الفصل 3

الطاقة نفسها

ما هي الطاقة؟

كنت أدرِّسُ الطاقة البيولوجية في مدينة كامبريدج لعدة سنوات قبل أن أدرك أنني نفسي لم أكن أفهم ما هي الطاقة! ويُقصد بالدروس في الصف أن تكون مريحة ولكن ينبغي أن تكون محادثة فكرية قوية بين الأستاذ وطالب أَو طالبين. وعلى كل حال، غالباً ما يتحدث الأساتذة دون أن يعرفوا شيئاً عما يتكلمون. وفي يوم جميل، اكتشفتُ أن هذا ينطبق عليَّ وعلى الطاقة. والمشكلة مع الطاقة أنها فكرة مجردة. وهذا جواب واحد عن السؤال «ما هي الطاقة؟»، «إنها مفهوم موجود في رأس العالِم». ولكن هنالك مشكلة دقيقة أُخرى وهي كيف تطور مفهوم الطاقة تاريخياً، وكيف أن الكثير من المعاني، غير منسجمة مع بعضها في كثير من الأحيان، قد تراكمت فوق الكلمات والرموز. ولذلك تَشجَّعْ ولا تيأسْ إذا لم تفهم معنى الطاقة في البداية. ولن يحرمك هذا بالضرورة من حقك في القيام ببحث

obeikandl.com

علمي أَو تدريس الطاقة البيولوجية في جامعة كامبريدج. وأنت، في مجال العلم، كما في مجال الحياة، غير مُلزم بالضرورة أن تفهم فكرة لكي تكون قادراً على استعمالها.

إن الطاقة، حسب الأَفكار العلمية الحالية، ليست مجال قوى غير مرئية، فتحرك الذراعين والساقين وتبتكر الأفكار، كشبح كريم يندفع هنا وهنالك ليحرِّك الجسم والعقل. والفكرة الحديثة عن الطاقة تشبه فكرة النقود. فالنقود تعطيك القدرة أن تشتري الأشياء المختلفة، وتأتي على أشكال متنوعة كالقطع النقدية المعدنية والورقية أَو على شكل شيكات أَو بطاقات اعتماد أَو حسابات مصرفية أَو سندات أَو ذهب.. إلخ. ويمكن أن تستعمل لشراء عدة أنواع من السلع كالقبعات ودور السكن والخيول. كما تسمح النقود بمقايضة هذه الأشياء حسب سعر محدد. وهكذا أستطيع أن أستبدل كمية محددة من القطع النقدية بحصان مثلاً. والطاقة عبارة عن قدرة من أجل تحريك أَو تغيير في الجهاز البدني أَو البيولوجي. وتأتي الطاقة في أشكال عدة كالطاقة الكيميائية أَو الطاقة الكهربائية أَو الطاقة الميكانيكية. كما يمكن أن تُستخدم «لشراء» عدة أشكال من التغيير كالحركة أَو التحول الكيميائي أَو التدفئة. وتقيس الطاقة مقدار المقايضة بين هذه الأشياء وبمعدل ثابت. إن مقداراً محدداً مثلاً من التحوّل الكيميائي يتطلب إنفاق كمية محددة من الطاقة الكيميائية. وهنالك اختلاف هام بين النقود والطاقة وهو أن النقود والقيمة المالية لا تتحوَّلان على نحو دقيق. إنك تستطيع أن تدفع 100،000 جنيه

إسترليني لشراء منزل في سنة من السنوات، ومن ثم تبيعه بمبلغ 110000 جنيهاً أَو 90000 في السنة التالية دون أن تغير أَو تُحسِّنَ شيئاً فيه، كما إن مبلغ 10000 جنيهاً لا يظهر أَو يختفي فجأة في أي مكان من الاقتصاد. إنك تستطيع أن تحرق 10 جنيهات وتختفي النقود على شكل دخان. والنقود لا تتحوّل إطلاقاً ولا القيمة المالية كذلك: أي ليس هنالك معادل اقتصادي للقانون الأول للديناميكية الحرارية. ولو كان هنالك ذلك المعادل، لكان الاقتصاد أسهل ولكن ربما كنا أفقر كذلك. إن الطاقة تتحوّل على نحو كامل، كما عبّر عن ذلك القانون الأول للديناميكية الحرارية الذي يقول إنه خلال أي تحوّل لأي نوع، تبقى الكمية الإجمالية للطاقة في الكون ذاتها. فلو استعملت مئة وحدة من الطاقة لكي ترفع صخرة مئة قدم في الهواء، ثم عدت بعد سنة وأنزلتها إِلى الأرض، فإن مئة وحدة من الطاقة سوف تطلق. وقد لا تطلق بأساليب مرغوب فيها كثيراً ـ قد تُطلق الطاقة على شكل حرارة أَو صوت أَو عمل، والأمر يعتمد على كيفية نزول الصخرة. ولكن عندما تحسب الطاقة المنطلقة، فإن المجموع الكلي سيكون مئة وحدة.

إن النقود أَو القيمة المالية مفهوم تجريدي لأنها تكمن في أشياء مختلفة كثيراً، كقطع نقدية معدنية أَو حساب مصرفي. والطاقة مفهوم تجريدي على نحو مشابه، وهي محتواة في أنواع مختلفة من الأشياء، ولكنها ليست هذه الأشياء، الطاقة، على الأصح، هي قدرة هذه الأشياء لتشكيل حركة أَو تغير. الطاقة ليست إضافة إِلى هذه الأَشياء

إنها في الواقع كمحاسب يدرس موقفاً لِيُقَيِّم القدرة اللازمة للحركة والتغير. فلو أن صخرة متوازنة على طرف هُوَّة سحيقة، فمن الممكن أن نستنبط أنّها إذا دُفعت إلى الهوة فإن الكثير من الطاقة سوف تنطلق على شكل حركة وصوت وحرارة.. إلخ. وقبل أن تتحرَّك الصخرة، لا تكمن الطاقة في الصخرة أَو الهوة أكثر من القيمة المالية التي تكمن في القطع النقدية أَو الحصان، ذلك لأن الطاقة أَو القيمة المالية ليست أشكالاً غامضة من المادّة، ولكنّها، على الأصح، أساليب لتقدير الإمكانية اللازمة للتغيير. والطاقة تقيس القدرة اللازمة للحركة أَو التغير المادي في أي موقف محدد.

الطاقة تشبه النقود ولكن لها شكل آخر. لا تحدد النقود كيف أَو متى ينبغي أن تُنْفق، فهذا أمر يحدّده الناس الذين يُنفقونها. وعلى نحو مشابه، قد يكون للصخرة المتوازنة فوق طَرف هُوَّة سحيقة الكثير من الطاقة، ولكن هذا الأمر لا يحدّد كيف أَو متى يمكن لها أن تقع. ولكن الطاقة تحدّد فيما إذا كان بالإمكان للصخرة أن تقع أَو لا تقع. كما أن وجود مليون من الدولارات لا يحدّد كيف أَو متى سوف تُنفق، ولكن النقود تَعني أنه يمكن شراء عدد من المنازل أَو كمية من الفريز أَو عدد من الخيول. وعلى نحو مشابه، إن وجود مليون وحدة من الطاقة لا يحدد كيف أَو متى سوف تُستخدم تلك الطاقة، ولكن هذا يعني أنه يمكن تشكيل مقدار من الحرارة أَو مقدار من الحركة أَو مقدار من الكهرباء.

أخبرنا الفيزيائي الأمريكي العظيم ريتشارد فينمان Richard

Feynman في محاضراته الشهيرة «محاضرات في الفيزياء»، فقال:

> «من الأهمية بمكان أن ندرك أنه ليس لدينا في فيزياء اليوم أي معرفة عن ماهية الطاقة. ليس لدينا صورة أن الطاقة تأتي على شكل نقاط صغيرة غامضة لمقدار محدد. إنها ليست كذلك. على كل حال، هنالك صيغ لحساب كميات عددية... إنها شيء مجرد على نحو لا تخبرنا به الآلية أو الأسباب المتعلقة بصيغ مختلفة».

الطاقة إذاً ليست شيئاً أو مادّة نستطيع أن نحسبها مستخدمين أرقاماً للتنبؤ. ولكن ليس لدينا فكرة عمّا هي الطاقة بحد ذاتها. وتبدو الطاقة كمفهوم حسابي مجرد كالنقود، تُقدر مقدار الحركة التي يمكن أن يشكّلها جسم محدد. يا له من أمر مُضْجر. ومع ذلك، ربما تكون الطاقة أثمن شيء أساسي في الكون. إن الطاقة هي الشيء الوحيد المستديم والذي يبقى من خلال كل التغير. كل شيء يمكن أن يتشكّل من الطاقة أو يتبدّد إليها، وكذلك المادّة ذاتها، وقد ظهر ذلك في الانفجارات الذرية ومعادلة آينشتاين الشهيرة $E=MC^2$ مربع سرعة الضوء × الكتلة = الطاقة، والآن نجد في هذا المخطط التجريدي تقريباً للأشياء أن الطاقة هي المادة الأساسية وبنية الكون، منها كل شيء ينشأ وإليها كل شيء يتبدّد في النهاية.

ولكن الطاقة ذاتها لا تُشكل حركة أو تغيراً. فإذاً ما هو الشيء الذي يفعل ذلك؟ قال نيوتون إن كل الحركة أو التغير ناتج عن القوى. وفي حياتنا نجد نوعين منها فقط: قوة الجاذبية والقوة

التلامسية. تَجُرُّ قوةُ الجاذبيَّة كلَّ شيء نحو مركز الأرض وتجعل كل الأجسام السماوية (وغير السماوية) تجذب بعضها بعضاً. وتحدث القوى التلامسية عندما ندفع أَو نجر شيئاً أَو عندما أرفع كرسياً أَو عندما تصدم سيارة عامود كهرباء أَو عندما يثور بركان. ويوجد جاذبيَّة لأن كل جزء من المادّة تنجذب إِلى كل جزء آخر منها. وينتج عن ذلك تسارع بعضها إِلى البعض الآخر. وليست القوى التلامسية إِلاَّ مظاهر مختلفة لقوة شديدة جداً: هي القوة الكهربائية. وهي قوة جذب وتنافر في كل المادّة المشحونة. وقوة الجاذبيَّة والقوة الكهربائية هما السببان وراء كل حركة أَو تغير في كوننا. وهنالك قوتان أخريان معروفتان وهما: القوة النووية القوية، والقوة النووية الضعيفة، ولكن مجال عملهما ضئيل، ويمكن أن يُشاهد فقط بفتح نواة الذرة. وليس للقوى النووية أثر ظاهر على البيولوجيا أَو حياتنا اليومية.

ومع أن قوة الجاذبيَّة هامة للأَشياء الكبيرة، أمثالنا، لكن ليس لها شأن للأَشياء الصغيرة كالخلايا. إن القوة الكهربائية أقوى بألف مليون مليون مليون مليون مليون مرة تقريباً من قوة الجاذبيَّة. وهي القوّة الوحيدة التي لها شأن على مستوى الجزيئات والخلايا. إن قوة الجاذبيَّة تسبِّب تجاذباً ـ أي أن جسمين سوف يتسارعان باتجاه بعضهما. أما القوّة الكهربائية فتسبِّب إما تنافراً أَو تجاذباً، والأمر يعتمد على ما إذا كانت المادة تحمل شحنات مختلفة أَو الشحنات نفسها: أي الأضداد تتجاذب والأمثال تتنافر. ويحمل الإلكترون شحنة سالبة، ويحمل البروتون شحنة موجبة. ويمكن اعتبار كل

الأَشياء، وأجسامنا من ضمنها، مكونة من ترتيب مختلف للبروتونات والإلكترونات (ويوجد نيوترونات كذلك، ولكن ليس لها شحنة، وتسلك سلوك الإلكترون والبروتون المتلازمين). وتتكون الأَشياء التي نراها يومياً من عدد متساو تقريباً من الإلكترونات والبروتونات. ولو لم يكن الأمر كذلك لَشكَّلت الزيادة في الشحنة الموجبة أَو السالبة قوة كبيرة دافعةً (أَو مفجرةً) الشحنة الزائدة، تاركة مجموعة محايدة من الإلكترونات والبروتونات. وقدرة القوّة الكهربائية هائلة للغاية. فلو وقف شخصان على بُعد ذراع من بعضهما، وفي جسم كل منهما نسبة واحد بالمئة من الإلكترونات أكبر من البروتونات لانفجرا إرباً إرباً بقوة كهربائية كافية لتحريك وزن الأرض.

إن قدرة القوّة الكهربائية ليست دائماً واضحة على مستوى الحياة اليومية، ذلك لأن معظم الأَشياء تحتوي على توازن من البروتونات والإلكترونات، ولذلك ليس هنالك قوة واضحة بين الأَشياء. ولكننا نلاحظ فعلاً هذه القوة عندما تقترب الأَشياء من بعضها وتشعر الإلكترونات بعضها ببعضها الآخر. فعندما تَرفعُ فنجاناً بإصبع، فإن الإلكترونات الموجودة على سطر إصبعنا هي التي تُنَفِّرُ الإلكترونات الموجودة في الفنجان. وعلى نحو مشابه، يعود سبب كل القوى التلامسية (عندما يلمس شيء شيئاً آخر أَو يدفعه أَو يحطمه) إِلى تنافر الإلكترونات. إذا أردت أن تعرف مباشرة كيف يكون ملمس الإلكترونات، فما عليك إِلاَّ أن تلمس شخصاً ما بيدك ـ وما كل الذي تلمسه إِلاَّ إلكترونات.

ربما نتخيل أن القوى تضعف وتضعف داخل الجسم. والحقيقة هي عكس ذلك. فعلى مستوى الجزيئات، تكون القدرة الكهربائية أقوى على نحو لا يمكن تصوره، لأن شدة القوة تتضاعف أربع مرات في كل مرة تصغر المسافة بين الشحنات إلى النصف. ولأن كتلة الجزيئات صغيرة جداً فإنها تلاقي تسارعاً وتباطؤاً هائلين، قافزة حول الخلية كبلايين من كرات لعبة كرة الطاولة في حالة السرعة.

على نحو أساسي، كل ما يجري في الجسم ناشئ عن إلكترونات وبروتونات يصدم بعضها البعض الآخر ثم تعيد ترتيب نفسها. وهنالك ترتيبات من البروتونات والإلكترونات أكثر استقراراً من غيرها، أي إنها تدوم مدة أطول من غيرها. ونحن نسمي هذه الترتيبات المستقرة جزيئات. فعندما تصطدم الجزيئات بعضها مع بعضها الآخر، فإنها يمكن أن تتحطم ثم تعيد ترتيب نفسها مشكّلة جزيئات جديدة. وللترتيبات الجزيئية المختلفة طاقات مختلفة متعلقة بها ـ ناشئة عن ترتيب خاص للبروتونات والإلكترونات داخل الجزيء. إن جزيئاً، مثلاً، يمكن أن يحتوي على عدد من الإلكترونات متراصة مع بعضها ـ مشكّلةً ترتيباً يتطلب الكثير من الطاقة، لأن على إلكترونات أن تنضغط معاً لتواجه التنافر القوي لشحناتها السالبة. ولكن لو تحطم ذلك القسم من الجزيء إلى أجزاء ثم ترتبت ثانية، فإن الكثير من هذه الطاقة سوف تطلق بينما تتبدّد الإلكترونات المختلفة والجزيئات المرتبطة بها بعيدة عن بعضها. وهذا ما يحدث مع ATP، وهو جزيء لازم لتحويل الطاقة في الخلية.

وهكذا نجد أن لبعض ترتيبات البروتونات والإلكترونات طاقة أكبر من ترتيبات مختلفة أُخرى. وإذاً، تحويل ترتيب أَو تحويل جزيء إِلى آخر يتطلب طاقة أَو إطلاق هذه الطاقة، وهذا يعتمد على ما إذا كان للترتيب الجديد طاقة أكبر أَو أصغر من الترتيب القديم.

يقوم العمل البارع والأساسي للحياة الحيوانية على أخذ الجزيئات من البيئة وترتيبها ثانية على نحو يكون لها طاقة منخفضة. أما الطاقة الزائدة فينبغي أن تُطلق. ولكن الإطلاق العشوائي للطاقة أمر غير مرغوب فيه، وإطلاقها يشكِّل حرارة فقط. علينا أن نضمن مرور الطاقة إِلى الجزيئات الأُخرى ومن ثم استعمالها لتحريك العضلات أَو لنقل الذرات أَو بناء الجزيئات. ويقوم العمل الحاذق على أخذ الجزيئات (الطعام والأوكسجين) من البيئة وإعادة ترتيب البروتونات والإلكترونات على نحو يكون التنافر قليلاً بين الإلكترونات داخل الجزيئات. وعلى كل حال، لا يستطيع الجسم أن يتحمّل إطلاق الطاقة على شكل حرارة لأن الكائنات الحية لا تستطيع أن تستخدم الحرارة كمصدر للطاقة لأسباب كان قد أدركها كارنوت Carnot في أوائل القرن التاسع عشر. إن الطاقة وحدها غير كافية لتزويد الحياة بالقوة المحركة. هنالك شيء أكثر شأناً يحرك كل العمليات الحية. إروين شرودينجر (الفيزيائي النمساوي العظيم ومبدع ميكانيكا الكم) دعى ذلك الشيء بكلمة الإنتروبيا السالبة (أو negentropy). ولكي نفهمها علينا أن ندرس القانون سيء السمعة وهو القانون الثاني للديناميكية الحرارية.

القانون الثاني وسر الحياة

إنه لأمر مغرٍ أن نتغاضى عن القانون الثاني بتكتم، آملين أن نتجاهله دون أن يلاحظ أحد ذلك. والسبب أنها فكرة زَلِقَة وسيئة السمعة، تماماً كقشرة موز ملقاة على الرصيف، ولكن لماذا لا نجتاز الطريق بحذر متفادين بذلك النظر بإمعان؟ ولكن بأمانة ودقة، إن القانون الثاني جميل ومكتَنَف بالأسرار. وقد وصفه بعض العلماء المبدعين بأنه أعظم منجزات البشرية. سي. پي سنو C. P. Snow في مقالته «الثقافتان» قارن قيمته الثقافية بقيمة شكسبير الثقافية، والجهل به بالنسبة لأولئك الذين يطمحون أن يكونوا «مثقفين» كالجهل بمسرحيات شكسبير. كان سنو Snow يقصد بذلك المفكرين الذين أدانوا جهل العلماء الواضح في مسائل ثقافية كلاسيكية دون أن يدركوا أن هنالك ثقافة علمية بديلة وصحيحة كثقافتهم. وعلى كل حال، سواء كنا نطمح أن نكون «مثقفين» بهذا المعنى أم لا، فإن القانون الثاني شيء أساسي من أجل فهم أي تغيّر، تماماً مثل نظرية داروين Darwin عن الاصطفاء الطبيعي نظرية أساسية من أجل فهم التطور. ولكن القانون الثاني شيء زَلِق: فهناك الكثير من التفاسير بقدر ما هنالك من المفسرين تقريباً. فإذا كنت قلقاً فيما يتعلّق بقشرة الموز فيمكنك أن تتفادى النظر بإمعان وأن تتخطى هذا القسم إلى قسم آخر.

ينشأ القانون الثاني عن المبدأ الذي يقول إنه إذا أفسدنا (هزهزنا) ترتيب شيء ما فإن مكوناته سوف تتبعثر. وهكذا، إذا وضعنا مكعبات

أطفال فوق بعضها في علبة معدنية، فإن المكعبات سوف تتبعثر عشوائياً، سواءً كانت المكعبات مرتبة أصلاً فوق بعضها على نحو أنيق، أَو تجمعت في إحدى زوايا الصندوق أَو انفرزت إِلى ألوان، فإنها بعد تحريكها ستترتب على نحو أكثر عشوائية. وستصبح المكعبات غير مرتبة فوق بعضها ومنتشرة هنا وهناك من العلبة وسوف تختلط الألوان بعضها مع بعض. ولكن العكس لا يحدث. فإذا حركنا المكعبات المبعثرة في العلبة بدون تمييز، فإنّها لن ترتب نفسها على نمط منظم. ويعود السبب إِلى المبدأ العام: إذا خضع ترتيب لتشويش عشوائي فإنه سيتبعثر على نحو عشوائي مع الزمن، ولن يصبح أكثر ترتيباً. لماذا؟ لأن التبعثر العشوائي أسهل بكثير من التبعثر المرتب. إن التبعثر العشوائي ليس تبعثراً دقيقاً. إنه تبعثر مختلف كثيراً، وليس فيه حقيقة مشتركة سوى التبعثر العشوائي. بينما التبعثر المرتب (كفرز المكعبات الملونة على شكل مجموعات) تبعثر دقيق ولا يمكن أن يكون كذلك إِلاَّ بعدد قليل من الطرق. وهكذا، إذا خَضَعَتْ المكونات (المكعبات) إِلى تشويش عشوائي (كانتقال المكعبات كيفما اتفق بين المجموعات) فإن من المحتمل جداً أن كل تشويش سيؤدي إِلى مزيد من التبعثر العشوائي (مثلاً، انتقال مكعب من المكعبات الزرقاء الكثيرة من المجموعة الزرقاء إِلى المجموعة الحمراء) وليس إِلى تبعثر أكثر ترتيباً. (انتقال المكعب الأحمر الوحيد في المجموعة الزرقاء إِلى المجموعة الحمراء) هذا هو جوهر القانون الثاني.

يمكن شرح المبدأ نفسه على نحو أكثر وضوحاً، وذلك

بمجموعة من ورق اللعب. إذا بدأنا بالأوراق وهي مرتبة، أي جميع أَوراق اللعب ذات النقش الواحد، بدءاً من الآص إِلى الاثنين، ومن ثم خلطناها كثيراً (أي خلط عشوائي) فإننا نصل في النهاية إِلى نمط غير مرتب من الأَوراق. ولكن العكس لا يحدث. فإن من النادر جداً أن نرى مجموعة غير مرتبة من ورق اللعب تصبح مرتبة بخلط أَوراقها. ويعود السبب إِلى أن هنالك فقط بضع ترتيبات مختلفة يمكن أن تعتبر مرتبة. بينما هنالك الملايين من الترتيبات الأُخرى التي تُرى أنّها غير مرتبة. عندما نخلط الأَوراق، فإنها تنتقل من ترتيب اختير عشوائياً إِلى ترتيب عشوائي آخر. إذا كان هنالك ترتيب منظم واحد، ومليون ترتيب غير منظم، إذاً الترتيب الذي اختير عشوائياً (نتيجة الخلط) له فرصة من مليون فرصة أن يتحوّل إِلى ترتيب منظم، ولكن من شبه المؤكد سيتحول إِلى ترتيب غير منظم.

إن نوع النظام الذي يتعامل معه القانون الثاني هو، عموماً، مجموعة من الجزيئات يصطدم بعضها مع بعضها الآخر، كقطعة من الخشب، أَو حيوان، أَو الشمس، أَو الخلية، أَو الكون. والتشويش العشوائي تسبِّبه الحرارة الموجودة في النظام: كل شيء درجة حرارته أعلى من الصفر المطلق يتكون من جزيئيات ترتعش عشوائياً. وما الحرارة إِلاَّ جزيء يهتز على نحو عشوائي، بمعنى أن جزيئات مختلفة يصطدم بعضها مع بعضها الآخر في اتجاهات عشوائية بمعدل سرعات مختلفة وأوقات مختلفة. ويسبب هذا الإهتزاز إعادة تبعثر مادة وطاقة النظام. وبما أن الإهتزاز عشوائي، فإن التبعثر الجديد للمادّة والطاقة

يكون أكثر عشوائية من قبل. تخيل مجموعة من الجزيئات موجودة في زاوية من العلبة: إن الهزهزة الحرارية ستبعثرها جميعاً مرة أُخرى. وإذا تحركت بعض الجزيئات في العلبة أولاً بأسرع من جزيئات أُخرى، فإن تصادماً عشوائياً سيعيد تبعثر الطاقة على نحو أكثر انتظاماً. وإذا كان هنالك أنواعاً أُخرى من الجزيئات موجودة في أقسام أُخرى من العلبة، عندئذٍ ستخلطهم الهزهزة العشوائية معاً. وإذا وضعنا سائلين (عصير البرتقال وعصير العنب الأسود مثلاً) فوق بعضهما (كما يُصر ابني البالغ من العمر أربع سنوات) سيمتزجان معاً في النهاية، كما أنه تبعثر عشوائي أكثر للجزيئات. فإذا كانت الحرارة مرتفعة على نحو كاف بحيث تبدأ الذرات تتبعثر ثانية بين الجزيئات، (منفصلة عن بعض وملتصقة بأُخرى) إذاً، نصل إلى ترتيب أكثر عشوائية للذرات الموجودة بين الجزيئات. ولذلك إذا «استطاع» جزيئان أن يتفاعلا كيميائياً فسوف يتفاعلان في الواقع حتى يكون هنالك كمية معتبرة من الجزيئات الناتجة.

المدى الذي تتبعثر فيه عشوائياً مادة وطاقة الأنظمة (كالعلبة المليئة بمكعبات الأطفال) يمكن أن يُقاس كما أنه يسمى «الإنتروبيا» entropy. وللنظام العشوائي إنتروبيا عالية، وللنظام المرتب إنتروبيا منخفضة. ولذلك يمكن للقانون الثاني أن ينص كما يلي: «تزداد الإنتروبيا دائماً أثناء أي تغير». ابتُكِر مفهوم الإنتروبيا من قبل كلوسيوس Clausius، ولكن معناها الحقيقي بلغة الذرات والجزيئات اكتشفه فقط الفيزيائي النمساوي لودويغ بولتزمان Ludwig Boltzmann

في القرن التاسع عشر. ولسوء حظ بولتزمان، لم تكن الذرات حينئذ رائجة، وتفسيره للتغير بلغة حركة الذرات بلا هدف دفع البعض إلى الاعتقاد أنه قَوَّض الهدف في الكون. وهذا مشابه لتقويض داروين سابقاً للهدف في البيولوجيا. ومع أن بولتزمان اعتُرِف به كفيزيائي عظيم في عصره، إلاَّ أن معاصريه سخروا منه، فقتل نفسه أثناء نوبة اكتئاب. ولكن قبره في مدينة ڤيينا يحمل وصية من تراثه وهي معادلة بسيطة تَنْسبُ الفوضى إلى الإنتروبيا ($S=K.\log W$ حيث S هي كمية الإنتروبيا K عدد ثابت ـ الآن يعرف باسم ثابت بولتزمان ـ W عدد الطرق الممكنة لترتيب المادّة والطاقة لنظام ما لتحقيق الحالة نفسها و«log» تعني فعلاً أن الزيادة المضاعفة في W تزيد S بعدد صغير نسبياً).

إن تحرك جسم، رصاصة مثلاً، يشتمل على كل الذرات المتحركة في الاتجاه نفسه والسرعة نفسها والوقت نفسه. وحرارة الجسم، من جهة أُخرى، تشتمل على كل الجزيئات التي تتحرَّك في اتجاهات مختلفة وسرعات مختلفة وأوقات مختلفة. وهكذا عندما تتحوّل الطاقة من حركة الجسم إلى حرارة (عندما تضرب الرصاصة جداراً مثلاً) فإن طاقة النظام تصبح مبعثرة على نحو أكثر عشوائية. وحسب القانون الثاني، هذه عملية طبيعية لا يمكن عكسها: طاقة الحركة يمكن أن تتحوّل إلى حرارة لأن المادّة والطاقة تصبحان أكثر تبعثراً. أما العكس فلا يمكن أن يحدث: الحرارة لا يمكنها أن تتحوّل (كلياً) إلى حركة، لأن هذا الأمر يتطلب النظام ليصبح مرتباً. وكل

الذرَّات التي تتحرَّك في اتجاهات مختلفة في أوقات مختلفة عليها أن تُرتّب نفسها بطريقة أَو بأُخرى لتتحوّل في الاتجاه نفسه والوقت نفسه، وهذا أمر مستحيل حسب القانون الثاني.

إن استخدام كلمة «طبيعي» في تعبير يقول إن الإنتروبيا تزداد دائماً لأمر هام. إن التدخل بالنظام قد يجعله أقل عشوائية وأكثر ترتيباً. يمكننا أن نرتب حركة الذرَّات الفردية بتنسيق تشكيل حركة منظمة. يمكننا أن نأتي بوقود أَو محرّك لنحافظ على ترتيب نظام أَو نزيد في ترتيبه. ولكن هذا يتطلب إدخال الترتيب المستمر إِلى النظام أَو إبعاد الفوضى عنه. وإذا أخذنا بعين الاعتبار التغيرات خارج النظام أَو داخله، فإن القانون الثاني لا يزال صحيحاً: إن المجموع الكلي في الإنتروبيا الناشئة عن أي تحول يجب أن يزداد دائماً.

إن الحرارة من أشكال الطاقة غير المنظمة. ولذلك، في أي عملية طبيعية، إن تحويل الطاقة المخزونة أَو طاقة الحركة إِلى حرارة سيزيد الإنتروبيا كثيراً. في معظم العمليات التي تجري حولك، تُطلق الحرارة من شكل مخزون للطاقة. أما العكس فمستحيل حسب القانون الثاني. وهذا يُفسر لماذا نحتاج طاقة مخزونة لكي نقوم بأي عمل، والسبب هو أنّه خلال أي عملية، بعض الطاقة المخزونة سوف تتحوّل إِلى حرارة ولا نستطيع أن نحوّلها ثانية إِلى طاقة مخزونة. وإِلى حد ما، إنه تحويل الأشكال الأُخرى من الطاقة إِلى حرارة الذي يحرّك كل العمليات في العالم. ولكي نتمكّن من الاستمرار بالقيام بالأعمال المختلفة، علينا باستمرار تجديد طاقتنا المخزونة من أي

مكان. ومع أننا محاطون بمحيط شاسع من طاقة الحرارة، فإننا لا نستطيع أن نحوّلها إلى أشكال أُخرى بسبب القانون الثاني. إن طاقة الحرارة مفيدة فقط إذا توفرت بدرجة عالية. ويمكن التخلّص منها عندما تكون بدرجات منخفضة، والسبب أن انتشار الحرارة من الدرجة العالية إلى الدرجة المنخفضة عملية ذاتية طبيعية. وهذا يزيد الإنتروبيا، ولذلك يمكن أن تستعمل للقيام بعمل ما. تلك كانت فكرة حاسمة أدركها كارنوت Carnot على نحو غامض في القرن التاسع عشر.

ولكن إذا كان كل شيء يتجه نحو عدم الترتيب والعشوائية والفوضى فكيف نفسِّر وجود الكائنات الحية التي هي بُنى منظمة على نحو مذهل؟ كيف تنشأ الشجرة المعقدة من البذرة؟ كيف نُفسِّر خلق جناح طائر أَو عين أخطبوط أَو شبكة عنكبوت؟ مما لا شك فيه، إن نتيجة هذه العمليات الخلاقة أكثر تعقيداً وغير عشوائية وأكثر تنظيماً من مكوناتها. فهل ضعفت الإنتروبيا إذاً؟ وهل تَنْتَهِكُ الحياة نَفْسُها القانونَ الثاني؟. من الممكن إن نقول إن الحياة انتهكت روح القانون الثاني ولكن ليس حرفيته. علينا أن ننظر إلى جميع المكونات الأولى والنتائج النهائية. إن خلق جناح الطائر وعين الأخطبوط وشبكة العنكبوت لم تكن التغيرات الوحيدة. فقد احترق الكثير من الطعام وأُطْلِق الكثير من الحرارة. وقد سبَّب إطلاق الحرارة إلى المحيط ارتفاع الإنتروبيا في المحيط (فوضى). فإذا حسبنا الزيادة في إنتروبيا البيئة والنقص في إنتروبيا الحيوان، نجد أن هنالك زيادة في النهاية.

وهذه العملية تقرب المخلوقات الحية من القانون الثاني: إنقاص الإنتروبيا الخاصة بالمخلوقات الحية (فوضى)، وفي الوقت نفسه إدخال طاقة (منظمة) مخزونة وإخراج طاقة (غير منظمة) الحرارة. وهكذا نجد أن الحياة تُخْرِجُ الفوضى لتزيد في نظامها. ولذلك قال شرودينجر Schrödinger أيضاً إن الحياة تقوم على الإنتروبيا السالبة. والإنتروبيا السالبة (نظام)، والحياة تقوم على الغذاء المنظم أَو الضوء (إنتروبيا سالبة) طارحة الحرارة غير المنظمة (الإنتروبيا).

تُواجه الحياةُ مشكلة وهي أن معظم العمليات الضرورية لاستمرارها عمليات غير تلقائية (أَو غير طبيعية) لأنها تؤدي إِلى المزيد من المادة أَو الطاقة. فعلى الخلية مثلاً أن تجمع الجزيئات المبعثرة عشوائياً معاً وتكون جزيئات منظمة معقدة (مثل DNA) والبنية الخلوية. ولكن كيف للحياة أن تُنشئ هذا النظام دون مخالفة القانون الثاني؟ والجواب هو «التقارن»، فالحياة تقرن العملية المحظورة التي تُنْقِص الإنتروبيا وذلك بعملية تلقائية أُخرى التي تزيدها حتى يكون هنالك زيادة في الإنتروبيا في النهاية. تستطيع الخلية مثلاً أن تجمع الجزيئات من داخلها وخارجها، وهكذا تَنْقُص الإنتروبيا وذلك بإقران هذه العملية بنقل الصوديوم إِلى داخلها، الأمر الذي يزيد الإنتروبيا لأن هنالك صوديوم خارج الخلية أكثر من داخلها. ويجري التقارن بآلة جزيئية تقع في غشاء الخلية (الجدار الرقيق الذي يحيط بالخلية) التي تسمح للصوديوم بدخول الخلية عندما يكون مصحوباً بجزيء تريده الخلية. وتعمل الآلة الجزيئية كَبَوَّاب يَقرِن نقل الصوديوم إِلى

خلية جزيئات أُخرى مطلوبة، ودخول (أَو خروج) واحدة منها لا يمكن أن يحدث بدون الأُخرى. وعلى نحو مشابه تصنع الخلية DNA بإقران عملية باعثة للنظام بعملية غير باعثة للنظام ـ أي انحلال ATP. إن ATP مصدر (أَو تيار) طاقة وله هدف عام داخل الخلية، وانحلاله أَو إدخال الفوضى إليه يمكن إقرانه بعمليات تنظيم أساسية كاصطناع DNA بالآلات الخليوية. ولكن هذه العملية لا يمكن، على كل حال، أن تستمر إِلى الأبد، وفي النهاية (وخلال بضع ثوان في الواقع) ينبغي على ATP أن يتكون ثانية كما ينبغي على الصوديوم أن يخرج من الخلية ثانية. ولكن هذه العمليات تُنقص الإنتروبيا ولذلك ينبغي أن تقرن بعمليات أُخرى لكي تزيدها. وهكذا تحتاج الخلية إِلى سلسلة من عمليات الإقران، التي هي في الواقع مرتبطة بإحراق الطعام، ومصانة باستمرار بإدخال الطعام والأوكسجين من الخارج وإخراج ثاني أوكسيد الكربون والحرارة. هذه هي العملية البارعة الرئيسية للحياة، أي إقرن العمليات التي تريدها ولكنها مستحيلة بعمليات ممكنة ويمكن سد نقصها باستمرار.

سلسلة الطاقة التي تربط كل حدث جزيئي في الجسم لا تنتهي في البيئة مباشرة خارج أجسامنا. الطعام والأوكسجين الذي نتناوله ليزودنا بالقدرة يجب أن يُسَد نقصهما في مكان ما، وإلاَّ يستنفدان بسرعة. ينبغي على الحيوانات أن تتغذى بحيوات أُخرى أَو بالنباتات، لتستخدمها كمصدر للطاقة، وبالتالي تربطها بسلسلة غذائية أَو بشبكة من الطاقة. وعلى نحو أساسي، إنها نباتات العالم التي تشكِّل وتسد

النقص في طاقة الطعام والأوكسجين اللذين يزودوننا بالقدرة إضافة إلى الحيوانات الأُخرى في العالم. ولكن من أين تأتي النباتات بالطاقة؟ أَمِنَ الأرض؟ لا. إن معظم الطاقة الموجودة على الأرض تأتي من الشمس. وربما كان القدماء على صواب أن يروا في الشمسِ قوةً عظمى، ومصدراً لكل الأشياء الدنيوية. وشمسنا (وهي نجم) تُطلق إلى الفضاء الخالي كميات مذهلة من الطاقة على شكل ضوء. أما نباتات الأرض فتأخذ منه كمية ضئيلة للغاية وتستخدمها كقدرة لتحويل الماء وثاني أوكسيد الكربون إلى جزيئات معقدة (تصبح بدورها طعاماً للحيوانات) وإلى أوكسجين (ينطلق في الهواء). ويقول القانون الثاني، إن تحويل الأوكسيد والهواء إلى كل الأشكال غير الممكنة للحياة، يصبح ممكناً بإقران هذا بتحويل نور النجم الصافي إلى طاقة حرارية عشوائية.

والآن أصبحتَ تَعرفُ «سر الحياة» و«القانون الثاني» كذلك. فأنت مؤهل أن تدعو نفسك شخصاً «مثقفاً»، على الأقل كما قال سي بي سنو C. P. Snow. على كل حال، وقبل أن تسارع إلى حفلة العشاء تلك، من الأفضل أن تراجع شكسبير.