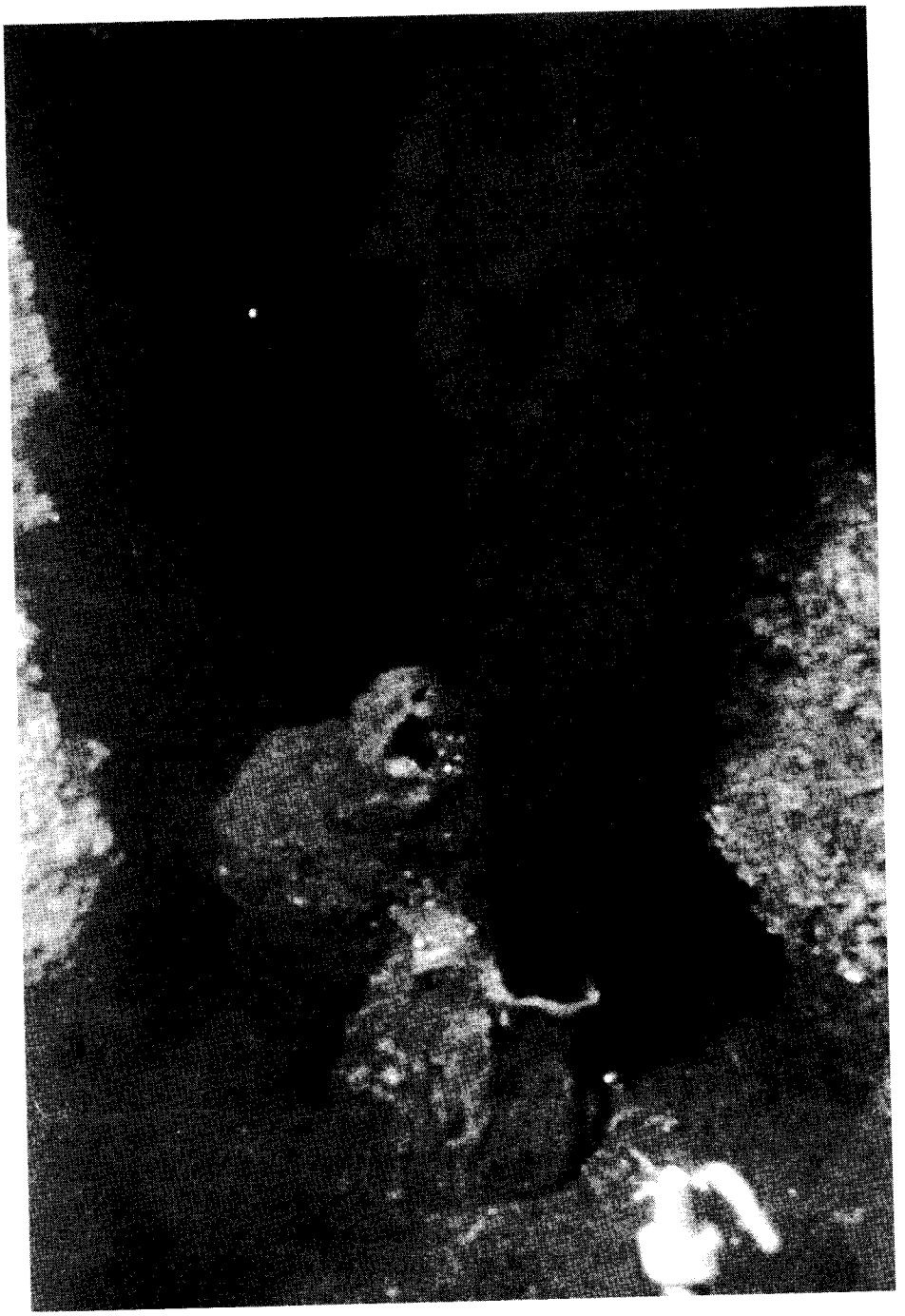
7

الحدود الخارجية

«الجرثوم ضئيل جداً إلى درجة
لا تستطيع تبيُّنه على الإطلاق»

هيلير بيلوك «الجرثوم»



المدخِّنَة السوداء

أينما غامر الإنسان على سطح هذا الكوكب، سيجد أن متعضيات أخرى قد سبقته إلى هناك، إذ حتى الأجزاء غير المضافة من مناطق القطب، الصحارى، ذرى الجبال وأعماق المحيطات تم استيطانها. ثمة القلة النادرة من المناطق على الأرض تعتبر معادية بحيث لا توجد فيها متعضيات وحيدة الخلية، وحتى في البيئات المتطرفة إلى درجة لا يستطيع معها البشر أن يعيشوا دون مساعدة، ثمة حيوانات أخرى تعيش بغير مشقة. في هذا الفصل سنلقي نظرة على حدود الحياة حيث نقابل بين النطاق الضيق للبيئات التي يمكن للإنسان أن يتحملها والنطاق الأكبر بكثير الذي تستطيع المتعضيات الأخرى أن تتحمله، لنرى كيف يمكنها أن تعيش في أعماق الصخور، في القلويات القوية، الحمض أو البحيرات الملحية، في جذوع الأشجار، في أعماق المحيطات أو برك الحمأة التي تغلي وتفور.

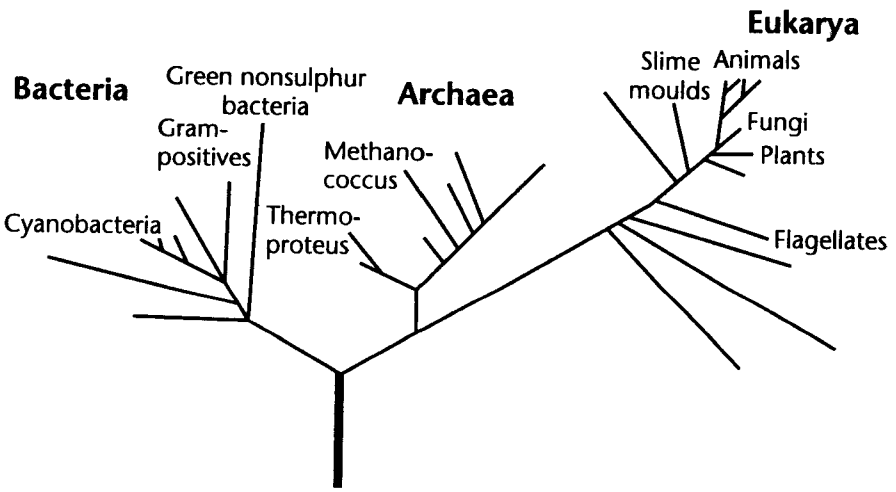
تحتاج الحيوانات، مثلنا، لكي تعيش، إلى الماء، الأوكسجين، والغذاء. على أن الجراثيم تستطيع العيش بغير أوكسجين ويمكن أن تكون مصادر غذائها متباينة غاية التباين عن غذائنا لكنها تظل بحاجة إلى الماء. كذلك هي تحتاج إلى عناصر مثل الفحم، الآزوت، الكبريت والفوسفور باعتبارها كتلاً بنائية للـ د.ن.أ والبروتينات. توجد هذه العناصر في معظم الأماكن على الأرض، بيد أن توافر الماء السائل أقل، ففي صحراء أتاكاما،

التي تشتهر بأنها أشد مناطق العالم جفافاً، قد تمر سنوات دون أن تسقط قطرة مطر واحدة. لا يعد الجليد بديلاً للماء، لذا فإن المجاهل المتجمدة من المناطق القطبية وقمم الجبال هي صحارى أيضاً. وعلى الرغم من أن بعض المتعضيات يمكن أن تتواجد بغير ماء فترات طويلة من الزمن وهي في حالة من الأحيائية المعلقة، إلاّ أنها تكون عاجزة عن النمو أو التكاثر. لذلك، الماء هو جوهر الحياة. و«ماء الحياة» الحقيقي هو الذي بحث عنه بكثير من الجد والدأب كيميائيو الأزمنة القديمة.

شجرة الحياة

لشجرة الحياة ثلاثة فروع رئيسية: ذوات النويات الخلوية، الجراثيم والبدائيات. تتكون ذوات النويات الخلوية، مثلنا نحن، من خلايا لها نوى تؤوي داخلها الـ د.ن.أ. تعد الحيوانات كلها والنباتات جميعاً وكثير من المتعضيات وحيدات الخلية ذوات نويات خلوية أمّا الجراثيم والبدائيات فهي متعضيات وحيدات الخلية تفتقر للنواة لكنها شديدة الاختلاف عن بعضها بعضاً مثلما هي شديدة الاختلاف عن ذوات النويات ولكل منها مجموعة خاصة بها من المورثات. والمفاجئ أن عالم التطور كارل ووز هو الذي ميز، في فترة حديثة فقط تعود لأواخر سبعينيات القرن العشرين، أن البدائيات تشكل فرعاً من فروع الحياة قائماً بذاته. بيد أن نظرته لم تقبل على نطاق واسع في البداية. فشعر ووز بالإحباط الشديد إلى درجة أنه صرف النظر عنها باعتبارها هراء أو تم تجاهلها ببساطة في وطنه، الولايات المتحدة. فالبدائيات، في نظر خصومه، هي مجرد فرع خاص من الجراثيم. لم تساعد طبيعة ووز الانعزالية في نشر رسالته لكن فكرته اليوم معترف بها تماماً. لقد جاء البرهان الحاسم على مصداقيتها حين تم، لأول مرة، الحصول في سنة 1998، على سلسلة المورثات الكاملة لأحد البدائيات (الميثانوكوكس)، فتبين أنها تختلف تماماً عن مورثات الجراثيم، مما يثبت

أن البدائيات فرع قائم بذاته بالحقيقة ويوضح أنها أقرب إلى ذوات النوى من الجراثيم. يشير اسمها «البدائيات» إلى أنها ذات أصول قديمة. إذ يظن أن من بين كل أشكال الحياة القائمة، تعد البدائيات هي الأكثر شبهاً بالخلايا الأولى.



إذن، البدائيات والجراثيم هي السيدات الحقيقية للأطراف القصوى للحياة. إنها تزدهر في الماء الغالي، في بحيرات الصودا القلوية في الحمض المركز، في الماء شديد الملوحة، في الضغوط الهائلة، وعميقاً وسط الصخور. بل يمكن لبعضها، كالدينوكوكس راديو دوران، مثلاً، أن يتحمل

نسباً عالية للغاية من النشاط الإشعاعي[1].

فيما يستطيع الكثير منا العيش من دون الأوكسجين أو ضوء الشمس، حاصلاً على طاقته من الكبريت، الهيدروجين، أو بتفتيت الصخور، كما أنه قادر على هضم أي شيء، تقريباً بما في ذلك الزيت، البلاستيك، المعادن والسموم. تقدم لنا هذه المتعضيات الصغرى، إمكانية هائلة للاستفادة منها في تنظيف البيئة، منع التلوث، إنتاج الطاقة وكثير من المجالات الأخرى. لذا. لا عجب أنها تثير اهتمام العلماء والصناعيين على حد سواء.

بعضهم يحبها ساخنة

تستطيع بعض البدائيات والجراثيم أن تتحمل درجات حرارة قريبة من درجة الغليان، على الرغم من أنه ما من حيوان أو نبات كثير الخلايا يعيش طويلاً فوق الدرجة 50 مئوية، وما من ذات نواة وحيدة الخلية تتحمل درجة حرارة فوق الستين مئوية. تعيش «محبات الحرارة في درجة حرارة 50 مئوية ومحبات الحرارة المفرطة فوق الدرجة 80 مئوية. إنها تكثر في المناطق ذات النشاط الجيوحراري العالي، كينابيع آيسلاند الحارة وحديقة يللوستون الوطنية والفوهات البركانية المعروفة باسم المدخنات السوداء في قاع المحيط. على أن أشد مقاوم للحرارة عرف حتى اليوم هو «البيرولوبس فوماريي» الذي يعيش في درجات حرارة تصل حتى 113 مئوية في جدران مداخن المدخنات السوداء ويكف عن النمو عندما تنخفض درجة الحرارة عن 90 مئوية لأنه يجد الجو شديد البرودة، لذا، لا أحد يعلم ما هو الحد الأعلى للحياة فعلاً لكن معظم العلماء يشكون بأنه في حدود 120° مئوية.

(1) يبدو أن الداينوكوكوس راديودوران قد طورت مقاومتها للنشاط الإشعاعي كأثر جانبي حسن الحظ لمقاومتها الجفاف، إنها قادرة على إعادة بناء صبغياتها حتى عندما يجعلها الإشعاع تتشظى إلى شظايا لا عد لها ولا حصر. كيف تحقق هذه المعجزة أمر ما يزال لغزاً.

أول مرة اكتشفت فيها المدخنات السوداء كان سنة 1977، وقد اكتشفها علماء من معهد وودز هول لعلم المحيطات، قريباً من شاطئ الإكوادور. لقد انزلقوا بمحاذاة قاع المحيط في السفينة القابلة للغطس «ألڤين» وعلى عمق نحو 2500 م، وصلوا إلى ريف صخري حيث حياهم مشهد خارق للعادة ليس له نظير.

إذ كانت تنطلق سحب من الدخان الأسود من غابة من المداخن تحت الماء وكان نبتون وڤولكان تعاونا على صنع مجمع صناعي قريب من المعامل الشيطانية تحت البحر. وخلافاً لأعماق المحيطات المأهولة هنا وهناك والتي بات العلماء يألفونها، فقد كانت هذه المنطقة واحة للحياة يأهلها الكثير من مختلف أنواع الكائنات الحية. على أن اكتشاف المدخنات السوداء كان محملاً بالأخطار «فعندما أدخل العلماء، لأول مرة، مقياساً حرارياً في الماء المنبعث من المداخن وجدوا أنه توقف فجأة عن العمل، لقد احترق خلال بضع ثوانٍ. وما إن عرف سبب المشكلة، حتى ذهب اهتمامهم مباشرة إلى سفينتهم الغاطسة نفسها، إذ إن نوافذها المصنوعة من «الزجاج الضفيري» يمكن، على ذلك العمق، أن تفقد تماسكها بدرجة حرارة 90 فقط. هذا الاهتمام لم يكن غير مبرر. إذ تعود السفن الغاطسة، أحياناً، من رحلة إلى المدخنات السوداء وقد صارت قوقعتها الخارجية المصنوعة من الزجاج الليفي سوداء كالفحم.

تشبه المدخنات السوداء ينابيع ماء حارة تحت الماء، تنفث ماء شديد الحرارة تتخلله معادن من الفوهات البركانية في قاع المحيط، وفي الأرياف الصخرية الواقعة وسط المحيط، تخرج العصارة الحارة من لب الأرض إلى السطح فاصلة بين الصفائح التكونية، متصلبة حين تبرد لتشكل قاع محيط جديداً، كما يتسرب ماء البحر البارد نازلاً عبر الشقوق الموجودة في سرير البحر لتسخنها، وهي تغوص إلى الأسفل. هذا الماء يصبح حاراً أكثر فأكثر

وهو ينزل لكنه لا يغلي وذلك بسبب الضغط الشديد هناك[2]. أخيراً، يعود هذا الماء فائق الحرارة فيندفع راجعاً إلى السطمح محملاً بالمعادن والأملاح المعدنية ثم ينبثق من الفوهات في قاع البحر بدرجة حرارة تربو على 350 مئوية. وحالما يصطدم بماء البحر البارد، تترسب المعادن والأملاح المنحلة فيه لتشكل ريشة دخانية سوداء بارتفاع 100 ـ 300 م فوق قاع المحيط، ومن ثم تتصلب على شكل مداخن صخرية بارتفاع يصل حتى الخمسة أمتار. أطول هذه المداخن، وهي بطول مؤثر يصل إلى 6,8 م، تعرف بالاسم المحبوب جوليات.

تقطن الماء المحيط بالمدخّنة السوداء بدائيات تعيش وتزدهر في الماء عالية الحرارة وتتغذى على خليط من مركبات الكبريت والمعادن (منغنيز، حديد، كبريتيد) المنبعثة من الفوهة. تحيط بالفوهة سحابة من هذه المتعضيات كيماوية التركيب لتبدو أشبه بالثلج وتعرف باسم «القطيع». إنها تدعم نظاماً بيئياً فريداً من نوعه. مستعمرات من الديدان الأنبوبية تحرك مجساتها الأشبه بالعشب في التيارات الحارة. بعضها له قواقع صفراء مبيضة دقيقة ضئيلة تحيط بها حواف، فيما يصل طول بعضها الآخر إلى الأربعة أمتار. كما أن دودة بومباي، وهي واحدة من أكثر متحملات الحرارة، تعيش في أنابيب إلى جانب المدخنات السوداء ذاتها. ورغم أن رأسها يظهر في ماء درجة حرارته مرضية نسبياً 20 مئوية، إلاّ أن ذيولها تتحمل درجة الحرارة الحارقة 80 مئوية.

هناك أيضاً مليارات من القريدس تتجمع حول الفوهات راقصة رقصة شد الحبل الحرارية: تقترب كثيراً من المدخنة تغلي وهي حية، تبتعد كثيراً تتجمد أو تموت جوعاً. كذلك هناك شقائق النعمان البحرية، السرطان مغزلي القوائم، والبطلينوس العملاق (طويل القدم تقريباً) وكلها تزيّن سرير

(2) على عمق 3000 م، يكون الضغط كبيراً إلى درجة أن الماء يغلي بدرجة 400 مئوية.

البحر. كما تغطي الحصر الجرثومية سطح بلح البحر ويطوف السمك بحثاً عن الطعام بين المداخن، وهناك مخلوق برتقالي اللون جميل وغريب يجر خيبطات طويلة يشبه أكثر ما يشبه هندباء برية ذاهبة للبذار، يمخر البحر عابراً ليس هو بالزهرة بل مستعمرة من الحيوانات تمت بصلة قربى للمحار وتشبه رجل الحرب البرتغالي.

لا يصل ضوء الشمس إلى هذه الأعماق، لذا تعتمد الحياة كلها اعتماداً نهائياً على قدرات التركيب الكيماوي لدى البدائيات والجراثيم. إنها تستخدم كبريتيد الهيدروجين كوقود مؤكسدة إياه مع الماء والكبريت. وفي حين أن بعض المخلوقات تتغذى مباشرة على سحب البدائيات تلك فإن مخلوقات أخرى تعيش من خلال تشكيلها علاقة أقرب حتى. إحدى هذه المخلوقات الخارقة للعادة هي الدودة الأنبوبية «ريفتيا پاشيبتيليا» ذات الجسم الأسطواني الأبيض الناعم الثخين كذراع طفل وله في كلا طرفيه لغد قرمزي. ليس لهذه الدودة قناة هضمية أو جهاز إطراح، لأنها لا تأكل بالمعنى التقليدي للكلمة، بل إنها تحصل على طاقتها من شراكة تكافلية تعايشية تقيمها مع جراثيم قادرة على التركيب الكيماوي. يمتلئ القسم الداخلي من جسم الدودة الأنبوبية بينية تعرف باسم التروفوسوم أو كيس التغذية حيث تعيش آلاف الجراثيم الكبريتية داخل كل خلية من خلايا هذا التروفوسوم. يستخلص ريش اللغد اللامع والأحمر كالدم في الدودة الأنبوبية، الأوكسجين وكبريتيد الهيدروجين من الماء المحيط، حيث يتحد هذان مع شكل خاص من الهيموغلوبين في الجهاز الدوراني للدم الذي ينقل إليها إلى المتكافلات ذوات التركيب الكيماوي التي تقطن في التجويف المركزي للدودة. تستخدم الجراثيم الأوكسجين كي تشطر كبريتيد الهدروجين الموجود في الماء والكبريت، وبهذه العملية تنطلق الطاقة، يتخلف، عن ذلك، الكبريت ليشكل راسباً أصفر صلباً يتراكم شيئاً فشيئاً في جسم الدودة خلال حياتها. أمّا الطاقة فتستخدم لتحويل المركبات اللاعضوية إلى عناصر مغذية كالحمض الأميني

والكربوهيدرات التي تتقاسمها الجراثيم حينذاك مع مضيفتها.

لم تكتشف المتعضيات الصغرى محبات الحرارة، أول مرة، في المدخنات السوداء، بل في مياه حديقة يللوستون الوطنية الواقعة في دايومنغ ذات الحرارة الباطنية الشديدة. ويللوستون عالم جميل خيالي من الماء والنار، حيث تطرز المشهد الطبيعي مئات الينابيع الحارة والبرك الفوارة، حواشيها حصر هلامية من المتعضيات الصغرى أرجوانية اللون قرمزية، فيما تنبثق إلى الجو أعمدة عملاقة من الماء بقوة ترتج لها الأرض. كما يضج البخار ويهدر منطلقاً من شقوق في الأرض كأنما تنبعث تنانين غاضبة، بينما تدمدم البرك الطينية المبقبقة وقدور الطين الانفجارية بهدوء نسبياً. أمّا الماء فيسقط على الصخور الملونة بألوان قوس قزح والمبقعة بالجراثيم والبدائيات التي تغلف سطحها. فيما الهواء كثيف له رائحة البيض العفن، هذا هو كبريتيد الهيدروجين، وهو غاز سام كريه الرائحة يحرق البلعوم ويجعل النفس صعباً. هذه البرك فائقة الحرارة حتى درجة اللفح لكنها أبعد من أن تكون مجدبة. اغمس قضيباً في الماء فيصبح مغلفاً بكتلة هلامية رقيقة سوداء رجراجة من البدائيات والجراثيم التي تحب الحرارة.

لقد كان توماس بروك وزوجته لويز أول من اكتشف حياة في هذه المياه المغلية. وكان ذلك في صيف 1965 حين كانا يقضيان إجازة عمل في يللوستون، وقاما بعزل المتعضيات محبات الحرارة الأولى في قناة متفرعة من بركة غنية بالكبريت حمضية وحارة. فكانت هذه المتعضية هي السولفولوبس آسيدوكالداريوس التي تفضل أن تكون الحرارة بين 60° و95° مئوية. أمّا المتعضية الأخرى التي اكتشفاها فهي الثيرموس أكواتيكوس التي قدر لها أن تصير نجمة صناعة التكنولوجيا الحيوية، إذ غدت مكتشفات بروك فاتحة دراسات محبات النهايات القصوى كما نشأت عنها سلالة جديدة من الرواد والمنقبين ـ صيادي الجراثيم ـ وأطلقت ما بات يعرف بصناعة المليون دولار. كذلك وفرت المبرر الكامل لبيولوجيي الجراثيم لأن يزوروا أكثر

البركة الكبريتية الحارة في حديقة يللوستون الوطنية

مناطق كوكبنا غرابة وبعداً، بحثاً عن المتعضيات الصغرى التي كان يجهلها العلم سابقاً.

في الوقت الذي عزل فيه توماس بروك السولفولوبس، كان العلم يعتقد أن ما من كائن حي يستطيع الحياة في درجة حرارة تزيد عن 50° مئوية، ولعل هذا ما يفسر لماذا لم يفكر أحد بالبحث عن الحياة في بيئة متطرفة كهذه من قبل. غير أنه مفتاح نجاح بروك هو أن استنبت الجراثيم التي جمعها في درجة حرارة مماثلة لتلك التي تعيش فيها عادة. ولو كان عالماً أقل ذكاء ودهاء، فربما كان أغراه أن يجرب درجة حرارة أدنى، انطلاقاً من الاعتقاد الخاطئ بأن الجراثيم ستنمو على نحو أفضل. ولم يكن ليكتشف شيئاً نظراً لأن السولفولوبس محبة للحرارة بالضرورة وعزل محبات التطرف الأولى. مثل الكثير من العلوم الابتكارية، إنما يتطلب الجمع بين دقة المشاهدة والرغبة في تأمل كل ما هو ابتداعي. والزعم الجدير بالتذكر الذي زعمته الملكة البيضاء في كتاب «عبر الزجاجة الفاحصة» والذي يقول إنها

«تؤمن أحياناً بستة أشياء مستحيلة، قبل الإفطار» ليس بالنصيحة السيئة بالنسبة إلى عالم.

لا يمكن للحيوانات متعددة الخلايا أن تضاهي الجراثيم والبدائيات محبات الحرارة في تحملها للحرارة. إن دودة بومباي هي واحدة من متعددات الخلايا ضاربات الرقم القياسي، إنها الدودة التي تعيش في أنبوبة مثبتة إلى جدار المدخنة السوداء وتتحمل نطاقاً حرارياً متدرجاً يراوح بين 20 و80° مئوية من الرأس إلى الذيل. ثمة مخلوق آخر هو نملة الصحارى الفضية التي تستطيع أن تبحث عن طعامها ودرجة حرارة الهواء تقارب 55° مئوية، لكن فترات زمنية قصيرة فقط، قبل أن يتعين عليها الرجوع إلى تحت الأرض للتبرد.

لقد تطور تحمل الحرارة بحيث يتيح للمتعضية إمكانية استغلال عش بيئي لا تصل إليه المتعضيات الأخرى، بل يمكن أيضاً أن يستخدم كسلاح. فنحلة العسل اليابانية (أبيس سيرانا جاپونيكا) تستخدم حرارة جسدها كسلاح دفاعي ضد الدبور المفترس (فيسپا مندرينيا جاپونيكا) الأكثر حساسية تجاه الضغط الحراري إذ عندما يهاجم هذا الدبور خلية النحل، تتجمع مئات النحلات لمواجهة الغازي. وسرعان ما ترتفع درجة الحرارة في مركز الكتلة المتجمدة من النحل إلى أن تصل إلى 48° وهي قاتلة للدبور لكن ليس للنحل. أي ببساطة تامة، يطبخ الغازي حتى الموت.

تموت معظم الخلايا في درجات الحرارة التي تزيد على 50 مئوية نظراً لأن بروتيناتها لا تحب أن ترتفع حرارتها كثيراً. ذلك أنه يحدث اهتزازات جزيئية حين تتعرض البروتينات للحرارة بحيث تجعلها تتباعد وتنفصل، جاعلة البروتينات الناضجة تنحل، مانعة البروتينات الجديدة من الانطواء بشكل صحيح وهي قيد التكون. هذا التشويه للطبيعة خطر، إذ لا يعود باستطاعة البروتين أن يقوم بعد ذلك بوظيفته الخاصة. وبذلك تنحط

البروتينات البنائية وتخفق الخمائر في تحفيز التفاعلات الكيميحيوية. لقد أصبح واضحاً كل الوضوح ما لانطواء البروتين الصحيح من أهمية لدى الجمهور البريطاني في السنوات الأخيرة نظراً لأن مرض «جنون البقر» هو نتيجة لشكل خبيث من أشكال البروتين الذي ينطوي انطواء شاذاً ويكون قادراً على إغراء البروتينات الأخرى بسلوك طريقه ذاته. هذا الشكل من البروتين المنطوي انطواء غير سليم سام ويسبب موت الخلايا العصبية، وذلك لأسباب لاتزال غير مفهومة.

لا ينعكس بسهولة التلف الحراري الذي يصيب البروتينات. فبياض البيض الذي سلق يظل صلباً وأبيض ورجراجاً. لكنه لا يرتد إلى شكله الهلامي الشفاف الأصلي قبل السلق. وقطعة اللحم المطبوخة الباردة قد لا تكون مثيرة للشهية لكنها تظل وبكل وضوح قطعة لحم مطبوخة دمر الطبخ بنيتها العضلية بصورة لا رجعة عنها. مع ذلك فإن الخلايا تستطيع أن تصلح الأضرار الأقل حدة التي تلحق بها، وذلك باستخدام بروتينات صادة للحرارة. تستعيد هذه المصاحبات الجزيئية النظام بمساعدتها البروتينات على أن تعيد انطواءها بشكل صحيح. أمّا البروتينات التي خرجت بشكل غير قابل للإصلاح ولا أمل فيها بإعادة انطوائها فإنها تجر وتوجه إلى ممرات قادرة على حلها وتحطيمها ثم إعادة تدوير ما تحتويه من الحموض الأمينية بغية استخدامات أخرى. وهكذا، تعمل البروتينات الصادة للحرارة كنوع من فوج إطفاء كيميحيوي.

تتشكل البروتينات من خيط خطي من الحموض الأمينية لكنها ـ مثل عقد من الخرز سقط على الأرض ـ تنطوي وتتجمع بأشكال معقدة أكثر بكثير. إذ يمكن أحياناً أن تترابط سلسلتان أو أكثر من البروتينات لتشكل جزيئاً أكبر بكثير. مثال على ذلك: يتكون الأنسولين من وحدتين فرعيتين من البروتين، بينما يتكون الخضاب من أربع. إن الشكل ثلاثي الأبعاد للبروتين حاسم الأهمية فالجزيئات التي تصدر الإشارات يجب أن تتراصف تراصفاً

محكماً مريحاً مع مستقبلاتها المحددة، وعلى الخمائر أن تحتضن المواد الخاضعة لتأثيرها بالطريقة الصحيحة تماماً، كما ينبغي على البروتينات البنائية أن تنغلق على نفسها بوضع محكم جيداً تملي سلسلة البروتين الطريقة التي تتطور بها، لكن يعيق هذه العملية داخل الخلية التركيز العالي جداً للبروتينات الأخرى. مثل هذا التزاحم الجزيئي يعني أن البروتين قد يشكل، عرضاً، روابط مع بروتينات ملاصقة غير ذات صلة بدلاً من تشكيلها مع نفسه». لقد تطورت البروتينات المصاحبة لكي تضمن أن يقوم كل بروتين بصنع الارتباطات الصحيحة أي تشبه نوعاً ما نظيراتها الڤيكتورية من البشر. إنها تمد يد العون للبروتينات حتى في درجات الحرارة العادية لكن أعدادها تزداد زيادة هائلة في درجات الحرارة العالية. والواقع أن مشاهدة صنع البروتينات المصاحبة نتيجة تحريض الحرارة هي التي أدت إلى تسميتها باسم «صادات الحرارة». لكننا ما نزال إزاء لغز نهائي: ما الذي يضمن أن تتطوّر البروتينات صادة الحرارة بصورة صحيحة حين تصبح الأشياء حارة؟

مع ذلك لا يعزى التحمل الحراري لدى محبات الحرارة المفرطة إلى نشاط البروتينات المصاحبة فقط، فكثير من الخمائر الأخرى والبروتينات البنائية ـ حتى آلية تركيب البروتين نفسها ـ تبدي مقاومة عالية للحراة وعلى نحو غير معهود. وعلى الرغم من أنها ثابتة الحرارة كثيراً، تبين أن الكثير من الخمائر المحبة للحرارة المفرطة هي مشابهة كثيراً، على صعيد الحمض الأميني، لخمائرنا نحن. وهناك بضعة حموض أمينية حاسمة فقط هي التي تقف، على ما يبدو، وراء مقاومتها للحرارة، تلك المقاومة الخارقة للعادة.

رؤوس حمضية

ذات ليلة مظلمة، وأنا أحاول إبدال مبخرة سيارتي، ممسكة المصباح الكهربائي بيد والمفتاح باليد الأخرى، أوقعت على حين غفلة المفتاح، ليستقر بين القطبين الكهربائيين مقصراً الدارة، جاعلاً المبخرة تنفجر انفجاراً

مدهشاً ساكباً عليَّ زخة من الحمض. لقد لفحت النار وجهي ويدي فيما تآكلت بشرتي بفعل الحمض. كما تناثر الحمض على بنطالي، وأنا في غمرة الرعب والاندفاع لتنشيف ما حول عيني، دون أن ألاحظه، حتى اليوم التالي، عندما تثقب بنطالي، وأنا أتجول في المدينة، ثم تمزق إرباً إرباً.

يدمر الحمض، كما فعل بالخيوط القطنية لبنطالي، المركبات العضوية في خلايانا. وحمام من حمضٍ يجرد العظم من اللحم، لذا يستخدم لتجريد الهياكل العظمية من أجل غايات تشريحية. أمّا في الروايات البوليسية فيبدو وسيلة مغرية، وإن تكن غير مستحبة، للتخلص من جسد غير مرغوب به، لكنه لا يقتصر على القصص والروايات. فالقاتل سيِّئ السمعة بحمامات الحمض، جون هوغ الذي قتل ستة أشخاص على الأقل في بريطانيا خلال أربعينيات القرن العشرين، كان يستخدم حماماً من حمض الكبريت للتخلص من الجثث. ولم يطح به إلاَّ نتفة من دليل أثبتت جريمته، هي طقم أسنان اصطناعية مصنوعة من راتنج الأكريليك الذي لم يتحلل. كذلك تستخدم الحموض لأغراض أكثر إفادة. فالمبيض، كما تذكرنا الإعلانات، وهو شكل مخفف من حمض كلور الماء يقتل الكثير من مسببات الأمراض. فالحمض، بكل بساطة، ليس جيداً لمعظم المتعضيات.

ترتبط حمضية محلول أو تلويثه (PH) ارتباطاً وثيقاً بمقدار شوارد الهيدروجين التي يحتويها، إذ بقدر ما يكون فيه شوارد هيدروجين يكون أكثر حمضاً، وبالعكس كلما قلت شوارد الهيدروجين، ازداد المحلول قلوية. تعرف الـ (PH) هذه بأنها اللوغاريتم السلبي لتركيز شوارد الهيدروجين. هذا يعني أن المحلول الحمضي الذي يكون تركيزه من شوارد الهيدروجين عالياً تكون الـ (HP) فيه واطئة والعكس بالعكس، إذ تكون للمحلول القلوي شوارد هدروجين قليلة لكن الـ (PH) عالية. هذه العلاقة العكسية ربما كانت بشكل من الأشكال محيرة مربكة في البداية، لكن في السنين الأخيرة أصبح الـ PH مصطلحاً منزلياً. فالصابون والشامبو ـ بل حتى بعض المشروبات الخفيفة ـ

تزعم أنها «ذات PH متوازنة». كما على الجنائنيين أن يعرفوا إن كانت تربتهم قلوية أم حمضية، نظراً لأن النباتات التي تحب الحمض، كالجلخ والأضاليا، لا تستطيع تحمل التربة الكلية القلوية، في حين أن القرنفل يحب التربة الكلسية، ويموت حين يزرع في تربة حمضية. ومن الجدير بالذكر أيضاً أن الحموضة أو القلوية هي وظيفة لوغاريتمية، مما يعني أن تغير هذه النسبة وحدة واحدة يترافق مع اختلاف عشرة أضعاف في تركيز شوارد الهيدروجين. وهكذا فإن الخل (ونسبة حموضته 2) يحوي شوارد هيدروجين أكثر بمليار مرة تقريباً من النشادر (ونسبة قلويته 11).

تفضل معظم الخلايا وسطاً يكون قريباً لنسبة الحموضة المحايدة (7,0) حيث يكون تركيز الهيدروجين متوازناً مع تركيز مساو له من وحدات الهدروكسيل (إذ تجتمع شاردة هيدروجين وشاردة هدروكستل لتصنعا جزيء ماء). كما تكون الخلايا حساسة تجاه التغيرات الطفيفة في نسبة الحموضة أو القلوية وهو ما يفسر لماذا تكون هذه النسبة في دم الإنسان منتظمة تماماً. فقيمتها العادية هي نحو 7,4 وأي زيادة فوق 7,7 أو نقصان تحت 7,0 غير ملائم للحياة.

غير أن المدهش أن بعض البدائيات والجراثيم تفضل وسطاً شديد الحموضة أو شديد القلوية. فمحبات الحمض تحب أن تعيش تحت نسبة قلوية 5. إنها تقطن في الينابيع الحارة من مناطق الدفق الحراري الجيولوجي، حيث تنحل الغازات الكبريتية في الماء لتتبع حمض الكبريت. كما تعيش في المياه الحمضية التي تتسرب من أكوام البقايا التي تتناثر في مواقع مناجم الفحم القديمة، فيما تعيش أنواع أخرى في الخل وعصير الليمون، وهو ما يفسر لماذا تفسد هذه المحاليل مع الزمن. غير أن الثيوباسيلوس فيروكسيدانز أكثرها سحراً. إنها تستهلك ثاني أوكسيد الفحم، الأوكسجين، الكبريت، والحديد ومن أجل صنع الطاقة، وتنتج في العملية ذاتها حمض الكبريت وأملاح الحديد، مما يصبغ الجداول التي تصرف إليها مياه مناجم الفحم

القديمة باللون البني المصفر اللامع ويجعل الماء شديد الحموضة (إذ تنخفض نسبة الـPH فيه إلى 2,0). يعد الحمض والأملاح المعدنية كلاهما ساماً بالنسبة إلى معظم أشكال ـ الحياة المائية، غير أن الـ ت. فيروكسيدانز مرعب أكثر بكثير، كما يشير إلى ذلك اسمه البديل، الـ ت. كونكرتيثوران (ملتهم الإسمنت) ذلك أن له ولعاً خاصاً بالإسمنت من الدرجة الواطئة، الذي هو عالي الكبريت، لا سيما إذا كان الإسمنت مدعماً بقضبان من الحديد. يمكن لهذا الجرثوم، وعلى نحو يذهل المهندس، أن ينتج قدراً كبيراً من حمض الكبريت إلى حد تهترئ معه المادة الإسمنتية مما يؤدي بالجسور والمعابر الفوقية إلى الانهيار والكتل البرجية للتقوض. وقد كان لا بد من مرور بعض الوقت قبل أن يعرف المختصون أن اهتراء الإسمنت يعود إلى إصابة جرثومية، ذلك أن الكثافة الجرثومية تكون منخفضة للغاية إذ إن كل جرثوم واحد يحتاج إلى ما يعادل وزنه خمسين مرة من الحديد من أجل انقسام خلية واحدة من الـ ب هـ (PH).

البيلوري الهليكوبتري، الجرثوم الذي يسبب قرحة المعدة

حتى وقت قريب، ثمانينيات القرن الماضي، كان يعتقد بشكل عام أن قرحة المعدة، وهي العلامة الفارقة للمدراء الطموحين، تنجم عن إفراز مفرط للحمض نتيجة التوتر. لكن عالمين أستراليين هما روبن وارن وباري مارشال لم يكونا متأكدين كثيراً من ذلك الاعتقاد. لقد اكتشفا جراثيم ذات شكل مغزلي في غسالة معدة لدى مرضى مصابين بالقرحة أو الالتهاب المزمن في المعدة وكان السؤال الرئيسي هل هذه الجراثيم هي ملوثات أم أنها كانت تعيش في المعدة فعلاً؟

ونظراً لأنهما كانا متأكدين من أن منشأها المعدة، فقد اضطرا بعد ذلك لأن يثبتا أن جرثومة البيلوري الهليكوبترية هي بالحقيقة سبب الالتهاب المزمن والقرحة، أكثر مما هي مجرد جرثومة غير ضارة تتواجد عرضاً مع ذلك المرض. ولتبيان ذلك بالبرهان، قام متطوعان جسوران، أحدهما مارشال نفسه، بابتلاع شراب يحتوي الجرثومة، فأصيب كلاهما بالتهاب المعدة المزمن وكان الدليل القاطع.

لقد أدت تجارب وارن ومارشال إلى حدوث تغير جذري في التفكير الطبي بين عشية وضحاها. فالقرحة، كما بات واضحاً، ليست ببساطة نتيجة زيادة إفراز للحمض في المعدة بل سببها إصابة جرثومية. وقد افترض أن وجود هذا الجرثوم في جدار المعدة يسبب التهاباً يؤدي في النهاية إلى تدمير النسج والتقرح. نتيجة ذلك حدث ما يشبه الثورة في المعالجة الطبية، إذ بات واضحاً أن العقاقير التي تمنع تشكل الحمض توفر للمريض راحة مؤقتة فقط نظراً لأن الجرثومة نفسها تبقى. لكن تناول المضادات الحيوية فترة محددة من الزمن يقضي على هذه الجرثومة إلى الأبد. وهذا هو الفارق بين الشفاء والمعالجة، بين القضاء على المرض ومعالجة أعراضه فقط.

جرثومة البيلوري الهليكوبترية

لقد كان لاكتشافات وارن ومارشال مضامين هائلة بالنسبة إلى الصحة العامة. إذ يقدر أن نحو ثلث سكان العالم مصابون إصابة مزمنة بجرثومة البيلوري، برغم أن المرض الذي تسببه لا يظهر لدينا جميعاً، كما كان لهذه الاكتشافات آثار كبيرة على الصناعة الدوائية. فالزنتك، الذي يخفض إفراز الحمض في المعدة، صنع ثروة لشركة غلاكسو وما يزال واحداً من أكثر العقاقير مبيعاً في العالم. ولربما تصور بعض الناس أن العلاج الحديث بالمضادات الحيوية سيخفض من مبيع مانعات إفراز حمض كهذه تخفيضاً كبيراً، لكن لحسن حظ شركات الأدوية، لم تكن هذه هي الحال هنا. إذ تبين أن المضادات الحيوية تكون أكثر فاعلية إذا اجتمعت مع مخفضات إفراز الحمض (على الرغم من أنه لا حاجة فعلياً لعقاقير مضادة للحموضة غالية الثمن، فالبيزموث يؤدي الغرض تماماً).

وعلى الرغم من أنها تعيش في المعدة، حيث نسبة القلوية (PH) تنخفض حتى 2، فإن البيلوري ليست محبة للحمض. إنها تؤثر، عملياً، وسطاً محايداً، وعلى الرغم من أن باستطاعتها تحمل الحمض فترة قصيرة من الزمن، إلاّ أنها تموت في النهاية إذا طال أمد تعرضها له. وآليات التعديل السلوكية، لا الفيزيولوجية، تتيح لها إمكانية البقاء حية في المعدة. إذ تختبئ داخل الغشاء المخاطي الذي يغلف جدار المعدة ويحمي الخلايا التي تبطن المعدة من التآكل، وكعامل وقائي إضافي، تغلف نفسها بسحابة من نسبة حموضة أعلى وذلك بإفراز خميرة البولاز (خميرة تحلل البول).

لا تتحمل محبات الحموضة نسبة منخفضة من الـ ب هـ (PH) وحسب، بل هي تفضلها عملياً. فالسولفولوبس، مثلاً، تنمو على نحو أفضل بنسبة ب هـ 2. وهو من حسن الحظ نظراً لأنها تنتج حمض الكبريت كنتاج فضلات لعملية الاستقلاب لديها. ونسبة الـ ب هـ المفضلة لدى جراثيم أخرى هي أدنى حتى إن الرقم القياسي الراهن تضربه جراثيم البيركوفيلوس. وهو الجنس الذي يكون أسعد ما يكون في نسبة ب هـ 0,5 ويتوقف عن النمو عندما ترتفع هذه النسبة فوق الـ 3 ويتفكك تماماً في ب هـ 5. كذلك تتحمل بعض الفطور والأشياء الأوساط الحمضية، وتنمو في حمض الكبريت الخفيف.

تدمر الحموض الـ د ن. أ والبروتينات. وهو ما يثير السؤال: كيف تتدبر البدائيات والجراثيم محبة الحمض نفسها وتتحمل نسبة ب هـ منخفضة حتى 0,5. جواب هذا اللغز ليس مفهوماً حقيقة. لكن يذهب الظن إلى أنها ربما تبقى على قيد الحياة بإبقائها الحمض خارجاً وأنها بالسرعة التي تدخل بها شوارد الهيدروجين خلاياها، تعود فتضخها إلى الخارج أو تحولها إلى ماء بتوحيدها مع شوارد الهدروكسيل. بيد أن البروتينات الموجودة في غشاء الخلية، كتلك التي تعمل بمثابة مضخات حمض لا بد أنها قادرة على تحمل نسبة ب هـ بمقدار 0,5، نظراً لأن سطوحها الخارجية تكون معرضة لوسط حمض ما بين الخلوي. بذلك يرجع السؤال خطوة واحدة إلى الوراء، فقط،

لماذا لا يغير الحمض طبيعة هذه البروتينات؟ لكن لا أحد يعرف بعد، رغم أن الكثيرين يحاولون الآن معرفته.

حاجات أساسية

ثمة سلسلة من بحيرات الصودا القلوية تأخذ مسارها ملتفة بالتفاف وادي «الصدع» الكبير في شرقي أفريقيا. هذه البحيرات الجميلة، وإنما غير المضيافة، مشبعة بالصودا الكاوية إذ تتسرب كربونات الصوديوم من الصخور البركانية المحيطة محيلة الماء الذي يغذي البحيرة إلى قلوي وذلك بحرق شوارد الهيدروجين لإنتاج هيدوكسيد الصوديوم (الصودا الكاوية). وفي الشمس الاستوائية الحارة، يمكن أن يكون التبخر من سطح البحيرة شديداً ويزيد كثيراً من قلويتها. لذا فإن الماء في بعض بحيرات وادي الصدع هذا غير صالح للشرب، فيما نجد بحيرات أخرى مشبعة بالصودا إلى حد تتشكل معه تبلرات بيضاء لامعة عند حافة البحيرة، فيما يكون الهواء لافحاً إلى درجة يحرق معها البلعوم ويسفح العيون. بل ثمة شروط أقسى في أماكن أخرى، فبحيرات الصودا في جنوب أفريقيا والهضبة الآندية قد تجف تماماً، مخلفة وراءها رواسب بيضاء لامعة مدهشة. وفي التشكلات الجيولوجية في غور الأردن، يكون الماء الأرضي كاوياً (ب هـ 13) إلى درجة يحلل معها الأحذية المطاطية. مع ذلك، حتى هنا تزدهر الحياة.

تترعرع أجناس كثيرة من الطحالب، الجراثيم والبدائيات في بحيرات الصودا في وادي الصدع وتقتات عليها تجمعات مزدهرة من القريدس الملحية كما تتجمع الملايين من طيور النعام (طائر طويل العنق والساقين) على شواطئ البحيرة لتتغذى على هذا القريدس ضئيل الحجم وعلى جراثيم السيانو (غاز سام سريع الاشتعال) والطحالب الحمراء وكذلك اللافقاريات التي تعيش في المياه السطحية أو في الوحل المستقر في قاع البحيرة. تتجمع هذه الطيور الجميلة على شكل مجموعات كبيرة على طول شواطئ البحيرة،

بحيث تبدو المياه الزرقاء من الجو مطرزة الحواشي باللون القرمزي. فالخضاب الكاروتيني الذي تحتويه الطحالب الحمراء والقريدسات الملحمة التي تقتات بها تبقّع ريش طائر النعام هذا وتضفي عليه لونه المميز. يعد طائر النعام واحداً من الطيور القليلة التي يمكنها أن تتحمل الشروط الكاوية لبحيرات الصودا. لكنه هو أيضاً يمكن أن يقع في مشاكل.

إن منخفضات الصودا الواسعة لبحيرة النطرون في كينيا كاوية إلى درجة لا تجرؤ معها إلاَّ القلة النادرة من الحيوانات على المغامرة بالتواجد هناك. يعشش النعام، آمناً من الافتراس بأعداد كبيرة خلال الفصل الأكثر برودة. عندما تصبح السبخات القلوية الضحلة الواسعة متقطعة مبعثرة في تلك المنخفضات. لكن البحيرات لا تدوم طويلاً، فمع تقدم الفصل الجاف واشتداد الحرارة يتبخر الماء وتصبح قلوية البحيرة أكثر تركيزاً. وعند نقطة معينة، يغدو الماء غير قادر على احتواء هيدروكسيد الصوديوم المنحل كله فيترسب خارج المحلول. ويتبلر على قوائم النعام مشكلاً ما يشبه الخلاخل الثقيلة التي تزيد الطائر وزناً. لذا يتعين على الطائر أن يهجر البحيرة قبل أن يحدث هذا. فإن تأخر كثيراً وجد الطائر نفسه مقيداً بسلسلة إلى البحيرة محكوماً عليه بأن يموت ميتة مؤلمة بسبب التجفف. لكن قلما يحدث هذا بالنسبة إلى الطيور البالغة لأنها تستطيع الطيران إلى حيث السلامة، غير أنه يتعين على الفراخ والطيور الفتية التي لم يكتمل ريش طيرانها بعد أن تمشي مشياً لكي تخرج من البحيرة المتقلصة المهلكة، وتوقيت الخروج، بالنسبة إليها، هو كل شيء.

تهرّئ القلويات، شأنها شأن الحموض، اللحم والألياف. اسكب، بصورة عرضية، بعض الصودا الكاوية (هيدروكسيد الصوديوم) على ملابسك أو جلدك تدرك آثارها المؤلمة. فالجير (أوكسيد الكالسيوم) هو صخر أبيض كاوٍ. ينتج عن تسخين الحجر الكلسي ثم مزجه بالماء لإنتاج هدروكسيد الكالسيوم الأكال للغاية. في القرون الوسطى، كانت الأحواض الكلسية

تستخدم لإزالة الشعر أو الفرو عن الجلود وكذلك لدفن ضحايا الوباء. وهي لا تزال تستخدم حتى اليوم عندما تقضي الزلازل أو الكوارث الطبيعية الأخرى على أعداد كبيرة من الناس بحيث تصبح جثثهم المتعفنة خطراً على الصحة.

تتلقى محبات القلويات الشروط الكاوية بنوع من الحصانة، مؤثرة المواطن التي تكون نسبة الـ ب هـ فيها فوق 9 وهذا يثير مشكلة نظراً لأن الحمض الريبي النووي ـ الرسول الجزيئي الذي ينقل المعلومات الوراثية من الـ د.ن.أ في النواة إلى مكان تصنيع البروتين في حشوة الخلية ـ يتحطم في ب هـ 9 تقريباً. نتيجة لذلك ما من محبة قلويات تتحمل أن تسمح لنسبة الـ ب هـ داخلها بالارتفاع عالياً جداً. إنها تعمل على إبقاء هذه النسبة داخل خلاياها منخفضة وذلك بأن تأخذ بنشاط شديد شوارد الهدروجين عن المحيط كي ترفع تركيزها في الخلية إلى ما يقرب المستوى العادي (تذكر أن الـ ب هـ وشوارد الهيدروجين ذو علاقة متناسبة عكسياً).

قصة ملحية

لا تستطيع معظم المتعضيات أن تتحمل الملح، وهو ما يفسر لماذا كان الملح يستخدم كمادة حافظة قبل زمن طويل من ظهور الثلاجات أو البرادات. مع ذلك، تزدهر محبات الملح في البحار شديدة الملوحة كالبحر الميت وبحيرة الملح الكبرى في أوتاه. تنشأ بحيرات الملح عندما يتبخر مقدار من الماء أكثر من مقدار ما يدخل البحيرة من الجداول المغذية لها. لذلك، قد تنشأ مثل هذه البحيرات، في البيئات الحارة، بشكل عابر خلال شهور الصيف. ونظراً لأن الماء الملحي ثقيل ويغرق إلى الأسفل، يغلب على بحيرات الملح أن تكون أكثر ملوحة في القاع وأكثر عذوبة في الأعلى. كذلك، تكون بعض البحيرات الملحية قلوية للغاية وعلى الأحياء فيها أن تتكيف مع ملحيتها العالية وقلويتها العالية على حد سواء.

يعد البحر الميت أشد البحار ملوحة، إذ يصل محتواه من الملح إلى 28 بالمئة، أي عشرة أضعاف نسبة الملوحة في المحيط. وهي تقريباً النسبة القصوى التي يستطيع الماء فيها إبقاء الملح فيه دون أن يترسب. هذه الكثافة في ملوحة البحر الميت عالية في الحقيقة إلى درجة يمكنك معها أن تجلس في الماء وتقرأ جريدة، كما يشهد على ذلك الكثير من البطاقات البريدية وصور العطل. يقع البحر الميت، الذي يوجد في أعماق وادٍ بري على سطح الأرض، على عمق 400 م تحت سطح البحر وذلك في غور الأردن، حيث تسبب الشمس الحادة فقداناً مائياً كبيراً بفعل التبخر، إلى درجة أن ملوحته لا تنقص على الرغم من أنه يتغذى من جداول ماء عذب. والبحر الميت اسم غير مناسب لهذا البحر على الإطلاق، إذ إنه أبعد من أن يكون ميتاً. فهناك جموع كبيرة من الأشنيات، الجراثيم والبدائيات تنمو وتترعرع في المياه المالحة. معظمها حكماً من محبات الملح ولا تستطيع أن تتحمل تركيزات ملحية أقل من 15 بالمئة. كما أن بعضها ذات ألوان جميلة مدهشة، كالجراثيم محبة الملح الحمراء التي تتكاثر في بعض الأحيان إلى درجة يغدو معها البحر نفسه بلون الدم.

تميل الطبيعة، إذا ما تركت وشأنها، لأن توازن بين الأشياء[3]. اسكب كأساً من ماء البحر في كأس من الماء العذب تحصل في النهاية على محلول متجانس. ونظراً لأن الأغشية الخلوية ليست كلها غير نفّاذة تجاه الماء، فإن الخلية التي توضع في محلول ملحي عال، تتقلص وتنكمش، بينما يترك الماء الخلية لكي يوازن التركيز ما بين المحلول الداخلي والمحلول الخارجي. نتيجة لذلك، تصاب الخلية بالتجفف وهي المشكلة التي تواجهها محبات الملح. وهي المشكلة التي تتغلب عليها الكثير من هذه المحبات

(3) إنه ينتقل من حالة عالية التنظيم إلى حالة من الاضطراب الكامل. هذا المبدأ يتضمن القانون الثاني للديناميكا الحرارية، وهو القانون الذي يصف، حسب عبارة كيركود العجيبة، «ميل الأطباق الوسخة للتجمع في البالوعة».

بزيادتها للتركيز الملحي داخل خلاياها بحيث تصل إلى التركيز نفسه للوسط المحيط. بعضها الآخر، كالهالو بكتريوم ساليناريوم، مثلاً، تركز كلور البوتاسيوم بنسب عالية جداً، أكثر من 200 ضعف ما هو موجود في خلايانا. فيما يتبنى بعضها الآخر أسلوباً مختلفاً وينتج محلولات عضوية تساعد في حفظ الماء داخل خلاياها. هذه الاستراتيجية تحل، طبعاً، مشكلة لتنشأ مشكلة أخرى، إذ يتعين على خمائرها حينذاك أن تتغلب على مستويات الملح العالية بين الخلايا. كيف تفعل ذلك؟ مسألة ما تزال قيد البحث.

ليست البدائيات والجراثيم هي القاطنات الوحيدات لبحيرات الملح. إذ يمكن لبعض الأشنيات أن تعيش هناك أيضاً. إنما تلوِّن الماء بظلال لامعة من الأحمر، والأزرق والأخضر. وتفيد كطعام لقشري صغير وللقريدس الملحي «أرتيميا سالينا» الذي يتحمل أيضاً شروطاً شديدة الملوحة. يعد الأرتيميا واحداً من المخلوقات متعددة الخلايا القليلة التي تعيش في بحيرة الملح الكبرى في أوتاه. وفي أوقات معينة من السنة، تتبعثر بيوضه على سطح البحيرة بما يشكل طبقة من الجزيئات البنية الدقيقة التي تتطاير مع الريح. غير أن هذه البيوض قاسية بصورة خارقة للعادة، لكونها مقاومة للجفاف والملح ويمكنها البقاء في حالة أحيائية معلقة فترة لا بأس بها من الزمن إلى أن تنبعث للحياة من جديد بغمسها في الماء.

الحياة في الصخور

هناك، طبقاً للأساطير والحكايات، وفرة من الحياة والأحياء تحت الأرض: مسوخ تنقب عن معادن ثمينة، جن وعفاريت تعيش «تحت التل»، تنينات خرافية تحرس المغاور الملأى بالكنوز. هنا أيضاً تقع مواطن «المردة» ومساكن الجبارين. كما أن كثيراً من القدامى كانوا يعتقدون أن أرواح الموتى تعيش في جوف الأرض، وذلك منطقي تماماً، نظراً لأنه لا يوجد فراغ كاف لهم جميعاً فوق الأرض. وعندما ذهب أورفيوس يبحث عن حبيبته الميتة

يوريديت، اضطر لأن يدخل مغارة واسعة تحت الأرض حيث يبسط الإله هيدز سيطرته. كما أن مملكة إله ما بين النهرين، نيرغال، وأتباعه من الأبالسة والشياطين الذين كانوا باستمرار يدمرون بعضهم بعضاً، إنما توجد تحت الأرض أيضاً.

سنوات طويلة، ظل البيولوجيون يعتقدون أن الكلام عن حياة في أعماق الأرض لا يتعدى كلام أساطير، وأن المتعضيات الحية تتحجر على عمق بضعة أمتار تحت سطح الأرض. لكن ليس هناك مثل هذا الاعتقاد بعد، إذ يمكن للمتعضيات المجهرية، وعلى نحو لا يصدق، أن تعيش عميقاً في قلب الصخور تحت سطح الأرض، حيث لا أوكسجين أو ضوء، وحيث الضغط كبير. لقد اكتشفت، أول ما اكتشفت، في عشرينيات القرن العشرين في عينات مياه أرضية جمعت من حقول نفط تقع على عمق مئات الأمتار تحت سطح الأرض. وعلى الرغم من أن هذه التقارير نبذت في البداية باعتبارها زائفة، وعزيت إلى التلوث الناجم عن عملية الحفر ذاتها، إلاَّ أن مقدرة المتعضيات المجهرية على العيش في أعماق الصخور باتت حقيقة ثابتة الآن. ففي سنة 1992، كانت شركة تكساكو تنقب عن النفط والغاز في صخور رسوبية على عمق 2,8 كم تحت حوض تيلورسڤيل في ڤرجينيا، مما وفر للعلماء الفرصة للبحث عن الحياة تحت سطح الأرض. فتبين أن الجراثيم كانت موجودة، حتى مع استخدام شروط تعقيم نموذجية لمنع التلوث بالمتعضيات السطحية. الأكثر من ذلك، أنها كانت أجناساً متباينة سابقاً إلى حد كبير ولم تكن تحتاج للأوكسجين بل تستخدم بدلاً منه المنغنيز، الحديد والكبريت لأكسدة المادة العضوية القديمة في الصخور القريبة من أجل الطاقة. كذلك كانت تتحمل الحرارة. إذ إن درجة حرارة الصخور التي كانت تعشش فيها تزيد عن 60° مئوية. فسمي أحد هذه الأجناس باسم «باسيلوس إنفيرنوس» وذلك على اسم موطنه الجهنمي الحار تحت الأرض.

اليوم، تم اكتشاف المتعضيات المجهرية عميقاً جداً تحت الأرض وفي قاع المحيطات سواء في الصخور الرسوبية أو الصخور البركانية. لقد استقرت الصخور الرسوبية، بادئ ذي بدء، على سطح الأرض ومن ثم غاصت نحو الأسفل. لهذا يحتمل أن تكون المتعضيات المجهرية الموجودة بأنواعها في هذه الصخور من عمر الصخور ذاتها. وقد احتجزت هناك منذ أن تشكلت الصخور قبل ملايين السنين. هذا النوع من الصخور يكون منخرماً بمسام دقيقة، وبذلك تعيش المتعضيات المجهرية في كل مكان منها، لكن بكثافة منخفضة. إذ حين تستنبت في مختبر نجد أن أقل من عشرة جراثيم توجد في كل غرام من الصخر[4]. وذلك أقل بكثير من المليار جرثومة التي تعيش في كل غرام من تراب الحديقة. تتشكل الصخور البركانية، كالغرانيت والبازلت، من تصلب الحمم البركانية المنصهرة. ونظراً لأن هذه الصخور تندمج أثناء تصلبها، فإن معظم الجراثيم توجد داخل شقوق دقيقة، لكن في بعض الحالات، تصنع الجراثيم أنفاقاً لنفسها وذلك بحل الصخر ذاته. ولا بد أن المتعضيات المجهرية الموجودة داخل الصخور البركانية قد وصلت كلها في الفترة التي كانت الصخور فيها تبرد وقد حملتها إلى هناك المياه التي ظلت تتسرب ببطء، نازلة من سطح الأرض، على مدى آلاف السنين.

في المختبر، نمت الجراثيم المعزولة من عينات أخذت من حوض تيلورسڤيل، نمواً بطيئاً للغاية. لقد قدر توليس أونستوت وزملاؤه من جامعة برينستون، بعد أن حسبوا أثراً لنفس الجرثومي مع الصخور التي تعيش داخلها، أن متوسط زمن التضاعف لتجمع جرثومي في بيئته الطبيعية كان بطيئاً للغاية (عدة آلاف من السنين). إذ يبدو أن الجراثيم، وهي في أعماق

(4) طبعاً، يمكن أن تكون شروط المختبر غير مثالية، مما يؤدي إلى الانخفاض في تقدير الأعداد الجرثومية.

«باسيلوس إنفيرنوس»، جرثوم من الجحيم، يعيش على عمق 2,7 كم تحت سطح الأرض حيث لا أوكسجين، ولا غذاء عضوي، والضغط عدة مئات من وحدات الضغط الجوي ودرجة الحرارة تربو على 60° مئوية.

الصخور، تعيش فقط أكثر مما تتكاثر. ونظراً لأن معدل التطور إنما يمليه معدل التكاثر، فربما ظلت هذه الأجناس الجرثومية دون تغير وإلى حد كبير ملايين السنين، مدفونة هناك، نظراً لأن الصخور ترصفت حيث هي منذ 80 مليون سنة على الأقل. ولهذا السبب بدت رؤية جول ڤيرن عن الأجناس البدائية التي ما تزال متعلقة بالوجود في أحشاء الأرض غير بعيدة كثيراً عن التحقيق. لعله كان على خطأ فقط في مسألة المقياس، لكن فكرته عن وجود مستحاثات حية في أعماق الأرض تنم عن بصيرة ثاقبة إلى درجة ملحوظة.

إن إحدى المعضلات التي تواجه الحياة تحت الأرض هي أن المادة العضوية نادرة للغاية، ففي لب الصخر المأخوذ من الصخور البازلتية في نهر كولومبيا، لا يوجد إلاّ القليل من المادة العضوية التي تدعم الحياة. مع ذلك ثمة وفرة مدهشة من الجراثيم. لقد تبين أن الجراثيم تتغذى على الصخور

ذاتها. فمع تجويف الصخرة، ينطلق الهيدروجين الذي تستخدمه الجراثيم لحل ثاني أوسيد الفحم وتحويله إلى كتلة حيوية، منتجة الميتان كفضلات. تعوى تجوية الصخور عادة إلى العمليات الكيماوية التي تحل ببطء الطبقات السطحية. مع ذلك، أشار بعض العلماء إلى أنه يمكن للمتعضيات المجهرية ذاتها أن تلعب دوراً هاماً في التجوية، قاضمة برفق وعلى مدى الدهور سطح الصخور، مستخلصة المعادن ومرسبة العناصر في قشرة الأرض.

تعد مناجم الذهب في جنوب أفريقيا الأعمق في الأرض إذ تقع على عمق 3,5 كم تحت سطح الأرض حيث يبلغ الضغط داخل الصخرة 400 وحدة جوية والحرارة 60° مئوية. مع ذلك ثمة أيضاً، بدائيات تنمو وتترعرع طبقاً لما وجده توليس أونستوت وتوم كيفت (من معهد نيومكسيكو للتعدين والتكنولوجيا) عندما زارا تلك المناجم سنة 1997. لا يتوقف العمق النهائي الذي يمكن أن توجد فيه الحياة على وزن الصخور في الأعلى، ذلك أن المتعضيات وحيدة الخلية يمكن أن تقاوم الضغوط العالية بحصانة نسبية، بل على درجة حرارة الصخور التي تعيش داخلها. ترتفع الحرارة كلما اتجهنا نحو مركز الأرض ـ بمقدار 11° مئوية كل كيلومتر واحد تقريباً ـ وذلك بسبب الحرارة المتولدة عن التفاعلات الإشعاعية في لب الكوكب، لهذا يتعين على المتعضيات قاطنة الأعماق أن تكون من محبات الحرارة المفرطة. وإذا افترضنا أن 120° مئوية هي الحد الأعلى للحياة، فسيقتصر وجود البدائيات على الخمسة كيلومترات العليا أو نحو ذلك من قشرة الأرض.

ساكنات الكهوف

لعل الجراثيم المحتبسة داخل الصخور ليست بالغريبة حتى، إذا ما قورنت بالمنظومات البيئية الفريدة من نوعها المعتمدة أساساً على الكبريت والموجودة في الكهوف. لقد تشكلت كهوف موڤيل في رومانيا قبل أكثر من 5,5 مليون سنة، ثم سدت الصخور المتساقطة بداخلها. وهكذا، بانعزالها

عن العالم الخارجي، وقد سدت مخارجها، سرعان ما استهلكت المتعضيات الموجودة داخلها كل ما كان فيها من أوكسجين تقريباً، لذا لا يوجد في الهواء المحتجز الآن داخل الكهف وفوق الماء إلاّ نسبة ضئيلة للغاية من الأوكسجين لكن عالية من الميتان، ثاني أوكسيد الفحم وكبريتيد الهيدروجين. على الرغم من أنه ما من مغذيات عضوية تدخل من الخارج إلى الكهف. وعلى الرغم من أن الماء البركاني المحتوي على كبريتيد الهيدروجين المنحل يتسرب عبر الكهف شاقاً طريقه إلى البحر الأسود، فإنه يأتي من خزان تحت الأرض تشكل قبل آلاف السنين (خلافاً للماء الأرضي في بقية أراضي رومانيا الذي لا يحتوي أي آثار لنشاط إشعاعي). مع ذلك، يحوي الكهف منظومة بيئية مزدهرة. هذا العالم الفريد من نوعه تدعمه طبقات جرثومية رقيقة تغطي جدران الكهف بمادة غروية لزجة وتشكل حصراً من الطفاوة على سطح الماء. تهضم الجراثيم الجدران الكلسية للكهف كي تحصل على ما تحتاجه من الفحم وتستمد طاقتها بأكسدة كبريتيد الهيدروجين. إنها تعمل ذلك التجمع الغريب من اللافقاريات كالعنكبوت الشاف مثلاً، ألفية الأقدام، حمار القبان، العلق ودود الأرض. تأكل القواقع ودود الأرض الحصر الميكروبية لتصبح، هي بدورها، طعاماً للعناكب والعلق.

يمكن الوصول إلى كهوف موثيل فقط بالغوص عبر ممرات مغمورة بالماء، لكن توجد في كل مكان منها منظومات بيئية تعتمد على الكبريت، أسهل منالاً ومماثلة. في جنوب المكسيك يقع كهف فيلا لوز، وهو متاهة من الممرات والكهوف التي تتخلل الصخور الكلسية، وتنبجس من أرضها الينابيع محملة بكبريتيد الهيدروجين والحجر الكلسي، صانعة بركاً كالحليب. يملأ كبريتيد الهيدروجين الهواء برائحة البيض العفن، كما يتكثف على جدران الكهف ليشكل حمض الكبريت الذي يحلّل الصخور ويحرق جلد الزائر غير اليقظ الذي يلامس الجدار. لكن برغم هذا الوسط المعادي

ظاهرياً، فإن الكهف يعج بالحياة. إذ تغطي المادة الجرثومية الغروية والمخاطية الصخور وتتساقط على شكل خيوط هلامية من السقف، مشكلة نوازل متمايلة حية تُنعت «بالخراطيم». في تلك البرك الحليبية الضحلة تتجمع الأسماك أسراباً أسراباً، كما تجثم العناكب فوق الصخور فيما تتراقص حشود من الذباب الصغير في الهواء. هذه المنظومة البيئية، شأنها شأن كهف موڤيل، تعتمد أساساً على الجراثيم ذات القدرة على التركيب الكيماوي التي تحتُّ جدران الكهف وتأكل منها.

الحياة من دون أوكسجين

تستطيع القلة القليلة من الحيوانات متعددة الخلايا أن تعيش من دون أوكسجين. لكن الكثير من البدائيات والجراثيم لا تكون قادرة على العيش من دون أوكسجين فحسب، بل هي تجده فعلياً ساماً إلى درجة لا تستطيع أن تتحمل أي تعرض لهذا الغاز ولو لفترة قصيرة، وهي مضطرة لأن تعيش في جو خال من الأوكسجين. مثل هذه البيئات اللاهوائية كثيرة، إذ يمكن أن توجد في راسب الطين الذي يغطي قيعان البحيرات والمحيطات، في جذوع الأشجار، في مناطق معالجة المجارير بل حتى في أحشاء الحيوانات. تستخدم بعض هذه المتعضيات الهيدروجين كمصدر للطاقة، وثاني أوكسيد الفحم كمصدر فحمي للنمو، ينتج عن العملية مقادير كبيرة من الميتان. نتيجة لذلك تعرف باسم مولدات الميتان. كثير منها بدائيات تعيش في الجو وتنتمي لعائلة الميتانوكوكس. ليست قدرة البقر على أكل العشب فطرية غريزية بل إنها تعتمد على وجود الميتانوكوكس الذي ينجم عن العملية فيسهم إسهاماً رئيسياً في تسخين كوكبنا، نظراً لأن، مثل ثاني أوكسيد الفحم، يعمل عمل غاز البيوت الزجاجية.

اليوم، يوجد الأوكسجين بوفرة في الجو، لكن لم تكن الحالة هكذا دائماً. لقد كان الجو في البدايات يحتوي قليلاً من الأوكسجين أو لا شيء

منه البتة، بل كان، بشكل رئيسي يتكون، من ثاني أوكسيد الفحم والآزوت. أمّا الأوكسجين فقد ينتج كفضلات عن عمليات التركيب الضوئي التي تقوم بها المتعضيات وحيدة الخلية، أو جراثيم السيانو التي تطورت قبل نحو ثلاثة ملايين سنة، أي في العصر الذي كانت الحياة قد تأسست فيه جيداً من قبل (إذ يذهب الظن إلى أن وحيدات الخلية الأولى قد نشأت قبل نحو 3,8 بلايين سنة). هذه الجراثيم السيانية كانت تستخدم الطاقة الشمسية لتحويل الماء وثاني أوكسيد الفحم إلى مائيات الفحم. لينجم عن هذه العملية الأوكسجين كناتج ثانوي وبذلك صنع جو الأرض اليوم. كذلك بدلت تركيب المحيط. ذلك أن البحار الأولى كانت تحوي كميات كبيرة من الحديد، والأوكسجين الناتج عن الجراثيم السيانية كان يستهلكه بصورة أولية من خلال أكسدة الحديد المنحل، مما جعل هذا يترسب خارجاً من المحلول ويشكل رقاقة من أوكسيد الحديد في قاع المحيط بدأت قبل نحو 2,8 بليوني سنة وتستخدم الآن لتأريخ نشوء الجراثيم السيانية. بعد نحو نصف بليون سنة، استنفد الموجود من الحديد وبدأ مستوى الأوكسجين في الجو بالتزايد، واصلاً إلى مستواه الحالي قبل 0,8 بليون سنة تقريباً. ومن المفيد أن نفكر أن متعضية وحيدة الخلية مسؤولة عما يعرف بالتلوث بأكبر مقياس.

كان الأوكسجين ساماً (وما يزال) لمعظم أشكال الحياة، بل إن الكثير من هذه الأشكال انقرضت مع الارتفاع التدريجي لنسبة الأوكسجين في الجو. أمّا تلك التي بقيت على قيد الحياة فقد طورت خططاً تحمي بها نفسها من شوارد الأوكسجين شديدة التفاعل. إنها لمفارقة، أن الأوكسجين، الذي يعد أساسياً ليس فقط لبقاء الإنسان على ظهر هذا الكوكب بل لكل ما عليه من حياة تقريباً، هو أيضاً سم قاتل. تستخدم المتعضيات الصغيرة ما بين الخلايا المعروفة بذوات الانقسام الفتيلي، الأوكسجين لصنع الطاقة الكيماوية التي تمد خلايانا بالقوة. مع ذلك، يمسك الأوكسجين أحياناً بإلكترون زائد ليصبح «ذا جذر حر». وذات الجذور الحرة هذه شديدة

التفاعل، تندفع هنا وهناك في الخلية مسببة الأذى والتعطيل، نظراً لأن إلكترونها الإضافي يحتاج إلى شريك ولسوف يقوم باختطاف واحد من أي جزيء قريب. وهكذا فإن الأغشية، البروتينات، الدهون، الـ د.ن.أ، كلها يمكن أن تكون ألعوبة بيد ذات الجذور الحرة هذه. ينتج عن ذلك تفاعل متسلسل، إذ رغم أن ذا الجذر الحر الأصلي، يستقر باختلاسه لإلكترون من سواه، إلاّ أنه يخلق واحداً جديداً في العملية. وقد تتلف كثير من الجزيئات بهذه الطريقة قبل أن تتمكن آليات الدفاع الخلوي بصورة نهائية من تدمير الجذريات الحرة الشاردة. والواقع أن الجذريات الحرة هي أحد الأسباب الرئيسية لموت الخلية. كذلك، تجعل الأكسدة ـ وهي قدرة الأوكسجين على اختطاف الإلكترونيات من جزيئات أخرى ـ الحديد يصدأ والنيران تشتعل والشحوم تفسد وتزنخ رائحتها.

إن جوزيف پريستلي (1733 ـ 1804) هو الذي اكتشف الأوكسجين حين كان يفحص الغاز المنطلق وهو يسخن أوكسيد الزئبق. لقد لاحظ أن «الشمعة كانت تحترق في هذا الجو بلهب شديد على نحو ملحوظ» كما اكتشف آثار ذلك الغاز على الفئران بوضعها في مطربان جرسي صغير مليء بغاز الأوكسجين فوجد أنه حينما يعرض الفأر لهواء عادي يموت خلال ربع ساعة، أمّا الفأر الذي يعرض «للهواء النقي»، كما دعاه، فإنه يظل حياً أكثر من نصف ساعة زيادة. راح پريستلي بسر اكتشافه إلى الكيميائي الفرنسي لافوازيه (1743 ـ 1794) وهو الذي سماه فيما بعد غاز الأوكسجين. إنه الاسم المأخوذ من الإغريقية ويعني «الحمض سابقاً»، ذلك أن لافوازيه كان يعتقد، خطأ كما تبين فيما بعد، أنه عنصر من عناصر كل حمض. ولسوء حظ العلم (وحظ لافوازيه نفسه) أنه لاقى حتفه باكراً على يد «السيدة المقصلة».

كان پريستلي ثاقب النظرة وكان السبّاق في استخدام الأوكسجين لدعم الحياة. كما كان يناقش بأن ذلك الغاز يمكن استخدامه «لكي يتم وبشكل

مقبول، تعديل جو غرفة فاسد حشر فيها عدد كبير من الناس. . . بحيث يصبح، بعد أن كان فاسداً وغير صحي، عليلاً مباشرة وصحياً». كذلك خمن پريستلي أن الأوكسجين يمكن أن يكون «مفيداً على نحو خاص للرئتين في حالات مرضية معينة، عندما لا يكون الهواء العادي كافياً لتنفس المرء». غالباً ما كان العلماء الأوائل يجربون الشيء بأنفسهم ولم يكن پريستلي الاستثناء. لقد وجد أن ليس لاستنشاق الأوكسجين آثار سلبية فتساءل في ما إذا كان «ذلك الهواء النقي يمكن أن يصبح مادة دارجة من مواد الترف». واليوم يباع الأوكسجين المعلب في شوارع طوكيو ليعطي إنعاشاً سريعاً لأولئك الذين غلبهم دخان المدينة السام.

مع ذلك، يمكن لتنفس الأوكسجين النقي بكميات، أن يكون خطراً. ففي خمسينيات القرن العشرين، أعطي أطفال ناقصو النضج أوكسجيناً نقياً كي يتنفسوا لاعتقاد الأطباء أنه قد يساعد في بقائهم على قيد الحياة. لكن لسوء الحظ، أن التركيز العالي للأوكسجين في الحاضنة يتسبب في تقلص الأوعية الدموية الدقيقة في العيون. وبالتالي، ظهر لدى هؤلاء الأطفال نسيج متليف خلف عيونهم وفقدوا البصر. لكن، لن يكون ثمة خطر إذا ما ظلت نسبة الأوكسجين دون الأربعين بالمئة. والأوكسجين النقي ما يزال يستخدم أحياناً من قبل الغواصين ورواد الفضاء. لكن لا بد في هذه الحالة من اتخاذ احتياطات خاصة كما سبق وذكرنا في الفصل الثاني والسادس.

كائنات باردة

يمكن لكثير من الحيوانات، بما في ذلك البشر، أن تتحمل، وخلافاً للحرارة، البرد القارس. لقد ألقينا نظرة على آليات تكيفها في الفصل الرابع. هنا سنلقي نظرة على محبات الحدود القصوى تلك العضويات التي تعيش في شروط قريبة من التجمد وتلك التي تستطيع أن تتحمل التجمد.

لا يتلف البرد بحد ذاته البروتينات. بل يبطئ فقط المعدل الذي تجري

فيه التفاعلات الكيماوية الحيوية. نتيجة ذلك، فإن معظم العضويات تتوقف عن التكاثر أو حتى النمو (بالمعنى الأدق للكلمة) في درجة حرارة أدنى قليلاً من الصفر المئوي. يستمر النشاط الاستقلابي لكن بمعدل منخفض، ولقد سجل نشاط استقلابي لأشنة في القطب الجنوبي بدرجة الحرارة ـ 27° مئوية، لكن ربما يتوقف النشاط الاستقلابي تماماً بدرجة الحرارة ـ 80° مئوية تقريباً، وحينذاك تكون المتعضية في حالة سبات. يمكن اختزان معظم الخلايا، بما في ذلك خلايا البشر، بدرجة حرارة الآزوت السائل (ـ 196° مئوية) أمّا أدنى درجة يمكن تبريد الخلايا بها وبقائها حية إذا دفئت من جديد فهي غير معروفة، لكن يحتمل أن تكون أدنى حتى. مع ذلك لا بد من العناية الشديدة إذا أردنا أن نبرد الحيوانات والخلايا إلى درجات حرارة أقل من الصفر المئوي، وذلك أن التجمد، على الرغم من أن البرد بحد ذاته لا يؤذي، هو مسألة مختلفة تماماً.

محبات البرد هي متعضيات تحب البرد وتعيش في المياه وشيكة التجمد. إنما تتواجد في أعماق المحيطات حيث درجة الحرارة ثابتة نسبياً، 1 ـ 3° مئوية وهي تعيش داخل وتحت العظاء الجليدي للقطب. بل، إنها تنمو بسعادة في الثلاجات المنزلية. تقطن تجمعات محبات البرد كلها في جليد القطب الجنوبي، عائشة في الطبقات الرقيقة، من الماء غير المتجمد داخل الجليد. إنها تتضمن وفرة من الجراثيم، البدائيات، الأشينات والأجناس ثنائية الذرات، كأشنة الثلج «كلاميدوموناس نيڤاليس» التي تكون حقول الثلج بظلال من اللون القرمزي الخفيف والأخضر اللامع، وكذلك الجرثوم «پولاروموناس ڤاكيولاتا» الذي يتميز بإيثاره درجة الحرارة 4 مئوية ويكف عن التكاثر إذا زادت الحرارة عن 1,2 مئوية، لكن مثل هذه التجمعات ليست خالية من حياة متعددات الخلايا. لقد سجل شارل فيشر، وهو يتجول على طول قاع المحيط بسفينة غطاسة، وعلى أعماق تصل إلى نحو 550 م، وجود بنية أشبه بالفطر متعددة الألوان وغريبة، قطرها نحو

مترين وتنبثق من القاع. لقد كانت تزحف مع ديدان بطول بوصة واحدة. بعد التقصي تبين أن البنية تتكون من مزيج أشبه بالجليد من الماء والميتان (الغاز الذي تسرب خارجاً من فوهات في قاع المحيط) والتجمع المزدهر من الجراثيم والبدائيات التي تتغذى على الميتان توفر مادة العيش للديدان.

يقع كثير من البحيرات ذات المياه العذبة عميقاً تحت الغطاء الجليدي للقطب الجنوبي، وتمنع مياهها من التجمد بسبب التسخين الجيولوجي الحراري. أكبر هذه البحيرات بحيرة ڤستوك التي تقع تحت سطح الجليد بنحو 4 كم ويقدر طولها بـ 200 كم وعرضها بـ 50 كم وعمقها بـ 500 م أي تقريباً بحجم بحيرة أونتاريو وأعمق منها بنحو الضعف. قبل نحو 40 مليون سنة، بدأ الغطاء الجليدي بالانغلاق على القطب الجنوبي. لذا فإن أي حياة موجودة الآن في بحيرة ڤستوك ربما أحكم الإغلاق عليها منذ عدة ملايين من السنين، مما يجعل البحيرة وعاء زمنياً قد يحتوي متعضيات مجهرية فريدة من نوعها ولديها معلومات عن تاريخ هذا الكوكب. بيد أن توق العلماء الشديد لاستكشاف هذه البحيرات تحت الجليدية واجه صعوبة، وهي أن من المتعذر أخذ عينات من الماء دون أن يتلوث بحياة السطح. هذه المخاوف أوقفت برنامج حفر لب الجليد سنة 1966. تماماً قبل 150 متراً فقط من وصول المسبار إلى بحيرة ڤستوك. وما يزال الباحثون في الوقت الحاضر يناقشون ما هي أفضل الطرق لمعالجة تلك المعضلة.

يعد البرد حافظاً عظيماً لأن التفاعلات الكيماحيوية تتباطأ تباطؤاً شديداً. والهواء الجاف البارد للقطب الجنوبي يعني أن المواد التي تركها القبطان سكوت وفريقه في كوخهم سنة 1904 ما تزال سليمة تماماً لم تفسد. لقد وجدت ماموثات متجمدة عميقاً في القطب الشمالي، وقد حفظت أجسامها تماماً إلى درجة أن لحمها كان ما يزال صالحاً للأكل برغم مرور أكثر من ثلاثين ألف سنة على موتها. مثل هذه النسج المتجمدة تقدم وثيقة حيوية وتاريخية لا تقدر بثمن. السبب في بقائها على تلك الحالة هو أن

الجراثيم التي تفكّك اللحم والطعام وتفسدهما لا تستطيع، بكل بساطة، أن تنمو في درجات البرودة الشديدة نظراً لافتقاد الماء السائل.

الحياة في الثلاجة

إن التجمد، وكما يعرف كل جنائني، شيء مهلك بالنسبة إلى الكثير من النباتات. فصقيع أواخر الربيع يقضي على نمو البراعم في الأحواض كما أن أول صقيع قاس في الشتاء يمكن أن يحول أزهار الصيف إلى نوع من الهشيم. كذلك فإن معظم الحيوانات لا تستطيع تحمل التجمد.

إن للتقصي في آثار التجمد على الحياة تاريخاً طويلاً، فقد لاحظ هنري پاور، سنة 1663، أنه حينما وضع إناء خل يحوي «علقات دقيقة» في مزيج من الجليد والملح، فإن السائل تجمد والعلقات «تبلرت». لكن عندما سمح للخل المتجمد بأن يذوب من جديد، فإن العلقات عادت من جديد «تتراقص وتنط هنا وهناك حية كما كانت من قبل». كذلك فتن روبرت بويل بآثار التجمد وحاول أن يجمد الضفادع والسمك لكن بنجاح محدود. التجارب الأولى على الحشرات قام بها ريامور، وهو عالم فرنسي صنع أول موازين الحرارة، لذلك كان قادراً على توصيف ملاحظاته. لقد لاحظ أن هناك جنساً معروفاً من اليسروع (يرقانة الفراشة) بقي على قيد الحياة رغم تجميده بدرجة حرارة ـ 20 مئوية، في حين لم يتحمل نوع آخر، لا اسم له، إلاّ درجة الحرارة ـ 11 مئوية. كذلك اكتشف أن دمها يتجمد بدرجات حرارة مختلفة، مما يجعلها شبيهة بالبراندي ذات نسب الكحول المختلفة نظراً لأن الأقوى كحولاً يكون أقل قابلية للتجمد من الأضعف كحولاً. من هنا نشأت الفكرة الأولى بأن تحمل التجمد ربما يتوقف على خصائص كيميائية ـ نفسية محددة لدم الحشرة، مما مهد للدراسات الحديثة التي توصلت إلى تحديد هوية مضادات التجمد الطبيعية ذات العلاقة.

إن ظهور العصر الذهبي لاستكشاف الجبال والقطبين حمل معه الكثير

من الحكايات الأكثر خرافية عن التجمد والعودة إلى الحياة. إحدى تلك الحكايات الأكثر غرابة هي ما سجله تيرنر، سنة 1886، الذي وصف كيف أن الكلاب، التي أطعموها سمكاً أسود ألاسكياً أخرج من قلب الكتل الجليدية، عادت وتقيأت سمكاً حياً بعد فترة وجيزة من ذلك فدفء المعدة أنهى تجمد السمكة وأعادها من جديد إلى الحياة. وعلى الرغم من أنه قد يكون من الصعب تصديق هذه القصة، إلاَّ أنه ما من أحد يضع موضع الشك مصداقية المكتشف البريطاني جون فرانكلين، الذي سجل، خلال رحلة إلى بحار القطب الشمالي، أن سمكة كارب كانت قد جمدت ستاً وثلاثين ساعة راحت تنط وتتواثب بعنف شديد حين دفئت من جديد. لكن، رغم قصص هؤلاء الرحالة، فإن التجمد يقتل معظم الخلايا.

يحدث التلف بسبب الصقيع لأن بلورات جليدية تتشكل داخل الخلايا وفيما بينها. وإبر الجليد الحادة كموسى الحلاقة تثقب الغشاء الرقيق الذي يحيط بكل خلية، مما يسمح لمحتويات الخلية بالتسرب خارجاً. كما أن الأغشية الخلوية الداخلية التي تقسم الخلية إلى حجيرات محددة تتمزق بحيث أن محتويات المتعضيات تختلط ببعضها بعضاً والتفاعلات الكيما ـ حيوية تتعطل. إن الجليد هو تبلر الماء النقي لكن المحاليل الحيوية تحوي الكثير من الأملاح، لذا، عندما يتشكل الجليد في محلول خارج الخلية يزداد تركيز الملح في المحلول الذي يبقى غير متجمد، مما يخلق قوة ارتشاح تسحب الماء من الخلايا إلى الخارج، الأمر الذي يجعلها تنكمش ويزيد من تركيز الملح داخلها. يزيد تشكل الجليد داخل الخلية من تركيز الملح في المحلول الموجود داخل الخلية مباشرة، مما يؤدي إلى التجفف الذي يتلف غشاء الخلية وبروتيناتها. كذلك يمكن للتجمد أن يمزق الرابط بين الخلايا ويتلف الشعريات التي تزودها بالدم مما يؤدي إلى الموت بسبب نقصان الأوكسجين والغذاء. وكما وصفنا في الفصل الرابع، يمكن لقضمة الصقيع أن تسبب ضرراً شديداً للإنسان. مع ذلك، ثمة بعض الحيوانات والنباتات

التي لا يؤذيها البرد حتى بدرجات التجمد.

تستخدم المتعضيات متحملة التجمد خطتين لمكافحة البرد. فبعضها تخفض درجة الحرارة التي تتشكل فيها البلورات الجليدية وذلك بتركيب مضادات تجمد طبيعية، فيما تتجمد أخريات بشكل تام، هكذا بكل بساطة وعلى نحو يثير الملاحظة.

يحوي دم الكثير من الحشرات والأسماك مواد طبيعية مانعة للتجمد تقوم بمنع تجمد سوائل الجسم بدرجات حرارة حتى دون الصفر (وهي الظاهرة المعروفة باسم التبرد الزائد). فالسمكة المفلطحة الشتوية «پسودوبلورونيكتيس أمريكانوس»، مثلاً، تقوم بتركيب سبعة بروتينات مانعة للتجمد على الأقل عندما تهبط درجة الحرارة إلى نحو 4 مئوية وسوسة الدقيق الصفراء المعروفة «تنبريو موليتور» التي تستخدم كطعم من قبل صيادي السمك تحتوي على مانع تجمد أقوى بكثير أيضاً. تخفض البروتينات مانعة التجمد درجة تجمد الماء بانضمامها إلى سطح البلورة الجليدية المتشكل والحيلولة دون نموها، لكن دون أن يكون لها تأثير على درجة ذوبان الجليد الذي تشكل من قبل. تستخدم بعض الحشرات، التي تتحمل درجات حرارة أدنى حتى، أنواعاً من الكحول ذات الوزن الجزئي المنخفض، كالغليسرول مثلاً، مانعات للتجمد. تعمل مانعات التجمد هذه وفق المبدأ نفسه الذي يعمل به غليكول الإثلين الذي يضاف إلى مشعات السيارات في الشتاء في أوروبا الشمالية لمنع الماء البارد من التجمد. كما أن نسبته قد تصل إلى 20 بالمئة من سوائل الجسم لدى عثة العفص (نوع من الدود) يمكن أن يكون الغليسرول الذي يتيح للحشرة إمكانية أن تتعرض للبرد حتى درجة الحرارة ـ 38 مئوية دون أن تتجمد.

مع ذلك، يمكن أن يكون التبرد الشديد هذا خطراً، إذ تتجمد الأنسجة في الحال، إذا ما انخفضت درجة الحرارة دون درجة تحملها الأمر الذي قد

يكون مميتاً. والتجمد الخاطف يمكن أن تعجل به البلورات الجليدية المتكاثرة عبر الجلد أو بالتماس مع العناصر المشكلة لنوى الجليد التي توفر قاعدة لتتشكل البلورة الجليدية عليها (كما قد يحدث إذا ما أصيب الجلد بالتلف). كذلك تحيط بعض ديدان العث والفراش أنفسها بشرانق حريرية واقية للحيلولة دون أن يصبح جلدها على تماس مباشر مع الجليد.

تتبنى حيوانات أخرى خطة بديلة وتتجمد تجمداً خالصاً في الشتاء. فيسروعة الدب الصوفية (جينايفورا غرونلانديكا) التي تعيش في أعالي القطب الشمالي تقضي القسم الأعظم من السنة ـ غالباً ما تصل إلى عشرة أشهر ـ وهي متجمدة بشكل خالص في درجة حرارة ـ 50 مئوية أو أدنى. والسمندل السيبري، «سلمندريلا كيسيرلنجيي»، مشهور بشيء مماثل أيضاً. إنه يعيش في أعالي الدائرة القطبية حيث كل شيء، ما عدا الأمتار القليلة العليا من التربة، متجمد دائماً كما أن الطبقات السطحية تتجمد في الشتاء أيضاً. يجري السمندل البالغ متجولاً هنا وهناك وبكل نشاط، في فصل الصيف القطبي القصير، كما يضع بيوضه في البرك ضحلة المياه والبرك الطينية التي تتبعثر هنا وهناك في سهوب التاندرا. لكن ما إن يحل الشتاء حتى يسبت في مراقد طحلية قريبة من البرك حيث يمكن أن تهبط درجة الحرارة إلى ـ 35 مئوية. لقد وجدت سمادل متجمدة كأي شيء متصلب في قلب الجليد وبعضه يصل إلى 14 متراً تحت سطح التاندرا. مع ذلك حين يجيء الربيع وتذوب ثلوج التاندرا، يصل الدفء إلى السمندل فينهض ويجري خارجاً. كذلك تتجمد أنواع كثيرة من الضفادع وأفعى الغارتر والسلاحف الملونة حديثة الفقس تجمداً خالصاً في الشتاء وعلى علماء الحيوان الذين يحاولون أن يفهموا كيف تفعل تلك الحيوانات ذلك أن يحفظوا ودائعهم المختارة في ثلاجة.

بغية تحمل التجمد، لا بد من إبقاء البلورات الجليدية صغيرة لضمان عدم ثقبها لأغشية الخلية. يقوم بهذا العمل بروتين متخصص يعمل كعنصر مشكل لنواة الجليد يتركب مع انخفاض درجة الحرارة في الخريف. تتناثر

هذه البروتينات في التشكلات البلورية الجليدية، صانعة آلافاً من البلورات الجليدية الدقيقة في السوائل خارج الخلايا. تنزع البلورات الصغيرة عادة لأن تتشكل في بلورات أكبر مع الزمن. كما يلاحظ ذلك في المثلجات، التي تجمد فترات طويلة من الزمن. ولمنع هذه التبلرات من جديد، تستخدم الحيوانات بروتينات أخرى مانعة للتجمد تثبت الجليدية الصغيرة، غير الضارة، على حالها، وتمنعها من أن تكبر. بذلك يكون التجمد عملية بطيئة قابلة للتحكم تتيح للخلية إمكانية التكيف تدريجياً مع التغيرات الطارئة.

غير أن هناك مشكلة جدية أخرى تواجه المخلوقات التي تتجمد بشكل خالص هي أن ماء الخلية يفقد، والخلية نفسها تنكمش وتتقلص عندما يتجمد السائل خارج الخلية، الأمر الذي قد يغير طبيعة غشاء الخلية ويتلف بروتيناتها. من هنا فإن تجمد أكثر من 65 بالمئة من ماء الجسم يكون مميتاً عادة. تمنع الحيوانات متحملة التجمد هذه التغيرات في حجم الخلية بزيادتها لتركيز السكريات أو الحموض الأمينية داخل خلاياها. تخفض هذه المواد الواقية من البرد الشديد من تشكل الجليد وتنقص الفاقد المائي من الخلية وتثبت غشاء الخلية بحيث يكون قادراً على مقاومة المزيد من التقلص دون تلف. إنها تتضمن الغليسرول وسكريات مثل التريهالوز (لدى الحشرات) والغلوكوز (لدى الضفادع).

إن التذوب، شأنه شأن التجمد، عملية قابلة للتحكم. فعندما تتذوب الضفادع المتجمدة، مثلاً، يبدأ ذلك التذوب بالقلب أولاً مما يتيح الإمكانية لاستعادة الوظائف الحيوية وابتدائها في الحال ثم تسريع عملية التذوب بتسهيل دوران الدم الدافئ.

أحيائية معلقة

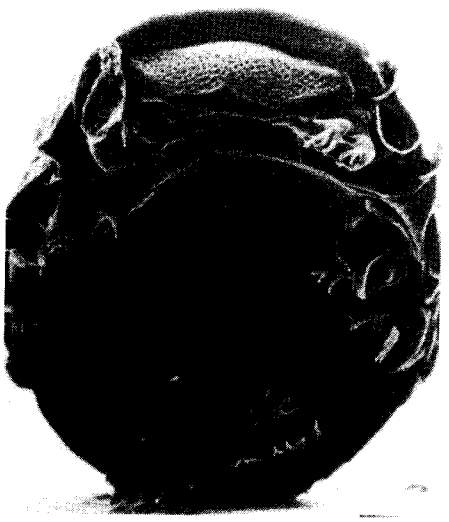
لقد أتاحت الإنجازات التكنولوجية الحديثة الإمكانية لأن تتبرد خلايا ونسج الثدييات إلى درجات حرارة منخفضة للغاية بسهولة نسبية. فانخفاض

درجة الحرارة يبطئ الاستقلاب الخلوي بحيث يؤدي إلى حالة من الأحيائية المعلقة ويتيح إمكانية الاحتفاظ بالخلايا فترات من الزمن أطول بكثير من عمرها الطبيعي. وبقدر ما تكون درجة الحرارة أخفض، يتباطأ معدل الاستقلاب أكثر، وبالتالي يمكن إعالة الخلايا ودعمها فترة أطول. ولكي نحد من التخفف أو تشكل البلورات الجليدية، لا بد من التحكم بدقة بمعدل التجمد والتذوب. كذلك لا بد من إضافة واقيات التجمد للمحلول الذي تتواجد فيه الخلايا. يستخدم الغليسرول عموماً كواق من التجمد نظراً لأن بإمكانه أن يمنع تحول الماء إلى جليد حتى في درجة حرارة الآزوت السائل.

تعد العلاجم (ضفادع الطين) حفارة جيدة وتقضي الشتاء تحت خط الصقيع ساكنة في جحورها. أمّا الضفادع العادية فلا تكون قادرة على الحفر، لذا تسبت سباتها الشتوي في طبقة الأوراق، المتوضعة على أرض الغابة حيث تهبط درجة الحرارة إلى ـ 8 مئوية. وضفدع الغابة الظاهر في الصورة يتجمد بشكل كلي ـ أي 65 بالمئة من مياه جسده جليد. أمّا البروتينات المتخصصة فتكفل إبقاء البلورات الجليدية صغيرة جداً بحيث لا تسبب أي أذى. تمنع الأعضاء الحيوية للضفدع من التجمد بسبب الكميات الكبيرة من الغلوكوز التي تنتجها الكبد صانعة محلولاً سكرياً عالي التركيز يتغلغل في النسج ويعمل كمانع للتجمد.

تتجمد النطفة بصورة نظامية في درجة حرارة الآزوت السائل، وهي درجة تقل عن ـ 196 مئوية، من أجل التلقيح الاصطناعي. هذه التقنية، التي طورت أصلاً من أجل الماشية، طبقت بنجاح أول مرة على النطفة البشرية سنة 1953. يمكن لعينات النطف المتجمدة أن تحتفظ بقوتها عقوداً من الزمن، وهناك نطفة بشرية اختزنت أكثر من خمس عشرة سنة أدت إلى الحمل. يختار كثير من الرجال أن يجمدوا نطفهم المنوية قبل أن تقطع القناة الدافقة لديهم أو يخضعوا لمعالجة كيماوية أو إشعاعية للسرطان، وهي المعروفة بإتلافها للنطف. فيما يقدم رجال آخرون عينات من نطفهم للأزواج العاقرين. الآن، يولد كل سنة آلاف الأطفال من عينات نطفية محفوظة من البرد، ويذهب الظن إلى أنه من غير المحتمل أن تؤدي النطفة التي تتجمد ثم تذوّب قبل التلقيح الاصطناعي، إلى ظهور عيوب خلقية أكثر من النطفة الطازجة.

كذلك يمكن حفظ الأجنة بتجميدها في درجات حرارة منخفضة، لقد طُوِّرت هذه التقنية في البداية للتعامل مع الحيوانات الأليفة، أمّا الآن فتستخدم بشكل نظامي كجزء من العملية العادية للإخصاب بطريقة «الحاضنة الزجاجية» لدى البشر. تؤخذ، عادة بيوض مضاعفة من المرأة في عملية مفردة، تخصب في حاضنة زجاجية ثم ينقل جنينان أو ثلاثة من الأجنة التي تتطور، من جديد إلى رحمها. أمّا الأجنة التي لا تستخدم فتجمد، خشية أن لا يؤدي الزرع الذي تم للأجنة الأولى إلى حمل. بهذه العملية تتجنب المرأة أن تعيش التوتر من جديد، وهم يأخذون منها بويضات مرة ثانية. كما أن هذا هو الجزء الأكثر كلفة من العملية كلها إضافة إلى أنه يخفض كلفة تجارب الإخصاب بالحاضنة الزجاجية التالية. يمكن اختزان الأجنة الاحتياطية هذه سنوات عدة، حتى إذا ما قرر الزوجان أن يرزقا بأولاد أكثر بتواريخ لاحقة أمكنهما ذلك، أو حين تضطر المرأة لمعالجة طبية قد تؤثر على خصوبتها، أو حتى للاستخدام من قبل نساء غير قادرات على إنتاج بويضات



بطيء الخطو (إلى اليسار) هو حيوان مجهري، طوله نحو مليمتر واحد يعيش في الرمل الرطب، في ثقالة قيعان البحيرات وأعماق البحار، والطبقة المائية الرقيقة التي تغلف أوراق الطحلب في سهوب الباندرا القطبية. ومن المثير للعجب أكثر أنه قد يتواجد في التوضعات الطحلبية الدقيقة التي تسد أحياناً مجاري مياه المطر في منزلك. إنها تلقب بدببة الماء وذلك بسبب أقدامها الغليظة ذات المخالب ومشيتها المتثاقلة، لكن سمتها الأشهر هي قدرتها على تحمل شروط الحد الأقصى للحياة وهي في حالة من الأحيائية المعلقة. فحين يأتي الوقت العصيب، يتكور بطيء الخطو على نفسه، تسحب قوائمه إلى الداخل وينتقل إلى طور راحة يعرف فيه باسم برميل الخمر (إلى اليمين)، وهو الطور الذي يتوقف فيه الاستقلاب تقريباً. فينخفض الفاقد المائي انخفاضاً شديداً، فيما يساعد تراكم التريهالوز والبروتينات، التي تشكل نواة الجليد، في حماية «برميل الخمر» هذا من آثار التجفّف والبرد الشديد. إن «برميل الخمر» هو الذي يبقى أخيراً على قيد الحياة. إذ يمكن أن يتحمل درجة برودة تصل إلى ـ 272 مئوية (أي درجة واحدة فقط فوق الصفر المطلق) أو درجة حر شديد تصل إلى 151 مئوية، أو جفاف شديد، أو تغطيس في سائل كحولي (تحفظ فيه كالمخلل معظم المخلوقات). كما يتحمل ضغوطاً تصل إلى نحو 6000 وحدة ضغط جوي (تقتل معظم المتعضيات، ومن بينها الجراثيم بضغوط تزيد عن 3000 وحدة جوية). لكن فقط أضف الماء ولسوف تجد «برميل الخمر» قد استعاد مائيته من جديد ليشكل بطيء الخطو الذي يبدو وكأنه غير معني مطلقاً بتجربته. بل لقد أعيد المخلوق إلى الحياة من عينات من الطحلب المجفف المختزن منذ 120 سنة في أحد المتاحف الإيطالية.

خاصة بهن. أول طفل ولد من جنين متجمد هو زوليلاند، ويعود تاريخ ولادته إلى فترة حديثة هي 28 آذار / مارس 1984 وذلك في ملبورن، أستراليا. أمّا اليوم فتتم حالات حمل ناجحة بأجنة تم تجميدها فترة من الزمن تصل إلى الخمس سنوات.

كذلك يمكن تجميد أنواع أخرى من الخلايا البشرية، أشهرها، ولا شك خلايا «هيلا» التي عزلت من ورم خبيث لدى مريضة تدعى هنرييتا لاكز (ومن هنا الاسم هيلا) ثم جمدت مباشرة في الآزوت السائل. بعد سنين كثيرة من وفاتها، صار بإمكانك أن تجد سلالة خلايا الورم الأصيلة في مختبرات البحث في كل أنحاء العالم، موفرة مصدراً ثميناً للبحث الطبي.

وعلى الرغم من أنه بالإمكان تجميد خلايا الثدييات ثم تذويبها بحصانة نسبية، إلاّ أن هذه ليست حال الحيوان ككل، مع ذلك هناك، في الولايات المتحدة اليوم، شركات تجمد أجسام (أو رؤوس) ناس ماتوا حديثاً وذلك على أمل أن يصبح بإمكان أجيال المستقبل إعادتهم إلى الحياة، أو أن تشفى أمراضهم، أو تستبدل الأعضاء التالفة من أجسامهم، وبذلك يضمنون فترة أخرى من الحياة المفيدة. توجد معظم هذه الشركات في كاليفورنيا حيث القانون متساهل كثيراً إزاء الحفظ بالتبريد. لكن المحزن أن أحلام زبائنها تواجه صعوبات جمة، نظراً لأن أنسجة الجسم سرعان ما تتلف بعد الموت بسبب افتقارها لجريان الدم.

مع ذلك، ثمة معنى واحد يمكن به للتجمد أن يحفظ الإنسان. وهو الحفاظ على تكوينه الوراثي الفردي ـ أي مورثاته ـ لكن لتحقيق هذا الغرض، لا يحتاج الإنسان إلاّ إلى بضع خلايا، يمكن أن توفرها عينة بسيطة من الدم على الرغم من أنه ليس للكريات الحمراء نوى، وبالتالي ليس هناك من معلومات وراثية (د.ن.أ)، إلاّ أن هناك ما يكفي من الكريات البيضاء، لتوفير كل ما هو مطلوب من الـ (د.ن.أ). وذات يوم، سيكون بالإمكان

إنتاج إنسان من كرية بيضاء وحيدة وذلك باستخدام التكنولوجية ذاتها التي أنتجت بالاستنساخ النعجة الشهيرة دوللي. لكن إذا كنا نريد أن نفعل هذا أم لا، فتلك مسألة مختلفة. غير أنه يجدر بنا أن نتذكر أنه حتى لو صار بالإمكان استنساخ خلية من خلاياك، فإن المستنسخ عنك لن يستهلك أكثر من مورثك فأنت أكثر بكثير من مورثاتك فقط.

صنع الملايين من الجراثيم

محبات الحدود القصوى في طريقها لأن تصبح صناعة كبيرة. هذه الصناعة تقوم أساساً على الخمائر المعزولة من المتعضيات التي تستطيع تحمل الحدود القصوى للبرد، الحر، الملح، الحمض، الضغط والمعادن الثقيلة، التي يصعب أن نسمي إلاَّ القلة منها وهناك شركات بحث صغيرة في التكنولوجيا الحيوية ترسل مستخدميها إلى أطراف الأرض لإيجاد محبات حدود قصوى جديدة قد يكون لها مورثات غير معروفة سابقاً، تم تسابق لابتكار ما لم يبتكر من قبل. إن المنافسة شديدة نظراً لأن المكافآت المحتملة عالية.

يستغل آلاف من بيولوجيي الجزيئات قدرة محبات الحرارة المفرطة في أبحاثهم كل يوم. إذ تستخدم الخمائر محبة الحرارة في صنع نسخ كثيرة من جزء مختار من الـ د.ن.أ في عملية تعرف باسم التفاعل المتسلسل المتبلمر (PCR). وكما يدل اسمها عليها، فإن هذه العملية تشتمل على حلقات تفاعل متتالية، في أولاها، يجب تسخين الـ د.ن.أ لتحطيم الجديلتين الاثنتين اللتين يتكون منهما. بعدئذ يتم تبريده وتستخرج نسخة مطابقة لكل جديلة بمساعدة خميرة من الخمائر. ثم تكرر هاتان المرحلتان مرات عدة، مما يؤدي إلى تزايد أسي في عدد جزيئات الـ د.ن.أ. تعتمد تقنية التفاعل المتسلسل المتبلمر على الخميرة المضاعفة ـ للـ د.ن.أ التي لا تنفصم في درجات الحرارة العالية (95 مئوية) ولا بد منها لفصل جديلتي الـ د.ن.أ.

ولحسن الحظ أن الخمائر محبة الحرارة كالخميرة المتبلمرة «تاك» مثلاً، قد تطورت لتفعل ذلك تماماً. لا تقتصر هذه الطريقة (PCR) على مختبرات الأبحاث بل تستخدم على نطاق واسع في الطب: مثال على ذلك التعرف على هوية جدائل جرثومية أو الاختبار الوراثي لدى الأفراد. كما أحدثت ثورة في عالم القضاء الشرعي، ذلك أن هذه الطريقة حساسة جداً بحيث يمكنك أن تصنع مليارات النسخ من الـ د.ن.أ بواسطة بضعة جزيئات، وبالتالي أن تتعرف على هوية مجرم من خلية شاردة وحيدة ظلت في مسرح الجريمة دون أن ينتبه لها أحد.

عزلت خميرة «التاك» المتبلمرة من البدائية «ثيرموفيلوس أكواتيكوس» التي اكتشفها توماس بروك في برك يللوستون المبقبقة عالية الحرارة. ولقد ظلت مهملة في المختبر على مدى عشرين سنة إلى أن تبين كاري موليس أن بالإمكان استخدامها لاستنساخ الـ د.ن.آ. لقد أساء موليس، ذو الشخصية اللامعة لكن المتلونة، إلى كثير من أعضاء المؤسسة العلمية ببياناته الملتهبة ومحاضراته غير التقليدية التي كانت تتخللها شرائح زجاجية تعرضها فوانيس سحرية لموج متكسر، أو لصديقاته وهن في وضعيات فاضحة. مع ذلك نال جائزة نوبل عن جدارة واستحقاق، لأن عمله أحدث نقلة في علوم الحياة، كما أن تقنية الـ (PCR) التي ابتكرها أصبحت مطية البيولوجيا الجزيئية الحديثة. كانت خميرة التاك المتبلمرة هي الخميرة الأولى التي استخلصت من محبة حدود قصوى واستغلت تجارياً، فمبيعاتها الآن تعود بواردات تربو على 80 مليون دولار سنوياً. وما تزال الشركات تتصارع على براءة الاختراع.

يقوم صناعيو مساحيق الغسيل بكثير من البحث عن خمائر مستخلصة من محبات القلويات، بحيث تضاف إلى مساحيق غسيل بيولوجية كي تساعد في تحظيم البروتين، السكريات، والدهون التي تعلق بالملابس الوسخة. لكن المنظفات عالية القلوية ومعظم الخمائر لا تستطيع العمل بفعالية في مثل

هذه الشروط. مع ذلك فإن تلك المأخوذة من محبات القلويات تعمل على نحو أفضل في درجة ب هـ عالية. لقد أدخلت الشركة الأمريكية جينكور، سنة 1997 منظفاً يحتوي على خميرة مستخلصة من محبة قلويات تم اكتشافها في بحيرة قلوية زاعمة أن بالإمكان غسيل الثياب بها مئات المرات وتظلّ كأنها جديدة. إنها تعمل بأن تحطم الطبقة السطحية الناعمة للزغب الذي يتجمع عليه الوسخ دون التأثير في الخيوط الواقعة تحته. وقد كان هذا أول تطبيق صناعي واسع النطاق لمنتج مأخوذ من محبة حدود قصوى.

غير أن هناك جملة تطبيقات أخرى محتملة لمحبات الحدود القصوى. فمحبات الحمض يمكنها أن تسهل استعادة المعادن الثمينة من الفلزات الأدنى درجة، وهي العملية المعروفة باسم الارتشاح الجرثومي والتي تنتشر بصورة متزايدة لاستخلاص الذهب، النحاس واليورانيوم. يمكن استخدام الخمائر المستخلصة من محبات البرد الشديد في صنع الصابون والمنظفات الخاصة بالماء البارد، وكذلك لتحفيز التفاعلات التي يتعين إجراؤها في الأجواء الباردة. شيئاً فشيئاً يتزايد استغلال الجراثيم والبدائيات في مشاريع المعالجة الحيوية، وكذلك للتخفيف من خطر المركبات السامة مثل مبيدات الحشرات، النفط، والمذيبات. صحيح أن الاستغلال التجاري لمحبات الحدود القصوى ما يزال في بداياته، لكن الصحيح أيضاً أن احتمالات تطبيقه كبيرة وواسعة.

هل هناك حياة ما وراء الأرض؟

في آب / أغسطس سنة 1996، تصدَّر خبر رئيسي إحدى الصحف، وهو خبر كتلة صخرية صغيرة ذات مظهر عادي نوعاً ما دعيت أ.ل.هـ. 1 8400[5] وفي حين أن معظم المقالات العلمية تكون حسنة الحظ إن قرأها

(5) لقد سميت باسم موضع اكتشافها وسنته، تلال آلين، 1984.

أكثر من حفنة من المتابعين، فإن مكتشفات هذه الصحيفة نوقشت بالتفصيل في الصحف والإذاعات ونشرات الأخبار التلفزيونية في شتى أنحاء العالم، حتى قبل أن تنشر المقالة تلك الضجة التي أثارتها الصحيفة أمر يمكن فهمه. فقد زعم علماء «الناسا» أنهم وجدوا دليلاً على الحياة في المريخ.

قبل ستة عشر مليار سنة، نزل نيزك على المريخ فشطر من الصخرة الموجودة على سطح الكوكب شظايا صغيرة، كثيرة أطلقها لتدوّم في الفضاء. وقبل نحو 11000 سنة وقعت إحدى هذه الشظايا في ساحة الجاذبية الأرضية التي جذبتها لتستقر في الحقل الجليدي المعروف باسم تلال ـ آلين في القطب الجنوبي. بهذا تكون أ.ل.هـ 84001» زائرة من المريخ، أي واحدة من عدد صغير من نيازك كهذه تم اكتشافها. أمّا منشأها، المريخ، فقد أثبته كل من المحتوى المعدني للصخرة وكذلك تركيب فقاعات الغاز المحتجزة داخلها. إنها تماثل ما يوجد في الصخور السطحية للمريخ وجو المريخ الذي قام بقياسه مسبار فايكنغ الذي وصل إلى الكوكب الأحمر سنة 1976.

لقد اكتشف العلماء في أعماق تلك الكتلة الصخرية بنى تشكلت تشكلاً غير منتظم وعلى نحو يماثل تشكلات الأحافير المجهرية التي وجدت في الأرض والتي تشكلت قبل أربعة مليارات سنة تقريباً. ثم قادتهم معلومات إضافية لأن يقترحوا أنه، وعلى الرغم من أن كل قطعة من الدليل يمكن أن يكون لها تفسير مختلف عندما ينظر إليها بشكل منفصل، فإنها حتى تؤخذ معاً تقدم «الدليل على وجود حياة أولية في المريخ القديم». لكن للأسف، ربما كانت استنتاجاتهم غير ناضجة. لقد حوّل عدة فرق من علماء عالمية اهتمامهم، بعد أن أثاره احتمال وجود الحياة في كواكب أخرى غير الأرض، إلى «أ.ل.هـ. 84001» فشرعوا يحللون ويعيدون التحليل للكتلة الصخرية ذاتها. بعد سنة من العمل، كان الإجماع العام على أن البنى التي شوهدت هي مجرد توضعات معدنية، أكثر مما هي بقايا أحفورية لأشكال غريبة من أشكال الحياة.

لكن لا يمكن بسهولة التخلي عن فكرة إمكانية الحياة في مكان آخر من المجموعة الشمسية، فالشروط القصوى التي يمكن للكثير من البدائيات أن يتحملها تماثل تلك الشروط الموجودة في الكواكب الأخرى أو أقمارها. إن الوديان الصخرية الجافة والباردة الموجودة في القطب الجنوبي لا تختلف كثيراً بشروطها عن الشروط التي يمكن مواجهتها في المريخ إلى حد أنها تستخدم لاختبار الأدوات المصممة لمهام استكشاف الكوكب الأحمر. مع ذلك، تعيش داخل الصخرة، وتحت سطحها بنحو مليمتر واحد طبقة رقيقة من المتعضيات المجهرية ذات التركيب الضوئي.

تستطيع الجراثيم، وعلى نحو لا يمكن تصديقه، أن تعيش حتى في خواء الفضاء. لقد حط مسبار المساح «3» على القمر في نيسان / أبريل 1967. وبعد سنتين ونصف زار رواد الفضاء أبوللو 12 الموقع نفسه بهدف التقصي والبحث عن درجة تحمل المسبار الشروط القاسية من إشعاع شمسي كثيف، خواء قريب، وتغيرات شديدة في درجة الحرارة. لقد انتزعوا عدسة تلفزيونية وعادوا بها إلى الأرض في حاوية مختومة، ثم فتحت في شروط تعقيم كاملة في مختبر الاستقبال القمري. بعدئذ استنبت بيولوجيو الجراثيم عينات مأخوذة من داخل العدسة فوجدوا، لشدة دهشتهم، أن هناك متعضيات مجهرية قد نمت. لكن هذه لم تكن حشرات قمرية حديثة بل كانت أنواعاً معروفة من الأرض. إذ يبدو أنه خلال تصنيع العدسة التلفزيونية، عطس التقني فانطلقت منه بعض الجراثيم لتحط رحالها عميقاً داخل الآلة ثم ختم عليها هناك إلى أن أعيد فتح العدسة في المختبر القمري. بالطبع، يمكن للمتشكك أن يناقش أن تلك الحشرات لم تذهب إلى القمر إطلاقاً، لكن شروط التعقيم الشديدة، التي استخدمت خلال الاستعادة والتحليل يجعل هذا غير محتمل فالجراثيم، على ما يبدو، كانت قادرة فعلاً على البقاء حية سنتين ونصفاً على سطح القمر.

مع ذلك، ثمة فارق بين البقاء والنمو. إذ بغير ماء سائل لا يمكن أن

صورة عالية الثبات «لأوروبا» حصلت عليها المركبة الفضائية غاليليو. و«أوروبا» أحد الأقمار الستة عشر للمشتري اكتشفه غاليليو سنة 1610. إنه فريد من نوعه في المنظومة الشمسية من حيث أن له سطحاً أملس مع فتحات أو جبال قليلة نسبياً. أمّا قشرته فتتقاطع عليها شبكة معقدة من خطوط سوداء يعتقد أنها تشققات في الطبقة الخارجية من الجليد الذي يغلف ذلك التابع.

توجد الحياة (على الأقل بالمعنى الذي نفهم) إلاّ في حالة من الأحيائية المعلقة. أمّا النمو والتكاثر فهما، بكل بساطة، غير ممكنين البتة لذا فإن البحث عن الحياة في أماكن أخرى من المجموعة الشمسية هو بالحقيقة مسألة بحث عن الماء. وهناك أماكن قد يوجد فيها ماء سائل. ففي سنة 1979 وصل المسبار «ڤوياجير» إلى المشتري واكتشف أن تابعه أوروبا مغطى بطبقة من الجليد. كما تدل المعطيات الأكثر حداثة والتي حصلت عليها المركبة الفضائية غاليليو علىٰ أن محيطاً من الماء السائل قد يكون محتجزاً على بعد أميال كثيرة هناك تحت قشرة القمر المتجمدة، شأنه شأن البحيرات الكبيرة

الموجودة تحت سطح القطب الجنوبي. وفي الوقت الراهن يخطط العلماء لإرسال سفينة فضائية أخرى لاستكشاف هذا الاحتمال، والتقصي عما إذا كانت هناك حياة على القمر أوروبا أم لا، ولسوف يكون مثيراً أن يكتشف ذلك.

حاشية خاصة بالوحدات

يستخدم العلماء جميعاً منظومة قياس عامة. هذا على الأقل هو الهدف، وهو، عموماً، صحيح. إلاَّ أن هذه لم تكن دائماً هي الحالة، لأن هناك أنواع وحدات وأجهزة قياس مختلفة تتناثر في نصوص العلماء الأوائل. بل حتى في أيامي أنا، فإن ما كان يبدو وكأنه وحدات معيارية، كان يتحول إلى وحدات جديدة، أو يغير اسمه تبعاً لما كانت اللجان التي تضع الوحدات تفضل هذا العالم على ذاك. لقد سعيت، في هذا الكتاب، لأن استخدم الوحدات العلمية المعيارية. وهذا لن يثير مخاوف معظم الأوروبيين الذين تعودوا على النظام المتري. أمّا البريطانيون فهم، كما هي عادتهم دائماً، الاستثناء (إذ رغم الإدخال التدريجي للوحدات المترية، فإن السوق المحلية هنا لا تزال تبيع الفواكه بالرطل الإنكليزي وليس بالكيلوغرام). كذلك يمكن لأولئك الذين يعيشون في الولايات المتحدة وكندا أن يكونوا أقل معرفة بالوحدات في هذا الكتاب. أمّا بالنسبة إليكم، أيها الإنكليز المشمئزون، فإن الصفحتين التاليتين ستحددان لكم الوحدات العلمية التي استخدمتها وتفسران كيف يمكن تحويلها إلى وحدات مألوفة أكثر.

لقد كانت دراسات الارتفاعات العالية والفيزيولوجية التنفسية معقدة دائماً وذلك لاختلاف الوحدات المستخدمة لوصف الضغط والارتفاع، لكن، ببساطة، أعطيت كل الارتفاعات بالأمتار: وبإمكانك أن تحول هذه مباشرة إلى أقدام وذلك بضربها بـ 3,28. أمّا الضغط فقد تم التعبير عنه بصورة مختلفة إمّا على شكل رطل إنكليزي لكل بوصة مربعة، أو مليمترات زئبقية

(تعرف أيضاً بالمصطلح تور) أو، وهو أكثر حداثة، كيلوپاسكال (ك.پا). ونظراً لأن كثيراً من الكتابات القديمة ومعظم الكتب الفزيولوجية تستخدم المصطلح تور (مليمتر زئبقي) فقد استخدمته أيضاً. لذا فإن الناس الأصغر سناً، الذين قد يكونون أكثر إلفة مع الـ ك.پا.، فإن عليهم أن يضربوا الأرقام حيث واجهوها بـ 0,133.

كذلك تم استخدام عدد محير من الوحدات لوصف العمق والضغط تحت الماء. ولقد قدمت الأعماق كلها بالأمتار: وبإمكانك أن تحولها إلى أقدام بضربها بـ3,28. تقاس الأعماق تقليدياً بالقامة وهي وحدة مشتقة من طول ذراعي رجل على امتدادهما. تبلغ القامة ست أقدام أو 1,83 م. يشار إلى الضغط تحت الماء، عادة بوحدات الضغط الجوي (أو البار). ولقد فعلت ذلك هنا أيضاً. والبار (وحدة ضغط جوي واحدة) يساوي 760 تور أو 15 رطلاً إنكليزياً لكل بوصة مربعة. وفي صناعة الغوص، يوصف الضغط أيضاً بحسب العمق، أي حسب الأمتار من ماء البحر (أ.م.ب.): فـ 10 أ م ب يساوي 1 بار وعلى عمق 30 أ م ب يكون الضغط 4 بار نظراً لأن الضغط على سطح الماء هو 1 بار وتحت الماء هو 3 بار.

ثمة ثلاثة مقاييس حرارة مختلفة قيد الاستعمال العام. اثنان منها معروفان على نطاق واسع: المقياس المئوي (أو سليسيوس) ومقياس فهرنهايت. وقد استخدمت المقياس المئوي لأنه ليس المقياس الذي يستخدمه علماء الحياة فحسب. وأيضاً لأنه يستخدم بصورة خاصة في أنحاء أوروبا كلها. في المقياس المئوي، درجة الصفر هي الدرجة التي يتجمد فيها الماء ودرجة المئة هي التي يغلي فيها الماء عند مستوى سطح البحر. أمّا الدرجتان الموازيتان لهما على مقياس فهرنهايت فهما 32 ف و212 ف. ولكي نحول الدرجات المئوية إلى فهرنهايت نضرب الرقم المئوي بـ 1,8 ثم نضيف 32. أما تحويل الفهرنهايت إلى درجات مئوية فيكون بطرح 32 ومن ثم التقسيم على 1,8.

يستخدم الفيزيائيون مقياس كالڤن الذي يعبر فيه عن درجة الحرارة بالنسبة إلى درجة الصفر المطلق (ـ 273° مئوية) وهي أدنى درجة حرارة ممكنة. لذا فإن الحرارة بالدرجات المطلقة هي ببساطة درجات الحرارة المئوية إضافة إلى 273.

تقاس كمية الطاقة المخزونة في أنسجة المرء عن طريق الأشعة الممتصة (الجرعة الممتصة) بوحدات غراي (1 غ = أ جول لكل كيلوغرام من التأينات الممتصة). يعبر عن الجرعة على نحو معتاد أكثر بأنها «الجرعة الفعالة». وهي مقياس تعرض كامل الجسم ويتم الحصول عليها بضرب الجرعة الممتصة بالعوامل التي تأخذ بالجريان شتى الفعاليات لشتى أنواع الإشعاع في إتلاف أنسجة الإنسان. ويعبر عنها بالسيڤرت (فوق). أما الحد الأقصى طوال العمر لرواد الفضاء لدى «ناسا» فهو 4 س ڤ للرجال و3 س ڤ للنساء. ونظراً لأن السيڤرت وحدة كبيرة، تعطى جرعات الإشباع عادة بالميلسيڤرت (م.س.ڤ) أو مكروسيڤرت (HSV) فالسيڤرت يساوي 1000 مليسيڤرت أو مليون ميكروسيڤرت. وعندما تكون جرعات الإشعاع أكبر (كما هو الأمر بالنسبة إلى رواد الفضاء). غالباً ما يعبر عن الجرعة بوحدة غزاي وليس بالسيڤرت.

أخيراً أو إثر التجول الذي جرى في الولايات المتحدة (وليس المملكة المتحدة) فقد استخدمت البليون لأدل على الـ 1000 مليون (10^9).