهو أن يحدث إخفاق في هضم كل مقدار «الغراء» (المكون من مواد بروتينية تسمى كوهيسين) الذي يربط الكروموسومات معاً. فبدلاً من أن تدخل الخلية في دورة أخرى من التضاعف الخلوي، لضاغفة الكروموسومات مجدداً، فإن الخلية تتوقف لبرهة، ثم تعاود العمل ولكن في فصل الكروموسومات. وفي الواقع، إن الغراء المتبقى يُربك الخلية و يجعلها تظن أنها يجري تمهيداً للجولة التالية من الفصل الكروموسومي قبل أن تتم الجولة الأولى. ويكون نتاج هذا هو خفض عدد الكروموسومات، الذي افترضه كافالير سميث، والذي هو في الحقيقة الفائدة الأساسية للانقسام الاختزالي في المقام الأول. ولو لم تقدر أوائل الخلايا حقيقة النوى على التوقف عن الاندماج معاً لتشكيل شبكات خلوية بها كروموسومات متعددة (كما لا يزال يحدث اليوم في العفن الغروي) لكان من الضروري أن يحدث شكلٌ ما من الانقسام الاختزالي لتجديد الخلايا البسيطة بمجموعة واحدة من

الكروموسومات. وقد ساعد الانقسام الاختزالي عن طريق إحلاله محل الطريقة القياسية للانقسام الخلوي على تحقيق تجديد الخلايا المنفردة، وقد حَقَّ هذا بأقل قدر من الإزعاج الناتج عن وجود آلية للانقسام الخلوي.

وهذا يأخذنا إلى الوجه الآخر للتكاثر الجنسي وهو التأشيب، أو إعادة تجميع الجينات. ونقول مجدداً إن نشوء التأشيب لا يُمثل مشكلة؛ إذ إن جميع التجهيزات اللازمة موجودة في البكتيريا بالفعل، وقد تَمَّتْ وراثتها ببساطة. ولم يُستَّ التجهيزات فقط، بل إن طريقة التأشيب بالتحديد هي نفسها التي تحدث في البكتيريا وفي حقيقيات النوى. فقد أثبتت البكتيريا على أخذ جينات من البيئة (عن طريق عملية تُسمى النقل الجيني الجانبي) وإدخالها ضمن كروموسومها بالتأشيب. وفي حقيقيات النوى الأولى، لا بد أن نفس التجهيزات كانت مسؤولة عن إدخال الجينات البكتيرية التي انهمرت كالملط من الميتوكوندريا؛ مما أدى إلى التوسيع المستمر في أحجام الجينومات. وكما قال تيبور فيلاي من جامعة إيوتفوس لوراند بالعاصمة المجرية بودابست، فمن المرجح أن فائدة التأشيب في حقيقيات النوى الأولى كانت التحميل الجيني، كما في البكتيريا. ولكن ضغط تجهيزات التأشيب لأداء دور أكثر عمومية في الانقسام الاختزالي كان بالتأكيد إجراء شكلياً مفروغاً منه.

وهكذا من الأرجح أن نشوء التكاثر الجنسي لم يكن صعباً؛ فقد كان مقدراً له من الناحية الآلية أن يحدث. ولكن يعتبر علماء الأحياء أن المفارقة الأكثر عمقاً بالنسبة للتكاثر الجنسي هي أنه مستمر على طول المدى. لم يُستَّ قضية الانتقاء الطبيعي هي «البقاء للأصلح»؛ إذ إن البقاء لا قيمة له إذا فشل الكائن الأصلح في تحقيق التكاثر. منح التكاثر الجنسي تفوقاً مبدئياً عظيماً للاستنساخ، ولكنه كان له الغلبة بعد ذلك بين جميع حقيقيات النوى تقريباً. ولم تكن الميزة التي قدمها التكاثر الجنسي في البداية – على الأرجح – مختلفة عما يُقدمه اليوم؛ وهي القدرة على ضم أفضل تجمعات للجينات في نفس الفرد، والتخلص من الطفرات الضارة، وإدخال عدة ابتكارات قيمة. ولعل التكاثر الجنسي في تلك الأيام أنتج فائزاً واحداً فقط، أو حتى كائناً ضعيفاً حياً، من كل ألف حالة فشل، ولكن هذا لم يزل يعتبر أفضل من الاستنساخ، الذي مصيره الهلاك والبوار. وحتى في يومنا هذا قد يُتيح التكاثر الجنسي نصف عدد الذرية التي ينتجها الاستنساخ ولكنها أكثر كفاءة وصلاحية بمقدار الضعف.

ومن قبيل المفارقة أن هذه الأفكار بدأت عند بداية القرن العشرين، ثم تراجعت عن الصدارة لتعود في ثوب أكثر قشابة، مع تهاوي النظريات الأنثيقية على طول الطريق.

إنها تفسر التكاثر الجنسي من حيث فائدته للأفراد، ولكن ما يشرح الصدر أنها تضم أيضاً النظريات الأقدم على نحو مشابه لما يحدث في عملية التكاثر الجنسي ذاتها؛ إذ يتم التخلص من الأفكار المضللة، وتوفيق الأفكار المثمرة معًا في نظرية واحدة، كالجينات التي يُعاد تجميعها على الكروموسوم. فالآفكار أيضًا تتطور بهذه الصورة على نحو أفضل، وكلنا المستفيدون.

الفصل السادس

الحركة

القوة والبهاء

لا بد أن مقوله «للطبيعة أنياب ومخالب مخضبة بالدماء». هي واحدة من أكثر المقولات المنسوبة إلى داروين وروداً على الألسنة. وهذه المقوله — على أي حال — تمُسُّ المعنى المطلوب إبرازه، فحتى إذا لم تتعلق بالانتقاء الطبيعي نفسه فإنها تتعلق على الأقل بالإدراك العام لهذا الموضوع. وقد أخذت أصلاً عن قصيدة تأملية بعنوان «في ذكراه» للشاعر تنسisson، الذي أنهاها في عام ١٨٥٠ قبل نشر كتاب داروين «أصل الأنواع» بتسع سنوات. كانت القصيدة استجابة لوفاة صديق تنسisson، الشاعر آرثر هalam، ويعتمد السياق المباشر للأبيات على مفارقة كثيبة بشكل صادم للمشاعر بين حب الرب ولامبالاة الطبيعة. وقد قال تنسisson على لسان الطبيعة إنه ليس الأفراد وحدهم هم من يهلكون، وإنما الأنواع الأخرى من الكائنات أيضًا: «لقد ضاع ألف نوع؛ فلماذا أهتم وكل شيء في الدنيا سيدهب؟!» في حالتنا نحن تعني عبارة «كل شيء» كلَّ ما نعتبره عزيزاً في هذه الدنيا؛ الغاية والحب والحقيقة والعدالة والرب. ومع أن تنسisson لم يفقد إيمانه، فإنه في بعض الأوقات كانت تعصف به الشكوك والأوهام.

هذه النظرة القاسية للطبيعة، التي صارت تُعزى فيما بعد إلى الضغوط الطاحنة للانتقاء الطبيعي، حدث هجوم عليها من عدة محاور. وإذا أخذنا الفكرة حرفيًا فسنجد أنها — حتى في أحسن صورها — تتجلّل الحيوانات العاشبة والنباتات والطحالب والفطريات والبكتيريا وغيرها، وتختزل الحياة كلها في ذلك الصراع المحموم بين المفترس والفريسة. وحتى إذا أخذناها مجازياً، باعتبارها تُعبّر عن صراع أعمَّ من أجل البقاء

— الذي يراه داروين — فإنها تميل لأن تقلل من أهمية التعاون بين الأفراد وأنواع الكائنات، بل والجينات التي داخل الفرد نفسه؛ أي أهمية التكافل في الطبيعة. لا أريد أن ألهي في الحديث عن التعاون هنا، بل سأضع نصب عيني أهمية عملية الافتراض؛ وتحديداً الطريقة التي أدت بها إلى دفع خاصية الحركة، التي غيرت شكل العالم الذي نعيش فيه منذ زمن بعيد.

إن مقوله «للطبيعة أنياب ومخالب مخضبة بالدماء». تشي بفكرة الحركة؛ فعل أي مفترس أن يمسك بفريسته أولاً، وهذا ليس بفعل سلبي. ثم بعد ذلك عليه أن يُطبق فكيه عليها، وهو ما يتطلب حركة فتح ثم إغلاق للفم بقوة؛ فالعضلات هنا ضرورية. والمخالب أيضاً لا يمكنها التمزيق بسهولة إن لم تكن تعمل بشراسة تدفعها حركة العضلات. وأفترض أننا إذا حاولنا أن نتخيل صورة سلبية للافتراس فقد نأتي بشيء مثل الفطر، لكن حتى في هذه الحالة يوجد شكلٌ ما من الحركة، حتى لو كانت مجرد الالتفاف البطيء لخيوط الفطر. ولكن فكرتي الأساسية هي أننا لا يمكن أن نتخيل الافتراض كوسيلة للحياة بدون حركة. ومن ثم، فإن الحركة هي الإبداع الأكثر عمقاً والأشد غوراً. فليكتُب يمسك المفترس بالفريسة ويلتهمها؛ فلا بد أولاً أن يتعلم الحركة، سواء أكان المفترس وحيد الخلية كالأميبيا الدقيقة التي تزحف وتبتلع دقائق الطعام، أم كان حيواناً مفترساً كالفهد بقوته وسرعته ورشاقة حركته.

لقد غيرت الحركة شكل الحياة على الأرض بطرق قد لا تكون واضحة بشكل فوري، بدءاً من تعقيد الأنظمة البيئية إلى سرعة واتجاه النشوء والتطور بين الكائنات. وهذه القصة يدل عليها سجل الحفريات، الذي يمنحك نظرة متعمقة — وإن كانت غير مثالية لشبكات التفاعلات بين أنواع الكائنات، والطريقة التي تتغير بها تلك التفاعلات بمرور الزمن. ومما يبدو خادعاً أن سجل الحفريات يُشير إلى حدوث تغيرٍ مفاجئ في درجة التعقيد إثر حالة الانقراض الجماعي الأعظم للكائنات في تاريخ كوكبنا، التي حدثت عند نهاية العصر البرمي، منذ ٢٥٠ مليون سنة؛ إذ يعتقد أن ٩٥ بالمائة من جميع أنواع الكائنات اختفت في ذلك الحين. وبعد حدوث هذه الحالة الشاملة من الانقراض، لم يبق أي شيء على حاله مجدداً.

لقد كان العالم معقداً بما يكفي بالطبع قبل العصر البرمي؛ فعل الأرض كانت تُوجَد أشجار عملاقة ونباتات سرخسية وعقارب ويعاسيب وبرمائيات وزواحف. وكانت البحار تتعج بثلاثيات الفصوص والأسماك، والقروش وأصداف الأمونية والأصداف المصباحية

البائدة، وزنابق البحر (وهي أشباه الزنابق البحرية المسروقة، التي اخترت تماماً تقريرها في حركة الانقراض البرمي) والمرجانيات. وقد يوحى الفحص المتعجل لهذه الحالة بأن بعض «أنماط» الكائنات تلك قد تغيرت، مع أن الأنظمة البيئية لم تكن مختلفة تماماً، إلا أن البيان التفصيلي يقول شيئاً آخر.

يمكن تقدير درجة تعقيد أحد الأنظمة البيئية عن طريق العدد النسبي لأنواع الكائنات؛ فإذا ساد عدد قليل من الأنواع، بينما لم تتألف بقية الأنواع إلا وجوداً هامشياً، يقال إن النظام البيئي بسيط. ولكن إذا وجدت أعداد كبيرة من الأنواع معاً بأعداد متتماثلة، فإن النظام البيئي حينئذ يُعتبر أكثر تعقيداً بكثير، مع وجود شبكة أوسع من التفاعلات بين الأنواع. ويمكن عن طريق إحصاء عدد الأنواع التي تعيش معاً في وقت معين في سجل الحفريات أن نتوصل إلى «مؤشر» للتعقيد، ونتائج هذا الإحصاء تشير إلى الدهشة بعض الشيء. فبدلاً من أن يحدث تعقيد تدريجي على مرّ الزمن، فقد حدث على ما يبدو تغيير مفاجئ بعد حركة الانقراض البرمية الهائلة. فقبل الانقراض على مدى حوالي ٣٠٠ مليون سنة، انقسمت الأنظمة البيئية البحرية مناصفة تقريباً بين البسيطة منها والمعقد. وفيما بعد رجحت كفة الأنظمة المعقدة على البسيطة حتى صارت النسبة ثلاثة إلى واحد، وهو تغيير مستقر ومستمر؛ إذ استمرَّ ٢٥٠ مليون سنة أخرى حتى اليوم. ومن ثم، بدلاً من أن يكون التغيير تدريجياً، كانت النقلة فجائية. فلماذا؟

يقول عالم الحفريات الأمريكي بيتر واجنر، من متحف فيلد للتاريخ الطبيعي في شيكاغو، إلينوي إن الإجابة هي انتشار الكائنات المتحركة. وتلك النقلة التي حدثت حولَّت عالم كائنات المحيطات من وضع التعلق بالموقع الثابت – مثل الأصداف المصباحية والزنابق البحرية ... إلخ، التي تقوم باستخلاص الطعام بالترشيح للحصول على معيشة هزيلة قليلة الطاقة – إلى عالم جديد أكثر نشاطاً تسوده حيوانات تحرك هنا وهناك، حتى وإن كانت الحركة بطيئة، مثل القواعق وقنافذ البحر والسرطانات. كانت هناك حيوانات كثيرة تتحرك بنشاط قبل الانقراض بالطبع، ولكنها لم تَسْدُ في عالمها إلا فيما بعد. ليس معروفاً سبب حدوث هذا التحول بعد انقراض العصر البرمي الشامل، ولكن ربما كانت له علاقة بعملية مواجهة عالم يضم نمطاً متحركاً للمعيشة. فالبيئات سريعة التغيير تفرض عليك التحرك بنشاط؛ ومن ثم تحتاج قدرًا أكبر من المرونة البدنية. لذا، فربما الذي حدث أن الحيوانات الأكثر تحركاً كانت لها أفضلية في النجاة من التغيرات البيئية الشديدة التي صاحبت وقوع الكارثة (تجد المزيد عن هذا في الفصل الثامن) ولم

تستطيع الكائنات البائسة التي ترشح طعامها أن تصنع شيئاً في مواجهة هذه الضربة القاسمة.

وأياً كانت الأسباب، فإن نشوء تلك الحيوانات بعد زمن الانقراض البرمي قد غيرَ شكل الحياة. كان من تبعات الحركة الإيجابية أن صارت الحيوانات تتصارع فيما بينها كثيراً جداً، حرفيًا ومجازياً، مما أتاح بدوره استحداث شبكة من التفاعلات القوية بين الأنواع، لا يعني هذا مجرد زيادة في معدل الافتراض، وإنما المزيد من الرعي والسعري وراء الطعام، وحفر الجحور للاختباء بها. كانت تُوجَدُ أسباب وجيهة دائمًا للحركة، ولكن طرق المعيشة الجديدة التي جاءت معها الحركة منحت الحيوانات سبباً معييناً لتكون في مكان معين في وقت معين، وتحديداً أن تُوجَدُ في مكان مختلف في وقت مختلف. يعني هذا أنها منحتها هدفاً؛ أي سلوكاً مقصوداً وموجهاً إلى هدف منشود.

إلا أن فوائد الحركة تتجاوز طريقة المعيشة؛ إذ إن الحركة أيضاً تؤثِّر في وتيرة التطور والمعدل الذي تتغَيَّرُ به الجينات وأنواع الكائنات على مدى الزمن التطوري. ففي حين أن أسرع الكائنات تطويراً هي الطفيليات والبكتيريا المسيبة للأمراض، التي يتحتم عليها أن تتعامل مع ما يُسْتَحدثُ في جهاز المناعة من ابتكارات ووسائل قوية ومستمرة لمكافحة تلك الكائنات الضارة – فالحيوانات بهذه تضغط عليها بقوة أجهزتها المناعية – فعلى النقيض من هذا نجد الكائنات التي تتغذى بالترشيح والنباتات بصفة عامة تكون ثابتة في أماكنها فلا تتطور بسرعة. وعلى هذا تكون فكرة الملكة الحمراء التي تُضطَرُ للجري في مكانها، على الأقل بالنسبة لمنافسيها، هي فكرة غريبة عن عالم المتغذيات بالترشيح التي تبقى بالضرورة دون تغيير على مدى دهور قبل أن تصيبها جائحة. إلا أن هناك استثناء لهذه القاعدة الذهبية تركز مجدداً على أهمية الحركة؛ هذه هي النباتات الزهرية.

قبل كارثة الانقراض في العصر البرمي، لم تكن ثمة نباتات زهرية يمكن رؤيتها، فكان عالم النبات ذا لون أخضر خالص، مثل الغابات الصنوبرية في يومنا هذا. ثم جاء تفجُّرُ الألوان في الأزهار والثمار بكمالها استجابةً لعالم الحيوان؛ فالأزهار – بطبيعة الحال – تجذب الكائنات اللاقة، والحيوانات المتحركة، التي تنقل حبوب اللقاح من نبات لآخر، فتنشر على نطاق واسع فوائد التكاثر الجنسي للنباتات اللاسوقيية، كما أن الثمار تحتاج إلى حركة الحيوانات والتهامها لها ثم طردتها مع فضلاتها لنشر البذور. ومن ثم سايرت النباتات الزهرية الحيوانات في تطورها، مع ترابطهما معًا، فالنباتات

تشبع أعمق رغبات الكائنات اللاحقة وأكلات الثمار، بينما الحيوانات، دون إدراك منها، تتجز حِيل النباتات الصامدة، على الأقل إلى أن بدأنا نحن البشر في إنتاج ثمار بلا بذور. وهذا التشابك في المصائر زاد في وتيرة التطور بين النباتات الزهرية لتنلاءم مع شركائهما من الحيوانات.

ومن ثم فإن الحركة تجلب معها الحاجة للتعامل مع البيئات المتغيرة سريعاً، والمزيد من التفاعلات بين النباتات والحيوانات الأخرى، وطرق حياة جديدة مثل الافتراض، وأنظمة بيئية أكثر تعقيداً. وجميع هذه العوامل شجعت على استحداث حواس أفضل (وهي وسائل أفضل لـ«معايشة» العالم الخارجي)، والإسراع بوتيرة التطور؛ وذلك من أجل الاستمرارية، ليس بين الحيوانات فحسب ولكن بين النباتات أيضاً. وفي قلب هذا الإبداع كله يقع ابتكار محمد جعل كل هذا ممكناً؛ وهو العضلات. مع أن العضلات قد لا تُحدث نفس انطباع المثالية الذي تُحدثه أعضاء أخرى مثل العين، فحين ننظر إلى العضلات من خلال المجرأ نجدها عبارة عن حزم من الألياف التي تؤدي وظائف محددة مفيدة بدرجة مذهلة وتعمل في تناغم لتوليد القوة والحركة، وهي بمنزلة آلات تحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة ميكانيكية. وهذا إبداع أعظم من إبداعات ليوناردو دافنشي، ولكن كيف صارت هذه الآلة المفيدة الهادفة إلى ما هي عليه؟ سوف ننظر في هذا الفصل في أصل وتطور الآلية الجزيئية التي تدفع إلى الانقباض العضلي، الذي مكن بدوره الحيوانات من أن تغيّر شكل العالم بمعنى الكلمة.

بشكلها المميز، تجذب العضلات الانتباه إليها أكثر من أشياء أخرى كثيرة، وتثير الصورة الذكورية المرتبطة بها الشعور بالانجذاب (من ناحية الإناث) أو الحسد (من جانب الذكور)، بدءاً من أخيل الإغريقي إلى أبطال حكم الأجسام في يومنا هذا. ولكن المظاهر الخارجية ليست كل شيء. وعلى مر التاريخ اجتهد بعض من أعظم المفكرين وال التجاربيين في محاولة فهم الكيفية التي تعمل بها العضلات بالفعل. ومن أرسطو إلى ديكارت، كانت الفكرة السائدة لديهم أن العضلات لا تنقبض بالأساس وإنما تنتفخ، مثل الغرور المرتبط بالأشخاص الذين لديهم عضلات قوية. وكانوا يعتقدون أن هناك سبلاً من الأرواح الحيوانية غير المرئية وعديمة الوزن تتدفق من تجاويف المخ خلال الأعصاب الم gioفة وصولاً إلى العضلات فتجعلها تقصّر مع انتفاخها. بل إن ديكارت نفسه بنظرته الآلية إلى الجسم، زعم وجود صمامات دقيقة في العضلة؛ مفترضاً أنها تمنع التدفق العكسي للأرواح الحيوانية، بنفس الطريقة التي تعمل بها الصمامات في الأوعية الدموية.

ولكن لم يمر وقت طويلاً بعد ديكارت في عقد الستينيات من القرن السابع عشر حتى ظهر اكتشاف محدد قَالَهُ هذه الأفكار التي طال التعلق بها رأساً على عقب؛ فلقد أظهر العالم التجريبي الهولندي يان سوامردام أن حجم العضلة لا يزداد مع انقباضها، بل إنه ينكش قليلاً جداً. وإذا كان حجم العضلة يقل، فمعنى هذا أنها لا يمكن أن تتنفس بالأرواح الحيوانية كأنها مثابة. سرعان ما ظهر بعد ذلك في عقد السبعينيات من نفس القرن رجل هولندي آخر هو رائد استخدام الميكروскоп باسمه أنتوني فان لوفنهوك، الذي استخدم عدساته الزجاجية الرائعة في البداية لفحص البنية المجهرية للحم الحياني. فوصف وجود ألياف رقيقة تتكون من «كريات دقيقة جداً يتصل بعضها ببعض»، وتنتظم معاً في شكل سلسلة؛ أو على الأخرى تُوجَدُ آلاف من السلاسل تتكون من هذه الكريات لتكون تركيبة اللحم. ثم جاء رجل إنجليزي، هو ويليام كرون، فتخيل أن الكريات ربما تعمل كمثاثن مجهرية تجعل شكل العضلة يمتلك دون أن تغير بالضرورة حجمها الكلي.¹ ولم يستطع تفسير كيفية حدوث افتراضه هذا الذي كان ضرباً من الخيال، ولم تتمكن إمكانياته العملية من إثباته. ثم افترض عدد من العلماء الرواد أن امتلاء تلك المثاثن المزعومة يحدث بشكل انفجاري بالمعنى الحرفي؛ إذ افترض جون مايو على سبيل المثال أن الأرواح الحيوانية عبارة عن «دقائق نيتروجين هوائية»، وقال إن الأعصاب هي مصدرها وإنها تختلط بدقاتق كبيرة من الدم لإحداث انفجار يشبه انفجار البارود.

لم تستمر هذه الأفكار المغلوطة كثيراً؛ فبعد مرور ثمانين سنوات من الملاحظات المبكرة لـلوفنهوك، قام مرة أخرى بفحص «كرياته» المزعومة مجدداً بعدسات جديدة محسنة، وبناءً على ذلك قدّم اعتذاراً عما قاله سابقاً؛ إذ اكتشف أن ألياف اللحم لم تكن سلسل طويلة من مثاثن دقيقة بل هي ألياف تقطعها بالعرض ما أسمتها «حلقات وتجاعيد» منتظمة، وهذه الخطوط هي التي أعطت الانطباع بوجود الكريات. الأدهى من هذا أن لوفنهوك حينما فتّ الألياف ونظر إلى محتوياتها تحت عدساته أدرك أنها أيضاً تمتلئ بخيوط أشد دقة، قد تصل إلى مائة أو نحو ذلك في كل ليفة. تتغير المصطلحات، ولكن القطع التي وصفها لوفنهوك تُعرَف اليوم باسم «القسميات العضلية»، بينما تُعرَف الخيوط أو الشعيرات الدقيقة الموجودة داخل الليفة العضلية باسم «الليفات العضلية». ومن الواضح أن الانقباض العضلي لا علاقة له بالمثاثن المنتفخة، بل إن كل شيء فيه إنما يتعلّق بالألياف العضلية وحسب.

وحتى في هذه الحالة، ومع أن العلماء افترضوا أن الألياف الحركية في العضلات يمكن بطريقه ما أن «ينزلق» بعضها على بعض، فلم تكن لديهم فكرة حقيقية عن القوة التي تدفعها إلى الحركة. ثم مرّ قرن كامل تقريباً قبل أن تبزغ قوة جديدة لعلها هي التي تبُثُ النشاط في كل تلك الألياف؛ وهي الكهرباء.

ففي عقد الثمانينيات من القرن الثامن عشر دُهل لوبيجي جلفاني – أستاذ التشريح بجامعة بولونيا – حينما انقضت عضلة ساق أحد الضفادع بقوة حينما لمسها بموضع في نفس الوقت الذي انطلقت فيه شرارة من آلة كهربائية على الجانب الآخر من الحجرة، مع أن الضفدع كان ميتاً. وقد حصل على نفس رد الفعل حينما أحدث قطعاً بجسم الحيوان ومس خطأً نحاسياً بموضع مع إمرار شحنة كهربائية، كما حدث هذا في أحوال أخرى مختلفة بما فيها العاصفة الكهربائية. وقد جذبت فكرة الحركة العضلية بفعل الكهرباء، التي سريعاً ما سُميَتِ الجلفانية، الكاتبة ماري شيلي، التي درست تقارير جلفاني قبل أن تؤلّف روايتها المرعبة «فرانكنشتاين» في عام ١٨٢٣. وفي الواقع إن ابن أخي جلفاني، وهو جيوفاني ألدينوني، كان رجلاً سباقاً. إذ طاف في أرجاء أوروبا في بدايات القرن التاسع عشر ليظهر «إعادة تشحيط جثث الموتى باستخدام الكهرباء الجلفانية»، وفي مناسبة مشهورة قام ألدينوني بচعق رأس مفصل لرجل ميت أمام الحاضرين من الجراحين والأطباء والأدوaci، بل وأمير ويلز، في كلية الجراحين الملكية بلندن. ويقول ألدينوني إنه حينما وضع قضبانه الكهربائية على فم الميت وأندنه: «بدأ الفك يرتعش، والعضلات المجاورة له تلتوي بشكل مخيف، وانفتحت العين اليسرى بالفعل». كما تأثر أيضاً الطبيب الإيطالي أليساندرو فولتا من جامعة بافيا باكتشافات جلفاني، ولكنه لم يتفق معه على سببها؛ فقد أصر فولتا على عدم وجود أي عامل كهربائي فيما يتعلق بالجسم نفسه، وأن الجلفانية هي مجرد رد فعل للشحنات الكهربية الخارجية التي تولدت من المعادن. وذهب إلى أن الساق يمكن أن توصل الكهرباء بنفس الطريقة مثل المياه المallaحة؛ فهي مجرد خاصية سلبية. وقد دخل جلفاني وفولتا في خلاف استمرّ عقداً كاملاً، وانقسم مؤيدو كلّ منهما إلى فريقين على النطء الإيطالي الحقيقي؛ فمؤيدو المذهب الكهربائي ضد مؤيدي المذهب المعدني، وعلماء الفسيولوجيا ضد علماء الفيزياء، وبولونيا ضد بافيا!

كان جلفاني مقتناً بأن «كهربأته الحيوانية» تأتي بالفعل من الداخل، ولكنه وجد صعوبة في إثبات هذا، وهو ما أرضى فولتا. يُظهر هذا النزاع بجلاء قدرة التشكُّل على

تحفيز التفكير التجاري. وحينما كان جلفاني يبتكر تجاربه لإثبات نظريته، توصل إلى أن العضلات في جوهرها «قابلة للتهيج»؛ أي إنها قادرة على توليد رد فعل لا يتاسب مع شدة العامل المؤثر بل يتجاوزه. بل إنه افترض أن العضلات يمكن أن تولد الكهربية داخل نفسها بترابع شحنات سالبة ومحصلة عبر سطحها الداخليين، وقال إن التيار الكهربائي يتدفق عبر مسام تنفتح بين السطحين.

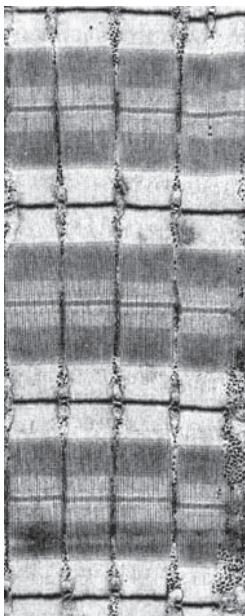
إن ما سبق كلام خياليًّا حقًا، ولكن ما يُحزن القلب أن حالة جلفاني أظهرت قدرة المنتصر على كتابة التاريخ، حتى في مجال العلوم.^٣ فحينما رفض جلفاني أن يحلف بيمين الولاء لذابليون، الذي كانت جيوشه حينئذ تحتل إيطاليا، جُرِدَ من منصبه بجامعة بولونيا ومات فقيرًا في العام التالي. اختفت أفكاره لعقود، وعلى مدى وقت طويل كان البعض يتذكرة باعتباره مجرد مناصر لفكرة القوى الحيوانية الخفية وباعتباره غريم فولتا. وعلى النقيض من هذا، فقد منح نابليون فولتا لقب كونت لومباردي في عام ١٨١٠، ثم أطلق اسمه على وحدة قياس الجهد الكهربائي «الفولت». وبالرغم من حصول اسم فولتا على أسبقية في تاريخ العلوم لاختراعه أول بطارية حقيقية، وهو المركم الفولتي، فإنه كان مخطئاً بمعنى الكلمة فيما يتعلق بالكهربية الحيوانية.

وفي القرن التاسع عشر، عادت أفكار جلفاني إلى دائرة الضوء بشكل جادٌ من جديد، وكان من تبنّاها بالأساس المدرسة الألمانية لأبحاث الفيزياء الحيوية التي كان أشهر أعضائها العالم الكبير هيرمان فون هلمهولتز. لم تقتصر هذه المدرسة على إثبات أن العضلات والأعصاب مشحونة بkehربية حيوانية، بل إن هلمهولتز حسب سرعة انطلاق النبضة الكهربائية خلال العصب، مستخدماً طريقة استحدثها الجيش لتقدير سرعة إطلاق قنابل المدفع. وقد تبيّن أن سرعة إرسال النبضات العصبية بطيئة بشكل ملحوظ؛ فهي بضع عشرات من الأمتار في الثانية، وليس متات الكيلومترات في الثانية كالكهربية العاديّة؛ مما أوحى بوجود شيءٍ ما مختلف فيما يتعلق بالكهربية الحيوانية. وسرعان ما عُزِّيَ هذا الفارق إلى الحركات المتتالية للذرارات المشحونة، أو الأيونات، مثل البوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم؛ التي ليست مثل الإلكترونات الكهربية في انطلاقاتها السريعة كالسراب. وإن مرور الأيونات عبر غشاء ما ينتج موجة من إزالة الاستقطاب، التي هي تأرجح عبر لشحنة سالبة خارج الخلية. وهذا يؤثر على الغشاء المجاور؛ ومن ثم تتدفع الشحنة إلى الأمام على طول العصب، أو إلى داخل العضلة فيما يُسمى «جهد الفعل».

ولكن كيف تحديداً يقف جهد الفعل وراء الانقباض العضلي؟ الإجابة عن هذا السؤال تستلزم إجابة عن سؤال أساسي أكبر هو: كيف تتنقبض العضلات في الجسم؟

أشار التقدُّم الحادث في علوم المجهر مجدداً إلى إجابة هذا السؤال بالكشف عن وجود أشرطة ثخينة في الألياف العضلية، يعتقد أنها ناتجة عن وجود مواد لها كثافات مختلفة. وبدءاً من أواخر ثلاثينيات القرن التاسع عشر، أجرى ويليام بومان – وهو جراح وعالم تشريح إنجليزي – دراسة تفصيلية عن التركيبة المجهريّة للعضلات الهيكلية لأكثر من ٤٠ نوعاً من الأنواع الحيوانية، متضمنة البشر وغيرهم من الثدييات، والطيور، والزواحف، والبرمائيات، والأسماك، والقشريات، والحشرات. كانت جميع الألياف العضلية تبدو تحت المجهر مخططة في شكل عَقْل أو قسيمات عضلية؛ تلك التي وصفها لوفنهوك قبل ذلك بـ ١٦٠ عاماً. ولكن لاحظ بومان داخل كل قسيم عضلي وجود أشرطة مخططة أخرى أكثر دقة، تتبادل في درجة لونها بين الباهت والقاتم. وأنثناء الانقباض، تقصر القسيمات العضلية، باستثناء الأشرطة الأفتح لوناً؛ مما يسبب ما أسماه بومان «موجة قاتمة من الانقباض». واستنتج محققاً أن «الانقباضية تكمن في العَقْل المفردة» (انظر الشكل ١-٦). ولكن خلاف ذلك، نصَّ بومان عن اكتشافاته. فقد رأى أن الأعصاب داخل العضلة لم تتفاعل مباشرةً مع القسيمات العضلية مطلقاً؛ لذا يتحتم أن يكون بدء التنبية الكهربائي غير مباشر على الأقل. والأسوأ من هذا أنه كان قلقاً فيما يتعلق بالعضلات الملساء، التي تُوجَد ضمن العضلات العاصرة وفي الشرايين. فهي غير مخططة؛ أي خالية من الأشرطة التي تميّز العضلات الهيكلية تماماً، إلا أنها يمكن أن تنقبض بشكل جيد تماماً أيضاً. وتبعاً لذلك ظنَّ بومان أن تلك النظرية لا علاقة لها بالانقباض العضلي إلا قليلاً، وأنَّ سر الانقباضية يمكن بالضرورة في البنية غير المرئية للجزيئات التي ظنَّ أيضاً أنها ستبقى إلى الأبد بعيدة المنال عن الحواس. وقد كان محققاً فيما يخص أهمية التركيبة الجزيئية، ولكنه كان مخطئاً فيما يخص الأشرطة، وكذلك ما قاله عن الحواس بالتأكيد. ولكن أوصاف بومان للبنية العضلية شاركه فيها كل من جاءوا بعده تقريرياً.

ويمكن أن نقول بشكل ما إن من عاشوا في العصر الفيكتوري عرفوا الكثير ولم يعرفوا شيئاً في الوقت نفسه! فلقد عرفوا أن العضلات تتكون من آلاف الألياف، وكلّ منها ينقسم إلى عَقْل أو قسيمات عضلية، وهذه القسيمات هي الوحدات الأساسية لعملية الانقباض. وعرفوا أن القسيمات مخططة إلى أشرطة بما يكشف عن وجود مواد لها كثافات مختلفة. وبعض العلماء على الأقل اشتبهوا في أن الأشرطة تتكون من شعيرات تنزلق على بعضها البعض، وعرفوا أيضاً أن الانقباضات العضلية منشؤها كهربائي، وأن الكهربائية تتولّد بناء على فرق الجهد عَبْر الأسطح الداخلية، بل إنهم اشتبهوا مُحِقّين في



شكل ٦-٦: بنية العضلة الهيكلية، مبنية الخطوط والأشرطة المميزة للألياف العضلية. يمتد القسم العضلي من كل خط أسود (يُسمى قرص Z) إلى الذي يليه. وداخل القسم العضلي، تحتوي المناطق الأكثر قتامة (أشرطة A) على ليفات الميوسين المرتبطة بالأكتين، وتحتوي المناطق الفاتحة اللون (أشرطة I) على الأكتين، والمناطق البنية التي باللون الرمادي تحتوي على شعيرات الميوسين المرتبطة بخط M. حينما تقبض العضلة تعمل جسور الميوسين المستعرضة على سحب شعيرات الأكتين في الشريط I تجاه الخط M، فيقصر طول القسم العضلي؛ مما يؤدي إلى حدوث «موجة قاتمة» من الانقباض (بدءاً من الشريط A ساحباً الشريط I تجاهه).

أن الكالسيوم عامل رئيسي للانقباض. كما عزلوا البروتين الأساسي من العضلة، وأسموه الميوسين Myosin — وهو مشتق من الكلمة يونانية معناها «عضلة». ولكن الأسرار الجزيئية الأكثر عمقاً التي افترض بومان أنها بعيدة عن متناول الحواس، كانت بالتأكيد بعيدة عن متناول الفيكتوريين؛ فقد عرفوا بعض الأشياء عن مكونات العضلات ولكن لم يعرفوا شيئاً عن علاقاتها فيما بينها، ولا عن كيفية عملها جمِيعاً؛ فقد انتظرت هذه

المعلومات حلول الإنجازات المركزة الفعالة لعلوم القرن العشرين. ولكي نحاول إدراك الروعة الحقيقة للعضلات وكيف نشأت مكوناتها؛ يجب أن نترك الفيكتوريين ونلتفت إلى الجزيئات نفسها.

في جامعة كامبريدج عام ١٩٥٠ في وحدة علم الأحياء التركيبية الوليدة التابعة لعمل كافندش، شهد تاريخ العلوم لحظة تاريخية؛ إذ اجتمع اثنان من علماء الفيزياء واثنان من علماء الكيمياء يعملون على تطوير تقنية من شأنها تغيير مسار علم الأحياء في النصف الثاني من القرن العشرين — تقنية التصوير البلوري بالأأشعة السينية. إنه لعمل مرهق أن ترکز على بلورات هندسية الشكل متكررة، وحتى في يومنا هذا يُعتبر هذا فناً رياضياً شاقاً عند تطبيقه على الجزيئات البيولوجية الكروية.

كان ماكس بيرتس رئيساً للفريق العلمي، وكان هو ونائبه جون كندرو أول من حَدَّد تركيب البروتينات كبيرة الجزيئات مثل الهيموجلوبين والميوغلوبين ولم يستخدما سوى الأنماط التي استحدثاها حينما سلطا حزمة من الأشعة السينية؛ فتشتت بفعل ذرات تلك الجزيئات المتسلسلة شديدة التعقيد.^٢ ثم جاء فرانسيس كريك الذي لم يلبث أن لحق به العالم الأمريكي الشاب جيمس واطسون فيما بعد في تجارب أخرى؛ اللذان اشتهر عنهما أنهما طبقاً نفس التقنية التي نتج عنها اكتشاف بنية الدي إن إيه. ولكن في عام ١٩٥٠ لم يكن الرجل الرابع هو واطسون بل شخصية غير معروفة نسبياً، للعالم الخارجي على الأقل، وهو العضو الوحيد من هذا الفريق الذي لم يَحظَ بجائزة نوبل؛ هيوي هكسلي. إلا أن هيوي هكسلي كان يستحقها بالتأكيد؛ لأنه — أكثر من أيٍّ منهم — أظهر كيفية عمل العضلات على مستوى الواقع الجزيئي، وامتدت إنجازاته لنصف قرن بعدها. وقد كرمته الجمعية الملكية بلندن بأرقى جوائزها؛ وهي ميدالية كوبلي في عام ١٩٩٧. ولا يزال عند كتابتي لهذه السطور يعمل أستاذًا فخرياً بجامعة برانديس بمساتشوستس الأمريكية، ولا يزال ينشر مؤلفاته وهو في سن ٨٣ عاماً.

إن جزءاً من قلة نصيب هكسلي هذا من الشهرة كان بسبب الخلط الذي حدث بسبب تشابه اسمه مع شخصية أخرى أكثر شهرة بكثير وهو أندرو هكسلي، الحاصل على جائزة نوبل، وحفيد مُرافق داروين الشهير تي إتش هكسلي. وقد حقق أندرو هكسلي شهرته في سنين ما بعد الحرب العالمية الثانية لدراساته عن التوصيل العصبي، قبل أن يحُوّل اهتمامه إلى العضلات في بدايات الخمسينيات، وصار هو كذلك شخصية رئيسية

في الأبحاث العضلية في العقود التالية. وقد توصل هيو وأندرو هكسلி — كلُّ منها على حدة — إلى نفس الاستنتاج، ونشرتا نتائجهما في مجلة «نيتشر» بالاتفاق مع المجلة، على نفس الورقة، وجهاً وظهراً، في عام ١٩٥٤. وقد افترض كلاهما ما صار يُعرف باسم «نظريَّة الشعيرات المنزلقة». كان هيو هكسلி بصفة خاصة ممكناً من التعامل مع تقنيتين قويتين ورائعتين هما التصوير البلوري بالأشعة السينيَّة والمجهر الإلكتروني (وكان في العشرين من عمره فحسب في تلك الآونة). وقد كشف المزج بين التقنيتين عن نتائج رائعة، مبيناً الوظائف العضلية بتفاصيل أدق فأدق على مدى العقود التالية.

أمضى هيو هكسلி فترة الحرب مشتغلًا بالرادار. ولدى عودته ليكمل دراسته بجامعة كامبريدج بعد ذلك شعر مثل الكثريين من دارسي الفيزياء من جيله، مدفوعًا بأهوال القنبلة الذرية، بالاضطرار إلى هجر الفيزياء وتحويل اهتمامه إلى شيء أقل استفزازًا من الناحيتين الأخلاقية والنفسية، وكان ما فقدته الفيزياء من اهتمام يصب في صالح علم الأحياء. وحينما انضم هكسلி إلى مجموعة بيرتس الصغيرة عام ١٩٤٨ دُعِّيَ لقلة ما وجده من معلومات لدى علماء الأحياء عن تركيبة العضلات ووظائفها؛ فآل على نفسه أن يكافح حتى يضع الحق في نصابه ويصحح تلك الأوضاع. فأجرى تجاربه على سيقان الضفادع، كما فعل جلفاني قبله، ولكن كانت نتائجه الأولى مخيبة للآمال؛ إذ كانت الأنماط المستقاة من عضلات ضفدع التجارب تلك ضعيفة. ولكنه وجد بعد ذلك أن الضفادع البرية أفضل بكثير مما دفعه إلى خوض سلسلة من الرحلات بدراجته بجوار المستنقعات ليمسك بالضفادع قبل تناوله وجبة الإفطار. ومن تلك الضفادع البرية استمدَّ أنماطاً غنية بتفاصيل مستخدماً الأشعة السينيَّة، وإن كانت غامضة في معناها. ومما يثير التعجب أن هكسلி في عام ١٩٥٢ واجه دوروثي هودجكين، وهي من رواد التصوير البلوري لدى امتحانه لنيل درجة الدكتوراه. وحينما قرأت رسالته تفتَّق ذهنها عن فكرة أن معطياته قد تُوحِّي بوجود الشعيرات المنزلقة وناقشت هذا الأمر بحماس مع فرانسيس كريك، الذي قابلته مصادفةً على السلالم. ولكن هكسليء، متحلياً بروح الشباب القتالية، جادلها عن حقٍّ قائلًا إنها لم تقرأ قسم طرق البحث بعناية في رسالته كما يجب، وأن معطياته لا تدعم استنتاجها النظري. وبعد ذلك بعامين توصل هكسليء بنفسه — مستخدماً صور المجهر الإلكتروني — إلى استنتاج مماثل، ولكنه صار مدعوماً بالتجربة العملية.

ولكن حينما رفض هكسليء أن يقفز إلى استنتاجات مبكرة، مؤجلًا اكتشافه لنظرية الشعيرات المنزلقة مدة عامين، كان محقًّا في اعتقاده المبكر أن الجمع بين التصوير

البلوري بالأشعة السينية واستخدام المجهر الإلكتروني له القدرة على الكشف عن التفاصيل الجزئية للانقباض العضلي؛ فكلتا الوسائلتين لها أوجه نقص. وعلى حد قول هكсли: «إن استخدام المجهر الإلكتروني يعطي صوراً حقيقة ملموسة، ولكن بها جميع عيوب المصنوعات البشرية، بينما يعطي استخدام حيود الأشعة السينية معطيات حقيقة ولكن في شكل مبهم». فأدرك ببصيرته أن عيوب إحدى التقنيتين يمكن التغلب عليها بقدرات التقنية الأخرى ومزاياها، والعكس بالعكس.

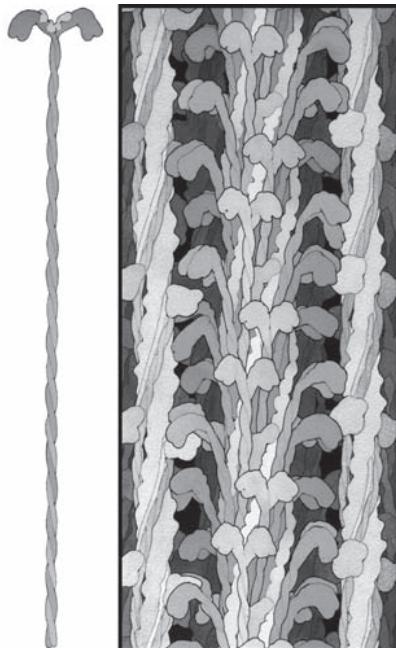
كان هكсли محظوظاً كذلك؛ إذ لم يتمكن أحدٌ وقتها من التنبؤ بما سيتحقق من تقدم ملحوظ على مدى نصف القرن التالي، لا سيما في مجال التصوير البلوري بالأشعة السينية، ولم تكن ثمة صعوبة إلا فيما يتعلق بشدة حزمة الأشعة؛ فحصل ذلك على نمط قابل للرصد عن طريق حيود الأشعة السينية (أو تشتتها) عبر بنية ما، يتطلب كمية كبيرة من الأشعة. وهذا إما أنه يستغرق وقتاً — قد يكون بالساعات أو حتى بالأيام، في ذلك الوقت المبكر من الخمسينيات، حينما كان هكсли وأخرون من همكين طوال الليل في إنعاش مصادر الأشعة السينية الضعيفة — أو أنه يتطلب مصدرًا متطرفاً في شدته، يمكنه إنتاج حزمة قوية من الأشعة السينية في لحظة سريعة. فعاد علماء الأحياء مجدداً إلى الاعتماد على ما تحقق من تقدم في علم الفيزياء، لا سيما استحداث ما يُسمّى السنيكروترون، وهو معمل دوراني دون ذري يستخدم المجالات المغناطيسية والكهربائية المتزامنة لتعجيل البروتونات أو الإلكترونات حتى تصل إلى سرعات فلكية، ثم إجراء تصادمات فيما بينها. وتكمّن قيمة المعمل الدوراني التزامني لعلماء الأحياء فيما يُعتبر تأثيراً جانبياً منفصلاً لعلماء الفيزياء. فمع حركة الجسيمات المستمرة في دوائرها الإيجابية، تطلق إشعاعاً كهرومغناطيسيّاً، أو ما يمكن تسميته «ضوء المعمل الدوراني التزامني»، وكثيرٌ منه يكون في نطاق الأشعة السينية. وهذه الحزم القوية بشكل مذهل يمكنها أن تولد أنماطاً حيودية في كسور قليلة من الثانية، وهي أنماط كانت تستغرق ساعات أو أيامًا في الخمسينيات لتحقيق هذا التأثير. وكان هذا أمراً مهمًا؛ إذ إن وقائع الانقباض العضلي تتم خلال أجزاء من مائة جزء من الثانية. ومن ثم لا تكون دراسة التغييرات في التركيب الجزيئي التي تحدث أثناء الانقباض العضلي مجديّة إلا باستخدام ضوء المعمل الدوراني التزامني.

وحينما وضع هكсли نظرية الشعيرات المنزلقة، اضطر إلى أن يجعلها في شكل افتراض مبني على معطيات غير كافية إلى حدٍ ما. ومع ذلك، فمنذ ذلك الحين وباستخدام

وسائل تدقيق لنفس التقنيات، تم إثبات الكثير من التنبؤات الآلية التفصيلية على يد هكسلي وأخرين، مقاسة وصولاً إلى مستويات ذرية على مدى كسور من الثانية. وبينما لم يتمكن علماء العصر الفيكتوري من رؤية التراكيب المجهريّة سوى إجمالاً، فقد تمكّن هكسلي من تحديد الأنماط الجزيئية التفصيلية، ومن ثمّ وضع افتراضاته للأليلة العضلية. وفي يومنا هذا، وبالرغم من بقاء بضعة أمور غير محسومة، فإننا نعرف كيف تنقبض العضلة بدقة ذرية تقريباً.

يعتمد الانقباض العضلي على خصائص جزيئين؛ هما: الأكتين، والميوسين. وكلاهما يتكون من وحدات بروتينية متكررة تكون شعيرات طويلة (بوليمرات). وتتكون الشعيرات السميكة من الميوسين، الذي أطلق عليه الفيكتوريون هذا الاسم بالفعل، بينما تتكون الشعيرات الرفيعة من الأكتين. وهذا النوعان من الشعيرات يُتَذَخَّلُان شكل حزم جنباً إلى جنب، ترتبط معاً بجسور مستعرضة عمودية دقيقة (كان هكسلي أول من شاهدها في الخمسينيات باستخدام المجهر الإلكتروني). وهذه الجسور ليست صلبة ولا عديمة الحركة، بل إنها تتأرجح، ومع كل حركة أرجحة تدفع شعيرات الأكتين قليلاً، وكأنه طاقم سفينة طويلة يدفعون سفينتهم في البحر بالمجاديف. لكنها لا تشبه سفن الفايكنج تماماً؛ إذ لا تستجيب ضربات المجاديف القوية لأمر واحد. إذ يبين المجهر الإلكتروني أن من بين الآلاف الكثيرة من الجسور المستعرضة، لا يقوم بحركة الجذب منها في انسجام إلا أقل من نصفها، بينما يكون أغلبها دائمًا في حالة فوضى حركية كحركة المجاديف المضطربة. إلا أن الحسابات تثبت أن هذه النقلات الدقيقة، حتى وإن كانت تعمل بعدم انسجام، تكون معاً قوية بدرجة تكفي لتحقيق القوة الكلية للانقباضات العضلية.

كل هذه الجسور المستعرضة المتأرجحة تبرز من الشعيرية السميكة، فهي تشكل جزءاً من وحدات الميوسين الفرعية. على المستوى الجزيئي يُعتبر الميوسين بروتيناً ضخماً الجزيئات؛ فهو أكبر بثمانية أضعاف من جزيئات بروتينية متوسطة الحجم مثل الهيموجلوبين. أما عن الشكل العام فإن وحدة الميوسين تشبه الحيوان المنوي، أو بالأحرى تشبه حيوانين منوينين يتقابلان معاً برأسيهما، بينما ينضرف ذيلاهما في تعانق قوي. ويتشابك الذيلان مع ذيول جزيئات الميوسين المجاورة في نظام مذهل؛ لتشكل معاً الشعيرية الكثيفة التي تشبه خيوط الحبل. وتبرز الرعوس من هذا الحبل بالتتابع، وهذه هي التي تكون الجسور المستعرضة المتأرجحة التي تتفاعل مع شعيرية الأكتين (انظر الشكل ٢-٦).



شكل ٢-٦: الميوسين. نَفَّذ الرسم ديفيد جودسيل بالألوان المائية الرائعة. إلى اليسار: جزء واحد من الميوسين، برأسيه بالأعلى وذيليه مجدولين معاً. إلى اليمين: شعيرة ميوسين سميكية تبرز رءوتها لتفاعل مع الأكتين على الجانبين، وتتضئن الذيل مثل الحبل لتكون الشعيرة السميكة.

وفيما يلي شرح لكيفية عمل الجسور المتأرجحة. في البداية يرتبط الجسر المتأرجح بشعيرة الأكتين، وبمجرد أن يتم هذا يحدث ارتباط لمدة ثلاثي فوسفات الأدينوسين، التي تعمل بدورها على الإمداد بالطاقة اللازمة لتشغيل العملية برمتها، وبمجرد ارتباط ثلاثي فوسفات الأدينوسين ينفصل الجسر المتأرجح عن الشعيرة الرفيعة، وحينئذ يتأرجح الجسر المتحرر بزاوية حوالي ٧٠ درجة (من خلال منطقة «عنقية» مرنة) ثم يرتبط بشعيرة الأكتين مجدداً. وحالما يحدث هذا، تتحرر الفتات المستعملة من ثلاثي فوسفات الأدينوسين ويرتد الجسر المستعرض عائداً إلى وضعه الأول. وهو في حركته هذه يعمل

كرافعة تسحب الشعيرة الرفيعة بكمالها، وهذه السلسلة الدورية من التحرر والأرجحة والارتباط والسحب تضاهي حركة الضرب بالجذاف، وفي كل مرة تتحرك الشعيرة الرفيعة بأجزاء قليلة من مليون جزء من المليمتر. وثلاثي فوسفات الأدينوسين مهم في هذه العملية؛ فبدونه لا يمكن أن يتحرر الرأس الميوسیني عن الأكتين ولا أن يتارجح، والنتيجة هي حدوث تبّيس، كما يحدث في حالة التبّيس الرّمّي، حينما تتّبّس العضلات بعد الموت بسبب نقص ثلاثي فوسفات الأدينوسين (ثم يزول التبّيس بعد يوم أو نحو ذلك حينما يبدأ النسيج العضلي في التحلل).

وتحمة أنماط مختلفة كثيرة من الجسر المتأرجح، وكلها متماثلة بصفة عامة ولكنها تختلف في سرعتها. وهي معًا بمنزلة «عائلة خارقة» تتكون من آلاف الأفراد، ويُوجَد في البشر وحدهم حوالي أربعين من الأنماط المنفصلة. وتعتمد سرعة الانقباض وقوته على سرعة الميوسين؛ فالميوسين السريع يفكّ ثلاثي فوسفات الأدينوسين سريعاً، ويدير دورة الانقباض بسرعة. كما يُوجَد عدد من الأنماط العضلية في كل فرد، وكلّ نمط له الميوسين الذي يخصه، بما له من سرعة انقباض تميّزه.^٤ وهناك كذلك اختلافات مماثلة بين أنواع الكائنات. وأسرع الميوسينات جميعاً يُوجَد في العضلات المخصصة للطيران في حشرات مثل ذبابة الفاكهة التي يصل معدل دورتها إلى عدة مئات من المرات في الثانية الواحدة، وهو مستوى يزيد في سرعته كثيراً عن أغلب أنواع الثدييات. وبصفة عامة تكون للحيوانات الصغيرة ميوسينات أسرع؛ ومن ثمّ تنقبض عضلات الفئران بمعدل أسرع من عضلات الإنسان بثلاثة أضعاف تقريباً، أما السرعة بالنسبة للجرذان فهي أسرع بمعدل ضعفين مقارنة بالإنسان. ويُوجَد أبطأ الميوسينات جميعاً في عضلات الحيوانات شديدة البطء كالكلسان والسلحف. وفي هذه الحالة تكون سرعة تكسير الميوسين لثلاثي فوسفات الأدينوسين حوالي عشرين مرة أبطأ مما هي في البشر.

حتى وإن كان معدل استهلاك الميوسين لثلاثي فوسفات الأدينوسين هو ما يحدّد السرعة التي تنقبض بها العضلات؛ فإن نضوب ثلاثي فوسفات الأدينوسين لا يعني أبداً نهاية الانقباض العضلي. فلو حدث هذا النضوب لأنهينا جلسات التدريب في الصالات الرياضية في حالة من التبّيس العضلي، تشبه التبّيس الرّمّي، ونحتاج لأن نُحمل على نقادة عائدين إلى البيت في كل مرة. ولكن الذي يحدث، بدلاً من هذا، أن العضلات تُصاب بالإجهاد، الذي يفترض أنه عملية تأقلم لمنع حدوث التبّيس. ويعتمد بدء الانقباضات العضلية ونهايتها على مستوى الكالسيوم داخل الخلية، وهذا تحديداً هو ما يربط

الانقباض العضلي بكهربائية جلفاني الحيوانية؛ فحينما تصل النسبة المؤثرة (الآتية من الأعصاب) فإنها تنتشر سريعاً خلال شبكة من الأنبيبات الدقيقة، التي تطلق أيونات من الكالسيوم إلى الخلية. ومن خلال عدد من الخطوات التي لا تعيننا في هذا المقام، يعمل الكالسيوم في نهاية الأمر على كشف الواقع التي ترتبط عندها الجسور المتأرجحة على شعيرة الأكتين، وهذا يمكن العضلة من الانقباض. وقبل أن تُغمر الخلية العضلية بالكالسيوم تنغلق بوابات الفيوضان وتنشط المضخات، فتسحب الزائد منه مجدداً، توطئه للاستدعاء التالي للعمل. وحينما تتدنى مستويات الكالسيوم تتغطى موقع الارتباط التي على شعيرة الأكتين مجدداً، ولا تتمكن الجسور المتأرجحة من الارتباط حينئذ ويتحتم على الانقباض أن يتوقف. وتتضمن المرونة الطبيعية للقسام العضلية لها أن تعود إلى حالتها المسترخية الأصلية سريعاً.

هذه بالطبع نبذة مبسطة جداً، مع اختزال الأجزاء العاملة إلى ما يكاد يصل إلى حد أدنى مقتضب. ارجع إلى كتاب متخصص وستجد صفحات فيها تفاصيل عن البروتينات، مع شرح معتدل لدور كل منها من الناحيتين البنوية والتنظيمية. إن الكيمياء الحيوية للعضلات معقدة بشكل هائل، ولكن يخرج من خلال التعقيد بصيص من نور التبسيط. وهذه البساطة ليست مجرد حيلة مساعدة، بل إنها أساسية في تطور النظم المعقدة؛ إذ تُوجَد في الأنسجة وأنواع الكائنات المختلفة طرق كثيرة للتحكم في ربط الميوسين بالأكتين. وكل هذه التفصيلات الكيميائية الحيوية تُذكِّرنا بزخارف الروكوكو في الكنائس القديمة من زمن فن الباروك؛ إذ يمكن اعتبار كل كنيسة منها تحفة فنية في حد ذاتها، بالرغم من اعتبارها كنيسة من الناحية الدينية. وبالمثل، بالرغم من اختلافات الروكوكو في الوظيفة العضلية، فدائماً يرتبط الميوسين بالأكتين عند نفس الموقع، كما يعطي ثلاثي فوسفات الأدينوسين الطاقة دائماً للشعيرات العضلية المنزلقة.

ولنأخذ العضلات الملساء مثلاً، تلك العضلات التي أذهلت قدرتها على قبض العضلات العاصرة والشرابين ويليام بومان ومعاصريه من العصر الفيكتوري. تلك العضلات الملساء تفتقر إلى الخطوط التي تتميز بها العضلات الهيكيلية، ومع هذا فإنها تعتمد على الميوسين والأكتين في انقباضها، وتتشكل شعيراتها بطريقة أكثر بساطة بكثير، فلا تنبئ عن أي نمط ميكروسكوبى معقد. كما أن التفاعلات بين الأكتين والميوسين تكون مبسطة فيها؛ إذ يحدث تدفق للكالسيوم لينشط رءوس الميوسين مباشرةً، خلافاً

للمسار الالتفافي الذي يحدث في العضلات الهيكلية. ومع ذلك، فمن النواحي الأخرى يكون انقباض العضلات المتسame مشابهاً للعضلات الهيكلية، ففي كلتا الحالتين ينتج الانقباض عن ارتباط الميوسين بالأكتين؛ ليدور في نفس الدورة التي يمنحها ثلاثي فوسفات الأدينوسين الطاقة اللازمة.

قد توحى هذه البساطة النسبية بأن العضلات المتسame هي خطوة على مسار تطور العضلات الهيكلية؛ فالعضلات المتسame نسيج انقباضي يؤدى وظائفه بشكل جيد وبدرجة كافية بالرغم من افتقاره إلى بنية ميكروسكوبية معقدة، إلا أن هناك دراسات أجريت على بروتينات العضلات في أنواع مختلفة من الكائنات تظهر أن تطور العضلات لم يكن بهذه البساطة التي قد يتصورها البعض. من هذه الدراسات دراسة متأنية ومدققة أجرتها عالمان في علم الوراثة، هما ساتوشى أووتا ونارويا سaito من المعهد القومي لعلم الوراثة بمدينة ميشيمبا اليابان، وجدت أن نسبة من البروتينات في العضلات الهيكلية للثدييات تكون مماثلة لما يناظرها في عضلات الطيران المخططة في الحشرات لدرجة توحى بأن كليهما نشأ من سلف مشترك للفقاريات واللافقاريات كان يعيش منذ حوالي 600 مليون سنة. وذلك السلف المشترك يرجح أنه كانت فيه عضلات مخططة حتى وإن لم يكن يمتلك هيكلًا عظيماً في جسمه. وينطبق قدر كبير من هذا نفسه على بروتينات العضلات المتسame، فهي أيضاً يمكن تتبع أصولها وصولاً إلى سلف مشترك مماثل؛ فالعضلات المتسame لم تكن مطلقاً خطوة على مسار تطور العضلات الهيكلية الأكثر تعقيداً، بل سلكت مساراً تطوريًا منفصلاً.

إنها حقيقة جديرة باللحظة: أن يكون الميوسين في عضلاتنا الهيكلية أكثر ارتباطاً بالميوسين المشتق من عضلات الطيران بتلك الذبابة المنزلية المزعجة التي تطن حول رأسك مما هو بالميوسين الذي في العضلات العاصمة التي تحكم في عملية الإخراج في جسمك. ومما يثير الدهشة أن هذا الاختلاف يرجع إلى أبعد مما قد تخيل، ويبدو أنه حتى يسبق نشوء خاصية التناظر الجانبي التي يشارك فيها كل الحشرات والفقاريات. وفيما يبدو، فإن قنديل البحر لديه أيضاً عضلات مخططة يمكن مقارنتها مجهرياً بعصاباته. وهكذا فإن كلاً من العضلات المتسame والعضلات المخططة ينقبضان باستخدام نظام متشابه من الأكتين والميوسين، ولكن كلاً من النظمتين على ما يظهر قد نشأ بشكل مستقل من سلف مشترك كان لديه كلا النوعين من الخلايا، وهذا السلف المشترك يُعد ضمن أقدم الحيوانات، من زمن تسيّد فيه قناديل البحر جميع الكائنات!

لكن بالرغم من هذا الاختلاف التطوري قديم الزمن لدرجة غير متوقعة بين العضلات المخططة والملساء، فمن الواضح أن جميع الأشكال التي لا حصر لها من الميوسين قد نشأت من سلف مشترك؛ فكلها تشارك في نفس البنية الأساسية، وكلها ترتبط بالأكتين وبثلاثي فوسفات الأدينوسين عند نفس الموضع، وكلها تدور خلال نفس الدورة الحركية. وإذا كانت الميوسينات في كلٌّ من العضلات المخططة والملساء مشتقة من سلف مشترك، فيُرجح أن ذلك السلف كان أكثر بدائية من قنديل البحر، ويُرجح أنه لم يكن يمتلك عضلات مخططة ولا ملساء، إلا أنه كان يستفيد بشكل ما من الأكتين والميوسين. فما الذي كانت تفعله هاتان المادتان في ذلك السلف العتيق؟ الإجابة ليست جديدة، بل تعود إلى عقد الستينيات من القرن العشرين، ويمكن تحديدها في اكتشاف واحد غير متوقع. ولكن بالرغم من قدمها، فإن قلة من الاكتشافات في علم الأحياء ككلٌّ كانت لها قوة واضحة كتلك، بينما تفتح في الآن عينه نافذة على عملية نشوء العضلات وتطورها. فلقد وجد هيرو هكسلي أن الأكتين يمكن «تزينه» برعوس الميوسين وأن يُشاهد بالمجهر الإلكتروني. دعني أفسر لك هذا.

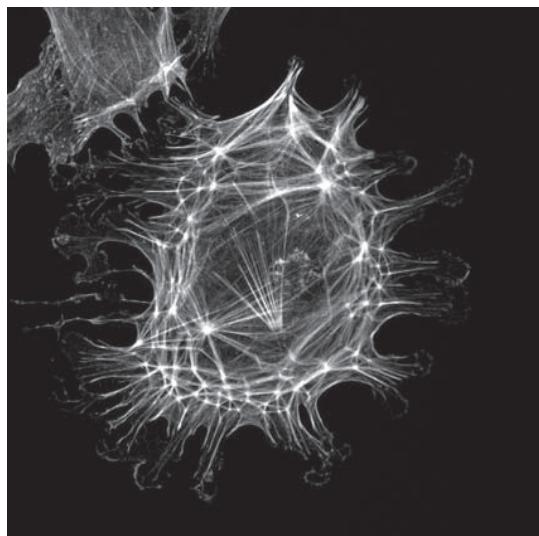
يمكن استخراج جميع الشعيرات المختلفة من العضلات وتكسيرها إلى أجزائها المكونة لها. فرعوس الميوسين، على سبيل المثال، يمكن فصلها عن ذيولها الطويلة وإعادة ربطها بالأكتين في أنبوبة اختبار. وفي ضوء الظروف المناسبة يعيد الأكتين تشكيل نفسه سريعاً إلى شعيرات طويلة، فالبلمرة خاصة تُوجَد في صميم تكوين الأكتين. حينئذ تلتتصق رعوس الميوسين بالشعيرات، كما يحدث تماماً في العضلة السليمية، وتتصطف مثل رعوس السهام الصغيرة جميماً على طول الشعيرة. وكل رعوس السهام هذه تشير إلى نفس الاتجاه؛ مما يظهر قطبية الشعيرات الأكتينية. فهي دائمًا تتجمع في هيئة واحدة القسيمات العضلية يعكس وضع هذه القطبية عند نقطة المنتصف، مع سحب كلتا النهايتين تجاه المنتصف؛ ومن ثم يحدث انقباض لكل قسم عضلي كوحدة واحدة. ويؤدي انقباض القسيمات العضلية المتتابعة إلى تقصير العضلة ككلٍّ.

وترتبط رعوس السهام الصغيرة بالأكتين ولا شيء غيره؛ ومن ثم فإن إضافة رعوس الميوسين إلى الأنماط الخلوية الأخرى يعمل كاختبار لوجود شعيرات الأكتين. وقبل عقد الستينيات كان الكل يفترض أن الأكتين بروتين عضلي متخصص، يُوجَد بغير شك في عضلات أنواع الكائنات المختلفة، ولكن ليس في أنماط أخرى من الخلايا. وهذه الأفكار



شكل ٣-٦: شعيرات أكتينية مأخوذة من العفن الغروي من نوع «فيساروم بوليسيفالوم» مزينة ببرءوس سهام ميوسينية من عضلات أربن.

القديمة اعتبرت أنها معطيات كيميائية حيوية افترضت أن واحداً من أكثر الكائنات تأكداً من خلوه من العضلات – وهو خميرة البيرة – قد تحتوي على الأكتين، ولكن تلك الحيلة البسيطة بتزيين الأكتين ببرءوس السهام الميوسينية فتحت الباب للكشف والإلهامات. وكان هكسلي أول من فتحه، بإضافة ميوسين الأربن إلى شعيرات أكتينية مستخرجة من العفن الغروي، وهو كائن بدائي جدًا، وتوصل بذلك إلى توافق مثالي (انظر الشكل ٣-٦). وهكذا، فإن الأكتين يُوجَد في كل الأنهاء؛ بمعنى أن كل الخلايا المعقدة تحتوي على هيكل داخلي يُسمى «الهيكل الخلوي» يتَشكّل من شعيرات الأكتين (وغيره) (انظر الشكل ٤-٦). فجميع الخلايا في جسم الإنسان، فضلاً عن غيره من الحيوانات والنباتات والفطريات والطحالب والحيوانات الأولية، جميعها تحتوي على هيكل خلوي أكتيني. والحقيقة القائلة إن ميوسين الأربن يرتبط بأكتين العفن الغروي تفترض ضمناً أن



شكل ٦-٤: هيكل خلوي أكتيني في خلية غضروفية بقرية، موضحاً باستخدام صبغة مشعة تُسمى «فالوبيدين-إف آي تي سي».

شعيرات الأكتين في الأنماط المختلفة المتطرفة من الخلايا تكون متشابهة جدًا في بنيتها التفصيلية. وهذا الافتراض صحيح تماماً بشكل يثير الدهشة؛ لدرجة أننا نعرف الآن، على سبيل المثال، أن التسلسلات الجينية في أكتين كلًّ من فطر الخميرة والإنسان متماثلة بنسبة ٩٥ بالمائة.^٠ ومن هذا المفهوم يبدو نشوء العضلات مختلفاً جدًا؛ فنفس الشعيرات التي تقوّي عضلاتك تقوّي كذلك العالم المجهري لجميع الخلايا المعقدة. ويكمّن الفارق الحقيقي الوحيد في تنظيمها.

في عالم الموسيقى، ثمة شيء أحبه للغاية في التنوعات. فحينما كان الموسيقار الألماني بيتهوفن شاباً يافعاً يؤدي عزفاً أمام الموسيقار النمساوي موتسارت، يُقال إن موتسارت لم يُعجب بعزفه بصفة خاصة، باستثناء مهارته في الارتجال؛ بمعنى قدرته على إصدار تقاسيم إيقاعية ولحنية متَّوِعة من جملة موسيقية بسيطة. وفي مشوار حياته بعد ذلك،

ووجدت موهبته تلك مَثَّلَها الأعلى في التنوييعات اللحنية الرائعة للموسيقار ديابللي. وكانت تنوييعات بيتهوفن صارمة التكوين تماماً مثل تنوييعات مقطوعة جولدبرج الرائعة للموسيقار باخ الذي سبقهم. وقد حافظ على الخطة التناغمية الأساسية للحن كله؛ مما أكسبه كُلّ توحّداً وانسجاماً يمكن إدراكه فوراً وتقديره. وبعد بيتهوفن، هبط لدى الكثريين مستوى هذه الدقة والصرامة، وغلب على الملحنين الموسيقيين تركيزهم على الحالات المزاجية والانطباعات، إلا أن موسيقاهم تفتقر إلى الحس الرياضي المتسم بالجلال والفخامة، وتفتقر إلى الشعور بأن كل فارق دقيق خفي في النغمات تم استخراجها، وكل بُعد سري جُعل واقعاً، وكل قدرة ممكناً تحقق.

هذه القدرة على صنع جملة موسيقية أساسية وعزف تنوييعات لحنية يمكن إدراكتها وتذوقها، مع الحرص دائمًا على إبقاء اللبنات البنائية للتركيبة الموسيقية، لها صدى يتواافق في علم الأحياء. فهناك جملة أو فكرة أساسية، وهي التفاعلات الحركية بين الميوسين والأكتين مثلاً، يتم تنوييعها حسب التصور اللانهائي لانتقاء الطبيعي، وصولاً إلى نظام مذهل من حيث التركيب والوظيفة. ويُعتبر العالم الداخلي لأي خلية معقدة دليلاً على هذه القدرة غير العادية على التنوييع الدقيق.

التفاعلات بين البروتينات الحركية وشعيرات الهيكل الخلوي مسؤولة عن عالم الحركة بكامله في الخلايا المعقدة؛ داخلياً وخارجياً. هناك الكثير من الخلايا التي تنزلق زاحفة على سطح صلب دون جهد ملحوظ، ولا أطراف ضاربة، ولا توابع وتمتعات جسمية. وهناك خلايا أخرى تكون بروزات تُسمى الأقدام الكاذبة؛ وهذه تمتد ساحبة الخلية إلى الأمام، أو تبتلع فرائسها في ثنياتها البروتوبلازمية. وهناك خلايا أخرى لديها أهداب أو أسواط تعمل حركاتها الانثنائية المتموجة والإيقاعية على تحريك الخلايا هنا وهناك. وداخل الخلايا يدور السيتوبلازم محركاً محتويات الخلية في حركة دائيرية موجية مستمرة. وفي عالم الخلية الدقيق جدًا، تسرع الأجسام الكبيرة نسبياً مثل الميتوكوندريا جيئةً وذهاباً، وتؤدي الكروموسومات رقصتها المهيّبة ثم تنسحب إلى ركنيهما المنفصلين. وسرعان ما تنقسم الخلية بعدها إلى اثنتين؛ بحدوث اختناق في منتصف الخلية وكأنه بفعل مشد خصر شديد الضيق. وكل هذه الحركات تعتمد على عدة أدوات جزيئية يكون فيها الأكتين والميوسين العنصرين التموزجيين. وتعتمد هذه الأمور كلها على تنوييعات صارمة لجملة «موسيقية» واحدة.

إذا استطعت أن تنكمش وتُصغر حجمك إلى حجم جزء من ثلاثة فوسفات الأدينوسين على سبيل المثال، فستجد الخلية كأنها مشهد لمدينة شاسعة من مدن المستقبل.

في جميع الاتجاهات تتمد مجموعة هائلة مذهبة من الكلاب، مدعاومة بالمزيد أيضًا من الكلاب، بعضها يبدو رقيقاً ورقيقاً، بينما يبدو البعض الآخر سميكًا. في هذه المدينة الخلوية تكون الجاذبية بلا معنى، بينما تسود الزوجة، وكذلك الذرات التي تهتز عشوائياً. حاول أن تتحرك وستجد نفسك عالقاً كأنك في وعاء من العسل، ولكنك في الوقت عينه تتعرض لصدمات عنيفة تجعلك تهتز من جميع الجهات. ثم فجأة وأنت في داخل هذه المدينة الصاحبة تأتي آلة مميزة تتحرك بسرعة مفزع، بقدم سريع متواصل، وبطريقة آلية مستخدمة واحدًا من الكلاب مساراً لها. ويتصل بهذه الآلة المندفعه من خلال أداة وصل معقدة جسم شاسع حقاً يتم جره بسرعة. إذا كنت في طريقها فستشعر كأنك ضربت بمحطة طاقة طائرة. وهي حقاً كذلك، فهذا هو الميتوكوندريون وهو في طريقه لتزويد الأشغال الرئيسية الموجودة في الجانب الآخر من المدينة بالطاقة. ثم ترى أجساماً أخرى عديدة، تنطلق كلها في نفس الاتجاه، بعضها على نحو سريع والبعض الآخر على نحو بطيء، ولكنها جميعاً يتم جرها على طول تلك المسارات في السماء بالآلات مشابهة. ثم فجأة! ... مع مرور الميتوكوندريون تجد نفسك أسيير تيار يجعلك تدور في دوامة. لقد صرت الآن جزءاً من الدورة المستمرة التي تقلب محتويات جميع الخلايا المعقدة؛ إنه التيار السيتوبلازمي.

هذا وصف بالغ الصغر لكم هائل من التعقيد يصعب علينا للغاية استيعابه، ولكن بالرغم من غرابة هذه المدينة الكبيرة المستقبلية، لا بد أن يكون هناك شيء من الألفة في هذا الأمر. فهذا الوصف قد ينطبق على أي خلية من خلايا جسمك، أو خلية نبات أو فطر أو حيوان أولي وحيد الخلية يسبح في بركة قريبة منك. فإن هناك وحدة رائعة لعالم الخلايا تجعلك تحس بشعور عميق بالارتباط والانتماء للعالم الذي حولك. ومن وجهة نظر الخلية، فأنت مجرد تعديل آخر في خطة الجسم، أو مجرد وسيلة أخرى لبناء شيء رائع ببنات متشابهة، ويا لها من بنا! وتلك المدينة الكبيرة اللاهثة، أي الخلية المعقدة، التي تُوجَد في جميع حقائقيات النوى (كائنات تتكون من خلايا معقدة بكل منها نواة؛ انظر: الفصل الرابع) تختلف عن العالم الأكثر بساطة بكثير الذي في داخل البكتيريا. وإن جانباً كبيراً من هذا الاختلاف يمكن أن يُعزى إلى وجود ذلك الهيكل الخلوي الرائع وحركته المرورية المستمرة التي تدير بلا كل جمیع محتويات الخلية. ودون تدفق تلك الحركة المرورية التي لا تتوقف ستكون المدينة الخلوية العظيمة مثل مدننا الكبيرة إذا خلت شوارعها من زحام المارة والسيارات.

وكل حركة المرور داخل الخلية يتولى أمرها محركات بروتينية تعمل بطريقة مشابهة بصفة عامة. أول هذه المحركات هو الميوسين الذي يشغل شعيرات الأكتين لأعلى وأسفل، تماماً كما يفعل في العضلات. ولكن هنا تبدأ التنوعات والاختلافات؛ ففي العضلات تقضي رءوس الميوسين تسعة عشر وقتها منفصلة عن شعيرات الأكتين، فإذا لم تفعّل هذا وبقيت مرتبطة بها فسوف تسبّب إعاقة مادية للرؤوس الأخرى مانعة إيابها من التأرجح، وسيكون هذا الأمر مثل سفينةٍ رفض مجدها أن يسحبوا مجاديفهم من الماء. وفي العضلات يعمل هذا النظام بشكل جيد لأن رءوس الميوسين تكون مجاورة لشعيرات الأكتين السلكية المعلقة، التي تجوب الخلية جيئةً وذهاباً، سيكون هذا النظام أكثر تسبباً للمشكلات. فما إن تفصل المحركات عن الشعيرة، فإنها تُضرب بعنف في هذا الاتجاه أو ذاك، وتناضل حتى تستعيد قبضتها (وإن كانت في بعض الحالات، تعمل التفاعلات الكهربائية على إبقاء تلك البروتينات الحركية مقيدة بالقرب من كبلاتها).

ويكون الحل الأمثل هنا هو المحرك «العملي»؛ وهو الذي يبقى متصلًا بسلك الأكتين بينما يتحرك (قائماً بعمله) بطريقة ما على طوله، وهذا هو ما يحدث بالفعل. فبقليل من التغيرات في تركيبة الميوسين يتحول إلى محرك عملي، قادر على التحرك على طول شعيرة الأكتين دون أن يفلت قبضته. فما الذي تغير؟ أحد التغيرات هي إطالة العنق. كما تذكر فإنه في العضلة يكون ثمة تلاصق بين رأسى الميوسين؛ إذ يرتبطان ارتباطاً وثيقاً عن طريق ذيليهما وعنقيهما، وفيما عدا ذلك فلا يكون ثمة ارتباط قوي متبادل بينهما. فإذا حدثت إطالة للعنقين قليلاً جداً فسيحصل الرأسان على قدر من الاستقلالية. فيمكن أن يبقى أحد الرأسين مرتبطاً بينما يتارجح الآخر؛ مما يتيح للمحرك أن يتقدّم بسرعة وتواصل على طول السلك.^۱ وهناك أشكال أخرى من الميوسين تضم ثلاثة أو حتى أربعة رءوس بدلاً من رأسين فقط. وبطبيعة الحال، فإن الذيل يجب حينئذ أن تكون متحركة، فلا تتضمن معاً في شعيرة سميكة، وبهذا تكون رءوس الأكتين حرّة الحركة. وفي النهاية ترتبط الأجسام الأخرى بالرؤوس المحرّكة عن طريق بروتينات «قارنة»، واحد لكل صنف من «الحمولة». وتصبح النتيجة أن تكون لدينا مجموعة من المحركات العملية القادرة على تحريك «الحمولة» في الاتجاهات كافة في الخلية على مسارات الأكتين.

والسؤال الآن: من أين جاءت هذه المجموعة الرائعة من البروتينات الحركية؟ لا يوجد شيء يماثلها في عالم البكتيريا. كما أن الأكتين والميوسين ليسا مسببَي التحريك الوحيدين في

الخلايا حقيقة النوى، بل تُوجَد عائلة ثانية من البروتينات الحركية تُسمّى الكينيزينات، ولكن الأسلام العالية المرتبطة بها ليست أسلام الأكتين الرفيعة، ولكن أنابيب أخرى أكبر سمكًا تُسمّى الأنبيبات الدقيقة، وهي تترك من وحدات فرعية من بروتين يُسمّى التيوبيولين. وتُعتبر الكينيزينات مسؤولة أيضًا، ضمن مهام أخرى كثيرة، عن الفصل بين الكروموسومات على مغزل من الأنبيبات الدقيقة أثناء انقسام الخلية. وثمة أنماط أخرى من البروتين الحركي أيضًا ولكن لا حاجة بنا لأن نخوض في تفاصيل كثيرة عنها.

وجميع هذه البروتينات الحركية مع مساراتها السلكية العالية لها أسلاف في البكتيريا، وإن لم تكن هذه الأسلاف واضحة دائمًا؛ إذ إنها تمارس عادةً مهامًا مختلفة تماماً.⁷ وهنا مجددًا كشفت تقنية التصوير البلوري بالأشعة السينية عن وجود صلات قرابة ربما لم يكن من الممكن إدراكتها بالتسلاسلات الجينية وحدها.

على المستوى التفصيلي للتسلاسلات الجينية، لا يوجد شيء مشترك تقريبًا بين النوعين الرئيسيين من البروتينات الحركية؛ وهما: الميوسينات، والكينيزينات. قد تُوجَد في هذا الموضع أو ذاك بعض نقاط التشابه، ولكنها اعتبرت لفترة طويلة مجرد مصادفة أو حالة من التطور المتقارب. وحقًا لقد بدت الكينيزينات والميوسينات حالةً تقليديةًّا من التطور المتقارب؛ حيث يصير نوعان لا علاقة بينهما من البروتينات متخصصان في أداء مهمة متماثلة. ومن ثم صارت البنية الأساسية لهما متشابهة، تماماً كما نشأت أحنة الخفافيش والطيور بصفة مستقلة بحيث وجدا حلولاً متشابهة للتحديات الشائعة للطيران.

وقد تَمَّت معرفة التراكيب ثلاثة الأبعاد لتلك البروتينات باستخدام تقنية التصوير البلوري. ففي حين يعطي التسلسل الجيني تتابعًا ثنائيًا للأبعاد للحروف — مثل كلمات للأوبرا بدون موسيقى — يعطي التصوير البلوري طوبوغرافيًا ثلاثة الأبعاد للبروتين، مثل أوبرا كاملة رائعة الجمال. وقد حدث ذات مرة أن قال الموسيقار الألماني فاجنر إن الموسيقى يجب أن تنشأ من الكلمات في الأوبرا؛ أي إن الكلمات يجب أن تأتي أولاً ويتم تركيب الموسيقى عليها. ولكن لا أحد يتذكر فاجنر لمشاعره التيوتونية (أي الألمانية العتيقة) الجياشة وحدها، ولكن موسيقاها هي التي عاشت لتسعد الأجيال التالية. وكذلك فإن التسلسل الجيني يضاهي الكلمة في الطبيعة، إلا أن الموسيقى الحقيقية للبروتينات تكون مخفية في أشكالها، وتلك الأشكال هي التي تعيش بالرغم من الانتقاء الطبيعي. فذلك الانتقاء لا تعني التسلسلات الجينية ولا بمثقال ذرة، ولكن تعني الوظيفة. ومع أن

الجينات هي التي تحدد الوظيفة، فغالباً جدّاً ما يتم هذا عن طريق تحديد شكل البروتين، من خلال قواعد الطي أو الانثناء التي لا تزال لا يُعرف عنها إلا القليل. ونتيجة لذلك، يمكن أن تنجرف التسلسلات الجينية المختلفة بعيداً لدرجة تجعلها لا يحمل بعضها البعض أي تماثل، كما في حالة الميوسينات والكينيزينات. إلا أن الموسيقى الأكثر عمقاً للكرات البروتينية ظلت باقية، وقد كشفت عنها تقنية التصوير البلوري.

وهكذا، على أساس التصوير البلوري، نعرف أن الميوسينات والكينيزينات تتشارك بالفعل في سلف مشترك، بالرغم من عدم تشاركهما في التسلسل الجيني إلا بالنذر اليسير. وتُظهر أشكالها ثلاثة الأبعاد نقاطاً كثيرة مشتركة من الانثناء والبنية، وصولاً إلى مستوى الأحماض الأمينية الحيوية المحفوظة في مواضعها في نفس الاتجاه، وهذا عمل فذ من أعمال الانتقاء يثير الدهشة؛ إذ تم حفظها بنفس الأنماط ونفس الأشكال، وفي نفس الموضع على مستوى ذري لمليارات السنين، بالرغم من تعرض مادتها، بل وتسلاساتها الجينية، للتآكل بمرور الزمن. وتُظهر هذه الأشكال أن كلاً من الميوسينات والكينيزينات مرتبط بعائلة أكبر من البروتينات لديها أسلاف بكتيرية واضحة.^٨ وقد مارست هذه الأسلاف (ولا تزال تمارس) وظائف تضمنت شكلاً ما من الحركة وبذل الجهد والتحول عن أحد التوافقات إلى آخر، على سبيل المثال، ولكنها جمِيعاً لم تكن قادرة على الحركة الحقيقية. ويُظهر لنا التصوير البلوري الهيكل الداخلي للبنية البروتينية بنفس الطريقة التي تُظهر بها الأشعة السينية عند فحص جناح طائر ما هيكله العظمي. وكما تنم التراكيب العظمية والمفاصل عن أصول أجنة الطيور، التي نشأت عن أطراف الزواحف غير القادرة على الطيران، فإن بنى البروتينات الحركية مشتقة من بروتينات قديمة كانت قادرة على التغيير التوافقي ولكن ليس على الحركة الحقيقية.

لقد منحتنا تقنية التصوير البلوري اكتشافات مبهرة بشأن نشأة وتطور الهيكل الخلوي أيضاً؛ تلك الأسلام العالية المحلقة من الأكتين والتوبوبولين. وقد يسأل البعض: لماذا تنشأ لدى خلية ما شبكة من الأسلام العالية ومسارات سريعة للبروتينات الحركية في غياب تلك البروتينات الحركية نفسها؟ لا يكون هذا بمنزلة وضع للعربة أمام الحصان؟ والإجابة: إن هذا لا يكون صحيحاً إذا كان الهيكل الخلوي قيّماً في حد ذاته. وتكون قيمة في خصائصه البنوية. يتم الحفاظ على أشكال جميع الخلايا حقيقة النوى – من الخلايا العصبية الطويلة والمغزلية إلى الخلايا الطلائية المسطحة – بفضل ألياف الهيكل الخلوي، وقد تبيّن أن الكثير من هذا ينطبق أيضاً على البكتيريا. على مدى أجيال سابقة

كان علماء الأحياء يعزون الكثير من أشكال البكتيريا (كالعصوية واللولبية والهلالية ... إلخ) إلى الجدر الخلوي الصلبة التي تحيط بالخلية. ومن ثم كانت مفاجأة في منتصف التسعينيات من القرن العشرين أن يكتشف العلماء أن للبكتيريا هيكلًا داخلياً خلويًا أيضًا، وهو يتكون من ألياف رفيعة تبدو إلى حد بعيد مثل الأكتين والتريوبيلين، وهي ألياف تعرف اليوم أنها مسؤولة عن الحفاظ على الأشكال البكتيرية الأكثر تعقيدًا (يؤدي حدوث طفرات في الهيكل الخلوي إلى عودة تلك الأشكال البكتيرية المعقّدة إلى أشكالها الكروية البسيطة).

وكما هو الحال بالنسبة للبروتينات الحركية، لا يوجد سوى القليل من التماثل الجيني بين البروتينات البكتيرية والبروتينات حقيقية النوى. إلا أن البنى ثلاثية الأبعاد التي فُحصت باستخدام التصوير البلوري في حوالي بدايات الألفية الحالية كانت أكثر إثارة للدهول حتى من البروتينات الحركية؛ فلقد وجد أن البنى البروتينية البكتيرية وحقيقة النوى تكاد تكون منتبقة ببعضها على بعض. فلها نفس الأشكال، ونفس الفراغات، وقليل من نفس الأحماس الأمينية المهمة في نفس الأماكن. فمن الواضح أن هيكل الخلية حقيقة النواة نشأ من هيكل مشابه في البكتيريا. ومع حفظ الشكل تحفظ الوظيفة؛ فكلهما يؤدي دوراً بنوياً واسعاً، ولكن في كلتا الحالتين، يكون هيكل الخلية قادرًا على أداء أكثر من مجرد الدعم الاستاتيكي. فهو ليس مثل هيكلنا العظمي الصلب، بل هو ديناميكي، يتغير ويُعاد تعديله بصفة مستمرة، فهو غير ثابت بل يتحرك دائمًا مثل سحب في يوم عاصف. ويمكنه بذل القوة وتحريك الكروموموسومات هنا وهناك، وتقسيم الخلايا إلى نصفين أثناء التكاثر بالتضاعف، ويمكنه في حالة الخلايا حقيقة النوى — على الأقل — مد بروزات خلوية، بدون مساعدة من أي من البروتينات الحركية على الإطلاق. وبختصر القول، يكون الهيكل الخلوي قابلاً للحركة ذاتياً. فكيف يحدث هذا؟

تتكوّن شعيرات كلّ من الأكتين والتريوبيلين من وحدات بروتينية فرعية تترتب في سلاسل طويلة، أو بوليمرات. وهذه القررة على البلمرة ليست شيئاً غير عادي؛ فالمواد البلاستيكية ما هي إلا بوليمرات تتربّع من وحدات أساسية تتكرّر في شكل سلاسل جزيئية مطولة. أما الأمر غير العادي المتعلّق بالهيكل الخلوي فهو أن بنيته تخضع للتوازن ديناميكي؛ بمعنى أنه يوجد اتزان يتغيّر باستمرار بين وحدات تُضاف ووحدات تُحذف، وبين

التبلمر وإزالة البلمرة. ونتيجة لهذا يُعاد تعديل الهيكل الخلوي باستمرار، بناءً وهدماً. ولكن هنا مكمن السحر؛ إذ إن الوحدات البنائية تُضاف فقط عند أحد طرفي السلسلة البوليميرية وتتفصل من الطرف الآخر (وهي تتركب على بعضها البعض بشكل مناسب مثل قطع الليجو، أو بالأحرى، مثل كومة من كرات لعبة الريشة الطائرة) وهذا يمنع الهيكل الخلوي القدرة على توليد القوة، وإليك السبب.

فإذا كان المعدل الذي تتم به إضافة وحدات إلى أحد طرفي السلسلة مساوياً لمعدل انفصال الوحدات من الطرف الآخر، فإن البوليمر ككلٌ يبقى طوله ثابتاً. وفي هذه الحالة تبدو السلسلة متحركة للأمام في الاتجاه الذي تُضاف عنده الوحدات الفرعية؛ فإذا وقف جسم ما في مسار السلسلة المتحركة، فإنه يمكن أن يُدفع مادياً للأمام. في الواقع الأمر إنه لا يتم تحريكه للأمام بفعل السلسلة نفسها حقاً، ولكن ما يحدث واقعياً هو أن ذلك الجسم يُضرب بفعل اهتزاز القوى الجزيئية العشوائية؛ وفي كل مرة تنتفتح ثغرة صغيرة بين الجسم ونهاية السلسلة النامية تتسلل وحدة فرعية إضافية وترتبط بالسلسلة. ويمنع امتداد السلسلة بهذه الطريقة حركة الجسم إلى الوراء، ومن ثم يميل الاهتزاز العشوائي لدفعه إلى الأمام.

ولعل أوضح مثال لهاذا يمكن رؤيته في بعض حالات العدوى البكتيرية؛ حيث تُدمّر البكتيريا بنية الهيكل الخلوي. فالليستيريا، على سبيل المثال، التي يمكن أن تسبب الالتهاب السحائي في الأطفال حديثي الولادة، تفرز اثنين أو ثلاثة من البروتينات التي تستولي معاً على الهيكل الخلوي لخلية العائل. ونتيجة لهذا تتحرك البكتيريا داخل الخلية المصابة بالعدوى، مدفوعة بطرف الأكتين الذي يُمثل «ذيل الذنب»، والذي يرتبط وينفصل وراء البكتيريا دافعاً إليها. ويعتقد أن هناك عملية مشابهة تحدث في البكتيريا نفسها لفص الكروموسومات والبلازميدات (وهي دوائر صغيرة من الـDNA إن إيه) أثناء التكاثر الخلوي التضاعفي. وهناك شيء مشابه يحدث في الأميبا (بل وفي بعض الخلايا المناعية البشرية مثل الخلايا البلعمية الكبيرة)؛ إذ تتكون البروزات الخلوية التي تُسمى الأقدام الكاذبة بقوة الدفع نتيجة لارتباط وانفصال شعيرات الأكتين نفسها، ولا حاجة هنا لأي بروتينات حركية معقدة مطلقاً.

قد تبدو الآلية الديناميكية للهيكل الخلوي كأنها السحر، ولكن يؤكد عالم الكيمياء الحيوية تيم ميتسيسون من جامعة هارفرد أن هذا أبعد ما يكون عن الحقيقة؛ فوراء ديناميكية الهيكل الخلوي عملية فيزيائية تلقائية تحدث دون الحاجة إلى عملية تطور

عالية المستوى. فالبروتينات التي لا يكون لها دور بنوي بأي حال يمكن أن تتبلمر فجأة دون سابق إنذار لتكون هيكلًا خلويًا كبيرًا، قادرًا على توليد القوة، ثم تتفكك بنفس السرعة لتعود إلى حالتها السابقة. قد يbedo هذا السلوك نذير شر، وحقًا هو سلوك لا يلقى ترحيباً من أغلب العلماء. ففي أنيميا الخلايا المنجلية على سبيل المثال تتبلمر صورة مختلفة من الهيموجlobin فجأة إلى هيكل داخلي، ولكن هذا يحدث فقط حينما تكون مستويات الأكسجين منخفضة. ويؤدي هذا التغير إلى تشويه خلايا الدم الحمراء إلى الشكل المنجلي الذي يعطي المرض اسمه، ومعنى هذا أنه يبذل قوة وحركة. وحينما ترتفع مستويات الأكسجين مجدداً يتفكك هذا الهيكل غير الطبيعي تلقائياً – كما تكون تلقائياً – فتعود الخلية إلى شكلها القرصي الطبيعي. إنه بحق هيكل خلوي ديناميكي مولد للقوة، بل لعله شيء عظيم الفائدة بحق.

ومن المرجح أن شيئاً مشابهاً قد حدث في حالة الهيكل الخلوي الأصلي منذ زمن بعيد؛ فوحدات ألياف الأكتين والتوبوبولين مشتقة أصلًا من بروتينات عاديّة كانت تمارس وظائف أخرى تتعلق بالخلية. وقد حدثت تغييرات طفيفة قليلة في بنيتها، كما يحدث في حالة الهيموجlobin المتغير، مكتنها من أن تتشكل تلقائياً إلى شعيرات. ولكن من المرجح أن هذا التغير، خلافاً لأنيميا الخلايا المنجلية، كانت له فائدة فورية؛ إذ عضده عملية الانتقاء الطبيعي. ويُحتمل أن هذه الفائدة الفورية لم تكن مباشرة أو حتى متعلقة بالحركة. وفي الواقع إن تكون هيموجlobin الخلايا المنجلية يتم بالانتقاء الطبيعي (أي بشكل مقصود) في المناطق التي يتوطن بها مرض الملاريا؛ إذ إن وجود نسخة واحدة من الجين الشاذ يحمي من الملاريا. فمع أن التشكل التلقائي لهيكل خلوي غير مطلوب أصلًا يتسبب في حدوث نوبات مؤلمة وطويلة الأمد (لأن الخلايا المنجلية غير مرنة وتتسد الشعيرات الدموية) فإن الانتقاء الطبيعي حافظ عليه ولم يمنعه؛ لأن له فائدة قيمة وغير مباشرة؛ إذ يمنع العدوى بطفيليات الملاريا.

وهكذا فإن روعة الحركة – منذ بداياتها الأولى، وحتى القوة الرائعة للعضلات الهيكلية – تعتمد على أنشطة عدد قليل من البروتينات وأشكالها المتغيرة بلا حصر. والمشكلة الباقيّة اليوم هي إزاحة كل هذه التغييرات العجيبة للكشف عن الجملة الموسيقية الأصلية، أو اللحن البسيط الذي بدأ ذلك كله. ويعتبر هذا من أكثر مجالات البحث العلمي إثارةً لاهتمام والجدل اليوم؛ وذلك اللحن قد غنته أم جميع الخلايا حقيقة النوى من قبل؛ ربما منذ ملياري عام. ومن الصعب استعادة أصوات الأنعام بعد تلك الحقبة

البعيدة، وليس من المعروف كيفية نشوء خاصية الحركة لدى أولئك الخلايا حقيقة النوى على التحقيق. ولا نعرف بشكل مؤكد ما إذا كان التعاون المشترك (أي التكافل والتكمال) بين الخلايا قد لعب دوراً مهمّاً كما شدد لين مارجوليس، أو ما إذا كان الهيكل الخلوي قد نشأ من جينات موجودة بالفعل في خلية العائل. وثمة بعض الألغاز المحرّجة من شأنها حين تجد الإجابة أن تمدنا برؤية أوضح. ففي البكتيريا، على سبيل المثال، يتم فصل الكروموسومات بعضها عن بعض باستخدام شعيرات الأكتين، بينما يتحقق الشد الذي يقسم الخلايا أثناء التكاثر التضاعفي باستخدام الأتبوبيات الدقيقة من التيوبيولين. والعكس صحيح بالنسبة للخلايا حقيقة النوى؛ حيث تتكون خيوط المغزل التي تفصل الكروموسومات أثناء انقسام الخلية من الأتبوبيات الدقيقة، بينما يتكون «المشد» المنقبض الذي يقسم الخلية من الأكتين. وحين نعرف كيف ولماذا يحدث هذا الانعكاس الوظيفي سنحصل على فهم أفضل للتاريخ التفصيلي للحياة على الأرض.

إلا أن هذه التحديات الكبيرة أمام الباحثين تعتبر في الحقيقة تفاصيل ضمن صورة شاملة صارت الآن واضحة على نطاق واسع؛ فنحن نعرف الآن ماهية البروتينات التي منها نشأ الهيكل الخلوي ونشأت البروتينات الحركية. ولا يهم كثيراً في إطار هذه الصورة الشاملة مصدر هذه البروتينات، سواءً كانت بكتيريا متكافلة أم خلية عائل؛ فكلاهما مصدر مقبول ظاهرياً، وحينما نعرف الإجابة لن تنهرأسس علم الأحياء الحديث. وثمة حقيقة مؤكدة: فإذا كانت هناك كائنات حقيقة النوى تعوزها القدرة على التحرك هنا وهناك، وأن تبذل القوى باستخدام هيكل خلوي ديناميكي وبروتينات حركية، فمعنى هذا أنه ليس بالإمكان العثور عليها الآن؛ فلقد ماتت منذ دهور من الزمان، وكذلك ذريتها كلها. لقد كان سلف جميع حقيقيات النوى الحية متحرّكاً، ويفترض أن قابلية الحركة جلبت معها مزايا كبيرة؛ ولذا يُحتمل أن نشوء قابلية الحركة حقّاً تغييرًا أكبر من مجرد تعقيد الأنظمة البيئية على طول الزمان. فلربما ساعد هذا على تغيير وجه كوكبنا الأرضي، من عالم بسيط تسوده البكتيريا إلى ذلك العالم الزاهر والزاخر بعجائب الكائنات التي نراها اليوم.

الفصل السادس

الإبصار

نعمة حُرم منها الكثيرون

إن حاسة البصر نعمة نادرة في الحياة. فلا تُوجَد أعين بالمعنى التقليدي، على الأقل في المملكة النباتية، فضلاً عن الفطريات والطحالب والبكتيريا. وحتى في المملكة الحيوانية لا تُعتبر العيون من السمات الشائعة على الإطلاق. ويُقال إن هناك ثمانين وثلاثين نموزجًا مختلفاً اختلافاً جوهريًّا من خطط بناء الجسم — ما تُسمى الشعبة — في عالم الحيوان، ولكن ليس منها سوى ستة فقط تمتلك عيوناً حقيقية. أما الباقي فقد عاش لمائتين الملايين من السنين دون أن يتمكّن من رؤية أي شيء على الإطلاق، ولم يعاقبها الانتقاء الطبيعي بشيء لافتقارها إلى تلك السمة.

وإذا وضعنا الفوائد التطورية للعيون في مقابل هذه الخلفية الصارمة فإنها تبدو ضخمة للعيان. ليست الشُّعْب كلها متساوية في العدد، وبعضها يفوق البعض الآخر. فالحجلبيات، على سبيل المثال، وهي الشعبة التي تضمُّنا نحن البشر وجميع الفقاريات الأخرى تحوي أكثر من ٤٠ ألف نوع، بينما لدى الرخويات، بما فيها البزاقات والقواقع والأخطبوطات ١٠٠ ألف نوع، وتضم المفصليات، بما فيها القشريات والعنكبيات والحشرات أكثر من مليون نوع، فهي تمثل ٨٠ بالمائة من جميع الأنواع الموصوفة. وعلى النقيض من هذه نجد أن أغلب الشُّعْب الأقل شهرة، بما فيها تلك الحيوانات غير المألوفة مثل الإسفنجيات والدوّارات وبعض أنواع الديدان والهلاميات التي لا يكاد يعرفها سوى علماء الأحياء التقليديون المدربون تضم قليلاً من الأنواع نسبيًّا، عشرات أو مئات، بينما تضم «شعبة» الصفيحيات نوعاً واحداً فقط. وإذا ضمننا جميع الأنواع الحيوانية معًا،

فسنجد أن ٩٥ بالمائة منها تمتلك أعيناً. وعلى هذا فإن ذلك العدد القليل من الشعب الذي لديه أعين هو الذي يسود الحياة الحيوانية في عالم اليوم.

بطبيعة الحال، قد لا تكون هذه أكثر من محض مصادفة. فلعل هناك ميزات أخرى خفية لخطط الجسم في هذه الشعب تحديداً أغفلناها وليس لها علاقة بالعيون، ولكن هذا لا يبدو مرجحاً. إن نشوء العيون الحقيقية القادرة على الإبصار المكاني أو الشيئي، وليس مجرد الإدراك البسيط لوجود الضوء أو غيابه، يعطي جميع المظاهر الدالة على حدوث تطور تحولي. وقد ظهرت أول عيون حقيقة بشكل مفاجئ إلى حدّ ما في سجل الحفريات، ويعود زمانها إلى حوالي ٥٤٠ مليون عام، قرب بداية تلك الفترة المتفجرة الكبيرة من النشوء والتطور، التي تسمى الانفجار الكمبري، حين ظهرت الحيوانات بدرجة هائلة وفجائية في سجل الحفريات وبتشعب هائل أيضاً. وهكذا، بعد أن بقيت الصخور صامدة عدة دهور، ظهرت جميع الشعب المعاصرة من الحيوانات تقريباً إلى الوجود بغير سابق إنذار.

ولم يكن التوافق اللصيق في الزمن بين تفجُّر الحياة الحيوانية في سجل الحفريات وبين نشوء العيون من قبيل المصادفة، وهذا أمر يكاد يكون مؤكداً؛ إذ إن الإبصار المكاني يجعل هناك فارقاً في الحركة بين المفترسات وفرايئها بالضرورة، ويمكن أن يحتمل أن يكون هذا هو السبب في الميل إلى تكون دروع سميكية لدى حيوانات العصر الكمبري، وفي الزيادة الكبيرة لاحتمالية الحفاظ على بقائها تلك الحيوانات كحفريات. وقد تبنّى عالم الأحياء أندرو باركر، من متحف التاريخ الطبيعي بلندن، فرضية معقوله مفادها أن نشوء العيون هو ما رسم ملامح الانفجار الكمبري على ذلك النحو المملي، بل والمثير للتساؤلات. سنبحث لاحقاً مسألة ما إذا كانت العيون قد نشأت بشكل مفاجئ (أو ما إذا كان سجل الحفريات مضللاً في هذا الصدد). أما الآن فدعنا نذكر فقط أن الإبصار يعطي معلومات عن العالم أكثر بكثير مما يمكن أن تعطيه حواس الشم أو السمع أو اللمس؛ فالأرض تسبح في بحر من الضوء، ويصعب جدًا أن تتجمَّب أن يراك الآخرون. ويعتبر الكثير من أروع حالات التأقلم في الحياة ردّ فعل لرؤيه الآخرين للكائن الحي، سواء أكان جلباً للجنس أو التلقيح في حالة طائر الطاووس أو الزهرة، أو استعراضًا للدروع الضخمة في بياناصور الستيجوسوروس أو حرصاً على التخفي والتمويه كما في الحشرة العصوية. وتهتم مجتمعاتنا بصورتها بدرجة كبيرة، وهو ما يجعلني في غنى عن المزيد من الخوض في هذه النقطة.

وفضلاً عن المنفعة التي يجلبها نشوء الإبصار، فإنه يُعد رمزاً ثقافياً؛ ذلك لأن العينين تبدوان مثاليتين للغاية. فمنذ عصر داروين اعتبرت العينان مثلاً أعلى يستحق التمجيد، وتحدياً قوياً لمفهوم الانتقاء الطبيعي. فهل يمكن أن ينشأ شيء كامل ومثالي إلى هذه الدرجة بوسيلة تلقائية؟ يقول المتشككون في نظرية الانتقاء الطبيعي: ما فائدة النصف عين؟ إن الانتقاء الطبيعي للكائنات يتقتضي إيجاد مليون تدرج، كلُّ منه أفضل بالضرورة مما سبقه، أما البنية غير المكتملة فسوف يلطفها العالم بلا رحمة. ويستطرد المتشككون في تلك النظرية قائلين: ولكن العين مثالية كما الساعة؛ فلا يمكن اختزالها أو تبسيطها، فإذا أزلنا قليلاً من مكوناتها فلن تعمل. فالساعة بدون «رacaش» تكون معطلة، وكذلك العين بدون عدسة أو شبكيَّة لا قيمة لها، أو هكذا قبلَ لنا. فإذا كان النصف عين لا قيمة لها، فلا يمكن أن تكون العين قد نشأت بالانتقاء الطبيعي أو بأي وسيلة أخرى يعرفها علم الأحياء الحديث؛ ومن ثم يجب أن تكون دليلاً على التصميم السماوي.

تلك المجادلات القاسية الكثيرة عن الكمال في علم الأحياء نادرًا ما تفعل أكثر من ترسير أوضاع متصلبة بالفعل. ويعترض المدافعون عن داروين قائلين إن العين هي بالفعل بعيدة عن الكمال، وهذا يعرفه كل من يرتدي نظارة أو عدسات لاصقة أو من يفقد بصره. هذا صحيح لا شك، ولكن ثمة خطر يكتنف هذا النوع من الجدل النظري ويتمثل في أنه يتغاضى عن الكثير من التفاصيل الدقيقة الموجودة دون شك. حُد العين البشرية مثلاً. يوجدرأي شائع بين بعض الناس يزعم أن عيوب تصميم تلك العين عميقة جدًا وأنها تُعد دليلاً جيداً على الطريقة التي اتبعتها عملية النشوء والتطور — على حد زعمهم — في التجميع العشوائي لتركيب غير ملائمة وغير مخطط لها أعجزها نقصان ما لهذه العملية من بصيرة. وزعموا أن المهندس البشري يمكنه أن يقوم بعمل أفضل من هذا بكثير، بل إن الأخطبوط لديه عين أفضل. لكن هذا الزعم الظالم يغفل قاعدة يعرفها الكثيرون، وتُعرَف باسم القانون الثاني لليزلي أورجل، الذي يقول: إن التطور أكثر مهارة منك أيها الإنسان.

دعنا ندرس هذه الحالة باختصار. إنَّ لدى الأخطبوط عيناً تشبه عين الإنسان إلى حد بعيد، عيناً أشبه بـ«الكاميرا»، بها عدسة واحدة من الأمام، وطبقة حساسة للضوء، أي الشبكية، من الخلف (وهي بمنزلة فيلم الكاميرا). ولأن آخر سلف تشاركنا فيه مع الأخطبوط كان على الأرجح نوعاً من الديدان الذي حُرم من وجود عين حقيقية، فلا

بد أن عين الأخطبوط وعين الإنسان نشأتا بشكل مستقل وتفرقتا وسارت كلُّ منها في طريقها لأداء نفس المهمة. وهذا الاستدلال تدعيمه المقارنة بين نوعي العين؛ فكلُّ منها تتكون من أنسجة مختلفة في الجنين وينتهي بها الأمر إلى تركيبة مجهرية منفصلة. تبدو تركيبة عين الأخطبوط كأنها أكثر منطقية؛ فالخلايا الحساسة للضوء في الشبكيَّة تشير إلى الخارج تجاه الضوء، بينما تمر الألياف الخلوية العصبية إلى الخلف مباشرةً إلى المخ. وعند المقارنة، نجد أن شبكيَّة الإنسان غالباً ما يُقال إنها موضوعة على نحو معكوس؛ وهو نسق يبدو ظاهريًّا غير مناسب. فبدلًا من أن تبرز الخلايا الحساسة للضوء إلى الأمام، نجدها تقع في المؤخرة، مغطاة بالألياف الخلوية العصبية التي تمر إلى الأمام في مسار التفافي إلى المخ. فيجب على الضوء أن يمر خلال هذه الغابة من الأسلام قبل أن يستطيع الوصول إلى الخلايا الحساسة للضوء، والأسوأ من هذا أن الأسلام تشكل حزمة تخترق الشبكيَّة متوجهة إلى الوراء تحت اسم العصب البصري؛ تاركة بقعة عميقَة عند نقطة الاختراق.^١

لكن يجب ألا نتسرَّع فننغلق النسق الذي نحن عليه. وكما هو معتاد في علم الأحياء فإن الموقف أكثر تعقيداً مما يبدو؛ فالأسلاك (أي الألياف العصبية) عديمة اللون، ومن ثم لا تعيق مرور الضوء كثيراً، وحتى في وضعها هذا فهي تعمل «كمعامل توجيه للموجات»؛ إذ تُوجِّه الضوء رأسياً نحو الخلايا الحساسة للضوء، مسببة بهذا أكبر استفادة بالفوتوتونات المتاحة. وربما كان الأهم من هذا أن لدينا ميزة انطمamar الخلايا الحساسة للضوء مباشرةً في خلاياها الداعمة (الظُّهَارَةُ الْمُصْطَبِغَةُ لِلشَّبَكِيَّةُ) مع وجود إمداد وفير بالدم مباشرةً من أسفل. وهذه المنظومة تدعم التحولات المستمرة للأصاباغ الحساسة للوزن. وتستهلك الشبكيَّة البشرية قدرًا من الأكسجين أكثر مما يستهلكه المخ لكل جرام من الوزن؛ مما يجعلها أنشط عضو في الجسم. ومن ثم تُعتبر هذه المنظومة بالغة القيمة. وفي جميع الأحوال لا يمكن أن تتحمل عين الأخطبوط معدل الأيض المرتفع الذي في عين الإنسان، ولكنها ليست بحاجة إلى هذا على الأرجح؛ فالأخبوط في معيشته تحت الماء في شدة إضاءة أقل قد لا يحتاج أن يُعيد تدوير أصاباغه الضوئية سريعاً.

ووجهة نظري أن هناك ميزات وعيوبًا في كل منظومة مادية في علم الأحياء، والنتيجة هي حالة توازن القوى الانتلاقية التي قلما تقدِّرها. وهذه هي المشكلة عند بحث تلك القضية الجزئية؛ فكثيراً ما نرى نصف الصورة وحسب، ودائماً ما تكون المجادلات المفرقة في الطبيعة المفاهيمية عرضة للهجوم اللفظي. وأنا، مثل أي عالم، أفضل أن أتبع

قطار المعطيات. وقد حدثت نهضة في علم الوراثة الجزيئية في العقود الأخيرة زودتنا بثروة من المعلومات التفصيلية التي تعطي إجابات شديدة التحديد عن أسئلة شديدة التحديد. وحينما ننظم هذه الإجابات جمِيعاً معاً تنبثق رؤية قوية واضحة عن كيفية نشوء العين ومن أين نشأت: من سلف أخضر اللون وبعيد لدرجة تثير الدهشة. وفي هذا الفصل سوف نتبع هذا الخط لترى على وجه التحقيق فائدة النصف عين، وكيف نشأت عدسة العين وتطورت، ومن أين جاءت خلايا الشبكية الحساسة للضوء. وحينما نضم أجزاء هذه القصة معاً سنرى أن نشوء العينين قد غَيَّرَ وتيرة التطور وتدفعه.

من السهل إجابة السؤال: «ما فائدة النصف عين؟!» بأسلوب تهكمي، فنسائل: أي نصف تقصد: الأيمن أم الأيسر؟! ويمكنني أن أتفهم الرد الخاطف اللاذع الذي أطلقه ريتشارد دوكينز حين قال إن النصف عين أفضل بنسبة ١٤٩ بالمائة من العين؛ ولكن من منظور الأشخاص الذين يجدون صعوبة في أن يستحضروا في أذهانهم صورة واضحة للنصف عين يكون تصور ٤٩ بالمائة من العين أمراً أصعب. لكن في الواقع، يمثل مصطلح «النصف عين»، بالمعنى الحرفي، طريقة جيدة جدًا لمعالجة المشكلة؛ فالعين، من وجهة النظر العلمية، تنقسم إلى نصفين بالتمام والكمال: أمامي، وخلفي. وكل من حضر مؤتمرات لعلماء طب العيون سيعلم أن أولئك العلماء يندرجون في شعبتين كبيرتين: الذين يتعاملون مع مقدمة العين (وهم جرّاحو المياه البيضاء وعيوب النظر الانكسارية؛ أي الذين يتعاملون مع العدسة والقرنية)، والذين يتعاملون مع خلفية العين (أي الشبكية) فيعالجون الأسباب الرئيسية للعمى مثل الاحتلال البقعي للشبكية. وتفاعل الشعبتان على مضض، وفي بعض الأوقات تبدوان بالكاد كأنهما تتحدثان لغة واحدة، لكن لهذا التمايز ما يبرره. فإذا جرّدت العين من جميع تجهيزاتها البصرية فإنها تختزل إلى شبكة مكشوفة؛ مجرد لوح حساس للضوء ولا شيء فوقه. وتُعدُّ تلك الشبكية المكشوفة محور ارتکاز مؤكّد للنشوء والتطور.

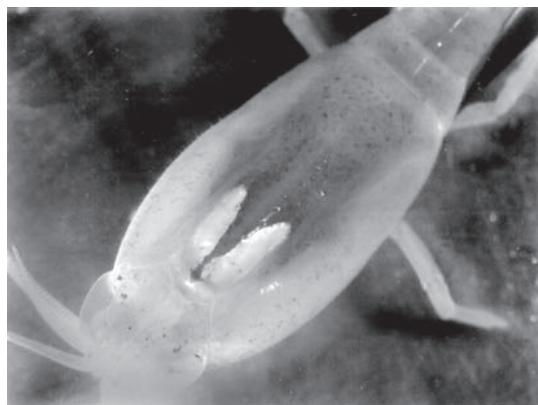
قد تبدو فكرة الشبكية المكشوفة غريبة، ولكنها تتلاءم بشكل ملائم للغاية مع بيئـة غـريبـة بنفس الـدرـجة، وهي الفـوهـاتـ الـحرـمـائـيةـ الـمحـيطـيـةـ العمـيقـةـ، تلك المـادـاخـنـ السـوـدـاءـ التي زـرـناـهاـ فيـ الفـصـلـ الأولـ. تـعـتـبـرـ هـذـهـ الفـوهـاتـ مـقـرـاًـ لـجـمـوعـةـ مـدـهـشـةـ منـ أـشـكـالـ الـحـيـاةـ، وـكـلـهاـ تـعـتـمـدـ بـطـرـيـقـةـ أوـ بـأـخـرـىـ عـلـىـ الـبـكـتـيرـيـاـ الـتـيـ تـعـيـشـ مـباـشـرـةـ عـلـىـ غـازـ كـبـيـتـيـدـ الـهـيـدـرـوـجـيـنـ الـمـبـعـثـ منـ تـلـكـ الفـوهـاتـ. وـلـعـلـ أـغـربـ تـلـكـ الـأـشـكـالـ وـأـكـثـرـهاـ

إثارة للاهتمام هي الديدان الأنبوية العملاقة التي يصل طولها إلى ثمانية أقدام. ومع أنها ذات صلة بعيدة بديدان الأرض العادمة، فإنها كائنات عجيبة بلا فنوات هضمية، فلا أفواه لها ولا أمعاء، ولكنها تعتمد في بقائها على البكتيريا الكبيرة التي تعيش داخل أنسجتها. وثمة كائنات عملاقة أخرى تعيش في تلك الفوهات الحارة وتتشمل رخويات ضخمة من البطلينوس وبلح البحر.

تُوجَد جميع هذه الكائنات العملاقة في المحيط الهادئ، إلا أن فوهات المحيط الأطلسي تحوي أيضًا عجائبها هي الأخرى، ومن أهمها نوع من الجموري الذي يعيش حياة جماعية، واسمه العلمي «ريميكاريس إكسوكيلولاتا»، ويتجتمع في حشود كبيرة أسفل تلك المدائن. معنى الاسم العلمي حرفياً: «جموري الصدوع الأعمى»؛ وهي تسمية غير مُوَفَّقة تدل على سوء تقدير من أطلقوها. بالتأكيد، كما هو متوقع من التسمية ومكان المعيشة في الأعماق المظلمة من المحيط الأطلسي فليس لدى ذلك الجموري أعين تقليدية. فليست لديه السويقات العينية التي لدى أقربائه في الجموري الذي يعيش في المناطق السطحية المضيئة، ولكن لديه قطعتان كبيرتان على ظهره، ومع أن منظر هاتين الرقعتين يصعب وصفه، فإنهما تعكسان الضوء كعيني القط في أغوار المحيط العميقة التي يندر فيها الضوء.

أول من رصَّ هاتين الرقعتين المستكشَفةُ سيندي فان دوفر، ويعُدُ اكتشافُها بدايةً واحدةٍ من أبرز المسيرات العلمية في وقتنا الحالي. إن فان دوفر من نوعية المكتشفين العلميين الذين اعتاد كاتب الخيال العلمي الفرنسي جول فيرن أن يكتب عنهم؛ إذ يندر وجود أمثالها اليوم مثلما يندر وجود أنواع الحيوانات التي تدرسها. وترأس فان دوفر اليوم المعمل البحري بجامعة ديوك، وقد زارت جميع مناطق تلك الفوهات الحارة المعروفة أو أغلبها فضلاً عن القليل من المناطق التي لم تكن قد اكتُشفَتْ بعد. وهي تُعدُّ أول امرأة ترتاد أغوار مناطق «الآفرين» البحرية العميقة. وقد اكتشفت فيما بعد أن نفس أنواع البطلينوس والديدان الأنبوية العملاقة تستوطن المناطق الباردة بالقیعان البحرية، حيث يتسرُّب غاز الميثان من أعماق الأرض، وهذا يدل على أن الظروف الكيميائية، وليس الحرارة، هي القوة الدافعة وراء ازدهار الحياة في قاع البحر. ولكن في أواخر عقد الثمانينيات من القرن العشرين لم يكن أيًّا من هذا قد حدث بَعْدُ، ولا بد أنها كانت تشعر بالارتباك عند إرسالها عينات من الرقع الظهرية للجموري الأعمى إلى أخصائي في عيون اللافقاريات، ومعها تساؤل ساذج يقول: هل يمكن أن تكون هذه

عيناً؟ فإذا اعتربنا أن الشبكية هي أساس العين فإن الرد المقتضب يكون إن العين قد تبدو بهذا الشكل. فحتى إن كان الجموري الأعمى محروماً من المكونات المعتادة للعيون — العدسة والقرزحية ... إلخ — فإنه يمتلك ما تبذوان لأنهما شبكيتان مكشوفتان تمتدان جزئياً على ظهره، بالرغم من معيشته في الأعماق المظلمة للمحيط (انظر الشكل ١-٧).



شكل ١-٧: الجموري الأعمى ريميكارييس إكسوكيلولات، وتظهر عليه الشبكيتان المكشوفتان، باهتتا اللون، اللتان تمتدان على الظهر طولياً.

ومع إجراء المزيد من الدراسات، كانت النتائج أفضل مما كانت تأمل فان دوفر. فقد تبيّن أن الشبكيتين المكشوفتين بهما صبغ له خصائص مشابهة جدًا لذلك المسؤول عن إدراك الضوء في شبكة عين الإنسان، والذي يُسمى «رودوبسين». وفضلاً عن هذا، فإن هذا الصبغ يملأ الخلايا الحساسة للضوء المميزة لعيون الجموري العادي، حتى وإن كان المظاهر العام للشبكيّة مختلفاً جدًا. ومن ثم فعل الجموري الأعمى يستطيع بالفعل أن يرى الأشياء في قاع المحيط. أم هل الفوهات نفسها تنتج بريقاً خافضاً؟ هكذا تساءلت فان دوفر. على أي حال، فإن شعيرات المصباح الساخنة تتوهج، والفوهات المذكورة ساخنة وممثلة بالمعادن المنصهرة.

لم يحدث قط أن تم إطفاء الأضواء عند الغطس في منطقة آلفين من قبل. ففي ذلك الظلام الدامس كان هذا الفعل من أشد صور الحماقة؛ إذ كانت هناك احتمالية كبيرة أن

تسقط المركبة في إحدى الفوهات الحارة وتشوى بمن فيها، أو تدمر أدواتها على الأقل. لم تكن فان دوفر قد نزلت بعد في إحدى تلك الفوهات بنفسها، بل نجحت في إقناع العالم الجيولوجي جون ديلاني الذي كان على وشك أن يغامر بالنزول بإطفاء الأصوات وتوجيه كاميرا رقمية داخل إحدى الفوهات. صحيح أن الظلام كان دامساً بالنسبة للعين المجردة، لكن ديلاني التقط بالكاميرا صورة لهالة محددة بوضوح حول الفوهة ووصفها بأنها «تحوم في الظلام مثل ابتسامة قط تشيشار». وحتى في هذه الحالة، فإن هذه الصورة المبكرة لم تُعطِ تلميحاً لنوع الضوء الذي انبعث، ولا لون الأشياء ولا درجة إضاءتها. فهل يمكن حقاً أن «يرى» الجموري ضوء الفوهات بينما لا نستطيع نحن أن نرى شيئاً على الإطلاق؟

كان من المتوقع لتلك الفوهات المظلمة، المتوجهة مثل شعيرات المصباح الساخنة، أن تبرق بلون أحمر تصل أطواله الموجية إلى المدى الحراري (قرب الأشعة تحت الحمراء). ومن المفترض نظرياً أن الأطوال الموجية الأقصر، في النطاقات الصفراء والخضراء والزرقاء من الطيف، يجب ألا تبعث إطلاقاً. وقد تم إثبات هذه الافتراضات ببعض القياسات المبكرة، وإن كانت غير دقيقة؛ حيث وُضعت مرشحات ملونة على عدسة الكاميرا. ومن المفترض أنه إذا كان الجموري يمكنه أن يرى ضوء الفوهات، فستحتاج «عيناه» لأن تتكيّفاً لرؤية الضوء الأحمر أو ما قرب الأشعة تحت الحمراء. إلا أن أولى الدراسات على عيني الجموري افترضت غير ذلك. فعلى العكس، تحقق أكبر استثارة لمادة الروذوبسين الصبغية عن طريق الضوء الأخضر، بطول موجي حوالي 500 نانومتر. ومع أنه من الممكن قبول هذه النتيجة باعتبارها نوعاً من الشذوذ الضوئي، فإن القراءات الكهربائية لشبكة الجموري، بالرغم من شدة صعوبة الحصول عليها، أفادت كذلك أن الجموري يمكنه فقط أن يرى الضوء الأخضر. وكان هذا أمراً غريباً بالفعل؛ فإذا كانت الفوهات تتوجه بلون أحمر، ولا يستطيع الجموري أن يرى إلا الأخضر فإنه يكون فعلياً أعمى. فهل كانت تلك الشبكيات مجردة الغريبة بلا وظيفة، ولعلها أعضاء مضحلة مثل العيون العميات لأسماك الكهوف المظلمة؟ وقد أوحتحقيقة أنها موجودة على ظهور الجموري وليس في رءوسها بأنها لم تكن أعضاء أثرية مضحلة، ولكن لم يكن ذلك بدليل حاسم.

ثم جاء الدليل مع اكتشاف يرقاتها. فليس عالم تلك الفوهات سرمدياً كما قد يبدو، بل كثيراً ما تهلك الكائنات الحية ببعض تلك الفوهات اختناقًا بسبب ما قد يتتدفق فيها

من دخان أو غيره، فلا تزيد أعمارها عن أعمار البشر. وتتناثر فوهات جديدة في أماكن أخرى على قاع المحيط، وغالباً ما تكون على بعد أميال كثيرة. ولكي تعيش الأنواع الحية بتلك الفوهات يجب أن تَعْبُر «الفجوة» الزمنية بين الموت والعيش قرب فوهات جديدة تتعجب بالحياة. وفي حين أن حركة معظم الحيوانات البالغة تعوقها عمليات تأقلمها مع أحوال الفوهات – ولتفكر فقط في تلك الديدان الأنبوية العملاقة المحرومة من الفم والقناة الهضمية – فإن يرقاتها يمكن أن تنتشر بأعداد هائلة في مياه المحيط. وسواء وكانت اليرقات تعثر بالمصادفة على فوهات جديدة (بأن تنتشر بفعل تيارات المحيط العميق) أو على أداة للاستقرار غير معروفة (باتباع التدرجات الكيميائية على سبيل المثال) فهذا موضع جدل ونقاش، ولكن الأشكال اليرقية ليست متأقلمة مع عالم الفوهات على الإطلاق. فهي تُوجَد في أغلب حياتها أقرب إلى سطح المحيط، وإن كانت لا تزال في عمقه، عند مستوى تتخلل فيه بعض أشعة الشمس المياه. وبتعبير آخر نقول إن اليرقات تعيش في عالم تكون فيه العيون مفيدة.

من بين أوائل اليرقات التي تم التعرُّف عليها، كانت يرقات نوع من سرطان البحر يحمل المسمى العلمي «بيثوغرايا ثرميدرون». ومما يثير الاهتمام أن السرطان البالغ من هذا النوع يشبه الجمبري البالغ الذي يستوطن تلك الفوهات في كونه يمتلك شبكتين مكشوفتين بدلاً من العينين الكاملتين، ولكنه يختلف عن الجمبري في أن هاتين الشبكتين تُوجَدان على رأسه في المكان الذي يُتوقع أن نجد العين عنده. ولكن كان الاكتشاف الأقوى أن يرقات ذلك النوع من السرطان كانت لها أعين، وهي أعين طبيعية، بالنسبة للسرطان على الأقل. ومن ثم، حينما كانت العيون مفيدة كانت للسرطانات عيون.

تبع ذلك اكتشاف العديد من اليرقات. تعيش أنواع عدّة من جمبري الفوهات الحرماطيّة بجوار نوع ريميكاريis إكسوكيلاتا، ولكن يغفل العلماء عنها بسهولة، فهي كائنات تعيش مفردة وليس في جماعات كغيرها. وقد تبيّن أنها تملك هي الأخرى شبكتين مكشوفة على رءوسها وليس ظهرها، وتتشبه السرطان في أن يرقاتها لديها عيون طبيعية تماماً. وفي الحقيقة إن آخر يرقات تم التعرُّف عليها كانت يرقات الريميكاريis نفسه؛ وهذا يرجع جزئياً إلى أن تلك اليرقات تكون مشابهة – بشكل محِّير – ليرقات الأنواع الأخرى من الجمبري، وجزئياً لأن لديها هي أيضاً أعيناً طبيعية تماماً على رءوسها.

كان اكتشاف العيون العادي في اليرقات أمراً مهماً للغاية. فمعناه أن الشبكية المكشوفة ليست مجرد عين مضمحة، تمثل نهاية لأجيال من الخسارة، تؤدي وظيفة

متبقية تنسجم مع الحياة في الظلام الدامس. فلأشكال اليرقية عيون جيدة تماماً وإنما كانت تفضل أن تفقدا أثناء نضجها، فهذا لا علاقة له بأجيال من الخسارة التطورية المستديمة؛ بل كان شيئاً متعمداً، أيًّا كانت التكاليف أو الفوائد. ولنفس السبب، نقول إن الشبكية المكشفة لم تتطور من العدم، باللغة في تلك البيئة المظلمة درجة ضئيلة من الأداء الوظيفي لا يمكنها أن تتنافس العين الكاملة التي تكون صوراً حقيقية. بل ما يحدث أنه ما إن تصل اليرقات إلى طور البلوغ تهبط إلى تلك الفوهات وتنتشر عيونها وتخفي تماماً، بأن تُنْصَّص أجزاؤها، خطوة بخطوة، ولا يتبقى بعد ذلك إلا الشبكيات المكشفة. وفي حالة الجموري من نوع ريميكاريis إكسوكيلاتا وحده تخفي العيون تماماً، وتنمو الشبكيات المكشفة من لا شيء على ظهورها. ويبدو، بصفة عامة، أن الشبكية المكشفة أكثر فائدة من العين الكاملة في سلسلة من الحيوانات المختلفة؛ فهي ليست حالة فردية، ولا من المصادرات ... فلماذا؟

تمكن قيمة الشبكية المكشفة في التوازن بين دقة الوضوح وبين الحساسية. وتعني دقة الوضوح: القدرة على رؤية (أو تبيين) تفاصيل الصورة. وهي تتحسن عند وجود العدسة والقرنية ... إلخ؛ إذ إن تلك التراكيب كلها تساعد في تركيز الضوء على الشبكية؛ لتكوين صورة واضحة. أما الحساسية فهي عملية عكسية؛ إذ تعني القدرة على إدراك الفوتونات الضوئية. فإذا كانت لدينا حساسية منخفضة فإننا نستخدم الضوء المتأخر بدرجة ضئيلة. وفي حالتنا هذه يمكن أن تزداد حساسيتنا للضوء باتساع فتحة دخول الضوء إلى العين (حدقة العين) وزيادة عدد الخلايا الحساسة للضوء في الشبكية (الخلايا العصوية). وحتى في هذه الحالة فإن تلك الوسائل ليست بلا نهاية، والآليات الميكانيكية المطلوبة لتوضيح الصور ستحد في النهاية من درجة حساسيتنا للضوء. والطريقة الوحيدة لتحسين الحساسية وزيادتها تكون بفقدان العدسة وتوسيع حدقة العين بدرجة غير محدودة؛ مما يزيد من الزاوية التي يمكن بها للضوء أن يدخل العين. وستتمتع العين بأكبر فتحة على الإطلاق حين لا تُوجَد فتحة من الأساس؛ أي حين تكون الشبكية مكشفة. وإذا أخذنا تلك العوامل في الحسبان، فبإجراء عملية حسابية بسيطة نكتشف أن الشبكية المكشفة في جموري الفوهات البالغ تزيد بمقدار 7 ملايين مرة أو أكثر في حساسيتها عن العيون كاملة التكوين في يرقاتها.

وهكذا فإن الجموري، من خلال التضحية بالقدرة على توضيح الصورة، يكتسب القدرة على اكتشاف المستويات شديدة الانخفاض من الضوء وأن يعرف، بدرجة ما،

من أين يأتي الضوء، على الأقل من أي جهة: من أعلى أو أسفل، من الخلف أو الأمام. هذه القدرة الرائعة على إدراك الضوء يمكن أن تكون فارقاً بين الحياة والموت في عالم يتقلب بين درجات حرارة عالية بما يكفي لشيء ذلك الجموري في ثوانٍ معدودة، أو شديدة البرودة بما يهدد حياتها وبقاءها. وأنصورو أحد تلك الحيوانات وهو ينجرف إلى الفضاء الخارجي مثل رائد فضاء يفقد اتصاله بسفينته الفضائية. وهذا قد يفسّر السبب في أن لدى ذلك الجموري من نوع ريميكارييس إكسوكيلولاتا عينين على ظهره؛ إذ إنه يعيش في حشود على سلاسل الصخور التي أسفل الفوهات مباشرةً. ولا شك أنه يكون في قمة ارتياحه حينما يتقطط الكمية المناسبة تماماً من الضوء المصفى عبر الماء من أعلى لأسفل، حتى يصل إلى ظهره؛ إذ يكون رأسه مدفوناً تحت الأعداد الكبيرة المحتشدة من الجموري. أما أقرباؤه الذين يعيشون متفرقين، فيكونون في وضع مختلف ظاهرياً، فتُوجّد شبكياتهم المكشوفة على رءوسهم.

سنترك السؤال القائل: لماذا يرى الجموري اللون الأخضر في عالم يسوده اللون الأحمر الخافت؟ إلى وقت آخر (علمًا بأنه لا يعاني العمى اللوني). أما الآن، فنقول بصفة أساسية إن النصف عين (وهي الشبكة المكشوفة) أفضل لذلك الحيوان من عين كاملة، على الأقل تحت ظروف معينة. ولسنا في حاجة إلى أن نؤكّد على أفضلية وجود النصف عين تلك على عدم وجود عين على الإطلاق.

تعتبر تلك الشبكة المكشوفة البسيطة، التي هي بقعة كبيرة حساسة للضوء، في واقع الأمر نقطة انطلاق لأغلب المناقشات التي تدور حول نشوء العين وتطورها. بل إن داروين نفسه تخيل أن تلك العملية بدأت ببقعة حساسة للضوء. وكثيراً ما يُستشهد بكلامه على نحوٍ خارجٍ عن سياق الكلام عن موضوع العيون، ليس فقط من جانب الذين يرفضون تقبّل فكرة الانتقاء الطبيعي باعتبارها واقعاً، ولكن حتى في بعض الأحيان من جانب علماء يتحرّقون شوقاً من أجل «حل» مشكلة يفترض أنها حيرت ذلك الرجل والعالم الكبير داروين. وهكذا كتب داروين — وهي المقوله التي يكثر الاستشهاد بها — يقول عن العين:

فيما يخص افتراض أن العين بكل آلياتها الفذة الفريدة لضبط البؤرة من مسافات مختلفة، وإدخال كميات مختلفة من الضوء، ولتصحيح الانحراف

أعترف ببساطة أن هذا كلام سخيف بشدة.

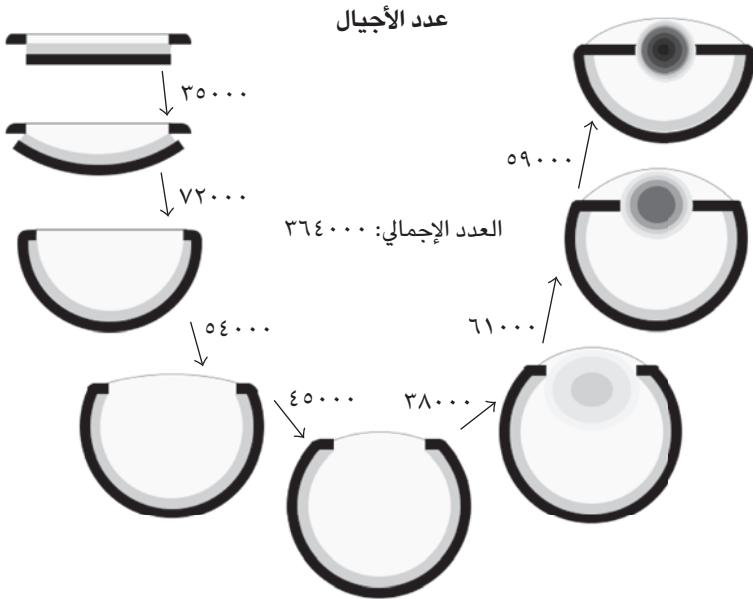
لكن الجملة التي كثيراً ما يغفل عنها الناس هي الجملة التالية التي توضح بجلاءً أن داروين لم يعتبر العين عقبة على الإطلاق:

إلا أن المنطق يخبرني بأنه إذا كان من الممكن إظهار حدوث تدرجات ومراحل متعددة في تركيب العين بدءاً من مرحلة العين التامة معقدة التركيب وصولاً إلى العين الناقصة بسيطة التركيب – كل درجة منها مفيدة للحيوان الذي يمتلكها – فإذا كانت العين تختلف حالاتها ولو إلى حد طفيف، وكانت هذه الحالات من الاختلاف يتم توارثها، وهو ما يحدث بالفعل، وإذا كان أي اختلاف أو تعديل في هذا العضو مفيداً بأي حال لحيوان ما يخضع لظروف متغيرة من الحياة، ففي هذه الحالات جميعاً لا يكون من الصعب، بمعنى الكلمة، تصديق إمكانية أن تتكون عين كاملة ومركبة بالانتقاء الطبيعي حتى وإن كان خيالنا عاجزاً عن تصور ذلك.

وباللفاظ أكثر بساطة نقول: إذا كانت بعض الأعين أكثر تعقيداً من أعين أخرى، وإذا كان من الممكن توارث الاختلافات في الإبصار العيني، وإذا كان ضعف الإبصار مضراً، فعلى حد قول داروين يمكن للعيون أن تتطور. جميع هذه الظروف تحدث وتتحقق بكثرة؛ فما أكثر ما في العالم من عيون بسيطة وغير كاملة، بدءاً من البقع والنقر العينية التي تفتقر إلى وجود عدسة، إلى العيون الأكثر تعقيداً التي تزдан ببعض، أو كل، الآليات الفذة والإمكانيات الفريدة التي تحدث عنها داروين! ومن المؤكد أن الإبصار العيني يختلف ويتفاوت، ويعرف هذا كُلُّ من يرتدى نظارة، أو حتى من فقد إبصاره. ومن الواضح أننا نكون أكثر عرضة لأن يأكلنا أسد أو نمر، أو يصدمنا قطار أو سيارة، إذا لم نر تلك الأشياء الخطيرة بأعيننا. وبطبيعة الحال، إن «الكمال» في هذه الدنيا أمر نسبي. فعَيْنَا النسر تزيдан في قوة الإبصار وتوضيح الصورة عن عيني الإنسان، مع قدرة السر على تبيين تفاصيل الأشياء من بُعد ميل، بينما تكون قوة إبصار الإنسان أفضل بمقدار ثمانين مرة من كثير من الحشرات، التي تكون الصورة لديها مشوشاً كأنها لوحات من الفن الحديث.

أتصوّر أنّ معظم الناس يتقدّلون ما قاله داروين عن الظروف والأحوال دون تردد، لكن لا يزال من الصعب إدراك جميع المراحل البينية؛ فتخيل السلسلة المتصلة كلها يبدو أمراً غير يسير، إن لم يكن مستحيلاً، وذلك بتعديل بسيط لكلمات الكاتب بي جي وودهاوس.^٢ وما لم تكن كل خطوة مفيدة في حد ذاتها، فلا يمكن أن تتطرّر العين المعقّدة، كما رأينا. لكن في حقيقة الأمر تبيّن أن التطور التقدّمي للعين يمكن استيعابه بسهولة. ولقد تم تصويره على هيئة سلسلة من الخطوات البسيطة، مبينة في الشكل ٢-٧، على يد عالمين سويديين؛ هما: دان إريك نيلسون، وسوزان بلجر. إن كل خطوة تُعتبر تحسّناً؛ بدءاً من الشبكية المكشوفة وانتهاءً بعين مشابهة لعين السمكة ولا تختلف كثيراً عن عين الإنسان. ويمكن بالطبع أن تتقدّم لأكثر من هذا بكثير (وهذا يحدث فعلًا)، فيمكن أن تُضاف قزحية قادرة على توسيع حدة العين أو انتباختها لتغيير كمية الضوء الداخل إلى العين، من ضوء النهار المبهّر إلى غسق المساء. كما يمكن ربط بعض العضلات بعدها العين للتغيير شكلها، فتُشد أو ترتخي؛ مما يتيح للعين أن تنقل بؤرتها من نقطة قريبة إلى نقطة بعيدة (وهو ما يُسمى بالتكلّف). ولكن هذه الأمور تُعتبر لمسات دقيقة لا تُوجَد لدى الكثير من أنواع العيون، ولا يمكن أن تُضيفها في رسم التصميم إلا لعين تُوجَد فيها هذه الأشياء بالفعل. ومن ثم فسوف نقنع في هذا الفصل بوجود تسلسل مشابه، من أجل تطوير عين عاملة مكونة للصور، حتى إن لم يسعنا هذا التصور المبدئي بشأن العديد من الإضافات الاختيارية.^٣

النقطة الخامسة في هذا التسلسل هي أنه حتى أكثر العدسات العينية بدائية أو ضاللة تكون أفضل من عدم وجود عدسة على الإطلاق (في مكان آخر غير الماخن السوداء بالطبع)، والصورة المشوّشة أفضل من عدم وجود صورة. ونقول مجدداً إن ثمة مقايسة بين وضوح الصورة والحساسية للضوء؛ إذ يمكن تكوين صورة جيدة بشكل مثالي باستخدام كاميرا ذات ثقب دقيق، على سبيل المثال، بدون عدسة على الإطلاق. وحقاً، تُوجَد عيون ذات ثقب دقيق في بعض أنواع الكائنات، ومن أوضح نماذجها حيوان بحري يُسمى «النوتني» وهو من الرأسقدميات الحية التي تمتّ بصلة قرابة لحيوان رخوي صدفي منقرض يُسمى الأمونيت.^٤ وتتمثل المشكلة بالنسبة لحيوان «النوتني» في الحساسية للضوء؛ إذ يتطلّب الحصول على صورة حادة الوضوح وجود فتحة ضيقة لتقليل كمية الضوء الداخل للعين. وعند قلة الضوء، تكون الصورة مُعتمة لدرجة تجعل من غير الممكن تميّزها عملياً. وهي بالضبط مشكلة ذلك الحيوان الذي يعيش في المياه



شكل ٢-٧: تسلسل الخطوات المطلوبة من أجل تطور العين، طبقاً لكل من دان إريك نيلسون وسوزان بلجر، مع عدد تقريبي للأجيال المطلوبة لحدوث كل تغيير. وإذا افترضنا أن كل جيل يستغرق عاماً واحداً، فإن التسلسل الكامل يتطلب أقل قليلاً من نصف مليون عام.

العميقة المظلمة. وقد توصل عالم يُدعى مايكل لاند، وهو أحد كبار الخبراء البريطانيين في عيون الحيوانات بجامعة ساسكس إلى أن إضافة عدسة إلى عين لها نفس الحجم يجعلها أكثر حساسية بمقدار ٤٠٠ مرة، وأكثر توضيحاً للصورة بمقدار ١٠٠ مرة. ومن ثم، فهناك فائدة كبيرة تنتجم عن أي خطوات تجاه تكوين عدسة من أي نوع، وهي فائدة تترجم فورياً إلى المزيد من فرص البقاء على قيد الحياة.

ويرجح أن أول عدسة مكونة للصور «بشكل صحيح» نشأت كانت تنتمي إلى إحدى ثلاثيات الفصوص، وهي طائفة من المفصليات المنقرضة كانت تغطي أجسامها دروع مصفحة تذكّرنا بفرسان العصور الوسطى، وكان الكثير من أنواع تلك الطائفة

يهيمن على البحار على مدى ٣٠٠ مليون عام. ظهرت أقدم عين في تلك الطائفة في أقدم حيوان معروف منها، ويعود إلى ٥٤٠ مليون عام مضى، قرب بداية «الانفجار» الكمبري، كما ذكرنا في بداية هذا الفصل. وبالرغم من كونها عيوناً متواضعة بالمقارنة بالروائع البصرية التي ظهرت بعدها بـ ٣٠ مليون عام. فقد أثار الظهور المفاجئ لتلك العيون لدى ثلاثيات الفصوص في سجل الحفريات تساؤلاً: هل يمكن حقاً أن تكون العيون قد نشأت بهذه السرعة؟ وإذا كان الجواب نعم، فمن المرجح أن تكون حاسة الإبصار قد حفظت على حدوث الانفجار الكمبري، وذلك حسبما يذهب أندره باركر. وإذا كان الجواب بالنفي، فلا بد أن تكون الأعين قد وُجدت في وقت سابق، لكن لسبب ما لم تدخل ضمن الحفريات. وإذا كان الأمر كذلك فلا يُعقل أن يكون نشوء العيون قد دفع إلى حدوث الانفجار البيولوجي الكبير.

تؤدي أغلب الدلائل بأن الانفجار الكمبري حدث في وقته ذلك؛ لأن تغير الأحوال البيئية سمح بالهروب من قيود الحجم. فالمرجح أن أسلاف حيوانات العصر الكمبري كانت صغيرة الحجم وتفتقر إلى أجزاء صلبة؛ مما يفسر قلة حفرياتها. كما منع هذا الأمر نشوء أعين مفيدة. ويطلب الإبصار المكاني وجود عدسة كبيرة وشبكة متعددة ومحققة على تفسير ما يصله من إشارات، ومن ثم يمكن أن ينشأ فقط في الحيوانات التي تصل إلى حجم يكفي للوفاء بهذه الاحتياجات. ومن المرجح أن جانباً كبيراً من أجهزة الإبصار الأصلية مثل الشبكة المكشوفة والجهاز العصبي البدائي كان يُوجَد في حيوانات صغيرة عاشت قبل العصر الكمبري، ولكن في الغالب أعيق حدوث تطورات أخرى، بسبب صغر أحجام الحيوانات. كان الدافع المباشر لنشوء الحيوانات الكبيرة، على الأرجح، هو تزايد مستويات غاز الأكسجين في الهواء والبحار. فلا يمكن الحصول على الحجم الكبير ولا حدوث عملية الافتراض للفرائس إلا في وجود مستويات مرتفعة من الأكسجين (ولا شيء آخر غير الأكسجين يمكنه إتاحة الحصول على الطاقة الضرورية؛ انظر: الفصل الثالث). وقد وصل الأكسجين سريعاً إلى مستوياته المعاصرة قبل حلول العصر الكمبري بفترة قصيرة، في أعقاب سلسلة من تراكمات الجليد؛ بما يُعرف باسم «الكرة الأرضية الثلجية». وفي هذه البيئة الجديدة المكهربة، المشحونة بالأكسجين، صار من الممكن ظهور الحيوانات الكبيرة التي تعيش على الافتراض لأول مرة في تاريخ الكوكب الأرضي.

كل هذا جميل، لكن لو لم تكون العيون الحقيقية موجودة قبل العصر الكمبري لبرز السؤال الذي ذكرناه، بقوة أكبر: هل يمكن حقاً أن تكون العيون قد نشأت بهذه السرعة

بالانتقاء الطبيعي؟ فلم تكن ثمة عيون إطلاقاً منذ ٥٤٤ مليون سنة مضت ثم نشأت عيون تامة التكوين بعد ذلك بأربعة ملايين سنة. ظاهرياً، تبدو الحفريات مناقضة للمطالبات الداروينية الخاصة بضرورة حدوث مليون تدرج سلس، كل منها مفيد في حد ذاته. لكن في واقع الأمر، يمكن تفسير المشكلة بدرجة كبيرة من خلال ما يحدث من تعارض في المقاييس الزمنية بين المدى المألف للحياة والأجيال من ناحية وبين المرور الريتيب للصور الجيولوجية من ناحية أخرى. فأي تغير يحدث عَبْر مليون سنة إذا قسناه مقابل ما يمر من مئات الملايين من السنين في إيقاع رتيب فإنه يبدو كأنه حدث في عجلة سريعة، ولكنها لا يزال يُعتبر زمناً طويلاً بالغ الطول بالنسبة لما تعيشه الكائنات الحية. فكل ما لدينا من أجيال حديثة من الكلاب، على سبيل المثال، نشأت أصلاً من الذئاب وتطورت، بمساعدة من البشر، في خلال واحد على مائة من ذلك الزمن.

من وجهة النظر الجيولوجية، حدث الانفجار الكمبري كفمضة عين؛ فيما لا يزيد على ملايين قليلة من السنين. ولكن من وجهة النظر التطورية يُعتبر هذا الحدث زماناً طويلاً، وحتى مدة نصف مليون عام من الزمن تُعتبر أكثر مما يكفي لكي تنشأ عين وتتطور. وقد عكف العالمان نيلسون وبلجر، وهما يقدمان فرضيتهم لسلسل الخطوات (انظر الشكل ٢-٧) على حساب الزمن المطلوب. وقد افترضا على نحوٍ متحفظ أن كل خطوة لن تُحدث سوى تغيير قدره ١ بالمائة فيما يتعلق بتلك التركيبة العينية بالذات، في صورة تعمق طفيف في كرة العين، أو تغير طفيف في العدسة ... إلخ. وحينما أحصيا جميع الخطوات، صعقاً حينما وجداً أن العين تحتاج إلى ٤٠٠ ألف تغير محدد لكي تتطور من مرحلة الشبكية المكتشوفة البدائية إلى العين مكتملة التكوين (وهذا الرقم لا يبتعد كثيراً عن رقم المليون الذي طرحته ارتجالاً). ثم افترضاً أن التغيير الواحد يستغرق جيلاً واحداً (وإن كان من الممكن بسهولة أن تحدث تغيرات عدة دفعة واحدة؛ مما يوضح أن التقدير المذكور متحفظ). وافتراضاً في نهاية الأمر أن النوع العادي من الحيوانات البحرية الذي تَحْدُث فيه تلك التغييرات يتوقع أن ينجب مرة واحدة في العام. وعلى هذا الأساس، استنتجوا أن عينه تستغرق أقلًّ من نصف مليون عام حتى تتطور إلى عين كاملة. °

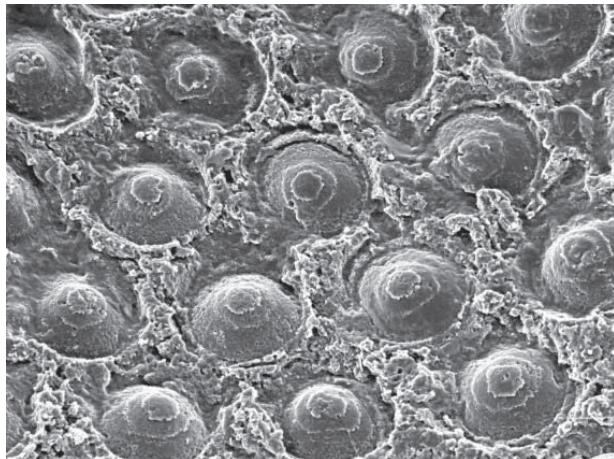
إذا كانت جميع هذه الاعتبارات صحيحة، فإن نشوء العيون يُعتبر حقاً بمنزلة شرارة إطلاق للانفجار الكمبري. وإذا كان الأمر كذلك، فلا بد أن يُعد نشوء العين وتطورها ضمن أهم الأحداث وأكثرها إثارةً في تاريخ الحياة على الأرض.

لكن ثمة خطوة تثير الارتكاب في منظومة نيلسون وبليجر؛ وهي المرحلة الأولى في تطور عدسة العين. فما إن تُوجَد العدسة البدائية، حتى يصبح من السهل أن ترى كيف يمكن أن يحدث الانتقاء الطبيعي تعديلاً وتحسيناً فيها، ولكن كيف تجتمع المكونات المطلوبة في المقام الأول؟ وإذا كانت الأجزاء والقطع المطلوبة لبناء عدسة العين لا فائدة منها في حد ذاتها، أفلأ يجب أن تتخلص منها عملية الانتقاء الطبيعي جزافياً قبل أن تبدأ أعمال البناء؟ وهل يمكن أو يُحتمل أن تفسر هذه الصعوبة السبب في أن حيوان النتوبي لم يكن لديه عدسة عين مطلقاً، حتى وإن كان ممكناً أن تكون مفيدة له؟

الواقع أن هذا السؤال ليس سؤالاً مشروعاً من الأساس، وفي وقتنا الحالي على الأقل يجب أن نعتبر حيوان النتوبي بمنزلة أujeوبية فريدة لأسباب غير معروفة؛ إذ وجدت معظم الأنواع طرقاً ممهدة لذلك (ومنها أقرباء أحيا قريبون جداً من النتوبي؛ مثل: الأخطبوط والحبار)، وبعضها كانت طرقه تلك إبداعية مذهلة. ومع أن العدسة تُعتبر نسيجاً متخصصاً، فإن عملية تكوينها تتم بطريقة انتهازية، المرة تلو الأخرى؛ إذ تُجلب لبناتها البنائية من أي مصدر في متناول اليد، من المعادن والبلورات إلى الإنزيمات، وحتى فتات الخلايا.^٦

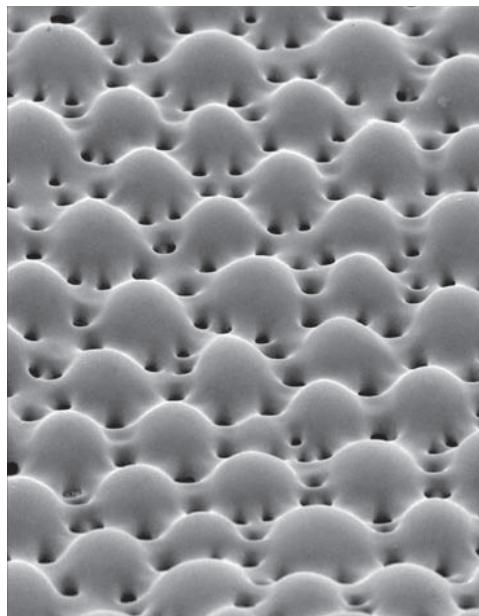
تُعد ثلاثيات الفصوص مثلاً ممتازاً لتلك الانتهازية، وقد تتعجب إذا عرفت أن عين الحيوان منها تحتوي بالفعل على قطعة حجر؛ إذ إن عدسات عيون ثلاثيات الفصوص تتكون من البلور بالأساس، مادة الكالسيت المعدنية. والكالسيت هو اسم آخر لمادة كربونات الكالسيوم. والحجر الجيري صورة غير نقية من تلك المادة، أما الطباشير فهو صورة أكثر نقافة بكثير. وتتكون منحدرات دوفر الصخرية البيضاء من الكالسيت النقى تقريباً، الذي يتخذ صورة بلورات دقيقة غير منتظمة تتناثر بخفة وبشكل عشوائي، بما يكسب الطباشير لونه الأبيض. وعلى العكس من هذا، إذا كانت بلورات الكالسيت تنمو ببطء (وهذا يحدث غالباً في العروق الصخرية المعدنية) فيمكن أن يتخذ صورة تراكيب رائقة دقّيّة شبه مكعبه تُعرف باسم العينات. ولتلك العينات خاصية بصرية تثير الانتباه، وتنتج طبيعياً عن التشكّل الهندسي للذرات المكونة لها؛ إذ تكسر الضوء من جميع الزوايا فيما عدا الضوء المحوري الساقط باستقامة ويدقّة مروراً بمنتصف البلورة. فإذا دخل الضوء عَبْر هذا المحور المميز، ويُسمى المحور سي، فإنه يمر باستقامة تامة لا يعوقه شيء، وكأنه ملِكٌ يسير على بساط أحمر. وقد تحولت هذه الظاهرة المثيرة إلى فائدة لصالح ثلاثيات الفصوص. فكلُّ من السطوح العينية العديدة التي لديها تستخدم

عدساتها الكالسيتية الدقيقة مستفيدة من المحور سي المُفْحَل الذي ذكرناه آنفًا (انظر الشكل ٣-٧). ويمكن أن يمر الضوء من كل عدسة من اتجاه واحد فقط إلى الشبكية التي تحتها.



شكل ٣-٧: عدسات بلورية من إحدى ثلاثيات الفصوص من نوع «دالمانيتينا سوشيالييس»، وُجِدَت في صخور أورودوفيшиا في بوهيميا بجمهورية التشيك تظهر تفاصيل السطح الداخلي للعدسات، ويبلغ عرض كل منها نصف مليمتر تقريبًا.

إن الكيفية التي نَمَتْ بها العدسات البلورية لدى ثلاثيات الفصوص — بحيث تصطفُ في الاتجاه السليم — غير معروفة، ويرجح أن تبقى كذلك؛ إذ إنها انقرضت في العصر البرمي، وقد هلك آخرها منذ ٢٥٠ مليون عام مضى. ولكن الواقع الذي يقول إن ثلاثيات الفصوص قد دخلت في غياب الصمت بمرور تلك الأحقاب الزمنية لا يعني عدم وجود وسيلة لمعرفة كيفية نشوئها. وقد بُرِزَ فجأةً دليلًّا جيدًّا من مصدر غير متوقع في عام ٢٠٠١. ويبدو أن عدسة عين ثلاثيات الفصوص ليست فريدة في نوعها كما كان يُؤْنَ سابقاً؛ إذ يُوجَد حيوان حي من نوع يُسمَى النجم الهش، يستخدم العدسات الكالسيتية أيضًا للرؤية.



شكل ٧-٤: العدسات البلورية للنجم الهاش من نوع «أوفيكوما وندتي» الموجودة على الصفيحات الميكيلية أعلى كل ذراع، التي بدورها تحمي المفاصل.

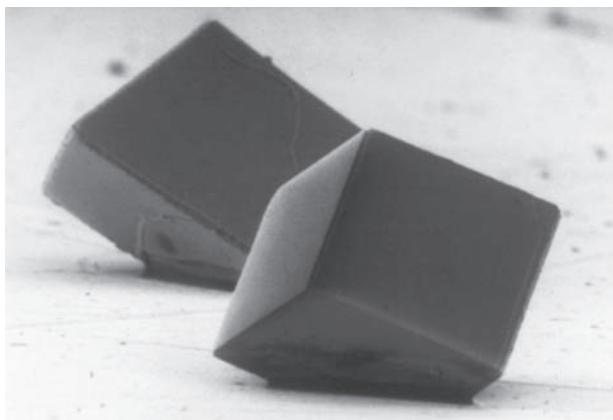
يُوجَد حوالى ألفٌ نوع من النجوم الهاشة، وكل منها لديه خمس أذرع مثل أبناء عمومتها من نجوم البحر. ولكن النجم الهاش يختلف عن نجم البحر العادي في أن أذرعه رفيعة، طويلة، وتتدلى إلى أسفل، وتتكسّر إذا رُفعت إلى أعلى (ومن ثم جاءت التسمية). ولجميع النجوم الهاشة هيكل صُنِعَتْ من صفيحات متشابكة من الكالسيت، وهذه تتكون منها أيضاً أشواك على الأذرع تستخدمنها في الإمساك بالفراش. وأغلبها غير حساس للضوء، ولكن يُوجَد منها نوع يُسمَّى «أوفيكوما وندتي»، يربك من يلاحظه بأن يسعى سريعاً نحو الشقوق المظلمة على بعد متر إذا جاء حيوان مفترس. كانت المشكلة أن هذا النوع ليست لديه أعين، أو هكذا كان يُظَن، إلى أن لاحظ فريق بحثي من معامل بل وجود مجموعات من البروزات الكالسيتية على أذرعه تضاهي عدسات ثلاثيات الفصوص (انظر الشكل ٧-٤). وتمكّنوا من إظهار أن هذه البروزات تعمل

بالفعل كعدسات عينية، ترکز الضوء على خلايا حساسة للضوء تُوجَد تحت العدسات.⁷ وبالرغم من حرمان النجم الهش من وجود ما يمكن اعتباره مخاً، فإن لديه عيوناً تؤدي وظيفتها. وعلى حد قول مجلة «ناشونال جيوغرافيك»: «على نحو غير متوقع من جانب الطبيعة، يملك البحر عيوناً في نجومه».

فكيف تكونت عدسات النجم الهش؟ بالرغم من عدم معرفة الكثير من التفاصيل حتى الآن، فبصفة عامة نقول إنها تكونت بنفس الطريقة مثل غيرها من التراكيب البيولوجية ذات التكوين المعدني؛ مثل أشواك قنافذ البحر (مصنوعة أيضاً من الكالسيت). وتببدأ تلك العملية داخل الخلايا، حيث تتفاعل التركيزات العالية من أيونات الكالسيوم مع البروتينات؛ ومن ثم تربط هذه البروتينات في أوضاع ثابتة، وتُعَد بمنزلة بذرة لتكوين البلورة، وذلك تماماً مثلما كان الشخص المتفائل الواقف أمام متجر بقالة خارٍ من البصائر في الاتحاد السوفييتي السابق يَكُون نواةً لطابور متتابع. فمثلاً يقف الشخص دون حراك ويأتي آخرون من بعده ليقفوا إلى جواره، كذلك تثبت الذرة في موضعها وتلتتصق بها الذرات الأخرى.

وعلى نحو يؤكد فكرة الاختزالية، إذا تمت تتقية البروتينات المسئولة عن بذر بلورات الكالسيت وفُرشَت على فرخ من الورق، ثم وُضِعَت في محلول مركَّز من كربونات الكالسيوم، فستتكتُّن بلورات مثالية على الورق، متشكلة بأشكال معينة مع اتجاه محور سي البصري الخاص بها باستقامة لأعلى، كما يحدث تماماً لعدسة عين ثلاثيات الفصوص (انظر الشكل ٥-٧). بل إن ثمة تلميحاً لكيفية تكونها في المقام الأول. ولا يهم كثيراً انتقاء نوع البروتين بالضبط؛ فكل ما يهم فقط هو أن تكون جزيئات البروتين محفوفة بسلسل جانبيّة حمضية. وفي عام ١٩٩٢، أي قبل أن يعرف أي امرئ شيئاً عن عدسات النجوم الهشة بعقد كامل، قام عالمان متخصصان في علم المعادن الحيوية – هما ليا أدادي وستيفن واينر – بإنماء عدسات واضحة من الكالسيت على فرخ من الورق، مستخدمين بروتينات حمضية معزولة من أصداف حيوانات رخوية، بالتأكيد لا تستطيع الرؤية. وبتعبير آخر نقول إنه بالرغم من روعة هذه العملية، فإنها بالكامل تحدث تلقائياً حينما تمتزج بروتينات عاديّة بمعادن عاديّة. إنها رائعة بالتأكيد، ولكنها ليست أروع مما يحدث من عمليات تكون طبيعية لمجموعات من البلورات الناتجة العجيبة التي تُوجَد في كهوف طبيعية؛ مثل كهف السيوف في المكسيك.

إلا أن تلك العيون البلورية بالرغم من حساسيتها للضوء، تُعتبر عمياء من الناحية العملية. وتكمِّن الأهمية الحقيقة لعيون ثلاثيات الفصوص في قيمتها التاريخية، بوصفها



شكل ٧-٥: بلورات معينة من الكالسيت تنمو على ورقة فُرشَّت عليها بروتينات حمضية من أصداف حيوانات رخوية، ووُضعت في محلول مُركَّز من كربونات الكالسيوم. ويشير المحرر سي البصري إلى أعلى باستقامه؛ وهو الاتجاه الوحيد الذي يمر الضوء عَبْرَه خلال البلورة دون أن يتشتَّت.

أول عيون حقيقة وليس في كونها أثراً باقياً من معالم النشوء والتطور. وقد تكونَت أنماط أخرى من البلورات الطبيعية لتدوي وظائف لدى كائنات أخرى، لا سيما الجوانين (إحدى اللبنات البنائية للدي إن إيه)، الذي يتبلور في شكل صفيحات يمكنها أن ترَكِّز الضوء في البؤرة. وتكتسب بلورات الجوانين قشور السمك مظهرها اللوني الفضي، وتُضاف إلى الكثير من مستحضرات التجميل لنفس الغرض، لكنها تُوجَد أيضًا في الجوانو (ومنه اكتسبت اسمها)؛ وهي الفضلات الجافة للطيور والخفافيش. كما تعمل بلورات عضوية مشابهة كمرايا بيولوجية، ومعظم الناس يعرفونها؛ إذ تظهر على شكل عاكسات للضوء في عيون القطط. فهي تُحسِّن الرؤية الليلية عن طريق رد الضوء وإعادته للشبكيَّة، مانحة مستقبلات الضوء فرصة أخرى لالتقاط الفوتونات القليلة في عتمة الليل. وتُوجَد مرايا أخرى طبيعية تُرَكِّز الضوء على الشبكيَّة لتكوين صورة حقيقة. وهذه تشمل العيون الجميلة المتعددة لحار الإسکالوب، التي تلوح من بين اللوامس الموجودة على حواف المحارة، وتستخدم مرايا مقرعة تحت الشبكيَّة لتركيز الضوء. كما تعتمد العيون

المركبة لكثير من القشريات — بما فيها القرىدس والجمبوري وجراد البحر (الإستاكوزا) — على مرايا لتركيز الضوء، وتستخدم كذلك بلورات طبيعية على طول خطوط الجوانين، لكن — بصفة عامة — فإن الدفعـة الأساسية للنشـوء والتطور، وأكـبر أمـجادـهـما، هي أن العـدسـاتـ العـيـنيةـ تـكـوـنـتـ منـ بـرـوتـينـاتـ مـتـخـصـصـةـ مـثـلـ التـيـ لـديـناـ. فـهـلـ هـذـهـ أـيـضاـ تـراكـيبـ اـنـتـهـازـيـةـ تمـ تـرـقـيـعـهاـ مـعـاـ مـنـ مـكـوـنـاتـ مـوـجـودـةـ بـالـفـعـلـ وـلـهـاـ اـسـتـخـدـامـاتـ أـخـرىـ فيـ الـجـسـمـ؟ـ معـ آـنـهـ أـحـيـانـاـ مـاـ يـقـتـرـضـ أـنـ النـشـوءـ وـالـتـطـورـ عـلـمـ تـارـيـخـيـ؛ـ وـمـنـ ثـمـ لـاـ يـمـكـنـ إـثـبـاتـهـ بـطـرـيقـةـ أـوـ بـأـخـرىـ،ـ فـإـنـهـ يـمـكـنـ عـنـ طـرـيقـهـ التـوـصـلـ إـلـىـ تـوـقـعـاتـ مـحـدـدةـ جـداـ يـمـكـنـ اـخـبـارـهـ.ـ وـفـيـ هـذـهـ الـحـالـةـ تـوـقـعـ النـظـرـيـةـ أـنـ بـرـوتـينـاتـ الـعـدـسـةـ يـجـبـ الـحـصـولـ عـلـيـهـاـ وـتـوـظـيفـهـاـ مـنـ بـيـنـ الـبـرـوتـينـاتـ الـمـوـجـودـةـ بـالـفـعـلـ،ـ التـيـ لـهـاـ اـسـتـخـدـامـاتـ أـخـرىـ فـيـ الـجـسـمـ،ـ عـلـىـ أـسـاسـ دـمـرـيـةـ بـرـوتـينـاتـ مـتـخـصـصـةـ لـلـعـدـسـةـ قـبـلـ وـجـودـ الـعـدـسـةـ نـفـسـهـاـ.

من الواضح أن عـدـسـةـ عـيـنـ الإـنـسـانـ نـسـيجـ مـتـخـصـصـ لـلـغـاـيـةـ؛ـ فـهـيـ شـفـافـةـ،ـ خـالـيـةـ مـنـ الـأـوـعـيـةـ الـدـمـوـيـةـ،ـ وـقـدـ فـقـدـتـ خـلـيـاـهـاـ جـمـيـعـ خـواـصـهـاـ تـقـرـيـباـ،ـ مـكـتـفـيـةـ بـتـركـيزـ الـبـرـوتـينـاتـ فـيـ تـجـمـعـ بـلـوـرـيـ سـائـلـ،ـ قـادـرـ عـلـىـ كـسـرـ الضـوـءـ لـتـكـوـنـ صـورـةـ وـاضـحةـ عـلـىـ شـبـكـيـةـ الـعـيـنـ.ـ وـبـطـيـعـةـ الـحـالـ،ـ إـنـ الـعـدـسـةـ قـادـرـةـ عـلـىـ تـغـيـيرـ شـكـلـهـاـ لـتـغـيـيرـ عـقـمـ الـمـجـالـ الـبـصـرـيـ.ـ وـعـلـوةـ عـلـىـ هـذـاـ،ـ فـإـنـ مـدـىـ انـكـسـارـ الضـوـءـ بـمـرـورـهـ خـلـالـ الـعـدـسـةـ يـتـفـاقـاـتـ،ـ مـتـجـنـبـاـ عـيـوبـاـ مـثـلـ الـانـحـرـافـ (أـوـ التـشـوـهـ)ـ الـكـروـيـ (ـحـيـثـ يـتـمـ تـركـيزـ الضـوـءـ الـمـارـ خـلـالـ مـرـكـزـ الـعـدـسـةـ أـوـ حـافـتهاـ فـيـ نـقـاطـ بـؤـرـيـةـ مـخـتـلـفةـ).ـ وـفـيـ ضـوـءـ كـلـ تـلـكـ الـمـعـلـومـاتـ،ـ قـدـ نـخـمـنـ أـنـ تـكـونـ الـبـرـوتـينـاتـ الـمـطـلـوـبـةـ لـتـشـكـيلـ ذـلـكـ التـجـمـعـ النـقـيـ مـنـ مـادـةـ الـعـدـسـةـ فـرـيـدةـ فـيـ نـوـعـهـاـ،ـ وـلـهـاـ خـصـائـصـ بـصـرـيـةـ لـاـ نـجـدـهـاـ فـيـ الـبـرـوتـينـاتـ الـمـعـتـادـةـ فـيـ حـيـاتـنـاـ الـيـوـمـيـةـ،ـ وـلـكـنـاـ إـذـاـ ظـنـنـاـ هـذـاـ فـسـنـكـونـ مـخـطـئـيـنـ تـاماـ.

فالـبـرـوتـينـاتـ الـتـيـ تـوـجـدـ فـيـ عـدـسـةـ عـيـنـ الإـنـسـانـ تـسـمـىـ الـبـلـوـرـيـنـاتـ (أـوـ الـكـريـسـتـالـيـنـاتـ)،ـ وـقـدـ أـطـلـقـ عـلـيـهـاـ هـذـاـ الـاـسـمـ تـبـعـاـ لـمـاـ كـانـ يـُـظـنـ مـنـ أـنـ لـهـاـ بـالـفـعـلـ خـصـائـصـ فـرـيـدةـ تـقـتـصـرـ عـلـىـ عـدـسـةـ الـعـيـنـ.ـ وـهـيـ تـشـكـلـ حـوـالـيـ ٩٠ـ بـالـمـائـةـ مـنـ الـبـرـوتـينـاتـ الـإـجـمـالـيـةـ فـيـ عـدـسـةـ الـعـيـنـ.ـ وـلـأـنـ الـعـدـسـاتـ تـتـشـابـهـ إـلـىـ حدـ بيـعـيـدـ فـيـ أـنـوـاعـ الـكـانـاتـ الـمـخـتـلـفةـ،ـ فـيـ مـظـهـرـهـاـ وـوـظـيـفـتـهـاـ،ـ فـيـبـدـوـ مـنـ الـمـعـقـولـ اـفـتـرـاضـ أـنـ جـمـيـعـهـاـ تـتـكـوـنـ مـنـ بـرـوتـينـ مشـابـهـ.ـ وـلـكـنـ حـيـنـماـ أـتـيـحـتـ عـلـىـ نـطـاقـ وـاسـعـ تـقـنيـاتـ حـدـيـثـةـ لـمـقارـنـةـ تـسـلـسلـ الـلـبـنـاتـ الـبـيـانـيـةـ فـيـ الـبـرـوتـينـاتـ الـمـخـتـلـفةـ،ـ بـدـءـاـ مـنـ بـدـايـاتـ عـقـدـ الـثـمـانـيـنـاتـ مـنـ الـقـرنـ الـمـاضـيـ،ـ ظـهـرـتـ الـحـقـيـقـةـ الـمـفـاجـئـةـ.ـ فـالـبـلـوـرـيـنـاتـ لـيـسـ مـنـ الـبـرـوتـينـاتـ الـبـيـانـيـةـ (ـالـتـرـكـيـبـيـةـ)،ـ بلـ إـنـ أـغـلـبـهـاـ لـاـ يـقـتـصـرـ

وجوده على عدسة العين بل يمارس أعمالاً أخرى في أماكن أخرى بالجسم. بل الأعجب في هذا، والأبعد عما كان يُظَنُ سابقاً، أن تبيَّنَ أن الكثير من البلورينات هي من الإنزيمات (أي المحفزات البيولوجية) التي لها وظائف طبيعية في «تسير الأمور» في بعض الأماكن الأخرى في الجسم. وأكثر أنواع هذه البلورينات توافراً في عدسة العين البشرية يُسمَّى ألفا-بلورين (الفا-كريستالين) على سبيل المثال، وله صلة بأحد بروتينات التوت؛ الذي اكتُشِف لأول مرة في ذبابة الفاكهة، ومن المعروف الآن أنه واسع الانتشار في الحيوانات. أما في البشر، فإنه يقوم بدور «الحارس الشخصي» للبروتينات الأخرى؛ بمعنى أنه يحميها من التلف. وبهذا الاعتبار، فإنه لا يوجد في العين فحسب، بل يوجد أيضاً في المخ والكبد والرئتين والطحال والأمعاء الدقيقة والجلد.

وقد تمت حتى الآن فهرسة أحد عشر نمطاً من البلورين، ويُوجَد منها ثلاثة فقط في عيون جميع الفقاريات، ويتفاوت الباقى من مجموعة أخرى، بما يدل على أنها «وظيفَة». لتعمل في عدسة العين بشكل مستقل تماماً، وهو الأمر المتوقع تماماً من الانتقاء الطبيعي. لن نركز كثيراً على أسماء هذه الإنزيمات أو وظائفها، ولكن من العجيب أن هذه المجموعة من البروتينات الأيضية التي يضطلع كلُّ منها بمهمة محددة في الخلية قد أخذت ودُفعت لـأداء خدمة مختلفة بمعنى الكلمة. وكان الجيش لم يُجَنَّد فيه سوى التجار وأعضاء نقابة العاملين بالتجارة والصناعة. ولكن أيًّا كانت الأسباب؛ فلا يوجد شيء يتعلَّق بهذه السياسة الشاذة يوحى بأن من الصعب تحديداً تجنيد بروتينات عدسة العين.

وبصفة عامة، لا شيء يُميِّز بروتينات العدسة؛ فهي أخذت من أماكن أخرى بالجسم ودُفِعَت لأداء المهمة المطلوبة منها. جميع البروتينات تقريباً تتميَّز بأنها شفافة؛ ومن ثم لا يُعتبر اللون مشكلة (والبروتينات التي تقرن بالأصياغ الطبيعية، مثل الهيموجلوبين، هي فقط التي تتميَّز بلون قوي خاص بها). ويمكن تحقيق تغييرات في الخصائص البصرية مثل درجة تحريف الضوء (أو ما يُسمَّى الانكسار) عند مروره بالعدسة ببساطة عن طريق تغيير تركيز البروتين، الأمر الذي يتطلَّب بالتأكيد الدقة والبراعة، ولكنه لا يُعدُّ عقبة كثُوراً. وليس معروفاً السبب في أن الكثير من البروتينات العدسيَّة من الإنزيمات، إذا كان ثمة سبب لذلك من الأساس، ولكن أيًّا كان السبب، فإن البروتينات العدسيَّة المتكَوِّنة بشكلٍ مثاليٍّ لم تتفز إلى الوجود من الفراغ.

ثمة نافذة نفذت من خلالها كل تلك البروتينات إلى الوجود؛ وهي نوع من الحيوانات اللافقارية الدنيا التي تُعرَف باسم غير تقليدي هو «نفاحات البحر» (واسمها العلمي

المحدد هو «سيونا إنستيناليس»؛ ومعناه الحرفي «عمود الأمعاء». ولم يكن نظام لينيوس رحيمًا عند منحه هذا الاسم). لا يفصح الطور البالغ من هذا الحيوان إلا عن القليل من صفات سلالته؛ فهو في الأساس في شكل كيس نصف شفاف يتلخص بإحدى الصخور، ولديه سيفونان متارجحان أصفران اللون، يدخل من خلالهما الماء ويخرج. وتنتشر تلك الحيوانات في المياه الساحلية حول المملكة المتحدة، لدرجة أن البريطانيين يعتبرونها من الآفات. إلا أن يرقات تلك الحيوانات تفشي السر الدفين لهذا الحيوان، وتظهر أن هذا الحيوان أكثر بكثير من أن يكون مجرد آفة؛ إذ تبدو اليرقات قليلاً كحيوانات أبيضية (أفراخ الضفدع) ويمكنها السباحة هنا وهناك، مستفيدة من جهازها العصبي البدائي وعينين بدائيتين تخلوan من العدسات. وما إن تجد اليرقة مسكنًا مناسباً، حتى تلتصق نفسها بإحكام بتلك البقعة، ثم تقوم بامتصاص مخها الذي لم تَعُدْ تحتاجه (ويقول ستيف جونز متندراً إن هذا عمل باهر يثير الكثير من الإعجاب لدى أساتذة علم الحيوان الجامعيين).

مع أن الطور البالغ من نفخة البحر لا نعرف عنه أي صلة بالإنسان، فإن الطور اليرقي ذو صلة به؛ فنفخة البحر حيوان حبلي بدائي بمعنى أن له حبلًا ظهريًا، وهي المرحلة التطورية السابقة على الحبل الشوكي. وهذا الأمر يضعه في مصاف الفروع المبكرة للحجليات، ومن ثم جميع الفقاريات. وفي الواقع إنه انشق عن الفقاريات قبل نشوء عدسة العين، وهذا يعني أن هذا الحيوان قد يعطي فكرة عن كيفية تكون عدسات عيون الفقاريات في المقام الأول.

وقد حدث هذا بالفعل. ففي عام ٢٠٠٥، وجد سباستيان شيميلد وزملاؤه بجامعة أكسفورد أن هذا الحيوان، بالرغم من افتقاره إلى عدسة عينية، فإن لديه بروتيناً سليماً من البلورين، ليس في عينه، ولكن في مخه بعيداً عن العين. لا نعلم تحديداً ما يفعله في المخ، ولكن هذا لا يعنينا في هذا المقام. بل ما يعنينا هو أن نفس الجينات التي تتحكم في عملية تكون عدسة العين في الفقاريات تتحكم أيضاً في نشاط هذا البروتين في نفخة البحر؛ إذ يؤدي وظيفة في المخ كالتى يؤدىها في العين. وهذا فإن المنظومة الكلية المخصصة لتكوين عدسة العين كانت موجودة أصلاً في السلف المشترك للفقاريات ولنفاخات البحر، قبل أن يشق كلُّ منها طريقه. وقد حدثت عملية تحويل تنظيمية صغيرة في الفقاريات نقلت هذا البروتين من المخ إلى العين. ويفترض أنه حدثت عمليات غزو مشابهة أدت إلى عمليات «تجنيد» متكررة لبلورينات أخرى من أماكن أخرى

بالجسم، بعضها في السلف المشترك للفقاريات، بينما وُجد البعض الآخر في وقت أحدث في مجموعات حيوانية معينة. وليس معروفاً السبب في عدم حدوث عملية التحويل البسيطة لاستخدام مصدر البلورين لدى حيوان نفخة البحر؛ ربما لأن حصوله على صخرة يلتصق بها أمر سهل نسبياً حتى بدون عدسة للعين، فهو لا يحتاجها. وحتى في هذه الحالة فإنه يُعد حالة فريدة؛ فمعظم الفقاريات حدثت فيها هذه العملية – إذ حدث إحدى عشرة مرة على الأقل – ومن ثم لا تُوجَد خطوات شديدة الصعوبة في تسلسل تكوين العين.

وإذا تركنا هذا الخضم المتواافق من البروتينات والبلورات والمعادن التي تشكّل تركيبة عدسة العين لدى أنواع متشربة من الحيوانات، فسنجد أن بروتينات شبكة العين تختلف اختلافاً كبيراً. من هذه البروتينات نوع محدد يبرز في تميزه؛ إذ تُعتبر جزيئاته مسؤولة عن الإحساس بالضوء، وهي مادة صبغية تُسمى «الرودوبسين». علينا العودة بالذاكرة إلى نوع جموري الفوهات، الذي يُسمى علمياً «ريميكارييس إكسوكيلولات»، بما لديه من شبكيتين مكشوفتين سطحيتين. وبالرغم من التميّز الواضح لعالم الفوهات في أعماق المحيط، وبالرغم من غرابة الشبكيتين المكشوفتين على ظهر هذا النوع من الجموري، وبالرغم من قدرة هذا الجموري العجيبة على إدراك البصيص الخافت من الضوء، بينما لا يستطيع البشر ذلك، وبالرغم من تعيشه على بكتيريا الكبريت، وأن دمه أزرق، وليس لديه عمود فقاري، ومع أن آخر تشارك له مع البشر في سلف مشترك هو منذ حوالي ٦٠٠ مليون سنة مضت، أي قبل ما يُسمى الانفجار الكوني بكثير ... وبالرغم من كل ذلك، فإن هذا النوع من الجموري يستخدم نفس البروتين الذي نستخدمه نحن البشر في الإبصار. فهل هذه الرابطة العميقية عَبر الزمان والمكان لا تزيد عن كونها مجرد مصادفة عجيبة، أم أنَّ الأمر أكثر أهمية من هذا؟

صحيح أن بروتين الإبصار الموجود في الجموري وذلك الذي في البشر ليسا متماثلين تماماً، ولكنهما متشابهان لدرجة كبيرة جدًّا، لدرجة أنك إذا وقفت في ساحة القضاء محاولاً إقناع القاضي بأن وجود الرودوبسين لديك ليس انتحالاً مكشوفاً لما سبق؛ فالأرجح ألا تكسب القضية، بل ربما تحوّلت إلى مادة للضحك والسخرية، فالرودوبسين لا يقتصر وجوده على جموري الفوهات والبشر، ولكنه واسع الانتشار في جميع أنحاء المملكة الحيوانية. على سبيل المثال نحن لا نعرف سوى القليل عن آليات العمل الداخلية للعين

في ثلاثيات الفصوص، تلك الآليات التي لم يتم حفظها مع عدساتها العينية البلورية، ولكننا نعرف ما يكفي عن أقربائها بحيث نقول بشيء من الجزم إن أعينها احتوت على الروذوبسين. وجميع الحيوانات، عدا استثناءات قليلة، تعتمد على نفس البروتين تماماً. وإن محاولتك إقناع القاضي بأن الروذوبسين الذي لديك ليس منتحلاً يشبه محاولتك الادعاء أن جهاز تليفزيونك مختلف أساساً عما لدى الآخرين من أجهزة التليفزيون مجرد أنه أكبر حجماً أو لأن شاشته مسطحة.

هذا التشابه الواضح يمكن أن يأتي من طرق عدة؛ فقد يعني أن الجميع ورثوا نفس البروتين من سلف مشترك. لقد حدث الكثير من التغيرات الصغيرة خلال الـ ٦٠٠ مليون سنة الأخيرة بطبيعة الحال، ولكنه لا يزال نفس البروتين كما هو واضح. أو قد يعني أنه تُوجَد ضغوط تصميمية شديدة على الجزيئات القادرة على إدراك الضوء جعلت جميع الأنواع مدفوعة إلى تطوير البروتين عينه. وهذا يشبه مشاهدة برامج التليفزيون على شاشة الكمبيوتر؛ فهذه حالة من التقنيات المختلفة التي تتلاقي عند حل مماثل. أو قد تعني، في نهاية المطاف، أن الجزيئات قد تم نقلها من نوع إلى آخر، في حالة من السطو العدواني لا الوراثة.

لكن يمكننا بسهولة حذف ذلك الاحتمال الثالث والأخير. ف صحيح أن هناك ما تُسمى سرقة الجينات بين أنواع الكائنات (إذ تنقل الجينات عن طريق حالات العدوى الفيروسية على سبيل المثال)، ولكنه ليس أمراً شائعاً خارج نطاق البكتيريا، وحينما يحدث فإنه يكون بارزاً بوضوح مثل إصبع داحس. إن قائمة الفروق الطفيفة بين البروتينات عَبْر أنواع الكائنات يمكن مطابقتها بالعلاقات المعروفة بين الأنواع. وإذا كان قد حدث سطوة على البروتين البشري وتم إدخاله في جمбри الفوهات، فسيكون واضحًا للغاية أمام أنظارنا؛ إذ سيبدو واضحًا أنه ينتمي إلى البشر وليس إلى الجمبري. من ناحية أخرى، إذا كانت الفروق قد تراكمت تدريجيًا بمرور الزمن في أسلاف الجمبري فسيكون بروتين الجمبري أشد شبهاً بأقرب أقربائه وهم القرديس وجراد البحر، وسيكون أشد اختلافاً عن أبعد أقربائه، مثل البشر، وهذا هو الحال حَقّاً.

فإذا لم يكن الروذوبسين قد سُرق، فهل أُعيد تخليقه لضرورات الهندسة الوراثية؟ يصعب قبول هذا الرأي؛ لأنه يستلزم حدوث عملية إعادة اختراع، ولو لمرة واحدة. بالنسبة لجزيئين متشابهين، يُعد رودوبسين جمبري الفوهات بعيداً عن الروذوبسين البشري لأقصى درجة ممكنة. وفيما بين الاثنين يوجد طيفٌ من الأشكال الوسيطة،

ولكن هذا الطيف ليس مستمراً تماماً؛ بل إنه يتركز في مجموعتين تنتهيان بالتقريب إلى الفقاريات من ناحية، وإلى اللافقاريات من الناحية الأخرى (بما فيها الجموري). وهذا الفرق يتضخم بفعل نطاق كامل من المتصادفات. ففي كلتا الحالتين تُعتبر الخلايا الحساسة للضوء خلايا عصبية معدلة، ولكن التمايز ينتهي عند هذا الحد. ففي الجموري واللافقاريات الأخرى يحدث توصيل للرودوبسين بالأغشية التي تبرز من قمة الخلية مثل الشعر الشائك (وتُسمى الزغيبيات)، وفي الفقاريات يبرز نتوء واحد (يُسمى الهدب) من قمة الخلية مثل برج الاتصالات. ويلتفُّ هذا البرج في شكل ثنيات أفقية عميقة؛ مما يجعله يبدو مثل كومة من الأقراص تستقر فوق قمة الخلية.

وفي داخل الخلايا المستقبلة للضوء يكون لهذه الاختلافات نظائرها في علم الكيمياء الحيوية. ففي الفقاريات، حينما يحدث امتصاص للضوء تنطلق سلسلة من الإشارات لتقوّي الشحنة الكهربائية عبر غشاء الخلية. ويحدث العكس تماماً لدى اللافقاريات؛ فحيثما يُمتص الضوء، تنطلق سلسلة مختلفة تماماً من الإشارات التي تجعل الغشاء يفقد شحنته الكهربائية بالكامل؛ وهذا بالذات هو ما يحفز العصب لكي يطلق رسالة إلى المخ تقول: هناك ضوء! وبصفة إجمالية يوجد نوعان متباينان تقريباً من الرودوبسين في نمطين خلويين متناقضين بمعنى الكلمة. لا يعني كل هذا أن الخلايا المستقبلة للضوء قد نشأت مرتين: مرة في اللافقاريات ثم مرة أخرى في الفقاريات؟

هذا يبدو بالتأكيد إجابةً مقبولةً، وهو ما كان يعتقده أغلب المنتجين إلى هذا الحقل العلمي حتى منتصف عقد تسعينيات القرن العشرين حينما تغيرَ كلُّ شيءٍ فجأةً. لا خطأً في أيِّ من هذه الحقائق، ولكن تبيَّنَ فقط أنها تمثل نصف القصة فحسب. وبينما الآن كما لو أن كل إنسان يستخدم الرودوبسين لأنَّه ورثه عن سلف مشترك. وبينما كما لو أن الأصل الأول للعين قد نشاً مرة واحدة فقط.

انبرى فالتر جيرنج، وهو عالم أحيا سويسري محطم للمعتقدات البالية من جامعة بازل، معلقاً على هذا التناقض بأقوى صورة. إن جيرنج الذي كان أحد مكتشفي جينات هووكس (المسئولة عن وضع مخطط الجسم) توصلَ أيضاً إلى اكتشاف بارز ثانٍ في عام ١٩٩٥، وذلك في واحدة من أكثر تجاربه إثارةً للدهشة في علم الأحياء. فقد أخذ فريق جيرنج جيناً من أحد الفئران وأدخلوه في ذبابة الفاكهة. لم يكن ذلك جيناً عاديًّا له دور تركيبي هينٌ وإنما كان خطير التأثير؛ فعند إدخاله بدأت ذبابة الفاكهة فجأةً في إنبات أعين كاملة على أرجلها وأجنحتها وحتى قرون استشعارها (انظر الشكل ٦-٧).

وهذه العيون الصغيرة الغريبة التي تنبثق من أماكن مميزة لم تكن تلك الأعين المألوفة التي تشبه الكاميرا وال موجودة لدى الفئران والبشر، ولكنها أعين مركبة، تتصرف بكل أنواع الصفات المميزة للحشرات والقشريات. والذي أثبتته هذه التجربة القاسية هو أن الجينات المطلوبة لتكوين العين لدى الفأر ولدى الذبابة متماثلة. فقد تم حفظ تلك الجينات بأمانة مذهلة على مدى ٦٠٠ مليون سنة من التطور منذ آخر سلف مشترك للقوارير واللافقاريات، إلى درجة أنها ما زالت قابلة للعمل على نحو تبادلي. فإذا وضع جين الفأر في ذبابة فسيتولّ أمر أجهزة الذبابة، أيهما تم وضعه، موجهاً مجموعة الجينات الفرعية الخاضعة له بالذبابة بصنع عين في نفس المكان على الفور.

دَرَسَ الفيلسوف الألماني نيتше بعض الوقت في جامعة بازل. وربما لتكريمه، أطلق جيرنج على جين الفأر اسم «الجين المسيطر»، قياساً على فكرة «الجنس المسيطر» الخاصة بنيتشه. وأتساءل إن كان من الأنصب أن نطلق عليه اسم «الجين المايسترو»، وبالتأكيد تلك التسمية أقل تفخيمًا وأقرب إلى روح الجماعة المترابطة؛ إذ يعمل الجين مثل قائد الأوركسترا الذي يستحضر أجمل الصيغ الموسيقية دون أن يصدر أي نغمات موسيقية من جهته. فيعمل الجين على تجميع تركيب العين عن طريق حث «العازفين»، كل على حدة وكل مؤدٌ دوره المنوط به. ثمة صور مختلفة معروفة لنفس الجين بالفعل من خلال ما حدث له من طفرات في الذباب والفئران والبشر. ففي الفئران والذباب أطلق على الجين اسم «العين الصغيرة» و«اللاعني» على الترتيب، مُعبِّراً بالفاظ معكوسة — وهو ما دأب علماء الوراثة على القيام به — عن مقدار النقص الذي يتسبّب به غيابه. أما في حالة البشر، فإن الطفرات في نفس الجين تسبّب مرض اختفاء قزحية العين؛ إذ لا تتكون قزحية العين، وهي حالة مزعجة وكثيراً ما تسبّب العمى، إلا أن هذه تُعدُّ نتيجةً محدودةً الأثر بالنسبة لجين مسيطر يفترض أنه يُشرف على عملية تكوين العين ككل. ولكن هذه الحالة المرضية تحدُّث فقط إذا كان ثمة تلف في نسخة واحدة فقط من هذا الجين، ولكن إذا كانت كلتا النسختين تالفتين أو مفقودتين فلا يتكون الرأس بكماله.

ولقد زادت الصورة تعقيداً منذ تجربة جيرنج الرائدة. يُعرَف «الجين المسيطر» الذي اكتشفه جيرنج اليوم باسم باكس ٦. وقد اتضح أنه أكثر قوة وأكثر تفاعلاً مع جينات أخرى مما كان يُظن سابقاً؛ فقد اتضح أن باكس ٦ يعمل في جميع القوارير واللافقاريات، بما فيها الجمبري، بل اكتُشف جين آخر وثيق الصلة به في قنديل البحر. كما اتضح أن باكس ٦ ليس مسؤولاً عن عملية تكوين العينين فحسب، بل عن تكوين



شكل ٦-٧: صورة مسحية بالمجهر الإلكتروني لرأس ذبابة الفاكهة تظهر عيناً زائدة شديدة الصغر على قرن الاستشعار، تكوَّنْت بتأثير الهندسة الوراثية؛ باستخدام الجين باكس ٦ من فأر. إن الجين نفسه يتحكَّم في نشوء العين في كلٍّ من الفقاريات واللافقاريات، ويرجَح أنه قام بهذا الدور في سلفهما المشترك، ربما منذ ٦٠٠ مليون عام.

أجزاء كبيرة من المخ؛ ومن ثم يَحدُث قصور في تكوين الرأس في حالة غياب كلتا نسختي هذا الجين المهم. وفي نفس الوقت، فإن جين باكس ٦ لا يوجد وحيداً، بل تُوجَد جينات أخرى يمكنها أيضاً أن تشرف على تكوين العيون الكاملة في ذبابة الفاكهة. وفي الواقع يبدو الأمر سهل الحدوث. هذه الجينات ترتبط فيما بينها جميعاً، كما أنها موغلة في القدم، وأغلبها يُوجَد في كلٍّ من اللافقاريات والفقاريات، ولكن مع أدائها أدواراً مختلفة في سياقات مختلفة لدرجة طفيفة. وما يثير الحزن أن موسيقى الحياة الجميلة لا يتم استدعاؤها على يد مايسترو، ولكن على يد «لجنة» صغيرة.

الخلاصة أن نفس «اللجنة» من الجينات تحكم في عملية تكون العين في كلٍّ من الفقاريات واللافقاريات. وخلافاً لما يحدث بالنسبة للرودوبسين فلا يوجد سبب «هندسيٌّ» عمليٌّ يجعل تلك العملية خاضعة لتحكم نفس الجينات؛ فجميعها تعمل كموظفين بيروقراطيين عديمي المشاعر، وكان من الممكن أن تؤدي المهام التي يؤدونها على يد مجموعة أخرى من الموظفين البيروقراطيين عديمي المشاعر. لكن حقيقة أن هذا العمل تقوم به المجموعة نفسها دوماً (بعكس ما يحدث بالنسبة لبروتينات عدسة العين مثلاً)، تكشف عن اليقنة للتاريخ، عن غرابة المصادفة لا قوة الحتمية. وهذا التاريخ يُوحي بأن الخلية المستقبلة للضوء قد نشأت دفعة واحدة لدى سلف مشترك للفقاريات واللافقاريات، تحت تحكم لجنة صغيرة من الجينات.

ثمة سبب آخر للاعتقاد بأن الخلية المستقبلة للضوء نشأت دفعة واحدة؛ وهو دليل مباشر مأخوذ من حفرية حية. هذا الكائن هو دودة بحرية صغيرة؛ تُسمى «بلاتينيريس»، طولها مليمترات قليلاً ومغطاة بشعيرات صلبة. وهي تعيش في مصايد الأنهار الملوحة وتُعد طعمًا مفضلاً لصيادي الأسماك بالشخص. وقد يتساءل المرء كم شخصاً يعرف أن هذا الحيوان لم يتغير شكله العام وتركيبه ككلٍّ إلا بالكاد منذ العصر الكمبري. العجيب أن دودة بهذه كانت السلف المشترك لكلٍّ من الفقاريات واللافقاريات. وهي مثل جميع الفقاريات، وكثير من اللافقاريات جسمها متماثل جانبياً، أي إن جانبيها متباقيان، بخلاف حيوان كنجم البحر. وهذا التماثل الجانبي هو من الصفات المميزة للبشر ولحيوانات كثيرة أخرى كالحشرات. ومن المهم أن نعرف أن تلك الدودة البسيطة نشأت وفيها مسبقاً هذا التكوين التكعيبي القوي، قبل أن يحدث الانفجار الحيوي الذي تمَّ حضُوراً عنه جميع الحيوانات الرائعة التي نراها حولنا اليوم. إنها بمنزلة حفرية حية لكتاب متماثل جانبياً، أولى الحيوانات المتماثلة جانبياً. ولهذا اهتم العالم دتليف أرينت وزملاؤه بالعمل الأوروبي للبيولوجيا الجزيئية في هايدلبرج بألمانيا بخلاياها المستقبلة للضوء.

عرف أولئك العلماء أن عيون تلك الدودة مشابهة في تصميمها لعيون اللافقاريات، وليس لعيون الفقاريات، حتى في نوع الرودوبسين الذي تستعمله. ولكن في عام ٢٠٠٤ اكتشف فريق هايدلبرج مجموعة أخرى من الخلايا المستقبلة للضوء مدفونة في مخ الدودة. لم تكن تلك تُستخدم في الإبصار مطلقاً ولكنها تُستخدم كساعة توقيتية بيولوجية، تتعلق بتلك الإيقاعات الحيوية الداخلية التي تتحكم في النوم واليقظة وتميّز

الليل عن النهار، حتى في البكتيريا. ولم يقتصر الأمر بالنسبة لتلك الخلايا المستقبلة للضوء التي تعمل كساعة بيولوجية على استخدامها للرودوبسين، بل كان جلًّا أيضًا (خبراء مثل أريينت على الأقل) أنها مثل الخلايا الضوئية للفقاريات، وهو اكتشاف تم إثباته فيما بعد باختبارات مفصلة كيميائية حيوية وجينية. واستنتج أريينت أن ذلك الحيوان لديه كلا النوعين من الخلايا الضوئية. وهذا يعني أنَّ نوعي الخلايا هذين لم ينشأا مستقلًّين في خطٍّ مختلفين بالكامل، ولكنهما يُعتبران خلايا «شقيقة» نشأت معًا في نفس هذا الكائن، الذي هو سلف الحيوانات المتماثلة جانبيًّا.

بطبيعة الحال، إذا كان هذا السلف المشترك للفقاريات واللافقاريات امتلك كلا النوعين من الخلايا الضوئية، فلربما ورثنا نحن كلا النوعين هذين، وما علينا إلا أن ننظر في الاتجاه الصحيح كي نجدها. ويبدو أننا فعلنا ذلك بالفعل. ففي العام التالي للعام الذي باحت فيه تلك الحفرية الحية بأسرارها، قام العالم ساتشين باندا وزملاؤه بمعهد سولك في سان دييجو بولاية كاليفورنيا الأمريكية بمتابعة إحساسِ راوَدْهم بشأن بعض الخلايا في عين الإنسان — وهي الخلايا العقدية الشبكية — التي تؤثُّر في إيقاعات الساعة البيولوجية لدى البشر. ومع أن تلك الخلايا ليست متخصصة في الإحساس بالضوء، فإنها أيضًا تحتوي على الرودوبسين، ولكنه شكل فريد منه يُعرف بـالميلانوبسين، وقد عُرف أنه مميز للخلايا الضوئية في اللافقاريات. المثير للاهتمام أن هذا الرودوبسين الموجود في الأعين البشرية أقرب في تركيبه إلى الرودوبسين الذي في الشبكيات المكشوفة لدى جمبري الفوهات أكثر مما هو للنوع الآخر من الرودوبسين الموجود معه في الشبكيات البشرية.

كل هذا يوحي بأن الخلايا الضوئية لدى الفقاريات واللافقاريات نبعث من معين واحد. ويقول العلماء إنها ليست إبداعات منفصلة، ولكنها خلايا شقيقة، لها أمٌ مشتركة. وتلك الأم المشتركة — الخلية الضوئية البدائية التي هي سلف جميع عيون الحيوانات — نشأت دفعة واحدة.

ومن هنا تبرز صورة أكبر، وهي وجود نمط واحد من الخلية الحساسة للضوء، يحتوي على الصبغ البصري الرودوبسين ونشأ في سلف مشترك للفقاريات واللافقاريات، تحت سيطرة لجنة صغيرة من الجينات. وفيما بعْد حدث تضاعفُ للخلية الحساسة للضوء، وصارت الخليتان الوليدتان متخصصتين في أداء وظائفهما إما في عيون وإنما في ساعة بيولوجية. ولأسبابٍ ما، قد تكون من قبيل مصادفة، تمَّ انتقاء أنماط مختلفة من الخلايا لكلٍّ من الفقاريات واللافقاريات لأداء هذه المهام، بحيث تكونت العيون من

أنسجة مختلفة في هذين الخطين؛ مما أدى إلى حدوث اختلافات جنينية رئيسية بين عيون متشابهة في كائنات كالأخطبوط والإنسان، على سبيل المثال. كانت المحطة الأولى على طريق تكون العين الكاملة هي الشبكية المكشوفة؛ وهي رقعة من الخلايا الحساسة للضوء، تتكون من نمط أو آخر من الخلايا الحساسة للضوء؛ تبعاً لتوارث الصفات. وتبقي لدى بعض الكائنات الشبكيات المكشوفة المسطحة البسيطة بينما حدث لدى البعض الآخر تجفف للرقط الحساسة للضوء فتحولت إلى حفر يمكنها أن تعطي صورة باهتة وإحساساً بالمصدر الذي يأتي منه الضوء. ومع ازدياد تعمق هذه الحفر حدثت علاقة تبادلية بين الحساسية للضوء وتوضيح الصورة؛ مفادها أن أي شكل من أشكال العدسات العينية كان أفضل من لا شيء مطلقاً، وأن جميع أنواع المواد غير المتوقعة، من المعادن إلى الإنزيمات، كانت مجندة لهذه المهمة. وقد حدثت عملية متشابهة في خطوط مختلفة، أدت إلى تشكيلة متنوعة من أنماط العدسات، إلا أن القيود البصرية حال تكوين عين عاملة قيدت هذا التنوع عند المستوى الجزيئي إلى مدى محدود من التراكيب الرئيسية؛ التي تتراوح من العيون الشبيهة بالكاميرا (مثل عيون البشر) إلى العيون المركبة (عند الحشرات).

هناك بالطبع تفاصيل لا حصر لها، ولكننا هنا نقدم نبذة مختصرة عن كيفية نشوء العين. ولا غرو أننا نتشارك في نفس الرودوبيسين مع جمبي الفوهات؛ فلقد ورثناها كلنا عن نفس السلف القديم. ولكن هذا الأمر يتركنا أمام تساؤل كبير نختم به هذا الفصل: من كان ذلك السلف؟ والإجابة مرة أخرى تكمن في الجينات الوراثية.

كانت سيندي فان دوفر وهي تغوص في أعماق البحر تجاه الفوهات مهمومة بشأن الضوء في تلك البقاع. فمن الظاهر أن الجمبي الذي يسكن هناك يمكنه إدراك الضوء الأخضر بحساسية غير عادية مستخدماً نوعاً من الرودوبيسين مشابهاً لما يوجد في عيون البشر، إلا أن الفحوص المبكرة أظهرت أن تلك الفوهات لا يوجد فيها ضوء أخضر. فما الذي يحدث إذن؟

قدم أحد الباحثين البارزين نصيحة تشوبها المرارة إلى عدد من العلماء الشبان أثناء خطبة له بمناسبة تقاعده، مؤكداً فيها على أنه لا يجوز تحت أي ظرف من الظروف أن يكرر المرء تجربة ناجحة؛ حتى لا تفضي إلى نتيجة مريرة ومخبية للأمال.^٨ أما النصيحة المناقضة – وهي ألا يتتردد المرء في أن يكرر تجربة فاشلة – فهي أقل واقعية، إلا أن

فإن دوفر كان لديها سبب قوي للتجربة. الرودوبسين مادة جامدة، وهي كالرجل الميت لا تذيب، وإذا كانت هذه المادة تمتص ضوءاً أخضر فلا بد أنه كان ثمة ضوء أخضر لكي تمتصه. ويبدو أن الأجهزة العتيقة التي كانت تُستخدم في الدراسات المبكرة لم تكن في درجة حساسية شبكية الجموري المكشفة.

وقد أعدَ علماء الفضاء بوكالة ناسا مقاييساً للضوء جديداً وأكثر دقة وتعقيداً، وهم يعرفون كل المعلومات الازمة للكشف عن الإشعاع في الظلمة الحالية التي تُسود الفضاء الخارجي. وهذا الجهاز الذي أطلق عليه اسم «نظام التصوير الضوئي المحيطي والطيفي» بإمكانه الكشف عن الضوء بفاعلية ولكن بأطوال موجية أخرى. وعند إنزال الجهاز إلى عالم الفوهات العجيب سجل قمة صغيرة في الجزء الأخضر من الطيف الضوئي بدرجات قوية من الشدة أعلى مما كان متوقعاً على أساس نظري. وسرعان ما تأكّدت القياسات الجديدة في فوهات أخرى. ومع أن مصدر هذا الورج الأخضر الغريب لا يزال غامضاً، فما أكثر ما أطلق من نظريات غريبة لتفسيره! فعلى سبيل المثال يمكن أن يتسبّب انبثاق فقاقع صغيرة من الغاز من الفوهات وانسحاقها بفعل الضغط المرتفع بالمحيط في نشوء ضوء مرئي، كما يمكن أن ينبع الضوء أيضاً عن تكون البلورات وتهشمها بفعل الحرارة والضغط.

وإذا كان اعتقاد فان دوفر المتعلّق بالرودوبسين صحيحاً؛ فهذا لأنَّه الأكثر ترجيحاً. فالرودوبسين قدرة كبيرة على التأقلم حسب الظروف السائدة. ولقد سُميَّ المحيط الأزرق العميق بهذا الاسم لأنَّ الضوء الأزرق يتغلغل أكثر خلال الماء من سائر الأطوال الموجية الأخرى. فالضوء الأحمر سرعان ما يتمتص الماء، ولا يمكنه التوغل كثيراً، والضوء الأصفر يمكنه التوغل أكثر قليلاً فقط، والبرتقالي أكثر من الأصفر قليلاً أيضاً. ولكن بدءاً من عمق عشرين متراً في الماء يكون معظم الضوء أخضر وأزرق، ثم يزداد الماء زرقة بازدياد العمق. ويتشتت الضوء الأزرق فيما حوله؛ مما يجعل كل الأشياء في عمق المحيط تكتسب مسحة من اللون الأزرق. وتتبع أصباغ الرودوبسين لدى الأسماك هذا التحوّل إلى اللون الأزرق ببراعة؛ وهي حيلة تُعرَف بالتناغم الطيفي. ومن ثم فعل عمق ٨٠ متراً في الماء نجُد سماً فيه أنواع من الرودوبسين تمتص الضوء الأخضر لأعلى درجة (عند طول موجي حوالي ٥٢٠ نانومتراً)، ولكن على عمق ٢٠٠ متراً، عندما يكون الضوء في أحْفَت درجاته، يكون لدى السمك أنواع من الرودوبسين تمتص الضوء الأزرق (عند حوالي ٤٥٠ نانومتراً). ومما يثير الاهتمام أن سلطان الفوهات من نوع بيتوجرايا ثرميدرون،

الذي ذكرناه من قبل، يقوم بعكس هذا التحول أثناء تحركه إلى الفوهات. فيرقات هذا السرطان تعيش في المياه الزرقاء العميقة، ولديها نوع من الرودوبسين يمتص الضوء الأزرق لأعلى درجة عند طول موجي مقداره ٤٥٠ نانومترًا. وعلى التقىض من هذا يوجد في الشبكية المكشوفة في السرطان البالغ نوع من الرودوبسين يمتص الضوء عند طول موجي ٤٩٠ نانومترًا، وهو أقرب إلى اللون الأخضر. إنها طفرة صغيرة لكنها مقصودة. وحينما عرفت فان دوفر أن رودوبسين جمبي الفوهات أيضاً يمتص الضوء الأخضر عند ٥٠٠ نانومتر تأكّدت شكوكها بدرجة كبيرة.

يعتمد الإبصار اللوني لدى البشر على قدرة الرودوبسين على تحويل الأطوال الموجية. لدينا نمطان من مستقبلات الضوء في شبكيّة العين: الخلايا العصوية، والخلايا المخروطية (أو ما تُسمى بالعصي والمخاريط). وتحديداً نقول إن العصي فقط هي التي تحتوي على الرودوبسين، بينما تحتوي المخاريط على واحدة من ثلاثة أنواع من «الأوبسينات المخروطية». ولكن في حقيقة الأمر إن هذا التمييز غير مفيد؛ إذ إن جميع هذه الأصباغ البصرية متماثلة أساساً في تركيبتها. فكلها تتكون من نمط محدد من البروتين – يُسمى «الأوبسين»، يسد غشاء الشبكيّة في خط متعرج سباعي – ويرتبط بمادة مشتقة من فيتامين أ تُسمى «ريتينال». والريتينال مادة صبغية، وتُعتبر في حد ذاتها الوحيدة المسؤولة عن امتصاص الضوء. وحينما تمتص فوتوناً من الضوء يتغيّر شكلها من الملتوي إلى المستقيم، وهذا يكفي لجعله في حالة حركة على مدار العملية الكيميائية الحيوية التي تنتهي بإعطاء إشارة إلى المخ بأن هناك ضوءاً.

ومع أن الريتينال هو الذي يمتص الضوء، فإن أهم عامل لإحداث التناغم الطيفي – إلى حد بعيد – هو تركيبة بروتين الأوبسين؛ إذ يمكن أن تؤدي التغيرات الصغيرة في تلك التركيبة إلى تحويل امتصاصية هذا البروتين من الأشعة فوق البنفسجية (حوالى ٣٥٠ نانومترًا) في الحشرات والطيور إلى اللون الأحمر (حوالى ٦٢٥ نانومترًا) في الحرباء. ومن ثم، عن طريق الجمع بين أنواع عدّة من الأوبسينات المتباينة قليلاً – وكل منها له معدل امتصاص مختلف – يمكن أن يتحقق الإبصار اللوني. و تستطيع أوبسينات المخاريط في الإنسان أن تمتص الضوء في أعلى الدرجات عند الأجزاء الزرقاء (٤٣٣ نانومترًا) والأخضراء (٥٣٥ نانومترًا) والحرماء (٥٦٤ نانومترًا) من الطيف، وبجميعها معًا تعطي المدى البصري المألف لدى البشر.^٩

ومع أن الأوبسينات بصفة عامة تتشابه في تركيبتها الإجمالية، فإن الفروق بينها تكشف عن تاريخ حياة مثير. فجميعها تكونت بالتضاعف متبعاً بالتبعاد، ومن ثم

يمكن اقتداءً أصولها حتى نصل إلى جين أوبيسيني سلفي. وتبسيطًا نقول إن بعض عمليات التضاعف هذه حدثت في وقت أكثر حدة من البعض الآخر. ونعتبر الأوبيسينات الخاصة باللونين الأحمر والأخضر وثيقة الصلة فيما بينها، على سبيل المثال: لقد حدث تضاعف للجين لدى سلف مشترك للرئيسيات (التي تشمل الإنسان والقردة العليا). وأعطى هذا التضاعف الرئيسيات ثلاثة أنماط من أوبيسين المخاريط (أو ربما حدث هذا بعد أن تباعدت قليلاً) وليس اثنين فقط؛ مما أكسب معظمنا نحن البشر إبصاراً ثلاثي الألوان. ولكن هناك قلة سيئة الحظ من يعانون العمى اللوني فيما يتعلق باللونين الأحمر والأخضر؛ لأنهم يفتقدون واحداً من هذه الجينات؛ مما جعل إبصارهم ثنائي الألوان مثل جميع الثدييات الأخرى تقريباً، ولعل ضعف إبصارهم انعكاسٌ لماضٍ حديث نسبياً كان فيه الحيوان يقضي لياليه مختبئاً من الديناصورات! ثمة عدم اتفاق بشأن السبب في أن الرئيسيات استرددت الإبصار ثلاثي الألوان. وتفترض النظرية الأكثر انتشاراً أن هذا الإبصار ساعدها على تمييز الثمار الحمراء من بين الأوراق الخضراء. وثمة فكرة ذات وجهة اجتماعية أكثر تقول إنه ساعدها على تمييز المشاعر والتهديدات والإشارات الجنسية، التي تتراوح من أحمرار الوجه (خجلاً أو ارتباكاً) إلى ظهور الكذب على الوجوه المكشوفة (ومما يثير الاهتمام أن جميع الرئيسيات ثلاثية الإبصار اللوني وجوهها مكشوفة؛ أي غير مغطاة بالشعر).

قلتُ تواً إن الرئيسيات «استرددت» الإبصار ثلاثي الألوان، ولكننا في الواقع ما زلنا أكثر فقراً، من ناحية الإبصار اللوني، من فقاريات أخرى كثيرة. فجميع الزواحف والطيور والبرمائيات وأسماك القرش لديها إبصار رباعي الألوان، ويبدو من المرجح أن السلف المشترك للفقاريات كان رباعي الإبصار اللوني متمتعاً بقدرة على رؤية حتى المنطقة فوق البنفسجية من الطيف.^{١٠} وقد أكدَّ تجربة رائعة هذا الاحتمال، وذلك عن طريق مقارنة التسلسلات الجينية لدى فقاريات حية. وقد تنبأ عالمان هما يونجشنج شي وشوزو يوكوياما من جامعة سيراكيوز في نيويورك بتسلسل الجين لدى سلف الفقاريات ولكن حتى الآن ليست لدينا وسيلة للتلخمين – من خلال المبادئ الأولية وحدها – بما يمكن أن يكون الطول الموجي بالضبط لما امتصَّه هذا الروذوبسين السلفي من ألوان. ولقد استخدم شي ويوكياما تقنيات الهندسة الوراثية لبناء المادة البروتينية، ثم قاسَا امتصاصيتها للضوء مباشرةً. وقد تبيَّن لهما حينئذٍ أنها تقع في المنطقة فوق البنفسجية (٣٦٠ نانومتراً).

ويقع أعمق فرع في شجرة الأوبسينات فيما بين الفقاريات واللافقاريات كما رأينا. ولكن حتى تلك الحفرية الحية، التي هي أول الحيوانات المتماثلة جانبياً، وهي تلك الدودة المهيئه المسممة بلاتينيريس، لديها مع ذلك نمطان من الأوبسينات الحيوانية، يقابلان ما بالفقاريات واللافقاريات. ومن ثم يكون السؤال: ما طبيعة ذلك السلف الأصلي لجميع الأوبسينات الحيوانية، ومن أين جاء؟ الإجابة غير معروفة بشكل مؤكّد، وهناك نظريات عدّة تحاول الإجابة عن هذا السؤال. إلا أنّ مرشدنا لهذا هو الجين نفسه، ولقد تتبّعنا أثره إلى ماضي الزمان عبر ٦٠٠ مليون عام مضت. فإلى أي مدى يمكننا الرجوع إلى الوراء أكثر من هذا؟ يُصرّح بيتر هيجمان وزملاؤه بجامعة ريجنزيبورج في ألمانيا بأنّ الجين يعطينا إجابة بالفعل، وهي إجابة غير متوقّعة بمعنى الكلمة؛ إذ يقولون إنّ أقدم سلف للعين نشأ في الطحالب.

الطحالب – مثلها في ذلك مثل النباتات – تستخدم عملية البناء الضوئي بكفاءة، ويمكن أن تتكون فيها جميع أنواع الأصباغ الدقيقة الحساسة للضوء. ويستخدم كثيراً من الطحالب هذه الأصباغ التي تُوجَد في بقع عينية بسيطة، وظيفتها الإحساس بشدة الضوء، وفعل شيء حياله، إذا لزم الأمر. وعلى هذا الأساس، نجد على سبيل المثال الطحالب الرائع الجميل المسمى «فولفوكس» يتربّك من كرات مجوفة تتكون من مئات الخلايا، وقد يصل قطر كل كرة طحلبية منها إلى مليمتر واحد. ويخرج من كل خلية سلطان تضرّب بها الخلية كالمجاديف في الماء، وأسواط الفولفوكس تتوقف حينما يكون الضوء مبهراً، وتضرّب حينما يسود الظلام، أو يكون الضوء خافتاً؛ لتجه الكرة الطحلبية بкамملها تجاه الشمس؛ متوكّيةً أفضل ظروف لأداء عملية البناء الضوئي. وتحكم البقع العينية في عملية إصدار الأمر للططلب بالتوقف. والمفاجأة هي أن الصبغ الحساس للضوء في البقع العينية للفولفوكس هو الرودوبسين.

ولعلَّ الأعجب من هذا أن روذوبسين طلب الفولفوكس يبدو كأنه سلف لجميع الأوبسينات الحيوانية. ويهتمي موقع ارتباط الرتنيال بالبروتين في الشبكية على أقسام تكون مماثلة تماماً لأوبسينات كلٌّ من الفقاريات واللافقاريات، وهي في الواقع خليط من كلٍّ منها من الناحية العملية، كما أن التركيب العام للجين بما فيه من خلط انتقائي من تسلسلات مشفرة وغير مشفرة (تُعرَف تقنياً بالأنترونات والإكسونات) ينمُّ عن وجود ارتباط قديم بأوبسينات كلٌّ من الفقاريات واللافقاريات. لا يُعدُّ هذا برهاناً، ولكنه بالضبط ما قد يتوقّعه المرء لسلف كلتا العائلتين. وهذا يعني أن هناك احتمالاً قوياً

أن تكون أم جميع العيون الحيوانية، وربما الحيوانات ككلٌّ، متمثلة في طحلب أحضر يمارس عملية البناء الضوئي.

هذا، بطبيعة الحال، يُثير تساؤلاً: كيف بحق السماء وصل الرودوبيسين الطحلبي إلى الحيوانات؟ من المؤكد أن طحلب الفولفوكس الجميل هذا ليس على خطٍّ وراثيٍّ مباشر مع الحيوانات. ولكن نظرة سريعة إلى تركيبة البقع العينية تُوحِي على الفور بمفتاح هذا اللغز؛ فالرودوبيسين مدفونٌ في أغشية بلاستيدات الكلوروفيل (تلك التراكيب الدقيقة في الطحالب والخلايا النباتية؛ المسئولة عن عملية البناء الضوئي). ومنذ مiliar سنة، كانت أسلاف تلك البلاستيدات هي البكتيريا حرة المعيشة الممارسة لعملية البناء الضوئي، المسماة بالبكتيريا الزرقاء، التي التهمتها خلايا أكبر (انظر الفصل الثالث). وهذا يعني أن البقع العينية لا يقتصر وجودها على الفولفوكس بالضرورة. ولكن لها صلة ببلاستيدات الكلوروفيل، أو ربما أسلافها المسماة بالبكتيريا الزرقاء.¹¹ وتُوجَد بلاستيدات الكلوروفيل في كثيرٍ من أنماط الخلايا الأخرى، بما فيها قليل من الحيوانات الأولية (وحيدة الخلية) التي يُعدُّ بعضها ضمن الأسلاف المباشرة للحيوانات.

والحيوانات الأولية هي كائنات تتكون كلُّ منها من خلية واحدة متكاملة. وأكثر تلك الأوليات شهرةً هي الأمبيا. كان رائد علم دراسات المجهر الهولندي أنتوني فان لوفنهوك أول من شاهدها، بالإضافة إلى فحص حيواناته المنوية، وقد أطلق عليها اسم الحيوينات (أي الحيوانات الصغيرة)؛ لتمييزها عن الطحالب المجهريّة التي صنفَها مع النباتات باعتبارها نباتية بالأساس. ولكن هذا التقسيم أخفى وراءه العديد من الأخطاء؛ لأننا إذا استطعنا تكبير حجم بعض من هذه الحيوينات الصغيرة حتى تصل إلى أحجام البشر، فسوف نُصْعَق لرأي مسوخ بشعة المنظر، نصف وحوش ونصف نباتات، وهي تحملق فينا، مثل لوحات الفنان الإيطالي آرسيمبولدو. وبالفاظ أكثر هدوءاً نقول إن بعض الحيوانات الأولية المتحركة التي تسبح متجلولة سعيًا وراء فريستها تحتوي أيضاً على بلاستيدات كلوروفيل (مثل اليوجلينا)؛ مما يكسبها بعداً طحلبياً، وحقاً إنها اكتسبته بنفس الطريقة التي حدثت للطحالب بالضبط؛ وذلك عن طريق ابتلاع خلايا أخرى. أحياناً ما تبقى هذه البلاستيدات تؤدي وظائفها؛ لتفادي الاحتياجات الغذائية لعائلتها، ولكنها تتحلل في حالات أخرى، تاركة وراءها أغشيتها الخاصة وجيناتها المميزة، مثل ذكرى باهتة لماضٍ كان رائعاً، أو مثل قطع وأجزاء متنوّعة في ورشة سmekri، كأساس لابتكار جديد؛ ابتكار قد يكون في شكل مثل العين. وهذا الكائن الهجين المجهري، وليس

الفولفوكس نفسه، هو نوع الكائن الذي يظن بعض الباحثين (ولا سيما فالتر جيرنج مرة أخرى) أنه قد يخفي في داخله أم جميع العيون الحيوانية.

فأي كائن هجين دقيق هذا؟ لا أحد من العلماء يعرف الإجابة، ولكن هناك دلائل وقرائن مُحِيرَة، وأمامنا الكثير لنتعلمه. إن بعض الحيوانات الأولية (الدينيوسوطيات) تثير الدهشة باحتواها على عيون دقيقة مُعَقَّدة بها شبكة وعدسة وقرنية، كلها محشدة في نفس الخلية. ويبدو أن هذه العيون نشأت من بلاستيدات كلورو菲يل متحللة، وهي أيضًا تستخدم الرويدوبسين. وهناك تساؤل مفتوح عَمَّا إذا كانت العيون الحيوانية قد نشأت منها مباشرةً أم بشكل غير مباشر (من خلال عملية تكافلية) في هذا الكائن الصغير مليء بأشياء مهمة الذي لا يعرفه إلا القليلون. ولا يمكننا تحديد ما إذا كانت عملية تكون العيون قد حدثت خطوة متوقعة أم كمحض مصادفة؛ فهذا ما لا نعرفه. إلا أن هذا النوع من التساؤل، المحدد والشامل في الآن عينه، يقع في صميم العلوم، وأأمل أن يلهم جيلاً صاعداً يتطلع بعيونه إلى النجوم.

الفصل الثامن

الدم الحار

كسر حاجز الطاقة

تقول كلمات أغنية من أغانيات الأطفال إن الوقت يمر سريعاً بينما تكون سائقاً لقطار. أيضاً ما من أحد هنا ينسى ذلك الشعور المناقض، شعور مرور دقائق كثيرة من الملل الذي يكاد يُوقف العقل، وهو جالس في المقعد الخلفي للسيارة يسأل أباه مرة تلو الأخرى: «ألم نَصِلْ إلى وجهتنا بعْد يا أبي؟» وأنتحيل أن معظم القراء سيتذكرون أيضاً الضيق الذي كانوا يشعرون به وهم يشاهدون أجدادهم المسنين أو آباءهم وقد بطّلت حركتهم حتى صارت بسرعة السلحفاة، ثم يجلسون، بشكل غير مفهوم، وال ساعات تمر بهم كأنها دقائق. كلا النقيضين بعيد جداً عن سرعة عالمنا الخاص، إيقاع حياتنا المعتمد بوصفتنا بشراً ناضجين.

لاحتاج إلى عبكري كأينشتاين ليخبرنا أن الوقت نسبيٌ. ولكن ما أثبته أينشتاين بوضوح بشأن الزمان والمكان نراه أكثر وقعاً، كما هو الحال دائمًا، في علم الأحياء، وكما قال الكاتب الساخر المشهور كليمانت فرويد: «إذا قررت أن تقلع عن التدخين أو الشراب أو الغرام؛ فهذا لا يعني أن عمرك سيطول بالضرورة، ولكن فقط يبدو عمرك وكأنه طال». ^١ إلا أن هناك شيئاً من المنطق الحقيقي في إسراع الوقت في مرحلة الطفولة وبطئه عند كبر السن. وهو يمكن في أوضاعنا ومشاعرنا الداخلية، وسرعة الأيض وسرعة دقات القلب وسرعة حرق الخلايا للغذاء في وجود الأكسجين. وحتى بين البالغين تُوجَد فروق شديدة بين من هو نَشِطٌ ومنْ هو خامل. وأغلبنا يتلقّب ببطء من أحد هذين النمطين إلى الآخر. وتعتمد سرعة إبطائنا، أو اكتسابنا لزيادة فعلية في الوزن، بدرجة كبيرة على

سرعة الأيض لدينا، التي تتفاوت بشكل طبيعي بين الأشخاص. وغالباً ما نجد شخصين يأكلان نفس الطعام ويذلان نفس المجهود ولكنهما يختلفان في ميلهما لحرق السعرات أثناء الراحة.

ما من موضع تتجلّ فيه أهمية المعدل الأيضي أكثر من الفارق بين الكائنات ذات الدم الحار والكائنات ذات الدم البارد. صحيح أنَّ هذين اللفظين يُشيران اعتراف علماء الأحياء، إلا أنهما لفظان مفعمان بالحيوية والمعاني الواضحة لغالبية الناس، ويُوصلان المعاني المطلوبة تماماً مثلما تفعل الألفاظ التقنية المقابلة المعقدة مثل ثبات الحرارة وتغيير الحرارة (المقابلين للدم البارد والدم الحار على الترتيب). إنه لأمر يثير الاهتمام، ولكنني لاحظت أن هناك أوجهًا قليلة في علم الأحياء نشعر حيالها بالتعصب الزائد نحن أصحاب الدم الحار. ومن الصعب تبرير ذلك الغضب الذي يظهر في الدوريات وعلى شبكة الإنترنت عند الحديث عن الديناصورات وعما إذا كانت في زمانها من ذوات الدم الحار أم البارد؛ فيبدو أن هناك فارقاً انتعاقياً، ربما كانت له علاقة باعتزاز البشر بأنفسهم، بين تعرض أسلاف البشر للالتهام من جانب تلك العظايا العملاقة، أو من جانب وحوش ماهرة ماكرة سريعة الحركة كان علينا أن نبذل أقصى ما في وسعنا كي نظل أحياء في وجودها. يبدو أننا معشر الثدييات ما زلنا نحمل في قلوبنا الضغينة والماردة بسبب ما قضاه أسلافنا من الحيوانات الصغيرة ذات الفراء في كهوف وجحور تحت الأرض منكمشين ومرتعدين خوفاً من المفترسات الشرسة الكبيرة التي كانت سائدة في الزمن الماضي. ولكن هذا حديث من ١٢٠ مليون عام، وهو وقت طويل جداً وفق أي حساب.

إن ما يسمى الدم الحار إنما يتعلّق أساساً بسرعة الأيض، وبسرعة إيقاع الحياة. إن خاصية الدم الحار تُفيد في حد ذاتها؛ إذ تسرع جميع التفاعلات الكيميائية مع تزايد درجة الحرارة، بما فيها التفاعلات الكيميائية الحيوية التي تدعم الحياة. وعلى امتداد ذلك النطاق المحدود من درجات الحرارة ذات الدلالة البيولوجية من حوالي صفر إلى ٤٠ درجة مئوية في الحيوانات نجد الفارق في الأداء الوظيفي شديداً؛ إذ يتضاعف استهلاك الأكسجين، على سبيل المثال مع كل زيادة قدرها ١٠ درجات مئوية في درجة الحرارة في هذا المدى؛ وهو ما يعني زيادة في النشاط والقدرة. ومن ثم يكون لدى حيوان ما درجة حرارته ٣٧ درجة مئوية ضعف قوة حيوان آخر درجة حرارته ٢٧ درجة مئوية، وأربعة أضعاف قدر قوة حيوان درجة حرارته ١٧ درجة مئوية.

لكن نجد إلى حد بعيد أن درجة الحرارة لا تلتزم بهذا النظام في كل الأحوال. فالحيوانات ذوات الدم الحار ليست بالضرورة أكثر حرارةً من ذوات الدم البارد؛ فمعظم

الزواحف بارعة في امتصاص الطاقة من الشمس، فتدفع أجسامها وترفع درجة حرارتها الداخلية إلى مستويات مماثلة للطيور والثدييات. من المؤكد أنها لا تحافظ على درجة الحرارة المرتفعة هذه بعد حلول الظلام، ولكن لا تنس أنَّ الطيور والثدييات غالباً ما تكون خاملة بالليل كذلك. بل ربما تقتصر في الطاقة أيضاً بخفض درجة حرارتها الداخلية، ولكنها نادراً ما تفعل هذا، أو على الأقل لا تفعل هذا كثيراً (وإن كانت طيور الطنان كثيراً ما تدخل في حالة غيبوبة لتحافظ على طاقتها). وفي عصرنا هذا الذي صرنا فيه أكثر وعيًا بقضايا الطاقة، قد تدفع الثدييات المهتمين بالبيئة إلى البكاء؛ إذ نجد منظم درجات حرارة الجسم في المخ مضبوطاً عند ٣٧ درجة مئوية، على مدى ٢٤ ساعة يومياً، سبعة أيام أسبوعياً، بغضِّ النظر عن الاحتياجات. ولا تسلُّ عن الطاقة البديلة؛ فنحن لسنا من يمتضون طاقة الشمس كالعظام، ولكننا نولد الحرارة بشكل مدهش عن طريق محطات توليد الطاقة الحارقة للكربون داخلياً؛ مما يجعلنا نُخَلِّف آثاراً كربونية علامة أيضاً. ومن ثم فالثدييات هي الكائنات الأصلية المستنزفة للبيئة.

وقد تظن أن استمرار الثدييات بأقصى طاقتها خلال الليل يعطيها دفعه لبدء العمل في الصباح، إلا أن العظام لا تضيع الكثير من الوقت في رفع درجات حرارتها للتعود إلى مستويات النشاط المطلوبة. فالعظاءة عديمة الأذنين، على سبيل المثال، لديها جيب دموي في أعلى رأسها، يمكنها من خلاله تدفئة جسمها بكماله سريعاً. وفي الصباح، تطل برأسها خارج جرها، وتتطلع بعينين حذرتين خوفاً من وجود حيوانات مفترسة؛ لتكون على استعداد للعودة سريعاً إلى جرها عند الضرورة، وبعد نصف ساعة يكون جسمها في الغالب قد صار دافئاً لدرجة تكفي لكي تغامر بالخروج من الجر، وإنها لطريقة آمنة تبدأ بها يومها. بطبيعة الحال الانتقاء الطبيعي لا يقنع بوجود وظيفة واحدة لأي سمة. بعض العظام، إذا وقعت في الأسر أو أمسك بها حيوان مفترس، تستخدم وسيلة دفاعية هي وصلة من الجيب الدموي برأسها إلى جفنيها؛ ومن خلال الجفنيين يمكنها بخ الدم على مفترسات، مثل الكلاب، حتى تجد طعمها كريهاً فتلتفظها.

كما أن حجم الجسم وسيلة أخرى للحفاظ على درجات حرارة الجسم المرتفعة. لا حاجة بك لأن تكون صياداً رائعاً ذكيَاً حتى تخيل جلدي حيوانين مفترسين كبساطين على الأرض. تخيل أن أحد الجلدين طوله وعرضه مثل الجلد الآخر مرتين؛ فهذا يعني أنَّ الحيوان الأكبر حجماً جلده أكبر من جلد الحيوان الآخر بأربعة أضعاف ($2 \times 2 = 4$)، ولكنه يكون أثقل بثمانية أضعاف؛ إذ إن جسمه أكثر عمقاً بمرتين ($2 \times 2 \times 2 = 8$) .

ومن ثم فإن كل مضاعفة للأبعاد تنقص النسبة بين مساحة سطح الجسم إلى وزنه بمقدار النصف ($4 \div 8 = 0,5$). وإذا افترضنا أن كل رطل من وزن الجسم يُولد نفس القدر من الحرارة، فإن الحيوانات الأكبر حجمًا تُولد المزيد من الحرارة الداخلية؛ نظرًا لأنها تحمل في أجسامها المزيد من الأرطال.^٢ في نفس الوقت، فإنها تفقد الحرارة ببطء أكثر؛ لأن أسطح أجسامها تكون أصغر نسبيًا (بالنسبة للحرارة الداخلية المتولدة). وهكذا، كلما كان الحيوان أكبر حجمًا، كان أكثر حرارة. وعند حد ما، تصير الحيوانات ذوات الدم البارد من ذوات الدم الحار. فالتماسيح الضخمة، على سبيل المثال، تعتبر من الناحية العلمية من ذوات الدم البارد، ولكنها تحفظ في أجسامها قدرًا من الحرارة يكفي لجعلها على الخط الفاصل لذوات الدم الحار. وحتى أثناء الليل، لا تنخفض حرارتها الداخلية إلا بدرجات قليلة، بالرغم من إنتاجها للقليل من الحرارة الداخلية.

من الواضح أن الكثير من الديناصورات لا بد أنها تجاوزت عتبة الحجم هذه بقدر كافٍ؛ مما يجعلها — في واقع الأمر — من ذوات الدم الحار، لا سيما وهي تتمتع بدرجات الحرارة البيئية الدافئة التي كانت تسود جزءًا كبيرًا من كوكب الأرض في تلك العصور المزدهرة. فلم تكن ثمة جبال جليدية، على سبيل المثال، حينئذ، كما كانت مستويات ثاني أكسيد الكربون الجوي أعلى بعشرة أضعاف مما يوجد اليوم. بتعبير آخر نقول إن بعض المبادئ الجسمانية البسيطة تعني أن الكثير من الديناصورات لا بد أنها كانت من ذوات الدم الحار بغضّ النظر عن حالتها الأيضية. بل إن الديناصورات العملاقة التي كانت نباتية الغذاء ربما كانت تجد صعوبةً أكثر في فقدان الحرارة مما تجده في اكتسابها. كما أن بعض التراكيب التشريحية الغربية — مثل الصفائح الدرعية الهائلة التي كانت تُغطّي جسم الأستيوجوصورس — ربما كانت تلعب دورًا ثانويًا في تبديد حرارة الجسم، دورًا لا يختلف كثيرًا عن دور أذني الفيل.

لكن لو كان الأمر بهذه البساطة، لما كان ثمة خلاف حول ما إذا كانت الديناصورات من ذوات الدم الحار أم لا؛ فقد كانت كذلك بالتأكيد بهذا المفهوم المحدود، أو على الأقل كان الكثير منها كذلك. والذين يُغرمون بالألفاظ الرنانة نقول لهم إن هذه الظاهرة يُطلق عليها اسم «الاحتفاظ بالحرارة بالقصور الذاتي». فلم تكن تلك الحيوانات تحافظ على ارتفاع درجة حرارة أجسامها الداخلية فحسب، بل كانت تُولد الحرارة داخليًا بنفس الطريقة التي تحدث في الثدييات الحديثة، من خلال حرق الكربون. إذن كيف لا تُعتبر الديناصورات، بالمعنى الأوسع نطاقًا، من ذوات الدم الحار؟ حسنًا؛ إن بعضها قد ينطبق

عليه هذا حًقا كما سنرى لاحقاً. ولكن لكي نفهم التفرد الحقيقى للثدييات أو الطيور بالدم الحار، يلزمـنا أن نقوم بعكس الاتجاه الحجمي لنرى ما يحدث في الحيوانات الأصغر حجماً التي دون «عتبة الدم الحار».

تفكر في العظاءة. هي من ذوات الدم البارد، بمعنى أنها لا تستطيع أن تحافظ على حرارة جسمها الداخلية على مدار الليل. وبينما يستطيع التمساح الكبير أن يقترب من هذا الهدف على الأرجح، فإن الحيوان كلما كان أصغر حجماً كان من الأصعب عليه أن يُحققـه. أما عزل جسم الحيوان حراريًّا بالفراء أو الريش فلا يفيد إلا إلى حدٍ معين، ويمكن بالفعل أن يعوق امتصاص الحرارة من البيئة المحيطة. فإذا جرَّبنا أن نُلبـس عباءةً معطفاً من الفراء (ولا حاجة بـنا أن نقول إن بعض الباحثـين الجادـين فعلـوا هذا بالضبط)، فسنجد أن العظاءة تزداد برودة باستمرار، ولا يمكنـها أن تمتـص حرارة الشمس كذلك، ولا أن تولـد ما يكفي من حرارة داخلية في جسمـها لتعوض النقص. وهذا بعيدٌ عما يحدث في الثدييات أو الطيور، وهذا يـجـرـنـا إلى التعريف الحقيقـي للـدمـ الـحـارـ.

تولـد أجسامـ الثديـياتـ والـطـيـورـ قـدرـاًـ منـ الـحرـارةـ الدـاخـلـيةـ يـصـلـ إـلـىـ عـشـرـةـ أـضـعـافـ أوـ خـمـسـةـ عـشـرـ ضـعـفـ ماـ تـوـلـدـ عـظـاءـةـ مـتوـسـطـةـ الـحـجـمـ.ـ وـهـذـاـ يـحـدـثـ بـغـضـ النـظـرـ عنـ الـظـرـوفـ الـمـحـيـطـةـ.ـ فـإـذـاـ وـضـعـتـ عـظـاءـةـ وـحـيـوانـاًـ ثـدـيـيـاًـ فـيـ جـوـ شـدـيدـ الـحـرـ،ـ فـسـتـجـدـ أـنـ جـسـمـ الـحـيـوانـ الـثـدـيـيـ يـسـتـمـرـ فـيـ تـوـلـيدـ الـحرـارةـ الدـاخـلـيةـ فـيـ جـسـمـهـ قـدـرـ عـشـرـةـ أـضـعـافـ ماـ يـوـلـدـ جـسـمـ الـعـظـاءـةـ،ـ حـتـىـ يـصـابـ بـالـضـرـرـ وـيـكـادـ يـهـلـكـ.ـ وـسـيـضـطـرـ لـخـرـوجـ مـنـ هـذـاـ جـوـ لـيـبرـدـ جـسـمـهـ؛ـ بـأـنـ يـشـرـبـ مـاءـ أـوـ يـأـخـدـ حـمـاماًـ،ـ أـوـ يـلـهـثـ،ـ أـوـ يـلـجـأـ إـلـىـ الـظـلـ أـوـ يـسـتـخـدـمـ الـمـروـحةـ أـوـ يـشـرـبـ مـشـرـوـبـاًـ بـارـداًـ،ـ أـوـ يـسـتـخـدـمـ مـكـيفـ الـهـوـاءـ.ـ أـمـاـ الـعـظـاءـةـ فـسـتـسـتـمـتـ بـهـذـاـ جـوـ.ـ فـلـاـ غـرـوـ أـنـ نـجـدـ الـعـظـاءـاـ وـالـزـواـحفـ عـامـةـ تـطـيـبـ مـعـيـشـتـهاـ فـيـ الصـحـارـىـ وـالـأـجـوـاءـ الـحـارـةـ.ـ وـالـآنـ جـرـبـ وضعـ الـعـظـاءـةـ وـالـحـيـوانـ الـثـدـيـيـ فـيـ أـجـوـاءـ بـارـدةـ،ـ وـلـيـكـنـ قـرـيبـاًـ مـنـ درـجـةـ التـجـمـدـ،ـ حـيـنـئـدـ سـتـدـفـنـ الـعـظـاءـةـ نـفـسـهـاـ فـيـ أـورـاقـ الشـجـرـ،ـ وـتـكـوـرـ جـسـمـهاـ وـتـذـهـبـ فـيـ نـومـ عمـيقـ.ـ وـلـلـحـقـ نـقـولـ إـنـ الـكـثـيرـ مـنـ الـثـدـيـيـاتـ الصـغـيرـةـ تـفـعـلـ هـذـاـ أـيـضاًـ،ـ وـلـهـاـ العـذـرـ فـيـ ذـلـكـ.ـ وـلـكـنـ الـوـضـعـ الـمـعـتـادـ لـلـثـدـيـيـاتـ هـوـ الـعـكـسـ تمامـاًـ؛ـ فـإـنـاـ حـيـنـئـدـ نـحرـقـ الـزـيـدـ مـنـ السـعـراتـ مـنـ الـطـعـامـ.ـ إـنـ تـكـلـفـةـ الـمـعـيـشـةـ بـالـنـسـبـةـ لـحـيـوانـ ثـدـيـيـ فـيـ جـوـ الـبـارـدـ تـزـيدـ مـائـةـ ضـعـفـ عـنـ تـكـلـفـتـهاـ بـالـنـسـبـةـ لـلـعـظـاءـةـ.ـ وـحـتـىـ فـيـ الـأـجـوـاءـ مـعـتـدـلـةـ الـبـرـودـةـ،ـ وـلـيـكـنـ حـوـاليـ ٢٠ـ درـجـةـ مـئـويةـ (ـأـيـ فـيـ يـوـمـ رـبـيعـيـ مـعـتـدـلـ فـيـ جـزـءـ كـبـيرـ مـنـ الـقـارـةـ الـأـورـوبـيـةـ)ـ يـكـونـ الـفـارـقـ هـائـلاًـ؛ـ حـوـاليـ ثـلـاثـيـنـ ضـعـفاًـ.ـ وـلـدـعـمـ سـرـعـةـ الـأـيـضـ الـهـائـلـةـ هـذـهـ،ـ يـتـعـيـنـ عـلـىـ الـحـيـوانـ الـثـدـيـيـ أـنـ

يرق الطعام بما يزيد ثلثين ضعفًا عما يحرقه الحيوان الراحت. وينبغي أن يأكل في يوم واحد، وفي كل يوم، قدر ما تأكله العظام في شهر كامل. فإذا وضعنا في الاعتبار أنه لا يوجد غذاء مجاني، فإن التكلفة حينئذ تكون عالية حقاً.

هكذا تجري الأمور، فتكلفة أن يكون الحيوان من الثدييات أو الطيور تبدأ من حوالي عشرة أضعاف تكلفة أن يكون عظامه، وغالباً ما تكون أعلى بكثير. فما الذي نجنيه من نمط حياتنا هذا ذي التكلفة العالية؟ الإجابة واضحة هي توسيع نطاق البيئة الملائمة؛ ففي حين أن الدم الراحت قد لا يُفيد في شطف البيئة الصحراوية، فإنه يُتيح السعي الليلي في طلب الرزق أو الوجود النشط على مدار الشتاء في الأجواء المائلة للبرودة، وكل الأمرين لا تستطيعه العظام. ثمة ميزة أخرى وهي القدرة المخية، وإن كان من الصعب على أنفهم السبب في وجوب أن تكون هناك علاقة ضرورية. لا شك أن الثدييات لديها مخاخ أكبر حجماً بالنسبة لأجسامها، تليها الزواحف. وإذا كان كبر حجم المخ ليس ضماناً ضرورياً للذكاء فيرأى، ولا حتى لسرعة البديهة، فإنه يبدو أن سرعة الأيض تُعد دعماً قوياً لمخ أكبر حجماً، دون أن يتم تحصيص الموارد له بالتحديد. ومن ثم، إذا كان يتم في أجسام كل من العظام والثدييات تحصيص حوالي ٣ بالمائة من الموارد للمخ، ولكن لدى الثدييات وتحت تصرُّفها موارد تزيد على عشرة أضعاف ما لدى العظام، فيمكنها أن تفوي باحتياجات مخاخ تزيد عن مخاخ العظام بعشرة أضعاف، وعادةً ما يكون لديها هذا بالفعل. وعلى قمة الثدييات تجد أن الرئيسيات، ولا سيما البشر تُخصص لديها نسبة كبيرة من مواردها للنشاط المخي. ففي البشر، على سبيل المثال، تُخصص نسبة ٢٠ بالمائة تقريباً من الموارد للمخ، مع أن المخ لا يُمثل سوى نسبة صغيرة من الجسم. ولذا فإبني أشك أن تكون الطاقة المخية الزائدة ليست أكثر من إضافة زائدة للإنسان تحقق دون تكلفة إضافية، لأجل أسلوب حياة كائن ذي دم حار. فهناك طرق أقل تكلفة لبناء مخاخ أكبر حجماً.

باختصار، إن توسيع الملاءمة البيئية والنشاط الليلي والقدرة المخية الإضافية كلها أمور لا تبدو كعائد مُجزٍ في مقابل التكاليف الأيضية الباهظة للدم الراحت. يبدو لي أن ثمة شيئاً مفقوداً في هذا الصدد. ففي الجانب المدين (أي جانب العيوب إذا صَحَّ التعبير) هناك تكلفة الأكل، ثم الأكل، ثم التخمة. وهناك تكلفة الوقت والجهد المبذولين في التجول طلباً للرزق أو الصيد أو حصاد الزرع، والوقت الذي يُقضى في الهرب من المفترسات أو مواجهة المنافسين. وهكذا يُستهلك الطعام ويبدأ في النضوب. فمن الواضح

أنك كلما أسرعت في الأكل، أسرع طعامك في النفاد. وكذلك يقل عدد السكان. فثمة قاعدة عملية تقول إن معدل الأيض يتحكم في عدد السكان، وغالباً ما يصل عدد الزواحف إلى عشرة أضعاف أعداد الثدييات. ولنفس السبب يكون عدد ذرية الثدييات أقل (وإن كان باستطاعتها أن تخصص المزيد من الموارد لهذا العدد الأقل). وحتى مدة الحياة المتوقعة تختلف باختلاف سرعة الأيض. ولقد كان كليمانت فرويد محقاً بشأن البشر ومخطئاً بشأن الزواحف. فربما كانت حياتها بطيئة ومملة، ولكنها أطول، ولا سيما السلاحف العملاقة التي تصل أعمارها إلى مئات السنين.

وهكذا يفرض الدم الحار ضريبة قاسية؛ إذ يُبشر بحياة أقصر، يقضيها الحيوان في الأكل بشرابة ضارة، ويُقلل عدد السكان وعدد النسل، وهمما عاملنا يجب ألا يغفلهما الانتقاء الطبيعي. وتعويضاً عن هذا نجد في الجانب الدائن (أي جانب المزايا) أن يكون لدى الحيوان فرصة السهر ليلاً طلباً للرزق وتحملاً الجو البارد. ولكني أرى أنها أمور ليست عظيمة القيمة. فإننا ننام في كل الأحوال. ولكننا في رؤيتنا للحياة عادةً ما نضع الثدييات والطيور في أعلى مرتبة في عالم الحيوان. فما الذي نمتلكه نحن ولا تمتلكه الزواحف؟ يجدر به أن يكون شيئاً قيّماً.

إن أقوى إجابة عن هذا السؤال هي «القدرة على التحمل»؛ إذ يمكن أن تجاري العظايا الثدييات بسهولة في سرعتها أو قوة عضلاتها، بل يمكن أن تتجاوزها في سرعتها في المسافات القصيرة، ولكنها سرعان ما تصاب بالإنهاك. فإذا أمسكت بعظاءة فستفلت من يدك وتختفي عن الأنظار في لمح البصر لتتجأ إلى أقرب جحر يمكنها اختباء فيه. ولكنها حينئذٍ تستريح، ربما لساعات، حتى تتعافي من الإجهاد ببطء شديد مع شعورها بالألم. ومشكلة تلك الزواحف أنها غير مهيأة جسدياً لأن تبقى مرتاحاً، ولكنها مهيأة للسرعة.^٢ وهي مثل البشر من عدائى المسافات القصيرة في اعتمادها على التنفس اللاهوائي؛ بمعنى أنها لا تأبه بالتنفس أثناءبذل الجهد، ولكنها لا تستطيع كتم أنفاسها فترة طويلة، وأجسامها تولد الطاقة (في شكل ثلاثي فوسفات الأدينوسين) بسرعة هائلة ولكنها تستخدم في ذلك عمليات تسبب إعاقة لبذل الجهد العضلي بعد فترة بسبب تراكم حمض اللاكتيك؛ مما يسبب إصابتها بالتكلقات العضلية.

ويكمن الفارق بين الزواحف والثدييات في هذا الصدد في التركيبة العضلية. فهناك أنماط مختلفة من العضلات، كمارأينا في الفصل السادس. وهي تتفاوت من حيث

التوازن بين ثلاثة مكونات رئيسية: الألياف العضلية، والشعيرات الدموية، والميتوكوندриا. وباختصار نقول: إن الألياف العضلية تتنفس لتولد القوة، والشعيرات الدموية تمد بالأكسجين وتزيل النفايات، بينما تقوم الميتوكوندريا بحرق الطعام بالأكسجين لإنتاج الطاقة الضرورية للانقباض. والمشكلة أن كلاً من هذه العناصر الثلاثة تشغله حجماً مهماً ومؤثراً، وهكذا إذا زادت كمية الألياف العضلية قلَّ الحجم المتاح للشعيرات الدموية أو للميتوكوندريا. والعضلة المكَّدة بالألياف تتمتع بقدرة هائلة، ولكنها سرعان ما تفتقد الطاقة اللازمة للانقباض. إنه اختيار ذو عواقب واسعة النطاق؛ فإذا قدرة عالية مع درجة تحمل ضعيفة، وإنما قدرة منخفضة مع درجة تحمل عالية. وللتقارُن بين عدَّاء المسافات القصيرة ذي عضلات ضخمة، وبين عدَّاء المسافات الطويلة أو الماراثون، ذي عضلات ضامرة، وستكتشف الفارق.

إن لدينا جميعاً خليطاً من الأنماط العضلية، ويتفاوت هذا الخليط باختلاف الظروف والأحوال، وما إذا كانا، على سبيل المثال، نعيش بمستوى سطح البحر أو في أعلى الجبال. كما يمكن أن يتحقق أسلوب المعيشة فارقاً كبيراً. فإذا تمرنت لتكون عدَّاء لمسافات القصيرة فسوف تتكون في جسمك عضلات ضخمة سريعة الانقباض فيها الكثير من القوة والقليل من درجة التحمل. وإذا تمرنت لتكون عدَّاء لمسافات الطويلة فسيحدث العكس. ولأن هذه الفروق تتفاوت بشكل طبيعي بين الأفراد والسلالات البشرية، فإنها تكون عرضة للانتقاء الطبيعي على مدى أجيال، إذا حتمَّت الظروف ذلك. ولهذا السبب نجد بين سكان نيبال وشرق أفريقيا وجبال الأنديز صفات وراثية كثيرة مشتركة، وهي صفات جعلتهم يعتادون ويتأقلمون مع الحياة في المناطق المرتفعة. بينما تكون أوزان سكان المناطق المنخفضة أثقل وعضلاتهم أضخم.

وفي بحث كلاسيكي أجراه عام ١٩٧٩ كلُّ من ألبرت بنيت وجون روين اللذين كانا حينئذ بجامعة كاليفورنيا، بمدينة إرفين، يقول الباحثان إن تلك الفروق تكمن في أساس فكرة الدم الحار. لا يتعلق الأمر بدرجات الحرارة، بل يتعلق الفرق بين الكائنات ذوات الدم الحار وذوات الدم البارد بقابلية التحمل أساساً. وتعرف فكرتهما بفرضية «القدرة الهوائية»، وحتى إذا لم تكن تلك الفرضية صحيحة تماماً فإنها غيرَت الطريقة التي كان يفكرون بها المهتمون بهذا المجال في الحياة.

تنقسم فرضية القدرة الهوائية إلى افتراضين اثنين. أولهما أن الانتقاء الطبيعي غير معنىًّا بدرجة الحرارة ولكن بزيادة النشاط الذي يكون مفيداً بشكل مباشر في كثير من الأحوال. وكما قال بنيت وروين أنفسهما:

إن المزايا الانتقائية لزيادة النشاط ليست شيئاً خفيّاً، بل هي أساسية للبقاء والتكاثر. والحيوان الذي يتمتّع بقدرة أكبر على التحمل تكون لديه ميزة يمكن إدراكتها بسهولة من الناحية الانتقائية؛ إذ يمكنه أن يتحمل درجات أكبر من التعقب والسعى، أو الطيران والانطلاق لجمع الطعام أو تجنب الوقوع فريسة للأعداء. كما يكون أفضل في الدفاع عن مناطق التفود أو غزو مناطق أخرى. ويكون أكثر نجاحاً في مغازلة الإناث والتزاوج.

كل هذا يبدو أمراً غير قابل للنقاش. ثم قدّم عالم بولندي في علم الحيوان يدعى باول كوتينجا تناقيحاً لهذه الفكرة يثير الاهتمام؛ إذ يضع التركيز في الرعاية الأبوية المركزية، المصحوبة بإطعام الصغار لشهر أو سنوات؛ مما يفصل الثدييات والطيور عن الحيوانات ذوات الدم البارد. يتطلب هذا التخصيص قدرة قوية جدّاً على التحمل ويمكن أن يكون له أثر كبير فيبقاء الحيوان حيّاً في أشد أوقات حياته ضعفاً. وبغضّ النظر عن الأسباب المحددة، فإن الجزء الثاني من فرضية القدرة الهوائية هو الأكثر إثارة للتفكير والاهتمام. ونعني بهذا الرابط بين قدرة التحمل والراحة؛ إذ يقول بنيت وروбин إنه يوجد ارتباط ضروري بين سرعة الأيض القصوى وسرعته عند الراحة. دعني أشرح لك هذا. تُعرف سرعة الأيض القصوى بأنها كمية الأكسجين المستهلكة عند أقصى سرعة لذا، تلك السرعة التي لا تستطيع أن نزيد عنها. وهي تعتمد على أشياء كثيرة، منها اللياقية البدنية، والجينات الوراثية بطبيعة الحال. ومن ثم، تعتمد سرعة الأيض القصوى على معدل استهلاك الأكسجين من قبل تلك البني التي تُعتبر آخر من يستخدم الأكسجين: الميتوكوندريا التي في العضلات. فكلما أسرعت في استهلاك الأكسجين، كانت سرعة الأيض القصوى أكبر. ولكن حتى التفكير المتعجل يجعل من الواضح أنه تُوجَد عوامل كثيرة لا بد من اشتراكها، وكلها عوامل متراقبة؛ إذ تعتمد سرعة الأيض القصوى على عدد الميتوكوندريا، وعدد الشعيرات الدموية التي تغذيها، وضغط الدم، وحجم القلب وبنيته، وعدد خلايا الدم الحمراء والتركيبة الجزيئية المحددة للصبغ الناقل للأكسجين (وهو الهيموجلوبين)، وحجم الرئتين وبنيتها، وقطر القصبة الهوائية، وقوة عضلة الحجاب الحاجز. وهكذا. فإذا اختلَّ أو نقصَ أيُّ من هذه العوامل أو المظاهر، فستنخفض سرعة الأيض بالطبعية.

وهكذا، يتساوى الانتقاء المؤيد لدرجة التحمل مع الانتقاء المؤيد لارتفاع سرعة الأيض القصوى؛ وهذا ينتهي بنا إلى انتقاء مجموعة كاملة من الخصائص التنفسية.^٤

وحسبما قال بنيت وروبن فإن سرعة الأيض القصوى المرتفعة ترفع إلى حدٍ ما سرعة الأيض عند الراحة. وبتعبير آخر: فإن الكائن الثديي شديد النشاط الذى يتمتع بقدْرٍ كبير من درجة التحمل تكون لديه سرعة أيض مرتفعة بغير داعٍ؛ إذ يستمر في استنشاق الكثير من الأكسجين حتى وهو راقد قد لا يفعل شيئاً على الإطلاق. وقد بين العمالان تلك الحالة بشكل تجريبى، وقالا: أيّاً كان السبب، فإن سرعة الأيض القصوى لدى جميع الحيوانات، سواء أكانت من الثدييات أم الطيور أو الزواحف، تميل لأن تكون أكبر بحوالى عشرة أضعاف سرعة الأيض عند الراحة. وهكذا فإن الانتقاء المؤيد لارتفاع سرعة الأيض القصوى يرفع معه سرعة الأيض عند الراحة أيضاً. فإذا ارتفعت سرعة الأيض القصوى إلى عشرة أضعاف، وهو الفارق المسجل بين الثدييات والعظايا، فإن سرعة الأيض عند الراحة ترتفع كذلك إلى عشرة أضعاف. وعند ذلك المستوى يولّد الحيوان حرارة داخلية كبيرة، وهو ما يجعله حيواناً «ذا دم حار».

هذه الفكرة تُثير الارتياح في النفس، وتبدو منطقية، ولكن إذا فحصناها عن قرب فسنجد من الصعب كثيراً أن ندرك السبب في ضرورة وجود ارتباط بين الأمرين. فسرعة الأيض القصوى تُعني أساساً بتوصيل الأكسجين إلى العضلات، ولكن في حالة الراحة لا تسهم العضلات في استهلاك الأكسجين إلا بالقليل. وعلى العكس من هذا، يلعب المخ والأعضاء الحشوية – مثل الكبد والبنكرياس والكليتين والأمعاء ... إلخ – الدور الأكثر أهمية. وليس واضحاً تماماً السبب في احتياج الكبد لاستهلاك الأكسجين بكميات كبيرة مجرد أن العضلات تحتاج لذلك. ومن الممكن على الأقل تخيل حيوان تكون لديه قدرة هوائية عالية جداً وسرعة أيض عند الراحة منخفضة جداً، وسيكون هذا عظاءة زائدة القوة، تجمع بين أفضل ما في الأمرين. وقد يكون هذا هو بالضبط ما كانت عليه الديناصورات القديمة. إنه لشيء مثير للإحراج في الواقع الأمر أننا ما زلنا نجهل السبب في أن سرعتي الأيض القصوى وعند الراحة تميلان للارتباط معًا في الحيوانات المعاصرة من الثدييات والزواحف والطيور، أو ما إذا كان هذا الارتباط يمكن كسره في بعض الحيوانات. من المؤكد أن الثدييات شديدة النشاط جداً، مثل الظبي ذي القرن الشوكى، تكون لديها قدرات هوائية عالية جداً، أعلى من سرعات الأيض لديها عند الراحة بحوالى خمسة وستين ضعفاً؛ مما يُوحى بإمكان فصل الارتباط بين الاثنين. ونفس الشيء ينطبق على قليل من الزواحف؛ فالتمساح الأمريكي (القاطور) على سبيل المثال، لديه قدرة هوائية تفوق سرعة الأيض لديه عند الراحة بما لا يقل عنأربعين مرة.

ومع كل ما سبق، فلا يزال ثمة أسباب وجيهة تجعلنا نعتقد أن بنية وروبن على حق. وربما أقواها يتعلّق بمصدر الحرارة في معظم الحيوانات ذوات الدم الحار؛ فهناك طرق كثيرة لتوليد الحرارة مباشرةً، ولكن أغلب الحيوانات ذوات الدم الحار لا تأبه بها؛ إذ يُعدُّ إنتاجها للحرارة نتيجة غير مباشرة للأيض. والثدييات صغيرة الحجم التي تفقد حرارتها سريعاً، مثل الجرذان، هي وحدها التي تُولِّد الحرارة مباشرةً. فالجرذان (وصغار الكثير من أنواع الثدييات الأخرى) تستخدم نوعاً من الأنسجة المتخصصة يُعرف بالدهن البني، وهو يكتظ باليتوكوندرية «الحرارة». والحيلة التي تستخدمها بسيطة، ففي الأحوال العادبة تُولِّد الميتوكوندريا تياراً كهربائياً يتكون من البروتونات عَبر أغشيتها، وهذا يُستخدم لتوليد ثلاثي فوسفات الأدينوسين، الذي يُعدُّ عملية الطاقة بالنسبة للخلية (انظر الفصل الأول). وتتطلب هذه الآلية بكمالها أغشية ميتوكوندرية سليمة لتعمل كمادة عازلة. وأي تسرب في هذه الأغشية يُسبِّب قصراً في الدوائر الكهربائية لتيار البروتونات؛ مما يؤدِّي إلى تبديد طاقته في هيئة حرارة. وهذا هو بالضبط ما يحدث في الدهن البني؛ إذ تُوجَد ثغور بروتينية بشكل مقصود في أغشية الميتوكوندرية؛ مما يجعلها قابلة للتسريب. لذلك تُولِّد هذه الميتوكوندريا الحرارة بدلاً من ثلاثي فوسفات الأدينوسين.

إذن، إذا كانت الحرارة هي الهدف الأوّلي، فإن الحل هو الميتوكوندريا القابلة للتسريب. فإذا جُعلت الميتوكوندريا كلها قابلة للتسريب بمعنى الكلمة، كما في الدهن البني، فإن كل الطاقة في الطعام ستتحول إلى حرارة بشكل مباشر. وهي عملية بسيطة وسريعة، ولا تتطلب فراغاً كبيراً؛ إذ يمكن أن تُولِّد كمية قليلة من النسيج حرارة بكفاءة. ولكن ليس هذا هو ما يحدث في الأحوال العادبة؛ فهناك فرق ضئيل في درجة التسريب الميتوكوندريلي بين العظام والثدييات والطيور. وخلافاً لهذا، يمكن الفارق بين الكائنات ذوات الدم البارد وذوات الدم الحار في أغلبه في أحجام الأعضاء الداخلية وعدد الميتوكوندريا. فمثلاً يكون كبد الجرذ أكبر كثيراً من كبد عظاءة مساوية له في حجم الجسم. ويكون مكَّساً بقدر أكبر بكثير من الميتوكوندريا. وبتعبير آخر نقول: إن الأعضاء الحشوية للكائنات ذوات الدم الحار تُشَحَّن شحناً سريعاً بكفاءة عالية. وهي تستهلك كميات هائلة من الأكسجين، ليس لتوليد الحرارة مباشرةً، ولكن لحفظ الأداء الوظيفي. وتُعدُّ الحرارة حينئذ مجرد ناتج ثانوي يتم التقاطه فيما بعد ليُستخدم بشكل جيد، مع نشوء عوامل جيدة للعزل الخارجي، مثل فراء الثدييات وريش الطيور.

ويمنح ظهور خاصية الدم الحار في مسيرة تطور الحيواناتاليوم دعماً للفكرة القائلة إن خاصية الدم الحار تتعلق بالشحن السريع للأعضاء الحشوية أكثر مما تتعلق بإنتاج الحرارة. ولقد بدأ العالم الفسيولوجي التطوري فرانك سيباخر بجامعة سيدني دراسة الجينات التي تدعم ظهور خاصية الدم الحار في أجنة الطيور، ووجد أن جيناً مما تسمى «الجينات المسيطرة»، (الذي يشفّر بروتيناً يُسمى PGC1 α) يقوم بتنشيط الأعضاء الحشوية بحفظ ما فيها من الميتوكوندريا على التكاثر. كما يمكن التحكم أيضاً في حجم العضو الحشوي بسهولة، وذلك بضبط التوازن بين تضاعف الخلية وموتها، عن طريق «جينات مسيطرة» مشابهة. وخلاصة القول إن الشحن السريع للأعضاء ليس صعباً من الناحية الجينية، بل يمكن التحكم به بقليل فقط من الجينات. إلا أنه مكلّف للغاية من منظور الطاقة، ولن يتم تعزيزه انتقائياً إلا إذا كان العائد يستحق ذلك.

وهكذا يبدو السيناريو العريض لفرضية القدرة الهوائية مُقْنِعاً. لا شك أن الحيوانات ذات الدم الحار لديها قدرة على التحمل أكثر بكثير من ذوات الدم البارد، ولديها نمطياً قدرة هوائية تزيد على عشرة أضعاف. وفي كلٍ من الثدييات والطيور، يقترن بهذه القدرة الهوائية المرتفعة جداً أيضاً مشحون شحناً سريعاً عند الراحة – أي وجود أعضاء حشوية كبيرة بها قوة ميتوكوندриية عالية – مع قليل من التوليد المتعتمد للحرارة. وبالنسبة لي على الأقل، يبدو منطقياً أن القدرة الهوائية العالية يجب أن تقترن بمنظومة داعمة ومنشطة. وهذه الفكرة يمكن اختبارها بسهولة؛ فإذا تم إحداث قدرة هوائية عالية، فيجب أن تتبعها سرعة الأرض عند الراحة بشكل متناسب. وعلى أقل تقدير، يجب أن يتواافق الاثنين، حتى إذا كان من الصعب إثبات العلاقات السببية.

لكن هناك مشكلة. فمنذ أن قدّمت الفرضية منذ ثلاثين عاماً، جرّت محاولات كثيرة لإثباتها تجريبياً، لكنها لم تُتحقّق سوى نجاح متفاوت. فهناك حقاً ميل عام لارتباط بين سرعتي الأرض: القصوى وعند الراحة، ولا يزيد الأمر عن هذا إلا قليلاً، وهناك استثناءات كثيرة لهذه القاعدة. لعل الاثنين كانتا مرتبطين في مسيرة التطور، حتى إذا لم يكن هذا الارتباط ضروريًّا من الناحية الفسيولوجية. ومن الصعب علينا الجزم بالأمر بصفة مؤكدة في ظل عدم وجود فكرة أكثر تحديداً لدينا عن التاريخ التطوري. ولكن من قبيل المصادفة يمكن في هذه المرة أن يحمل سجل الحفريات الحل لهذه المشكلة. ربما لا نصل إلى الحلقة المفقودة عن طريق الفسيولوجيا، وإنما عن طريق التعاقبات التاريخية.

تُعني فكرة الدم الحار أساساً بالأعضاء الحشوية مثل الكبد. ولكن الأنسجة الرخوة لا تتخلص محفوظة فترات طويلة، وحتى الفراء نادراً ما يُحفظ في الصخور. لذا لوقت طويل كان من الصعب أن نتوصل إلى أصول الدم الحار من سجل الحفريات، وحتى في وقتنا الحالي ليس من الغريب أن تختدم خلافات شديدة بين العلماء. ولكن إعادة تقييم سجل الحفريات في ضوء القدرة الهوائية مهمة أكثر سهولة؛ إذ يمكن جمع معلومات عديدة من البنية الهيكلية.

يمكن تتبع أسلاف كلٍّ من الثدييات والطيور حتى العصر الترياسي الذي بدأ منذ ٢٥٠ مليون سنة. جاء هذا العصر في أعقاب أكبر حالة انقراض شاملة في تاريخ كوكبنا الأرضي بكماله؛ الانقراض البرمي، الذي يُعتقد أنه استأصل حوالي ٩٥ بالمائة من جميع أنواع الحيوانات. وكان من بين الناجين القليلين من هذه المذبحة مجموعة مجموعتان من الزواحف: الثيرابسيدات (زواحف شبيهة بالثدييات) وهي أسلاف الثدييات الحديثة، والأركوصورات (لفظة يونانية معناها «العظايا الحاكمة»)، وهي أسلاف الطيور والتمساحيات، فضلاً عن الديناصورات والزواحف المجنحة.

في ضوء ما حدث بعد ذلك من هيمنة للديناصورات، فعلَّك تعجب إن عرفت أن الثيرابسيدات كانت أنجح مجموعة حيوانية في بدايات العصر الترياسي. واستجابة لهجمات الديناصورات، انكمشت أجسام ذرياتها — التي هي الثدييات — في الحجم، ونزلت في الجحور. ولكن قبل هذا في العصر الترياسي، كان أكثر الأنواع سيادة هو الليستروصورس (العظاءة المجرفة)؛ وهو حيوان عشبي في حجم الخنزير، له نابان قصيران، ووجه عريض وصدر برميلي الشكل. ليس من المعروف الطريقة التي كانت تعيش بها الليستروصورس. وقد كان العلماء على مدى سنوات كثيرة يتخيّلُونها في صورة وحش برمائة، أو كأفراس نهر صغيرة زاحفة، ولكن من المعتقد اليوم أنها عاشت في أجواء أكثر جدًا، وافتُرض أنها كانت تحفر جحوراً، وهي سمة شائعة بين الثيرابسيدات. وسوف نعود إلى أهمية ذلك فيما بعد، ولكن ما هو واضح أن الليستروصورات سادت في بدايات العصر الترياسي بطريقة لم تحدث مجددًا.^٦ ويُقال إنه، خلال فترة ما، كانت تلك الليستروصورات تُشكّل ٩٥ بالمائة من جميع الفقاريات الأرضية. وهذا يُذكرنا بقول شاعر أمريكي، من المهتمين بالذهب الطبيعي، ويدعى كريستوفر كوكينوس: «تخيل إذا استيقظت غداً، وتوجّلت بين القارات فوجدت كلَّ الحيوانات سناجب.»

كانت الليستروصورات أنفسها من العواشب، ولعلها كانت العواشب الوحيدة في ذلك الزمن البعيد. ولم تكن تخشى أي مفترسات وقتئذ. ولكن بعد ذلك خلال العصر

الترميمي ظهرت مجموعة من الثيرابسيات ذات صلة تُسمى السينودونات (لفظ يوناني معناه «أسنان الكلب») وبدأت تحل محل الليستوصورات، التي انقرضت في نهاية الأمر في أواخر العصر الترميمي، منذ ٢٠٠ مليون سنة. وشملت السينودونات حيوانات من العواشب ومن اللواحم أيضاً وكانت هي الأسلاف المباشرة للثدييات، ونشأت قبيل نهاية العصر الترميمي. أظهرت السينودونات الكثير من علامات القدرة الهوائية العالية، بما فيها الحنك العمظيم (الذي يفصل المسالك الهوائية عن الفم؛ ليتيح التنفس والمضغ في آن واحد) وصدر عريض به قفص صدري مُعَدّل، ويرجح أنه كان له حجاب حاجز عضلي. وليس هذا فحسب، بل كانت مسالكها الأنفية واسعة وتضم شبكة دقيقة من العظم تُعرف بالمحارات التنفسية. بل ربما كانت السينودونات مغطاة بالفراء، ولكنها كانت تتضع البيض كالزواحف.

وهكذا، يبدو من المحتمل أن السينودونات كانت لديها قدرة هوائية عالية، وهذه لا بد أنها أعطتها درجة تحمل كبيرة. ولكن ماذا عن سرعة الأيض لديها عند الراحة؟ وهل كانت من ذوات الدم الحار كذلك؟ يقول جون روبن إن المحارات التنفسية هي من الدلائل القليلة القوية على وجود سرعة أيض عالية عند الراحة. فهي تحد من فقدان الماء، والذي يمكن أن يكون أمراً جوهرياً أثناء التنفس الكثيف المستمر، بعكس ما يحدث أثناء الدفعات القصيرة من النشاط. ونظرًا لأن الزواحف لديها سرعة أيض منخفضة عند الراحة فإنها تتنفس بخفة شديدة حينما تكون مرتبطة ولا تحتاج إلى الحد من فقدان الماء إلا قليلاً. ونتيجة لهذا لم نعرف أن الزواحف لديها محارات تنفسية بل على العكس من هذا، فإن جميع الكائنات ذوات الدم الحار – تقريباً – لديها محارات تنفسية، وإن كان ثمة استثناءات قليلة تتضمن الرئيسيات وبعض الطيور. من الواضح أن تلك التراكيب مفيدة، حتى إذا لم تكن ضرورية بصفة مطلقة، ويُعد وجودها في الحفريات دليلاً جيداً، مثل أي دليل مادي آخر، على منشأ صفة الدم الحار. فإذا قررنا هذا مع الوجود المحتمل للفراء (الذي تم تخمينه ولم يلاحظ بالتأكيد في الحفريات) فإنه يبدو وكأن السينودونات قد نشأت بها صفة الدم الحار في نقطة ما على خط التطور؛ وانتقلت من ثم إلى الثدييات.

لكن بالرغم من كل هذا، فسرعان ما وجدت السينودونات أنفسها في موقف ضعف، وانتهى الأمر بها إلى الانزواء في حياة ليلية مرتعدة إزاء الأركوصورات القاهرة في أواخر «فترة السيادة في العصر الترميمي». فإذا كانت السينودونات قد نشأت عنها صفة الدم

الحار بالفعل، فماذا عن الحيوانات القاهرة لها؟ وهي مجموعة سرعان ما نشأت منها أوائل الديناصورات؟ إن آخر من نجا من فترة العصر الأركوصوري، وهم التماسيخ والطيور، هما من ذوات الدم البارد والدم الحار على الترتيب. وعند نقطة ما في المسيرة المؤدية لظهور أوائل الطيور، نشأت صفة الدم الحار لدى الأركوصورات. ولكن أي تلك الكائنات، ولماذا؟ وهل شملت الديناصورات؟

هنا نجد الموقف أكثر تعقيداً، بل مثيراً للجدل بشدة في بعض الأوقات. فالطيور، مثل الديناصورات، تجترب آراء انفعالية، وتلك تتنكر بالكاد في هيئة علمية. فبعد أن اعتبرت الطيور فترة طويلة ذات علاقة ما بالديناصورات، وتحديداً بمجموعة تُسمى الثيروبودات – التي تشمل الديناصور الشهير تيرانوصورس ركس (تي ركس اختصاراً) – أُعيد تعيين موضعها ضمن خط الثيروبودات عن طريق سلسلة من الدراسات التشريحية المنهجية، المعتمدة على الشكل والمقارنة، التي تعود إلى منتصف الثمانينيات من القرن العشرين. وكان الاستنتاج الكبير هو أن الطيور ليست على علاقة قرابة بالديناصورات وحسب، بل إنها من الديناصورات بالفعل، وتحديداً: الثيروبودات الطيرية. وفي حين أن معظم الخبراء مقتنع بهذه الفكرة، فإن هناك أقلية عالية الصوت يتزعّمها عالم متخصص في علم الطيور القديمة وحفرياتها، ويُدعى آلان فيدوتشيا، بجامعة نورث كارولينا، يؤكّد أن الطيور تنحدر من مجموعة أكثر قدماً انفصلت قبل نشوء الثيروبودات. وبناء على هذه الفكرة، لا تكون الطيور من الديناصورات، وإنما تشَكّل رتبة فريدة في أصولها.

أثناء كتابتي لهذه السطور، تركز آخر دراسة ظهرت في هذا الطابور الطويل من الدراسات على البروتينات وليس الصفات الشكلية. ويُظهر هذا الاكتشاف المذهل الذي تمَّ في عام ٢٠٠٧، على يد فريق بكلية الطب بجامعة هارفرد الأمريكية تحت قيادة جون أبرا، أنَّ عظمةً من ديناصور تي ركس تمَّ حفظها بصورة جيّدة – وبدرجة استثنائية؛ إذ يرجع عمرها إلى ٦٨ مليون عام مضت – ما زالت تحتوي على فتات من الكولاجين وهو المكوّن العضوي الرئيسي للعظم. وقد نجح هذا الفريق في تحديد تسلسل الأحماض الأمينية في قليل من هذا الفتات، ثم ضمّها معاً للحصول على تسلسل لجزء من بروتين التي ركس. وفي عام ٢٠٠٨ قارنوا هذا بالتسلسلات المناظرة في الثدييات والطيور والتماسيح الأمريكية. كانت تسلسلات التي ركس التي حصلوا عليها قصيرة، ومن ثم يمكن أن تكون خادعة، ولكن في مقابل هذا، اكتشفوا أنَّ أقرب قريب حي للتي ركس هي الدجاجة العاديّة (التي نعرفها ونأكلها) وتتبعها مباشرةً النعامة. ولا يثير

العجب أن نجد أن تلك التقارير كانت محل ترحيب عدد كبير من المصفقين والمؤيدین في الصحف؛ إذ سعدوا أخيراً بمعرفة ما يمكن أن يكون طعم شريحة من التي رکس. لكن المهم في الأمر أن دراسة الكولاجين تُعزّز بدرجة كبيرة الصورة التشريحية للطيور باعتبارها ديناصورات ثيروبودية.

المصدر الرئيسي الآخر للخلاف المثير في عالم الطيور هو الريش. فلطالما أكدَ فيديوتتشيا وأخرون أن الريش نشأ خصوصاً لأجل الطيران في الطيور، وأنه يُضفي عليها نوعاً إعجازياً من الكمال. ولكن إذا كان الريش قد نشأ للطيران، فلا بد بالتأكيد لأنَّه يوجد بين الثيروبودات غير الطيرية مثل التي رکس. يقول فيديوتتشيا إنَّ الأمر كذلك بالفعل. ولكن اكتُشفَت في الصين على مدى العقد الأخير سلسلة من الديناصورات المريشة. صحيح أن بعضها مشكوك فيه، إلا أن غالبية الخبراء مقتنعون بأنَّ الثيروبودات غير القادرة على الطيران كان لديها ريش بالفعل، بما فيها سلف صغير التي رکس نفسه.

وتقول الفكرة البديلة إن «الريش» ليس في حقيقته كما يبدو عليه، بل هو في الواقع ألياف كولاجينية مهروسة، لكن هذا زعم غير مدحوم بالدليل. فإذا كانت مجرد ألياف كولاجينية، فمن الصعب تفسير السبب في وجودها بالضرورة، غالباً ضمن مجموعة واحدة من الثيروبودات تُعرف بالرابتورات وهي مجموعة تشمل الفيلوسيرابتور (الرابتور السريع) الذي اشتهر بظهوره في فيلم ستيفن سيلبرج «الحدائق الجوراسية». أيضاً من الصعب تفسير السبب وراء أنها تبدو تماماً مثل ريش الطيور مكتملة الريش ومحفوظة في نفس الطبقات الأرضية. ولا يقتصر الحال على أن يبدو الريش حقيقياً، بل إن بعض الرابتورات، لا سيما الميكرورابتور (الرابتور الصغير) أمكنها على ما يبدو أن تنسَل بخفة بين الأشجار يساعدها الريش الذي كان ينبع بكثافة من جميع أطرافها الأربع (أو من الأفضل أن نقول: من جناحيها وساقيها). من الصعب علىَّ أن أصدق أنَّ هذا الريش الذي تمَّ حفظه جيداً ليس ريشاً، وحتى فيديوتتشيا سيسِّلم بهذا. وتُعدُّ النقطة المتعلقة بما إذا كان طيران الميكرورابتور المنزَّل بين الأشجار له علاقة بأصول الطيران في الطيور الحقيقية، أو بأقرب أقربائها المسمى الطائر البدائي أو الأركيوبتركس، موضع بحث ونقاش.

واستنتاج أنَّ الريش قد نشأ عند الديناصورات الثيروبودية، قبل نشوء خاصية الطيران في عالم الحيوان، تدعمه دراسات عن التطور الجنيني للريش عند الطيور، ولا سيما علاقتها بجلد التماسيح في مراحله الجنينية. تذكر أنَّ التماسيح أركوكصورات حية؛

أي إنها العظايا الحاكمة التي ظهرت لأول مرة في العصر الترياسي. وقد بدأت التماسيح والديناصورات (متضمنة الطيور) في التشعب والتبعاد في منتصف العصر الترياسي، منذ حوالي ٢٣٠ مليون سنة. ومع هذا التفرق القديم، فما زالت التماسيح تحمل في داخلها بالفعل «بذور» الريش وأصوله. وحتى اليوم ما زالت تحتفظ بالطبقات الجلدية الجنينية نفسها التي تتطور إلى ريش في الطيور، فضلاً عن نفس البروتينات عينها المسماة كيراتينات الريش، التي تكون خفيفة ومرنة وقوية بطبعتها.

تُوجَد كيراتينات الريش في أغبلها في بعض طبقات جلد التمساح الجنينية التي تنسلخ بعد فقس البيض لتكون حراشيفه هي الظاهرة. (وتُوجَد بقايا منها في حراشيف التمساح البالغ كذلك). ولدى الطيور حراشيف مشابهة على سيقانها وأقدامها، وهي تنكشف أيضاً حينما تنسلخ الطبقات الجلدية الخارجية بعد فقس البيض وخروج الأفراخ. ويقول لورنزو أليباردي، إخصائي التطور الارتقائي للريش بجامعة بولونيا بإيطاليا، إن الريش ينمو من ذات الطبقات الجنينية التي تنسلخ حينما ت تكون الحراشيف. وتستطيع الحراشيف الجنينية لتكون شعيرات أنبوبية رفيعة. وهذه تراكيب مجوفة شبيهة بالشعر، ولها جدر حية، تتكون من الطبقات الجلدية الجنينية، التي يمكن أن تنبت فروعًا من أي موضع على طولها.^٧ وأبسط أنواع الريش – الريش الذهبي – هو بالأساس خصلات من الشعيرات الريشية المتصلة معًا عند نفس النقطة، بينما يتكون ريش الطيران من شعيرات متوازية ترتبط طوليًّا بساقي مرکزية تُسمى «السهم». وتعمل الجدر الحية للشعيرات على تكوين مادة الكيراتين قبل أن تتحلل مُخلفة وراءها تركيبًا متفرغاً مكوناً من الكيراتين؛ الذي نسميه «الريشة». ولا يقتصر الحال بالريش النامي على تكوُنه من طبقات جلدية وبروتينات موجودة بالفعل. بل حتى الجينات المطلوبة لتكوين الريش تكون جاهزة أصلًا، بل إنها تُوجَد في التماسيح، ومن ثم يفترض أنها كانت موجودة في أسلافها الأركوصورية المشتركة لكلٍّ من الطيور والتماسيح. ولم يتغير فيها سوى البرامج التطورية فقط. وتلك العلاقة الجنينية الوثيقة بين الريش والحراسيف تدل عليها الطفرة الفريدة (للغایة) التي تجعل حراشيف الطيور تتحول إلى ريش ينبع من سيقانها. ولكن لم يحدث أن رأى أحد تمساحًا ذا ريش حتى الآن.

من هذا المنظور، ينبع الريش الأولى حتى من جلد أقدم الأركوصورات، إذن فليس بالغريب أن بدأ يتكون لدى الثيروبودات زوائد من بشرة جلودها، ويرجح أنها كانت تتراوح بين ما يشبه الشعر السميكي الصلب (مثل الذي لدى التيروسورات) وحتى

التركيب المترعة البسيطة، التي تضاهي الريش الذهبي. ولكن في أي شيء كانت تُستخدم، إن لم يكن في الطيران؟ هناك الكثير من الإجابات المعقولة ولكنها ليست دامجة بالكامل، بما فيها لفت الأنظار بهدف التزاوج، أو أداء وظائف حسية، أو الحماية (إذ تعمل الشعيرات الريشية على تضخيم حجم الحيوان، بالإضافة إلى وخز الأعداء كما في القنفذ والشيم)، وكذلك كعامل عزل بطبيعة الحال. وإن ما كان يحدث من مشاغبات بين الثيروبودات المريشة يزيد احتمال أنها كانت من ذوات الدم الحار، مثل أقربائها الأحياء: الطيور.

ثمة دليل آخر يتطرق مع الفكرة التي تعتبر الثيروبودات مجموعة نشطة من الديناصورات، بما يفترض على الأقل أنها كانت تمتلك قدرة على التحمل. وهذا المظهر يتعلق بالقلب؛ فالتمساحيات والطيور تختلف عن العظايا ومعظم الزواحف الأخرى في أنها جميعاً لديها قلوب قوية ذات أربع غرف. ومن ثم، يفترض أن القلب رباعي الغرف كان صفة توارثتها جميع الأركوصورات، ومن ثم الديناصورات. ويُعتبر القلب رباعي الغرف مهماً لأنّه يقسم الجهاز الدوري إلى قسمين؛ فنصفه يغذى الرئتين، والآخر لباقي الجسم. وهذا يعني ميزتين مهمتين؛ أولاهما أن الدم يمكن أن يضخ بضغط عالٍ إلى العضلات والمخ ... إلخ، دون إتلاف لأنسجة الرئتين الرقيقة (الذي إن حدث فسيؤدي إلى استسقاء رئوي واحتمال الوفاة). ومن الواضح أن الضغط الدموي الأكثر ارتفاعاً يمكن أن يعزز المزيد من النشاط فضلاً عن الوصول إلى حجم أضخم بكثير. ولم يكن للديناصورات الضخمة أن تُضخ دماؤها حتى تصل إلى مخا الخ دون وجود قلب رباعي الغرف. وثانيهما: إن تقسيم الجهاز الدوري إلى قسمين يعني عدم اختلاط الدم المؤكسج وغير المؤكسج؛ إذ يعود الدم المؤكسج من الرئتين ويتم ضخه فوراً بضغط عالٍ إلى بقية الجسم، موصلاً أقصى قدر من الأكسجين إلى الأماكن التي تحتاجه. صحيح أن وجود قلب رباعي الغرف لا يفترض بالضرورة أن يكون الحيوان من ذوات الدم الحار (فالتماسيخ من ذوات الدم البارد على أي حال)، إلا أنه يكاد يُعد ضرباً من المستحيل أن يحصل الحيوان على قدرة هوائية عالية دون أن يكون لديه قلب بهذه الصفة.

ويبدو أيضاً أن الجهاز التنفسي للديناصورات الثيروبودية كان مشابهاً لذلك الخاص بالطيور ويُحتمل أنه كان يُعزز الحصول على درجات عالية من النشاط. تعمل رئتا الطائر بشكل مختلف عن رئتي الإنسان، وهما أكثر كفاءة حتى في المناطق المنخفضة، وفي

المناطق المرتفعة يكون الفارق مذهلاً. فالطير يمكنها أن تستخرج قدرًا من الأكسجين يزيد بمقدار ضعف أو ثلاثة أضعاف ما تستخرجه الثدييات من الهواء المخلل. ولهذا يستطيع الإوز المهاجر أن يطير لارتفاع آلاف الأقدام، فوق قمة إفرست، بينما تلهث الثدييات لكي تتنفس عند ارتفاعات أقل بكثير.

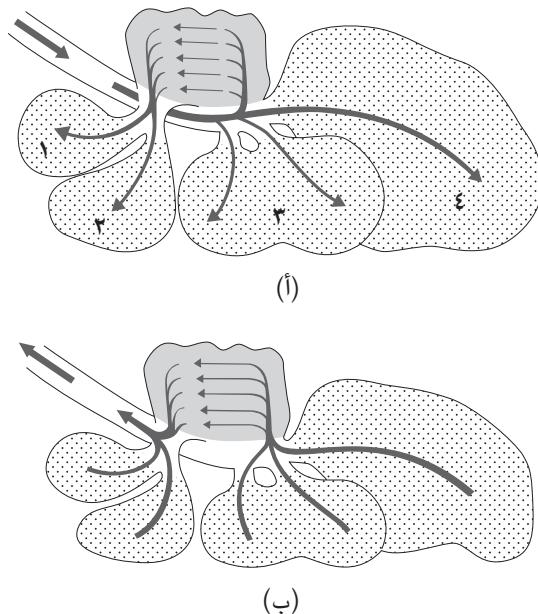
إنَّ رئتي الإنسان أشبه بشجرة جوفاء، يدخل فيها الهواء عن طريق الجذع الأجوف (القصبة الهوائية) ثم يتوجه إلى إحدى شعبتين (تسميان الشعبتين الهوائيتين) وكلُّ منها تنقسم بدورها إلى شُعْبٍ صغيرة (شعيبات هوائية) تستدق أكثر كلما تفرَّعَتْ، ولكنها لا تنتهي بنهايات حادة، وإنما ببالونات نصف منفوخة تُسمى الحويصلات الهوائية، التي تمتلئ جدرها الرقيقة بشعرات دموية دقيقة، والتي تحدث عندها عملية تبادل الغازات. في هذه الحويصلات يعطي هيموجلوبين خلايا الدم الحمراء ما فيه من غاز ثاني أكسيد الكربون ويلقط غاز الأكسجين قبل أن يُسْحب ليعود أدراجه إلى القلب. ويتم نفخ المجموعة البالونية بكمالها بالهواء ثم تفريغها — مثل المنفاخ — عن طريق التنفس، الذي تحت عليه عضلات في القفص الصدري والحجاب الحاجز. وتكون نقطة الضعف التي لا مفر منها في أن الشجرة التنفسية ككل تنتهي بفراغات مقلوبة؛ حيث يحدث امتصاص للهواء بالكاد، ويحدث هذا في نفس الحيز الذي تكون فيه الحاجة إلى الهواء النقي أشد ما يمكن. وحتى حينما يصل الهواء النقي، يكون قد امتص بالفعل بالهواء الراكد وهو في طريقه للخروج في صورة هواء زفير.

أما الطير، فلديها خلافاً لهذا رئتان زاحفية معدلة. الرئة الزاحفية القياسية لها تركيب بسيط، فهي مجرد كيس كبير، في واقع الأمر، ينقسم بأغشية نسيجية، تُسمى حواجز، تقسم التجويف المركزي إلى غرف. والرئة الزاحفية، مثلها في ذلك مثل الرئة الثديية، تعمل وظيفياً مثل المنفاخ، إما عن طريق توسيع القفص الصدري، أو في حالة التمساح، عن طريق حجاب حاجز يشبه المكبس في وظيفته، ملتصق بالكبد ويُسْحب للوراء بفعل عضلات مثبتة بعظم العانة. وهذا يجعل رئة التمساح شبيهة إلى حد ما بالمحقن؛ حيث يُعتبر الحجاب الحاجز مقابلًا للكباس الداخلي الحاجز للهواء، الذي يُسْحب للوراء لتمتئ الرئة بالهواء. ومع أنها طريقة قوية للتنفس، فإن لدى الطير طريقة أكثر تقدماً، إذ تحول نصف أجسامها إلى جهاز معقد ذي اتجاه واحد من الأكياس الهوائية. فبدلًا من أن يدخل الهواء إلى الرئتين مباشرةً فإنه يتدفق أولاً إلى جهاز الأكياس الهوائية، ثم يخرج في نهاية الأمر عن طريق الرئتين، محققاً تدفقاً

مستمراً للهواء من البداية للنهاية، وهذا يتفادى مشكلة الفراغ الراكد في الهويصلات الهوائية البشرية المسدودة عند نهايتها. وهكذا يتدفق الهواء عبر الحواجز (فيتم تنقيته في الطيور) أثناء كلٍّ من الشهيق والزفير، عن طريق حركة الضلوع السفلية وجهاز الأكياس الهوائية الخلفية، وأهم ما في الأمر أن الطيور ليس لديها حجاب حاجز. فضلاً عن هذا، فإن الهواء يتدفق في اتجاه واحد، بينما يتدفق الدم في الاتجاه العكسي؛ مما يحقق عملية تبادل للغازات بالتيار المضاد، الأمر الذي يعزز انتقال الغازات لأقصى حدًّا (انظر الشكل ١-٨).^٨

والسؤال الذي أثار خلافاً وشقاً على مدى عقود هو: ما نوع الرئات التي كانت لدى الثديوبودات؟ أهي رئات مكبسيّة مثل رئات التماسيح، أم أنها رئات بالتدفق المستمر كالتي في الطيور؟ جدير بالذكر أن جهاز الأكياس الهوائية في الطيور يغزو الأنسجة الرخوة في الصدر والبطن، بل إنه يدخل في مادة العظام، بما فيها الضلوع والعمود الفقري. ولطالما عرف الخبراء أن الثديوبودات لديها تجاويف في عظامها بنفس الأماكن التي لدى الطيور. وقد استخدم عالم الحفريات روبرت باكر هذا الاكتشاف مع آخرين؛ لكي يُعيد تقييم الديناصورات باعتبارها حيوانات من ذات الدم الحار في منتصف السبعينيات من القرن العشرين، وهي وجهة نظر ثورية ألهمت مايكل كرايتون بتأليف روايته «الحدائق الجوراسية» التي تحولت لاحقاً إلى فيلم بالاسم نفسه. إلا أن جون روبن وزملاءه أعادوا دراسة رئات الثديوبودات بشكل مختلف؛ باعتبارها أقرب إلى رئات التماسيح بما فيها من حجاب حاجز مكبسي، وهو أمرٌ ممكِّن الكشف عنه بشكل غير حاسم في حفرية أو اثنتين. لا ينكر روبن وجود الجيوب الهوائية في عظام الثديوبودات، ولكن الخلاف هو بشأن الغرض منها؛ إذ يقول إنها ليست موجودة بهدف التنفس وإنما لأسباب أخرى هي تخفيف الوزن أو تعزيز التوازن في حيوانات تسير على قدمين. وقد احتدم الجدل، دون حلٍّ حقيقي، مع عدم وجود معلومات جديدة مؤكدة، إلى أن نُشرَ بحثٌ مهمٌ في مجلة «نيتشر» في عام ٢٠٠٥ من جانب كلٍّ من باتريك أوكونر وليون كلايسننس، وكانا في تلك الآونة بجامعتي أوهايو وهارفرد على الترتيب.

وقد بدأ أوكونر وكلaisness بإجراء فحص دقيق لأجهزة الأكياس الهوائية لدى مئات عدّة من الطيور الحية (أو بالأحرى، على حد قولهما، فإنهما فحصاً عينات تم إنقاذهما أخذت من مراكز إعادة تأهيل الحيوانات البرية ومن المتحف). وقاما بحقن الأكياس الهوائية في تلك الطيور باللاتكس؛ ليتمكنَا من تبيّن الصفة التشريحية للرئتين



شكل ١-٨: تدفق الهواء خلال رئات الطيور أثناء (أ) الشهيق و(ب) الزفير. (١) الكيس الهوائي الترقوى. (٢) الكيس الهوائي الصدرى الججمى. (٣) الكيس الهوائي الصدرى الذيلى. (٤) الكيس الهوائي البطنى. ويتدفق الهواء باستمرار فى نفس الاتجاه خلال الرئتين، بينما يتدفق الدم في الاتجاه الآخر؛ مما يحدث عملية تبادل للغازات عالية الكفاءة بأسلوب التيار المضاد.

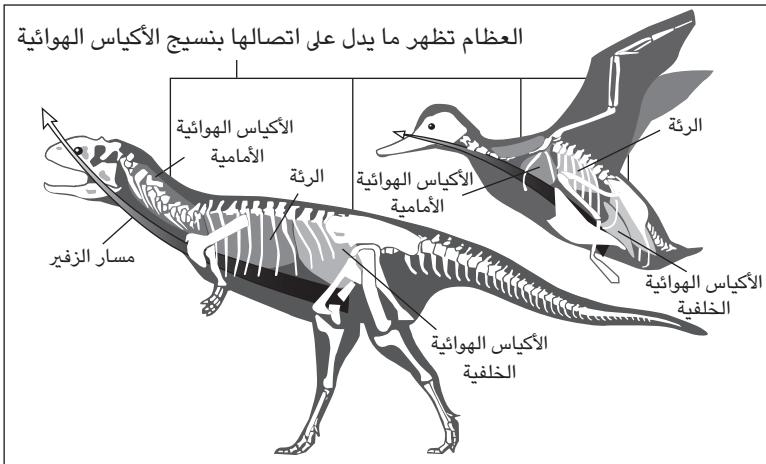
بشكل أفضل. وكان أول ما أدركاه أن هذا الجهاز أكثر تغلغلًا في جسم الطائر مما كانا يطنان في السابق؛ إذ لا يحتل أجزاء من الرقبة والصدر فحسب بل الجزء الكبير من التجويف البطنى أيضًا. ومن ثم يغزو أسفل العمود الفقري؛ وهو من التفاصيل المهمة لتأويل التركيبة التشريحية الهيكلية للثديوبودات. فهذا الكيس الهوائي الخلفي (الذيلى) هو القوة الدافعة الحقيقية من وراء الجهاز الرئوى للطيور بكماله؛ فأثناء التنفس يصير منضغطاً دافعاً الهواء إلى الرئتين من الخلف. وحينما يتمدد الكيس الهوائي الذيلى مجدداً يسحب الهواء من الأكياس الهوائية المرتبطة بها في الصدر والرقبة، وبلفظ آخر نقول

إنها مضخة ماصة. وهي تعمل بشكل ما مثل مزامير القرب؛ حيث يُسبب ضخ الهواء من القربة تدفقاً مستمراً للهواء خلال البو唧 الخارجي.

وقد تابع أوكونر وكلايسنس عملهما بتطبيق نتائجهما على البنية العظمية لحفيارات الثيروبودات، ومنها هيكل عظمي رائع لأحد الثيروبودات بعيدة الصلة بالطيور، ويُسمى ماجونجاثولس أتوبيس. وفي حين ركزت معظم الدراسات على التركيبة العظمية للفقرات العليا والضلع، بحث العمالان عن تجاويف في أسفل العمود الفقري بوصفها دليلاً على وجود أكياس هوائية بطنية في الثيروبودات، وقد وجداها بالفعل في نفس مكان وجودها في الطيور. ليس هذا فحسب، بل إن التركيب التشريحي للعمود الفقري والقفص الصدري وعظم القص يفي بمواصفات المضخة الماصة؛ إذ تتيح المرونة الكبيرة للضلع السفلي وضغطه وتفریغ الكيس الهوائي الذي يستطيع تهوية الرئتين من الخلف كما في الطيور. وبصفة عامة، نقول إنه لا يوجد شك – إلا قليلاً – في أن الديناصورات الثيروبودية كانت لديها بالفعل مضخة تنفسية ماصة كالتي في الطيور، وهو ما يُعد أكثر أجهزة التنفس كفاءة بين جميع الفقاريات (انظر الشكل ٢-٨).

وهكذا فإن لدى الثيروبودات ريشاً وقلوباً رباعية الغرف وأكياساً هوائية مزدوجة متصلة بالرئتين، محققة تدفقاً مستمراً للهواء فيها باتجاه واحد، وكل ذلك يوحى بأن تلك الحيوانات عاشت حياة نشطة تطلب قدرةً على التحمل. ولكن هل أدى قدرتها على التحمل بشكلٍ حتميٍ إلى اكتساب خاصية الدم الحار الحقيقية، حسبما تقول فرضية القدرة الهوائية، أم أنها كانت في موقع متوسط بين التماسيخ الحديثة والطيور؟ صحيح أن ريش تلك الحيوانات يوحى بأنه عملٌ كطبقة عازلة؛ ومن ثم اعتبرت من ذوات الدم الحار، ولكن يُحتمل أن الريش كان لأغراض أخرى؛ كما أن الأدلة الإضافية المطلوبة تتسم بالغموض، بما فيها المحارات التنفسية.^٩

تشترك الطيور مع الثدييات في أن لدى معظمها ما تُسمى المحارات التنفسية، إلا أنها لا تتكون من العظم كما في الثدييات، ولكن من الغضاريف، التي تقل قابليتها للحفظ ضمن الحفريات. ومن ثم، ليس هناك إلى الآن ما يدل على وجود تلك التراكيب لدى الثيروبودات بالرغم من وجود قليلٍ من الحفريات حفظت بحالة جيدة ويمكن فحصها. لكن ثمة دليلاً مهمًا كما يذكر جون روبن يتمثل في أن المحارات التنفسية في الطيور دائمًا ما تكون مصحوبة بتضخم طبيعي في المسالك التنفسية. فمن المفترض أن المحارات التنفسية بشكلها اللولبي تُعوق تدفق الهواء إلى حدٍ ما، الأمر الذي يمكن



شكل ٢-٨: تمثيل لجهاز الأكياس الهوائية في ديناصور من نوع ماجونجاوثولس أتوبيس مقارنةً بما في الطيور الحديثة. في كلتا الحالتين، يتم دعم الرئة بأكياس هوائية أمامية وخلفية، وأثار هذه الأكياس في عظام الديناصور تناهياً تماماً ما يقابلها في الطيور. وتعمل الأكياس الهوائية مثل المنفاخ لتحريك الهواء عبر الرئة المتماسكة.

تعويضه أو مقابلته بتضخيم المسالك التنفسية. إلا أن الثيروبودات لا تتسم بمسالك أنفية متضخمة بشكل خاص. وهذا يوحي بأن الغياب الظاهري للمحارات التنفسية لديها هو أمر حقيقي، وليس راجعاً إلى مجرد عدم حفظ تلك التراكيب الأنفية ضمن الحفريات. فإذا لم يكن لدى تلك الحيوانات محارات تنفسية، فهل يتحمل مع ذلك أنها كانت من ذوات الدم الحار؟ حسناً؛ إننا عشر البشر ليست لدينا محارات تنفسية كالتي لدى غيرنا من الثدييات، ولكننا من ذوي الدم الحار. ومن ثم تكون الإجابة عن السؤال بـ «نعم». ولكن هذا يثير بدوره بعض التساؤلات.

يعتقد روبن نفسه أن الثيروبودات كانت لديها قدرة هوائية عالية، ولكنها لم تكن من ذوات الدم الحار، مع أن فرضيته عن القدرة الهوائية تفيده بأن الأمرين يجب أن يتربطا. ومع أننا حتى الآن لا نعرف ما يكفي لكي نؤكّد هذا القول، فإننا نقول إن هناك إجماعاً، حتى وقتنا هذا، على أن الثيروبودات على الأرجح كان لديها أيضًا مرتفع

عند الراحة، ولكنها لم تكن بعُد من نوات الدم الحار. هذه على الأقل القصة التي تخبرنا بها الحفريات، ولكن هناك في الصخور ما هو أكثر من الحفريات؛ ومن ذلك سجل عن المناخ والأجواء في العصور القديمة. وثمة شيء ما بخصوص الهواء في العصر الترياسي من شأنه أن يضع سجل الحفريات في موضعه الصحيح. ولا تقتصر فائدته على تفسير القدرة الهوائية العالية للسينودونيات والثيريوبودات، ولكن أيضًا تفسير السبب في وصول الديناصورات إلى وضع السيادة في ذلك العصر القديم.

إن معظم ما يتم من مناقشات في علم الفسيولوجيا يكون في قالب خالٍ من الأبعاد التاريخية؛ لوجود افتراض عقلي بأن الماضي مثل الحاضر، وأن ضغوط الانتقاء مثل الجاذبية الأرضية لا تتغير بمرور الزمن. ولكن هذا غير صحيح، بدليل ما وقع من أحداث الانقراض الكبرى. وكان أكبرها ما حدث في نهاية العصر البرمي، منذ حوالي ٢٥٠ مليون سنة، ومثلث علامة مباشرة على رفع الستار إذانًا بظهور العظايا المهيمنة وتزايدها وتسيدها وبزوغ عصر الديناصورات.

غالبًا ما يُعتبر حدث الانقراض البرمي أحد الألغاز الكبرى في الحياة — وهو ما يساعد على جذب أموال المنح الدراسية الهادفة لدراسته — إلا أن الخلفية البيئية التي جرى فيها لم تُرسم إلا بخطوط عريضة. في الواقع الأمر، لم تكن هناك واقعة انقراض شامل واحدة، بل اثنتان، تفصل بينهما حوالي ١٠ ملايين سنة، وكانت فترة من التدهور الشديد. وكلتا واقعتي الانقراض كانت متوافقة زمنيًّا مع حدوث حالة تقلب بركانيٌ طولية الأمد، كانت أوسع حالات تدفق الحمم البركانية انتشارًا في تاريخ الأرض؛ دفعت خلالها مساحات شاسعة — كادت تكون قارية بالكامل — تحت طبقات كثيفة من البازلت. وسيبَّت الحمم المتدفقة تاكلاً أرضيًّا صنع تضاريس مدرجة تُعرف باسم «الفخاخ». وقد شَكَّلت أولى تلك النوبات البركانية فخاخ إيميشان في الصين منذ حوالي ٢٦٠ مليون سنة، تبعها بعد ٨ ملايين سنة أخرى تدفق أكبر في إقليم سيبيريا الروسي صنع الفخاخ السiberية. ومن المهم أن نعرف أن كل التدفقات البركانيين الإيميشاني والسيبيري انبثق من خلال طبقات أرضية تحتوي على صخور كربونية وفحm. وهذا أمر مهم؛ لأن الحمم شديدة السخونة تتفاعل مع الكربون لإطلاق كميات هائلة من غاز ثاني أكسيد الكربون والميثان، وذلك في كل ثوران بركاني على مدى آلاف السنين.^{١٠} وهذا أدى إلى تغيير المناخ.

جَرِّتْ محاولات كثيرة لتحديد العامل المتسبّب في واقعٍ انقراض العصر البرمي. ومن ضمن العوامل المشتبه بها: الاحتار الكوكبي، واستنزاف طبقة الأوزون، وانبعاث غاز الميثان، والاختناق بثاني أكسيد الكربون، وتناقص الأكسجين، والتسمم بكبريتيد الهيدروجين ... إلخ. وكانت الحالة الوحيدة التي تقاد تُسْتَبَّعَ أن تكون مُسَبِّباً لهذه الأضرار هي سقوط أحد النيازك الضخمة واصطدامه بالأرض؛ إذ لا يُوجَد سوى القليل من الأدلة على حدوث اصطدام مثل ما حدث بعد ذلك بحوالي ٢٠٠ مليون سنة وأدَى إلى إسدال الستار على عصر طويل من هيمنة الديناصورات على الأرض. أما باقي قائمة المسببات فتُعتبر مقبولة بدرجة كبيرة، وقد حدث تقدُّم كبير في الأعوام القليلة الأخيرة تمثَّل في معرفة أن كل تلك المسببات يجمعها رابط وثيق لا يمكن فصله. فأي نوبية بركانية على مستوى ما حدث في الفحاخ الإيميشانية تسبّب سلسلة من الظروف التي تظهر بزخم قويٍّ وبشكل متزايد وشديد الضرر. وتحدث في الوقت الحاضر سلاسل مشابهة متراقبة تُهدِّد عالمنا، إلا أنها حتى الآن لم تصل إلى حدٍ يمكن مقارنته بما حدث في السابق منذ ملايين السنين.

لقد أطلقتِ البراكينُ غازِيَّ الميثان وثاني أكسيد الكربون عاليًا نحو طبقة الاستراتوسفير الجوية مع غازات ضارة أخرى، وكلها دمرت طبقة الأوزون وأدَّت بالتباعية إلى احتصار العالم وجفافه. وانتشرت الأراضي المجدبة عبر قارة «بانجايا» القديمة الشاسعة. وجَفَّتْ مستنقعات الفحم الكبري التي كانت موجودة في العصرِين السابقيين: الكربوني، والبرمي. وتتصاعد منها الكربون الذي استهلك الأكسجين؛ مما أدَّى إلى الإضرار الشديد بحيوية الهواء. وعلى مدى أكثر من ١٠ ملايين عام تدهورت مستويات الأكسجين كثيراً، وببطء شديد من مستوى ٣٠ بالمائة إلى نقطة دنيا تقل عن ١٥ بالمائة. وأدَّى تجمُّع عوامل سخونة المياه (مما يقلل من قابلية الأكسجين للذوبان فيها) ونقص الأكسجين الجوي وزيادة ثاني أكسيد الكربون إلى خنق مظاهر الحياة في البحار. ولم يزدَّر منها سوى البكتيريا، وكانت من نوع سامٌ سادَّ كوكبنا زمناً ما في العصر السابق على ظهور النباتات والحيوانات؛ مطلقاً غازَ كبريتيد الهيدروجين السام بكميات هائلة في المحيطات والبحار، فتحولَت البحار إلى اللون الأسود وغابت عنها الحياة. وأدَّى انطلاق الغازات السامة من المحيطات المميّة إلى إفساد الهواء أكثر فأكثر؛ مما أدَّى إلى خنق الحيوانات على الشواطئ. ثم جاء حينئذٍ - وحينئذٍ بالتحديد - آخر ضربات القَدَر؛ وهو ثوران الفحاخ السيبيريَّة البركانية الكبري، وهو نذير للموت، ظلَّ يضرب ضربته على دفعات

متكررة على مدى يربو على ٥ ملايين عام، وعلى مدى تلك الفترة الزمنية لم يكن أي شيء حي يتحرك، إلا القليل على الأرض أو في البحار، ثم ظهر بعدها أول بصيص نور لتعافي الحياة.

السؤال الآن: من هم الناجون؟ الجواب ينطبق على سكان البحر مثلما ينطبق على سكان البر؛ فالناجون هم من استطاعوا التنفس بدرجة أفضل، والذين استطاعوا تحمل نقص الأكسجين وزيادة ثاني أكسيد الكربون ووجود مزيج مؤذٍ من الغازات الضارة، والذين تميزوا بإمكانات جعلتهم يلهثون طلباً للهواء ومع ذلك بقوا نشطين، والذين عاشوا في الجحور والشقوق، وفي الوحل والمستنقعات ورواسب الأنهر، والذين دبروا معيشتهم في أماكن لم يستطع أن يقطنها كائن غيرهم. لقد نجا ألف نوع من هذا المناخ القذر الموحل، ولولا هذا لما جئنا نحن البشر. ولهذا من المهم أن نعرف أن أول الحيوانات البرية التي تعاافت بعد تلك «المذبحة» الكبيرة كانت الليستروصورات، تلك الفقاريات الحفارة للجحور التي تتميز بصدرور برميلية الشكل، وحجاب حاجز عضلي، وحنك عظمي، ومسالك تنفسية واسعة، ومحارات أذفية تنفسية. ولقد بُرِزَتْ من جحورها الزنخة وهي تلهث، واستعمرت الأماكن الخالية من السكان في قارات العالم، مثل السناجب.

هذه القصة المذهلة، المحفورة في قلب التركيب الكيميائي للصخور، استمرت للآلاف السنين، وكانت طابعاً مميراً للعصر الترياسي. اختفت الغازات السامة، ولكن ثاني أكسيد الكربون ارتفع كثيراً؛ لما يزيد عن مستوياته اليوم بعشرين ضعاف. وبقي الأكسجين بإصرار عند مستوى المنخفض — الأقل من ١٥ بالمائة — وبقي المناخ مجدداً على طول الأمد. وحتى في الأراضي الواقعية بمستوى البحر بقيت الحيوانات تلهث طلباً للأكسجين؛ إذ كانت مستويات الأكسجين هناك وقتئذ كمستوياتها اليوم في أعلى الجبال. كان ذلك هو العالم الذي عاشت فيه أوائل динاصورات، التي تغيرت أوضاع أجسامها حتى صارت تسير على ساقانها الخلفية؛ فتحررت رئاتها من الضغوط التي كانت تعانيها العظام الزاحفة على بطونها، التي كانت تجدر صعوبة في المشي والتنفس في الآن عينه. أضف إلى هذا وجود أكياس هوائية ومضخة ماصة تنفسية، وستجد أن ظهور динاصورات بدا أمراً حتمياً. هذه القصة رويَتْ بتفاصيل مُقْنعة في كتاب مهم بعنوان «عاشوا في هواء شحيح» الفَهْ عالم الحفريات بجامعة واشنطن بيتر وارد. ويقول وارد (إإنني أصدق ما يقول) إن الأركوصورات حلّت محل السينودونات؛ لأن ما لدى الأولى من رئات بها

حواجز فاصلة حملت في داخلها سر النجاح، وهي القدرة الكامنة الغامضة على التحول إلى الرئات الرائعة ذات التدفق المستمر للهواء باتجاه واحد؛ التي تتميز بها الطيور. وكانت الثيروبودات هي الحيوانات الحية الوحيدة التي لم تحتاج للهاث طوال الوقت، ولم تكن لها حاجة ماسة للمحاربات التنفسية.

ومن ثم، لم تكن القدرة على التحمل شيئاً زائداً لا لزوم له، بل كانت منقذة للحياة أو منزلة تذكرة يانصيب رابحة للنجاة في أوقات الكوارث. ولكن تُوجَد هنا نقطة اختلاف عندها مع وارد على مضمض؛ فأنا أتفق معه في أن القدرة الهوائية العالية لا بد أنها كانت مهمة للنجاة والبقاء، ولكن هل أدت حقاً إلى ارتفاع في سرعة الأيض عند الراحة أيضاً؟ إن وارد يفترض هذا (بذكره لفرضية القدرة الهوائية)، ولكن ليس هذا ما يحدث اليوم؛ حيث تعيش الحيوانات في الأماكن العالية. بل على العكس؛ إذ تمثل الكتلة العضلية لديها للضمور، وتتفوق الأجسام النحيلة. ربما تكون القدرة الهوائية عالية، ولكن لا ترتفع سرعة الأيض عند الراحة بشكل يتوقف معها، بل ربما تنخفض. إن فسيولوجية الجسم بصفة عامة تكون شحيحة في الأوقات الصعبة، وليس مسرفة على الإطلاق.

وبالعودة إلى العصر الترياسي، حين كانت النجا أمراً عزيزاً، هل رفعت الحيوانات حقاً سرعة الأيض عند الراحة لديها بغير ضرورة؟ إن هذا يبدو منافياً لللديهة على أقل تقدير. ويبدو أن الثيروبودات قد ارتفعت لديها القدرة الهوائية دون الحاجة لأن تشير من ذوات الدم الحار بالكامل؛ في بادئ الأمر على الأقل. إلا أن السينودونتات المتقرضة صارت - على ما يظهر - من ذوات الدم الحار. فهل حدث لها هذا بهدف التنافس - مع قلة الأمل في النجاح - مع الأركوصورات المخيفة؟ أم هل ساعدها هذا على البقاء في حالة نشاط بالرغم من انكماسها في الحجم وتكييفها للمعيشة الليلية؟ كلا الأمرين يُعدان احتمالين معقولين تماماً، ولكن هناك إجابة أخرى أفضلاها شخصياً؛ وهي إجابة قد تُلقي بعض الضوء لمعرفة السبب في أن الديناصورات حدث لها العكس تماماً؛ إذ ازدهرت وصارت عملاقة بشكل لم يعرف له العالم مثيلاً بعدها.

من واقع خبرتي أجد أن الأشخاص النباتيين لديهم ميل للنبل والطهارة أكثر مني، أو ربما كان هذا مجرد إحساس لدى بالذنب لأنني آكل اللحوم. ولكن وفق دراسة مهمة نُشرت في مجلة مغمورة نوعاً ما تُسمى «إيكولوجي ليترز» في عام ٢٠٠٨، فإن النباتيين لديهم الكثير ليتفاخروا به أكثر مما أضفت عليهم من فضل وشرف. فلو لا النباتيون، أو

على الأخرى أسلافهم من الكائنات نباتية التغذية، ربما لما كانا اكتسبنا خاصية الدم الحار وما يصاحبها من وثيره سريعة للحياة. وقد أجرى هذا البحث مارسيل كلاسين وبارت نوليت من المعهد الهولندي لعلم البيئة، وهو يُقيّم على نحوٍ كمّيًّا («حسابي قياسي» من الناحية الفنية) الفارق بين اللحوم والنباتات.

إنك إن ذكرت كلمة «بروتين» فستجد معظم الناس يفكرون في شريحة لحم مشوي يسيل لها اللعاب، وفي الحقيقة إن هناك ارتباطًا قويًا جدًا في الذهن بين البروتينات واللحوم، نشأ في الأصل بلا شك مما نراه من عروض الطهي ومجلات وكتب الطهي والتغذية وبرامج التلفزيون وغير ذلك. فلتأكل اللحم إذن لتحصل على البروتينات، وإذا كنت نباتيًّا، فاحرص على أن تأكل الكثير من المكسرات والبذور والبقول. والنباتيون بصفة عامة لديهم إدراك للمكونات الغذائية أكثر من آكلي اللحوم. إننا نحتاج إلى تناول البروتينات للوفاء باحتياجاتنا من النيتروجين من الغذاء، الذي نحتاجه بدوره لصنع بروتينات جديدة في أجسامنا، فضلًا عن مادة الذي إن إيه الوراثية وكلاهما غنيٌ بالنيتروجين. وليس من الصعب كثيرًا أن نؤمن لأنفسنا نظامًا غذائيًّا متوازنًا، حتى إذا كنت نباتيًّا، ولكن لأننا من ذوي الدم الحار؛ فنحن نأكل الكثير بطبعنا. وقد أشار كلاسين ونوليت إلى أن هذا لا ينطبق على الحيوانات ذات الدم البارد مطلقاً؛ فهي لا تأكل كثيراً، وهذا يُمثل مشكلة لها تثير الاهتمام حفًّا.

القليل جدًا من العظام في العصر الحالي نباتية التغذية (عواشب)، وليس هناك من الـ ٢٧٠٠ نوع من الثعابين ما هو نباتي التغذية. بطبيعة الحال هناك بعض العظام نباتية الغذاء، ولكنها تميل لأن تكون إما كبيرة الحجم نسبيًّا مثل الإيجوانا، وإما أكثر نشاطًا ودرجات حرارة أجسامها أعلى من العظام اللواحم. وعلى العكس من اللواحم التي تنخفض درجات حرارة أجسامها أسرع، وتسقط في حالة من السبات كلما دعت الحاجة، فإن العظام العواشب تكون أقل مرونة بكثير ويتعين عليها أن تتدبَّر شئونها. كان هذا يُعزى من قبل إلى صعوبات هضم المواد النباتية، وهذا الهضم تساعده في إنجازه الميكروبات المعاوية التي يمكنها تخمير المواد النباتية عسيرة الهضم، وهي عملية تتم بشكل أفضل عند درجات حرارة أعلى. وبالرغم من ذلك يقول كلاسين ونوليت إنه قد يكون هناك سبب آخر يتعلق بالمحتوى النيتروجيني للمواد النباتية. وقد أوردا بيانًا تفصيليًّا عن مقادير النيتروجين الغذائي وأثبتا أن العظام العواشب تعاني بالفعل من مشكلة كبيرة.

تخيلِ إنك تأكل النباتات فقط، التي يقل فيها النيتروجين. فكيف يمكنك أن تحصل على كفافيك من النيتروجين من غذائك؟ حسناً، يمكن أن تُجرب أكل تنوع أكبر من النباتات، وأن تأكل البذور ... إلخ، ولكن حتى في هذه الحالة من المرجح أن تعاني نقصاً ملحوظاً، أو يمكنك ببساطة أن تأكل كميات أكبر. وإذا كنت تحصل مثلاً على خمس احتياجاتك اليومية فقط من النيتروجين بأن تأكل دلواً من أوراق النبات، فأنت بحاجة لأن تأكل خمسة دلاء لكي تحصل على احتياجاتك كلها. ولو أمكنك فعل هذا فسوف يدخل جسمك فائضاً ضخماً من الكربون الذي تزداد نسبته كثيراً في المواد النباتية، وسيتعين عليك أن تجد وسيلة ما للتخلص منه، فكيف؟ بأن تحرقه وحسب، على حد قول كلاسين ونوليت. إن الغذاء النباتي الصَّرْف ملائماً للحيوانات ذوات الدم الحار؛ إذ إننا نحرق ملء دلاء من الكربون طوال الوقت، ولكنه يمكن دائماً أن يُسبِّب الضرر للحيوانات ذوات الدم البارد. وفي هذا السياق، قد يكون من المفيد أن نعيد النَّظر إلى الليستروصورات؛ التي كانت من العواشب، والسينيودونتات؛ التي كانت خليطاً من العواشب واللواحم. فهل يمكن أن تكون خاصية الدم الحار قد نشأت في السينيودونتات بسبب ما كان لديها من قدرة هوائية عالية — وهو شرط ضروري للبقاء في تلك الأزمنة الصعبة — مقترنة بغذاء غني بالنباتات. فحينما نشأت خاصية الدم الحار في تلك العواشب المبكرة ربما استفادت بسهولة من الطاقة الزائدة حتى تتعافى سريعاً، ولكي تجول قاطعة أميلاً في أراضي العصر الترياسي القاحلة بحثاً عن الطعام أو هرباً من المفترسات. ولعل تلك المفترسات كانت احتياجاتها الغذائية أقلَّ بالنسبة للدم الحار، ولكن كان يتَعَيَّن عليها أن تتنافس مع تلك العواشب سريعة الحركة. وربما احتاجت ميزة الدم الحار لكي تجاري سرعة هروب فرائسها العاشبة.

ولكن ماذا عن الديناصورات الهايئة، وهي أشهر العواشب في التاريخ؟ هل اتبعت استراتيجية بديلة لتحصل على نفس النتائج؟ إنك إن أكلت خمسة دلاء من أوراق النبات، ولم تحرقها فوراً وباستمرار، يمكنك ببساطة أن تخزنها بجسمك، وأن يزداد حجمك، فتصير عملاً. والعمالة لا يقتصر بهم الأمر على وجود قدرة أو سعة تخزينية زائدة لديهم، بل إنهم دائماً ما تكون لديهم سرعة أيضاً أبطأ كذلك، تتوافق مع التقلُّب الأبطأ للبروتينات والذي إن إيه؛ مما يُقلل من الاحتياج الغذائي للنيتروجين. وهكذا، هناك طريقتان معقولتان لمواجهة مشكلة الغذاء الغني بالنباتات، وهما: أن يكون حجم الحيوان أكبر مقتناً بأيضاً أبطأ، أو أن يكون حجمه أصغر مقتناً بأيضاً أسرع. ومن

الواضح أنهمما بالضبط الاستراتيجيات المتبعة من قبل العظايا العاشرة في يومنا هذا، وإن كان من المحتمل أن يحول هذا دون تلئها لميزة الدم الحار بسبب ما لديها من قدرة هوائية منخفضة متأصلة فيها. (وهناك تساؤل آخر عن كيفية نجاة هذه العظايا من الانقضاض في العصر البرمي، لكن الإجابة عنه تأتي في موضع آخر.)

لكن لماذا صارت الديناصورات بهذه الضخامة وقتئذ؟ لم تتم الإجابة قط عن هذا السؤال بشكل مُرضٍ بالرغم من محاولات كثيرة. ووفق ما ورد في اقتضاب في دراسة أجراها عام ٢٠٠١ جاريد ديموند وزملاؤه فإن الإجابة – نظريًا – قد تكمن في ارتفاع مستويات ثاني أكسيد الكربون في ذلك العصر؛ مما يرجح أنه حدث على حدوث إنتاجية أولية عالية، أي نمو نباتي أسرع. لكن ديموند لم يفطن إلى ما فطن إليه كلاسین ونوليت عن النيتروجين. ف الصحيح أن ارتفاع مستويات ثاني أكسيد الكربون يُسبب زيادة في الإنتاجية، إلا أنه أيضًا يُسبب انخفاضًا في المحتوى النيتروجيني للمواد النباتية، وهو مجال بحثي نما واتسع بسبب الاهتمام المتعلقة بالتأثير الذي قد يلحقه ارتفاع مستويات ثاني أكسيد الكربون بما في كوكبنا الأرضي من أغذية. ومن ثم كانت المشكلة التي واجهت السينودونات والديناصورات أكثر حدة وقتئذ مما هي اليوم، وهي حصولها على ما يكفي من النيتروجين في غذائها؛ إذ احتاجت حتى للمزيد من النباتات. فالعواشب الصرفية كانت ستحتاج إلى تناول كميات هائلة منها.

ولعل هذا يفسّر السبب في أن الثيروبودات لم تحتاج إلى ميزة الدم الحار. إذ كانت من اللواحم، ومن ثم لم تُجايه مشكلة توازن النيتروجين. ولكن على العكس من السينودونات اللاحثة التي اضطررت إلى التنافس، ندًا لندًا مع العواشب سريعة الحركة، كانت الثيروبودات فوق كل ذلك؛ إذ كانت لديها رئات مضخية ماصة فائقة الكفاءة، وكان بإمكانها الإمساك بأي شيء يتحرك.

لم تتحوّل الرابتورات الفريدة إلى التغذية النباتية إلا فيما بعد، في العصر الطباشيري. وكان من أوائلها بالفعل أحد المانيرابتورات من نوع يُسمى «فالكاريوس يوتاهنسيس» الذي وُصف رسمياً بمجلة «نيتشر» في عام ٢٠٠٥ من قبل فريق من ولاية يوتا الأمريكية، وبصفة غير رسمية من قبل كاتبة تدعى لينزي زانو، بأنه «قمة الغرابة، وأنه هجين من النعامة والغوريلا وإدوارد ذي الأيدي المقصات». ولكنه كان حلقة مفقودة أصلية — فنصفه رابتور ونصفه عاشب — وكان يعيش تقريباً في زمن ظهور أوائل النباتات المزهرةاللذيذة؛ وهو زمن حَدَثَ فيه إغراء غير مسبوق لاتباع أسلوب حياة نباتيٍّ

التغذية. ولكن من منظور هذا الفصل لعلَّ أهمَّ حقيقة عن الفالكاريوس أنه كان جزءاً من مجموعة تُسمى المانيرابتورات، التي يعتقد أن الطيور قد نشأت منها. فهل يُحتمل أن نشوء خاصية الدم الحار في الطيور كان أيضاً مرتبطاً بتحول في النظام الغذائي نحو التغذية النباتية؛ ومن ثمَّ حدث احتياج غذائي كبير للنيتروجين؟ هذا أمرٌ معقول إلى حدٍ ما.

وهكذا نختتم هذا الفصل بهذا التخمين، بيَدَّ أنَّ التخمين يمكن بسهولة أن يلبس ثوب الفرضية أو النظرية، وقد وصفهِ مِنْ قَبْلُ بيتر ميداوَار بأنه قفزة تخيلية نحو المجهول؛ وهذا هو أساس العلم الصالح كله. أمامنا الكثير مما يجب فحصه أو اختباره، ولكن إذا شئنا أن نكشف اللثام عن أسباب وتيرة حياتنا السريعة، فقد نحتاج إلى أن ننظر لما وراء أسس الفسيولوجيا، وإلى قصة الحياة نفسها، أن ننظر إلى زمن في تاريخ كوكبنا لعبت فيه الظروف المتطرفة دوراً كبيراً. وربما تكون تلك دراسة تاريخية أكثر منها دراسة علمية، بمعنى أنه لم تكن ثمة ضرورة لسير الأمور على هذا النحو، بيَدَّ أنها سارت كذلك وحسب. وإذا لم تكن كارثة الانقراض في العصر البرمي قد وقعت، أو لم يقع ما تبعها من انخفاض طويل الأمد في الأكسجين، فهل كانت القدرة الهوائية العالية ستتصير مسألة حياة أو موت؟ وهل كانت الحياة ستتطور لما بعد مرحلة الرئة الزاحفية البدائية؟ وإذا لم يتحول القليل من تلك الحيوانات المشحونة هوائياً نحو المعيشة النباتية، فهل كانت خاصية الدم الحار ستظهر؟ ربما كان هذا مجرد تاريخ، ولكن قراءة ذلك الماضي البعيد هو علم في حد ذاته، علم يمكن أن يثير فهمنا وتقديرنا للحياة.

الفصل التاسع

الوعي

جذور العقل البشري

في عام ١٩٩٦، كتب البابا يوحنا بولس الثاني رسالة شهرة إلى الأكاديمية الأسقفية للعلوم، اعترف فيها بأن عملية التطور هي أكثر من مجرد فرضية. وقال: «جدير بالذكر حقيقة أن هذه النظرية قد تزايد قبولها من جانب الباحثين، على إثر ظهور سلسلة من الاكتشافات في حقول مختلفة من المعرفة. وإن التقارب غير المتعمد وغير الملفق بين نتائج الدراسات التي أجريت بشكل مستقل هو في حد ذاته برهان جوهري في صالح هذه النظرية».

إلا أن البابا مع ذلك – وهو أمر غير مستغرب – لم يسلّم بكل ما ورد ذكره بشأن هذه النظرية؛ إذ قال إن العقل البشري يتجاوز دائماً حدود العلم المادي وإن نظريات التطور، التي – تبعاً للفلسفات التي تستفهمها – ترى العقل منبثقاً من قوى المادة الحية أو مجرد ظاهرة ثانوية ناتجة عن هذه المادة، إنما تتضارب مع حقيقة الإنسان. كما أنها لا تستطيع أن تدعم كرامة الفرد». وأردف قائلاً إن الخبرات الروحية والوعي الذاتي، وكل المنظومة الغيبية التي تواصل عن طريقها مع الله، لا تتأثر بالمقاييس المادية للعلم، بل تدرج ضمن عالم الفلسفة واللاهوت. وبختصر القول، فإن البابا بينما يعترف بواقعية عملية التطور، لكنه كان حريصاً على وضع سلطة الكنيسة فوق عملية التطور.^١

ليس هذا كتاباً عن الدين، ولا أرغم في مهاجمة معتقدات شخص كرس نفسه لها. ومع ذلك، فنفس الأسباب التي دعّت البابا لأن يكتب عن التطور (قائلاً: «إن سلطة

الكنيسة معنية على نحو مباشر بمسألة التطور؛ لأنها تشمل مفهوم الإنسان.») جعلت العلماء يهتمون بالعقل؛ لأنه يشمل مفهوم التطور. فإذا لم يكن العقل ناتجاً للتطور فماذا يكون إذن؟ وكيف يتفاعل مع المخ؟ إن المخ كيان مادي؛ ومن ثم يفترض أنه ناتج للتطور مثل مخ الحيوانات التي تتشابه في كثير من تراكيبها، إن لم يكن كلها، مع المخ البشري. ولكن إذا كان الأمر كذلك، فهل يتتطور العقل كما يتتطور المخ، على سبيل المثال، أثناء **كِبَر حجم المخ** في الجمامج قبل البشرية على مدى ملايين السنين القليلة الماضية (وبالتأكيد هذا ليس موضوع نزاع علمي)؟ وفي هذا الشأن نتساءل أيضاً: كيف تتفاعل المادة والروح عند المستوى الجزيئي، كما يفترض أن يكون الحال؛ فكيف يمكن أن تؤثر العقاقير أو إصابات المخ على العقل؟

كتب ستيفن جاي جولد بشكل إيجابي عن مجالين عظيمين غير متداخلين هما العلم والدين، ولكن كان حتمياً أن تُوجَد بعض النقاط التي يجب أن يتلاقى عندها الاثنان ويتدخلا. ويعتبر الوعي المثال الأبرز لها. هذه القضايا تضرب بثقلها في أعماق التاريخ. وحتى الفيلسوف الفرنسي ديكارت، حينما افترض وجود فصلٍ بين الروح والمادة، لم يكن في الحقيقة يفعل أكثر من تأييد وترسيم فكرة لها جذور تاريخية وتدعمها الكنيسة باعتباره كاثوليكيًا مخلصاً، ولم يكن لديه رغبة في التعرُّض للإدانة من قبل الكنيسة كما حدث لجاليليو؛ فبترسيم هذا الفصل حررَ ديكارت الجسم وحتى المخ، للدراسة العلمية. وعلى العكس من البابا، يندر أن نجد من العلماء من يؤيد الازدواجية الديكارتية صراحة، بمعنى الاعتقاد بالفصل بين الروح والمادة، ولكن هذا المفهوم ليس بالأمر السخيف، والتساؤلات التي طرحتها تتواء هي عرضة للاستكشاف العلمي. وميكانيكا الكم، على سبيل المثال، لا تزال تفتح الباب للمزيد من الأعاجيب الكونية للعقل، كما سنرى لاحقاً.

إنني أستشهد بكلام البابا لأنني أعتقد أن ما قاله يتجاوز حدود الدين؛ إذ يمس مفهوم تصوُّر الإنسان لنفسه. وحتى غير الم الدينين قد يشعرون بأن أرواحهم — بكيفية ما — غير مادية، وأنها بشرية بشكل مميز، وأنها — بطريقة ما — «تجاور العُلم المادي». إن قليلين فقط من قرءوا هذا الكتاب حتى هذه النقطة هم من سيشعرون أن العلم لا يحق له أن يفرض وصاية على الوعي، ولكن ربما بنفس القدر قليلون فقط هم من سيعطون علماء التطور حقوقاً خاصة تُخوّلهم التسليد على مجموعة من فروع المعرفة والدراسة التي يمكن أن تزعم أن لها رؤى متعمقة؛ مثل علم تصميم الروبوتات، والذكاء الاصطناعي، والعلوم اللغوية، وعلم الأعصاب، وعلم العقاقير، وفيزياء الكم، والفلسفة،

واللاهوت، والتأمل، وفلسفة الزن، والأدب، وعلم الاجتماع، وعلم النفس، والطب النفسي، وعلم الإنسان، وعلم السلوك عند الحيوانات، وغيرها.

وعليّ أن أقول منذ البداية إن هذا الفصل يختلف عن سائر فصول هذا الكتاب في تأكيده أن الأمر لا يقتصر على عدم معرفة العلم المادي (بعد) للإجابة عن التساؤلات السابقة، بل إننا كذلك في الوقت الحاضر يصعب علينا إدراك الكيفية التي قد تبدو عليها هذه الإجابة في ضوء القوانين المعروفة للفيزياء أو علم الأحياء أو المعلومات. ولا يوجد اتفاق بين دارسي العقل البشري على الكيفية التي يؤدي بمقتضها تحفيز الخلايا العصبية إلى الأحساس الشخصية القوية.

لكن هذا سبب أقوى يجعلنا نتساءل أكثر عما يمكن أن يخبرنا به العلم عن أنشطة العقل البشري، وأين تصطدم تلك الجهود بحائط المجهول. يتراءى لي أنّ وضع البابا هذا قابلً للدفاع عنه؛ حيث إننا لا نعرف كيف تولد «المادة وحدها»؛ ذلك العقل اللامادي الذي ندركه، بل إننا لا نعرف حتى ماهية تلك المادة المجردة تماماً، ولا السبب وراء وجود المادة من الأساس عوضاً عن عدم وجودها (وهو تساؤل مماثل من بعض النواحي للتساؤل حول سبب وجود الوعي، بدلًا من وجود عملية معالجة لا واعية للمعلومات وحسب). ومع ذلك، أظن — أو ربما يجب أن أقول إنني أؤمن — أن التطور يُفسّر أكثر معالم العقل روحانية.^٢ وأكثر من هذا، فإن الأنشطة المعروفة للعقل البشري أكثر روعة بكثير مما يستطيع العقل الغافل حتى أن يتخيله، وأن هناك أسباباً وجيهة لإرساء كرامة الفرد على أساس سمو العقل البيولوجي.

ثمة أسباب قهرية أخرى تدعو العلم لأن يُقبل التحدي؛ فليس العقل البشري دائمًا هو الوعاء الثري الذي نُثمنه، بل هناك تلك الأمراض المخية التي تسلب العقل أنشطته. فمرض ألزهايمر، مثلاً، يسلب الإنسان هويته شيئاً فشيئاً، إلى أن يصل به في النهاية إلى أن يَصير عديم الكيان. والاكتئاب الشديد مرض شائع جدًا، وهو حالة خبيثة من الحزن تستهلك العقل من الداخل، أما الفصام العقلي (الشيزوفرينيا) فيأتي إلى العقل بأشد الأوهام قسوة وقرباً من الواقع في صورة هلاوس متنوعة، بينما تعمل بعض النوبات الصرعية على إذابة العقل الوعي كليّاً، سالبة منه الوعي. وهذه الحالات تعطي انطباعاً رهيباً بهشاشة العقل البشري. ثمة عبارة شهيرة وردت على لسان فرانسيس كريك يقول فيها: «إنك لست سوى كومة من الخلايا العصبية». ولربما كان عليه أن يُضيف أن تلك الخلايا تُشكّل بيتاً هشاً من أوراق اللعب. وإذا لم يعمل المجتمع والعلم جاهدين على

فهم تلك الحالات ومحاولة علاجها؛ فإن هذا سيكون إنكاراً للنعمة العظمى التي تُقدّرها الكنيسة أشدّ تقدير.

إن أول مشكلة تواجه أي حديث علمي عن موضوع الوعي هي التعريف؛ فهناك تعريفات عديدة للوعي. فإذا عرّفنا الوعي بأنه إدراك «الذات» المنطرة في العالم – وهو إدراك ذاتي غني يعرّف الفرد في إطار المجتمع والثقافة والتاريخ، بما يحمل من آمال ومخاوف عن المستقبل، وكل هذا محظوظ في ثنايا الرمزية الكثيفة التأملية للغة – تكون البشرية بالطبع شيئاً فريداً. إن هناك فجوة كبيرة بين البشر والحيوانات، فلا يمكن أن يحظى أيٌ من الحيوانات بشرف هذه الكلمة، أي الوعي، بل ولا حتى أسلافنا ولا صغارنا.

ولعلَّ إلاء شأن هذا المفهوم وَرَدَ في كتاب غريب، عنوانه «منشأ الوعي مع انهيار العقل الثنائي»، بقلم عالم النفس الأميركي جولييان جاينس. وقد لخصَ الأمْرَ قائلاً: «في فترةٍ ما كانت الطبيعة البشرية منقسمة إلى عنصرين: عنصر مهيمن هو الرب، وعنصر تابع له هو الإنسان، ولم يكن أيٌ منها مدرِّكاً بشكلٍ واعٍ». ما يثير التَّعَجُّبَ أن جاينس حَدَّدَ وقت حدوث هذا في زمان حديث للغاية في مرحلةٍ ما بين تأليف ملحمتي الإلياذة والأوديسة. (بطبيعة الحال، يزعم جاينس أن هاتين الملحمتين مختلفتين جدًا قد أَفَهَما شاعران إغريقيان اثنان يحمل كلُّ منهما اسم هوميروس، ولكن تفصل بينهما مئات السنين). النقطة المهمة هنا هي أن الوعي في نظر جاينس هو بنية اجتماعية ولغوية خالصة، وأنه شيءٌ حديثٌ نسبياً، وأن العقل يكون واعياً فقط حينما يصير «مدرِّكاً» أنه واعٍ. يمكن تقبُّل رأي جاينس دون بأس، ولكن أي رأيٍ يبالغ في تقدير الأمور لدرجة أنه يستبعد مؤلف ملحمة الإلياذة من دائرة الوعي لا بد أن نعتبره رأياً متطرفاً. فإذا لم يكن هوميروس الأول واعياً، فهل كان مجرد زومبي غير واعٍ؟ وإذا لم يكن الأمر كذلك، فلا بد أن هناك صوراً ودرجات من الوعي، وتكون الصورة الأعلى منها هي الإدراك الذاتي، أو إدراك الذات بوصفها عضواً حراً ومثقفاً في المجتمع، وتكون بقية الصور أدنى منها.

أغلب علماء الأعصاب يضعون فارقاً بين صورتين من الوعي، لدى كلٍّ منها جذور في بنية المخ. تختلف المصطلحات والتعاريف، ولكن يمكننا القول بصفة أساسية إن مصطلح «الوعي المتدن» يشير إلى الأمجاد الكبيرة للعقل البشري، التي ما كانت لتحدث لو لا عوامل اللغة والمجتمع ... إلخ، أما الوعي «الأولي» أو «المركيزي» فهو أكثر حيوانية في طبيعته تماماً؛ إذ يتعلَّق بالعواطف والدروافع والألم، وهو إحساس بدائي بالنفس ينقصه

منظور ذاتي أو إحساس بالموت، وإدراك للأشياء المادية في العالم؛ مثل عالم الثعلب، الذي إذا وقع في فخ ذي فكين، فقد يقضى ساقه ليهرب. وكما أورد العالم الأسترالي البارز ديريك دنتون في كتابه الرائع عن الوعي الحيواني، وعنوانه «العواطف الأولية»، فإن الحيوان يدرك بالتأكيد أنه وقع بين فكي الفخ، فيعتقد النية على أن يتحرر منه. إن لديه قدراً من إدراك النفس، ولديه خطة ما.

من قبيل المفارقة أن الوعي الممتد سهل التفسير نسبياً، حتى إذا استوجب الأمر تحديد مدلول كلمة «سهل». مع الوضع في الاعتبار المعنى الأولي للوعي؛ فلا شيء في الوعي الممتد يتجاوز الفهم المادي للعالم، فهناك وحسب دوائر كهربائية موازية رهيبة في المخ موضوعة في الإطار المعقد للمجتمع. ولا شيء إعجازي فيما يختص بالمجتمع ذاته، على سبيل المثال. ومن الواضح أن الطفل الذي يتربى منعزلاً داخل كهف مثلاً، لن يكون لديه من الوعي أكثر من الوعي البدائي. وكذلك، وبينما في نفس الدرجة، إذا افترضنا أن يُبعث إلى الحياة إنسان كروماتيوني بدائي من عصر ما قبل التاريخ في فرنسا (الذي كان يعيش في الكهوف)، وتولّينا تربيته في باريس في عصرنا هذا، فسيكون من المتعدد تمييزه عن سائر الفرنسيين الآخرين المعاصرين. نفس الأمر ينطبق على اللغة؛ فأغلب الناس يجدون استحالة في وجود أي صورة من الوعي المتطور لدى شخص أو حيوان محروم من اللغة، وهذا أمر حقيقي بصفة مؤكدة تقريباً. لكن ليست اللغة شيئاً سحرياً؛ إذ يمكن ببرمجة اللغة داخل إنسان آلي (روبوت) بما يجعله يجتاز اختباراً للذكاء (مثل اختبار تورنج) دون أن يكون الروبوت واعياً حقاً أو حتى يمتلك إدراكاً أساسياً. الذاكرة أيضاً قابلة للبرمجة بوضوح. ونحمد رب على أن الكمبيوتر الخاص بي يمكنه تذكر أي كلمة أكتبها عليه. وحتى «التفكير» قابل للبرمجة، ولننذكر ذلك الكمبيوتر المخصص للعب الشطرنج المسماً «التفكير العميق» (وسمّي هكذا تبعاً لرواية «دليل المسافر إلى المجرة») والنموذج التالي له المسماً «الأزرق العميق»، الذي تمكّن في عام ١٩٩٧ من هزيمة ملك الشطرنج وبطل العالم جاري كاسباروف.^٢ فإذا كان البشر يستطيعون ببرمجة تلك الأجهزة فذلك يستطيع الانتقاء الطبيعي بلا أدنى شك.

لا أريد أن أقلّ من شأن أهمية المجتمع واللغة والتفكير للوعي الإنساني؛ فمن الواضح أن الوعي ينهل من تلك الأمور جميماً. ولكن النقطة التي أريد التركيز عليها هي أنك حتى تكون واعياً، يجب أن تعتمد كل هذه الأمور على وجود صورة من الوعي أكثر عمقاً، وأعني المشاعر. فمن السهل أن تخيل روبوتات لها القدرة المخية لكمبيوتر

«الأزرق العميق» مع إمكانات لغوية، ومستقبلات حسية للعالم الخارجي، وذاكرة هائلة فائقة، ولكن بلاوعي. فلا فرح ولا أسى ولا حب ولا حزن عند الفراق، ولا ابتهاج بفهم الأشياء ولا أمل ولا ألم، ولا إيمان أو وفاء، أو حب للخير والعطاء، ولا تأثر عند استنشاق عطرٍ رقيق أو رؤية جسد جميل رشيق، ولا شعور بدفعٍ أشعة الشمس على الرأس، ولا شعور بالمرارة لقضاء العيد بعيداً عن الوطن والأهل. ومن يدرى؟! لعلنا نجد يوماً روبوتاً له مشاعر في دوائره الإلكترونية، ولكن حتى الآن لا نعرف كيف نبرمج المشاعر الجياشة الخفية.

هذا هو نفس النطاق الداخلي الذي افترض البابا أنه يندرج تحت ما أسماه سلطة الكنيسة، والذي وصفه الفيلسوف الأسترالي ديفيد تشالمرز وصفاً شهيراً — في نفس الوقت تقريباً — بأنه «المشكلة الصعبة» للوعي. ومنذ ذلك الحين، جرّت محاولات كثيرة لحل مشكلات الوعي، وبعضها تمَّ بنجاح؛ ولكن لم ينجح أيٌ منها في حل مشكلة تشالمرز الصعبة. وحتى الفيلسوف المتمرد دانييل دنيت، الذي اتهم بإنكار المشكلة كلية، نجده يذكرها بشكل جانبي ضمن عمله الشهير «تفسير الوعي» والذي ظهر في عام ١٩٩١. وقد تساءل قائلاً: لماذا لا تشعر الخلايا العصبية النشطة بشيء؟ وكان هذا التساؤل في ختام فصله عن الخبرات الواقعية الذاتية. ونحن أيضاً نتساءل حقاً: لم لا؟

إنني عالم في الكيمياء الحيوية، وأعرف مواطن قصورها. وإذا أردت استكشاف دور اللغة في تشكيل الوعي فاقرأ لستيفن بينكر. إنني لم أضع الكيمياء الحيوية ضمن قائمة الأشياء التي تزعم أن لها خبرة بموضوع الوعي. وقليل هم علماء الكيمياء الحيوية الذين حاولوا بجدية أن يتناولوا موضوع الوعي. وربما كان كريستيان دي دوف استثناء لهذا. ومع ذلك تُعتبر مشكلة تشالمرز الصعبة بحق مشكلة في الكيمياء الحيوية؛ إذ كيف يُولد تنشيط الخلايا العصبية «شعوراً» بأي شيء؟ وكيف تُولد أيونات الكالسيوم المندفعة خلال غشاء عصبي الإحساس باللون الأحمر أو بالخوف أو الغضب أو الحب؟ دعنا نضع هذا السؤال في بابنا ونحن نستكشف طبيعة الوعي المركزي، ولماذا يؤدي الوعي المركزي إلى تنشيط شعورٍ ما. وحتى إذا لم أستطع الإجابة عن هذا السؤال، فإنني آمل أن أصوغه بوضوح يكفي لأن أرى أين يمكنني البحث عن إجابة له. ولست أظن الإجابة في السموات العليا، وإنما هنا على الأرض، بين أسراب الطيور وأفواج النحل.

أول شيء يجب أن نفعله هو أن ننخلص من الفكرة القائلة إن كل ما يبدو وكأنه ينتمي إلى الوعي فهو من الوعي حقاً. فهذا ليس واقع الحال. فمثلاً، يبدو الوعي موحداً، بمعنى أنه غير مقسم إلى أجزاء. فنحن لا نملك تيارات منفصلة من الوعي تسري في رءوسنا، وإنما نملك إدراكاً واحداً متكاملاً، يتغير مع ذلك باستمرار، منتقلًا من ثانية لأخرى خلال تشكيلاً لانهائي من الحالات. فالوعي يبدو مثل شريط سينمائي في الرأس؛ إذ تتكامل صور الفيلم مع أصواته، وأيضاً مع الروائح واللمسات والمذاقات والعواطف والمشاعر والأفكار، وكل ذلك مرتبط بإحساس بالنفس، التي تثبت كياننا الكلي وخبراته الشخصية بأجسامنا.

ليس عليك أن تُفكّر في الأمر طويلاً كي تدرك أن المخ يجب أن يربط المعلومات الحسية معاً بطريقة ما ليعطي «إدراكاً» بكيان كلي متكامل لا ينفصّم. تدخل المعلومات من العينين والأذنين وفتحي الأنف، وعن طريق اللمس أو الذاكرة أو الأمعاء، إلى أجزاء مختلفة من المخ حيث تتم معالجتها بشكل مستقل، وفي النهاية تؤدي إلى نشوء إدراكات مختلفة للألوان والروائح واللمس والجوع والعطش. لا شيء من ذلك « حقيقي »، وإنما هي أعصاب تنشط، غير أنها نادراً ما نخطئ بالخلط بين الأشياء التي « نراها » فنظنها من الروائح أو الأصوات. صحيح أن شبكيّة العين تتكون عليها بالفعل صورة مقلوبة للعالم الذي أمامنا، إلا أن هذه الصورة لا يراها المخ مطلقاً على شريط سينمائي، ولكنها تتحول إلى أنماط من خلايا عصبية تُبني العصب البصري، على نحو أشبه ما يكون بالآلة الفاكس. ويحدث الأمر نفسه تقريباً حينما نسمع أو نشم؛ فلا شيء يدخل من العالم الخارجي إلى داخل رءوسنا، ولكنها أعصاب تطلق شحنات عصبية. ونفس هذا ينطبق على البطن حينما يتآلم، فلا ألم حقيقي بالبطن، وإنما هي الأعصاب كما ذكرنا.

إننا لكي نشعر بكل تلك الأحاسيس بشكل واع، لحظة بلحظة، على نحو أشبه بفيلم يُعرض داخل الرأس، فهذا يتطلب تحويل جميع النقط والشرط الرقمية إلى إدراك «العالم الحقيقي»، بجميع مشاهده وروايته. ثم إننا، بالطبع، لا ندرك هذا العالم المعاد بناؤه على أنه موجود داخل رءوسنا، وإنما نسقط هذا كله إلى حيث ينتمي. إننا نرى العالم وكأنما من فتحة واحدة موجودة في مقدمة الجمجمة، لكن هذا **وَهُمْ** كما هو واضح تماماً. كل هذا يتضمن الكثير من الخداع العصبي. ومن الواضح بنفس الدرجة، أن الاتصالات والمسارات العصبية مهمة. فإذا قُطع العصبان البصريان فسيُصاب المرء بالعمى. وعلى العكس من هذا، إذا تم تبنيه المراكز البصرية في المخ لدى شخص أعمى،

باستخدام مجموعة مزروعة من الأعصاب الكهربية الدقيقة، فسوف يرى صوراً تولدُت من المخ مباشرةً، حتى وإن كانت مجرد صور بدائية. هذا هو أساس الإصمار الاصطناعي؛ وهو مجال علمي لا يزال في بداياته ولكنَّه قابل للتطبيق من حيث المبدأ. ويقوم فيلم «ذا ماتريكس» على أساس نفس الفكرة؛ حيث يتم تشويط جميع الخبرات بينما الإنسان، ومن ثم المخ، محفوظ في وعاء.

يمكن الاستدلال على مقدار ذلك الخداع العصبي الذي ذكرناه من واقع مئات من الحالات الشاذة أو الغريبة – بدرجة فظيعة – التي ترد في الإصدارات السنوية لعلم الأعصاب، التي تستثير لدى أغلبنا فكرة «كان سيحدث لنا هذا لو لا رحمة الله». وقد نقَبَ في هذا الأرشيف أوليفر ساكس وأخرون. ولعل أشهر حالة ذكرها ساكس هي حالة «الرجل الذي ظنَّ زوجته قبعة»، وقد اقتبسها الكاتب مايكل نايمان ووضعها في قلب من أوبيرا الحجرة، ثم تحوَّلت فيما بعد إلى فيلم سينمائي. كان الرجل المذكور والمشار إليه باسم «دكتور بي» موسيقياً مرموقاً، ولكنه كان يعاني من حالة مرضية عصبية تُسمى العَمَّة البصري أو «فَقْد الإدراك البصري». كان بصر الرجل سليماً تماماً، ولكن قدرته على تعرُّف الأشياء وتمييزها بصورة صحيحة، ولا سيما الوجوه، صارت متدهورة بشكل يُرثى له. وحينما ذهب لاستشارة ساكس كان يظن أنَّ قَدَمه هي حذاؤه، وبعد ذلك، حينما حاول أن يأخذ قبعته ليرتديها، أمسك بدلاً منها رأس امرأته. كانت هذه الحالة ناتجة عن تحلل عصبي لمنطقة في المخ مسؤولة عن المعالجة البصرية (وهي ناتجة بدورها عن صورة غير عادية لمرض ألزهايمر)؛ مما قلل عالمه البصري إلى مجرد أنماط لا معنى لها من الأشكال والألوان والحركات النظرية التجريدية، بينما لم يؤثِّر ذلك على قدرته العقلية الإبداعية ولا قدرته الموسيقية الفذة.

من حسن الطالع أنَّ هذا النوع من التحلل العصبي نادر، ولكن من وجهة نظر علم الأعصاب الطبيعي المتشدد ما هذه إلا حالة واحدة من مجموعة من الحالات. فهناك حالة أخرى ناتجة عن تلف في منطقة محدودة أخرى في المخ، وتُعرف الحالة باسم «متلازمة كابجراس». وفي هذه الحالة يكون المريض قادرًا على تمييز الناس بصورة جيدة تماماً، ولكن يكون لديه اعتقاد شاذ بأن شريك حياته أو والديه ليسوا كما يبدون، ولكنهم محظيون مخادعون احتلوا مكانهم. ولا تتعلق المشكلة بالناس عامَّة، وإنما تتعلق فقط بالأصدقاء المقربين أو أفراد الأسرة؛ أي الأشخاص القريبين جدًا من الناحية العاطفية. وفي هذه الحالة تكمن المشكلة في الأعصاب التي تربط بين المراكز البصرية والمراكز

العاطفية في المخ (مثل لوزة المخ). فإذا حدث قطع لهذه الروابط أو حدثت سكتة دماغية أو إصابة موضعية أخرى (كأحد الأورام) فإن هذا يمنع حدوث الاستجابة العاطفية الطبيعية لرؤية أحد الأحبة، وهي استجابة يمكن الكشف عنها بجهاز كشف الكذب. وكما قال إخصائي علم الأعصاب في إس راماتشاندران بأسلوب تهكمي: حتى إذا لم تكن ولدًا يهوديًّا طيبًا، فإن رؤيتك لأمك تجعل يديك تعرقان. والعرق يُغيّر المقاومة الكهربائية للجلد، وهو ما يسجل جهاز كشف الكذب. ولكن المرضي بمتلازمة كابجراس لا يعرقون حينما يرون من يحبون؛ فعَيْنَا المريض تخبر أنه بأن هذه هي أمه، ولكن مراكز المخ العاطفية تفشل في إقرار هذا الانطباع. ويبعدوا هذا الفراغ العاطفي أنه الأساس لهذا المتلازمة. فالملح، وقد ابْتُلِي بنقصان في الثبات والتماسك، تقفز إليه أفكار سخيفة وإن كانت منطقية بأن الشخص الذي يراه أمامه محظوظ. إن العواطف أقوى من الذكاء؛ أو لِتُقلُّ إنها أساس الذكاء.

أما متلازمة كوتارد فهي أكثر غرابة. وفيها يكون القصور والخلل أشد عمقًا؛ إذ تصبح جميع الحواس مقطوعة الاتصالات مع المراكز العاطفية للمخ؛ مما يؤدي إلى حالة من التسليح أو الموات العاطفي. فإذا كان كل شيء تتلقاه جميع الحواس يسجل حالة من العدم في سجل العواطف، فإن الاستنتاج الغريب — وإن كان منطقيًّا كذلك — يقول إن هذا الشخص المريض لا بد أن يكون ميتًا. وهذا يتم ليُ المنطق لكي يستوعب العاطفة. والمريض بمتلازمة كوتارد يعتقد حقًّا أنه ميت، وقد يُدعى حتى أنه يشم رائحة لحم متوفن. وهذا المريض سيوافقك على أن الميت لا ينழف، لكن إذا وخرته بإبرة، فسوف يبدو منهشًا، ثم يسلّم في نهاية الأمر بأن الميت ينழف حقًّا.

المقصود أن ثمة إصابات (أو حالات تلف) محددة للمخ تسبب حالات خلل محددة أيضًا وقابلة للتكرار. ومما لا يثير العجب أن حدوث تلف في نفس المنطقة من المخ يسبب نفس حالة الخلل في أشخاص مختلفين، وبين نفس الطريقة في الحيوانات المختلفة. وفي بعض الحالات، تُلحق حالات التلف هذه الضرر بعملية المعالجة العصبية الحسية مسبباً حالات مثل عدم الحركة، وهي متلازمة غريبة أخرى؛ إذ لا يستطيع المرء أن يدرك الأجسام المتحركة، ولكنه بدلاً من هذا يرى العالم بأنه مضاء بأنوار الديسكو الوامضة؛ مما يجعل من المستحيل تقريرًا أن يقدّر سرعة السيارات المتحركة أو أن يملأ حتى كوبًا من العصير. وفي حالات أخرى تُسبّب حالات تلف أخرى تغيرًا في درجة الوعي ذاته؛ فالمريض بحالة فقدان الذاكرة المؤقت الشامل لا يستطيعون تذكر الماضي

ولا التخطيط للمستقبل، ولا يُعْون سوى ما هو حاضر في زمانهم ومكانتهم. أما المرضى بمتلازمة أنطون فيكونون عمياناً ولكنهم يذكرون هذا. والمرضى بحالة إنكار المرض (عمة العاهة) يُصرّحون بأنهم بخير ولكنهم في الحقيقة مصابون بحالة خلل تشبه الشلل. ويقول الواحد منهم: «لا شيء بي أيها الطبيب، إنتي فقط أحصل على قسط من الراحة». والمرضى بحالة تعدد إدراك الألم يشعرون بالألم، ولكنهم لا يدركون خاصيته المؤذية للنفس؛ أي إنهم لا يشكون من الوجع. والمرضى بالإبصار الأعمى يكونون غير واعين بقدرتهم على الإبصار (فهم عميان بالفعل) ولكنهم مع ذلك قادرون على الإشارة بشكل صحيح إلى الأجسام التي أمامهم إذا طلب منهم هذا. وهذه الحالة الأخيرة تم إظهارها عملياً في قرود الملاك التي دُربَت على الاستجابة كلما رأت (أو فشلت في رؤية) جسم ما. وهي واحدة من حالات مشابهة كثيرة صارت جلية بفضل براعة جيل صاعد من علماء علم النفس التجريبي الذين يدرسون الوعي لدى الحيوانات.

يا لها من حالات خلل عجيبة الشأن! ولكن من خلال الدراسات الدقيقة التي أجرتها علماء الأعصاب على مدى القرن الأخير أو أكثر تم بحث حقيقتها، وإمكان تكرارها، وأسبابها (السبب في معناه المحدود المتمثل في حدوث حالة تلف في جزء معين من المخ). وتحت حالت عجيبة بنفس القدر من قطع للاتصالات العصبية إذا تم تنبية أجزاء معينة من المخ بالأقطاب الكهربية. ولقد أجري هذا – منذ بضعة عقود على الأسس – على مئات من الناس كانوا يعانون حالات صرعية شديدة غير قابلة للعلاج، وكانت تسبب في أسوأ درجاتها نوبات تشنجية معممة تؤدي إلى فقدان مفعج الوعي، وأحياناً ما كانت تؤدي إلى حالة خرف أو شلل جزئي. وكان الكثير من المرضى الذين تُجرى لهم جراحة عصبية لعلاج الصرع يعملون – بإرادتهم وبكامل وعيهم – كحيوانات تجارب وهم يصفون أحاسيسهم شفهياً للجراح. وهكذا صرنا نعرف أن تنبية منطقة معينة من المخ يُولد إحساساً قاهراً بالاكتئاب، وهو يتبدّل بمجرد إيقاف التنبية، وأن تنبية أجزاء أخرى يُسبّب حالات عقلية أو يجلب إلى الذهن مقطوعات موسيقية. وتنبية بقعة محددة على ارتفاع ما قرب السقف.

في وقت حدث، استُخدِمَتُ أساليب معقدة بارعة للحصول على نتائج مشابهة، باستخدام خوذة تسلط مجالات مغناطيسية ضعيفة لتحدث تغيرات كهربائية في مناطق مخية معينة بدون جراحة. وقد حققت تلك الخوذة شهرة في أواسط التسعينيات، حينما

بدأ مايكل بيرسونجر، بالجامعة اللورنتية في كندا، في تنبيه الفص الصدغي (تحت صدغي الرأس) ووْجَد أنه أحدث بدرجة غير قليلة (في ٨٠ بالمائة من الناس) خيالات روحية، وإحساساً بوجود الرب، أو حتى وجود الشيطان، في الغرفة. ولم تثبت أن عُرِفت بالخوذة الإلهية، وإن كان فريق من الباحثين السويديين قد أبدى شكّه في هذه النتائج. كما أن مُعِدّي برنامج «هورايزون» الوثائقي العلمي الذي ينتجه التليفزيون البريطاني قاموا باستضافة أحد الملحدين المشهورين ويدعى ريتشارد دوكينز إلى كندا لتجربة ما يُسمى الخوذة الإلهية عام ٢٠٠٢. ولكن مما خَبَأَ أملهم، بلا شك، أنها لم تُحْدِث تجربة روحية مماثلة لدى دوكينز. وقد فَسَرَ بيرسونجر هذا الإخفاق بقوله إن دوكينز كانت درجاته سيئة فيما يتعلّق بالقياس النفسي الذي يقيس الميل لحساسية الفص الصدغي؛ بمعنى أن الأجزاء الروحية (أو العقائدية) من المخ كانت – في أفضل حالاتها – مُحبَّدة. إلا أن الكاتبة وعالمة النفس التجريبية المعروفة سوزان بلاكمور كانت أكثر تأثيراً، فقالت: «حينما ذهبت إلى معمل بيرسونجر وخضعت لخطوات تجربته مررت بأغرب خبرات حياتي على الإطلاق ... وسوف أدهش إذا تبيّن لي أنه مجرد تأثير وهمي». ويجادد بيرسونجر في توضيح أن إحداث الأحساس الخيالية العجيبة بطريقة فيزيائية لا يصطدم مع الإيمان بوجود الرب؛ فلا بد أن هناك «آلية فيزيائية ما لنقل الخبرات والتجارب فوق الطبيعية».

المغزى أن المخ، والعقل بنفس المفهوم، مقسّم إلى مناطق متخصصة. لسنا واعين مطلقاً بهذه الأنشطة الداخلية. وتتضح هذه الصورة من خلال تأثير بعض العقاقير التي تخامر العقل، والتي تؤثّر كذلك على مناطق شديدة التحديد. فالعقاقير المهلوسة، مثل إس دي، والسيلوسيبين (أحد مكونات بعض أنواع عش الغراب) والمسكالين (مركب يُوجَد في بعض أنواع الصبار)، على سبيل المثال، تؤثّر كلها على نمط محدد من المستقبلات العصبية (وهي مستقبلات السيروتونين) يُوجَد في خلايا عصبية محددة (وهي الخلايا العصبية الهرمية) في مناطق معينة من المخ (وهي الطبقة الخامسة من القشرة المخية). وكما قال كريستوف كوخ عالم الأعصاب في جامعة كالتك في باسارينا بالولايات المتحدة، فإن تلك العقاقير لا تلحق الضرر والاضطراب بالتوصيلات العصبية للمخ بشكل شمولي. وبالمثل فإن الكثير من العقاقير المضادة للأكتئاب أو المضادة للذهان تتميّز بتأثيرات محددة الأهداف جدّاً. وهو ما يدل على أن الوعي أيضاً لا ينبع بشكل شمولي من الأفعال العامة للمخ، ولكنه خاصية تتصل بالصفة التشريحية المحددة للمخ

الذي يتكون من عدد من المناطق، وإن كانت تلك المناطق تتعاون في انسجام في جميع الأوقات. ومن الإنصاف أن نقول إنه لا يوجد سوى القليل من الاتفاق حول هذا النوع من الأفكار حتى بين علماء الأعصاب، ولكنني سأحاول تبرير وجهة النظر هذه في الصفحات التالية.

إن الإبصار أكثر تعقيداً مما يبدو، ولكن لا يمكننا تبيين هذا التعقيد من خلال الفحص الذاتي، بأن «نفك» في كيفية رؤيتنا للأشياء وفيما نراه منها، ولا يمكن للفيلسوف يتفكر في هذا الأمر منطقياً أن يتبنّى بكتهنه. إن عقولنا الوعية لا يمكنها التوصل إلى الآليات العصبية التي يقوم عليها الإبصار. ولقد تمكّن السابقون بالكاد من إدراك المدى الذي تنقسم عنده المعلومات إلى أجزائها ومكوناتها، إلى أن أجريت دراسات رائدة على يد عالمين، هما ديفيد هابل وتورستن ويزل – في جامعة هارفرد – بدءاً من عقد الخمسينيات إلى ما بعدها، وقد حصلا عن أبحاثهما تلك على جائزة نوبل في عام ١٩٨١ (بالاشتراك مع روجر سبيري). أدخل هابل وويزل أقطاباً كهربية دقيقة في مخاخ القطط بعد تخديرها. وأثبت العالمان حدوث تنشيط لمجموعات مختلفة من الخلايا العصبية من قبل الأوجه المختلفة للمشهد البصري. إننا نعرف الآن أن كل صورة نراها يتم تجزئتها إلى نحو ثلثتين قناعة أو أكثر؛ ومن ثم فإن بعض الخلايا العصبية تنشط فقط حينما تتلقى صورة لحافة جسم ما تتحرك في اتجاه معين، في خط قطري أو أفقي أو رأسي، على سبيل المثال، وتنشط خلايا أخرى كاستجابة لتلقي صفة التباين المرتفع أو المنخفض، أو عمق المشهد، أو لون معين أو الحركة في اتجاه معين ... وهكذا. كما يتم تحديد الموقع المكانى لكل صورة منها بالنسبة للمجال البصري، حتى إن موقع خط أفقي داكن في الركن العلوي الأيسر للمجال البصري يحفز مجموعات عدة من الخلايا العصبية كي تنشط، بينما يُنبئ خطٌ مماثلٌ في الركن السفلي الأيمن بمجموعة مختلفة من الخلايا العصبية.

وفي كل خطوة تضُع المناطق البصرية في المخ خريطة طوبوغرافية للعالم. ولكن لا يصير لهذه الخريطة أي معنى إلا لاحقاً. وهو نفس نوع المعنى الذي حيرَ «دكتور بي» المسكين الذي ذكرناه من قبل. ولكي تبلغ معنى ما، مثل اكتشاف حيوان مفترس كالنمر وتمييزه، تحتاج المعلومات البصرية لأن ترتبط معًا في مراحل عدّة؛ إذ يتم ربط الخطوط والألوان معًا في شكل أشرطة، وتحديد ملامح جسد النمر الرابض وفي النهاية يتم بناءً على الخبرة السابقة التعرف الكامل على النمر القابع خلف الشجيرات. ولا تحصل سوى

المراحل الأخيرة من هذه العملية على التمثيل الوعي بالمخ؛ فالغالبية العظمى مما يحدث من معالجات بصرية لا يرى نور العقل مطلقاً.

كيف يتم ربط كل هذه القطع المقسمة من المشهد معاً مجدداً للحصول على إبصار متراطئ؟ يبقى هذا السؤال واحداً من أكثر موضوعات علم الأعصاب إثارة للاهتمام، ولم تتم الإجابة عنه بشكل يرضي الجميع حتى الآن. ولكن لنجيب عنه بصفة عامة نقول إن الخلايا العصبية تنشط بشكل متزامن؛ فالخلايا العصبية التي تنشط (أي تطلق نبضاتها) معاً ترتبط معاً. والتوقيت الدقيق أمر جوهري. في أواخر ثمانينيات القرن العشرين اكتشف وولف سنجر وزملاؤه في معهد ماكس بلانك لأبحاث المخ في فرانكفورت بألمانيا لأول مرة نمطاً جديداً من الموجات المخية، يمكن التقاطه بجهاز تحظيط كهربائية الدماغ، يُعرف الآن باسم «ذبذبات جاما». ° ووجدوا أن المجموعات الكبيرة من الخلايا العصبية تصير متزامنة في نمط مشترك، فتطلق نبضاتها مرتين كل ٢٥ ملي ثانية تقريباً، أي حوالي ٤٠ مرة في الثانية أو ٤٠ هرتز في المتوسط. (في الواقع، يتراوح المدى من حوالي ٣٠ إلى ٧٠ هertz، وهو أمر مهم سنعود إليه فيما بعد).

هذه الأنماط المتزامنة لإطلاق الشحنات والنبضات هي بالضبط ما كان فرنسيس كريك يبحث عنه. وبعد إنجازات كريك المشهورة في حل شفرة الدي إن إيه تحول بعقله الفد لحل مسألة الوعي؛ فعمل مع كريستوف كوخ للبحث عن نوع معين من نمط إطلاق النبضات الذي يمكن أن تصير له علاقة بالوعي ذاته، وقد أطلق عليه «العلاقات العصبية للوعي».

كان كريك وكوخ يدركان بشدة أن الكثير مما يجري في عملية المعالجة البصرية يبقى خارج نطاق الوعي. وهذا يجعل مسألة الوعي أكثر غرابة. فكل المدخلات الحسية إلى المخ تأتي عن طريق خلايا عصبية تطلق نبضاتها، إلا أن بعض أنماط نبضات الخلايا العصبية يستقبلها الماء بشكل واعٍ؛ ومن ثم تصير مدركين للون ما أو وجه ما، بينما لا ينطبق هذا على الأنماط الأخرى (وهذا يشمل جميع صور المعالجة البصرية اللاوعية للخطوط والتباين والمسافات ... إلخ). فما الفرق إذن؟

يرى كريك وكوخ أنه لا سبيل إلى معرفة الفارق ما دمنا لا نعرف حتى أي أنماط الخلايا العصبية ينتج عن نشاطها استقبال واعٍ وأيها ليس كذلك. وكان ما أرادا التوصل إليه هو مجموعة من الخلايا العصبية التي تبدأ في إطلاق نبضاتها في نفس اللحظة التي يصير عندها الشخص واعياً بشيء ما (كرؤية كلب على سبيل المثال). وينقطع هذا

النشاط بمجرد أن يتحوّل انتباه الشخص إلى شيء آخر. وقد افترض كريك وكوخ أنه لا بد أن هناك شيئاً ما مختلفاً فيما يتعلق بإطلاق الخلايا العصبية لنبضاتها، الذي يؤدي بالفعل إلى الإدراكات الوعائية. ولقد صارت محاولة التوصل إلى العلاقات العصبية للوعي من الأمور ذات الأهمية الكبيرة لدى علماء الأعصاب. وقد أثارت نبذات الـ ٤٠ هرتز مخيلتهم؛ لأنها قدّمت – ولا تزال تقدّم – حلًا فكريًا منطقىً؛ فالخلايا العصبية التي تطلق نبضاتها معًا ترتبط عبر التلافيف الكبرى للمخ في أي لحظة. يتم اختزال جميع الدوائر الكهربائية المتوازية إلى مخرج متسلسل بفعل الزمن نفسه. ومن ثم يتفاوت الوعي من لحظة لأخرى مثل الآلات الموسيقية في الأوركسترا؛ إذ ترتبط الجمل اللحنية المتشعببة معًا في تناغم في كل لحظة. وكما قال الكاتب تي إس إليوت: إنك أنت الموسيقي حتى تتوقف الموسيقى.

إن هذه الفكرة مُغْرِية، ولكنها سرعان ما تزداد تعقيدًا حينما تفكّر فيها. والمشكلة الأساسية هي أن الارتباط لا بد أن يحدث في مستويات متعددة، وليس ضمن الجهاز البصري فحسب. ويبدو أن الأوجه الأخرى للعقل تعمل بنفس الطريقة بدرجة كبيرة، منها الذاكرة على سبيل المثال. يذكر إحصائي الكيمياء العصبية ستيفن روز في كتابه «صنع الذاكرة» كم كان يشعر بالحيرة من الطريقة التي تتبدّل بها الذكريات مثل الدخان من المخ؛ فلا يبدو أن تلك الذكريات «مستقرة» في مكان واحد بعينه. وقد اكتشف فيما بعد أن السبب هو أنها تتفتّت إلى مكوناتها وأجزائها بطريقة تماثل بدرجة كبيرة ما يحدث للإبصار. فاكتشف روز، على سبيل المثال، أن الأفراخ حديثة الفقس التي تلتقط حبات ذات نكبات معينة سرعان ما تتعلم أن تتجنب الحبات ذات الطعم اللاذع التي تتسم بلون معين، ولكن ذاكرتها تخزن على نحو مجرّأً: فاللون له مكان، والشكل له مكان آخر، والحجم أو الرائحة أو الطعم اللاذع لها أماكن أخرى مختلفة ... وهكذا. ويطلب تكوين ذاكرة متلاحمة إعادة ربط كل هذه العناصر معًا، بما يشبه عملية إعادة عرض. ويُظهر بحث حديث بجلاء أن إعادة ربط مكونات الذاكرة تعتمد على إطلاق نبضات من نفس طاقم الخلايا العصبية التي استجابت للخبرة الأولى سابقاً.

ويذهب عالم الأعصاب أنطونيو داماسيو إلى أبعد من هذا؛ إذ يدخل «الذات» ضمن المزيد من الخرائط العصبية. وهو يُميّز بدقة بين العواطف والمشاعر (البعض يرى أنه مفرط الدقة في تمييزه هذا)؛ إذ يقول داماسيو إن العاطفة (أو الانفعال) تُعتبر، بدرجة كبيرة، خبرة جسمانية بدنية. إذ تقلص الأمعاء بفعل الخوف، وتتسارع دقات القلب،

وتتعرق اليدان، وتتسع العينان، وتتسع حدقتا العينين، ويلتوى الفم ... إلخ. وهذا سلوك لإرادي، يتجاوز حدود سيطرتنا إلى حد بعيد، بل ويتجاوز قدرتنا على التخيل، على الأقل بالنسبة للذين يعيشون أسلوب حياة مدنية وادعة. وبالنسبة لي شخصياً، فعلَ مدار جميع سنوات حياتي، لم يحدث لي سوى مرتين أو ثلاث مرات أن سيطر على شعور «حيواني» حقيقي بالرعب، وأقصد بهذا الاستجابة الانفعالية التي قبضت أمعائي وسيبَّأْت لي بشدتها صدمة في داخلي. فلقد شمت رائحة خوف في مرة واحدة فقط لنَّاسِها، وسيبَّأْت لي اضطراباً وارتباكاً. ويقول داماسيو إن جميع الانفعالات، حتى الأكثر تدرجًا منها تكون بدنية؛ موضعها الجسم. ولكن الجسم ليس بمعزل عن العقل؛ فهذا مرتبط بذلك. وكل هذه الحالات الجسمانية تتصل بالمخ عن طريق الأعصاب والهرمونات، وترسَّم في المخ خريطة للتغير في الحالة الجسمانية، جزءاً جزءاً، عضواً عضواً، وجهاً زجاً. ويحدث أغلب هذا الرسم في الأجزاء الأكثر قدماً في المخ، بما فيها جذع المخ والدماغ الأوسط اللذان تقع فيهما المراكز الحيوية الخطيرة في مخاخ جميع الفقاريات. وهذه الخرائط العقلية تكون المشاعر والأحساس، التي تُعتبر الانطباعات التصويرية العصبية للانفعالات الجسمانية. وأما عن كيف تؤدي تلك الانطباعات العصبية (وهي بالأساس معلومات) إلى إحساس شخصي بشعور ما، فهي نقطة نقاش سنعود إليها قريباً.

ولكن حتى المشاعر ليست كافية لداماسيو؛ إذ يقول إننا لا نكون واعين إلى أن نبدأ في الشعور بمشاعرنا، حتى نعرف ماهية الشعور. وهذا يعني المزيد من الخرائط في المخ بالطبع. ومن ثم تُعتبر الخرائط العصبية الأولية تضع تخطيطات لكافة جوانب أجهزتنا الجسمانية، وتشمل النشاط العضلي، ومحومضة المعدة، وسكريات الدم، وسرعة التنفس، وحركات العينين، والنَّبض، وامتلاء المثانة ... إلخ. ويحدث هذا التخطيط ويتكسر سريعاً لحظة بلحظة. ويرى داماسيو إحساسنا بذاتنا باعتباره ناشئاً عن جميع هذه التقارير الجسمانية، بادئاً في صورة ذات أولية لا واعية، وبالأساس في شكل عملية قراءة قوية للحالة الجسمانية. وينبع الوعي الحقيقي للذات من الطريقة التي يتم بمقتضاها تعديل هذه الخرائط فيما يتعلق بأجسام أو أشياء مادية تُوجَد في العالم الخارجي، أشياء مثل ابنك أو امرأة معينة، أو جرف يثير الدوار، أو رائحة القهوة، أو مفتاح التذاكر ... إلخ. كل هذه الأشياء المحسوسة يتم استقبالها مباشرةً من قبل الحواس، ولكنها تولد أيضاً استجابة انفعالية في الجسم، وهذه تلتقطها خرائط الجسم العصبية في المخ لتوليد شعور ما. وهكذا، فإن الوعي هو معرفة كيف تعدل الأشياء الموجودة في العالم الذات؛

أي بتكوين خريطة لكل هذه الخرائط، وكيف تتغير، أي بتكوين خريطة من رتبة ثانية. إنها خريطة تُبيّن كيف تكون علاقة هذه المشاعر بالعالم، خريطة تكسب إدراكاتنا قيمةً ومعاني.

كيف يتم صنع كل هذه الخرائط؟ وكيف يرتبط بعضها ببعض؟ تأتي أكثر الإجابات عن هذا السؤال إقناعاً من عالم الأعصاب جيرالد إديلمان، الذي – بعد أن فاز بجائزة نوبل عن مساهماته في علم المناعة في عام ١٩٧٢ – كرس العقود التالية لدراسة الوعي. وتنهل أفكاره من نفس المعين الذي ينهل منه بحثه في علم المناعة؛ وهو قوة الانتقاء داخل الجسم. ففي حالة علم المناعة، ساعد إديلمان على إظهار كيف يمكن تنشيط جسم مضاد واحد بشكل انتقائي بعد تلامسه بنوع بكتيريا ما؛ إذ يؤدي الانتقاء إلى تكاثر الخلايا المناعية المنتصرة على حساب الآخريات. وبعد مرور نصف عمر الخلايا المناعية، تعتمد تخصصية تلك الخلايا في مجرد دمك بدرجة كبيرة على خبراتك، وليس على جيناتك مباشرةً. ويقول إديلمان إن هناك نمطاً مشابهاً من الانتقاء يعمل في المخ باستمرار. ففي هذه الحالة يتم انتقاء مجموعات من الخلايا العصبية وتنميتها من خلال الاستعمال، بينما تذوي مجموعات أخرى من جراء عدم الاستعمال. وهنا أيضاً تسود المجموعات الفائزة، كما تتحدد العلاقات بين الخلايا العصبية بالخبرة المتراكمة، ولا تتحدد بالجينات مباشرةً.

يحدث الأمر بهذه الكيفية. فأثناء التطور الجنيني داخل الرحم يتم تزويد المخ بالوصلات (أي الألياف العصبية) على صورة كتلة غير متشعبة، مع وجود حزم من الألياف العصبية تربط بين المناطق المختلفة في المخ (فتربط بين العصب البصري والماركز البصري في المخ، ويتوكلون الجسم الجاسئ الذي يربط بين النصفين الكرويين للمخ ... إلخ) ولكن لا يحدث تقريباً أي تخصص أو إدراك للمعنى. باختصار، تعمل الجينات على تخصيص الدوائر العصبية العامة بالمخ، بينما تعمل الخبرة على تخصيص الألياف العصبية بالتحديد وجميع التفاصيل المقردة الخاصة التي تلزمها. ويأتي المعنى غالباً مع الخبرة، التي تكتب مباشرةً في المخ. وكما يقول إديلمان فإن «الخلايا العصبية التي تطلق نبضاتها معًا ترتبط أليافها معًا». ^٦ بمعنى أن الخلايا العصبية التي تطلق نبضاتها في نفس الوقت تقوّي وصلاتها (التي تُسمى التشابكات العصبية) وتكون المزيد من الوصلات التي تربط مادياً بين الألياف العصبية. وهذه الوصلات تتكون موضعياً

ضمن مجموعات من الخلايا العصبية (إذ تساعد على ربط الأوجه المختلفة من المعلومات البصرية معًا على سبيل المثال)، ولكنها أيضًا تربط — عُبَرَ مسافات بعيدة — بين المراكز البصرية والمراكز العاطفية أو الكلامية. في نفس الوقت تضعف وصلات تشابكية أخرى شيئاً فشيئاً، أو تختفي تماماً؛ إذ لا تُوجَد بين خلاياها العصبية أمور مشتركة إلا القليل.

وبعد الولادة بقليل، ومع تسارع وتيرة تدفق الخبرات وتجمُّعها يجري تشكيل المخ من الداخل، فتموت مليارات من الخلايا العصبية؛ بنسب تتراوح من ٢٠ بالمائة إلى ٥٠ بالمائة من جميع تلك الخلايا، وتُفقد في غضون الشهور الأولى من حياة الطفل الوليد، كما تُفقد عشرات المليارات من الوصلات التشابكية الضعيفة. وفي نفس الوقت تتم تقوية وتدعيم عشرات التريليونات من التشابكات العصبية؛ مما يؤدي إلى تكوين ما يصل إلى ١٠ آلاف تشابك عصبي لكل خلية عصبية في بعض مناطق القشرة المخية. وهذه المرونة التشابكية تكون أكبر ما يمكن في السنوات المبكرة التي يتشكل فيها الجسم (والجهاز العصبي على الأخص)، ولكنها تستمر طوال حياة الإنسان. قال الكاتب الفرنسي مونتين يوماً إن كل إنسان تعلَّى سن الأربعين يكون مسؤولاً عن وجهه. وكذلك نحن بلا شك مسؤولون عن مخاخنا.

قد تتساءل عن الكيفية التي تسهم بها الجينات الوراثية في هذه العملية بالضبط. تفعل الجينات هذا عن طريق تخصيص البنية العصبية العامة، وأيضاً تحديد الحجم والتطور النسبيين لمناطق المخ المختلفة. وهي تؤثِّر في احتماليةبقاء الخلايا العصبية حية، وقوتها وصلاتها التشابكية، والنسبة بين الخلايا العصبية التنبهية والتثبيطية، والتوازن الكلي للنواقل العصبية المحددة ... إلخ. وتسهم هذه التأثيرات في تحديد شخصيات البشر وكذلك قابليتهم لأن يصيروا مدمنين للرياضيات الخطيرة أو للمخدرات، أو عرضة للإصابة بالأكتئاب الشديد، أو يُفضلون التفكير المنطقي. وبهذه الطريقة تؤثِّر الجينات في مواهب البشر وخبراتهم أيضاً. إلا أن الجينات لا تحدِّد تخصصية البنية التركيبية العصبية للمخ بالتفصيل. فكيف هذا؟ للإجابة نقول إنه لا سبيل أمام ٣٠ ألف جين فقط لأن تحدِّد مصير التشابكات العصبية في القشرة المخية والتي يبلغ عددها، كما يزعم كوخ، ٢٤٠ تريليوناً (علمًا بأن التريليون يساوي ألف مليار). ولو حدث هذا لكان الجين الواحد مسؤولاً عن ٨ مليارات من التشابكات العصبية.

يشير إديلمان إلى عملية تطور المخ باسم «الداروينية العصبية»، وهو ما يركز على فكرة أن الخبرة تنتهي المجموعات العصبية الناجحة. كل القواعد الأساسية للانتقاء

ال الطبيعي موجودة؛ إذ نبدأ بعدد هائل من الخلايا العصبية، وتلك يمكن أن تتشابك بملفين الطرق المختلفة لتحقيق نفس النتائج. وتنافس الخلايا العصبية فيما بينها ويمكن إما أن تنمو وتقوى وإما أن تنتهي وتذوي. ويحدث تنافس بين الخلايا العصبية لتكوين وصلات تشابكية والبقاء التفاضلي على أساس النجاح؛ إذ تكون «أنسب» مجموعات الخلايا العصبية وأنفعها أكثر الوصلات التشابكية. وقد اشتهر عن فرانسيس كرييك أنه قال متندراً إنه يفضل أن يسمى العملية كلها «إديلمنانية العصبية»؛ إذ إن التوازي بين الانتقاء الطبيعي وتطور المخ مصطنع بعض الشيء. إلا أن علماء الأعصاب صاروا اليوم متقبلين للفكرة الأساسية على نطاق واسع.

ولقد قدّم إديلمان مساهمة ثانية مهمة في الأساس العصبي للوعي؛ وهي فكرة الدوائر العصبية المتعددة، أو ما أسمتها إديلمان «الإشارات المتوازية الراجعة من جديد» (وهي تسمية غير موفقة إلى حدٍ ما). يقصد إديلمان بهذه التسمية أن الخلايا العصبية التي تطلق نبضاتها في منطقة ما ترتبط بخلايا عصبية أخرى في مناطق بعيدة، وبهذه ترد النبضات من خلال وصلات أخرى لتكون دائرة عصبية عابرة متناغمة، وبعدها تقوم المدخلات الحسية المتنافسة بتبييد تجميعية الخلايا العصبية وتستبدل بها واحدة أخرى سريعة الزوال، تعاود العملية في انسجام. هنا تنسجم أفكار إديلمان بجلاء مع آفكار كرييك وكوخ وكذلك وولف سنجر (وإن كان من الواجب القول إن المرء يجب أن يقرأ ما بين السطور لكي يتوصل إلى أوجه التشارك بينهم، فنادرًا ما وجدت مجالاً يعمد فيه رواده إلى عدم ذكر بعضهم بعضاً للإحالة والمراجعة مثل هذا المجال، بل ويندر حتى أن يُقدم البعض منهم على شجب الأفكار غير الموقعة لخصومهم أو انتقادها).

يعمل الوعي على نطاق يتراوح من عشرات إلى مئات من ملي ثانية.⁷ فإذا عرضت صورتان أمام الإنسان لحظياً، بينهما زمن مقداره ٤٠ ملي ثانية، فلن يدرك على نحوِ إلا الصورة الثانية فقط، ولن يرى الصورة الأولى. إلا أن استخدام التنبيه بالأقطاب الدقيقة ووسائل المسح التصويري للمخ (مثل الرنين المغناطيسي الوظيفي) يظهر أن المراكز البصرية في المخ تلتقط الصورة الأولى بالفعل، لكنها لا تعيها مطلقاً. ولكي يحدث الوعي، يبدو على الأرجح أنه يجب على أي مجموعة عصبية أن يتذبذب أفرادها معًا لعشرات وربما مئات من ملي ثانية؛ وهو ما يعود بنا مجدداً إلى ما ذكره سنجر عن نذبذبات الـ ٤٠ هرتز. ولقد أظهر كلٌّ من سنجر وإديلمان أن المناطق البعيدة بالمخ تتذبذب بالفعل في تزامن بهذه الكيفية؛ فهي تكون دائرة مغلقة معًا وهو ما يُسمى

«الانغلاق المرحلي». تنغلق مجموعات أخرى من الخلايا العصبية معًا في أطوار ومراحل مختلفة، بمعدلات أسرع أو أبطأ قليلاً. ومبديًا نقول إن هذا الغلق المرحلي يمكننا من التفرقة بين الأوجه المختلفة من نفس المشهد الذي نراه. ومن ثم فإن جميع عناصر سيارة خضراء تنغلق مرحليةً معًا، بينما تنغلق جميع عناصر سيارة زرقاء قريبة منها مرحليةً بشكل مختلف قليلاً، بما يضمن لا تختلط وتتشوش صورتا السيارتين في الذهن. فكل وجه من أوجه المشهد البصري يحدث له انغلاق مرحلي بشكل مختلف قليلاً.

كان لسنجر فكرة رائعة تفسّر كيف ترتبط كل هذه الذبذبات المنغلقة مرحليةً معًا عند مستوى أعلى؛ عند مستوى الوعي ذاته، وبتعبير آخر: الكيفية التي ترتبط بها هذه الذبذبات بالدخلات الحسية الأخرى (السمع، والشم، والذوق ... إلخ) وبالشعور والذاكرة واللغة؛ لإنتاج إحساس تكاملی بالوعي. وهو يُسمّي هذا «التصافح العصبي» الذي يسمح بحدوث «التسكين» الطبيعي للمعلومات، بحيث تجد المعلومات الأصغر حجمًا أو الأقل قدرًا مكانها ضمن الصورة الأكبر. والطبقة العليا فقط، التي تعتبر أشبه بالملحّص التفيلي لجميع المعلومات غير الواقعية، هي التي يتم إدراكتها على نحوٍ واعٍ.

ويعتمد التصفح العصبي على حقيقة بسيطة؛ فحينما تطلق الخلية العصبية نبضاتها يحدث لها إزالة لاستقطاب، فلا يمكنها أن تطلق نبضاتها مجددًا إلا من بعد أن يُعاد استقطابها. وهذا يستغرق بعض الوقت. وهذا يعني أنه إذا وصلت إشارة عصبية أخرى أثناء فترة الراحة التي تستعيد فيها الخلية العصبية استقطابها فسيتم تجاهلها. ضع في اعتبارك أنه إذا كانت خلية عصبية ما تطلق نبضاتها بمعدل ٦٠ مرة في الثانية (أي ٦٠ هرتز) فإنها تقيّد باستقبال إشارات آتية فقط من خلايا عصبية تطلق نبضات في تزامن مرحلي. ومن ثم، على سبيل المثال، إذا حدث أن كانت مجموعة ثانية من الخلايا العصبية تطلق نبضاتها بمعدل ٧٠ مرة في الثانية (أي ٧٠ هرتز) فستخرج عن نطاق التزامن مع المجموعة الأولى في أغلب الوقت. وبهذا تصير المجموعتان مستقلتين ولا تستطيعان التصفح. من ناحية أخرى، إذا كانت مجموعة ثالثة من الخلايا العصبية تطلق نبضاتها ببطء أكثر، بمعدل ٤٠ هرتز مثلاً، فستكون هناك فترة أطول كثيراً حتى تتمكن هذه الخلايا من استعادة استقطابها وتكون جاهزة للإطلاق مجددًا؛ أي إنها تكون ببساطة في انتظار المنبه الصحيح. وتلك الخلايا يمكنها الاستجابة للخلايا الأخرى التي تتذبذب بمعدل ٧٠ هرتز. وبتعبير آخر نقول: كلما كان التذبذب أبطأ؛ كان تراكم المراحل أكبر ويكون احتمال التصفح مع مجموعات أخرى من الخلايا العصبية أفضل.

وهكذا نجد أن أسرع الذبذبات تربط معًا الأوجه المنفصلة من المشهد البصري، والروائح، والذاكرة، والعواطف ... إلخ. وكل منها كوحدات مستقلة، بينما تربط الذبذبات الأبطأً معًا جميع المعلومات الحسية والجسمانية في كلٌّ موحَّد (وهي خريطة الرتبة الثانية لداماسيو)، وتُعتبر هذه لحظة في تدفق الوعي.

لم يثبت من هذا بما لا يدع مجالاً للشك إلا القليل، ولكن هناك الكثير من الأدلة التي تتناغم على الأقل مع هذه الصورة. والأهم من هذا أن هذه الأفكار تصنع تنبؤات يمكن اختبارها، مثل فكرة أن ذبذبات الـ ٤٠ هرتز ضرورية لربط محتويات الوعي، وعلى العكس من هذا، فإن فقدان هذه الذبذبات يعادل فقدان الوعي. وإذا وضعنا في الاعتبار صعوبة إجراء هذه القياسات (التي تتطلب قياس معدلات إطلاق النبضات من آلاف من أفراد الخلايا العصبية عَبْر المخ في وقت واحد) فقد تمر سنوات قبل أن يتم إثبات هذه الفرضيات أو غيرها.

وحتى في هذه الحالة تساعد هذه المفاهيم، بوصفها إطاراً تفسيرياً، على جعل الوعي مفهوماً. فهي تظهر على سبيل المثال كيف يمكن أن ينشأ الوعي الممتد من الوعي الأولي؛ إذ يعمل الوعي الأولي في الزمن الحاضر، معيناً بناء نفسه لحظة بلحظة، واضعاً تصوراً لكيفية تعديل النفس بالاستعانة بأشياء خارجية، وكاسيماً الإدراكات بثوب من المشاعر والأحساس. يستخدم الوعي الممتد الآليات عينها، ولكنه يربط الذكريات واللغة بكل لحظة من الوعي الأساسي، مطابقاً بين المعنى العاطفي والماضي الذاتي الشخصي، وواصفاً المشاعر والأشياء بالكلمات ... إلخ. ومن ثم، يبني الوعي الممتد على أساس المعنى العاطفي، مدمجاً الذكرة واللغة والماضي والمستقبل في منظومة الزمان والمكان الحاضرين للوعي الأساسي. وتسمح آليات التصاقح العصبي ذاتها لامتدادات شاسعة من الدوائر المتوازية بأن ترتبط من أجل تكوين لحظة واحدة من الوعي.

أَجِدُ كُلَّ هذا قابلاً للتصديق. ولكن يبقى أعمق التساؤلات بدون إجابة؛ وهو: كيف تولَّد الخلايا العصبية الشعور في المقام الأول؟ فإذا كان الوعي هو القدرة على الشعور بشعور ما، وتوليد معنى عاطفي دقيق كتعليق مستمر على الذات في هذا العالم، فإن الصرح بأكمله يرتكز على الشعور؛ وهو ما يُسمّيه الفلسفه مشكلة الخبرات الواقعية الذاتية. وقد حان الوقت لمواجهة المعضلة مواجهة مباشرة.

إن الألم يوجع لحكمة وسبب. وقليل من الناس هم الذين يُولدون محروميين خلقياً من نعمة الإحساس بالألم. وهم يعانون أضراراً فظيعة، وغالباً ما تكون غير متوقعة. من

هؤلاء طفولة تدعى جابي جنجراس. حين كان عمرها أربع سنوات، كانت جابي موضوع فيلم وثائقي أخرجه ميلودي جلبرت عام ٢٠٠٥. لم تكن جابي تحس بالألم؛ مما جعل كل مراحل نموها وتطورها محنة وبلاءً من الإصابات والأمراض. فحينما بدأت تنبت أسنان لبنية لدى جابي قضمت أصبعها حتى وصلت للعظام، وشوهتها ب بشاعة أجربت والدتها على الذهاب لطبيب الأسنان ليخلع لها أسنانها. وحينما تعلم جابي المشي تسببت في إصابة نفسها المرة تلو الأخرى، وفي إحدى المرات كسرت فكها دون أن تدرى إلى أن أصبت بعذوى والتهاب سبب لها حالة من الحمى. والأسوأ من هذا أنها قد تنفس نفسها في عينها فتسرب إصابة تتطلب الخياطة بالغرز، التي سرعان ما تمزقها بيديها دون أن تحس شيئاً. جرب والداتها معها استخدام القبود، ثم نظارة واقية، ولكن دون جدو. وحينما وصلت إلى سن الرابعة، خضعت لعملية استئصال للعين اليسرى؛ ثم تعرّضت عينها اليمنى أيضاً لائف خطير؛ فصارت عمياً من الناحية القانونية (درجة إبصارها ٢٠ /٢٠٠). وفي وقت كتابتي لهذه السطور تبلغ جابي من العمر سبعة أعوام، وقد بدأت تتأقلم نسبياً مع حالتها الصعبة. كثيرون منن في مثل حالتها ماتوا في طفولتهم، وقليلون هم من بقوا أحياء حتى سن البلوغ، ولكنهم غالباً ما يُضطّرون للتعرض لإصابات بالغة. ولقد أنشأ والدا جابي مؤسسة أسموها «منحة الألم»، وهي تدعم الأشخاص الذين يعانون نفس الحالة (انضم إليها تسعة وثلاثون عضواً حتى الآن). واسمها على مسمى؛ فالألم نعمة بلا ريب.

ليس الألم هو الإحساس الوحيد؛ فهناك الجوع والعطش والخوف والشهوة، وكلها تندرج فيما أسماه ديريك دنتون «العواطف الأولية»، التي يصفها باعتبارها أحاسيس ملحة تسيطر على التيار الكلي للوعي، مجبرة النبات على العمل. ومن الواضح أنها جميعاً مطوعة لتحقيق بقاء الكائن الحي، أو تكاثره؛ فالشعور يدفع إلى الفعل، والفعل بدوره ينقذ الحياة أو يحفظ النوع. ولعل البشر هم الوحيدون الذين يمارسون الجنس بوعي بنية التكاثر، ولكن حتى الكنيسة لم تنجح إلا قليلاً في أن تزيل من النفوس فكرة أن الإشباع الجنسي هو الغاية من الاتصال الجنسي. فالحيوانات، ومعظم البشر، يمارسون الجنس التماساً للإشباع الجنسي وليس مجرد إنجاب الصغار. وال فكرة هنا هي أن جميع هذه العواطف الأولية هي «مشاعر»، وكلها تخدم غرضًا بيولوجيًّا، حتى إذا لم يتم تقدير هذا الغرض أو إدراكه في كل الأحوال. والألم، فوق غيره من المشاعر كلها، شعور غير سار. ولكن لو لا عنصر الوجع المزعج للألم لاذينا أنفسنا بشدة وفظاعة؛ فالشعور بالألم

بغير خاصيته المزعجة يكون بلا فائدة. والأمر نفسه ينطبق على الشهوة؛ فالجماع الآلي بغير مشاعر لا يُعد مكافأة في حد ذاته؛ فحنن، وسائل الحيوانات الأخرى تلتمس اللذة الحسية، والشعور بها. أيضًا مجرد أن يعطي الجهاز العصبي إشارة بوجود العطش إذا هام الرء على وجهه في الصحراء ليس كافيًّا، بل إنها تلك العاطفة العارمة التي «تجفف» العقل من الداخل والتي تساعد على بقائنا أحياء، وتجبرنا على اللجوء إلى إحدى الواحات، وتعتصر آخر قطرة من قوة تحملنا.

إن الفكرة القائلة إن تلك العواطف الأولية نشأت بفعل الانتقاء الطبيعي يتعرّض لها إخضاعها للاختبار. ولكن لها دلالات جوهرية، وأول من أشار إليها هو الأب المؤسس لعلم النفس الحديث والعقربي الأمريكي ويليام جيمس في أواخر العصر الفيكتوري. فقد افترض جيمس أن المشاعر، وما يستتبع ذلك من الوعي ذاته، لها منفعة بيولوجية. وهذا بدوره يعني أن الوعي ليس ظاهرة ثانوية تصاحب الكائن الحي كظلّه ولا تستطيع إحداث أي آثار مادية خاصة بها. فالمشاعر تُحدث بالفعل آثارًا مادية. وإذا كان الأمر كذلك فإن تلك المشاعر هي — بمعنى ما — مادية. وقد استنتاج جيمس أن المشاعر بالرغم من مظهرها اللامادي، فإن لها بالفعل خصائص مادية، ونشأت عن طريق الانتقاء الطبيعي. ولكن ما هي المشاعر بالضبط؟ لم يحدث بعد جيمس أن تفكّر امرؤ في هذا التساؤل بأشد مما فعل جيمس نفسه، ولقد كان الاستنتاج الذي توصلَ إليه مضادًا للبداهة ومثيرًا للإزعاج؛ إذ ذهب إلى أنه لا بد من وجود خصائص غير معروفة للمادة، أو نوع ما من «الغبار الذهني» الذي يتخلل الكون. ومع أن جيمس يُعتبر البطل المجلّ في نظر كثريين من علماء الأعصاب المرموقين اليوم، فإنه تبنّى شكلاً من الشمولية العقلية (قائلًا إن الوعي هو في كل مكان، وجزء من كل شيء)؛ مما جعل الذين مالوا إلى اتباعه قليلين حتى يومنا هذا.

لكي أعطيك إحساساً بمدى صعوبة هذه المشكلة؛ فكُر في بعض من الأجهزة مثل جهاز التليفزيون أو آلة الفاكس أو الهاتف. لا حاجة بك لأن تعرف طريقة عمل أيٍّ منها كي تدرك أنها لا تكسر قوانين علم الفيزياء. فالإشارات الإلكترونية تُشفّر مخرجاتها بشكل أو باخر، ولكن مخرجاتها دائمًا ما تكون مادية في طبيعتها؛ فهي أنماط من الضوء في حالة التليفزيون، ومجات صوتية في حالة الهاتف أو المذياع، وطبعات في حالة الفاكس. وثمة شفرة إلكترونية تنتج مخرجًا ما في وسط مادي معروف. ولكن ماذا عن المشاعر؟ في هذه الحالة تنقل الأعصاب الإشارات الإلكترونية المشفرة بنفس الطريقة

أساساً مثل التليفزيون؛ فالخلايا العصبية تحَدِّد المخرج العصبي بدقة عن طريق شفرة ما. لا مشكلة في هذا، ولكن ما هو هذا المخرج بالضبط؟ فكُّر في كل الخصائص المعروفة للمادة. فلا تبدو المشاعر مثل إشعاع كهرومغناطيسي أو موجات صوتية، ولا تصاهي أي شيء ضمن البنية المادية للذرات. إنها ليست بروتونات ولا إلكترونات، فماذا تكون بحق السماء؟ أهي أوتار متذبذبة؟ أم جرافيتونات كمية؟ أم مادة مظلمة؟^٨

هذه هي المعضلة الصعبة التي تحدَّث عنها تشايمرز. ولقد ذهب تشايمرز، مثل جيمس من قبله، إلى أنه ما من سبيل لحلها إلا من خلال اكتشاف خصائص أساسية جديدة للمادة. والسبب بسيط؛ فالمشاعر مادية، إلا أن قوانين الفيزياء المعروفة، التي يفترض استطاعتها أن تصف لنا العالم على نحوٍ وافي، ليس بها مكان للمشاعر. وعملية الانتقاء الطبيعي — مع كل ما تتمتع به من قوة — لا تخلق شيئاً من لا شيء، بل لا بد أن تكون ثمة بذرة من «شيء ما» كي تعمل عليها؛ بذرة من شعور ما، يمكنه القول، يستطيع التطوير أن يبلورها إلى ذلك العقل المهيّب. هذا ما يُسمّيه عالم الكيمياء الفيزيائية الاسكتلندي جراهام كيرنز سميث «قنبلة القبو» للفيزياء الحديثة. ويقول مفترضاً أن المشاعر إذا لم تكن تصاهي أيّاً من الخصائص المعروفة للمادة، فلا بد أن للمادة نفسها بعض الملامح الإضافية أو ما يمكن أن نُسمّيها «لاماح شخصية»، التي إذا تم تنظيمها من قبل الانتقاء الطبيعي فستنتج عنها المشاعر الداخلية التي تنتفع بها. إن المادة تتصف بالوعي بطريقة ما مع وجود خصائص «داخلية»، فضلاً عن الخصائص الخارجية التي يقيسها علماء الفيزياء. وهكذا عاد مذهب الشمولية العقلية بقوّة من جديد.

إن هذا الأمر يبدو منافيًّا للعقل، ولكن لا يدفعنا الغرور لأن نظن أننا نعرف كل شيء عن طبيعة المادة! فهذا غير صحيح. بل إننا لا نفهم حتى كيفية عمل ميكانيكا الكم. تصف نظرية الأوتار على نحوٍ رائع الكيفية التي تنشأ بها كل خصائص المادة من ذبذبات لأوتار دقيقة على نحوٍ لا يمكن تخيله داخل أبعاد لا يمكن تخيلها، عددها أحد عشر بُعداً، ولكننا لا نملك وسيلة تجريبية للتأكد من صحة أيّ من فرضيات هذه النظرية. ولهذا السبب ذكرت في بداية هذا الفصل أن موقف البابا لم يكن منافيًّا للمنطق. فنحن لا نعرف ما يكفي عن الطبيعة المتعمرة للمادة لكي نعرف كيف تحول الخلايا العصبية المادة الجامدة إلى مشاعر شخصية فيّاضة. فإذا كانت إلكترونات لها خصائص الموجات والجسيمات في نفس الوقت، فلماذا لا تكون الروح والمادة وجهين لنفس الشيء؟

اشتهر كيرنر سميث بأبحاثه عن أصل الحياة، ولكن بعد تقادُعِه تحولَ بعقله الرائع تجاه مشكلة الوعي. وكتبه عن هذا الموضوع تتسم بالتعقّل والتشويق، وتتبّع خطوات روجر بنروز وستيوارت هامروف إلى حدائق الكلم الخاصة بالعقل. وينظر كيرنر سميث إلى المشاعر باعتبارها الذبذبات المترابطة للبروتينات. وهي مترابطة مثّلماً ترابط حزمة من أشعة الليزر وتماسك؛ بمعنى أن هذه الذبذبات (التي تُسمى الفونونات) تندمج لتكون نفس الحالة الكمية. وهذه يمكن اعتبارها حالة «كمية كبيرة»، وهي كبيرة بحيث تهيمن على المسارات الكبيرة للملخ. ومرة أخرى يفترض كيرنر سميث وجود أوركسترا ما؛ حيث تندمج ذبذبات الآلات الموسيقية المفردة لتكون تاغمات فائقة. إن المشاعر هي الموسيقى، ونحن الموسيقي حتى تتوقف الموسيقى. إنه تصور جميل. وليس من غير المنطقي أن تعزو التأثيرات الكمية إلى التطور. وهناك ما لا يقل عن حالتين يُحتمل أن تكون قوى الانتقاء الصارمة قد جندت فيها آليات الكلم؛ وهما: مرور الطاقة الضوئية إلى حبيبات الكلوروفيل في عملية البناء الضوئي، ومرور الإلكترونات إلى الأكسجين في عملية التنفس الخلوي.

إلا أنني أجد صعوبة في تقبّل أن هذا ينطبق على العقل. فربما يوجد ما يُسمى العقل الكمي، ولكن ثمة مشكلات عدّة، وهي معاً تبدو لي مستعصية على التدليل. أولى تلك المشكلات وأهمها هي مشكلة لوجستية؛ إذ كيف تقفز الذبذبات الكمية عبر التشابكات العصبية؟ وكما يصرّح بنروز نفسه، فإن الحالة الكمية الكبيرة التي تكون منحصرة داخل الخلايا العصبية المفردة لا تحل المشكلة، وعلى المستوى الكمي يُعدُّ التشابك العصبي بمنزلة محيط شاسع. ولكي تتذبذب الفونونات في تناغم، فلا بد أن يكون هناك تجمع تكراري من البروتينات التي تكون متقاربة المسافات فيما بينها بحيث يتذبذب كل منها في انسجام قبل أن تذوي الفونونات. يمكن معالجة هذه الأسئلة تجريبياً، ولكن حتى الآن لا يوجد أي دليل، ولا بمثقال ذرة، على وجود الحالات الكمية الكبيرة المترابطة في العقل. بل على العكس؛ فالملخ نظام ساخن، رطب، مضطرب، ويکاد يكون أسوأ مكان لتوليد حالة كمية كبيرة.

وإذا كانت تُوجَد حقاً تلك الذبذبات الكمية المزعومة، وكانت تعتمد على وجود تجمعات تكرارية من البروتينات، إذن فماذا يحدث للوعي إذا تشتّت هذه التجمعات البروتينية بفعل الأمراض العصبية التنكسية؟ إن بنروز وهامورف يعزّزان الوعي إلى وجود أنبيبات دقيقة مجهرية داخل الخلايا العصبية، ولكن هذه الأنبيبات تتخلّل في

حالة مرض الزهايمير، وينتهي بها الأمر أن تتحول إلى الكتل المتشابكة التي تُعد علامة مميزة للمرض. وتُتوَجَّد هذه الكتل المتشابكة بالألاف في المرحلة المبكرة من مسار الحالة المرضية (وأغلبها في أجزاء المخ المسئولة عن تكوين ذكريات جديدة)، ومع ذلك يبقى الإدراك الوعي سليماً حتى مرحلة متاخرة من المرض. وبختصر القول، لا تُتوَجَّد علاقات متبادلة في هذا الشأن. والكثير مما ذكرناه ينطبق على التراكيب الكمية المفترضة الأخرى. فالأغماد النخاعية، التي تُغْلِفُ ألياف الخلايا العصبية في المادة البيضاء للجهاز العصبي تزول وتتحلل في حالة مرض التصلب المتعدد، ومرة أخرى لا يؤثر هذا، بالكلاد، على الوعي. والمثال الوحيد الذي يتفق على الأقل مع التفسير الكمي هو سلوك الخلايا الداعمة في الجهاز العصبي التي تُسمَّى الخلايا النجمية، بعد حدوث سكتة دماغية. ففي إحدى الدراسات كان عدد كبير من المرضى غير واعين لتعافيهم من السكتة الدماغية؛ فقد كان ثمة فجوة غريبة بين أدائهم الذي تم قياسه وإدراكيهم لهذا الأداء، الأمر الذي قد يُفسِّر — أو لا يُفسِّر — من منظور الترابط الكمي عَبْر شبكة الخلايا النجمية (هذا إذا افترضنا وجود تلك الشبكة أصلًا، وهو أمر يبدو محفوفاً بالشكوك).

المسألة الثانية المتعلقة بالوعي الكمي تتمحور حول ما يستطيع هذا المفهوم أن يحله من مشاكل؟ دَعْنَا نفترض أنه تُوجَد حقاً شبكة من البروتينات المتذبذبة في المخ التي تشنو في تناغم، وأنجامها تنتج المشاعر، أو لنقل مشاعر الكينونة. ولنفترض أيضاً أن هذه الذبذبات الكمية «تشق طريقها» بشكل ما من خلال التشابكات العصبية المحيطية وتطلق «أنشودة» كمية أخرى، ناشرة الترابط عَبْر المخ. ما لدينا هنا هو عالم موازٍ بأكمله في المخ، وهو عالم يجب أن يعمل يدًا بيد مع العالم التقليدي المعروف من الخلايا العصبية التي تطلق نبضاتها، وإلا فكيف كان من الممكن أن يؤدي إطلاق النبضات المتزامن إلى إدراكات واعية، أو أن تؤثِّر النواقل العصبية على الحالة الوعائية، وهو ما تفعله بالتأكيد؟ إن عالم الكم يحتاج لأن يُقسَّم إلى أجزاء بنفس الطريقة تماماً مثل المخ. ومن ثم، فإن المشاعر المتعلقة بالبصر (مثل رؤية اللون الأحمر) تحتاج إلى أن تتحضر في مناطق المعالجة البصرية، في حين أن المشاعر العاطفية يمكنها أن تتذبذب فقط في مناطق مثل لوزة المخ أو الدماغ الأوسط. ثمة مشكلة في هذا الأمر هي أن البنية التحتية المجهرية في جميع الخلايا العصبية موحَّدة بالأساس — فالأتبييات الدقيقة في خلية عصبية ما لا تختلف بأي شكل ذي معنى عن التي في الخلايا العصبية الأخرى — فلماذا إذن يجب أن ينشد بعضها ألوانًا، والبعض الآخر آلاماً؟ وأصعب تلك الأمور فهـما هي

حقيقة أن المشاعر تعكس أكثر الشئون الجسمانية جوهيرية. وهل يمكن أن يتخيّل المرء خاصية أساسية للمادة تعكس رنين الحب أو الموسيقى في صورة ألم بالمعدة؟ وهل هناك ذبذبة فريدة تأخذ شكل شعور تفريغ المثانة على الملا؟ هذا غير مرجح. لكن إذا لم يكن حل هذا الأمر يتعلّق بالكم، فبماذا إذن؟

أين يُفضل أن نبحث عن حل للمشكلة الصعبة التي نسميهها معضلة الوعي؟ هناك عدد من التناقضات الظاهرية التي يمكن التعامل معها ببساطة، بما فيها ما أسمتها كيرنر سميث «قنبلة قبو» الفيزياء الحديثة. هل يجب حَقًا على المشاعر أن تُمثل خاصية فيزيائية للمادة إذا كانت تتطور بفعل الانتقاء الطبيعي؟ ليس هذا ضروريًّا. ليس إذا كانت الخلايا العصبية تشفِّر المشاعر بطريقة دقيقة وقابلة للاسترجاع، بمعنى أن تطلق مجموعة من الخلايا العصبية نبضاتها بطريقة محددة تعطي دائمًا نفس الشعور. فحينئذ يؤثر الانتقاء الطبيعي ببساطة على الخصائص الفيزيائية المميزة للخلايا العصبية. وإذيلمان، الحريرس كعادته في انتقاء الألفاظ يفضِّل كلمة «يستتبع». فنمط الخلايا العصبية التي تطلق نبضاتها يستتبع شعورًا ما على نحوٍ حتميٍّ؛ فهذا لا ينفصل عن ذاك. وبينما تطبيق طريقة يمكن القول إن جيناً ما يستتبع بروتينًا ما. يؤثُّ الانتقاء الطبيعي على خصائص البروتينات وليس على تسلسلات الجينات، ولكن لأن الجينات تشفِّر البروتينات بأسلوب صارم، ولأن الجين فقط هو الذي يُورث فالاشتتان تعنيان الشيء نفسه. ويبدو لي بالتأكيد أن من المرجح كثيرًا أن العواطف الأولية، مثل الجوع والعطش، يجب أن تأتي نتيجة نمط محدد من الإطلاق العصبي لا أن تكون خاصية اهتزازية أساسية للمادة.

ثمة تناقض آخر يمكن معالجته ببساطة، بصفة جزئية على الأقل، وهو إدراك أن عقولنا غير مادية، وأن مشاعرنا تُفوق الوصف. ففي رأي عالم رائع آخر تحول بعقله تجاه الوعي بعد تقاعده، وهو الطبيب وإخصائي علم العقاقير من نيويورك خوزيه موساكينو، فإن الفكرة الأساسية هي أن العقل لا يكتشف، ولا يستطيع أن يكتشف، وجود المخ. فنحن لا ندرك وجود المخ ولا الطبيعة المادية للعقل عن طريق التفكير فيه. وإن الطرق الموضوعية (المادية) للعلم هي فقط التي ربطت العقل بآليات العمل المادية للمخ. ويمكن ضرب مثالٍ عن كم كُننا مضللين في الماضي؛ فمثلاً كان قدماء المصريين عند تحنيطهم لجثث ملوكهم يحفظون القلب وأعضاء أخرى بعناية كبيرة (إذ كانوا يعتبرون القلب هو مركز العواطف والعقل) بينما كانوا يكتشرون المخ من خلال الأنف بخطاف

ويغسلون تجويف الجمجمة بملعقة طويلة ويسحبون ناتج الغسل ويتخلصون منه. وهذا يُظهر أنهم لم يكونوا على يقين بوظائف المخ وفوائده، فافتراضوا أنه لن يفيد في العالم الآخر. وحتى في يومنا هذا، يمكننا تبيّن مدى عجز العقل عن اكتشاف نفسه أثناء جراحات المخ. فالمخ بالرغم من إحساسه بـ“كبير” مما يحدث في العالم لا تُوجَد به مستقبلات للألم في حَدّ ذاته؛ ومن ثم فهو غير حَسَاسٌ للألم كليًّا. ولهذا السبب يمكن إجراء جراحات المخ دون تخدير عام.

فلمَّا لا يكتشف العقل آليات عمله المادية بذاته؟ من الواضح أنه من غير الملائم، بل من الخطير، أن يشغل كائِنُ ما عقلَه في التأمل والتفكير في هذا بينما يجب عليه بالفعل أن يركز كل قدرته المخيّة على اكتشاف خطرٍ ما، مثل نمر يختبئ بين الشجيرات، وتقرير ما سيفعله إزاء ذلك على وجه السرعة. وهذا الفحص النفسي الذاتي في اللحظات غير المناسبة ليس بالخاصية التي يمكن أن تتغاضى عنها عملية الانتقاء الطبيعي الصارمة. ومع ذلك، فإن الناتج هو أن إدراكاتنا ومشاعرنا شفافة، وأنها موجودة هكذا دون إدراك أي شيء عن أساسها العصبي الفيزيائي. ولأننا بالضرورة غير مدركون للأساس الفيزيائي لإدراكاتنا ومشاعرنا، فإن عقولنا الواقعية يكون لديها إحساس قوي باللامادية والروحانية. وقد يكون هذا الاستنتاج مزعجاً لبعض الناس، ولكنه يبدو أمراً لا مفر منه؛ إذ ينشأ إحساسنا بالروحانية من الحقيقة القائلة إن الوعي يعمل على أساس ما تحتاج لأن تعرِفه فحسب. فنحن معزولون عن أممَاخنا من أجل أن نبقى أحياء.

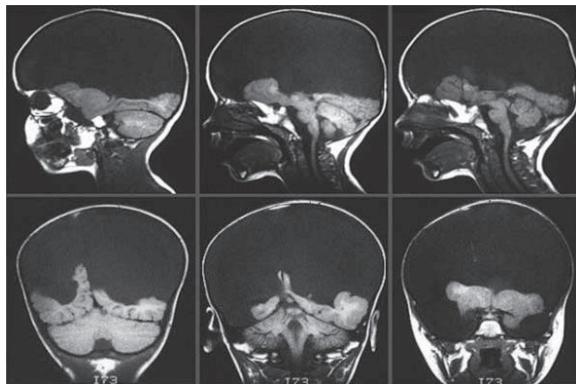
وينطبق هذا تقريرياً على سمو المشاعر عن الوصف. فكما قلتُ من قبل: إذا كانت المشاعر تتبع — كنتيجة لا بد منها — أنماطاً من الإطلاق العصبي للنبضات، بشفرة محددة جدًّا، فإن المشاعر تُعدُّ بمنزلة لغة غير لفظية معقدة تماماً. ولللغات اللفظية جذورها العميقَة في هذه اللغة غير اللفظية، ولكنها لا يمكن أن تكون نفس الشيء. فإذا كان ثمة شعور يستثيره نمط عصبي معين، فإن الكلمة التي تصف هذا الشعور يستثيرها نمط عصبي مختلف؛ فهي تُترجم من شفرة لأخرى ومن لغة لأخرى. ولا تستطيع الكلمات أن تصف المشاعر إلا من خلال النقل والترجمة؛ مما يجعل المشاعر تُفُوقُ الوصف. إلا أن جميع لغات البشر تتعلّق بمشاعر مشتركة. فاللون الأحمر مثلاً لا يوجد حقيقةً، ولكنه بناء عصبي لا يمكن أن يُنقل لشخص ما لم يكن هذا الشخص قد أدرك شيئاً مماثلاً له من قبل. وبالمثل، فإن الشعور بالألم أو الجوع، أو شم رائحة القهوة ... إلخ، كلها أحاسيس ترتبط بها كلمات وتجعل التواصل اللفظي ممكناً. وكما

أفاد موساكينو، فإن هناك نقطة تأتي دائمًا نُضطرَّ عندها أن نقول: «هل تعرف ما أعنيه؟» ولأننا نتشارك في نفس التراكيب والمشاعر العصبية، فإن اللغات تكون مستقرة في خبرتنا البشرية المشتركة. واللغة بدون شعور تكون مجردة من المعنى، ولكن المشاعر تكون موجودة، ويكون المعنى موجودًا بدون أي لغة لفظية، كوعيٍّ أساسيٍّ لعواطف صامدةٍ وإدراكاتٍ بلا كلمات.

كل هذا يعني أنه مع أن المشاعر قد تتولَّد عن الخلايا العصبية، فإننا لن ندنو منها من خلال الفحص النفسي الذاتي أو المنطق — أو من خلال الفلسفة أو النظرية ال اللاهوتية، وإنما بالتجربة فقط. ومن الناحية الأخرى، فإن الحقيقة القائلة إن الوعي مستقر في المشاعر والدوافع والمنفرات تعني أننا يمكن أن نصل إلى جذور الوعي دون الحاجة للتواصل لفظيًّا مع الحيوانات الأخرى؛ فإننا نحتاج فقط لاختبارات تجريبية بارعة. وهذا بدوره يعني أننا يجب أن نكون قادرين على دراسة التحوُّل العصبي الحاسم، من الإطلاق العصبي إلى الشعور لدى الحيوانات، حتى البسيط منها؛ إذ تدل كل الإشارات على أن العواطف الأولية واسعة الانتشار في الفقاريات.

من الأمور التي توحى بقوة بأن الوعي أكثر انتشارًا مما تميل لتصديقه هو بقاء بعض الأطفال على قيد الحياة وتمتعهم بوعيٍ ظاهريٍ بالرغم من مولدهم بدون القشرة المخية المهمة للإنسان (انظر الشكل ١-٩). إذ يمكن أن تؤدي حالة سكتة دماغية صغيرة، أو شذوذٌ تطوريٌّ مماثلٌ، إلى إعادة امتصاص أجزاء كبيرة من كلتا القشرتين المخيتين أثناء الحمل. وليس من العجيب أن يُولد أولئك الأطفال وهم يعانون إعاقات كثيرة، ومحرومون من الكلام بلغة ما ومن الإبصار الجيد، ولكن كما يقول عالم الأعصاب السويدي بيورن ميركر، وبالرغم من غياب كل مناطق المخ تقريبًا التي تعتبرها معنية بالوعي في الحالة الطبيعية، فإن أولئك الأطفال يكونون قادرین على السلوك العاطفي والضحك والبكاء بشكل معقول، ويُظهرون علامات على التعبير الإنساني الأصلي (انظر الشكل ٢-٩). ذكرتُ آنفًا أن الكثير من المراكز العاطفية في المخ تقع في الأجزاء الأكثر قدماً من المخ؛ وهي جذع المخ والدماغ الأوسط، التي تتشترك فيها جميع الفقاريات تقريبًا. ولقد أظهر ديريك دنتون، من خلال المسح التصويري بالرنين المغناطيسي أن تلك المناطق القديمة تتواجد في توصيل خبرة العواطف الأولية مثل العطش والخوف من الاختناق. وربما كان الحال أن جذور الوعي لا تُوجَد في القشرة المخية العصرية مطلقاً، التي بطبيعة الحال تطور الوعي وتتوسَّع فيه بغزاره وتختص بالذكاء البشري الرافق،

وإنما تُوجَد في الأجزاء القديمة من المخ المنظمة بكثافة والغنية بالمراكم الحيوية، التي نتشارك فيها على نطاق واسع مع حيوانات أخرى كثيرة. وإذا كان الحال كذلك، فإن التحول العصبي من إطلاق النبضات إلى الشعور يُفِقد بعضاً من سحره وغموضه.



شكل ١-٩: صورة مسحية بالرنين المغناطيسي لرأس طفل مصاب بحالة شديدة من الاستسقاء المخي. ويتبين منها أن القشرتين المخيتين قد اختفت؛ وصارت الجمجمة ممتلة بالسائل المخي الشوكي.

إلى أي درجة ينتشر الوعي؟ لن نعرف الإجابة عن هذا التساؤل على وجه التحقيق إلى أن يتم اختراع نوعٍ ما من مقاييس الوعي. إلا أن العواطف الأولية – مثل: العطش، والجوع، والألم، والشهوة، والخوف من الاختناق ... إلخ – كلها على ما يبدو واسعة الانتشار بين الحيوانات التي لديها مخاخ، بما فيها حتى لافقاريات بسيطة مثل النحل. فلدى النحلة أقل من مليون خلية عصبية (بينما لدى الإنسان ٢٣ مليار خلية عصبية في القشرة المخية وحدها)، إلا أنها قادرة على أداء سلوك معقد تماماً؛ فهي لا تكتفي بإعطاء إشارات تحديد اتجاه غذائها من خلال رقصاتها الاهتزازية الشهير، وإنما يرتقي سلوكها إلى درجة تحديد أماكن الأزهار الأكثر امتلاء بالرحيق الذي تتغذى عليه، حتى وإن عمد بعض الباحثين إلى تعديل التوازن الرحيقي للأزهار بهدف خداع النحل. لا أزعم أن النحلة واعية بالمعنى الذي نفهم به هذا اللفظ، ولكن حتى «جهاز المكافأة»



شكل ٢-٩: أمارات السرور والسعادة تبدو على وجه طفلة في الرابعة من عمرها، تُدعى نيكى، مصابة بالاستسقاء المخي.

العصبي البسيط الذي لديها يستحق مكافأة؛ بمعنى أنه يستحق إحساساً جيداً، وهو ذلك الطعم اللذيد لرحيق الزهور. أو نقول بكلمات أخرى إن النحلة لديها بالفعل ما نعتبره وعيّاً، حتى إذا لم يكن وعيّاً حقيقياً على الأرجح.

وهكذا فإن المشاعر في النهاية هي بناء عصبي، وليس خاصية أساسية للمادة. وبالنسبة لبعض الحيوانات الأخرى المشاركة لنا في هذا العالم كالحشرات، التي يتمثل أعلى ما وصلت إليه من نشوء وارتقاء في هذا النحل، هل نجد أنفسنا مجبرين على التوصل إلى قوانين جديدة للفيزياء لتفسر سلوكياتها؟ ولكن إذا لم تكن المشاعر أكثر من محض خلايا عصبية تؤدي عملها، فلماذا تبدو حقيقة إلى هذه الدرجة، بل لماذا هي حقيقة إلى هذه الدرجة بالفعل؟ إنها تبدو لنا حقيقة لأن لها معنى حقيقياً، وهو معنى استقيناه من بوتقة الانتقاء الطبيعي، معنى يأتي من الحياة الحقيقية، بل ومن الموت الحقيقي. إن المشاعر هي في حقيقتها شفرة عصبية، إلا أنها شفرة نابضة بالحيوية، غنية بمعانٍ اكتسبت على مدى ملايين بل مiliارات من الأجيال. ما زلنا لا نعرف كيف تفعل خلايانا العصبية هذا، ولكن الوعي في أساسه يتعلّق بالحياة والموت، وليس بالقمم العالية الرائعة للعقل البشري. وإذا أردنا حقاً أن نفهم ماهية الوعي وكيف صار إلى ما صار إليه، فلا بد أن نخرج أنفسنا من ذلك الإطار الذي قيّدنا أنفسنا فيه.

الفصل العاشر

الموت

ثمن الخلود

يُقال إنه ليس بالإمكان شراء السعادة بمال. لكن كرويسوس، آخر ملوك ليديا في العصور الغابرة، كان من الثراء بحيث ظنَّ نفسه أسعد رجل في العالم. وحين حاول الحصول على إقرار من السياسي الأثيني صولون بذلك، وكان وقتها يسافر مارًّا بأراضيه، تكَّرَّر حين قال له: «لا يمكن اعتبار أي إنسان سعيدًا حتى يموت». فمن الذي يمكنه التنبؤ بما تخفيه له الأقدار؟ ثم حدث أن وقع كرويسوس، وهو يحارب وفق نصيحة كاهن غامض من كهنة دلفي، أسيِّرًا في يد قورش ملك الفرس، فأحكِم وثاقه فوق كومة حطب بهدف إحراقه حيًّا. ولكن بدلاً من أن يوبخ كرويسوس آلهته المزعومة بسبب نهايته المفزعية التي آل إليها، وجدوه يتمتم: «صولون». فتعجب قورش منه، واستفسر من معه عما يعنيه؛ فأخبروه بقصة صولون. فأدرك حينئذ أنه هو أيضًا لعبة بيد الأقدار؛ فأمر قورش بكفك قيود كرويسوسوعيئه مستشارًا له (وقد قال البعض إن أبواللو، أحد آلهة الإغريق، جاء لنجدته ومعه عاصفة رعدية).

كانت الميزة الحسنة تعني الكثير للإغريق القدماء وكانوا يعتبرون القدر والموت لعبتين بأيدي خفية، تعلمان بأكثر الطرق مكرًا على جعل الرجال الأشداء يركعون في ضعف وهوان. والمسرح الإغريقي حافل بأدوات التعذيب، وبالموت الذي رسَّمْتُه الأقدار، وأوردته نبوءات الكهنة المبهمة. وكما ورد في طقوس باخوس الجنونية وخرافات التحولات الجسدية، يبدو أن الإغريق كانوا يعزون شيئاً من مذهبهم القدري الحتمي إلى

العالم الطبيعي. والعكس بالعكس؛ فمن منظور الثقافة الغربية، أحياناً ما يبدو نُفوق الحيوانات وقد اكتسب مسحة من المسرح الإغريقي.

فهناك ما هو أكثر من عنصر التراجيديا الإغريقية، على سبيل المثال، فيما يختص بذباب مايو، الذي يعيش شهوراً معدودة كيرقات، ثم يتحول إلى حشرات بالغة محرومة من أجزاء الفم والقناة الهضمية. وحتى الأنواع القليلة التي تعيش يومها المعربد الوحيد، لا تثبت أن يكون مصيرها الموت جوغاً. وماذا عن سماك السالمون الذي يعيش في المحيط الهدأء وبهاجر بأعداد كبيرة لمحاذ الأ咪ال، حتى يصل إلى الأنهار التي ولد فيها؛ حيث تنتهي رحلة تلك الأسماك المشحونة بالهرمونات والمفعمة بالنشاط الهايج بشكل مأسوي بالنفوق في غضون أيام قلائل؟ أو ملكة النحل، التي لا تظهر عليها أي علامات للسن مدة ستة عشر عاماً، إلى أن يجف زادها من السائل المنوي، وحينئذ تهاجمها بناتها من النحل الشغالة وتقطعها إرباً إرباً حتى الموت؟ أو سعار الجماع الذي يصيب الفار الجرافي الأسترالي لمدة اثنين عشرة ساعة متواصلة؛ مما يؤدي إلى نفوقه بسبب الوهن والإرهاق الشديدين، وهو الأمر الذي يمكن منعه بإخلاصاته؟ وسواء وصف هذا الموقف بالأساس أو الملاهاة فلا شك أنه درامي. فتلك الحيوانات رهائن للقدر، مثل أوديب ذاته. وليس الموت أمراً حتمياً فحسب، بل إنه خاضع للأقدار ومبرمج في داخل نسيج الحياة ذاتها.

ومن بين القصص المنفرة للموت، لعل أكثرها مأسوية وشهرة لنا اليوم هي أسطورة تيثنونوس الطروادي الخرافية، الذي طلبت حبيته الإلهة من كبير الآلهة زيوس أن يمنحه الخلود، ولكنها نسيت أن تطلب له الشباب الدائم. وقال هوميروس في تلك القصة إن «الشيخوخة الكريهة جثمت بكل ثقلها على تيثنونوس»، جاعلة إياه يخرف ويهندي كالأحمق بلا نهاية. وقد تخيله الشاعر الإنجليزي ألفريد تنيسون ناظراً إلى أسفل إلى «الحقول المعتمة، حول بيوت الرجال السعداء الذين من الممكن أن يموتوا، وإلى المقابر المعشوشبة للموتى الأكثر سعادة».

إن هناك تعارضًا بين هذه الصور من الموت، بين الموت العاجل المبرمج في حياة بعض الحيوانات، وبين الشعور بالوحدة والاستسلام للشيخوخة التي تواجه الإنسانية وحدها، ذلك الافتقاد للموت المبرمج وما يصاحبه من نهاية مريعة شأن نهاية تيثنونوس. هذا تحديداً ما نسببه لأنفسنا اليوم مع تقدم الطب، وإطالة أعمار البشر لكن دون تحسين صحتهم. فكل عام يضاف إلى متوسط أعمار البشر، مع تقدم العلوم الطبية الحديثة، تقابله أشهر قليلة يقضيها المرء في صحة طيبة، أما باقي الوقت فيعياني الإنسان

فيه تدهوراً مستمراً. ومثلاً فعل تيثنونوس في أسطورته، فإننا نتمنى في نهاية المطاف الموت. قد يبدو الموت لنا كمزحة كونية قاسية، ولكن الشيخوخة في الحقيقة حالة كثيبة. لكن لا حاجة بنا إلى أن نقلّد تيثنونوس في سنواتشيخوختنا. بالتأكيد لا تسمح قوانين الفيزياء الراسخة بالشباب الدائم مثلاً لا تسمح بالحركة المستمرة، ولكن التطور مرنٌ على نحو يثير الدهشة، ويظهر لنا أن الحياة الأطول تكون في العادة مصحوبة بشباب أطول، بما يجنبنا بؤس تيثنونوس. وهناك الكثير من أمثلة الحيوانات التي امتدت أعمارها دون آلام تُذكر؛ أي بدون أمراض ذات بال، بمعدل يزيد عن طولها الأصلي بضعفين أو ثلاثة، وربما أربعة أضعاف؛ بينما تتغير ظروف حياتها. ومن الأمثلة العجيبة على هذا سَمَك السالمون المرقط الذي يعيش في الجداول المائية، والذي نُقل إلى المياه الباردة الفقيرة في المواد الغذائية لإحدى البحيرات في سييرا نيفادا بولاية كاليفورنيا الأمريكية. فقد طال عمر الأسماك بمعدل أربعة أضعاف — من ستة أعوام إلى أكثر من أربعة وعشرين عاماً — وكان «الثمن» الظاهري الوحيد لهذا التطور هو تأخير نضجها الجنسي. ولقد سُجِّلت اكتشافات مشابهة بين الثدييات؛ مثل حيوانات الأبوسوم. فحينما عاشت في جزر منعزلة محمية من الافتراض على مدى بضعة آلاف من السنين، عاشت الأبوسومات لأكثر من ضعف عمرها الطبيعي، وكانت تشيخ بنصف المعدل الأصلي. ونحن البشر أيضاً تضاعفت أعمارنا القصوى على مدى ملايين السنين القليلة الأخيرة دون أي عواقب ضارة واضحة. ومن وجهة النظر التطورية، يجب أن نعتبر أسطورة تيثنونوس محض خرافة.

إلا أن البشرية ظلَّت تتلمس الحياة السرمدية على مدىآلاف السنين، وأخفقت في الوصول إليها. صحيح أنَّ أوجُهَ التقدُّم في مجال الصحة العامة والطب كانت سبباً لما حدث من زيادة في متوسط أعمار البشر، إلا أن العمر الأقصى — وهو حوالي ١٢٠ عاماً — ظلَّ ثابتاً دون تغيير بالرغم من جميع الجهود البشرية. وفي فجر التاريخ المدون كان جلجامش ملك أورك يلتمس الحياة الأبدية في صورة نبات خرافي، وبعد سعيه البطولي الدءوب انسَلَ النبات الوهمي من بين أصابعه مثل خرافة. ومنذ ذلك الوقت لم يتغيَّر الحال. فقد ظهرت أوهام أخرى مثل إكسير الحياة والكأس المقدسة، وطحين قرن الحصان أحادي القرن الخرافي، وحجر الفلسففة واللبن الزبادي، والميلاتونين، وكلها أشياء زُعم أنها تطيل الأعمار، دون أن يحدث هذا فعلًا. ويمتلئ تاريخ أبحاث تجديد الشباب بالعديد من الدجالين والباحثين أيضاً. حتى إن العالم البيولوجي الفرنسي الشهير

شارل براون سيكوار حقن نفسه بخلاصات من خصي الكلاب والخنازير الغينية، وزعم أنه يات يشعر بتحسن في نشاطه وقدرته العقلية، متقدماً بزعمه هذا إلى الجمعية البيولوجية في باريس عام ١٨٨٩، بل إنه استعرض متأخراً تيار بوله المتدافع في شكل قوس أمام عدد من أعضاء الجمعية المذهولين مما يرونـه. وفي نهاية ذلك العام كان ١٢ ألف طبيب يُقدمون لمرضاهـم هذا السائل الذي استعملـه براون سيكوار ولم يلبـثـ الجراحـون في أقصـاعـ الأرضـ أنـ بدـعواـ يـزرـعونـ في مـرضـاهـمـ شـرـائـحـ منـ الخـصـيـ المـأـخـوذـةـ منـ المـاعـزـ وـالـقـرـودـ، بلـ وـالـمـاسـاجـينـ.ـ ولـعـلـ أـشـهـرـ أـلـئـكـ الدـجـالـينـ الـأـمـريـكـيـنـ عـلـىـ الإـطـلاقـ كـانـ الدـعـوـ جـونـ آـرـ بـرـينـكـيـ؛ـ إـذـ صـنـعـ ثـرـوـ طـائـلـةـ منـ زـرـعـ أـجـزـاءـ منـ غـدـدـ المـاعـزـ فيـ المـرـضـيـ،ـ قـبـلـ أـنـ يـمـوتـ رـجـلـاـ مـحـطـمـاـ،ـ ضـحـيـةـ لـأـلـفـ مـنـ الدـعـاوـيـ القـضـائـيـةـ التـيـ رـفـعـتـ ضـدـهـ.ـ وـيـبـدـوـ مـنـ الـمـشـكـوكـ فـيـهـ أـنـ تـكـونـ الـبـشـرـيـةـ قـدـ أـضـافـتـ يـوـمـاـ وـاحـدـاـ لـاـ قـدـرـ لـهـ مـنـ أـعـمـارـ فـيـ هـذـهـ الـدـنـيـاـ،ـ بـالـرـغـمـ مـنـ كـلـ تـلـكـ الـمـحاـولـاتـ الإـبـداعـيـةـ الـمـتـفـاخـرـةـ.

إـذـ،ـ هـنـاكـ فـجـوةـ غـرـيـبـةـ بـيـنـ مـرـونـةـ التـطـورـ —ـ أـيـ السـهـولةـ التـيـ يـبـدـوـ أـنـ الـأـعـمـارـ تـتـشـكـلـ بـهـاـ —ـ وـبـيـنـ الـجـمـودـ الـصـرـيحـ الـذـيـ يـكـنـتـ جـهـودـنـاـ حـتـىـ الـيـوـمـ.ـ فـكـيفـ يـطـيلـ التـطـورـ الـأـعـمـارـ بـهـذـهـ السـهـولةـ؟ـ مـنـ الـواـضـحـ مـمـاـ مـرـرـ بـنـاـ مـنـ الـآـلـفـ السـنـينـ مـنـ الـفـشـلـ الـذـرـيـعـ أـنـنـاـ لـنـ تـحـقـقـ أـيـ نـجـاحـ فـيـ هـذـاـ الـضـصـارـ ماـ لـمـ نـفـهـمـ الـأـسـبـابـ الـأـكـثـرـ عـمـقاـ لـلـمـوـتـ.ـ مـنـ الـظـاهـرـ،ـ يـبـدـوـ الـمـوـتـ «ـاـخـتـرـاعـاـ»ـ مـحـيـرـاـ؛ـ إـذـ يـعـمـلـ الـانتـقـاءـ الـطـبـيـعـيـ بـصـورـةـ طـبـيـعـيـةـ عـلـىـ الـكـاثـنـاتـ الـمـفـرـدةـ،ـ وـمـنـ الـصـعـبـ أـنـ أـدـرـكـ فـائـدـةـ الـمـوـتـ لـيـ بـوـصـفـيـ فـرـدـاـ،ـ أـوـ مـاـ يـجـنـيـهـ سـمـكـ السـالـمـونـ الـبـاسـيـفـيـكـيـ مـنـ تـمـزـقـهـ إـلـىـ أـشـلـاءـ،ـ أـوـ مـاـ تـسـتـفـيـدـ عـنـاـكـ الـأـرـمـلـةـ الـسـوـدـاءـ مـنـ التـهـامـ بـعـضـهاـ بـعـضـاـ.ـ وـلـكـ مـنـ الـواـضـحـ بـنـفـسـ الـقـدـرـ أـنـ الـمـوـتـ لـيـسـ أـمـرـاـ عـرـضـيـاـ،ـ وـلـاـ شـكـ أـنـهـ تـطـوـرـ لـمـنـفـعـةـ الـأـفـرـادـ (أـوـ لـمـنـفـعـةـ جـيـنـاتـهـ الـأـنـاثـيـةـ،ـ عـلـىـ حـدـ قـوـلـ رـيـتـشـارـدـ دـوـكـيـنـزـ الـذـيـ لـاـ يـنـسـيـ)ـ وـذـلـكـ بـعـدـ بـزوـغـ فـجرـ الـحـيـاـةـ نـفـسـهـاـ مـبـاشـرـةـ.ـ لـذـاـ،ـ إـذـ أـرـدـنـاـ أـنـ تـحـسـنـ نـهـاـيـتـنـاـ،ـ وـأـنـ نـتـجـنـبـ آـلـمـ تـيـثـونـوسـ،ـ فـحـرـيـ بـنـاـ أـنـ نـعـودـ إـلـىـ الـبـدـاـيـةـ.

تخـيـلـ أـنـكـ عـدـتـ بـآلـةـ الـزـمـنـ ٣ـ مـلـيـارـاتـ سـنـةـ إـلـىـ الـورـاءـ فـيـ مـنـطـقـةـ مـنـ الـمـلـيـاـهـ السـاحـلـيـةـ الضـحـلـةـ.ـ أـوـلـاـ مـاـ سـتـلـاحـظـهـ عـنـدـهـ هوـ أـنـ السـمـاءـ لـيـسـ زـرـقاءـ اللـوـنـ،ـ بلـ حـمـراءـ ضـبـابـيـةـ غـائـمـةـ،ـ بـمـاـ يـذـكـرـنـاـ إـلـىـ حـدـ مـاـ بـكـوـكـ الـمـرـيـخـ.ـ تـعـكـسـ الـبـحـارـ السـاـكـنـةـ درـجـاتـ مـنـ اللـوـنـ الـأـحـمـرـ.ـ وـالـجـوـ دـافـعـ باـعـتـدـالـ فـيـ هـذـهـ الـغـيـومـ،ـ إـنـ كـانـ الضـبـابـيـةـ الزـائـدـ تـمـنـ رـؤـيـةـ الـشـمـسـ بـوـضـوحـ.ـ لـاـ يـوـجـدـ عـلـىـ الـيـابـسـةـ شـيـءـ يـجـذـبـ الـعـيـنـ.ـ فـالـصـخـورـ عـارـيـةـ،ـ مـعـ رـقـعـ رـطـبةـ

باهتة اللون هنا وهناك من البكتيريا التي تتعلق في ضعف بأي شيء تجده في الأرض. لا يوجد نجيل ولا نباتات من أي نوع. ولكن إذا خضت المياه الضحلة فستجد كميات لا حصر لها من قباب من صخور خضراء اللون، وهي تبدو حية في طبيعتها، ويصل أعلاها إلى ارتفاع متر تقريباً. لا تزال تُوجَد بعض التراكيب النادرة المشابهة في أقصى الخجان التي يتعدّر الوصول إليها على كوكبنا الأرضي اليوم وتُسمّى الصخور النسيجية (الستروماتوليتات). ولا شيء آخر يتقدّل في المياه؛ لا أسماك هناك، ولا أعشاب بحرية، ولا سلطانات نشطة قوية، ولا شقائق نعمان متموجة. وإذا خلعت كمامات الأكسجين التي ترتديها، فسرعان ما ستدرك السبب؛ إذ ستختنق حينئذٍ في دقائق معدودة. فلا يكاد يكون ثمة أكسجين، ولا حتى بالقرب من الصخور النسيجية، إلا أن ما تحتوي عليه هذه الصخور من بكتيريا خضراء مزرقة يبدأ في إضفاء مسحات من ذلك الغاز الحيوي على الهواء. وفي غضون مليار سنة تكون ابتعاثاتها في النهاية قد أضفتْ على كوكبنا الأولان الخضراء والزرقاء المبهجة. وحينئذٍ فقط يمكننا أن نُسمّي هذا المكان المفترِّ موطننا.

وإذا نظرنا إلى الأرض في تلك المرحلة المبكرة من الفضاء، واستطعنا اختراق حجب الضباب الأحمر الغائم، فلن نرى سوى مظهر واحد يُعتبر بالتقريب هو نفس مظهرها اليوم؛ وهي المستعمرات الطحلبية التي تتكون أيضاً من البكتيريا الزرقاء وثيقة الصلة بتلك التي تُوجَد في الصخور النسيجية، ولكنها تطفو في قطع شاسعة في البحار. وهي تبدو من الفضاء شبيهة إلى حد بعيد بالمستعمرات الطحلبية الحديثة، وتبدو تلك الحفريات العتيقة تحت المجهر مشابهة للبكتيريا الزرقاء الحديثة، مثل التريكومزميوم. وتستمر تلك المستعمرات مدة أسبوعين، وينشط نموها السريع بفعل معادن يحملها البحر من الأنهر أو تُحمل لأعلى من أعماق المحيطات بتأثير التيارات الصاعدة، ثم لا تثبت بين عشية وضحاها أن تندثر، وتذوب في الماء الذي لا يعكس مرة أخرى سوى صورة السماء الحمراء الخالية من مظاهر الحياة. وفي وقتنا هذا أيضاً تذوب المستعمرات الطحلبية في المحيطات الشاسعة بين عشية وضحاها دون سابق إنذار.

لم نَصلْ إلى إدراك لما يحدث بالضبط إلا حديثاً. فهذه الحشود الشاسعة من البكتيريا لا تموت تلقائياً، وإنما تقتل أنفسها عمداً؛ إذ يحتوي كل نوع أزرق منها في داخله على آلية للموت في صورة جهاز عتيق من الإنزيمات — الشبيهة على نحوٍ ملحوظ بالإنزيمات الموجودة داخلنا — مخصص لتفكيك الخلية من الداخل. تبدو فكرة إذابة البكتيريا لنفسها مضادة للبداهة لدرجة أن الباحثين كانوا يميلون إلى إغفال الدلائل

عليها، ولكنها صارت الآن أقوى من أن يُغضِّن الطرف عنها. والحقيقة هي أن البكتيريا تموت «عمدًا»، وتتحي الأدلة الجينية التي ساقها بول فالكوفسكي وكاي بيبل بجامعة روتجرز في ولاية نيوجرسي أنها ظلت تفعل هذا على مدى ثلاثة مليارات سنة. فلماذا؟ لأن الموت مفيد. فالجماعات البكتيرية تتكون مما لا حصر له من تريليونات الخلايا المتشابهة جينيًّا، إن لم تكن متطابقة. إلا أن الخلايا المتطابقة جينيًّا لا تكون متماثلة دائمًا. وما عليك سوى أن تفكَّر في أجسام البشر؛ إذ تُوجَد بها مئات عدَّة من أنماط الخلايا المختلفة، وكلها متطابقة جينيًّا. إلا أن الخلايا تتتطور بشكل مختلف أو تتمايز؛ استجابةً لمؤشرات كيميائية مختلفة بشكل طفيف آتية من البيئة، التي تعني في حالتنا هذه الخلايا الحبيطة. وفي حالة المستعمرات البكتيرية، تتضمن البيئة الخلايا الأخرى، وبعضها يبعث بعوامل كيميائية، أو حتى بسموم مباشرة، فضلًا عن عوامل الضغط الفيزيائية مثل مستوى ضوء الشمس، وتتوفر المواد الغذائية، والعدوى الفيروسية ... إلخ. ومن ثم فإنها قد تكون متطابقة جينيًّا ولكن بيئتها تهاجمها بشراسة بطرق متفاوتة على طول المدى، وهذا هو أساس تمييز تلك الخلايا.

منذ ثلاثة مليارات عام شهدت الأرض أولى علامات التمايز؛ وهي أن بدأت الخلايا المتطابقة جينيًّا في اتخاذ مظاهر متفاوتة ومتشعبية، بما يوجهها نحو مصائر مختلفة، اعتمادًا على تاريخ حياتها. فبعضها يصير أبواغًا صلبة مقاومة للظروف السيئة، وبعضها الآخر يكون أغشية رقيقة لزجة (أغشية حيوية) تلتتصق بالأسطح المغمورة بالمياه مثل الصخور، والبعض الثالث يزدهر مستقلًا وبعيديًّا عن أصوله القبلية، وبعضها الأخير يموت ببساطة.

ولكن، لا يموت هذا البعض الأخير ببساطة، وإنما على نحوٍ مُعَقَّد. ليس من المعروف لدينا بالتأكيد كيفية نشوء تلك الآلية المعقّدة للموت في البداية. ولكن أكثر الاحتمالات ترجيحاً هي نشوئها من خلال تفاعل البكتيريا مع ملتهمات البكتيريا؛ وهو نوع من الفيروسات التي تصيب البكتيريا بالعدوى فتقاتلها وتلتهمها من الداخل. تُوجَد الدقائق الفيروسية في المحيطات الحديثة بوفرة صادمة؛ إذ يُوجَد منها مئات الملايين في كل مليلتر من مياه البحر، أي ما لا يقل عن ضعفيًّا مقدار البكتيريا. ونکاد نجزم بأنها كانت تُوجَد بكميات مقاربة لذلك في العصور الغابرة. وتعد الحرب المستمرة بلا توقف بين البكتيريا وملتهماتها الفيروسية إحدى القوى الأكثر أهمية، والأقل ذكرًا، في مجال التطور. ومن المرجح أن الموت المبرمج نبع بوصفه أحد الأسلحة المبكرة في هذه الحرب.

ثمة مثال بسيط لما نقول وهي العمليات التي يحدث فيها تضاد بين سُمّ ومضاده ويوظفها الكثير من ملتهمات البكتيريا. تحتوي هذه الملتهمات على عدد قليل من الجينات، لكنها تتمكن من استخدام جيناتها في تشفير إنتاج نوع من السُّم، يمكنه قتل بكتيريا العائل، بالإضافة إلى إنتاج مضاد للسُّم يحمي البكتيريا من تأثير السُّم. ويكون السُّم طويل المفعول، بينما ترياقه قصير العمر. فأما البكتيريا التي تصيب بالعدوى فإنها تنتج كلاً من السُّم وترياقه فتنجو من الموت السريع، وأما البكتيريا السانحة أو المصابة بالعدوى ولكنها تعمل جاهدة على التحرر من الأغلال الفيروسية، فإنها تكون عرضة للتأثير بالسُّم فتموت. وأبسط طريقة يمكن أن تتبعها البكتيريا قليلة الحيلة هي أن تقبض على الجين المتخصص في إنتاج الترياق وتدخله في جينومها هي، فيكسبها الحماية حتى وإن لم تصب بالعدوى. وهكذا تتقَدَّم الحرب، مع نشوء سُموم ومضادات لها أكثر تعقيداً، وتنمو آلَة الحرب بشكل أكثر غرابة. قد تكون هذه هي الطريقة التي نشأت بها ما تُسمى إنزيمات «الكاسياز» لأول مرة؛ ربما في البكتيريا الزرقاء.^١ فهذه البروتينات المتخصصة في «الموت» تمزق الخلايا من الداخل. وهي تعمل في تسلسلات متتابعة؛ إذ ينشط أحد إنزيمات الموت الإنزيم الذي يليه في هذا التسلسل، إلى أن يتكون جيش بأكمله من إنزيمات الإعدام التي تنقض على الخلية فتهاكها.^٢ المهم في الأمر أن كل إنزيم من إنزيمات الكاسياز يوجد له ما يُثبّطه، وهو «مضاد» يمكنه إحباط تأثيره. ولعل تلك المنظومة كلها من السُّموم ومضاداتها، التي يتم بتجميعها تحقيق مستويات متعددة من الهجوم والدفاع، إنما تنم عن الصراع التطوري الطويل المستمر بين البكتيريا وملتهمات البكتيريا.

صحيح أن تلك المعارك بين البكتيريا والفيروسات تقع على الأرجح عند الجذور العميقية للموت، إلا أن ما يحدث من انتحار إنما يفيد البكتيريا بلا شك، حتى في غياب العدوى. تنطبق المبادئ نفسها؛ فأي تهديد مادي مصحوب بالقدرة على استئصال شافة المستعمرة بكاملها (مثل الإشعاع فوق البنفسجي الشديد أو الحرمان من المواد الغذائية) يمكن أن يقدح زناد عملية الموت المبرمج لدى مستعمرات البكتيريا الزرقاء. تنجو أقوى الخلايا من هذا التهديد عن طريق التطور إلى أبواغ صلبة تشكّل بذوراً للمستعمرة التالية، بينما تستجيب شقيقاتها الأضعف، إذا كانت متطابقة جينياً، لنفس التهديد بأن تشغّل آلية الموت. لا يُحدِّث النَّظر إلى هذه الممارسات باعتبارها قتلاً أو انتحاراً فارقاً كبيراً. ولكن يمكننا القول في حيادية إن الناتج ببساطة هو إمكانية أن يعيش المزيد من

نسخ الجينوم البكتيري على مدار الزمن التطوري إذا تم التخلص من الخلايا التالفة. إنها أبسط صورة للتمايز الخلوي، وهي اختيار ثنائي بين الحياة والموت، اعتماداً على تاريخ حياة الخلايا المطابقة.

هذا المنطق نفسه ينطبق بقوة أشد على الكائنات متعددة الخلايا. فهنا تكون الخلايا دائمًا متطابقة جينيًّا، وترتبط مصادرها معاً برباط أوثق مما يحدث في حالة مستعمرة مفككة أو تجُمُع طلبي. وحتى إذا كان الكائن في صورة كرة بسيطة، فإن التمايز يكون أمراً حتمياً تماماً؛ فهناك فرق بين ما يدخل تلك الكرة وما هو خارجها من حيث: توافر المواد الغذائية، والأكسجين، وثاني أكسيد الكربون، والتعرُض للشمس، أو للتهديد من الأعداء. لا يمكن أن تكون الخلايا متماثلة تماماً، حتى إذا «أرادت» هذا. وسرعان ما تبدأ أبسط عمليات التأقلم في أن تأتي أكلها. فكثير من الطحالب — مثل طحلب الفولفوكس كروي الشكل — في مراحل معينة من تطورها يكون لديها أهداب طويلة تشبه الأسواط، تستخدمنا في الحركة. ومن المفيد أن يكون لدى مستعمرة كروية الشكل كتلك خلايا مزودة بأسواط من الخارج؛ إذ إن حركتها المجمعة تحرّك المستعمرة بكاملها، بينما تبقى الأبواغ (وهي مرحلة تطورية مختلفة للخلايا المتطابقة جينيًّا) محمية بالداخل. وهذا التقسيم البسيط للعمل لا بد أنه منح المستعمرات البدائية الأولى ميزة كبيرة فوق الخلايا المفردة. وميزة التمتع بتلك الأعداد الكبيرة وشخصيتها يمكن تبيينها أيضًا في المجتمعات البشرية الزراعية الأولى، حيث كان الطعام، لأول مرة، وفيراً بدرجة تكفي لدعم السكان كثيري العدد مما أتاح تكريسهم لمهام تخصصية؛ مثل: البستنة، وتصنيع المعادن، والاشتغال بالطب والقانون، والبناء، وخوض الحروب. ولا عجب أن حلَّ المجتمعات الزراعية سريعاً محل القبائل الصغيرة التي كانت تمارس الصيد وجمع الثمار؛ حيث كان التخصص المشابه مستحيلاً تماماً.

وحتى أبسط المستعمرات تظهر بالفعل اختلافاً أساسياً بين نوعين من الخلايا؛ هما: الخلايا الجنسية (أو الأمشاج)، وخلايا الجسم (أو الخلايا الجسدية). كان أول من لاحظ هذا التمايز هو البيولوجي الألماني أوغست فايسمان (وقد صادفناه بالفعل في الفصل الخامس)، ولعله أكثر متبوعي المذهب الدارويني في القرن التاسع عشر تأثيراً وتعُمقًا بعد داروين. ولقد افترض فايسمان أن الخلايا الجنسية هي وحدتها الخالدة؛ إذ تمرر الجينات من جيل إلى الجيل الذي يليه، بينما تكون الخلايا الجسدية قابلة للهلاك، وأنها مجرد وسائل معايدة للخلايا الجنسية الخالدة. تعرَّضت هذه الفكرة للتكييف على

مدى نصف قرنٍ مِنْ قِبَل العالم الفرنسي الشهير ألكسي كاريل الحائز على جائزة نوبل، الذي تعرّض هو نفسه للتکذیب فيما بعد ولحق به العار؛ لأنَّه اخْتَلَقَ ببياناته. لقد كان فایسِمانَ مُحَقّاً. وتميِّزَه هذا لنوعِي الخلايا يُفْسِرُ في نهاية الأمر موت جميع الكائنات متعددة الخلايا. إنَّ التخصُّصَ الخلوي يعني بطبيعته أنَّ بعضَ الخلايا فقط في الجسم يمكن أن تكون خلايا جنسية، بينما يجب على الباقي أن يلعب دوراً داعماً؛ إذ تكون الفائدة الوحيدة لتلك الخلايا الجسدية أن تتلقى الجينات الوراثية المشتركة التي تُمَرَّرُ إليها من الخلايا الجنسية. وما إن تتقَبَّلَ الخلايا الجسدية دورها التابع وتتجزَّه، حتى يصير توقيت موتها خاصاً أيضاً لاحتياجات الخلايا الجنسية.

ويتبَعُ الفارق بين المستعمرة وبين الكائن متعددَ الخلايا الحقيقي على الوجه الأمثل في ضوء الالتزام بالتمايِّز. فالطحالب البسيطة نسبياً، مثل الفولفوکس، تنتفع بالحياة المجمعة ولكنها أيضاً تختار العيش حرة وتعيش كخلايا منفردة. إنَّ الاحتفاظ بإمكانية الاستقلالية يقلص درجة التخصُّص التي يمكن الحصول عليها. فمن الواضح أنَّ الخلايا التي في درجة تخصُّصَ الخلايا العصبية مثلاً لا يمكنها العيش حرة. ولا يمكن تحقيق حياة متعددةَ الخلايا حقيقة إلا من قبل خلايا «جُهَّزَت» لإخضاع أنفسها بالكامل لسبب وجودها واستمرارها. يجب الحفاظ على التزامها هذا، وأي محاولات منها للنكوص والارتداد إلى حالة الاستقلالية تُعَاقَبُ بالموت، ولا شيء آخر يصلح. ولنفكَّر فيما يحدث من دمار نتيجة لمرض السرطان، حتى في يومنا هذا، بعد ملياراتِ عام من الحياة متعددةَ الخلايا، لندرك استحالة تلك الحياة إذا أصَبَّتَ الخلايا بالجنون واستقلَّت بذاتها على هواها. فالموت وحده هو الذي يجعل الحياة متعددةَ الخلايا ممكناً. وبطبيعة الحال، بدون الموت لن يكون ثمة تطور، وبدون البقاء التمايزِي للخلايا لن يكون للانتقاء الطبيعي دور.

وحتى في أوائلِ الكائنات متعددةَ الخلايا لم يتطلَّب تهديدُ الخلايا بعقوبة الموت، بسبب انتهاكها للقوانين، إجراءً قفزةَ تطورية كبيرة. وإذا رجعت إلى الفصل الرابع فستجد أنَّ الخلايا «حقيقيةَ النوى» المعقَّدة تكونَتْ أصلًا من اندماج بين نوعين من الخلايا: خلية العائل، والبكتيريا التي تطَوَّرَتْ فيما بعد إلى الميتوكوندриا. وتلك بدورها هي محطات لتوليد الطاقة التي صارت تُولَّدُ الطاقةَ للخلية. كانت أسلاف الميتوكوندريا مجموعةً من البكتيريا حرة المعيشة التي احتوت (مثل البكتيريا الزرقاء) على إنتزيمات الكاسبار المطلوبة لتمزيقَ الخلايا من الداخل وقتلها. ليس مهمًا من أين حصلت على تلك

الإنزيمات (فمن المحتمل أنها انتقلت إليها من البكتيريا الزرقاء، أو العكس بالعكس، أو أن كلتا المجموعتين ورثت إياها من سلف مشترك شديد القدم). الفكرة الرئيسية هنا أن الميتوكوندриا زودت الخلايا حقيقة النوى الأولى بآلية الموت، العاملة بفاعلية كاملة.

من التساؤلات المثيرة للاهتمام ما إذا كان بمقدور حقائق النوى أن تتطور بهذا النجاح إلى كائنات متعددة الخلايا دون أن ترث إنزيمات الكاسبار من البكتيريا، ولكن في وجود إنزيمات الكاسبار لم يكن ثمة سبيل لوقفها. وقد نشأت خاصية تعدد الخلايا الحقيقة بشكل مستقل خمس مرات على الأقل في حقائق النوى: في الطحالب الحمراء، والطحالب الخضراء، والحيوانات، والفطريات، والنباتات.^٢ من حيث البنية التنظيمية لا يوجد سوى قليل من الأمور المشتركة بين أشكال الحياة هذه، ولكنها جميعاً ترتبط خلاليها وتعاقبها على أي نكوص منها بالموت باستخدام إنزيمات كاسبار متشابهة إلى حد بعيد. ومما يثير الاهتمام أنه في جميع الحالات تقريباً لا تزال الميتوكوندриا هي وسائل الموت الرئيسية، والمحاور الرئيسية داخل الخلايا التي تجمع الإشارات المتصارعة، وتمنع الصخب، وتشغل آلة الموت عند الضرورة. ومن ثم مع أن موت الخلية ضروري لأي شكل من أشكال الحياة متعددة الخلايا، فإن الأمر لم يتطلب إلا القليل من الإبداع التطوري. فآلية الموت المطلوبة جاءت إلى أوائل الخلايا حقيقة النوى عن طريق الميتوكوندриا، ولا تزال كما هي إلى حد بعيد حتى يومنا هذا، وإن كانت تعقدت بدرجة طفيفة.

ولكن هناك فارقاً كبيراً بين موت الخلايا وموت الكائنات نفسها. فالموت الخلوي يلعب دوراً مهماً في شيخوخة الكائنات متعددة الخلايا وموتها، إلا أنه لا يوجد قانون يفرض أن تموت «كل» الخلايا الجسدية، أو يمنع الخلايا الأخرى القابلة للتخلص منها بنفس الدرجة من أن تحل محلها. إن بعض الحيوانات مثل حيوان شقائق نعمان المياه العذبة الذي يُسمى «الهيبردا» تُعد خالدة بالأساس؛ صحيح أن خلاياه تموت ويتم استبدالها، ولكن الكائن ككل لا تبدو عليه أي دلائل على الشيخوخة؛ إذ يوجد توازن طويل الأمد بين حياة الخلايا وموتها. ويشبه هذا الأمر جدولًا مائياً متذبذباً. فلا يمكن أن يخوض المرء في نفس ذلك الجدول مرتين؛ لأن مياهه تتذبذب وتتجدد بلا انقطاع ويتم استبدالها باستمرار، إلا أن حدود الجدول وحجمه وشكله تبقى كما هي بلا تغيير. وفي نظر أي شخص، باستثناء فلاسفة اليونان، سيبدو أنه نفس الجدول دون تغيير. وبالمثل، فإن خلايا الكائن الحي تتبدل مثل المياه، لكن الكائن ككل لا يتغير. فأنا أبقى كما أنا، وإن تغيرت خلائي.

لا يمكن أن يسري الأمر على نحو مختلف. فإذا اختل التوازن بين حياة الخلايا وموتها، فلن يكون الكائن أكثر استقراراً من جدول مائي، سواء في حالة فيضان أو جفاف. فإذا استطعت ضبط إعدادات «الموت» بحيث تقلل احتمال موت الخلايا كثيراً، فستكون النتيجة هي النمو السرطاني الخارج عن السيطرة. وإذا زدت احتمال موت الخلايا كثيراً، فستكون النتيجة هي الشيخوخة السريعة. إن السرطان والتنكس الخلوي وجهان لعملة واحدة. وكلاهما يهلكان حياة الكائنات عديدة الخلايا. ولكن الهيدرا البسيطة يمكنها أن تحفظ توازنها لأمد طويل جدًا، ويستطيع البشر الحفاظ على نفس الوزن والبنية عقوداً عدة بالرغم من استبدال مليارات الخلايا يومياً. ولا يُفقد هذا التوازن إلا حينما يشيخ المرء، وحينئذٍ نتعجب حينما نعاني من وجهي العملة في وقت واحد. فالسرطان والأمراض التكيسية كلها يرتبط بالضرورة بالتقدم في السن. فلماذا إذن تشيخ الكائنات الحية وتموت؟

إن أكثر الأفكار شيوعاً في هذا الصدد، التي طرحتها فايسمان في عقد الثمانينيات من القرن التاسع عشر هي فكرة خطأ، ولقد أدرك هو نفسه هذا الخطأ سريعاً. فلقد افترض فايسمان أصلاً أن الشيخوخة والموت يخلسان المجتمعات البشرية من العجائز المصابين بالبلل والهرم، ويستبدلان بهم نماذج جديدة نشطة من صغار السن والشباب مزودة بطاقة جديدة من الجينات المختلطة بفضل التكاثر الجنسي. هذه الفكرة تضفي على الموت نوعاً من التبدل والتناسق، وتجعله يحدث في سبيل هدف أسمى، حتى إن كان بالكاد هدفاً دينياً جليلاً. من هذا المنظور يكون موت الفرد مفيداً للنوع، تماماً مثلما يكون موت بعض الخلايا مفيداً للكائن الحي. إلا أن هذا الافتراض يدور في دائرة مفرغة، كما قال منتقدو فايسمان؛ فالأشخاص المسنون لا يعانون البلل والهرم إلا إذا أصيبووا بالشيخوخة في المقام الأول، ومن ثم فإن فايسمان افترض مسبقاً وجود ما كان يحاول أن يُفسّره من الأساس. بقي السؤال كما هو: ما الذي يجعل الأشخاص يُصابون بالبلل مع التقدم في السن، حتى إذا كان الموت يفيد المجتمعات البشرية؟ ما الذي يجب فعله لمنع الغش المتمثل في الأشخاص الذين ينجون من الموت مثل الخلايا السرطانية، والذين ينجبون المزيد من الذرية، وكلُّ منهم مُزود بنفس الجينات الأنانية؟ وما الذي يجب فعله لإيقاف أي سرطان في المجتمعات البشرية؟

كان أول من قدَّم الإجابة الداروينية هو بيتر مدُّور في محاضرته الافتتاحية الشهيرة في كلية لندن الجامعية في عام ١٩٥٣. وكانت إجابته أن هناك احتمالية إحصائية لموت

الفرد بغضّ النظر عن التقدُّم في السن؛ إذ يمكن أن تصدمه حافلة أو قطار، أو يسقط على رأسه حجر من السماء أو يأكله نمر أو يُصاب بمرض قاتل. وحتى إذا لم يمُت المرء على المدى الطويل، فلن يعيش إلى الأبد بلا نهاية. فالأشخاص الذين يرتكزون مواردهم التكاثرية في الجزء المبكر من حياتهم يكونون بهذا أكثر ترجيحاً من الناحية الإحصائية لأن يحظوا بذرية أكثر من الأشخاص الذين يتبعون أسلوب عدم التعجل والذين يتكلّرون، مثلًا، بمعدل مرة كل ٥٠٠ عام، ويندمون على فقدِهم لصوابهم بعد ٤٥ عاماً فقط. فمن يقرر التزاوج والإنجاب مبكراً يكون لديه المزيد من الذرية التي ترث جيناته «التزاوجية المبكرة» أكثر من أقربائه المتأخرین في الإنجاب. وهنا تكمن المشكلة.

يقول مدُور إن كل نوع من الكائنات يتمتع بمدى عمرٍ إحصائيٍ محتمل، وهو يعتمد على حجم الأفراد، ومعدل أيضهم، وأعدائهم الطبيعيين من المفترسات، وما يتمتّعون به من خصائص بدنية كالأجنحة، وغير ذلك. فإذا كان المدى العمري الإحصائي ذلك عشرين عاماً مثلًا، فإن الأفراد الذين يكملون دورتهم التكاثرية خلال هذه المدة سيخلّفون وراءهم المزيد من الذرية أكثر من الذين لا يفعلون ذلك. والجينات التي «تقدّم على المخاطرة» ستُبلي بلاءً أفضل من تلك التي لا تفعل ذلك. ومن ثم خلص مدُور إلى أنه في نهاية الأمر الجينات التي يمكن أن تُسبّب مرض القلب في الوقت الذي يفترض إحصائياً أن يكون الفرد في عداد الأموات، تتراكم في الجينوم. ففي البشر، لا يمكن أن يتخلّص الانتقاء الطبيعي من جين يُسبّب مرض ألزهايمر في سن ١٥٠ عاماً إذا لم يَعش أحدُ إلى هذه السن. وفي الأذمنة الماضية نجت الجينات التي تسبّب مرض ألزهايمر عند سن السبعين لأنّه لم يكن أحد يتجاوز سن السبعين إلا القليل. ومن ثم ينظر مدُور إلى سن الشيخوخة باعتبارها التدهور الناتج عن الجينات التي تستمر في أداء وظائفها في إنسان لا يزال على قيد الحياة وكان ينبغي أن يكون في قبره منذ زمن؛ فهي نتاج عمل جينات تُعدُّ بالمائات، إن لم تكن بالألاف، تُعتبر ميّة من الناحية الفعلية، ومن ثم فهي خارج إطار الانتقاء الطبيعي. والبشر هم وحدهم الذين يعانون على طريقة أسطورة تيتوнос؛ لأنّهم وحدهم الذين نجحوا بطرق اصطناعية في إطالة متوسط أمغارهم بتخلصهم من كثير من الأسباب الإحصائية للموت، مثل الحيوانات المفترسة وكثير من الأمراض المعدية الخطيرة. لقد أخرجنا من القبور جينات ميّة، وهذا هي تتعقبنا حتى قبورنا.

نُقْحَتْ أفكار مدوّر على نحوٍ مستقلٍ منْ قِبَلِ البيولوجي التطوري الأمريكي جورج سبي ويليامز الذي اقترح فكرة أعطاها واحدة من أسوأ التسميات العلمية بالتأكيد؛ وهي: تعدد النمط الظاهر المتضاد. فيرأيي، هذا المصطلح الغريب مستفز وسخيف. وفي الواقع هو يشير إلى أن الجينات لها تأثيرات عدّة، بعضها أفضل من البعض الآخر، بل إن بعضها ضار بالفعل. وندكر كمثال تقليدي ومؤسف على ذلك: داء هنتنجرتون؛ وهو مرض تتكسي بدني وعقلي قاسٍ لا يرحم، ويبداً باختلالات عضلية طفيفة وتعثُّر عند المشي في فترة مبكرة من متصف العمر، ولا يليث أن يُجْرِد المريض من قدرته على المشي والكلام والتفكير والتعلّق. تنتج هذه الحالة المرضية من «الجنون الترنحي» عن خلل في أحد الجينات، ولا يكشف هذا الخلل عن نفسه إلا بعد النضج الجنسي. وتقترح بعض الأدلة غير الحاسمة أن الأشخاص الذين يُصابون بداء هنتنجرتون يتمتعون بكفاءة أكثر من الناحية الجنسية في مرحلة مبكرة من حياتهم، وإن كان سبب هذا غير معروف، ويُعَدُّ مبلغ هذا التأثير ضئيلاً للغاية. ولكن الفكرة هي أن الجين الذي يُحدِث ولو قدراً ضئيلاً من الكفاءة الجنسية يتم انتقاءه ويبقى في الجينوم، وإن كان سِيُسْبِبُ فيما بعد أشد الانحلالات العصبية فظاعة.

ليس من المعروف بشكل مؤكّد عدد الجينات المرتبطة بالأمراض في مراحل العمر المتأخرة، ولكن الفكرة بسيطة إلى حدٍ ما ومحبولة من الناحية التفسيرية. فمن السهل أن تخيل جيناً ما يُسَبِّبُ تراكماً لعنصر الحديد باعتباره مفيتاً في مرحلة مبكرة من العمر؛ إذ يعمل، على سبيل المثال، على تكوين الصبغ الدموي المسمى بالهيماوجلوبين، إلا أنه يكون ضاراً فيما بعد؛ إذ إن زيادة تراكم الحديد بالجسم تُسبِّبُ السكتة القلبية. من المؤكد أنه لا تُوجَد فكرة تطورية أكثر تناغماً مع الطبع الحديث من هذه الفكرة. وفي الحديث الشائع بين الناس يُقال إن هناك جيناً لكل شيء، بدءاً من الشذوذ الجنسي وحتى مرض ألزهايمر. ولكن هذا كلام مستهلك، الهدف منه زيادة مبيعات الصحف والمجلات، بينما الحقيقة أعمق من هذا. والفكرة القائلة إن تنويعات جينية معينة تُحتم الإصابة بأمراض معينة راسخة في أعماق الأبحاث الطبية. ومن الأمثلة المعروفة لذلك أن هناك ثلاثة تنويعات مختلفة من الجين المسمى ApoE؛ وهي: ApoE2 وApoE3 وApoE4. لدى حوالي ٢٠ بالمائة من السكان في أوروبا الغربية النوع ApoE4، الذين لديهم هذا النوع الجيني، ويعرفون هذا الأمر، لا شك أنهم يتمنون لو كان الأمر خلاف ذلك؛ إذ إنه مرتبط بقابلية أعلى من الناحية الإحصائية للإصابة بمرض ألزهايمر، فضلاً عن أمراض

القلب والأوعية الدموية والسكبة الدماغية. فإذا كانت لديك نسختان من النوع ApoE4 فيجدر بك أن تحرس في أكلك وأن تمارس الرياضة بانتظام إذا أردت أن تتحاشى الإصابة بتلك الأمراض الجينية المدمرة.^٤

ليس من المعروف «فائدة» الجين ApoE4، ولكن حقيقة شيوع هذا النوع الجيني تُوحِي بأنه قد يكون مفيداً لشيء ما في مرحلة مبكرة من العمر، بما يتوازى مع ما يتسبَّب فيه من مشكلات فيما بعد. ولكن هذا مجرد مثال واحد من مئات الأمثلة إن لم تكن الآلاف. وتعمل الأبحاث الطبية على تعقب تلك التنشيطات الجينية ومحاولة تحديد آثارها الضارة من خلال عقاقير جديدة تستهدفها (وإن كانت غالبية الثمن). وعلى العكس من داء هنتنجرتون، فإنَّ أغلب الأمراض المرتبطة بالتقدم في السن ينمُّ نسيج كثيف من العوامل الجينية والبيئية. وبصفة عامة، تسهم جينات متعددة في إحداث أضرار مرضية. ففي أمراض القلب والأوعية الدموية، على سبيل المثال، تُوجَد عوامل جينية مختلفة تُعرِّض الناس للإصابة بارتفاع ضغط الدم، أو سرعة تجلط الدم، أو السمنة، أو ارتفاع الكوليستيرول، أو الميل إلى الخمول. وإذا كانت قابلية الإصابة بارتفاع ضغط الدم مصحوبة بالتهام الأطعمة المتخصمة بالدهون واللح، وتترعرع الخمور وتدخين السجائر وتفضيل الاستلقاء في كسل أمام التليفزيون على ممارسة الرياضة، فلسنا بحاجة إلى شركة تأمين لتقدِّر لنا خطورة الوضع. ولكن بصفة عامة، يُعَدُّ تقدير مدى قابلية الإصابة بالأمراض جهداً لا يُقابل بالشك، ولا يزال فهمنا لقابلية الجينية للإصابة بأمراض معينة في مهدِّه. وحتى عند جمع إسهامات العوامل الجينية في الإصابة بالأمراض المرتبطة بالتقدم في السن نجد أنها تُشَكِّل عادةً أقل من ٥٠ بالمائة. فالشيخوخة المجردة – في حد ذاتها وفي جميع الحالات تقريباً – تكون هي عامل الخطورة الرئيسي في هذا الصدد، وقليل فقط من سُيئي الحظ هم من يقعون فريسة للسرطان أو يُعانون سكتة دماغية في العشرينات أو الثلاثينيات من أعمارهم.

وبصفة عامة، إذن، المفهوم الطبي الحديث للأمراض المرتبطة ب الكبر السن يتواافق بشكل وثيق مع التصور التطوري لمَوْرِّر الجينات متأخرة التأثير. تسهم مئات عديد من الجينات في زيادة استعدادنا للإصابة بالأمراض، ولدى كلٌّ منها طيف خاص به للإصابة بالأمراض، أي مقربتنا المميزة من الجينات، التي يمكن أن تزداد تأثيراتها الضارة شدة أو تقل عن طريق نمط الحياة الخاص بكلٍّ منها، أو عن طريق الجينات الأخرى. ولكن هناك مشكلتين خطيرتين فيما يختص بوجهة النظر هذه عن الشيخوخة.

تكمّن أولاهما في انتقائي للألفاظ في هذا الصدد؛ فأننا أتحدّث عن الأمراض، وتحديداً عن «أعراض» الشيخوخة، وليس عن «السبب» الكامن وراء الشيخوخة. فتلك الجينات ترتبط بأمراض مُعيَّنة ولكن القليل منها فقط على ما يبدو هو الذي يُسبِّب الشيخوخة ذاتها. من الممكن أن يعيش الإنسان حتى عمر ١٢٠ عاماً، دون أن يعاني مرضًا ذا بال. ولكنه في النهاية يهرم ويقضي نَحْبَه. وبالنسبة لبقتنا، فإن التأثيرات السلبية للجينات المعيَّنة يكشفها التقدُّم في السن؛ فلم تكن تزعجنا حينما كنا شباباً، ولم تفعل هذا إلا حينما هرمنا. وهناك مَيْلٌ في الطلب للنظر إلى الأمراض المتعلقة بكبر السن باعتبارها أمراضًا باثولوجية عضوية (ومن ثم فهي «قابلة للعلاج»)، والنظر إلى كبر السن ذاته باعتباره «حالة» وليس مرضًا، ومن ثم فهو بطبعته «غير قابل للعلاج». إن هناك رفضًا يمكن تفهمه لِوَصْمِ المسن باعتباره مريضاً. ومع أن وجهة النظر هذه ليست مفيدة، من حيث إنها تحاول فك الاشتباك بين الشيخوخة والأمراض المتعلقة بها، فإن هذا التمييز يبلور فكريتي عن دور بشكل واضح. فقد فسَّرَ مدور دور الجينات في الأمراض المتعلقة بالشيخوخة، ولكنه لم يُفْسِّر السبب من وراء الشيخوخة ذاتها.

ولقد أتى الدافع من وراء هذا التمييز كاكتشاف صادم في العقد التالي لعام ١٩٨٨، حينما اكتشف ديفيد فريدمان وتوم جونسون بجامعة كاليفورنيا، بمدينة إرفين أول حالة تطافر جيني مسببة لطول العمر في الديдан الخيطية (النيماتودا)؛ إذ أدَّتْ طفرات في الجين المسمى age-1 إلى مضاعفة عمرها الطبيعي من ٤٦ يوماً إلى ٢٢ يوماً. وعلى مدى الأعوام التالية تم تسجيل أرقام جديدة لطفرات مماثلة في النيماتودا، فضلاً عن صور أخرى متشعبة من الحياة، من فطر الخميرة إلى ذباب الفاكهة والفئران. ولفترة ما، ساد هذا المجال شعور يشبه الشعور الذي ساد مجال فيزياء الجسيمات في أوج ازدهاره في عقد السبعينيات، مع اكتشاف مجموعة متنوعة من الطفرات المطلية للعمر وتصنيفها. وتدرِّيجياً بدأ نمط معين في البروز. فلقد كانت كل الجينات الطافرة تقريباً تشفَّر البروتينات بنفس المسار الكيميائي الحيوي، سواء في الخميرة أو الذباب أو الفئران. وبتعبير آخر نقول: كانت هناك آلية محفوظة بشكل استثنائي، تنطبق على الخميرة وعلى الثدييات على حد سواء، تتحكم في العمر. ولم تكن الطفرات الجينية في هذا المسار تطيل المدى العمري فحسب، بل كانت أثناء ذلك أيضاً تؤخِّر أعراض الشيخوخة، بل وتتجنبها. وخلافاً لأسطورة تيثونوس المكين، فقد اقتربت مضاعفة العمر بتحسين مضاعف في الصحة.

لم تأتِ الرابطة بين المرض والอายุ كمفاجأة. فعلى أي حال، جميع الثدييات تقريباً تعاني طيفاً مشابهاً من الأمراض المتعلقة بـ«السن»، بما فيها الداء السكري والسلكة الدماغية والأمراض القلبية الوعائية والعمى وعنة الشيخوخة ... إلخ. ومع ذلك، فإن الجرذ يقع فريسة للسرطان في عمر ثلاث سنوات تقريباً حينما يشيخ، بينما يبدأ البشر في معاناة نفس الأمراض في سن الستين أو السبعين. ببساطة، حتى الأمراض الجينية ترتبط بالشيخوخة، وليس بالتوقيت الزمني نفسه. وإن ما جاء كمفاجأة حقيقة في مجال الطفرات الجينية المتعلقة بالعمر كانت مرونة المنظومة كلّ؛ إذ يمكن أن تسبب طفرة واحدة في جين واحد فقط مضاعفة المدى العمري وفي الوقت ذاته «تعطل» أمراض الشيخوخة.

ولا حاجة بنا للتأكيد على أهمية هذه الاكتشافات للبشر. فكل أمراض الشيخوخة، من السرطان إلى أمراض القلب إلى مرض الزهايمير، يمكن نظرياً تأخيرها، بل وتجنبها بإجراء تعديلات بسيطة في مسار واحد. إنه استنتاج صادم، ومع هذا فهو ما ثال أماماً وجوهنا؛ إذ ينبغي أن يكون من الأسهل أن «نعالج» الشيخوخة وجميع الأمراض المتعلقة بها بعلاج طبي واحد شامل من أن نعالج أي واحد من تلك الأمراض، مثل الزهايمير، في أناس توغلوا في الشيخوخة بالفعل. وهذا هو السبب الثاني في اعتقادي أن تفسير مدور للشيخوخة خطأ. فنحن لسنا خاضعين تماماً لمقدمة الجينات الخاصة بنا، بل يمكننا أن نتخطى جبنة الجينات تماماً إذا تجنبنا الشيخوخة في المقام الأول. إن أمراض الشيخوخة تعتمد على «العمر البيولوجي» وليس الزمن المنقضي وحسب. فإذا عالجنا الشيخوخة تكون قد عالجنا أمراض الشيخوخة، كلها. والدرس الدامغ المستفاد من كل هذه الدراسات الجينية هو أن الشيخوخة قابلة للعلاج.

إن وجود مسار كيميائي حيوي يتحكم في المدى العمري يثير بضعة أسئلة في مجال التطور. أولى تبعات الأمر، وهو الأمر غير الصحيح، هو أن العمر مكتوب مباشرةً في الجينات؛ بمعنى أن الشيخوخة والموت مبرمجان، ويُفترض أن هذا لصالح نوع الكائن ككلّ؛ وهو الافتراض الذي كان فايسمان أول من وضعه. ولكن إذا استطاعت طفرة جينية واحدة أن تضاعف المدى العمري، فلماذا لا نرى المزيد من «حالات الغش»، والمزيد من الحيوانات التي تخرج عن إطار النظام لصلحتها؟ إن الأمر بسيط. فإذا كانت الحيوانات لا تعيش، فلا بد أن هناك عقوبة للغش، عقوبة عنيفة بدرجة تكفي للتغلب على مزايا الحياة الأطول. وإذا كان هذا صحيحاً، فربما نفضل أن نحافظ بأمراضنا.

هناك عيب بالفعل؛ وهو التكاثر الجنسي مجدداً. فإذا شئنا أن نطيل أعمارنا وأن نتجنّب الأمراض، فمن الحكمة أن نقرأ الكلمات صغيرة الحروف في عقدنا المكتوب مع الموت. فمن العجيب أن الطفرات في جميع الجينات المتعلقة بطول العمر، التي تُسمى «جينات العمر»، تعمل على إطالة المدى العمري، وليس تقصيره. فالوضع الأساسي دائمًا هو أن يكون العمر قصيراً. وهذا يكون منطقياً حينما نضع في اعتبارنا طبيعة المسار الكيميائي الحيوي الذي تتحكم فيه جينات العمر. إن الأمر لا يتعلّق بالتقدم في العمر ذاته، ولكن بالنضج الجنسي. إن نمو حيوانٍ ما وصولاً إلى النضج الجنسي يتطلّب وفرة في الموارد والطاقة، وإذا لم تكن هذه الموارد متاحة فمن الأفضل تأخير النمو الجنسي والتريث إلى حين توافر تلك المتطلبات. وهذا يعني أن الوفرة البيئية في حال وجودها، ينبغي ضبطها وتحويلها إلى عملة كيميائية حيوية تخاطب الخلايا مباشرةً قائلةً لها: «هناك وفرة من الطعام، والوقت الحالي وقت مناسب لاستعدّي للتكاثر. فلتتهيّئي للتزاوج!»

إن الإشارة الكيميائية الحيوية التي تدل على الوفرة هي هرمون الأنسولين، فضلاً عن عائلة كبيرة من الهرمونات ذات الصلة التي تعمل على فترات أطول (لأسابيع أو شهور)، وأكثرها وضوحاً هو عامل النمو ذو الصلة بالأنسولين. لا تعني هنا أسماء هذه الهرمونات، وفي ديدان النيماتودا وحدها يوجد تسعة وثلاثون هرموناً ذات صلة بالأنسولين. المهم أن الطعام حينما يكون وفيراً، تنبri هرمونات الأنسولين لأداء مهامها، وتنظيم تشكيلة من التغيرات التطورية التي تهيئ الحيوان للتزاوج. وإذا لم يكن الطعام متاحاً تسكن أصوات هذه المسارات، ويتم إرجاء النمو الجنسي. إلا أن السكون لا يعني عدم حدوث شيء مطلقاً، بل على العكس، فإن غياب إشارة ما تكتشفه مستشعرات أخرى، وهذه بالتبعية تفرض قيوداً على أنشطة الحياة، وكأنها تقول للكائن الحي: انتظر واصبر حتى تتحسن الأحوال، ثم حاول مجدداً أن تتزاوج. وفي نفس الوقت يُحفظ الجسم في حالة كمون أطول مدة ممكنة.

كان من طرح فكرة التوازن بين التزاوج وطول العمر إخصائي علم الشيخوخة البريطاني توم كيركود في منتصف سبعينيات القرن العشرين، قبل اكتشاف أيّ من جينات العمر بوقتٍ طويل. ولقد تصوّر كيركود تماماً وجود ذلك «الخيار» على الأسس الاقتصادية القائلة إن الطاقة محددة وإن كل شيء له ثمن وتكلفة. إن تكلفة الطاقة اللازمة لحفظ الجسم وصيانته يجب أن تُطرح من تكلفة الطاقة الازمة للتزاوج، والكائنات التي تحاول فعل الأمرين بنفس القدر في آنٍ واحد تكون أقل نجاحاً من

تلك التي توزّع مواردّها بالقسطاس. وأكثر الأمثلة الدالة على ذلك شدة وتطرفاً تلك الحيوانات التي لا تتكاثر سوى مرة واحدة ولا ترعى ذريتها مطلقاً، مثل سمك السالمون الباسيفيكي. فلا يُفسّر نفوّقها الجماعي الكارثي باعتباره برنامجاً للموت بقدر ما يُفسّر على أنه استثمار إجمالي للموارد في مشروع لحفظ النوع؛ أي التكاثر^٠. فهي تهلك في غضون أيام لأنها تخصّص كل مواردها للتزاوج، وتسحب كل رصيدها من بند الصيانة الجسدية. ويتبعُن على الحيوانات التي تتكاثر أكثر من مرة، في مناسبات مختلفة، أن تخصّص قدرًا أقل من مواردها للتزاوج وقدرًا أكبر لصيانة أجسادها، وعلى الحيوانات التي تستثمر بكثافة في تربية ذريتها على مر السنين، مثل البشر، أن تضبط هذا التوازن أكثر وأكثر. ولكن في جميع الحالات هناك خيار. وهذا الخيار لدى الحيوانات يتم التحكم فيه من قبل هرمونات الإنسولين.

تعمل طفرات جينات العمر على إسكات هذه الجينات؛ إذ تعطل الإشارة الدالة على الوفرة، وبِدلاً منها تستثير الجينات المختصة بالصيانة الجسدية. وحتى حينما يكون الطعام وفيراً، تخفق جينات العمر الطافرة في الاستجابة. أولى المفارقات العديدة التي يتسبّب فيها هذا الأمر هو أن هذه الطفرات تقاوم الإشارة القوية الدالة على وجود الإنسولين. ومكمّن المفارقة هنا هو أن مقاومة الجسم للإنسولين في البشر لا تُسبّب طول العمر وإنما تُسبّب الداء السكري من النوع الثاني الذي يُصيب الكبار. والمشكلة أن الإفراط في الأكل، إذا أُضيفَ إليه وجود عزم فسيولوجي على اختران الموارد الشحيبة لأوقات أفضل، يؤدي إلى زيادة الوزن والداء السكري والوفاة المبكرة. ثاني المفارقات أن العقوبة المفروضة مقابل إطالة الحياة، وهي تأجيل إمكانية التزاوج، تبقى مستمرة بإصرار. وهي تتجسّد في صورة انعدام في الخصوبة. ومن ثم فليس من قبل المصادفة أن ارتبط الداء السكري بانعدام الخصوبة. فالداء السكري وانعدام الخصوبة ينتجان عن التقلّب الهرموني ذاته. ويمكن أن تؤدي إعاقة الإنسولين إلى إطالة الحياة فقط إذا بقينا جائعين معظم الوقت، على أن يكون ثمن ذلك عدم إنجاب أطفال مطلقاً.

بالطبع نعلم هذا لعقود من الزمان، وهذه هي المفارقة الثالثة. ربما لا تعجبنا هذه الحقيقة كثيراً، ولكننا اكتشفنا منذ عشرينيات القرن العشرين أن الاعتدال في الأكل والجوع المعتمل لفترات معتدلة يساعد على إطالة العمر. وهذا ما يُسمى تقييد السعرات. فقد تبيّن أن الفئران إذا تمت تغذيتها بغذاء متوازن، ولكنه يقل في سعراته بنسبة ٤٠ بالمائة عن المعتاد، تعيش مدة أطول بمقدار النصف من أقربائها التي تغذّت جيداً، كما

تقل معاناتها من أمراض الشيخوخة. وهكذا، فإن الأمراض المتعلقة بالشيخوخة تتأجل إلى أجلٍ غير مسمى، كما يقل احتمال الإصابة بها. ليس مؤكداً إن كان تقليل السعرات في البشر له نفس التأثيرات كما الحال في الفئران، ولكن هناك من العلامات ما يفيد بهذا، وإن كان بدرجة أقل قليلاً؛ إذ تشير دراسات كيميائية حيوية إلى احتمال حدوث تغيرات مماثلة في البشر أيضاً إلى حدٍ بعيد. ولكن بالرغم من الحقيقة القائلة إننا نعرف تأثيرات تقييد السعرات على مدى عقود، فإننا لا نعرف إلا القليل عن كيفية حدوث هذا وسببه، أو حتى ما إذا كان هذا ينطبق على البشر بشكل مؤكد.

وثرّة سبب لهذه المشكلة، وهو أن إجراء دراسة سليمة علمياً على الفترة التي يعيشها الإنسان يستغرق عقوداً عدة؛ مما يقوّض حماس الباحثين، حتى أكثرهم اهتماماً.^٦ وهناك سبب آخر وهو المفهوم السائد منذ زمنٍ طويل بأن المدى العمري الأطول يعني الحياة بوتيرة أشد بطأً وأكثر إثارة للضرر. لكن الواقع يقول إن هذا غير صحيح، وينحدنا سبيلاً للأمل والتفاؤل. إن تقييد السعرات يُحسن كفاءة استخدام الطاقة دون خفض مستويات الطاقة ككلٍّ، بل على العكس في واقع الأمر، فإنه يميل إلى رفعها. إلا أن السبب الرئيسي لقلة ما نعرفه في هذا الصدد هو أن الكيمياء الحيوية التي تكتنف تقييد السعرات تشكّل شبكة رهيبة من التلافيف المرتدة والدوائر المتوازية والبيانات المتكررة التي تتفاوت بشدة من نسيج إلى آخر ومن نوع إلى آخر وتقاوم إماتة اللثام عنها. وتكمّن أهمية جينات العمر في أنها تظهر أن حدوث تغيرات طفيفة في تلك الشبكة المعقدة يمكن أن يصنع فارقاً كبيراً. فلا غرو إن كان للمعرفة تأثير مثير لحماس الباحثين.

من المفترض أن تقييد السعرات يُظهر تأثيراته جزئياً على الأقل، من خلال المسارات التي تتحكّم فيها جينات العمر. إنه مفتاح تحويلة يختار بين بدلين؛ فإذا التزاوج وإما طول العمر. وثمة مشكلة في تقييد السعرات وهي أنه يشدد بإصرارٍ كامل على هذا التخيير أو هذه المفاضلة؛ ومن ثمَّ يقل احتمال أن يحصل المرء على ميزة التزاوج بالإضافة إلى طول العمر. ولكن هذا لا ينطبق على جينات العمر في جميع الأحوال، فبعض الطفرات في جينات العمر تثبت النضج الجنسي (وهذا تفعّله الطفرة الأصلية في جين age-1 بنسبة ٧٥ بالمائة، على سبيل المثال) ولكن ليست كلها تفعل هذا. ولقد ثبت أن هناك بضعة من جينات العمر التي تساعد على إطالة العمر وتعزيز الصحة معًا، مع القليل من التثبيط للقدرة الجنسية؛ يتّخذ صورة تأجيل طفيف وليس منعاً نهائياً. وهناك جينات أخرى تُوقف النمو الجنسي في الحيوانات صغيرة السن، ولكن ليست لها

آثار سلبية واضحة في الحيوانات البالغة الأكبر سنًا. ومرة أخرى أقول إن التفاصيل لا تهمنا هنا، والمهم أن الممكن بشيء من البراعة فض الاشتباك بين التكاثر الجنسي وطول العمر، بتتشييط الجينات المسئولة عن طول العمر دون الإضرار بالقدرة الجنسية. ثمة اثنان من جينات العمر يبدو أنهما يلعبان دوراً أساسياً في تقييد السعرات، وقد بروزا ودخلوا في دائرة الاهتمام على مدى السنوات القليلة الماضية، ويُسمّيان SIRT-1 وTOR. وهما واسعاً الانتشار بين الكائنات لدرجة تكاد تكون شاملة؛ من فطر الخميرة حتى الثدييات، وكلاهما يمارس تأثيراته على العمر عن طريق تنشيط مجموعات كاملة من البروتينات، وكلاهما حساس لوجود أو غياب المواد الغذائية وعوامل النمو مثل عائلة الأنسولين، وينشط في العمل في أحوال متعاكسة.⁷ من المعتقد أن جين TOR يتحكّم في الجانب الجنسي من مفتاح التحويلة، الذي ذكرناه سابقاً، عن طريق تنشيط النمو والتكاثر الخلويين. وهو يعمل عن طريق تنشيط بروتينات أخرى؛ مما يؤدي إلى تحفيز عملية بناء البروتينات والنمو الخلوي، بينما يعيق تحلل المكونات الخلوية وتقلّبها. وفي نفس الوقت يعوق جين SIRT-1 الكثير من هذه التأثيرات، بينما ينشئ «استجابة توترية» لدعم الخلية. وعلى نحوٍ معتاد في العالم البيولوجي فإن أنشطة هذين الجينين تكون متداخلة ولن يستوي متعارضة. ولكن هذين الجينين فيما بينهما يعملان عمل «المحاور» الأساسية المسئولة عن تنسيق الكثير من فوائد تقييد السعرات.

وقد قفز جينا SIRT-1 وTOR إلى دائرة الضوء جزئياً لأنهما مهمان حقاً، وجزئياً لأننا نعلم بالفعل كيف تستهدفهما من الناحية الدوائية، وقد أدى هذا - إضافة إلى الفوائد التي على المحك - إلى إثارة جدل علمي قوي. فوفقاً لليونارد جوارنتي، بمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، وديفيد سنكلير، الباحث السابق في مرحلة ما بعد الدكتوراه، الذي صار الآن في جامعة هارفرد، فإن جين SIRT-1 مسؤول عن معظم تأثيرات تقييد السعرات في الثدييات ويمكن تنشيطه بجزء صغير من مادة تُوجَد في النبيذ الأحمر تُعرف بالرسفيراترول. وقد أظهرت سلسلة من المطبوعات عالية القيمة، بدءاً من مجلة «نيتشر»، التي نُشرت فيها ورقة بحثية عن هذا الأمر في عام ٢٠٠٣، أن الرسفيراترول يمكن أن يساعد على زيادة المدى العمري لفطر الخميرة والديدان والذباب. وقد تفجّر اهتمام شعبي في نوفمبر ٢٠٠٦ حينما نشر سنكلير وزملاؤه بحثاً واعداً في مجلة «نيتشر»، يُظهر أن الرسفيراترول يُقلّل قابلية نفوق الفئران السمية بمقدار الثلث، وقد نُشر هذا الاكتشاف بالصفحة الأولى من جريدة «نيويورك تايمز»؛ مما زاد من رواج هذا الأمر بين

الناس. فإذا كان بإمكان هذه المادة أن تتحقق هذا للفئران السمية، فيإمكانها أن تفعل الأعاجيب للبشر أيضاً. وقد أضافت الفوائد الصحية المعروفة لاحتساء النبيذ الأحمر المزيد من الحنطة إلى المطحنة، مع أن كمية مادة الرسفيراترول في كوب واحد من النبيذ الأحمر لا تزيد عن ٣٪، بمائة من كل جرعة أُعطيت للفئران.

ومن قبيل المفارقة أن اثنين من طلبة الدكتوراه السابقين في معمل جوارنتي، وهما بريان كنيدي ومات كيرلاين – وكلاهما صارا الآن أستاذين بجامعة واشنطن، بمدينة سياتل – عارضا هذه الفكرة الأنيقة مؤخراً. ولكنهما من رواد بعض الأبحاث المبكرة التي أجريت على الجين 1-SIRT، فقد انزعجا لما وجداه من استثناءات تخالف ما تنبأ به من قبل.

يناصر كيرلاين وكنيدي الجين TOR وليس الجين 1-SIRT، وهما يقولان إن تأثيراته أكثر انتشاراً ورسوخاً بين أنواع الكائنات. ونظرًا لأن الجينين TOR و1-SIRT يتصنفان بخصائص متراكبة ولن يحيط بهما متضاد تمامًا، فقد يكون العالمان على حق. وقد اكتشفا أن كبح الجين TOR يثبط النشاطين المناعي والالتهابي، مما قد يكون مفيداً؛ لأن معظم الأمراض المتعلقة بالشيخوخة لها مكون التهابي مزمن. ثمة مفارقة ثانية هنا؛ وهي أن اللفظ TOR هو اختصار بالإنجليزية لعبارة target of rapamycin التي معناها «هدف الرباباميسين»، والرباباميسين عقار اكتُشفَ في سياق طب زراعة الأعضاء. وهو يُعدُّ واحداً من أنجح العقاقير المثبتة للمناعة والمتدالة في هذا الحقل الطبي في سوق العقاقير، وقد استُعمل على مدى أكثر من عقد من الزمان. ويتسم الرباباميسين بميزة غير عادية بين مثبطات المناعة في أنه لا يجعل مستعمليه عرضة للسرطان، أو هشاشة العظام؛ لكن لم يقتنع سوى قلة من الباحثين بدعم ميخائيل بلاجوسكلوني القوي لاستخدام الرباباميسين بوصفه عقاراً مضاداً للشيخوخة. سيكون من المشوّق دون شك أن نعرف ما إذا كان المرضى من ذوي الأعضاء المزروعة الذين يتناولون عقار الرباباميسين تقل إصابتهم بأمراض الشيخوخة أم لا.

ولكن تُوجَد مشكلة أعمق فيما يتعلق بكلٍّ من الرسفيراترول والرباباميسين بوصفها أدوية مضادة للشيخوخة، وهي مدى اتساع تأثيرهما هذا. فكلاهما ينسق عملية تنشيط أو تثبيط عشرات، بل مئات، البروتينات والجينات. وقد يكون هذا ضروريًا إلى حدٍ ما، إلا أن بعض أجزاء هذه المجموعة من التغيرات قد تكون غير مفيدة أو قد تكون ضرورية فقط في سياق الحرمان قصير المدى من الطعام أو الضغوط التوتية، وهو السياق الذي

برز فيه هذان العقاران. فلقد وجدنا، على سبيل المثال، أن تنشيط الجين SIRT-1 أو تنشيط الجين TOR يمكن أن يتسبب بوضوح في حدوث مقاومة للإنسولين، والإصابة بالداء السكري، وعدم الإنجاب، وتنشيط المناعة. ومن المفضل اتباع أسلوب أكثر استهدافاً لا يتضمن التضخية إلا بالقليل من فوائد الجينين.^٨ ونعرف أن هذا ينبغي أن يكون ممكناً لأن الحيوانات التي تطول أمغارها عن طريق الارتفاع الطبيعي على مدى أجيال تعيش في البرية لا تعاني أياً من تلك العيوب المذكورة. وهنا تبرز تساؤلات هي: من بين خليط الجينات الذي يتتأثر بجيني TOR وSIRT-1، أنها مسؤولة عن طول العمر والحد من الأمراض؟ وما هي بالتحديد التغيرات الفيزيائية التي تحدث داخل الخلايا وتوقف أضرار التقدم في السن؟ وهل يمكننا استهدافها مباشرةً؟

لم نتوصل إلى الإجابة عن هذه التساؤلات بصفة مؤكدة حتى الآن، وكما يحدث غالباً، فيبدو أنه يوجد عدد من الإجابات يضاهي عدد الباحثين. بعض أولئك الباحثين يركز على أهمية وجود «استجابة توترية» واقية، بينما يركز البعض الآخر على التنظيم الفعال للإنزيمات المزيلة للسموم، ويركز البعض الثالث على أهمية تعزيز منظومة التخلص من نفايات الجسم. وقد تكون كل وجهات النظر تلك مهمة في بعض الظروف، ولكن يبدو أن أهميتها تتفاوت بين أنواع الكائنات المختلفة. والتغير الوحيد الذي يبدو أنه راسخ ومستقر بين الكائنات من الفطريات إلى الحيوانات، ومن بينها الإنسان، يتعلق بمحطات توليد الطاقة داخل الخلية: الميتوكوندриا. فتقيد السعرات يستحوذ في جميع الحالات تقريباً المزيد من الميتوكوندريا، التي تتميز أغشيتها بمقاومة التلف، والتي يقل ما يتسرّب منها من نواتج أكسيدية من «الجذور الحرة» المتفاعلة أثناء عملية التنفس. ولا تتميّز هذه التغيرات بالثبات والرسوخ فحسب، بل إنها تنضم أيضاً مع الأبحاث التي أُجريت على مدى نصف قرن عن العلاقة بين الجذور الحرة والشيخوخة.

تعود الفكرة القائلة إن الجذور الحرة قد تسبّب الشيخوخة إلى خمسينيات القرن العشرين؛ حيث افترض دنهام هارمان، الذي كانت لديه خلفية عن كيمياء الجذور الحرة في صناعة الزيوت، أن دقائق الأكسجين أو النيتروجين المتفاعلة تلك (التي فقدت إلكترونًا أو اكتسبته) قد تهاجم أيضاً جزيئات بيولوجية مهمة مثل الدي إن إيه والبروتينات. كما افترض هارمان أنها قد تؤدي في نهاية الأمر إلى تراكم النفايات في الخلايا ودفع عملية الشيخوخة قدماً.

تغيرت أمور كثيرة خلال نصف القرن الذي تلى تقديم هارمان لفكته الأصلية، ومن العدل الآن أن نقول إن هذه النظرية، على النحو الذي صيغت به في البداية، خطأ وإن كان يمكن لنسخة معدلة منها أن تكون صواباً.

فهناك شيئاً لم يعرفهما هارمان، ولم يستطع معرفتهما. أولهما أن الجذور الحرة ليست مجرد دقائق مترادفة، ولكن تستخدمها الخلايا لتحسين عملية التنفس، وأيضاً كإشارة خطر. فهي تعمل مثل الدخان الذي يحث على دق جرس الحريق. فالجذور الحرة لا تهاجم البروتينات والدلي إن إيه عشوائياً، ولكنها تنشط أو تثبط عدداً قليلاً من البروتينات التحذيرية الأساسية (بما فيها الجين TOR ذاته)، التي بدورها تنظم نشاط المئات من البروتينات والجينات. وإننا نعرف الآن أن إشارات الجذور الحرة هي شيء أساسي للفسيولوجيا الخلوية؛ ومن ثم يمكننا أن نبدأ في إدراك السبب في أن مضادات الأكسدة (التي تزيل الجذور الحرة) تضر بقدر ما تتفع. ومع ذلك ما زلنا نجد الكثرين من يتبعون توقعات هارمان الأصلية التي تجزم بأن مضادات الأكسدة تبطئ زحف الشيخوخة وتقي من الأمراض. ولقد أثبتت الدراسات الإكلينيكية المتكررة أنها لا تتفع في هذا الصدد. وسبب هذا أن مضادات الأكسدة تمنع إشارات التحذير التي تصدرها الجذور الحرة. وعلى هذا فإن التخلص من إشارات الجذور الحرة يشبه تعطيل جرس الإنذار ضد الحريق. ولمنع حدوث هذا يعمل الجسم على التحكم بدقة في مستويات مضادات الأكسدة في الدم في حدود صارمة. فإذا تناول المرء جرعات عالية من مضادات الأكسدة فإن الزائد منها يخرجه الجسم أو لا يتم امتصاصه أصلاً. ومن ثم تبقى مستويات مضادات الأكسدة في الجسم متوازنة وثابتة تقريباً، فيبقى جرس الإنذار مستعداً للعمل.

أما العامل الثاني الذي لم يعرفه هارمان (لأنه لم يتم اكتشافه إلا بعد زمن هارمان بخمس وعشرين عاماً) فهو الموت المبرمج للخلايا. ففي معظم الخلايا لا يزال الموت المبرمج يتم تنسيقه من قبل الميتوكوندريا، التي نقلت المنظومة كلها إلى الخلايا حقيقة النوى منذ ملياري عام. ومن الإشارات الرئيسية التي توجه الخلايا للموت زيادة تسرب الجذور الحرة من الميتوكوندريا. واستجابة لإشارة الجذور الحرة هذه، تشغل الخلية جهاز الموت الذي لديها وتنسحب في صمت من إطار الحياة، وتختفي جميع الآثار الدالة على وجودها في السابق. فيبدأ من التراكم المميز لحطام الجزيئات الذي تصوّر هارمان، فإن آلة الموت الصامتة تعمل باستمرار على التخلص من الأدلة، بدرجة من الكفاءة تماثل جهاز الاستخبارات السوفياتي. وبهذا فإن الاثنين من التوقعات الأساسية لنظرية هارمان

— أن التلف الجزيئي يتراكم حتى مستويات كارثية مع التقدم في السن، وأن مضادات الأكسدة لا بد أنها تبطئ هذا التراكم ومن ثم تعمل على إطالة العمر — قد تبيّن خطأهم ببساطة.

ولكن تُوجَدُ أسباب عدّة تجعلنا نعتقد أنه يمكن لنسخة أكثر دقة من هذه النظرية أن تكون صحيحة بصورة عامة، وإن كانت لا تزال ثمة تفاصيل تحتاج لإبرازها. أول هذه الأسباب، وأهمها، هو حقيقة أن العمر يتفاوت وفق تفاوت تسرب الجذور الحرة في جميع أنواع الكائنات تقريباً.^٩ فكلما كان التسرب أسرع كان العمر أقصر. وبصفة عامة يعتمد معدل تسرب الجذور الحرة على معدل الأيض؛ أي على معدل استهلاك الخلايا للأكسجين. فالحيوانات الصغيرة لديها معدلات أيض سريعة؛ إذ تستهلك خلاياها الأكسجين بأسرع ما يمكنها، وتتبضّع قلوبها بمئات الدقات في الدقيقة حتى أثناء راحتها. وبهذا التنفس السريع يكون تسرب الجذور الحرة عالياً، وينفلت العمر سريعاً. وعلى العكس من هذا يكون للحيوانات الأكبر حجماً معدل أيض أيضاً أبطأ، ويظهر هذا في بطيء دقات القلب وبطيء تسرب الجذور الحرة، فتعيش أطول.

والاستثناءات هنا تثبت القاعدة بالفعل. فكثير من الطيور، على سبيل المثال، تعيش أطول بكثير مما يُتوقع لها على أساس معدلات أيضها. فالحمامات مثلًا تعيش حوالي خمس وثلاثين سنة؛ أي أطول مما يعيشه الجرذ بعشرة أضعاف، بالرغم من حقيقة أن الحمام والجرذان متماثلان في الحجم، ومتماثلان في معدل الأيض. وقد أجرى العالم الفسيولوجي الإسباني جوستافو بارخا في جامعة كمبولونتي بمدريد سلسلة رائعة من التجارب خلال تسعينيات القرن العشرين، أظهرت أن هذه الفروق يمكن أن تُعزى بدرجة كبيرة إلى تسرب الجذور الحرة. فتسرب الجذور الحرة لدى الطيور يقل بمقدار عشرة أضعاف تقريباً عن نظائرها من الثدييات عند مقارنة ذلك بمعدل استهلاكها للأكسجين. وينطبق الأمر عينه على الخفافيش، التي تطول أعمارها أيضاً بدرجة لا تتناسب مع أحجامها. فالخفافيش تشبه الطيور في أن تسرب الجذور الحرة من الميتوكوندريا لديها يكون أقل بكثير. والسبب في هذا غير معروف على وجه اليقين، وإن كنت افترضت في كتب سابقة أن السبب يتعلق بالقدرة على الطيران. ولكن أياً كان السبب فإن الحقيقة التي لا مراء فيها أن انخفاض تسرب الجذور الحرة يعني طول العمر، أيًّا كان معدل الأيض.

وليس المدى العمري وحده هو الذي يتفاوت حسب تسرب الجذور الحرة، بل المدى الصحي كذلك. أوردنا سابقاً أن حدوث أمراض الشيخوخة لا يعتمد على الزمن المنقضي

في حد ذاته، وإنما على العمر البيولوجي. فالجرذان والبشر يعانيان نفس الأمراض، ولكنها تبدأ لدى الجرذان خلال سنتين فقط، بينما تستغرق لدى البشر عقوداً عديدة. وتنتج بعض الأمراض التنسكية عن نفس الطفرات الجينية تماماً في كل من الجرذان والبشر، ولكننا نجد دائماً نفس الفروق الزمنية؛ إذ يسقط القناع عن الجينات المعيبة، التي اعتبرها مدوراً مرتبطة بالشيخوخة والتي تقع في قلب البحوث الطبية، في الحيوانات المسنة نتيجةً لأمرٍ ما يتعلّق بحالة خلاياها المسنة. ولقد أظهر آلان رايت وزملاؤه بجامعة إدنبرة أن هذا الأمر يرتبط بمعدل تسرب الجذور الحرة. فإذا كان هذا التسرب سريعاً فإن الأمراض التنسكية تتشبّث بأظفارها سريعاً، وإذا كان بطيناً فإن تلك الأمراض تتأجل، وقد تختفي تماماً. فالطيوور، على سبيل المثال، تعاني القليل من أمراض الشيخوخة الشائعة في معظم الثدييات (باستثناء الخفافيش كما ذكرنا). وهناك فرضية معقولة تقول إن تسرب الجذور الحرة في نهاية الأمر يُغيّر حالة الخلايا فيجعلها «تشيخ»، وإن هذه الحالة المتغيرة تميّز اللثام عن الآثار السلبية للجينات متاخرة النشاط.

فكيف تُغيّر الجذور الحرة حالة الخلايا أثناء الشيخوخة؟ يحدث هذا بشكل مؤكّد تقريباً من خلال التأثيرات غير المقصودة للإشارات التي ذكرناها. فاستخدام إشارات الجذور الحرة يكون خيراً وبركة على الصحة حينما تكون صغار السن، ولكن له آثاراً ضارة حينما تقدّم في السن (حسب نظرية تعدد النمط الظاهر المتضاد لجورج سي ويليامز). فحينما تبدأ مجموعات الميتوكوندريا في الخلايا في البلى والانحلال يبدأ تسرب الجذور الحرة في التزايد ولو ببطء شديد إلى أن يصل إلى الحد الذي يحدث عنده إطلاق جرس الحريق باستمرار. يحدث تنشيط لمئات الجينات في محاولة عقيمة لاستعادة الأوضاع السليمة؛ مما يؤدي إلى الالتهابات المزمنة، وإن كانت طفيفة، التي تميّز الكثير من أمراض الشيخوخة.¹⁰ فهذه الالتهابات الطفيفة المزمنة تُغيّر خصائص الكثير من البروتينات والجينات الأخرى، مخضعة الخلايا للتغيرات أكبر وأشد. وأظن أن حالة الالتهاب المزمنة تلك هي التي تميّز اللثام عن الآثار الضارة للجينات متاخرة النشاط مثل ApoE4.

وهناك وسائلتان فقط للخروج من هذا الموقف. فإذاً أن تتأقلم الخلايا مع الحالة التوتيرية المزمنة أو لا تستطيع ذلك. وتتفاوت أنماط الخلايا المختلفة في قدرتها على التأقلم، وهذا يعتمد بدرجة كبيرة على « مهمتها » المنوط بها. وأفضل مثال أعرفه في هذا الصدد يأتي من بحث أجراه عالم رائد في علم العقاقير، ويدعى سلفادور مونكادا، بكلية

لندن الجامعية. إذ أظهر مونكادا أن الخلايا العصبية وخلاياها الداعمة التي تُسمى الخلايا النجمية، لها مصيران متناقضان تماماً؛ إذ تعتمد الخلايا العصبية على ما لديها من الميتوكوندриا. وإذا لم تستطع أن تُولد ما يكفي من الطاقة للوفاء باحتياجاتها فإن آلة الموت الخلوية يتم تنشيطها فينقضى أجل الخلية العصبية في صمت. وجدير بالذكر أن المخ يكون قد انكمش حجمه بمقدار الربع في وقت ظهور الأعراض المبكرة لمرض الزهايمر. وعلى العكس من هذا فإن الخلايا النجمية يمكنها البقاء حية وسالمة دون الميتوكوندريا؛ فهي تحول نحو مصادر بديلة للطاقة (وهو ما يُسمى «التحول الحال للسكر») فتصير منيعة على الموت الخلوي المبرمج. وهذا المصير المتناقض يُفسّران سبب ارتباط كلٍّ من الأمراض التنكسيّة والسرطان بالشيخوخة. فإذا لم تستطع الخلايا أن تشغل مفتاح التحويلة نحو الطاقة البديلة فإنها تموت؛ مما يُسبّب الأمراض التنكسيّة فتتكمش الأنسجة والأعضاء، ملقية المزيد من العبء على الخلايا القليلة المتبقية. ومن الناحية الأخرى، فإن الخلايا التي لديها إمكانية التحول المذكورة تفعل هذا فتصير منيعة على الموت الخلوي. وهذه الخلايا تتأثر بالحالات الالتهابية المزمنة التي تجعلها تتلاشى، وسرعان ما تراكم فيها الطفرات الجينية التي تحرّرها من القيود الطبيعية للدورة الخلوية فتحتول إلى خلايا سرطانية. ليس من قبيل المصادفة إذن أن الخلايا العصبية نادراً ما تكون أوراماً (أو لا تكونها على الإطلاق) بينما تتكون معظم أورام المخ من الخلايا النجمية.¹¹

من هذا المنطلق يمكننا أن نفهم السبب في أن تقييد السعرات يحمي الجسم من أمراض الشيخوخة، على الأقل إذا بدأ ذلك في وقتٍ مبكر من الحياة بقدر كافٍ (قبل أن تبلغ الميتوكوندريا، ولا بأس في أن يكون هذا في منتصف العمر). فعن طريق خفض تسرب الجذور الحرة ودعم أغشية الميتوكوندريا ضد التلف وزيادة أعداد الميتوكوندريا يعمل تقييد السعرات بكفاءة على «إعادة ضبط» ساعة الحياة وإعادتها إلى الوراء، إلى مرحلة «الشباب». وأثناء فعله هذا فإنه يكبح عمل مئات من الجينات المسيبة للالتهابات، مُعيّداً إياها إلى بيئتها الكيميائية الشابة، بينما يدعم الخلايا ضد الموت الخلوي المبرمج. وهذه الأمور مجتمعة تثبط كلاً من السرطان والأمراض التنكسيّة وتبطئ معدلات الشيخوخة. ومن المرجح، من الناحية العملية، أن تدخل عوامل أخرى (مثل التأثيرات المباشرة المثبتة للمناعة الناتجة عن تثبيط الجين TOR)، ولكن بصفة أساسية فإن معظم فوائد تقييد السعرات يمكن أن تُعزى ببساطة إلى انخفاض تسرب الجذور الحرة. وهذا يجعلنا أشبه بالطيور.

ثمة دليل مثير للاهتمام يؤكّد أن هذه هي الكيفية التي يسير بها الأمر. ففي عام ١٩٩٨ فحص ماساشي تاناكا وزملاؤه، الذين كانوا حينها بمعهد جيفو الدولي للتكنولوجيا الحيوية في اليابان، مصر أشخاص يتميزون بوجود نسخة متغيرة شائعة من الدي إن إيه الخاص بـالميتوكوندриا (وهذا أمر شائع في اليابان على الأقل لكنه ليس شائعاً، لسوء الحظ، في الأماكن الأخرى من العالم). وهذه النسخة تُغيّر حرفًا واحدًا فقط من الدي إن إيه. ويتمثل تأثير هذا التغيير في حدوث خفض ضئيل في تسرب الجذور الحرة، يتعدّر رصده في أي لحظة منفردة بعينها، ولكنه يستمر طوال العمر. ولهذا الأمر تبعات هائلة. حَدَّد تاناكا وزملاؤه حينئذ تسلسلات الـدي إن إيه الميتوكوندري لدى مئات عدّة من المرضى الذين وصلوا متتابعين إلى المستشفى، ووجدوا أنه تحت سن الخمسين عاماً تقريباً لم يكن ثمة فارق في النسبة بين مجموعتي الأفراد الذين لديهم نسخة الـدي إن إيه المتغيرة محل الدراسة ومن يملكون النسخة «العادية». ولكن بعد سن الخمسين بدأت تتفتح فجوة بين المجموعتين من المرضى وتتسع. وعند سن الثمانين، كان لدى المرضى المتمعّن بوجود تلك النسخة نصف قابلية الإصابة بحالة من أي نوع تستدعي إدخالهم المستشفى. ولم يكن السبب في عدم إدخالهم المستشفى هو أنّهم يكونون متوفّين بحلول هذا السن، وإنما وجد تاناكا أن اليابانيين الذين لديهم تلك النسخة تكون لديهم قابلية بمقدار الضعف للعيش حتى سن المائة عام. وهذا يفترض أن أولئك الأشخاص تقل — بمقدار النصف — قابلية معاناتهم لأي مرض من أمراض الشيخوخة. دعّني أكرّر قوله هذا؛ لأنني لا أعرف أي حقيقة أخرى تشير الدهشة في عالم الطب كله أكثر من هذه الحقيقة: إن مجرد تغيير ضئيل في الميتوكوندريا يقلّل احتمال اضطرار المرء لدخول المستشفى لعلاجه من أي مرض من أمراض الشيخوخة إلى النصف، كما يضاعف احتمالات العيش حتى سن المائة. فإذا كانا جادّين بشأن مواجهة المشكلات الصحية المزعجة والمعوقة للإنسان في مرحلة الشيخوخة على كوكبنا الأرضي المسن، فهذه بالتأكيد هي النقطة التي يجب أن نبدأ منها. ولنرفع عقيرتنا بهذا!!

لا أريد أن أهون من شأن التحديات العلمية التي تنتظروننا أو أقلّ من قيمة جهود الباحثين الذين كرسوا حياتهم كلها في دراسة دقائق أمراض محددة من أمراض الشيخوخة. فبغير نجاحهم البطولي في توضيح علم الوراثة والجينات الوراثية والآليات الكيميائية الحيوية للأمراض لم يكن البناء على هذا الأساس بالأمر الممكن. ومع ذلك، فهناك خطر أن يكون

الباحثون الطبيون إما غير مدركون لأهمية التفكير التطوري، أو غير مهتمين بذلك. فإذا كان كل شيء في علم الأحياء لا يحمل معنى إلا في ضوء التطور، على حد قول المفكر التطوري ثيودور دوبجانسكي، فإن الطب بغير هذا العلم سيكون في حال أسوأ؛ ولن يكون للنظرة الحديثة إلى الأمراض أي معنى مطلقاً. فنحن نعرف ثمن كل شيء، لكننا لا نعرف قيمة أي شيء. وقد اعتاد جيل أجدادي أن يعزّوا أنفسهم قائلين إن هذه الأمور أُنْزَلت علينا لاختبارنا، ولكن مع اختفاء هذه النظرة الحتمية، صار المرض الآن يحدث بفعل الصدفة وحسب، ويحصد الأرواح بدرجة مأسوية كارثية. إننا الآن في «معركة» ضد السرطان ضد ألزهايمر، معركة نعرف أنها سخسارتها يوماً ما.

ولكن الموت والمرض ليسا شيئاً عشوائياً، بل إن لهما معنى. وبإمكاننا أن نستغل هذا المعنى في علاج أنفسنا. لقد نشأ الموت وتتطور، وكذلك الشيخوخة. ولقد نشأ وتطوراً لأسباب نفعية. وبصفة عامة يمكن القول إن الشيخوخة شيءٌ مَرِنٌ، وإنها متغيرةٌ تطوريٌّ وُضِعٌ ليُضاف عوامل أخرى مختلفة — مثل النضج الجنسي — في الكتاب الأساسي للحياة. وهناك عقوبات ضد العبث بهذه المعايير، ولكن تلك العقوبات تتفاوت ويمكن في حالات قليلة أن تكون طفيفة على أقل تقدير. ونظرياً، يمكن لعمليات ضبط صغيرة لمسارات مُعينة أن تمكنا من أن نعيش فترات أطول وأكثر صحة. ودَعْني أضع هذا المفهوم في صيغة أقوى: تفترض نظرية التطور أن بإمكاننا أن نستأصل أمراض الشيخوخة بدواء واحد عام محكم وفعال. إن الحبة المضادة للشيخوخة ليست خرافه.

ولتكنني أظن أن «علاج» مرض ألزهايمر خرافه. في الواقع الأمر، إن الباحثين الطبيين لا يميلون كثيراً لكلمة «يعالج»، ويفضّلون بدلاً منها ألفاظاً أكثر حذراً، مثل «يخفّ» أو «يلطف» أو «يؤخر». وأشك في أننا سنتتمكن يوماً من علاج مرض ألزهايمر لدى أنساس قد صاروا مسنين؛ لأننا بهذا نتجاهل شروط الصفة التطورية. إن الأمر يشبه محاولة ترقيع بعض الشقوق في سدٍ يتسرّب منه الماء بقليل من الملاط آملين في إيقاف تدفق المياه. وينطبق هذا أيضاً على أمراض؛ مثل: السكتة الدماغية، وأمراض القلب، وصور كثيرة من السرطان ... وغيرها. لقد ألمتنا اللثام عن قدر كبير للغاية من التفاصيل. فنحن نعرف ما يحدث في كل بروتين، وفي كل جين، إلا أننا نجهل الصورة الكاملة. فالأمراض المذكورة تصيب أجسام العجائز، وهي نتاج لبيئة داخلية مسنة. وإذا تدخلنا في مرحلة مبكرة من الحياة؛ فبإمكاننا أن نعيّد ضبط تلك البيئة المسنة لتصير «شابة» أو على الأقل «أكثر شباباً». لن يسير الأمر على هذا النحو المباشر، فهناك الكثير جداً من

التفاصيل المتعلقة بهذا الشأن، والكثير جدًا من المساومات. ولكن إذا قضينا جزءاً من الوقت والجهد المخصصين للبحوث الطبية الهادفة لدراسة الآليات المسببة للشيخوخة، فسأُصاب بالدهشة إذا لم نتوصل إلى حل مشكلة الشيخوخة خلال العقدين القادمين، حل يشفى جميع أمراض الشيخوخة على الفور.

قد يعتري بعض الناس شعور بالقلق بشأن مدى أخلاقيّة إطالة العمر، ولكنني أظن أن هذا الأمر لن يُمثّل مشكلة حقيقية. فالمكسب في زيادة العمر الذي نحصل عليه نتيجة لتقييد السعرات، مثلاً، يتضاعل ظاهرياً مع زيادة المدى العمري. ففي حين أن الجرذان يتضاعف لديها المدى العمري (نتيجة لتقييد السعرات)، فإن نفس الزيادة العمريّة لا تُرى في القردة الريضية. لم تكتمل الدراسات على القردة بعد، ولكن من المرجح أنه فيما يتعلق بالمدى العمري فإن الفوائد الناتجة ستكون أكثر تواضعاً. ومع ذلك، فقد يختلف الأمر فيما يتعلق بالفوائد الصحية؛ إذ توحى التغيرات الكيميائية الحيوية لدى القردة الريضية بأن القرود المسنة تعاني قدرًا أقل من أمراض الشيخوخة، حتى لو لم يكن مداها العمري قد طال بقدر كبير. وأعتقد أنه سيكون من الأسهل إطالة المدى الصحي أكثر من إطالة المدى العمري. فإذا استطعنا ابتكار حبة مضادة للشيخوخة تضاهي فوائد تقييد السعرات، مع تجنب عيوبه، فمن الأرجح حينئذ أن نرى تحسناً عاماً في الصحة والمزيد والكثير من الأصحاء الذين يبلغون سن المائة، وهو شيء يذكرنا باليابانيين المحظوظين الممتعين بالنسخة المختلفة من الميتوكوندриا، ولكنني أشك في أن نرى إنساناً يعيش حتى سن ألف عام، أو حتى مائتي عام. إنها مهمة ثقيلة، في حال قبلنا الإضطلاع بها.^{١٢}

الأرجح أن البشر لن يستطيعوا العيش إلى الأبد، كما لا يرغب الكثيرون في هذا من الأساس. وتكون المشكلة في بنية المستعمرات الأولى، وهي التمييز بين الخلايا الجنسية والخلايا الجسدية. فما إن تبدأ الخلايا في التمايز، حتى يصير الجسم بخلاياه الجسدية القابلة للفناء تابعاً للخلايا الجنسية. وكلما زادت درجة تخصص تلك الخلايا الجنسية، عظمت منافعها للجسم ككل، وللخلايا الجنسية بصفة خاصة. وأكثر خلايا الجسم تخصصاً على الإطلاق هي الخلايا العصبية للمخ البشري. والخلايا العصبية تختلف عن غيرها من الخلايا العاديه في أنه لا يمكن تعويضها، وكل منها يتصل بما يصل إلى عشرة آلاف تشابك عصبي، وكل تشابك عصبي تستقر به خبراتنا وتجربتنا الإنسانية الفريدة. إن مخاخنا غير قابلة للتعويض. فإذا ماتت خلايانا العصبية، لا يوجد مخزون من

ارتفاع الحياة

الخلايا الجذعية لتعويضها، وإذا نجحنا يوماً ما في هندسة مثل ذلك المخزون من الخلايا الجذعية العصبية، فسيتعين علينا الاستغناء عن خبراتنا المخزنة في الخلايا الأصلية؛ ومن ثم سيكون ثمن خلودنا هو إنسانيتنا.

الخاتمة

في واحدة من أكثر اللقطات المصوّرة تليفزيونياً تأثيراً في النفس، جال جاكوب برونوفسكي خلال المنطقة المحيطة بأوشفيتز، حيث ألقى رماد ٤ ملايين نسمة أحرقوا في محرقتها بمن فيهم بعض أفراد أسرته، وتحدّث إلى الكاميرا، محاولاً أن يتمالك نفسه، وقال: إن العلم لا يقضى على إنسانية البشر، ولا يُحولُّهم إلى مجرد أرقام. ولكن محرقة أوشفيتز فعلت ذلك. ليس بالغاز السام، وإنما بالعجزة، وبالتكبر والصلف، وبالعناد والجهل. إن هذا يحدث حينما يتطلع الناس للتحلي بمعرفة الآلهة، ويفقدون اتصالهم بالواقع. والعلم الحقيقي، على العكس من ذلك، صورة شديدة الإنسانية من المعرفة. ولقد عَبَرَ برونوفسكي عن الأمر بطريقته المؤثرة قائلاً: «إننا نقف دائمًا على شفا المعلوم، ونشعر دائمًا بما يدفعنا للأمام نحو آمالنا المنشودة. وكل رأي في العلم يقف على حافة الخطأ، وهو رأي شخصي. وما العلم إلا شاهد على ما يمكننا أن نعرفه مع أننا غير مصوومين من الخطأ».

تم تصوير هذا المشهد من المسلسل الوثائقي «ارتقاء الإنسان» وعرضه على شاشة التيليفزيون في عام ١٩٧٣. وفي العام التالي تُوفي برونوفسكي بنوبة قلبية. فهو بشر ضعيف وغير معصوم من الخطأ مثل العلم البشري، ولكن عاش إلهامه حتى اليوم، ولستُ أعرف تجسيداً لروح العلم أفضل من هذا. وب بهذه الروح، وبالعنوان الذي يُعبّر عن الإجلال على نحو غير مباشر، سار هذا الكتاب على شفير المعلوم. وهو مليء بالأراء الشخصية التي تقف على حافة الخطأ. إنه احتفاء بما نعلمه، بالرغم من كوننا غير مصوومين من الخطأ.

ولكن أين هو هذا الخط الفاصل بين الزيف والحقيقة؟ قد يختلف معي بعض العلماء في تفاصيل ذُكرتْ في هذا الكتاب، وقد يتفق آخرون. تتشبّه الاختلافات عند

حافة الخطأ، ومن السهل أن يقع المرء في الخطأ. ولكن إذا تغيرت التفاصيل أو ثبت خطئها، فهل يجعل هذا القصة الأكبر خطأً أيضًا؟ هل المعرفة العلمية نسبية، لا سيما عند تطبيقها على الماضي الصحيح؟ هل يمكن اختبارها، كما يحدث كل يوم من قبل أولئك الذين ركزوا إلى الدعوة واعتنق معتقدات جامدة؟ أم أن علم التطور هو الآخر بات معتقداً جاماً، يرفض الخضوع للاختبار؟

الإجابة، في اعتقادي، هي أن الأدلة يمكن أن تكون قابلة للخطأ وطاغية في الآن عينه. فلا يمكننا مطلقاً أن نعرف الماضي بكل تفاصيله؛ فدائماً ما تكون تأويلاتنا عرضة للخطأ، ومفتوحة دائمًا لأكثر من قراءة واحدة. ولهذا نجد العلم عرضة للخلاف في وجهات النظر. ولكن العلم لديه قدرة فريدة على إثراز نجاحات مفيدة من خلال التجربة واللحظة، ومن خلال الاختبارات التي تجري في الواقع، والتفاصيل الناتجة التي لا حصر لها ينجم عنها شيء أكبر، مثل الكاميرا الحديثة التي إذا تم ضبطها على البعد الصحيح فإنها تنتج صورة ملونة شديدة الوضوح، بها ما لا حصر له من البكسلات. والتشكيك في تطور الحياة – حتى لو تبين خطأ بعض التفاصيل التي ذكرت في هذا الكتاب – إنما يعني التشكيك فيما أجمع عليه الأدلة، من الجزيئات إلى البشر، ومن البكتيريا إلى النظم الكوكبية. إنه يعني التشكيك في أدلة علم الأحياء وتواافقه مع علوم الفيزياء والكيمياء والجيولوجيا والفلك. إنه يعني التشكيك في صدق التجربة واللحظة، والتشكيك في عملية الاختبار الواقعية. إنه يعني، في نهاية المطاف، التشكيك في الواقع ذاته.

أظن أنَّ الصورة الموضحة في هذا الكتاب حقيقة، فمن المؤكد أن الحياة تطورت على طول الخطوط الموصوفة هنا. وهذا الاقتناع ليس ناجماً عن اعتقاد متشدد، وإنما بُني على أساس دلائل اختبرت في الواقع وصحت بما يتوافق معه. لا أعرف ما إذا كانت هذه الصورة العامة تتعارض مع الإيمان بالرب أم لا. فبعض من درسوا علم التطور عن كثب يرون هذا، بينما ينكرون البعض الآخر. ولكن أيًّا كانت معتقداتنا فإن غنى فهمنا وإدراكنا ينبغي أن يكون سبباً للفخر والاحتفاء. وإنه لأمر رائع للغاية أن نشارك الكثير مع الحياة الموجودة حولنا على تلك الكرة الأرضية ذات اللونين الأزرق والأخضر، التي تهيمن في جوف فضاء أجرد لا نعرف له نهاية. هذه النظرة تحمل ما هو أكثر من الجمال؛ إذ تنقل لنا بهاء الحياة وعرضتها للواقع في الخطأ في الوقت نفسه، إلى جانب التلهف الإنساني والتوق إلى المعرفة.

ملاحظات

الفصل الأول: أصل الحياة

- (١) بصفة خاصة، هذا تفاعل احتزالي، تنتقل فيه الإلكترونات من واهب (الهيدروجين) إلى مستقبل (الأكسجين)، الذي يحتاج إليها أكثر بكثير ليكون الماء؛ ذلك المنتج النهائي المستقر من منظور الديناميكا الحرارية. وتتضمن جميع التفاعلات الاحتزالية عملية نقل للإلكترونات من واهب إلى مستقبل؛ ومن الواضح أن جميع صور الحياة، من البكتيريا إلى الإنسان، تعتمد على عمليات نقل للإلكترونات بشكل أو بأخر من أجل الحصول على الطاقة. وهذا ما أكدته العالمُ المجريُّائز جائزة نوبل البرت زنت جيورجي؛ حيث قال: «ليست الحياة سوى إلكترون يبحث عن مكان يستقر فيه».
- (٢) هذه المقوله ليست صحيحة تماماً؛ إذ إن الفوهات ينبعث منها ضوء خافت (يناقش هذا في الفصل السادس)، وهو شديد العتامة لدرجة أن العين البشرية لا تستطيع أن تلحظه، ولكن قوته تكفي للحث على عملية البناء الضوئي في بعض البكتيريا. ولكن تلك البكتيريا لا تسهم إلا بالقليل في وفرة المنظومة البيئية إنما قُورِنَت ببكتيريا الكبريت. ومن المصادرات أن عدم أهمية وجود الحرارة والضوء قد تأكَّد باكتشاف موقع يتسرَّب منها الماء البارد عند قاع المحيط؛ حيث يُوجَد الكثير من نفس مظاهر الحياة الحيوانية الوافرة التي تُوجَد في تلك الفوهات.
- (٣) هناك مشكلات أخرى تشمل درجة الحرارة (يقول البعض إنها تكون شديدة الحرارة لدرجة تمنع وجود الجزيئات العضوية)، والحموضة (أغلب الماخن السوداء تكون شديدة الحموضة لدرجة لا تتيح لها أن تدعم النظرية الكيميائية التي يفترضها

فاختزهاوزر، ولم تنجح العمليات التخليقية التي أجراها في مختبره إلا في ظروف قلوية فقط)، والكربيت (فمقداره أكبر مما ينبغي، بما لا يتوافق مع الكيمياء الحيوية الحديثة).

(٤) هناك تساؤل يثير الاهتمام عن العواقب طويلة الأمد الناتجة عن تبريد قلب الكوة الأرضية؛ فمع بروادة الغلاف الخارجي للقشرة الأرضية (طبقة الوشاح) سيميل ماء البحر للارتباط بالصخور فيبقى جزءاً من تركيبها، بدلاً من أن يُدفع بفعل السخونة مجدداً إلى السطح من خلال النشاط البركاني. وربما يؤدي تبريد الكوكب الأرضي إلى استهلاك محيطاته بهذه الكيفية، ولعل هذه العملية قد أسهمت في ضياع المحيطات التي كانت على كوكب المريخ.

(٥) هناك نمطان من الخلايا البدائية الحالية من النوع؛ وهما: البكتيريا، والعتائق. كان السكان الرئيسيون لحقل المدينة المفقودة من العتائق التي تستمد طاقتها من خلال إنتاج غاز الميثان (عملية توليد الميثان). ولدى العتائق طبيعة كيميائية حيوية تختلف كثيراً عن الخلايا حقيقة النوع المعقّدة التي تشكل بنية النباتات والحيوانات. وإننا نعرف حتى الآن أن العتائق لم يُشتق منها أي عوامل مَرَضِيَّة أو طفيليّات معروفة، وإنما كلها من البكتيريا التي تتشارك في طبيعتها الكيميائية الحيوية بقدر أكبر بكثير مع خلاياها العوائل. ربما كانت العتائق شديدة الاختلاف فحسب. وثمة استثناء واحد، هو الشراكة التي بين إحدى العتائق وأحد البكتيريا، التي ربما أدت إلى تكون الخلية حقيقة النواة ذاتها منذ ملياري سنة؛ انظر الفصل الرابع.

(٦) الاسم الكيميائي للخل هو حمض الأسيتيك (حمض الخليك)، ومنه جاءت التسمية «أسيتيك». يرتبط جزيء الأسيتيك ثيوإستر بذرته من الكربون بمجموعة كبريت متفاولة. وعلى مدة عقدين ماضيين ظلّ كريستيان دي دوف يركز على الأهمية الأساسية للأسيتيك ثيوإستر في المرحلة المبكرة من عملية النشوء والتطور، وقد بدأ العلماء التجاربيون فيأخذ آرائه على محمل الجد.

(٧) لكل من يريد معرفة القصة بكاملها، مع المزيد من المعلومات عن أujeوية عملية التناضح الكيميائي وأهميتها الكبيرة، يمكنه الرجوع إلى كتابي «القدرة والجنس والانتخار: الميتوكوندريا ومعنى الحياة».

الفصل الثاني: دی ان ایه

(١) مع حدوث الكثير جداً من الطفرات الجديدة، قد تتساءل: لماذا لا يحدث لنا جميعاً انفجار تحول؟ ونفس السؤال يؤرق الكثيرين من علماء الأحياء. والإجابة في كلمة واحدة هي «التكاثر الجنسي»، وشرح ذلك تتجده في الفصل الخامس.

(٢) هذا الشكل يتعلق بتشابه تسلسل الـ DNA. وقد حدث أيضاً تغييرات أخرى أكبر، مثل عمليات الحذف والاندماج الكروموسومية منذ حدوث التشعب بين الشمبانزي والبشر؛ مما أعطى تماثلاً جينومياً ككلًّا بنسبة تقارب ٩٥ بالمائة. وبالمقارنة نجد أن الفروق الجينية بين المجتمعات البشرية ضئيلة؛ فنحن البشر متماثلون جينياً بنسبة ٩٩,٩ بالمائة. ويعكس هذا الاختلاف الضئيل حقيقة مرور البشر من «عنق الزجاجة» منذ فترة حديثة نسبياً، ربما منذ ١٥٠ ألف سنة مضت، بسببها صار عدد قليل من السكان في القارة الأفريقية هم أصل جميع الأعراق البشرية الحديثة، عن طريق موجات متناثرة من الهجرة من أفريقيا.

(٤) كيف إذن تتجنب الطبيعة هذه المشكلة؟ الإجابة بسيطة؛ فهي تبدأ عند بداية الذي إن إيه المرسال وتنتهي عند نهايته، وبدلًا من تراص وحدات الآخر إن إيه الناقل وتعلقها بالخنازير الصغيرة التي تردع من حلمات أثداء أمها، فإن العملية تجري آليًّا؛ إذ يتم تلقيم الآخر إن إيه المرسال مثل شريط التسجيل الصوتي من خلال ريبوسوم يعمل كقارئ للشريط؛ إذ يقرأ كل كودون بدوره إلى أن يصل إلى النهاية. وبدلًا من أن يُغلق البروتين ككل حتى نهايته، فإنه يُمده جزءًا جزءًا، إلى أن يتم تحريره حينما يصل إلى النهاية. ويمكن أن تؤدي عدة ريبوسومات دورها على طول نفس شريط الآن إيه المرسال، مدة واحدة، وكما واحد منها بينه وبينه جديداً في طريقه.

(٥) لا تهمنا الأسماء، لكن يمكن القول إنه إذا كان أول حرف من الشفرة هو C؛ يكون الحمض الأميني الذي يتم تشفيه مشتقاً من مادة الألفا-كيتوجلوتارات، وإذا كان A، يكون الحمض الأميني مشتقاً من الأوكسالوسيتات؛ وإذا كان T، يكون من

البيروفات. وأخيراً، إذا كان الحرف الأول هو G، فإن الحمض الأميني يتكون في خطوة واحدة مكافئة من أي عدد من المواد القبائية البسيطة.

(٦) من المحتمل أن عملية نقل الحمض الأميني إلى الأر إن إيه تعتمد على تسلسل الأر إن إيه. وقد أظهر مايكيل ياروس وزملاؤه بجامعة كولورادو أن جزيئات الأر إن إيه الصغيرة المحتوية على تسلسلات مضادات الكودون المتعددة تربط الحمض الأميني «الصحيح» بقوة ربعة تزيد مليون مرة عن الأحماض الأمينية الأخرى.

(٧) إن التجربة المعملية تحتاج للإنزيم أيضاً، وهو يسمى بوليمراز الذي إن إيه. ومن المرجح أن يحتاج الأمر إلى إنزيم لتعزيز عملية التكاثر المتضاعف للأر إن إيه أو الذي إن إيه في الفوهات أيضاً، ولكن لا يوجد ما يدفعنا إلى الجزم بأن الإنزيم يجب أن يكون بروتيناً. ومن المفترض أن يفعل إنزيم ريبليكانز الأر إن إيه نفس الشيء، وصار العثور على هذا الإنزيم الهدف الشاغل للكثيرين دون نجاح، وإن كان وجوده يبدو مرجحاً.

(٨) لقد أخذت طريقتنا (حقيقة النوى) للتکاثر المتضاعف الذي إن إيه من العائق، وليس البكتيريا؛ لأسباب سوف نستكشفها في الفصل الرابع.

(٩) قال واطسون وكريك: «لعل من المستحيل بناء هذا التركيب (اللوليب المزدوج) بوضع سكر الريبيوز محل الريبيوز منزوع الأكسجين؛ لأن هذا إذا حدث فستسبب ذرة الأكسجين الزائدة تلامس فان در فالز شديداً».

الفصل الثالث: عملية البناء الضوئي

(١) تزيد كمية الأكسجين في الغلاف الجوي بحوالي ٥٥٠ مرة عن ثاني أكسيد الكربون، ومن الواضح أن هذا يجعل من السهل زيادة مستويات ثاني أكسيد الكربون إلى الضعفين أو إلى ثلاثة أضعاف. ولكن مع أن مستويات الأكسجين لم تتغير كثيراً مطلقاً، فإن ارتفاع درجات الحرارة يُقلل قابلية ذوبان الأكسجين في الماء. ولقد تأثرت أعداد الأسماك بالفعل بانخفاض مستويات الأكسجين الذي في المحيطات. فعلى سبيل المثال، تتفاوت أعداد سمك الإلبوت في بحر الشمال عاماً بعد عام حسب تركيز الأكسجين الذي؛ فكلما نقص الأكسجين نقصت أعداد السمك.

(٢) لمزيد من المعلومات عن دور الأكسجين في التطور، اقرأ كتابي «الأكسجين:الجزيء الذي صنع العالم».

(٣) إذا أردت معرفة المزيد يسعدني أن أوصي لك بكتاب أوليفر مورتون «الاتهام الشمسي».

(٤) حينما قرأ تي إتش هكسلي كتاب «أصل الأنواع» لداروين قال متعجبًا: «ما أشد غباءنا؛ إذ لم نفكر في هذا من قبل!»

(٥) في الطيف الكهرومغناطيسي تُوجَد علاقة عكسية بين الطاقة والطول الموجي، فكلما نقص طول الموجة كانت الطاقة أعلى. والكلوروفيل يمتلك الضوء عند الجزء المرئي من الطيف، وتحديدياً الضوء الأحمر. وتُعرَف الصورة المؤكسدة القوية من الكلوروفيل باسم P680؛ إذ إنها تمتلك الضوء بطول موجي يساوي ٦٨٠ نانومترًا. بينما تمتلك صور أخرى من الكلوروفيل النباتي الضوء الأقل طاقة قليلاً الذي طوله الموجي ٧٠٠ نانومتر. ولا تحتاج عملية البناء الضوئي إلى الضوءين الأزرق والأصفر بتاتاً؛ ومن ثم يتم عكسهما مجدداً (أو يمْرَأُن عبر النبات). ولهذا السبب نرى النباتات الكلوروفيلية بلون أخضر.

(٦) لن يتذمرون من اكتساب الكيمياء الحيوية سمعة سيئة أقول توضيحاً لهم إن المسمى NADPH هو اختصار لعبارة: نيكوتيناميد أدينين ثانائي النيوكليوتيد الفوسفات. وهو «عامل مختزل» قوي؛ بمعنى أنه دافع قوي للإلكترونات من الذرات.

(٧) فعلياً، هي لا تُسمّى النظم الضوئية في البكتيريا، وإنما هي الوحدات البنائية الضوئية. إلا أن مراكز التفاعلات البكتيرية تعطي صورة مسبقة للنظم الضوئية النباتية بدقة شديدة في كلٍّ من التركيب والوظيفة لدرجة تجعلني أصرُ على استخدام نفس المصطلح.

(٨) البورفيريا هي بالفعل مجموعة من الأمراض التي تنجم عن تراكم البورفيرينات في الجلد والأعضاء. وأغلب صور البورفيريا حميدة تماماً، ولكن أحياناً ما يحدث تنشيط للبورفيرينات المتراكمة بفعل الضوء فتسبب أشد الحرائق إزعاجاً. وتكون أسوأ صور المرض، مثل بورفيريا تكون الكريات الحمر المزمنة، شديدة التدمير لدرجة أن يحدث تآكل للأنف والأذنين وتآكل للثة فتبدو الأسنان بارزة كأنبياب الحيوان، مع تكون نسيج ندبي ونمو الشعر على الوجه. وقد ربط بعض علماء الكيمياء الحيوية بين هذه الحالات والأساطير الشعبية المتراثة عن مصاصي الدماء والمذعوبين؛ مما أثار حفيظة الأشخاص المصابين بالأشكال الطفيفة من المرض، الذين يشعرون أن لديهم ما يكفي من تحدي المرض وليسوا في حاجة للمزيد من وصمهم بالعار. وفي واقع الأمر إن أسوأ

صور البورفيريا لم تُعد نراها هذه الأيام إلا نادراً؛ إذ أدى اتخاذ الاحتياطات وتحسين العلاجات إلى الحد من الآثار السيئة للمرض. وما هو أكثر إيجابية أن الخصائص الكاوية للبورفيرينات الحساسة للضوء قد استُخدِمت بشكل جيد كعلاج للسرطان – يُسمى العلاج الديناميكي الضوئي – وفيه يُستعمل الضوء لتنشيط البورفيرينات الموجهة إلى الورم لتدمره.

(٩) يقول جون ألين: إن النظامين الضوئيين قد تشعّبا في سلف للبكتيريا الزرقاء تحت استخدام مختلف، بينما يزعم آخرون أن النظامين الضوئيين تشعّبا في خطين مختلفين تماماً من البكتيريا، وانضم أحدهما إلى الآخر فيما بعد عن طريق نوع من الالتحام الجيني مكوّنين هجينًا جينيًّا كان هو نفسه سلف البكتيريا الزرقاء الحديثة. وقد ظهرت مؤخراً بعض الأدلة التي تعُضُد وجهة نظر ألين (افتراضة أن النظامين الضوئيين مرأً من البكتيريا الزرقاء إلى خطوط أخرى بدلاً من العكس)، ولكن في الوقت الحاضر نعتبر الأدلة الجينية غير قاطعة. ومع ذلك، وأيًّا كان الأمر، فلا بد أن النظامين الضوئيين قد أديا وظائفهما بشكل مستقل بادئاً ذي بدء.

(١٠) يقول جيم باربر إن هذه هي بالضبط الطريقة التي يتكون بمقتضاهما المركب المطلق للأكسجين اليوم؛ فإذا أزيل المركب من النظام الضوئي ٢ ووضع النظام الضوئي «الحاوي» في محلول يحتوي على أيونات المنجنيز والكالسيوم، ثم سُلّطت عليه سلسلة من الومضات الضوئية، فإن هذا يمكن أن يُعيد تشكيل هذا المركب. وتعمل كل ومضة على أكسدة أيون واحد من المنجنيز الذي بعد أكسدته يرتبط بموضعه الصحيح مع المركب. وبعد خمس ومضات أو ست تصير أيونات المنجنيز والكالسيوم كلها في مواضعها، مُعيَدةً تشكيل المركب المطلق للأكسجين بكامله. وبتعبير آخر، فإن المركب إذا أُعطي السياق الصحيح من البروتين فإنه يكون ذاتي التشكّل.

الفصل الرابع: الخلية المعقدة

(١) وقت قراءتك لهذه السطور، قد لا يعني نظام ويندوز إكس بي شيئاً لك أكثر من ويندوز ٢٨٦. فسيكون قد اندر هو أيضاً واستُبدل به نظام آخر أكثر تعقيداً (وإن كان هو الآخر غير مستقر وعرضة للفيروسات).

(٢) وهذا لا يعني أن نقول إنه لا تُوجَد أي مكافئات بكتيرية. فمثلاً يتكون الهيكل الخلوي للبكتيريا من البروتينات التي تتضمن بجاء صلتها بمكافئات حقيقية النوى؛

ذلك لأن بنية التراكيبية متشابهة لدرجة أنه يمكن المطابقة بينهما مكانيًّا. ولكن حتى في هذه الحالة، فقد تشعَّبت التسلسلات الجينية لدرجة فقدان كل تطابق. لو حكمنا في الأمر على أساس التسلسل الجيني وحده لاعتبرنا البروتينات الهيكلية الخلوية حقيقة النوى بشكلٍ فريد.

(٣) يؤكِّد وويس أن شجرة الآر إن إيه الريبوسومي التي افترضها تُعتبر صحيحة؛ لأن الجين الخاص بالآر إن إيه الريبوسومي الفرعي لا يتطلَّب ببطء وحسب، وإنما لا يمكن مطلقاً تبادله من خلال عملية نقل جيني جانبي؛ إذ يتم توريثه رأسياً فحسب، أي من الخلية الأم إلى الخلية الابنة. لكن هذا ليس صحيحاً بالضبط؛ إذ تُوجَد أمثلة للنقل الجانبي لجين الآر إن إيه الريبوسومي بين البكتيريا، مثل بكتيريا السيلان (نيسيريا جونوريا). وأما عن درجة شيوع هذه العملية على مدار الزمن التطوري، فهذا تساؤل آخر، ولا يمكن الإجابة عنه إلا من خلال أشجار «توافقية» أكثر تعقيداً باستخدام جينات كثيرة.

(٤) هذه نسخة خلوية من ذلك الخلاف الفلسفـي القديم عن الهوية: هل نحتفظ بإحساسنا «بالذات» إذا استطعنا استبدال كل أجزاء المخ البشري باستثناء الأجزاء الصغيرة المسئولة عن الذاكرة؟ وإذا أمكن زرع تلك الأجزاء الخاصة بالذكريات في شخص آخر، فهل ستنتقل إليه شخصية الإنسان الواهب؟ والخلية بالتأكيد هي مثل الشخص، مجموع لأجزائـها.

(٥) إن عملية التطور، بطبيعة الحال، تفعل كلا الأمرين، ولا تعارض البتة؛ ويتلخص الفارق فيما إذا كانت سرعة التغيير تُقاس على مدى الأجيال، أم الحقب الجيولوجية. وأغلب الطفرات الجينية تكون مدمراً ويتم التخلص منها من قبل الانتقاء الطبيعي، تاركاً كل شيء كما هو، ما لم تؤدِّ التغيرات البيئية (مثل حالات الانقراض الشامل) إلى تغيير الوضع الراهن. وحينئذٍ يمكن أن يكون التغير سريعاً فيما يتعلق بالزمن الجيولوجي، ولكنه لا يزال يتحقَّق بفعل نفس العمليات عند مستوى الجينات، ولا يزال بطبيعته يتعلق بالتغير من جيل إلى الجيل الذي يليه. ويعتمد التركيز على الكوارث أو على التغيرات الصغيرة بقدرٍ كبير على المزاج الشخصي، وما إذا كان العلماء متحمسين لهذه الفكرة أو تلك.

(٦) تفترض «فرضية الهيدروجين» لبيل مارتن وميكلوس مولر أن العلاقة هي بين أحد العتائق، الذي ينمو معتمداً على الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون، وبين أحد

البكتيريا القادر على التنفس بالأكسجين أو التخمر لإنتاج الهيدروجين وثاني أكسيد الكربون، حسبما تقتضيه الظروف. وهذا النوع من البكتيريا المتنوّع الأنشطة يفترض أن بإمكانه الإفادة من غاز الميثان المنطلق كنفاية من العتائق. ولكنني لن أناقش هذه الفكرة بأكثر من هذا هنا؛ فقد فعلتُ هذا بإسهابٍ أكثر في كتابٍ سابق، عنوانه «القدرة والجنس والانتخار: الميتوكوندриا ومعنى الحياة». وقد أوردت الأفكار التي ناقشتها في الصفحات التالية بتفصيل أكثر في ذلك الكتاب.

(7) من الناحية التقنية، النسبة بين مساحة السطح والحجم تقل عند زيادة الحجم؛ لأن مساحة السطح تزداد كالمربع (أي بالتربيع) بينما يزداد الحجم كالمكعب (أي بالتركعيّب). فزيادة الأبعاد الطولية مرتين تؤدي إلى زيادة مساحة السطح أربعة أضعاف ($2 \times 2 = 4$)، ولكنها تؤدي إلى زيادة الحجم ثمانية أضعاف ($2 \times 2 \times 2 = 8$) . ويكون نتاج هذا أن كفاءة الطاقة تتناقص كلما كبرت أحجام البكتيريا؛ إذ يصير الغشاء البكتيري المستعمل في توليد الطاقة أصغر بالمقارنة بحجم الخلية.

(8) ذكرتُ هذه الحالة في محاضرات لي حول العالم، وما زلتُ أواجه بانتقاداتٍ «قاتلة». وأقربها من قبل كافالير سميث، الذي يشير إلى قليل من الخلايا حقيقة النوى التي تمارس البلعمة الخلوية دون الميتوكوندريا في الوقت الحاضر. ولستُ أظن أن وجودها يدحض ما قلته؛ إذ إن أقوى ضغوط الانتقاء تكون ضد بدائيات النوى التي تتنفس من خلال أغشيتها الخارجية. وما إن تنشأ الخلية بلعمية، يكون من المحتمل أن تذوي أو ينقص منها جزء أو أكثر من أجزائها تحت ظروف مختلفة، وهي عملية تطور اختزالي تشيع في الطفيليات. ومن الأسهل بكثير أن تفقد خلية بلعمية كاملة النشوء الميتوكوندريا تحت ظروف معينة، مثل تحولها إلى الحياة الطفifieة، من أن يتطور كائن بدائي النواة إلى خلية بلعمية دون مساعدة من الميتوكوندريا.

الفصل الخامس: التكاثر الجنسي

(1) يقول البعض: إن هذه السيدة هي السيدة باتريك كامبل، أشهر ممثلة إنجليزية سيئة السمعة، التي استوحى منها شو فيما بعد شخصية إليزا دوليتل في رواية «بيجماليون»، ويقول البعض الآخر إنها رائدة الرقص الحديث ذات الفضائح إيزادورا دنكان. ولكن يرجح أن تكون هذه القصة مختلفة.

(٢) في أوغندا، إحدى الدول الأفريقية القليلة التي تمكّنت من قلب موازين الإيدز، انخفضت نسبة انتشار فيروس الإيدز من ١٤ بالمائة إلى ٦ بالمائة على مدى عقد واحد، وقد نجم هذا بدرجة كبيرة عن الإعلام العام والتوعية الجيدة. كانت الرسالة بسيطة نظرياً وعملياً كذلك؛ وهي تجنب الجنس بدون وقاية. وقد أظهرت إحدى الدراسات أن نجاح تلك الحملة البدائية البسيطة في أوغندا قام على مبادئ ثلاثة هي: العفة، والأمانة، واستخدام الواقي عند الجماع. وكان النجاح في معظمها عائدًا إلى العامل الثالث.

(٣) سلوك سبق أن تتبّأ به ريتشارد دوكينز في كتابه «الجين الأناني»، ومنذ ذلك الحين تأكّدت وجهة نظره الثاقبة.

(٤) لا تتكاثر البكتيريا استنساخياً بهذا المفهوم تماماً؛ لأنها أيضًا تكتسب الدي إن إيه بالنقل الجانبي من مصادر أخرى. وبهذا المعنى تُعتبر البكتيريا أكثر مرونة بكثير من حقيقيات النوى اللاجنسيّة. ويمكن إدراك الفارق الذي تصنّعه عملية النقل هذه للبكتيريا في الانتشار السريع لمقاومتها للمضادات الحيوية، وهو ما يتحقق عادة من خلال النقل الجانبي للجينات.

(٥) هذه القصة رواها مات ريدلي بموهبته المعهودة في كتابه «المملكة الحمراء» الذي نُشرَت طبعته الأولى عام ١٩٩٣.

(٦) قد تعترض على فكرة أن جهاز المناعة تطّور ليفعل ذلك. صحيح أن جهاز المناعة يفعل ذلك، ولكنه في الواقع يعني من نقطة ضعف لا يمكن إصلاحها إلا من خلال التكاثر الجنسي. فلِكَيْ يمارس جهازُ المناعة عمله لا بد أن يميّز بين ما هو «ذاتي» وما هو «دخيل». فإذا ظلت البروتينات التي تحدّد ما هو «ذاتي» كما هي جيلاً بعد جيل، فإن كل ما يجب أن يفعله أيُّ كائن طفيلي لكي يتهرّب من جهاز المناعة هو أن يخفي نفسه داخل بروتينات تبدو مثل البروتينات «الذاتية» للعائل؛ فيعيش حياته داخل جسمه دون مقاومة. وهذا ما يحدث لأي مجتمعات استنساخية لديها جهاز مناعي. والتكاثر الجنسي وحده (أو حدوث طفرات جينية بمعدلات عالية جدًا في مواطن مهمة محددة) يمكنه أن يغيّر إدراك الجهاز المناعي للذات في كل جيل.

(٧) هذا ليس صحيحاً تماماً؛ فأحد الأسباب وراء عدم اختفاء الكروموسوم Y تماماً هو أنه يحتوي على نسخ متعددة من نفس الجين. يبدو أن هذا الكروموسوم ينثني بشكل مزدوج؛ مما يتيح حدوث إعادة تجميع للجينات على نفس الكروموسوم. وحتى هذه التوليفات المحدودة يبدو أنها أنقذت الكروموسوم Y من الوقوع فريسة

للنسوان، في معظم الثدييات على الأقل. إلا أن بعض الثدييات مثل فئران الخلد الآسيوية، فقدت كروموسوم 7 تماماً. وليس معروفاً كيفية تحديد جنس ذكورها بدقة، ولكن الأمر المطمئن لذكور البشر أنهم غير محكوم عليهم بالارتباط بهذا الكروموسوم المتدثر إلى الأبد.

(٨) هاتان المقولتان لا تقولان شيئاً عن هوية خلية العائل أو طبيعة الاتحاد التكافلي بين الخلايا، وهما وجهان مسببان للخلاف في وجهات النظر. ولا يهم في هذا السيناريوج، ما إذا كانت خلية العائل لديها نواة أو جدار خلوي أو تعيش معيشة بلعمية. ومن ثم، ففي حين أن أصل الخلية حقيقة النواة مثير للجدل من أوجه كثيرة، فإن الأفكار المحددة هنا مستقلة عن أي نظرية بعينها.

الفصل السادس: الحركة

(١) كان ويليام كرون واحداً من الأعضاء المؤسسين للجمعية الملكية ولا يزال اسمه يتتردد في المحاضرة التي تُلقى باسمه – المحاضرة الكرونية – وهي المحاضرة الأولى الرئيسية بهذه الجمعية عن العلوم البيولوجية.

(٢) اشتهر عن تشرشل أنه كتب يقول: «سيكون التاريخ رحيمًا بي؛ لأنني أنوي أن أكتبه». وقد حازت كتاباته الرائعة بحق على جائزة نوبل في الأدب عن عام ١٩٥٣، وكانت المرة الأولى والأخيرة التي تفوز فيها كتابات تاريخية بجائزة نوبل في الأدب.

(٣) قام كلٌّ من بيرتس وكندرو أولاً بتحديد تركيب الجلوبين العضلي (الميوجلوبين) في حوت العنبر؛ مما يبدو اختياراً غريباً. وكان ما دفعهما إلى ذلك هو أن الميوجلوبين يتبلور في برك الدماء المتراكمة على سطح مراكب صائدِي الحيتان (ويُوجَد بتركيزات أعلى كثيراً في عضلات الثدييات الغواصية مثل الحيتان). ويُعَدُّ ميله هذا للتبلور ذا أهمية؛ إذ يحتاج التصوير البلوري إلى وجود شكل من البلورات، أو تركيب متكرر على الأقل.

(٤) تتكون العضلات المختلفة من خليط من ألياف مختلفة، وتعتمد الألياف سريعة الانقباض على التنفس الlahوائي كمصدر للقوة، وهو سريع ولكنه غير فعال؛ فهذه الألياف تنقبض بسرعة (بالميوسينات السريعة) ولكنها تتعب بسهولة. وتقل حاجتها إلى وجود شبكات غنية من الشعيرات الدموية، وإلى الميتوكوندريا، أو الميوجلوبين – التي هي لوازم التنفس الهوائي – وهذا يكسبها لوناً يغلب عليه البياض، وهو ما يتصرف به اللحم الأبيض. بينما تُوجَد الألياف بطيئة الانقباض أساساً في اللحم الأحمر، وتعتمد على

التنفس الهوائي (بالمليوسينات الأكثر بطنًا). وهي تنقبض ببطء أكثر ولكنها لا تتعبر بسهولة.

(٥) هذا تبسيط طفيف حًقا؛ إذ تكون التسلسلات الجينية متطابقة بنسبة ٨٠ بالمائة، ولكن تسلسل الأحماض الأمينية في البروتين يكون متطابقاً بنسبة ٩٥ بالمائة. وهذا ممكن لأن هناك طرقاً عدّة من تشفير نفس الحمض الأميني (انظر الفصل الثاني). ويعكس التناقض وجود طفرات منتظمة في التسلسل الجيني، علاوة على عملية انتقاء قوي من أجل الحفاظ على التسلسل البروتيني الأصلي. وتكون التغييرات الوحيدة تقريباً في التسلسل الجيني التي تسمح بها عملية الانتقاء هي تلك التي لا تغير هوية الأحماض الأمينية في السلسلة. وهذه مجرد علامة صغيرة أخرى على الصورة التي تؤدي بها عملية الانتقاء مهمتها.

(٦) بالطبع إن هذه التغييرات حدثت بالفعل على نحو معكوس؛ فصارت العوامل المحركة العملية في نهاية الأمر هي الشعيرات السميكة في العضلة، ولعل هذا يفسر السبب في أن كل جزيء ميوسين لا يزال لديه رأسان في العضلة، وإن كانا لا يتتسقان معًا، على ما يبدو، بشكل مفيد.

(٧) يمكن أن تتحرك البكتيريا أيضاً باستخدام سوط مميز، يختلف كثيراً عن أي شيء معروف في الخلايا حقيقة النوى. وحركته أساساً تشبه حركة بريمة صلبة، تدور حول محولها بمحرك بروتيني. وكثيراً ما يُوصف السوط البكتيري كمثال للتعقيد غير القابل للتبسيط، ولكن هذا الرأي نُوشِّطَ بتوسيع في مواضع أخرى مما يجعلني لا أُنوي التعرض له هنا. فإذا أردت المزيد عن السوط البكتيري فيرجى منك قراءة كتاب «السوط مفروداً» لكن ميلر، وهو عالم بارز في الكيمياء الحيوية، وشديد الانتقاد لما تُسمى حركة التصميم الذكي، وكاثوليكي ملتزم. وهو لا يرى تعارضًا بين الاعتقاد أن التفاصيل الجزيئية للحياة يفسرها التطور وبين الإيمان بالله. ومع ذلك فإنه ينبذ مؤيدي حركة التصميم معتبراً إياهم في حالة فشل مزدوج؛ «فالعلم يرفضهم لأنهم لا يتواهرون مع الحقائق، كما فشلوا دينياً لأنهم لا يذكرون الله إلا قليلاً».

(٨) هي بالتحديد بروتينات G، وهي عائلة من «مفاهيم التحويل» الجزيئية المختصة بأعمال الإشارات الخلوية. ونظراؤها في البكتيريا هي عائلة كبيرة من بروتينات جي تي باز. الأسماء نفسها ليست مهمة، ويكتفينا أن نقول إن أسلاف البروتينات معروفة.

(٩) ثمة مثال أقل فائدة يُسمى الاعتلال المخي الإسفنجي، والمعروف بمرض جنون البقر. وهو مرض معد تنتقل عدواه البريونات، وهذه بدورها بروتينات تعمل كجسيمات

معدية تؤدي إلى تغيير تركيب البروتينات الملائمة لها. وتتبلمر البروتينات المغيرة إلى لبيقات طويلة، وبتعبير آخر فهي تكون نوعاً من الهيكل الخلوي. وبالرغم من افتراض أن تلك البروتينات ضارة، فإن هناك بحثاً حديثاً يفيد أن بروتينات شبيهة بالبريونات ربما تلعب دوراً في تكوين الذاكرة طويلة الأمد عند التشابكات العصبية بالمخ.

الفصل السابع: الإبصار

- (١) من الحوادث التي نالت بعض الشهرة في مدرستي القديمة في كامبريدج تلك الخاصة بطالب شارك في سباق للزوارق بين كامبريدج وأكسفورد. كانت مهمته توجيه دفة القارب، فحدث أن وجّه قارب كامبريدج بحيث اتجّه مباشرةً نحو مركب ضخم واصطدم به، ففرق القارب الصغير بطاقمه عديم الحياة. وقد بَرَرَ فيما بعد فعلته بقوله إن المركب الضخم كانت صورته عند النقطة العمياء لشبكة عينيه فلم يَرِه.
- (٢) «أستطيع أن أرى أنه إن لم يكن ساخطاً حقاً، فإنه كان بعيداً عن أن يكون راضياً حقاً».
- (٣) هل تعلم، على سبيل المثال، أن معظم الثدييات (بخلاف الرئيسيات) ليست لأعينها القدرة على التكييف، بمعنى أن تضبط بؤرة الصورة على شبكة العين من المسافة البعيدة إلى المسافة القريبة؟ فهذه مزية إضافية.
- (٤) انقرضت قواع الأمونيت مع الدیناصورات تاركة أصدافها الخارجية الحلزونية الرائعة وراءها كحفریات في صخور العصر الجوراسي. وعینتی المفضلة مطمورة في صخرة ناتئة من الهضاب الشاطئية البحرية قرب بلدة سوانانج بمنطقة دورست البريطانية، وهي عسيرة المنال لتسلق للجبال مُسِنٌ مثلي.
- (٥) الخطوة الأخيرة في عملية تطور عين حيوان ثلاثي الفصوص، التي لم يتضمنها الشكل ٢-٧، هي تكرار السطحيات التي تكونت بالفعل لتكوين عين مركبة. وهذه ليست مشكلة؛ فالحياة تُجيد تكرار الأجزاء الموجودة فعلاً.
- (٦) مثالي المفضل في هذا الصدد هو تلك الدودة المفلطحة الطفيليية الضئيلة المسماة إنتوبديلا سولياتي، التي لها عدسة عينية مكونة من الميتوكوندريا الملحومة معاً. تعمل الميتوكوندريا في حالتها العاديّة «محطات لتوليد الطاقة» في الخلايا العقدة؛ إذ تولد كل الطاقة التي تحتاجها لنعيش، وبالتالي ليس لديها أي خصائص بصرية خاصة. وتُوجَد بالفعل ديدان مفلطحة أخرى لديها عدسات عينية مكونة من مجموعات من

الميتوكوندريا التي لم تلتزم حتى معًا. ويبدو أن ذلك التجمع من المكونات الخلوية العادمة يكسر الضوء بدرجة تكفي لأداء بعض الفائدة للكائن.

(٧) كان فريق معامل بِل مهتماً بالفعل بالإنتاج التجاري لمجموعات من العدسات الدقيقة لـتُستخدم في أجهزة إلكترونية وبصرية. وبدلاً من أن يُجرب هذا الفريق تجهيز تلك المجموعات بأشعة الليزر، وهو الأسلوب التكنولوجي العادي المنتشر والمتصف بالعيوب، فإنهم اتبعوا دروس علم الأحياء؛ فاستخدمو أسلوب المحاكاة البيولوجية وتركوا الطبيعة تؤدي مهمتها بدلاً منهم. وقد نُشر تقرير عن نجاحهم هذا بمجلة «ساينس» في عام ٢٠٠٣.

(٨) كان العالم الراحل السير إريك دنتون رئيس معمل جمعية علم الأحياء البحرية في بلايموث قد أدى يوماً بتصرิح مختلف قال فيه: «حينما تحصل على نتيجة جيدة، فاحصل على وجبة غداء جيدة قبل أن تكرر التجربة. فحينئذ ستكون على الأقل قد تناولت غداء جيداً».

(٩) الشخص دقيق الملاحظة، أو من يعلم تلك المعلومة مسبقاً، سيلاحظ أن المخاريط المختصة باللون الأحمر تمتص الضوء بحد أقصى عند ٥٦٤ نانومترًا، وهذا لا يدخل ضمن نطاق اللون الأحمر من الطيف، لكنه يقع في الجزء الأخضر المصفر منه. ولللون الأحمر بكل ما يتميز به من حيوية هو شيء مختلف من نسج الخيال؛ فنحن «نرى» اللون الأحمر حينما يتولّ المخ تمثيل المعلومات الصادرة من مخروطين مختلفين، فلا تأتي إشارة مطلقاً من مخروط اللون الأخضر، بينما تأتي إشارة متضائلة من مخروط اللون الأخضر المصفر. وهذا يظهر لك قوة التخييل. وفي المرة القادمة حين تتجاذب مع زوجتك عما إذا كانت درجتان غير متماثلتين من اللون الأحمر تتوافقان أم لا، فذكّرها بأنه لا يوجد جواب واحد صحيح، وأنها مخطئة بالتأكيد.

(١٠) كما يعرف كل مصوّري المشاهير (الباباراتزي)، كلما كبرت العدسة في الحجم كانت الرؤية أفضل، ونفس الشيء ينطبق على العيون. ومن الواضح أن العكس صحيح أيضاً، وهو ما يضع حدّاً أدنى لدى صغر العدسة يقترب من حجم إحدى سطحيات العين المركبة للحشرة. ولا تتعلق المشكلة بحجم العدسة فحسب، ولكن بالطول الموجي للضوء أيضاً؛ فالأطوال الموجية الأقصر تعطي وضوحاً أفضل للصورة. ولعل هذا يفسّر السبب في أن الحشرات حتى يومنا هذا، كما كانت الفقاريات الأولى (الصغريرة) في الزمن الماضي، ترى الأشياء بالأشعة فوق البنفسجية؛ إذ تعطي تلك الأشعة وضوحاً أفضل

للصورة في العيون الصغيرة. أما نحن البشر فلا نحتاج إلى هذا لأن لدينا عدسة عينية أكبر؛ ومن ثم يمكننا تحمل التغاضي عن ذلك الجزء المُضرّ من الطيف. ومما يثير الاهتمام أن قدرة الحشرات على الرؤية في وجود الأشعة فوق البنفسجية يعني أن بإمكانها إدراك أنماط وألوان تُوجَد في الزهور التي نراها نحن ببيضاء فحسب. وهذا يساعدنا في فهم السبب في وجود الكثير من الأزهار البيضاء في هذا العالم؛ فهي تُعتبر بالنسبة للحشرات التي تُلْقِحُها مُزوَّدة بأنماط وألوان مختلفة لا ندركها نحن البشر.

(١١) الرودوبيسينات البكتيرية شائعة. ولها بنية تركيبية مشابهة لكلٍّ من الرودوبيسينات الطحلبية والحيوانية، وتسلاسلاتها الجينية قريبة من الرودوبيسينات الطحلبية. وتستخدم البكتيريا تلك المواد كعوامل حساسة للضوء، وأيضاً للحصول على شكل من البناء الضوئي.

الفصل الثامن: الدم الحار

(١) كان كليمنت فرويد حفيداً لسيجموند فرويد، وسياسيّاً ليبراليّاً لفترة ما. وحينما كان في رحلة رسمية إلى الصين، دُهشَ لـما وَجَدَ أن زميلاً الأقل شأنًا مُنِحَ جناحاً أكبر. وفسّرَ له المسؤولون هذا بقولهم إنه حفيد ونستون تشرشل، وعلّق فرويد على هذا فيما بعْدُ قائلاً: «إنها المرة الوحيدة التي كان جَدُّ أحدهم أعظم شأنًا من جَدِّي».

(٢) هذا ليس صحيحاً تماماً. فالحيوانات الأكبر حجماً تنتج حرارة أقل، لكن رطل من أوزانها، من الحيوانات الصغيرة، أي إن معدل الأيض يقل كلما زاد الحجم. وهناك خلاف بشأن أسباب ذلك ولن أخوض فيها هنا. ومن يرغب في الحصول على شرح وافٍ فعليه أن يرجع إلى كتابي «القدرة والجنس والانتخار: الميتوكوندريا ومعنى الحياة». يكفي أن نقول إن الحيوانات الكبيرة تحتفظ بالفعل في أجسامها بالحرارة أفضل من الحيوانات الصغيرة، حتى وإن كانت تُولَّد حرارة أقل لكل رطل.

(٣) مع الاعتذار لأسطورة أغاني البلوز هاولين وولف الذي غنى قائلاً: «بعض الناس خُلِقوا على هذا الشكل، والبعض الآخر على ذاك. ولا ينبغي أن يصنفي أحدُ بأنني سمين؛ لأنني خُلِقتُ بما يناسب حياة الراحة، وليس الجري السريع».

(٤) إذا كنت تجد صعوبة في فهم كيفية انتقاء كل هذه الصفات الوراثية دفعة واحدة؛ فانظر حولك فحسب. بعض الناس تجدهم متسمين بأجسام رياضية أفضل من غيرهم؛ فنسبة ضئيلة من الأشخاص يتمتعون بقوام أوليمبي. وقد لا ترغب في تجربة

الأمر على نفسه، ولكن من شأن برنامج لتزويج ذوي الجسم الرياضي بغيرهم من ذوي الجسم الرياضي، وانتقاء أنسبهم وأفضلهم فقط أن ينجح بشكل يكاد يكون مؤكدًا في إنتاج رياضيين متفوقين. وقد أجريت تجارب من هذا النوع على الفئران لدراسة الداء السكري، وتم تحسين «القدرة الهوائية» بنسبة ٣٥٠ بالمائة على مدى عشرة أجيال (مما قلل من خطورة المرض السكري). كما عاشت الفئران ستة شهور أطول من المتاد؛ وهي زيادة عمرية قدرها نحو ٢٠ بالمائة.

(٥) ثمة احتمال يشير الاهتمام، طرحة بقوة كلّ من بول إلس وتوني هلبرت من جامعة ولونجونج في أستراليا، يتعلّق بالتركيب الدهني للأغشية الخلوية؛ إذ يتطلب معدلُ الأيض السريع المرور السريع للمواد عبر تلك الأغشية، وهذا بصفة عامة يحتاج إلى وجود نسبة عالية نسبياً من الأحماض الدهنية متعددة اللاتشبُع التي تسبِّب سلاسلها الملتوية قدراً أكبر من السائلة، وهو الفارق بين الشحوم الجامدة والزيوت السائلة. فإذا تم انتقاء بعض الحيوانات لما تتمتع به من قدرة هوائية عالية، فإنها تميل لأن يكون لديها المزيد من الأحماض الدهنية متعددة اللاتشبُع، وقد يحدُّ وجود هذه الأحماض في الأعضاء الحشوية على رفع معدل الأيض عند الراحة أيضًا. عيب هذا الأمر هو وجوب تغيير تركيب الأحماض الدهنية للأغشية الخلوية في الأنسجة المختلفة، وهذا يحدث بالتأكيد إلى حد ما. ومن ثم فإننا غير مقتنع بأنه يحل المشكلة تماماً، كما أنه لا يفسر السبب في وجوب وجود المزيد من الميتوكوندريا في الأعضاء الحشوية لذوات الدم الحار. وهذا يوحى بأنه قد تم انتقاء صفة ارتفاع معدل الأيض قصداً في هذه الأعضاء، وليس الأمر متعلقاً بتركيب دهني غير مقصود.

(٦) ساعد اكتشاف حفرية لأحد الليستروصورات في القارة القطبية الجنوبية على يد العالم إدوين كولبرت في عام ١٩٦٩ على تأكيد نظرية كانت موضع خلاف في ذلك الحين عن الصفائح التكتونية؛ إذ تم بالفعل العثور على الليستروصورات في جنوب أفريقيا والصين والهند. فكان الاعتقاد أن القارة القطبية الجنوبية كانت عائمة في نفس تلك المناطق أكثر معقولية من أن الليستروصورات الثقيلة سبحت مسافات طويلة.

(٧) تقول الفكرة الأساسية التي أدلّ بها ريتشارد بروم بجامعة ييل إن الريش أنبوبي أساساً. وهذه الأنابيب في الريش مهمة من الناحية الجنينية؛ لأن لها محاور عدة: لأعلى وأسفل، وبالعرض، وللداخل والخارج. وهذه المحاور تؤلّد تدرجات كيميائية حيوية أثناء تغلغل الجزيئات الإشارية فيها. وهذه التدرجات بدورها تنشط جينات مختلفة على

طول هذه المحاور. تلك الجينات التي تتحكم في التطور الجنيني والأجسام الحيوانية أيضاً يعتبرها علماء الأجنحة في صورة «أنايب» أساساً.

(٨) باعتباري مدخناً سابقاً ومتسللاً للجبال في ماضي حياتي، فأنا ألهث طلباً للهواء في مختلف المناطق المرتفعة عن سطح البحر، ويمكّنني أن أتخيل ما يمكن أن تشعر به الطيور إذا كانت تدخن وهي تطير؛ فلا بد أن يكون تأثير التنفس المستمر للدخان، ومعدل سحب الهواء المرتفع مسبباً للدوار.

(٩) يوحي حجم جمام الشريوبودات بأن كانت لديها مخا خ كبيرة، ولعل هذا أتىَ لها بفضل ارتفاع معدل الأيض لديها. إلا أنَّ كبر حجم المخ أمر يصعب القطع به؛ لأنَّ الكثير من الزواحف لا تمتلك جمامتها بالمخ. وتوحي الفحوص التي أجريت على الجمام الشريوبودية بأنَّ الأوعية الدموية المغذية للمخ كانت ملاصقة لعظم الججمة؛ مما يشير إلى أنَّ المخ كان يملأ تجويف الججمة، ولكنَّ هذا ليس قطعياً تماماً. وهناك طرق أخرى لتكوين مخ كبير تقلُّ في تكلفتها عن جعل الحيوان من ذوات الدم الحار؛ فلا يوجد إذن ارتباط ضروري.

(١٠) الدليل على كل ذلك محفوظ في الصخور على صورة «توقيعات متلاظرة». ولن يرغب في معرفة المزيد، أوصي بقراءة مقالة كتبها لمجلة «نيتشر» عن هذا الموضوع بعنوان «قراءة كتاب الموت»، (يوليو، ٢٠٠٧).

الفصل التاسع: الوعي

(١) يقول مايكل جاتسانيجا في كتابه «العقل الاجتماعي»، إنَّ أستاذِه روجر سبيري كان قد عاد من مؤتمر بالفاتيكان؛ وصرَّح بأنَّ البابا قال له ما معناه: «يمكن للعلماء أن يمتلكوا المخ، أما الكنيسة فليتها العقل».

(٢) إنني أستخدم كلمات مُعبِّرة عن فكرة الازدواجية – مفترضاً وجود تفرقة بين العقل والمخ – وإن كنت لا أظن أنَّ هناك فارقاً بينهما، وهذا للتاكيد على أنَّ هذه الازدواجية محفورة بعمق في اللغة، وأيضاً لأنَّ هذا يعكس الصعوبة التفسيرية. فإذا كان العقل والمخ شيئاً واحداً، فلا بد أن نُفسِّر السبب في أنهما لا يبدوان هكذا. ولا يكفي أن نقول: «إنَّ الأمر مجرد وهم»! فهذا لا يصلح. فما هو إذن الأساس الجزيئي للوهم؟

(٣) خَسِرَ كمبيوتر «الأرق العميق» الأصلي سلسلةً من المباريات أمام جاري كاسباروف في عام ١٩٩٦، وإنْ كان قد فاز في مباراة واحدة. ويُوجَد طراز حديث،

يُعرف بصفة غير رسمية باسم «الأزرق الأكثر عمّقاً» هزم كاسباروف في سلسلة أخرى عام ١٩٩٧، ولكن قال كاسباروف إنه كان يجد «ذكاءً وإبداعاً عميقين» في نقلات الكمبيوتر، واتهم شركة آي بي إم بالغش. من ناحية أخرى، إذا كان بإمكان عدد من مبرمجي الكمبيوتر أن يتغلّبوا على أحد عباقرة الشطرنج، فإن تداعيات ذلك تُعدُّ سيئة بنفس الدرجة؛ فهذا يعني أن هناك لجنة من العباقرة هي مَنْ هزمته.

(٤) لكل من يهتم بمعرفة المزيد عن هذه الحالات الغريبة، أوصيه بقراءة كتاب في إس راما شاندراش الشيق، والمتعمقة في علمي الأعصاب والتطور.

(٥) تُعتبر التذبذبات تغييرات إيقاعية في النشاط الكهربائي للخلايا العصبية المفردة، وإذا عملت معًا في تناغم أمكن التقاطها بجهاز تخطيط كهربية الدماغ. وحينما تطلق خلية عصبية نبضاتها يحدث لها إزالة استقطاب، بمعنى أنه يحدث تبُّدد جزئي لشحنة الغشاء الخلوي، مع اندفاع أيونات مثل الصوديوم والكلاسيوم إلى داخل الخلية. وإذا كان إطلاق النبضات العصبية عشوائياً ومتقطعاً، فمن الصعب التقاط أي شيء بجهاز تخطيط كهربية الدماغ، ولكن إذا حدثت إزالة استقطاب لأعداد كبيرة من الخلايا العصبية في المخ ثم أعيد استقطابها في موجات إيقاعية، فإن تأثيرات ذلك يمكن التقاطها كموجات مخية بجهاز تخطيط كهربية الدماغ. وتعني التذبذبات في نطاق ٤٠ هرتز أن الكثير من الخلايا العصبية تطلق نبضاتها في توافق كل ٢٥ ملي ثانية تقريباً.

(٦) التشابكات العصبية هي فجوات ملتحمة دقيقة بين الخلايا العصبية، وهي تقطع - فيزيائياً - مرور النبضة العصبية (بمعنى أنها تعوق عملية انطلاق النبضات). تنطلق عوامل كيميائية تُسمى **التوافق العصبي** حينما تصل نبضة عصبية إلى أحد تلك التشابكات. وهي تنتشر عبر الفجوة ثم ترتبط بمستقبلات على الخلية العصبية التالية للتشابك، فإذاً أن تنشط تلك الخلية وإنما أن تثبطها، أو تعمل على إحداث تغيرات أطول أمداً تقوّي التشابكات أو تُضعفها. وتدخل عملية تكوين تشابكات جديدة أو تغيير التشابكات الموجودة في تشكيل الذكريات وفي التعلم، وإن كان الكثير من الآليات التفصيلية لذلك الأمر لم يُكتشف بعد.

(٧) هناك حتى أدلة وجيهة على أن الوعي يتكون من «صور ثابتة» بطريقة تشبه الفيلم السينمائي بدرجة كبيرة. وهذه الصور يمكن أن تتفاوت في مدتها من بضع عشرات من الملي ثانية إلى مائة ملي ثانية أو أكثر. كما أن تقصير مُدّد هذه الصور أو إطالتها - تحت تأثير الانفعالات، على سبيل المثال - قد يكون السبب في أن الزمن يبدو

كأنه أبطأ أو أسرع تحت ظروف مختلفة. وهكذا يمكن أن يبطئ الزمن لخمسة أضعاف إذا تكونت الصور كل ٢٠ ملي ثانية بدلاً من كل ١٠٠ ملي ثانية. فيمكنتنا حينئذ أن نرى يدًا تمسك سكيناً؛ تتحرك بالسرعة البطيئة.

(٨) المادة المظلمة هي مادة الوعي، وتُوَضَّف بأنها مثل «الغبار» الذي في ثلاثة الروائي فيليب بولمان «مواد المظلمة»، وأفترض هذا تقديرًا مني لما يُسمى «الغبار الذهني» لويليام جيمس.

الفصل العاشر: الموت

(١) من الناحية التقنية، لدى البكتيريا والنباتات إنزيمات تُسمى «الميتاكاسباز»، وليس إنزيمات كاسباز الحقيقية، إلا أن تلك الميتاكاسبازات هي السابقات التطورية للباسبازات التي تُوجَد في الحيوانات وتحدم أغراضًا مماثلة. وللتبييض أقول إنني سأسميها جميعًا باسم إنزيمات الكاسباز. ولمزيد من التفاصيل اقرأ مقالي بمجلة «نيتشر» بعنوان «منشأ الموت»، (مايو، ٢٠٠٨).

(٢) التسلسلات الإنزيمية مهمة في الخلايا؛ لأنها تضخم الإشارة الصغيرة منذ بدايتها. وتخيلْ أن يتم تنشيط أحد الإنزيمات، وهذا بدوره ينشط عشرة إنزيمات مستهدفة، وكل منها ينشط عشرة إنزيمات أخرى. فيكون لدينا الآن مائة من الإنزيمات النشطة. فإذا نشط كل منها عشرة إنزيمات مستهدفة يكون لدينا ألف، ثم عشرة آلاف ... وهكذا. ويستغرق كل تسلسل ست خطوات فقط من أجل تنشيط مليون إنزيم من إنزيمات الإعدام التي تمزق الخلية تمزيقاً.

(٣) كان ثمة أسباب أخرى، بالطبع، تضع حقائقات النوى على الطريق إلى التعدد الخلوي — بينما لم تتطور البكتيريا لما بعد مرحلة المستعمرات — ولا سيما ميل الخلايا حقيقة النوى إلى النمو لأحجام أكبر وتكتيس الجينات. وتُعدُّ الأسباب التي وراء هذا التطور موضوعاً رئيسياً في كتابي: «القدرة والجنس والانتخار: الميتوكوندريا ومعنى الحياة».

(٤) لا أعرف ما إذا كنت أحمل أيّاً من جينات ApoE4، ولكن في ضوء الأمراض التي تنتشر في عائلتي لن أندهن تمامًا إذا اكتشفت أن لدى واحدًا منها على الأقل. وللهذا السبب لا أحرص على معرفة هذا الأمر، وأحرص بدلاً من هذا على ممارسة الرياضة.

(٥) أطلق كيركود على نظريته اسم «نظرية الجسد القابل للتخلص منه»، معيناً للأذهان الغرض من مشروع فايسمان؛ إذ تكون الخلايا الجسدية خاضعة للخلايا الجنسية، حسبما يقول كيركود وفايسمان في تناغم، ويُعتبر السالمون الباسيفيكي حالة نموذجية لهذه النظرية.

(٦) قد تكون هناك بعض المثالب غير المتوقعة. على سبيل المثال هناك رجل أخضع نفسه لنظام غذائي صارم من تقييد السعرات، ثم انكسرت ساقه إثر سقطة طفيفة. كان مصاباً بحالة خطيرة من هشاشة العظام، وقد حذر طبيبه، بحق، من هذا النظام الغذائي.

(٧) أقول لأولئك الذين يريدون حقاً أن يعرفوا كيف يمكن أن يكون أحد الجزيئات «حساساً» لوجود المواد الغذائية أو غيابها: إن الجين 1-SIRT يرتبط بالصورة «المستترفة» من أحد الإنزيمات المساعدة التنفسية الذي يُعرف باسم NAD، والذي لا يتراكم في الخلية إلا حينما يحدث استنزاف لمواد مهمة كالجلوكوز. ويُعتبر الجين TOR حساساً لعمليات الأكسدة والاختزال، بما يعني أن نشاطه يختلف تبعاً لحالة الأكسدة في الخلية، وبما يعكس مجدداً حالة وجود المواد الغذائية أو عدم وجودها.

(٨) أوردنا سابقاً ملاحظة عن مقايسة أخرى ممكنة؛ وهي مرض السرطان في مقابل المرض التنسكي. فالفرنان التي لديها جين زائد من نوع 1-SIRT تظهر عليها أمارات صحة أفضل، ولكنها لا تعيش أطول. بل إنها غالباً ما تموت بالسرطان. وهي عملية مقايسة غير مواتية.

(٩) «الساعات العمرية» الأخرى المفترضة، مثل طول التيلوميرات (وهي الأغطية الطرفية الموجودة عند نهاية الكروموسومات، والتي تَقصُّر مع كل انقسام للخلية) لا ترتبط مع الأعمار في الأنواع المختلفة من الكائنات. ومع أن الارتباط لا يثبت وجود السببية، فإنها نقطة ابتداء جيدة لهذا الموضوع. وعدم وجود ارتباط يثبت عدم وجود السببية إلى حدٍ ما. وسواء أكانت التيلوميرات هذه تحمي من السرطان عن طريق إعاقة الانقسام الخلوي اللامحدود أم لا، فهذا موضع نقاش، ولكنها بالتأكيد لا تحدّد العمر.

(١٠) إن ضرب بضعة أمثلة لا بد أن يوضح المعنى الذي أقصده؛ فأنا لا أتكلم عن نوع الالتهاب الحاد الذي نراه في جرح قطعي ملتهب مثلاً. ولكنني أتحدث عن التهابات مزمنة. على سبيل المثال، التصلب العصيدي الشرياني يستتبع وجود تفاعل التهابي مزمن للمواد المترآكة في الصفيحات الشريانية، ويزيد الالتهاب المستمر هذه العملية تدهوراً.

وكذلك مرض ألزهايمر تدفعه حالة تفاعل التهابي مستمر للصفائح النشوانية في المخ، والانحلال البقعي في سن الشيخوخة يتضمن التهاباً للأغشية الشبكية؛ مما يؤدي إلى تنامي أوعية دموية جديدة داخل الشبكية والعمى كنتيجة نهائية. ويمكنني أن أستمر في ضرب الأمثلة؛ مثل: الداء السكري، والسرطان، والالتهاب المفصلي، والتصلب المتعدد، وغير ذلك. ويعتبر الالتهاب المزمن المعتمد هو القاسم المشترك. والتدخين يدفع إلى حدوث هذه الأمراض، ويحدث أغلب هذا عن طريق مقاومة الالتهاب. وعلى العكس من هذا، فإن إعاقة الجين TOR تحت على حدوث تشريح طفيف للمناعة، كما رأينا سابقاً، وقد يساعد هذا على الحد من الالتهاب.

(١١) ترجع فكرة التحويل الحال لـلسكر إلى العالم أوتو فاربورج في عقد الأربعينيات من القرن العشرين، ولكن تم إثباتها مؤخراً. ونقول كقاعدة عامة إن الخلايا التي يمكنها الاستغناء في نشاطها عن الميتوكوندриا هي وحدتها التي تنقلب إلى خلايا سرطانية. وهذا ينطبق بالدرجة الأكبر على الخلايا الجذعية، التي لا تعتمد إلا قليلاً على الميتوكوندريا وغالباً ما تختلط في عملية تكوين الأورام. وكأمثلة أخرى هناك خلايا الجلد، وخلايا الرئتين، وخلايا الدم البيضاء. وكلها مستقلة نسبياً عن الميتوكوندريا، وترتبط جميماً بنشوء الأورام.

(١٢) على حد قول جوستافو بارخا، فإن الحقيقة القاتلة إن عملية التطور يمكن أن تطيل العمر أضعافاً مضاعفة تعني ضمناً أن إطالة عمر الإنسان على نحو كبير مهمة قابلة للتنفيذ، كل ما في الأمر أنها تحتاج جهداً شديداً.

مصادر الصور

- (١-١) أُعيد نشر الصورة بتصريح من ديبورا إس كيلي وجمعية علوم المحيطات (مجلة أوشنوجرافى، المجلد ١٨، العدد ٣، سبتمبر ٢٠٠٥).
- (٢-١) أُعيد نشر الصورة بتصريح من ديبورا إس كيلي وجمعية علوم المحيطات (مجلة أوشنوجرافى، المجلد ١٨، العدد ٣، سبتمبر ٢٠٠٥).
- (٢-٢) أُعيد نشر الصورة بتصريح من ديبورا إس كيلي وجمعية علوم المحيطات (مجلة أوشنوجرافى، المجلد ٢٠، العدد ٤، ديسمبر ٢٠٠٧).
- (٢-٣) أُعيد نشر الصورة بتصريح من ديفيد إيه ووكر. «المخطط Z؛ الهبوط لأسفل»، دورية تريندس إن بلانت ساينسيس، المجلد ٧، صفحات ١٨٣-١٨٥. ٢٠٠٢.
- (٢-٤) إهداء من الأستاذ كلاؤس كواليك، جامعة دوسلدورف.
- (٣-١) إهداء من دكتورة كاثرين كولاس دي فرانكسمول، جامعة غرب أستراليا.
- (٤-١) أُعيد رسم الصورة من: يانو جيه وآخرين، «عندما يتآكسد الماء إلى ثنائي الأكسجين: بنية عنقود Mn₄Ca الخاص بالبناء الضوئي»، مجلة ساينس، المجلد ٣١٤، صفحة ٨٢١. ٢٠٠٦.
- (٤-٢) أُعيد رسم الصورة من: ريفيرا إم سي، وليك جيه إيه، «حلقة الحياة تقدم أدلة على أصل الاندماج الجيني لحققيات النوى»، مجلة نيتشر، المجلد ٤٣١، صفحات ١٥٢-١٥٥. ٢٠٠٤.

- (٤-٥) إهداء من كارول فون دولن، جامعة ولاية يوتا.
- (٤-٦) أُعيد نشر الصورة بتصریح من بیل مارتین: «العائق وأصل نواة حقيقيات النوى»، دوریة گرنت اوپینیون إن میکروبولوجي، المجلد ٨، صفحات ٦٣٧-٦٣٠، ٢٠٠٥.
- (٤-٧) إهداء من الأستاذ روجر كريج، جامعة ماساتشوستس.
- (٤-٨) إهداء من دكتور ديفيد جودسیل، معهد سكريبس للأبحاث بسان دیيجو.
- (٤-٩) أُعيد نشر الصورة بتصریح من هیو هاکسلي: ناكمیاس فی تی، وهاکسلي إتش إی، وکیسلر دی، «مشاهدات المجهر الإلكتروني حول عینات الأكتومیوسین والأكتین من فیساروم بولیسیفالوم، وحول تفاعلها مع الجزء الفرعی ١ الثقيل من المیرومیوسین من میوسین العضلة»، دوریة مولیکیولر بیولوچی، المجلد ٥٠، صفحات ٨٣-٩٠، ١٩٧٠.
- (٤-١٠) إهداء من دكتور مارك كريجان، جامعة ويستمنستر.
- (٤-١١) إهداء من باتريك بريان، معهد البحوث الفرنسي لاستكشاف البحر.
- (٤-١٢) أُعيد نشر الصورة بتصریح من دان إريك نیلسون: مایکل لاند ودان إريك نیلسون، «عيون الحيوانات»، أوكسفورد یونیفرسیتی برس، أوكسفورد، ٢٠٠٢.
- (٤-١٣) إهداء من الأستاذ إیوان کلارکسون، جامعة إدنبرة.
- (٤-١٤) إهداء من الأستاذة جوانا آیزنبرج، جامعة هارفرد.
- (٤-١٥) أُعيد نشرها بتصریح من أدادی إل وواینر إس، «مبارئ التحكم في التمعدن البيولوجي وتصميمه»، دوریة أنجفانت شيمي، الطبعة الإنجليزية، المجلد ٣، صفحات ١٥٣-١٦٩، ١٩٩٢، جميع الحقوق محفوظة لصالح وايلي في سي إتش فیرلاج ذات المسئولية المحدودة وشركاه. کیه جی إيه إيه.
- (٤-١٦) إهداء من الأستاذ فالتر جيرنج، بیوزینتروم، جامعة بازل، سويسرا.
- (٤-١٧) أُعيد رسم الصورة من: رییس إس وأخرين، «جهاز المناعة المرتبط برئات الطيور: مراجعة»، دوریة فیتیناری ریسیرتش، عدد ٣٧، صفحات ٣١١-٣٢٤، ٢٠٠٦.
- (٤-١٨) إهداء من زینا دریتسکی، مؤسسة العلوم الوطنية، أرلينجتون، فیرجينیا، الولايات المتحدة الأمريكية.
- (٤-١٩) من البرنامج التعليمي للكلية الأمريكية لعلم الأشعة (الإصدار الثاني لقسم علم الأشعة العصبية)، حقوق النشر محفوظة لعام ٢٠٠٤. أُعيد نشر الصورة بتصریح

من الكلية الأمريكية لعلم الأشعة. لا يُصرّح بنشر أي نسخ أخرى من هذه المادة دون إذن خطٍّ صريح من الكلية الأمريكية لعلم الأشعة.
٢-٩) نُشرت الصورة بتصریح من والدة نیکی، لین تریس.

ثبت المراجع

I have written *Life Ascending* mostly from primary sources, but the books highlighted below were all sources of insight and enjoyment for me. I don't agree with everything in all of them, but that is part of the pleasure of a good book. Most are written for the general reader and are original scientific works in the tradition of *The Origin of Species* itself. Alphabetical order.

David Beerling *The Emerald Planet* (OUP, 2006). A splendid book on the impact of plants on the history of our planet. Colourful extended vignettes of evolution.

Susan Blackmore *Conversations on Consciousness* (OUP, 2005). An admirably level-headed attempt to canvas and make sense of the conflicting views of leading scientists and philosophers on consciousness.

Jacob Bronowski *The Ascent of Man* (Little, Brown, 1974). The book of the TV series. Magnificent.

Graham Cairns-Smith *Seven Clues to the Origin of Life* (CUP, 1982). Scientifically an old book now, but unequalled for its Sherlock Holmesian examination of the clues at the heart of life's chemistry.

_____, *Evolving the Mind* (CUP, 1998). An excellent and unusual defence of quantum theories of consciousness from a determinedly individual thinker.

Francis Crick *Life Itself* (Simon & Schuster, 1981). An indefensible hypothesis defended by one of the finest scientific minds of the twentieth century. Dated, but still worth a read.

Antonio Damasio *The Feeling of What Happens* (Vintage Books, 2000). One of several books by Damasio, all well worth a read. Poetic and intense; at its best on neurology, and weakest on evolution.

Charles Darwin *The Origin of Species* (Penguin, 1985). Among the most important books ever written.

Paul Davies *The Origin of Life*. (Penguin, 2006). A fine book, if perhaps prone to see too many obstacles.

Richard Dawkins *Climbing Mount Improbable* (Viking, 1996). One of surprisingly few popular books to deal explicitly with the evolution of complex traits like eyes, in Dawkins' inimitable style.

_____, *The Selfish Gene* (OUP, 1976). One of the defining books of our age. A must-read.

Daniel Dennett *Consciousness Explained* (Little, Brown, 1991). A controversial classic that can't be ignored.

Derek Denton *The Primordial Emotions* (OUP, 2005). An eloquent book with an important thesis, all the better for its excellent discussions of the work of other researchers and philosophers.

Christian de Duve *Singularities* (CUP, 2005). A densely argued book, encapsulating much of de Duve's clear thinking. Not for the chemically faint-hearted, but the distillations of a fine mind.

_____, *Life Evolving* (OUP, 2002). An elegiac book on the biochemical evolution of life and our place in the universe. It reads like a swan song, but in fact precedes *Singularities*.

Gerald Edelman *Wider than the Sky* (Penguin, 2004). A slim but dense volume, and a good introduction to Edelman's important ideas.

Richard Fortey *Trilobite!* (HarperCollins 2000). A delight, as are all Fortey's books, and especially good on the evolution of the trilobites' crystal eye.

Tibor Ganti *The Principles of Life* (OUP, 2003). An original take on the fundamental make-up of life, if lacking in real-world biochemistry. I reluctantly did not discuss his ideas.

Steven Jay Gould *The Structure of Evolutionary Theory* (Harvard University Press, 2002). A serious work of scholarship, but with flashes of Gould's customary panache; a goldmine of interesting material.

Franklin Harold *The Way of the Cell* (OUP, 2001). A wonderful, insightful book on the cell, full of the poetry of deep science. Not always easy but well worth the effort.

Steve Jones *The Language of the Genes* (Flamingo, 2000). Wonderful introduction to the gene; effervescent.

_____, *Almost like a Whale* (Doubleday, 1999). Darwin updated with panache and deep learning.

Horace Freeland Judson *The Eighth Day of Creation* (Cold Spring Harbor Press, 1996). A seminal tome: interviews with the pioneers of molecular biology, at the dawn of an era.

Tom Kirkwood *Time of Our Lives* (Weidenfeld & Nicolson, 1999). One of the best introductions to the biology of ageing, by a pioneer in the field; a humane work of science.

Andre Klarsfeld and Frederic Revah *The Biology of Death* (Cornell University Press, 2004). A thoughtful examination of aging and death, from the point of view of the cell. A rare meld of evolution and medicine.

Andrew Knoll *Life on a Young Planet* (Princeton University Press, 2003). A fine, accessible view of early evolution by one of the leading protagonists. Wise counsel.

Christof Koch *The Quest for Consciousness* (Roberts & Co, 2004). A textbook, and not an easy read, but full of flair and insight. A fine and balanced mind enquiring into the mind.

Marek Kohn *A Reason for Everything* (Faber and Faber, 2004). Short biographies of five British evolutionists, full of eloquence and insight. Very good on the evolution of sex.

Michael Land and Dan-Eric Nilsson *Animal Eyes* (OUP, Oxford, 2002). A textbook on animal optics, accessibly written and conveying well the exuberant ingenuity of evolution.

Nick Lane *Power, Sex, Suicide* (OUP, 2005). My own exploration of cell biology and the evolution of complexity, from the point of view of cellular energy.

_____, *Oxygen* (OUP, 2002). A history of life on earth with the gas that made complex life possible, oxygen, taking centre-stage.

Primo Levi *The Periodic Table* (Penguin, 1988). Not really a science book at all, but brimming with poetry, humanity and science. A master literary craftsman.

Lynn Margulis and Dorion Sagan *Microcosmos* (University of California Press, 1997). A fine introduction to the grand scale of the microcosm from one of the iconic figures in biology, no stranger to controversy.

Bill Martin and Miklós Müller *Origin of Mitochondria and Hydrogenosomes* (Springer, 2007). A scholarly multi-author text on a seminal event in evolution: disparate views of the eukaryotic cell.

John Maynard Smith and Eörs Szathmáry *The Origins of Life* (OUP, 1999). A popular reworking of their classic text *The Major Transitions in*

Evolution (WH Freeman/Spektrum, 1995). A major work by great intellects.

John Maynard Smith *Did Darwin get it Right?* (Penguin, 1988). Accessible essays, some on the evolution of sex, by the late guru of evolutionary biologists.

Oliver Morton *Eating the Sun* (Fourth Estate, 2007). A gem of a book, combining a novelist's insight into people and place with a deep feeling for molecules and planets. Especially good on the carbon crisis.

Andrew Parker *In the Blink of an Eye* (Free Press, 2003). Much to savour, despite a rather blinkered view.

Vilayanur Ramachandran *The Emerging Mind* (Profile, 2003). Ramachandran's 2003 Reith lectures, essentially his earlier book *Phantoms in the Brain* in compressed form. An original and imaginative mind at play.

Mark Ridley *Mendel's Demon* (Weidenfeld & Nicolson, 2000). An intellectual treat, lacing its profound material on the evolution of complexity with grave wit.

Matt Ridley *The Red Queen* (Penguin, 1993). A seminal book on the evolution of sex and sexual behaviour; insightful and full of Ridley's trademark flair.

_____, *Francis Crick* (HarperPress, 2006). A first-rate biography of one of the most interesting figures in twentieth century science. Nicely nuanced, without ever jeopardising his love of the subject.

Steven Rose *The Making of Memory* (Vintage 2003). A fine book on the neural events underlying memory, at its best on the social framework of science.

Ian Stewart and Jack Cohen *Figments of Reality* (CUP, 1997). An eclectic, witty and erudite look at consciousness. Entertaining and opinionated.

Peter Ward *Out of Thin Air* (Joseph Henry Press, 2006). A serious and original hypothesis about why dinosaurs were dominant for so long. Accessible and compelling.

Carl Zimmer *Parasite Rex* (The Free Press, 2000). A superb book on the importance of parasites, with an excellent section on the role of parasites in the evolution of sex.

المصادر الرئيسية

Francis Crick once complained that ‘There is no form of prose more difficult to understand and more tedious to read than the average scientific paper’. He had a point—but he did use the word ‘average’. At their best, scientific papers can be pure distillations of meaning, and capable of exercising as much pull on the mind as a work of art. I have tried to limit my list here to papers of that calibre: this is not an exhaustive list, but a selection of the papers that most influenced my thinking in writing this book. I’ve also added a few general reviews as entrées into the literature. Alphabetical order by chapter.

مقدمة

Russell R. J., Gerike U., Danson M. J., Hough D. W., Taylor G. L. Structural adaptations of the cold-active citrate synthase from an Antarctic bacterium. *Structure* 6: 351–61; 1998.

الفصل الأول: أصل الحياة

Fyfe W. S. The water inventory of the Earth: fluids and tectonics. Geological Society, London, Special Publications 78: 1–7; 1994.

- Holm N. G., et al. Alkaline fluid circulation in ultramafic rocks and formation of nucleotide constituents: a hypothesis. *Geochemical Transactions* 7: 7; 2006.
- Huber C., Wächtershäuser G. Peptides by activation of amino acids with CO on (Ni,Fe)S surfaces: implications for the origin of life. *Science* 281: 670–72; 1998.
- Kelley D. S., Karson J. A., Fruh-Green G. L. et al. A serpentinite-hosted ecosystem: the Lost City hydrothermal field. *Science* 307: 1428–34; 2005.
- Martin W., Baross J., Kelley D., Russell M. J. Hydrothermal vents and the origin of life. *Nature Reviews in Microbiology* 6: 805–14; 2008.
- Martin W., Russell M. J. On the origin of biochemistry at an alkaline hydrothermal vent. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 362: 1887–925; 2007.
- Morowitz H., Smith E. Energy flow and the organisation of life. *Complexity* 13: 51–9; 2007.
- Proskurowski G., et al. Abiogenic hydrocarbon production at Lost City hydrothermal field. *Science* 319: 604–7; 2008.
- Russell M. J., Martin W. The rocky roots of the acetyl CoA pathway. *Trends in Biochemical Sciences* 29: 358–63; 2004.
- Russell M. First Life. *American Scientist* 94: 32–9; 2006.
- Smith E., Morowitz H. J. Universality in intermediary metabolism. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 101: 13168–73; 2004.
- Wächtershäuser G. From volcanic origins of chemoautotrophic life to bacteria, archaea and eukarya. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 361: 1787–806; 2006.

الفصل الثاني: دين وإيه

- Baaske P., et al. Extreme accumulation of nucleotides in simulated hydrothermal pore systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 104: 9346–51; 2007.
- Copley S. D., Smith E., Morowitz H. J. A mechanism for the association of amino acids with their codons and the origin of the genetic code. *PNAS* 102: 4442–7; 2005.
- Crick F. H. C. The origin of the genetic code. *Journal of Molecular Biology* 38: 367–79; 1968.
- De Duve C. The onset of selection. *Nature* 433: 581–2; 2005.
- Freeland S. J., Hurst L. D. The genetic code is one in a million. *Journal of Molecular Evolution* 47: 238–48; 1998.
- Gilbert W. The RNA world. *Nature* 319: 618; 1986.
- Hayes B. The invention of the genetic code. *American Scientist* 86: 8–14; 1998.
- Koonin E. V., Martin W. On the origin of genomes and cells within inorganic compartments. *Trends in Genetics* 21: 647–54; 2005.
- Leipe D., Aravind L., Koonin E. V. Did DNA replication evolve twice independently? *Nucleic Acids Research* 27: 3389–401; 1999.
- Martin W., Russell M. J. On the origins of cells: a hypothesis for the evolutionary transitions from abiotic geochemistry to chemoautotrophic prokaryotes, and from prokaryotes to nucleated cells. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*. 358: 59–83; 2003.
- Taylor F. J. R., Coates D. The code within the codons. *Biosystems* 22: 177–87; 1989.
- Watson J. D., Crick F. H. C. A structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature* 171: 737–8; 1953.

الفصل الثالث: عملية البناء الضوئي

- Allen J. F., Martin W. Out of thin air. *Nature* 445: 610–12; 2007.
- Allen J. F. A redox switch hypothesis for the origin of two light reactions in photosynthesis. *FEBS Letters* 579: 963–68; 2005.
- Dalton R. Squaring up over ancient life. *Nature* 417: 782–4; 2002.
- Ferreira K. N. *et al.* Architecture of the photosynthetic oxygen-evolving center. *Science* 303: 1831–8; 2004.
- Mauzerall D. Evolution of porphyrins—life as a cosmic imperative. *Clinics in Dermatology* 16: 195–201; 1998.
- Olson J. M., Blankenship R. E. Thinking about photosynthesis. *Photosynthesis Research* 80: 373–86; 2004.
- Russell M. J., Allen J. F., Milner-White E. J. Inorganic complexes enabled the onset of life and oxygenic photosynthesis. In *Energy from the Sun: 14th International Congress on Photosynthesis*, Allen J. F., Gantt E., Golbeck J. H., Osmond B. (editors). Springer 1193–8; 2008.
- Sadekar S., Raymond J., Blankenship R. E. Conservation of distantly related membrane proteins: photosynthetic reaction centers share a common structural core. *Molecular Biology and Evolution* 23: 2001–7; 2006.
- Sauer K., Yachandra V. K. A possible evolutionary origin for the Mn₄ cluster of the photosynthetic water oxidation complex from natural MnO₂ precipitates in the early ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 99: 8631–6; 2002.
- Walker D. A. The Z-scheme—Down Hill all the way. *Trends in Plant Sciences* 7: 183–5; 2002.
- Yano J., *et al.* Where water is oxidised to dioxygen: structure of the photosynthetic Mn₄Ca cluster. *Science* 314: 821–5; 2006.

الفصل الرابع: الخلية المعقدة

- Cox C. J., et al. The archaeabacterial origin of eukaryotes. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 105: 20356–61; 2008.
- Embley M. T., Martin W. Eukaryotic evolution, changes and challenges. *Nature* 440: 623–30; 2006.
- Javaux E. J. The early eukaryotic fossil record. In: *Origins and Evolution of Eukaryotic Endomembranes and Cytoskeleton* (Ed. Gáspár Jékely); Landes Bioscience 2006.
- Koonin E. V. The origin of introns and their role in eukaryogenesis: a compromise solution to the introns-early versus introns-late debate? *Biology Direct* 1: 22; 2006.
- Lane N. Mitochondria: key to complexity. In: *Origin of Mitochondria and Hydrogenosomes* (Eds Martin W, Müller M); Springer, 2007.
- Martin W., Koonin E. V. Introns and the origin of nucleus–cytosol compartmentalisation. *Nature* 440: 41–5; 2006.
- Martin W., Müller M. The hydrogen hypothesis for the first eukaryote. *Nature* 392: 37–41; 1998.
- Pisani D., Cotton J. A., McLnerney J. O. Supertrees disentangle the chimerical origin of eukaryotic genomes. *Molecular Biology and Evolution* 24: 1752–60; 2007.
- Sagan L. On the origin of mitosing cells. *Journal of Theoretical Biology* 14: 255–74; 1967.
- Simonson A. B., et al. Decoding the genomic tree of life. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 102: 6608–13; 2005.
- Taft R. J., Pheasant M., Mattick J. S. The relationship between non-protein-coding DNA and eukaryotic complexity. *BioEssays* 29: 288–99; 2007.
- Vellai T., Vida G. The difference between prokaryotic and eukaryotic cells. *Proceedings of the Royal Society of London B* 266: 1571–7; 1999.

الفصل الخامس: التكاثر الجنسي

- Burt A. Sex, recombination, and the efficacy of selection: was Weismann right? *Evolution* 54: 337–51; 2000.
- Butlin R. The costs and benefits of sex: new insights from old asexual lineages. *Nature Reviews in Genetics* 3: 311–17; 2002.
- Cavalier-Smith T. Origins of the machinery of recombination and sex. *Heredity* 88: 125–41; 2002.
- Dacks J., Roger A. J. The first sexual lineage and the relevance of facultative sex. *Journal of Molecular Evolution* 48: 779–83; 1999.
- Felsenstein J. The evolutionary advantage of recombination. *Genetics* 78: 737–56; 1974.
- Hamilton W. D., Axelrod R., Tanese R. Sexual reproduction as an adaptation to resist parasites. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 87: 3566–73; 1990.
- Howard R. S., Lively C. V. Parasitism, mutation accumulation and the maintenance of sex. *Nature* 367: 554–7; 1994.
- Keightley P. D., Otto S. P. Interference among deleterious mutations favours sex and recombination in finite populations. *Nature* 443: 89–92; 2006.
- Kondrashov A. Deleterious mutations and the evolution of sexual recombination. *Nature* 336: 435–40; 1988.
- Otto S. P., Nuismer S. L. Species interactions and the evolution of sex. *Science* 304: 1018–20; 2004.
- Szollosi G. J., Derenyi I., Vellai T. The maintenance of sex in bacteria is ensured by its potential to reload genes. *Genetics* 174: 2173–80; 2006.

الفصل السادس: الحركة

- Amos L. A., van den Ent F., Lowe J. Structural/functional homology between the bacterial and eukaryotic cytoskeletons. *Current Opinion in Cell Biology* 16: 24–31; 2004.
- Frixione E. Recurring views on the structure and function of the cytoskeleton: a 300 year epic. *Cell Motility and the Cytoskeleton* 46: 73–94; 2000.
- Huxley H. E., Hanson J. Changes in the cross striations of muscle during contraction and stretch and their structural interpretation. *Nature* 173: 973–1954.
- Huxley H. E., A personal view of muscle and motility mechanisms. *Annual Review of Physiology* 58: 1–19; 1996.
- Mitchison T. J. Evolution of a dynamic cytoskeleton. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 349: 299–304; 1995.
- Nachmias V. T., Huxley H., Kessler D. Electron microscope observations on actomyosin and actin preparations from *Physarum polycephalum*, and on their interaction with heavy meromyosin subfragment I from muscle myosin. *Journal of Molecular Biology* 50: 83–90; 1970.
- Oota S., Saitou N. Phylogenetic relationship of muscle tissues deduced from superimposition of gene trees. *Molecular Biology and Evolution* 16: 856–67; 1999.
- Piccolino M. Animal electricity and the birth of electrophysiology: The legacy of Luigi Galvani. *Brain Research Bulletin* 46: 381–407; 1998.
- Richards T. A., Cavalier-Smith T. Myosin domain evolution and the primary divergence of eukaryotes. *Nature* 436: 1113–18; 2005.
- Swank D. M., Vishnudas V. K., Maughan D. W. An exceptionally fast actomyosin reaction powers insect flight muscle. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 103: 17543–7; 2006.

Wagner P. J., Kosnik M. A., Lidgard S. Abundance distributions imply elevated complexity of post-paleozoic marine ecosystems. *Science* 314: 1289–92; 2006.

الفصل السابع: الإبصار

- Addadi L., Weiner S. Control and Design Principles in Biological Mineralisation. *Angew Chem Int Ed Engl* 3: 153–69; 1992.
- Aizenberg J., et al. Calcitic microlenses as part of the photoreceptor system in brittlestars. *Nature* 412: 819–22; 2001.
- Arendt D., et al. Ciliary photoreceptors with a vertebrate-type opsin in an invertebrate brain. *Science* 306: 869–71; 2004.
- Deininger W., Fuhrmann M., Hegemann P. Opin evolution: out of wild green yonder? *Trends in Genetics* 16: 158–9; 2000.
- Gehring W. J. Historical perspective on the development and evolution of eyes and photoreceptors. *International Journal of Developmental Biology* 48: 707–17; 2004.
- Gehring W. J. New perspectives on eye development and the evolution of eyes and photoreceptors. *Journal of Heredity* 96: 171–84; 2005.
- Nilsson D. E., Pelger S. A pessimistic estimate of the time required for an eye to evolve. *Proceedings of the Royal Society of London B* 256: 53–8; 1994.
- Panda S., et al. Illumination of the melanopsin signaling pathway. *Science* 307: 600–604; 2005.
- Piatigorsky J. Seeing the light: the role of inherited developmental cascades in the origins of vertebrate lenses and their crystallins. *Heredity* 96: 275–77; 2006.
- Shi Y., Yokoyama S. Molecular analysis of the evolutionary significance of ultraviolet vision in vertebrates. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 100: 8308–13; 2003.

Van Dover C. L., et al. A novel eye in ‘eyeless’ shrimp from hydrothermal vents on the Mid-Atlantic Ridge. *Nature* 337: 458–60; 1989.

White S. N., et al. Ambient light emission from hydrothermal vents on the Mid-Atlantic Ridge. *Geophysical Research Letters* 29: 341–4; 2000.

الفصل الثامن: الدم الحار

Burness G. P., Diamond J., Flannery T. Dinosaurs, dragons, and dwarfs: the evolution of maximal body size. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 98: 14518–23; 2001.

Hayes J. P., Garland J. The evolution of endothermy: testing the aerobic capacity model. *Evolution* 49: 836–47; 1995.

Hulbert A. J., Else P. L. Membranes and the setting of energy demand. *Journal of Experimental Biology* 208: 1593–99; 2005.

Kirkland J. I., et al. A primitive therizinosauroid dinosaur from the Early Cretaceous of Utah. *Nature* 435: 84–7; 2005.

Klaassen M., Nolet B. A. Stoichiometry of endothermy: shifting the quest from nitrogen to carbon. *Ecology Letters* 11: 1–8; 2008.

Lane N. Reading the book of death. *Nature* 448: 122–5; 2007.

O'Connor P. M., Claessens L. P. A. M. Basic avian pulmonary design and flow-through ventilation in non-avian theropod dinosaurs. *Nature* 436: 253–6; 2005.

Organ C. L., et al. Molecular phylogenetics of Mastodon and *Tyrannosaurus rex*. *Science* 320: 499; 2008.

Prum R. O., Brush A. H. The evolutionary origin and diversification of feathers. *Quarterly Review of Biology* 77: 261–95; 2002.

Sawyer R. H., Knapp L. W. Avian skin development and the evolutionary origin of feathers. *Journal of Experimental Zoology* 298B: 57–72; 2003.

- Seebacher F. Dinosaur body temperatures: the occurrence of endothermy and ectothermy. *Paleobiology* 29: 105–22; 2003.
- Walter I., Seebacher F. Molecular mechanisms underlying the development of endothermy in birds (*Gallus gallus*): a new role of PGC-1 α ? *American Journal of Physiology Regul Integr Comp Physiol* 293: R2315–22, 2007.

الفصل التاسع: الوعي

- Churchland P. How do neurons know? *Daedalus* Winter 2004; 42–50.
- Crick F., Koch C. A framework for consciousness. *Nature Neuroscience* 6: 119–26; 2003.
- Denton D. A., et al. The role of primordial emotions in the evolutionary origin of consciousness. *Consciousness and Cognition* 18: 500–514; 2009.
- Edelman G., Gally J. A. Degeneracy and complexity in biological systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 98: 13763–68; 2001.
- Edelman G. Consciousness: the remembered present. *Annals of the New York Academy of Sciences* 929: 111–22; 2001.
- Gil M., De Marco R. j., Menzel R. Learning reward expectations in honeybees. *Learning and Memory* 14: 49–96; 2007.
- Koch C., Greenfield S. How does consciousness happen? *Scientific American* October 2007; 76–83.
- Lane N. Medical constraints on the quantum mind. *Journal of the Royal Society of Medicine* 93: 571–5; 2000.
- Merker B. Consciousness without a cerebral cortex: A challenge for neuroscience and medicine. *Behavioral and Brain Sciences* 30: 63–134; 2007.

- Musacchio J. M. The ineffability of qualia and the word–anchoring problem. *Language Sciences* 27: 403–35; 2005.
- Searle J. How to study consciousness scientifically. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 353: 1935–42; 1998.
- Singer W. Consciousness and the binding problem. *Annals of the New York Academy of Sciences* 929: 123–46; 2001.

الفصل العاشر: الموت

- Almeida A., Almeida J., Bolaños J. P., Moncada S. Different responses of astrocytes and neurons to nitric oxide: the role of glycolytically-generated ATP in astrocyte protection. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 98: 15294–99; 2001.
- Barja G. Mitochondrial oxygen consumption and reactive oxygen species production are independently modulated: implications for aging studies. *Rejuvenation Research* 10: 215–24; 2007.
- Bauer *et al.* Resveratrol improves health and survival of mice on a high-calorie diet. *Nature* 444: 280–81; 2006.
- Bidle K. D., Falkowski P. G. Cell death in planktonic, photosynthetic microorganisms. *Nature Reviews in Microbiology* 2: 643–55; 2004.
- Blagosklonny M. V. An anti-aging drug today: from senescence-promoting genes to anti-aging pill. *Drug Discovery Today* 12: 218–24; 2007.
- Bonawitz N. D., *et al.* Reduced TOR signaling extends chronological life span via increased respiration and upregulation of mitochondrial gene expression. *Cell Metabolism* 5: 265–77; 2007.
- Garber K. A mid-life crisis for aging theory. *Nature* 26: 371–4; 2008.
- Hunter P. Is eternal youth scientifically plausible? *EMBO Reports* 8: 18–20; 2007.

- Kirkwood T. Understanding the odd science of aging. *Cell* 120: 437–47; 2005.
- Lane N. A unifying view of aging and disease: the double-agent theory. *Journal of Theoretical Biology* 225: 531–40; 2003.
- Lane N. Origins of death. *Nature* 453: 583–5; 2008.
- Tanaka M., et al. Mitochondrial genotype associated with longevity. *Lancet* 351: 185–6; 1998.