كتاب العربية
63

الثقافة العلمية للجميع

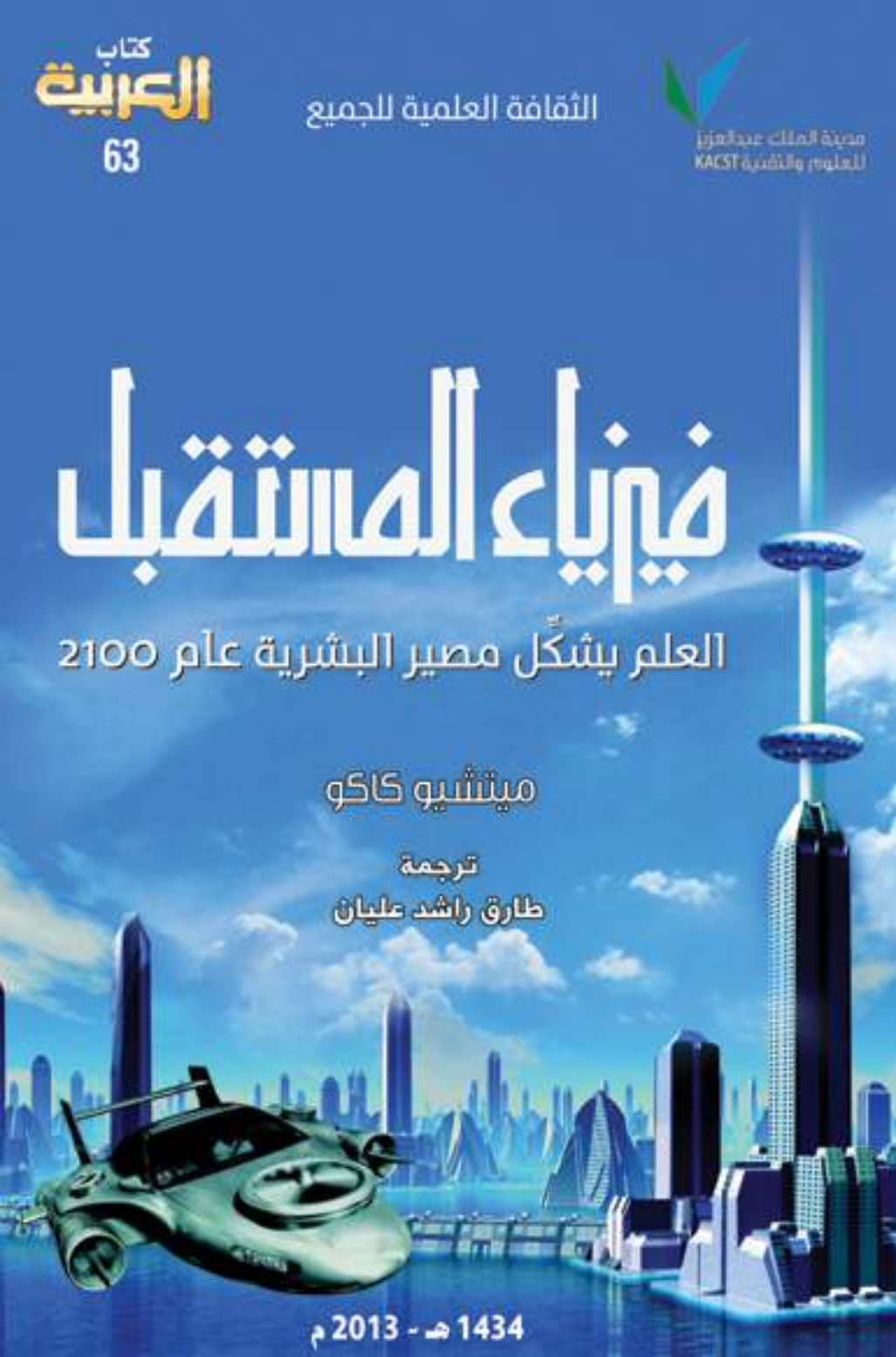
مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية KACST

فيزياء المستقبل

العلم يشكّل مصير البشرية عام 2100

ميتشيو كاكو

ترجمة
طارق راشد عليان



1434 هـ - 2013 م

فيزياء المستقبل

العلم يشكِّل مصير البشرية عام 2100

ⓒ المجلة العربية، 1434هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

كاكو ، ميتشيو

فيزياء المستقبل : العلم يُشكل مصير البشرية عام 2100م. / ميتشيو كاكو ؛ طارق راشد عليان.

– الرياض، 1434هـ

716 ص؛ 21x14 سم (إصدارات المجلة العربية ؛ 63)

ردمك: 7 – 11 – 8086 – 603 – 978

1 – التقنية أ.عليان ، طارق راشد (مترجم) ب.العنوان ج.السلسلة

ديوي 620 143/8107

رقم الإيداع: 1433/8107

ردمك: 7 – 11 – 8086 – 603 – 978

Physics of the Future

MICHIO KAKU

Anchor Books

ADivision of RANDOM HOUSE ,INC

New york

First Edition,

February 2012

ضمن التعاون المشترك بين المجلة العربية ومدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية

«الثقافة العلمية للجميع»

جميع حقوق الطبع محفوظة، غير مسموح بطبع أي جزء من أجزاء هذا الكتاب، أو اختزانه في أي نظام لاختزان المعلومات واسترجاعها، أو نقله على أية هيئة أو بأية وسيلة سواء كانت إلكترونية أو شرائط ممغنطة أو ميكانيكية، أو استنساخاً، أو تسجيلاً، أو غيرها إلا في حالات الاقتباس المحدودة بغرض الدراسة مع وجوب ذكر المصدر.

فيزياء المستقبل

العلم يشكِّل مصير البشرية عام 2100

تأليف

ميتشيو كاكو

ترجمة

طارق راشد عليان

الطبعة الأولى

1434هـ - 2013 م

كتاب العربية

63

63

رئيس التحرير

د. عثمان الصيني

www.arabicmagazine.com

لمراسلة المجلة على الإنترنت

info@arabicmagazine.com

الرياض: طريق صلاح الدين الأيوبي (الستين) - شارع المنغلوطي
تليفون: 4778990 - 1 - 966 فاكس: 4766464 - 1 - 966
ص.ب 5973 الرياض 11432

المحتويات

- **مقدمة** 7
- **تمهيد** 21
- **الفصل الأول**
مستقبل الحاسوب العقل يسمو على المادة 41
- **الفصل الثاني**
مستقبل الذكاء الاصطناعي ثورة الآلات 127
- **الفصل الثالث**
مستقبل الطب المثالية وما بعدها 229
- **الفصل الرابع**
تكنولوجيا النانو كل شيء من لا شيء 335
- **الفصل الخامس**
مستقبل الطاقة طاقة من النجوم 411
- **الفصل السادس**
مستقبل رحلات الفضاء إلى النجوم 499
- **الفصل السابع**
مستقبل الثروة ... الرابحون والخاسرون 577
- **الفصل الثامن**
مستقبل البشرية الحضارة الكوكبية 639
- **الفصل التاسع**
يوم في حياة عام 2100 687

مقدمة

التنبؤ بالأعوام المئة المقبلة

«إمبراطوريات المستقبل هي إمبراطوريات العقل»

- ونستون تشرشل[1] Winston Churchill

عندما كنت طفلا، مررت بتجربتين ساعدتاني على تشكيل شخصيتي التي أتمتع بها اليوم كما أنهما ولدتا لديَّ عاطفتين ساعدتا على تحديد إطار لحياتي بأكملها.

الأولى، وقعت عندما كنت في الثامنة من عمري، أتذكر ساعتها جميع المعلمين وهم يهمهمون بآخر الأنباء، حيث توفي عالم جليل لتوه. وفي تلك الليلة، نشرت الصحف صورة لمكتبه الذي كان يعمل به، وفوق سطح المكتب مخطوطة بخط يده لكتاب لم يكتمل بعد. وكتب تعليقا على الصورة: إن أعظم علماء عصرنا لم يتمكن من إكمال تأليف أعظم مؤلفاته. وسألت نفسي عما يمكن أن يكون بمثل هذه الصعوبة لدرجة أن عالما عظيما كهذا الرجل لم يتمكن من إتمامه؟ وما الذي يمكن أن يكون

(1) ونستون تشرشل Winston Churchill: أحد أهم الزعماء في تاريخ بريطانيا والعالم الحديث، وكان قد شغل منصب رئيس وزراء بريطانيا خلال الحرب العالمية الثانية، وكان لخطاباته أثر كبير على قوات الحلفاء، حصل على جائزة نوبل في الأدب سنة 1953. (المترجم)

بهذه الدرجة من التعقيد والأهمية؟ وبالنسبة لي، فقد صار الأمر في نهايته أكـثر إثارة من أي جريمة قتل غامضـة، وأكثر إمتاعا من أي قصة مغامرات أقرؤها، وكان علي أن أعلم ما الذي تحويه هذه المخطوطة غير المكتملة.

وبعدهـا، تبينـت أن اسم هذا العـالم ألـبرت أينشتايـن Albert Einstein وأن المخطوطة التي لم تكتمل كانت ستمثل تتويجا لإنجازاته، وأن محاولته التوصل إلى (نظريـة كل شيء)، وهي معادلة ربما لا يزيد طولها عن بوصة واحدة، من شأنها أن تميط اللثام عن أسرار الكون وربما تتيح له التعرف على بعض الأمور الغيبية.

غـير أنني خضت تجربـة محورية أخرى في طفولتي عندمـا كنت أشاهد برامـج صباح السبـت التلفزيونيـة، لاسيما مسلسل (فلاش جوردون) Flash Gordon مـن بطولـة بستر كـراب Buster Crabbe.[1] فقد كانت أنفي تلتصـق بشاشة التلفاز كل أسبوع، حيث كنت أنتقل بطريقة سحرية إلى عالم الكائنات الفضائية الغامض وسفن الفضاء، والمعارك التي تستخدم فيهـا بنـادق الإشعاعـات، والمـدن المقامة تحـت سطح المـاء، والوحوش المخيفـة. وكنت مفتونا بذلك، وكانت تلك أولى تجاربي التي أتعرف فيها علـى عالم المستقبل. ومنذ ذلك الحـين، أشعر بتعجب طفولي كلما فكرت مليا في أمر المستقبل.

لكننـي بعد أن شاهـدت جميع حلقـات المسلسل، أدركـت أنه برغم استحـواذ (فلاش) على آهات الإعجـاب جميعها، فإن العالم د.زاركوف

(1) فلاش جـوردون Flash Gordon: مسلسـل أمريكي ظهر بين عامي 1938 و1940 ثم عرض بكثافة على المحطات التلفزيونيـة خـلال فترة الخمسينيـات والستينيات ولعب دور البطولـة فيه النجم الرياضي (بستر لينـدن كراب) (1908 – 1983) والذي لعب أيضًا دور طرزان في أعمال أخرى. (المترجم)

Dr. Zarkov كان بمثابة الصانع الحقيقي لنجاح المسلسل. لقد ابتكر السفينة الصاروخ، ودرع الاختفاء عن الأنظار، ومصدر الطاقة للمدينة التي أقيمت في السماء.. إلخ. فدون العالم، لا يوجد مستقبل. وربما حاز كل من الرجل الوسيم والمرأة الجميلة إعجاب المجتمع، في الوقت الذي تكون فيه جميع الابتكارات العجيبة التي تصنع المستقبل؛ نتاجا ثانويا لعلماء مجهولين لا يحتفي بهم أحد.

وبعدها، عندما كنت طالبا في المدرسة الثانوية، قررت أن أحذو حذو هؤلاء العلماء العظماء وأن أضع بعض ما تعلمته قيد الاختبار. لقد أردت أن أشكل جزءا من هذه الثورة العظيمة التي بدا من شأنها أنها ستغير وجه العالم. فقررت بناء (محطم ذري) atom smasher.[1] وطلبت من والدتي السماح لي ببناء معجل جزيئات بقدرة 2.3 مليون إلكترون فولت في المرآب. وفزعت والدتي في البداية بعض الشيء غير أنها منحتني موافقتها. وبعدها، توجهت إلى (وستنجهاوس) و(فاريان أسوشييتس)، فاشتريت 400 رطل من فولاذ المحولات، وما طوله 22 ميلا من السلك النحاسي، وجمعت معجل بيتاترون في جراج والدتي.

وفيما سبق كنت قد بنيت غرفة سحب ذات مجال مغناطيسي قوي وقمت بتصوير آثار (المادة المضادة) فوتوغرافيا.[2] غير أن تصوير المادة المضادة لم

(1) محطم ذري Atom Smasher: الاسم القديم لجهاز السيكلوترون وهو جهاز تحطيم أنوية الذرات. (المترجم)

(2) المادة المضادة Antimatter: أحد مفاهيم فيزياء الجسيمات التي أثارت جدلًا لم يحسم حتى الآن، ويعود تاريخ النظريات التي تحدثت عنها إلى ثمانينيات القرن التاسع عشر على يد العالم وليم هيكس. ويفترض فيها أن المادة المضادة مكونة من إلكترونات تحمل شحنة موجبة؛ أي أن كل جسيم في المادة التي نعرفها يقابله جسيم يحمل الشحنة المضادة له. (المترجم)

يكـن كافيا. لقد صار هدفي الآن إنتاج شعـاع من المادة المضادة. وكانت الملفات المغناطيسية للمحكم الـذري آنذاك قادرة بنجاح على إنتاج مجال مغناطيسـي ضخم بقوة 10 آلاف جاوس[1] (أي ما يعادل حوالي 20 ألف مرة قدر المجـال المغناطيسي لكوكب الأرض، وهو مجال كافٍ من حيث المبـدأ لجذب الشاكوش من يدك على الفـور). وامتصت الماكينة ما وصل إلى 6 كيلـو وات من الطاقة، فسحبت كل الكهرباء التي زودني المنزل بها. وكثـيرا ما كانت منصهرات المنزل تتلف، عندما كنت أدير الماكينة. (لا بد أن أمي المسكينة تساءلت فيما بينها لَمَ لم يرزقها الله بصبي يهوى لعب الكرة بدلا من ذلك).

فهنـاك إذن شغفان أصاباني بالحيرة طيلة حياتـي؛ رغبتي في فهم جميع قوانين الفيزياء في الكون لتضمها جميعا نظرية واحدة متماسكة الأركان، وكذلك ولعـي بمشاهدة المستقبل. وفي نهاية المطـاف، أدركت أن هاتين العاطفتين تكملان بعضهما البعض في واقع الأمر. إن مفتاح فهم المستقبل يكمن في الإمساك بتلابيب القوانين الأساسية التي تحكم الطبيعة ثم تطبيق تلـك القوانين على البيئة والآلة والعلاج من الأمراض، وهي العناصر التي ستعيد تعريف حضارتنا في المستقبل البعيد.

كانـت هناك فيما مضى، حسبما تبين لي، العديد من المحاولات الرامية للتنبـؤ بالمستقبـل، وكان الكثير منهـا مفيدا ويحمل رؤيـة ثاقبة، غير أنها

(1) جاوس Gauss: وحدة قياس المغناطيسية بنظـام سنتيمتر جرام ثانية والتي سميت على اسم العالم والرياضي الألماني الكبير كارل فريدريش جاوس (1777 – 1855). (المترجم)

كتبت في الغالب بأقلام مؤرخين، وعلماء اجتماع، وكُتّاب خيال علمي ومتنبئين بالمستقبل؛ أي أنهم أشخاص ينتمون لجهات خارجية يتنبؤون بعالم العلم دون معرفة مباشرة بالعلم ذاته. أما العلماء، وهم أهل المهنة وأصحاب الشأن الحقيقيون الذين يصنعون المستقبل فعلا داخل معاملهم، فكانوا منشغلين تماما بالقيام بفتوحات علمية، حيث لم يكن لديهم وقت لتأليف كتب يقرؤها عامة الناس تتحدث عن المستقبل.

ولهذا فإن كتابي هذا مختلف، وآمل أن يقدم هذا الكتاب للقارئ وجهة نظر أحد المنتمين لعالم العلوم عن الاكتشافات المعجزة التي تنتظرنا وأن يقدم النظرة الأكثر أصالة ومصداقية على عالم 2100.

وبطبيعة الحال، فإن من المستحيل التنبؤ بالمستقبل بدقة متناهية، ومن ثم أشعر أن أفضل ما في وسع المرء أن يصنعه؛ إنما هو استكشاف ما يدور داخل عقول علماء بلغوا ذُرى البحث العلمي، ويقومون بأعمال جليلة لأجل ابتكار المستقبل. إنهم مَن يصنع الأجهزة، والاختراعات، وأساليب العلاج التي تصنع الثورة الحضارية. وهذا الكتاب يحكي قصتهم، فقد سنحت لي الفرصة لأكون في مقام الصدارة من هذه الثورة العظيمة، بعد أن أجريت لقاءات حوارية مع أكثر من 300 من كبار علماء العالم ومفكريه وحالميه لصالح التلفزيون والإذاعة الوطنيين. لقد اصطحبت أيضا أطقم التصوير التلفزيوني إلى معامل هؤلاء لتصوير النماذج الأولى من أجهزتهم الجديرة بالإعجاب والتي ستغير وجه مستقبلنا. كان شرفا رفيعا لي وفرصة نادرة الحدوث أن أستضيف العديد من العلماء المتميزين لصالح تلفزيون بي بي سي، وقناة ديسكفري، وقناة ساينس؛ لأصور تلك الابتكارات

والاكتشافات الجديرة بالثناء لأولئك الحالمين الذين يملكون الجرأة على ابتكار المستقبل. إن تمتعي بالحرية في متابعة عملي في نظرية (الخيط)[1] (String theory)، بالإضافة إلى استراق السمع في الوقت نفسه لمتابعة الأبحاث رفيعة المستوى التي ستصنع ثورة خلال هذا القرن؛ أمر يجعلني أشعر بأنني أعمل في أحب وظيفة كنت أتمناها في مجال العلم، وأن حلم طفولتي يتحقق.

غير أن هذا الكتاب مختلف عن كتبي السابقة، ففي كتب مثل Beyond Einstein، وHyperspace ، وParallel Worlds، كنت أناقش الرياح الثورية الجديدة التي تهب على مجال تخصصي الفيزياء النظرية، تلك التي تفتح دروبا جديدة نحو فهم حقيقة الكون. وفي كتابي Physics of the Impossible، ناقشت مسألة آخر الاكتشافات في مجال الفيزياء وكيف يمكن لها في النهاية أن تجعل أكثر الأفكار وخطط الخيال العلمي جموحا؛ أمرا ممكن التحقيق.

هذا الكتاب يشبه كثيرا كتابي Visions، الذي ناقشت فيه الكيفية التي سيتطور بها العلم خلال العقود المقبلة. وأجدني أشعر بالامتنان لأن كثيرا

(1) نظرية في فيزياء الجسيمات، نظرية الأوتار أو النظرية الخيطية، بالإنكليزية :(String Theory) هي مجموعة من الأفكار الحديثة حول تركيب الكون تستند إلى معادلات رياضية معقدة. تنص هذه المجموعة من الأفكار على أن الأشياء أو المادة مكونة من أوتار حلقية مفتوحة وأخرى مغلقة متناهية في الصغر لا سمك لها وأن الوحدة البنائية الأساسية للدقائق العنصرية، من إلكترونات وبروتونات ونيترونات وكواركات، عبارة عن أوتار حلقية من الطاقة تجعلها في حالة من عدم الاستقرار الدائم وفق تواترات مختلفة، وأن هذه الأوتار تتذبذب وتتحدد وفقها طبيعة وخصائص الجسيمات الأكبر منها مثل البروتون والنيوترون والإلكترون. أما أهم نقاط هذه النظرية فهي أنها تأخذ في الحسبان قوى الطبيعة كافة؛ الجاذبية والكهرومغناطيسية والقوى النووية، فتوحدها في قوة واحدة ونظرية واحدة، تسمى النظرية الفائقة بالإنكليزية .(M – Theory) (المترجم)

مـن التنبؤات التي وردت في ذلك الكتاب تتحقق اليوم في موعدها الذي ذكرتـه. لقد اعتمـد كتابي في دقته إلى حد بعيد علـى الحكمة وبعد النظر اللذين تمتع بهما الكثير من العلماء ممن التقيت بهم أثناء تأليفه.

غـير أن هذا الكتاب الذي بـين يديك يتبنى رؤية أكـثر توغلا بكثير في المستقبـل، إذ يناقش التقنيات التي يتوقع لهـا أن تصل إلى مرحلة النضوج خـلال مائـة عام، والتي ستحـدد في نهاية المطـاف مصـير الإنسانية. إن أسلوبنـا في التعامل مـع التحديات والفرص التـي ستواتينا خلال الأعوام المئة المقبلة سوف يحدد المسار النهائي للبشرية.

التنبؤ بالقرن المقبل

إن التنبـؤ بالسنوات القليلة المقبلة، ناهيك عـن مستقبل قرن من الزمان ابتداء من الآن، يعد مهمة مرعبة. غير أنها مهمة تتحدى أن نحلم بالتقنيات التي نؤمن بأنها ستغير يوما ما مصير الإنسانية.

وفي عام 1863، كتب الروائي العظيم (جول فيرن) Jules Verne واحدة ربمـا كانت أكثر أعماله طموحا. لقـد كتب قصة تنبؤية اسمها (باريس في القـرن العشرين) Paris in the Twentieth Century، وفيها استعان بكامل طاقة مواهبه الهائلة في التنبؤ بالقرن المقبل. ويا للأسف، ضاع نص القصة في ضبـاب الأيـام، إلى أن عثر عليـه حفيده الأكبر بالمصادفـة قابعا داخل خزانـة ظلت مغلقة عليه بعناية قرابـة 130 عاما، وبعد أن أدرك قيمة الكنز الـذي عثر عليه، رتب الأمر لكي ينشر العمـل عام 1994، وحقق الكتاب أفضل المبيعات.

في ذلـك التاريخ البعيـد عـام 1863، كان الملوك والأباطـرة ما يزالون يحكمـون الممالك القديمة، التي يـؤدي فيها الفلاحون الفقـراء أعمالهم الشاقـة التي تقصم ظهورهم داخـل الحقول. وكانـت الولايات المتحدة منشغلة آنذاك بحرب أهلية دمرت البلاد وحولتها إلى أطلال ومزقتها إربا إربا، وكانت الطاقـة البخارية في مهدها حينئذ حينما شرعت في إحداث ثـورة على مستوى العالم. غـير أن فيرن تنبأ بأن باريـس عام 1960 سوف تمتلك ناطحات سحـاب زجاجية، وأجهزة تكييف هواء، وأجهزة تلفاز، ومصاعـد، وقطارات عاليـة السرعة، وسيارات تعمـل بالبنزين، وأجهزة فاكـس، إلى درجة التنبؤ بشـيء أشبه بالإنترنت. وفي دقـة عجيبة، صور فيرن الحياة في باريس المعاصرة.

ولم يكـن هذا من قبيل ضربات الحظ العفوية؛ فبعدها بسنوات قلائل تنبأ نبـوءة رائعة. ففي عام 1865، كتب رائعته (مـن الأرض إلى القمر) From the Earth to the Moon، وفيهـا تنبـأ بتفاصيل مهمة يتم فيها إرسال رواد فضاء إلى القمر بعد أكثر من 100 سنة من ذلك التاريخ عام 1969. لقد تنبأ بدقـة بحجم كبسولة الفضاء بنسبة تكاد تضاهـي الواقع، وبموقع إطلاقها في فلوريدا بالقرب من (كيب كانافيرال) Cape Canaveral، وبعدد رواد الفضـاء الذيـن سيقومون بالمهمة، وبطـول المدة الزمنية التـي ستستغرقها الرحلة، وبانعدام الوزن الذي سيعايشه رواد الفضاء، وبسقوطها في النهاية في المحيـط. (الخطأ الرئيس الوحيد الذي ارتكبه أنـه استعمل البارود، لا وقـود الصواريخ، في الذهاب برواد الفضـاء إلى القمر، غير أن الصواريخ التي تنطلق بالوقود المسال لم تخترع إلا بعدها بسبعين عاما).

ولكـن، كيـف تمكن جول فيرن مـن التنبؤ بمائة عـام مستقبلا بمثل هذه الدقـة المبهرة للألباب؟ لقد لاحظ من كتبـوا سيرته الذاتية، أنه على الرغم مـن أن فـيرن نفسه لم يكن عالما، فإنـه كان يسعى دومـا لمجالسة العلماء، حيـث يمطرهم بأسئلته حول رؤيتهم للمستقبل. وقد تكدس لديه أرشيف واسـع يوجز الاكتشافات العلمية العظيمة التي حدثت في زمانه. لقد فاق فيرن غيره في إدراك حقيقة أن العلم هو المحرك الذي يهز أسس الحضارة، ويدفعهـا نحو قـرن جديد بروائع ومعجزات لا يتوقعهـا أحد. أما مفتاح رؤية فيرن الثاقبة فكان إيمانه الشديد بقوة العلم وقدرته على إحداث ثورة في المجتمع.

وهنـاك شخصية أخرى عظيمة صاحبتها نبوءات في مجال التكنولوجيا، وهو ليوناردو دافنشي Leonardo da Vinci، الرسام والمفكر والحالم. ففي أواخر القـرن الخامس عشر، رسم دافنشي أشـكالا جميلة ودقيقة لآلات سـوف تمـلأ السماء يوما مـا؛ من رسوم لمظـلات هبـوط (باراشوتات)، وطائرات عمودية (هليكوبتر)، وطائرات شراعية انزلاقية hang gliders، وحتـى طائرات عاديـة. والمثير للإعجاب أن كثيرا مـن ابتكاراته كان من الممكـن أن تطير فعـلا. (إلا أن آلاته الطائرة كانت في حاجة لمكون واحد آخـر؛ محرك بقوة حصان واحد على الأقل، وهـو شيء لم يتوافر إلا بعدها بأربعمائة عام).

والأمـر الـذي لا يقل عن هذا إدهاشـا أن ليوناردو قـدم رسما لمخطط كروكـي لآلة جمـع ميكانيكية، ربما سبقت زمانها مائـة وخمسين عاما. ففي عام 1967، أعيد تحليل مخطوط كان موضوعا في غير محله، ويتبين منه

أن فكرته عبارة عن آلة الجمع الحسابي المصنوعة من 13 بكرة رقمية. وإذا ما أدار الشخص عمودا محوريا، فإن التروس التي بداخلها تدور بالتتابع فتجري العمليات الحسابية. (تم تصميم هذه الآلة بالفعل عام 1968 ونجحت في عملها).

وبالإضافة لذلك، وفي الخمسينيات من القرن العشرين كُشِف عن مخطوطة أخرى احتوت على رسم لرجل آلي محارب، يرتدي درعا ألمانيا – إيطاليا، يمكنه النهوض من رقوده وأن يحرك ذراعيه وعنقه وفكه. وهو ما أصبح واقعا فيما بعد.

لقد كان دافنشي، مثل جول فيرن، قادرا على استشراف أفكار نيرة قوية عن المستقبل من خلال استشارة حفنة من مفكري زمانه الذين لا يهتمون بأمر المستقبل، وكان واحدا من أعضاء دائرة صغيرة ممن كانوا يمثلون جبهة الابتكار. وعلاوة على ذلك، كان ليوناردو دائم التجريب والبناء وتقديم الرسوم لنماذج الأشياء، وهي سمة رئيسة لكل من يريد ترجمة أفكاره إلى واقع حي.

وعندما نعلم بالأفكار التنبؤية الهائلة التي خرج بها كل من فيرن ودافنشي فلا بد لنا ساعتها أن نطرح تساؤلا مفاده؛ هل من الممكن التنبؤ بعالم 2100؟ إن هذا الكتاب، في محاولة منه لاقتفاء أثر فيرن وليوناردو، سوف يفحص عن كثب أعمال العلماء الرواد الذين يشيدون نماذج مبدئية لتقنيات من شأنها أن تغير وجه مستقبلنا. فهذا الكتاب ليس عملا من أعمال الخيال العلمي، وليس نتاجا ثانويا لخيال شطح بأحد مؤلفي سيناريوهات هوليوود، وإنما يقوم على أساس علمي متين من تجارب تجرى

اليوم بكبريات المعامل والمختبرات في جميع أنحاء العالم.

والنمـاذج المبدئية لكل تلك التقنيات موجودة بالفعل، ومثلما قال يوما (وليم جيبسون) William Gibson، مؤلف كتاب Neuromancer، والذي كان أول من صاغ لفظة فضاء إلكتروني Cyberspace (أو فضاء سيبراني)، (المستقبل هاهنا بالفعل، وكل ما هنالك أنه غير موزع بالتساوي).

إن التنبـؤ بعالم 2100 مهمة مرعبـة، إذ إننا نعيش حقبة ثورة علمية نافذة التأثير، يتسارع فيها دائما إيقاع عجلة الاكتشافات. وقد تراكم من المعرفة العلمية في العقود القليلة الماضية فقط أكثر مما تراكم خلال التاريخ الإنساني بأسـره. وبحلول عام 2100، فسوف تتضاعف هذه المعرفة من جديد عدة مرات.

غير أنه ربمـا كان أفضل سبيل لكي نضع أيدينا على مدى ضخامة مهمة التنبـؤ بمائـة عام قادمة؛ أن نتذكر العالم عـام 1900 وأن نتذكر كيف كانت حياة أجدادنا في ذلك التاريخ.

إن الصحافي مارك سوليفان Mark Sullivan يطلب منا تخيل شخص ما يطالع إحدى صحف عام 1900:

ففي صحيفته التي صدرت يوم 1 يناير 1900، لم يجد المواطن الأمريكي أي كلمـة مثل راديـو، فقد كان ما يزال أمام المذيـاع عشرون عاما أخرى كـي يظهر إلى الوجـود؛ ولا كلمـة (سينما)، فقد كان هـذا مما سيحدث بصفة أساسية مستقبلا؛ ولا حتـى كلمة (سائق سيارة)، فلم تبرح السيارة طـور الظهور آنذاك وكانت تسمى (عربة بـلا جواد ...)؛ ولم تكن هناك كلمة طيار.. ولم يسمع المزارعون بعد عن الجرارات؛ ولا عن رجال بنوك

منظومة الاحتياطي الفيدرالي. ولم يسمع التجار عن سلاسل المتاجر ولا عن مصطلح (اخدم نفسك)؛ ولم يسمع البحارة كذلك عن المحركات التي تحرق الزيت.. وكان من الممكن آنذاك مشاهدة العربات التي تجرها الثيران وهي تسير على الطرق الريفية.. وكانت الجياد والبغال حينئذ تؤدي عمل الشاحنات في جميع الأنحاء.. وكان الحداد الجالس تحت شجرة القسطل وارفة الظلال حقيقة واقعة.

وحتى نتفهم مدى صعوبة التنبؤ بالأعوام المئة المقبلة، ينبغي علينا أن نقدر مدى صعوبة تنبؤ من عاشوا عام 1900 بما سيكون عليه العالم عام 2000. ففي عام 1893، وفي واحد من وقائع المعرض الكولومبي العالمي بشيكاغو، طلب من أربع وسبعين شخصية شهيرة التنبؤ بشكل الحياة خلال الأعوام المئة المقبلة. وكانت هناك مشكلة رئيسة أمام هؤلاء، وهي أنهم بخسوا دائما من قدر السرعة التي تسير بها خطى التقدم العلمي. ومن أمثلة ذلك، أن كثيرين منهم تنبؤوا على نحو صحيح بأننا يوما ما سوف تكون لدينا سفن جوية تجارية تعبر المحيط الأطلنطي، لكنهم ظنوا أنها سوف تكون عبارة عن مناطيد. وقال السيناتور (جون جيه. إنجالز) John J. Ingalls: (إنه سوف يكون من الشائع لأي مواطن أن ينادي على منطاده القابل للتوجيه مثلما يستدعي الآن عربته التي تجرها الدواب أو خادما في فندق). وكلهم غفلوا أيضا عن مسألة مجيء السيارة، وذكر (رئيس هيئة الخدمة البريدية) Postmaster General جون واناميكر John Wanamaker أن البريد الأمريكي سوف يوزع باستخدام العربة التي تجرها الخيول أو فوق الجياد، حتى بعد 100 عام.

بـل إن بخس قدر العلـم والابتكار امتد إلى مكتب بـراءات الاختراع. ففي عـام 1899، قال تشارلـز إتش. دويـل Charles H. Duell، مفوض مكتب براءات الاختراع الأمريكي U.S. Office of Patents: (إن كل ما يمكن ابتكاره قد ابتكر بالفعل).

وفي بعض الأحيان كان الخبراء في مجالهم يبخسون قدر ما كان يحدث أمامهم مباشرة. ففي عام 1927، علق هاري إم. وارنر Harry M. Warner، وهو أحـد مؤسسي شركة وارنـر بـرازرز Warner Brothers، إبّان حقبة السينمـا الصامتـة بقوله: (من ذا الـذي يريد بحق الجحيـم أن يستمع إلى الممثلين وهم يتكلمون؟).

كما قال توماس واطسون Thomas Watson، رئيس مجلس إدارة آي بـي إم IBM، عام 1943: (أعتقد أنه ربما ستكون هناك سوق عالمية لخمسة أجهزة حاسوب).

هـذا البخس الكبير من قدر الاكتشافات العلمية امتد ليصل إلى صحيفة نيويـورك تايمـز New York Times الموقـرة (ففـي عـام 1903، أعلنـت الصحيفة أن الآلات الطائرة مضيعة للوقت، وذلك قبل أسبوع واحد فقط مـن نجاح (الأخـوان رايـت) Wright brothers في التحليق بطائرتهم في كيتـي هوك، نـورث كارولينا. وفي عام 1920، انتقـدت (نيويورك تايمز) عـالم الصواريخ روبرت جـودارد Robert Goddard، معلنة أن عمله ليس سـوى هـراء؛ لأن الصواريخ لا يمكنها الحركة في الفـراغ. وبعدها بتسعة وأربعـين عاما، عندما هبط رواد فضاء (أبولو 2) على سطح القمر، نشرت الصحيفـة، إحقاقـا للحق، تراجعـا عن رأيها هذا فقالـت: (لقد صار من

المؤكـد الآن أن الصـاروخ في استطاعتـه أن يـؤدي وظيفتـه في الفراغ. ونيويورك تايمز تعتذر عن هذا الخطأ).

إن الدرس الذي نتعلمه هنا أنه لجد خطير أن نراهن ضد المستقبل. ولقد كانت التنبؤات بالمستقبل دائما، مع وجود استثناءات قليلة، ما تبخس قدر إيقـاع التقدم التكنولوجـي. والتاريخ – كما حكي لنا مرارا وتكرارا – يكتبـه المتفائلون لا المتشائمون. وعلى حد قول دوايت أيزنهاور Dwight Eisenhower: (لم يكسب التشاؤم حربا قط).

يمكننـا هنـا أن نشاهد كيـف بخس كُتّـاب الخيـال العلمي قـدر إيقاع الاكتشافـات العلميـة، فعند مشاهدة إعـادة لحلقات المسلسـل التلفزيوني القـديم الذي يعـود إلى الستينيات (رحلة بين النجـوم) Star Trek، تلاحظ أن كثيرا من هذه التقنيات التي تنتمي للقرن الثالث والعشرين موجودة الآن بالفعـل. ففي تلك الحقبة، دُهش المشاهدون عندما شاهدوا هواتف جوالة، وحواسب محمولة، وآلات يمكنها التحدث، وآلات ناسخة يمكنها أن تكتب إملاء، وهي كلهـا تقنيات موجودة الآن بالفعل. وسرعـان ما ستظهر لدينا نسخـات من المترجم العالمـي، الذي يمكنه الترجمة سريعا بـين اللغات أثناء نطق كلماتها، وكذلك (الترايكـوردر) Tricorders، الذي يمكنه تشخيص الأمراض عـن بعد. (وباستثناء محـركات التوجيه الملتـوي والناقلات، فإن كثيرا من هذا العلم المنتمي للقرن الثالث والعشرين قد ظهر بالفعل).

والسـؤال الآن، مع علمنا بالأخطاء الواضحة التي ارتكبها الناس عندما بخسوا قدر المستقبل، كيف يمكننا البدء في تقديم أساس علمي أكثر صلابة لتنبؤاتنا؟

تمهيد

فهم قانون الطبيعة

لم نعد نحيا اليوم في عصور العلم المظلمة، عندما كان يظن أن ومضات البرق وانتشار الطاعون من عمل الآلهة. إن لدينا ميزة عظيمة لم تكن موجودة لدى فيرن أو دافنشي؛ إنها الفهم الواضح لقوانين الطبيعة.

فالتنبؤات سوف تكون معيبة دوما، لكن القبض بقوة على القوى الرئيسة الأربع في الطبيعة التي تحرك الكون بأسره سيكون من شأنه جعل هذه التنبؤات ذات مرجعية قدر الاستطاعة، فقد كانت تغير وجه التاريخ الإنساني في كل مرة تخضع إحداها للفهم والوصف.

إن القوة الأولى التي يجب شرحها هنا هي قوة الجاذبية، فقد أعطانا إسحق نيوتن Isaac Newton قوانين الميكانيكا التي يمكنها تفسير حركة الأشياء فهي تسير من خلال قوى، لا بفعل الأرواح الغامضة أو قوى ما وراء الطبيعة. وقد ساعد هذا على تمهيد الطريق أمام الثورة الصناعية ودخول عصر الطاقة البخارية، لا سيما القاطرة البخارية.

والقوة الثانية التي يتعين فهمها هي القوة الكهرومغناطيسية، التي تنير مدننا وتشغل أجهزتنا. وعندما ساعدنا توماس إديسون Thomas Edison، ومايكل فارادايـن Michael Faraday، وجيمس كليرك ماكسويل James Clerk Maxwell، وغيرهم على تفسير الكهربية والمغناطيسية؛ أطلقوا بذلك العنان لثورة إلكترونية صنعت الكثير من الأعاجيب العلمية. ونحن نشعر بهذا كلما انقطع التيار الكهربي، إذ يعود مجتمعنا فجأة إلى الوراء

مائة عام.

أمـا القوتان الثالثة والرابعـة اللتان يتعين فهمهما فهمـا قوتان نوويتان؛ القوى الواهنة والقوى العظيمة. وعندما كتب أينشتاين معادلته E=mc2، وعندما تم شطر الذرة في الثلاثينيات، بدأ العلماء لأول مرة يفهمون القوى التي تضيء السماء، وهـو ما كشف سر النجوم. فهذا الأمر لم يطلق العنان لقـوى الأسلحة الذرية الرهيبة فحسب، وإنمـا احتفظ كذلك بوعد مؤداه أنـه في يوم من الأيام سوف نكـون قادرين على استغلال هذه القوى فوق كوكب الأرض.

واليـوم، صرنا ملمين بصورة طيبة بتلك القـوى الأربع؛ فالقوة الأولى، وهي الجاذبية، توصف الآن من خلال نظرية النسبية العامة لأينشتاين. أما القوى الثلاث الأخرى فتصفها نظرية الكم Quantum Theory، التي تتيح لنا فك شفرة أسرار عالم الذرة وما داخلها.

ونظرية الكم بدورها، هي التي قدمت لنا الترانزستور، والليزر، والثورة الرقمية التي تعد القوى الدافعة لمجتمعنا المعاصر. وبالمثل، تمكن العلماء من استخدام نظرية الكم في إماطة اللثام عن سر جزيء الحمض النووي DNA (دي إن أيه، وهي الحروف المختصرة لـ: ديزوكسي ريبونيوكلييك أسيد). إن السرعـة الخارقة للثـورة البيوتكنولوجية تعد نتاجـا مباشرا لتكنولوجيا الحاسـوب، إذ إن تحديـد تسلسـل دي إن أيـه كلـه يتم بواسطـة الآلات والروبوتات والحواسب.

ونتيجـة لذلك، صرنا أكثر قدرة على رؤية الاتجاه الذي سيسير فيه العلم والتكنولوجيـا خـلال القرن المقبل. وسوف تكون هنـاك دائما مفاجآت

مبتكرة غـير متوقعة على الإطلاق تجعلنا مشدوهـين عاجزين عن النطق، غـير أن أساسـ علوم الفيزياء الحديثة والكيميـاء والأحياء قد رسخ إلى حد بعيـد، ولا نتوقع حـدوث أي مراجعة مؤثـرة لتلك المعـارف الأساسية، وذلك على الأقـل خلال المستقبل المنظور. ونتيجـة لذلك، فإن التنبؤات التـي ذكرناها في هذا الكتاب ليست نتاج تنظـير جامح شطح به الخيال، وإنما هي تقديرات مستنيرة لموعد بلوغ التقنيات المبدئية التي ظهرت اليوم مرحلة النضوج النهائي.

الخلاصة، أن هناك عدة أسباب تجعلنا نعتقد أن باستطاعتنا رؤية الخطوط العريضة لعالم 2100:

1. يقـوم هذا الكتـاب على لقـاءات حوارية استضفت فيها مـا يربو على 300 من كبار العلماء، وهم أولئك الذين يقفون في طليعة القائمين على الاكتشافات العلمية.
2. إن كل تطـور علمي ذُكر في هذا الكتاب يتفق وقوانين الفيزياء المعروفة لنا.
3. إن القـوى الأربع والقوانين الأساسية التي تحكم الطبيعة معلومة إلى حد بعيد، ولا نتوقع حدوث أي تغييرات جديدة مؤثرة في تلك القوانين.
4. إن النمـاذج المبدئية لجميع التقنيات المذكـورة في هذا الكتاب ظهرت إلى الوجود بالفعل.
5. قـام بتأليف هـذا الكتاب شخصـ متمرس بالعلم، فهـو في طليعة من يطلعـون علـى التكنولوجيا التـي يتم التوصـل إليها من خـلال أرقى الأبحاث العلمية.

لقد ظللنا لحقب لا تعد ولا تحصى مجرد مشاهدين سلبيين نشاهد الطبيعة وهي ترقص. وكنا نكتفي بالحملقة في تعجب وخوف إلى المذنبات، وضربات الصواعق، وثورات البراكين، وأوبئة الطاعون، فنفترض أنها تتجاوز مداركنا. لقد كانت قوى الطبيعة، بالنسبة للقدماء، تمثل لغزا أبديا يجب أن يخشوه وأن يعبدوه، ولهذا صنعوا آلهة الأساطير كي تشكل منطقا مفهوما للعالم من حولهم. وكان معتقدهم آنذاك أن تلك الآلهة سوف تشملهم برحمتهم ومن ثم يلبون لهم أعز أمانيهم عن طريق صلاتهم لتلك الآلهة.

واليوم، صرنا مصممين لرقصات الطبيعة، وقادرين على التلاعب بقوانين الطبيعة هنا وهناك. لكننا بحلول عام 2100، سنصنع نقلة حيث سنتحول إلى أسياد للطبيعة.

2100: عندما نصير آلهة الأساطير

إذا ما ذكرنا اليوم أنه قد أمكننا بصورة أو بأخرى أن نزور أسلافنا القدامى وأن نعرض عليهم باقة من إنجازات العلم الحديث والتكنولوجيا، لاعتبرونا من السحرة. فبسحر العلم، سيمكننا أن نعرض عليهم الطائرات النفاثة التي تزأر وسط السحاب، والصواريخ التي يمكنها استكشاف القمر والكواكب، وماسحات التصوير بالرنين المغناطيسي التي يمكنها التحديق داخل الجسم الحي، وكذا الهواتف الخلوية التي تمكننا من الاتصال بأي شخص على ظهر الكوكب. وإذا ما عرضنا عليهم الحواسيب المحمولة التي يمكنها إرسال صور متحركة ورسائل فورية عابرة للقارات، لاعتبروا

ذلك من قبيل السحر والشعوذة.

غير أن هذه ليست سوى البداية، فالعلم ليس شيئا ساكنا. إن العلم ليتفجر تفجرا أُسيا من حولنا جميعا، وإذا ما حسبت عدد المقالات العلمية التي تُنشر، فسوف تكتشف أن حجم العلم البحت يتضاعف كل عقد أو نحوه. ويعمل الابتكار والاكتشافات على تغيير سائر الخريطة الاقتصادية والسياسية والاجتماعية، فتقلب جميع المعتقدات القديمة والأحكام التي عفى عليها الزمن رأسا على عقب.

والآن كن جريئا وتخيل العالم سنة 2100

في عام 2100، سيصبح قدرنا أن نصير مثل تلك الآلهة التي عبدناها يوما ما وكنا نخشاها، غير أن أدواتنا التي سنستخدمها لن تكون العصي والأكاسير السحرية وإنما علم الحاسبات، والنانوتكنولوجي، والذكاء الاصطناعي، والتكنولوجيا الحيوية، والأهم من هذا كله، نظرية الكم، وهي الأساس الذي قامت عليه كل تلك التقنيات السابق ذكرها.

وعندما يحل عام 2100 سوف نكون قادرين، مثلما فعل آلهة الأساطير، على التلاعب بالأشياء بقوة أذهاننا. فالحواسب التي سوف تقرأ أفكارنا في صمت، سوف تكون قادرة على تلبية أمانينا. وسوف نكون قادرين على تحريك الأشياء عن طريق التفكير وحده، وهي قدرة تحريكية عن بعد كانت في العادة قاصرة على الآلهة وحدها. وبقدرة التكنولوجيا الحيوية، سوف نخلق أجسادا مثالية وسنطيل أعمارنا. وسنكون قادرين كذلك على خلق أشكال من الحياة لم توجد من قبل على ظهر الأرض. وبقوة

النانوتكنولوجي، سوف نصبح قادرين على أخذ شيء ما وتحويله إلى شيء آخر مختلف، وعلى أن نخلق شيئا من العدم تقريبا. ولن نركب مركبات نارية وإنما مركبات ملساء تحلق من تلقاء نفسها دون وقود، وتسبح دون جهد في الجو. وباستخدام محركاتنا، سوف نصبح قادرين على استغلال طاقة النجوم غير المحدودة. سوف نصبح أيضا على شفا إرسال سفن فضائية لاستكشاف النجوم القريبة منا.

وعلى الرغم من أن تلك القدرات شبه الإلهية تبدو متقدمة بصورة يصعب تخيلها، فإن بذور كل تلك التقنيات تتم زراعتها ونحن نتحدث الآن. إنه العلم الحديث، لا الترانيم أو التعاويذ السحرية، هو ما سيمنحنا تلك القدرة.

أنا فيزيائي متخصص في نظرية الكم. وفي كل يوم، أصطدم بمعادلات تتحكم في الجسيمات دون الذَّرية التي خلق منها الكون. إن العالم الذي أعيش فيه عبارة عن كون من فضاء واسع ذي أحد عشر بعدا، وثقوب سوداء وبوابات تفضي إلى أكوان متعددة. غير أن معادلات نظرية الكم، المستخدمة في وصف النجوم المتفجرة والانفجار العظيم، يمكن كذلك استخدامها في حل شفرة خطوط المستقبل العريضة.

ولكن السؤال الآن؛ إلى أين تمضي بنا كل تلك التغيرات التكنولوجية؟ وأين تقع المحطة النهائية في هذه الرحلة الطويلة نحو العلم والتكنولوجيا؟

إن ذروة نتاج كل تلك الثورات تتمثل في تشكيل حضارة كوكبية، يسميها علماء الفيزياء حضارة من النوع الأول. وربما كان هذا العبور أعظم نقلة حدثت في التاريخ، وهي تمثل علامة فارقة تميزها تمييزا واضحا

عـن جميع الحضارات التي قامت في الماضي. إن كل عنوان رئيس يهيمن علـى نشرات الأخبار إنما هـو انعكاس، بصورة أو بأخـرى، لانقباضات رحـم تولـد منه هذه الحضـارة الكوكبيـة. إن التجارة والسـوق والثقافة واللغـة والترفيه وأنشطته، وحتى الحـروب جميعها ستقع بها ثورات عند بزوغ تلك الحضارة الكوكبية. وبحساب ناتج طاقة الكوكب، يمكننا وفق تقديراتنـا القول بأننا سنبلغ مرتبة النوع الأول في غضون 100 عام. وما لم ننجذب مفتونين إلى قوى الفوضـى والجنون، فسوف يكون الانتقال إلى الحضـارة الكوكبية أمرا حتميا، وهذه هي المحصلة النهائية للقوى الرهيبة التي لا يمكن للتاريخ والتكنولوجيا الوقوف أمامها، وهي قوى تخرج عن نطاق سيطرة أي إنسان.

لماذا لا تتحقق النبوءات أحياناً

إن المدهشـ هنـا أن بعض النبوءات التي ظهرت عـن عصر المعلومات لم تتحقق. ومثال ذلك، أن كثيرا من منظري المستقبل تنبؤوا (بالمكتب الخالي مـن الورق)، بمعنى، أن الحاسوب يمكنـه أن يجعل من الورق شيئا لا لزوم له. وبنظرة واحدة على أي مكتب الآن يتبين لنا أن حجم الأوراق بالفعل صار أكثر من أي وقت مضى.

وكذلـك حلم البعض (بمدينة تخلـو شوارعها من البشر). لقد تنبأ علماء المستقبـل بـأن تنظيم المؤتمرات عن بعد عبر شبكـة الإنترنت سوف يجعل اجتماعـات رجال الأعمـال التي يلتقون فيها وجهـا لوجه غير ضرورية، وبهـذا تتلاشى الحاجة للانتقـال من مكان لآخر. وفي حقيقـة الأمر، أن

المدن ذاتها ستخلـو بشكل كبير، فتصير مدن أشباح، إذ سيعمل الناس من منازلهم لا من مكاتبهم.

وعلى النهج ذاته، كان من المفترض أن نشهد نهضة (للسياح عبر الفضاء الإلكـتروني)، أولئك الذيـن يقضون يومهم كاملا راقديـن على أرائكهم يلتهمـون أكياس الشيبسي، ويتجولون في جميـع أنحاء العالم ويشاهدون المعـالم السياحية عبر شبكـة الإنترنت على شاشـات حواسبهم. وكان من المفترض أن نرى أيضا (المتسوقين عبر شبكة الإنترنت)، ممن يدعون فأرات حواسبهـم تقوم بكل العمـل، ومن ثم تفلس مولات التسـوق التجارية. وكذلـك (طلبة الإنترنت) الذين يحضرون جميع حصصهم الدراسية على الشبكة وهـم يلعبون سِرا ألعاب الفيديو، وبذلـك تغلق الجامعات أبوابها لقلة اهتمام الناس بها.

أو لـنرَ مثلا مصـير (الهاتف الناقل لصـورة المتحدث). فأثنـاء المعرض العالمـي عام 1964، أنفقت مؤسسة AT&T حوالي 100 مليون دولار على إتقـان صنع شاشة تلفـاز تتصل بمنظومة الهاتف، حيـث يمكنك مشاهدة الشخص الذي تحادثه هاتفيا، مثلما يشاهدك. ولم تفلح الفكرة مطلقا، ولم تبـع AT&T منها سـوى 100 هاتف تقريبا، مما جعـل تكلفة الوحدة منها حوالي مليون دولار نقدا. وكان هذا بمثابة فشل باهظ التكلفة للغاية.

وأخـيرا، كان من المعتقد أن نهاية وسائل الإعلام والترفيه التقليدية باتت وشيكة. وزعم بعض المتنبئـين بالمستقبل أن الإنترنت هي الطاغوت الذي سيبتلـع المسرح الحي والسينما والإذاعة والتلفـاز، وأن جميعها سرعان ما ستـؤول إلى المتاحـف. وفي حقيقة الأمر، أن العكـس هو ما حدث. لقد

صارت الاختناقات المرورية أسوأ من أي وقت مضى؛ وصارت سمة دائمة للحياة العصرية. ويتوافد الناس فرادى وجماعات إلى المواقع السياحية في البلاد الأجنبية بأعداد قياسية، مما جعل السياحة واحدة من أسرع الأنشطة نموا في العالم. أما المتسوقون فهم يصنعون طوفانا داخل المتاجر، حتى في أوقات الأزمة الاقتصادية. وبدلا من انتشار قاعات الدرس على النت، ما زالت الجامعات تسجل أرقاما قياسية من أعداد الطلبة المتقدمين للدراسة. ولا ريب أن أعداد من قرروا العمل من منازلهم أو إقامة مؤتمرات عن بعد مع زملائهم في العمل في ازدياد، غير أن المدن لم تخلُ من السكان في أي وقت من الأوقات وإنما اكتظت بهم وصارت عملاقة جدا. واليوم، غدا من السهل عليك إجراء محادثات عن طريق الفيديو على شبكة الإنترنت، لكن معظم الناس لا يجدون متعة في أن يظهروا على الشاشة، ويفضلون اللقاء وجها لوجه. وبطبيعة الحال، غيَّرت الإنترنت من خريطة الإعلام بأكملها، إذ حاول عمالقة الإعلام بكل الحيل كسب عائد من شبكة الإنترنت. غير أن هذا لم يقترب حتى – مجرد اقتراب – من اكتساح التلفاز والراديو والمسرح الحي، فما تزال أضواء برودواي تتلألأ مثلما كانت دوما.

قاعدة رجل الكهف

لماذا عجزت تلك التنبؤات عن التحول إلى حقيقة مادية ملموسة؟ أرى أن الناس بصورة عامة رفضت هذه الابتكارات المتقدمة بسبب ما أسميه أنا رجل (أو امرأة) الكهف. إن الشواهد الوراثية والحفرية تشير إلى أن

الإنسان الحديث، الذي كان يشبهنا تماما، ظهر في أفريقيا منذ أكثر من 100 ألـف عام مضت، غير أننا لا نجد أي دليل علـى أن عقولنا وشخصياتنا قد تغيرت كثيرا منذ ذلك الحـين. وإذا أخذت شخصا ما ينتمي لتلك الحقبة، فسوف تجده مطابقا لنا تشريحيا؛ وإذا ما غسلته وحلقت له ذقنه، ثم ألبسته حُلّـة من ثلاث قطع، ووضعته في بورصة وول ستريت، فستجده غير مميز بدنيـا أو ماديا عن أي شخص آخر غـيره. فأمنياتنا وأحلامنا وشخصياتنا، وعلـى الأرجح رغباتنا، لم تتغير إذن كثيرا طـوال 100 ألف عام، ولعلنا ما نزال نفكر بطريقة أجدادنا من ساكني الكهوف نفسها.

والمعنـى الـذي أود أن أصـل إليـه أنـه كلمـا كان هناك تضـارب بين التكنولوجيـا الحديثة ورغبات أجدادنا البدائيـين، فإن رغباتنا البدائية هي التـي تفـوز في كل مرة، هذه هـي قاعدة رجل الكهف. ومـن أمثلة ذلك أن إنسـان الكهوف كان دائما ما يطالب (بإثبات القتل)، فلم يكن يكفي أبدا أن تتفاخر بأنك قتلت حيوانا ضخما، لكن إمساكك بحيوان من لحم ودم بـين يديـك كان دوما محبذا على رواية تحكي فيهـا عن ذلك الوحش الذي صرعته. وبالمثل، فنحن نريد دائما (نسخة مطبوعة) كلما تعاملنا مع الملفـات، فنحن بغريزتنا لا نثق في الإلكترونـات السابحة داخل شاشات حاسباتنا، ولهذا نطبع دائما رسائلنا الإلكترونية وتقاريرنا حتى ولو لم يكن هذا ضروريا، ولذلك لم تتحقق أبدا فكرة المكتب الخالي من الأوراق.

وبالمثـل، لقد كان أجدادنا يحبذون دوما إجـراء اللقاءات وجها لوجه. وقـد ساعدنا هذا على الالتحام بالآخرين وعلـى قراءة مشاعرهم المختبئة في صدورهم، ولهذا لم تفلح أبدا فكرة المدينة الخالية من البشر. ومن أمثلة

ذلـك المدير الذي يحرص على تحديد مستـوى موظفيه، فمن الصعب أن يقـوم بذلك علـى شبكة الإنترنت، لكن المدير الـذي يلتقيك وجها لوجه يمكنه قراءة لغة الجسد كي يحصل على معلومات قيمة عما يدور في عقلك الباطـن. فعن طريق مشاهـدة الناس عن كثب، نشعر برابطـة عامة ونقرأ لغـة أجسادهم الخفيـة لنكتشف الخواطر التي تتصـارع داخل رؤوسهم. وهـذا لأن الذين عاشوا قبـل أن تتطور لدينا خاصية الـكلام بعدة آلاف مـن السنين، استخدمـوا لغة الجسد بصـورة شبه كاملة لنقـل خواطرهم ومشاعرهم إلى الآخرين.

وهـذا هـو السبـب في أن السياحة عن طريـق الإنترنت لم تفلـح أبدا، فرؤيـة صورة لتاج محـل شيء، والتفاخر بأنك شاهدتـه فعلا على الطبيعة شيء آخر. وبالمثل، فـإن الاستماع إلى إسطوانة مدمجة (سي دي) لعازفك المفضـل يختلف تماما عن شعورك بالصخب الذي يدوي بغتة لدى ظهور الموسيقي على خشبة المسرح في حفل موسيقي حي، وقد أحاط به معجبوه ومـا يصاحب ذلـك من مرج وضوضاء. وهذا يعنـي أنه حتى على الرغم مـن قدرتنا على إنزال صور واقعية للدراما المحببة إلينا أو لشخصية شهيرة نهواها، فإنه لا يوجد شيء مثل مشاهدة الدراما على خشبة المسرح مباشرةً أو مشاهدة نجمك المحبوب وهو يؤدي دوره أمامك مباشرةً. إن الجمهور ليقـف بالساعات الطوال في طوابير للحصول على صور نجمه التي تحمل توقيعـه أو تذاكر حفله، على الرغـم أن في استطاعتهم تحميل صورته من خلال الإنترنت مجانا.

وهذا ما يفسر لنا لماذا فشل التنبؤ باكتساح الإنترنت للتلفزيون والراديو.

فعندما ظهرت السينما والراديو لأول مرة، توقع الناس وفاة المسرح الحي. ثم جاء التلفزيون، وتوقع الناس حينئذ اختفاء السينما والإذاعة، والآن نعيش خليطا تجتمع فيه كل تلك الوسائل الإعلامية. والدرس المستفاد هنا أن الوسيلة الإعلامية الواحدة لا يمكنها مطلقا القضاء على الوسيلة السابقة وإنما تتعايشان سويا. إن المزيج والعلاقة بين الوسائل هو الذي يتغير باستمرار، وإن أي شخص يمكنه التنبؤ بدقة بالخليط الذي سيجمع في المستقبل بين تلك الوسائل؛ سيصبح شديد الثراء.

والسبب في ذلك أن أجدادنا القدامى كانوا يرغبون على الدوام في مشاهدة الشيء رأي العين وفي عدم الاعتماد على القيل والقال، لقد كان من الأمور الحاسمة لبقاء نوعنا في الغابة الاعتماد على دليل مادي حي لا على الشائعات. وحتى بعد قرن من الآن، فسوف يظل المسرح الحي باقيا وسنظل نطارد المشاهير، فهذا ميراث قديم من ماضينا السحيق.

أضف إلى ذلك، أننا ننحدر من سلالات من الوحوش التي تصطاد الفرائس، ولهذا فنحن نعشق مشاهدة الآخرين بل نجلس بالساعات أمام شاشة التلفاز لنشاهد دون كلل أو ملل السلوكيات الغريبة لإخواننا من البشر، غير أننا نصاب بالعصبية على الفور عندما نشعر بأن الآخرين يشاهدوننا. والحقيقة أن العلماء قاموا بحساب المدة التي نصاب بعدها بالضيق إذا حملق شخص غريب فينا فوجدوها أربع ثوان. وبعد حوالي عشر ثوانٍ، يصل بنا الحال إلى الشعور بالغضب والعداء لكون شخص ما يحدق فينا. وهذا هو السبب في أن الهاتف المرئي (أو هاتف الصورة picture phone) الأصلي حقق فشلا ذريعا. وكذلك الإنترنت، فمن منا يريد أن يضطر لتمشيط شعره

قبل الدخول على شبكة الإنترنت؟ (واليوم، وبعد عقود من التحسين البطيء والمؤلم، بدأت مؤتمرات الفيديو أخيرا تلحق بالركب).

واليوم، أصبح من الممكن الحصول على دورات تعليمية من خلال الإنترنت، لكن الجامعات ما تزال تكتظ بالطلبة. إن الالتقاء بالأساتذة وجها لوجه، حيث يمكن لهؤلاء الأساتذة تقديم رعاية فردية لكل طالب أو الإجابة عن أي استفسارات شخصية، ما زالت طريقة مفضلة على الدراسات عبر الإنترنت. وما برحت الدرجة الجامعية تتمتع بوزن أكبر من دبلوم عبر الإنترنت عند التقدم لوظيفة.

هناك إذن منافسة مستمرة بين التقنية الرفيعة والاتصال عن قرب؛ المنافسة بين الجلوس على مقعد لمشاهدة التلفاز والوصول إلى الأشياء من حولنا وملامستها. ففي هذه المنافسة، سوف نرغب في كليهما. ولهذا ما نزال نذهب للمسرح الحي، وحفلات الروك، وما يزال لدينا الورق والسياحة حتى في عصر الإنترنت والفضاء الإلكتروني والواقع الافتراضي. لكننا إذا خُيرنا بين صورة مجانية لمطربنا الشهير المفضل وتذاكر حقيقية لحضور حفله، فسنختار التذاكر دون تردد.

هذه إذن قاعدة رجل الكهف؛ إننا نفضل لو امتلكنا كليهما، لكننا لو خيرنا بينهما فسوف نختار الاتصال عن قرب، مثل أسلافنا من ساكني الكهوف.

لكن هناك أمرا ملازما دوما لهذه القاعدة، فعندما ابتكر العلماء الإنترنت أول الأمر في الستينيات، كان من المعتقد على نطاق واسع أنها سوف تتطور لتصبح منتدى للتعليم والعلم والتقدم. وبدلا من ذلك، أصيب كثير

مـن الناس بالفـزع لتدهورها السريع لتصير أشبـه بالغرب المتوحش الذي لا تحـده حواجز علـى النحو الذي هي عليـه الآن. والحقيقة أن هذا الأمر كان متوقعـا؛ لأن من الأشياء الملازمة لقاعدة رجل الكهف أنك إذا أردت أن تتنبـأ بالتفاعـلات الاجتماعية للبشر مستقبلا، فكل مـا عليك ببساطة هـو أن تتخيل حجم تفاعلاتنـا الاجتماعية منذ مائة ألـف عام مضت ثم تضربهـا في مليون. ومعنى هذا أنـه ستكون هناك قيمة كبـيرة للشائعات والقيل والقـال، وشبكات التواصـل الاجتماعي، والترفيـه. فالشائعات كانت أمرا أساسيـا في أي قبيلة من أجل إيصال المعلومات سريعا، لا سيما تلك المعلومات عن الزعماء والنمـاذج التي يحتذى بها. أما أولئك الذين كانـوا يشذون عن القاعدة فلم يطـل بقاؤهم غالبا على وجه الأرض لكي ينقلوا جيناتهم لأجيال تاليـة. واليوم، يمكننا مشاهدة ذلك عند منفذ دفع الحسـاب (الكاشـير) في السوبر ماركت، حيث ركن مجـلات الشائعات الممتـد مـن الحائط للحائـط، كما تجده كذلـك في ظهور ثقافـة يوجهها المشاهـير. والفارق الوحيـد اليوم في حجم هذه الشائعـات القبلية الذي تتضاعـف بصورة هائلة بسبب وسائل الإعلام، فقـد صار في استطاعتها الآن أن تلف الكرة الأرضية كلها عدة مرات في جزء من الثانية.

إن التكاثـر المفاجـئ لمواقع الشبكات الاجتماعية علـى الإنترنت، التي حولت رجـال أعمال شبـاب ذوي وجوه طفوليـة، إلى مليارديرات بين عشية أو ضحاها، كان مفاجـأة للعديد من المحللين، لكنه في الوقت ذاته يعد مثـالا على هذه القاعدة. ففـي تاريخنا التطـوري، كان في استطاعة هـؤلاء الذيـن يحتفظـون بشبـكات اجتماعيـة ضخمة الاعتمـاد عليها

كموارد، والحصول منها على النصيحة، والعون الذي يعد حيويا لبقائهم.

وفي النهايـة، سـوف يواصل الترفيه نمـوه الانفجـاري. لكننا في بعض الأحيـان لا نود الاعتراف بذلك، غير أن جزءا كبـيرا من ثقافتنا مبني على الترفيـه. فبعد انتهاء رحلة الصيد، كان أسلافنا القدامى يسترخون ويبدءون في الترفيه عن أنفسهم. وقد كان هذا أمرا مهما، لا من أجل الترابط فحسب، وإنمـا كذلك من أجل أن يؤكد كل امرئ علـى موقعه داخل القبيلة. فليس من قبيل المصادفة إذن أن الرقص والغناء، وهما جزءان أساسيان من النشاط الترفيهـي، حيويـان أيضا في المملكـة الحيوانية للتعبير للجنـس الآخر عن اللياقة البدنية. فعندما تشـدو ذكور الطير بألحان جميلة ومركبة أو تنخرط في طقوس متوافقـة عجيبة، فإن هذا يهـدف بصفة أساسيـة إلى أن تظهر للجنس الآخـر مدى تمتعها بالصحة واللياقة البدنية والخلو من الطفيليات، وكذلك الإعلان عن أن جيناتها تستحق أن تنتقل للأجيال التالية.

ولم يكـن الإبداع الفني بهـدف المتعة وحسب وإنمـا لعب كذلك دورا مهما في تطور عقولنا، التي تتعامل مع معظم المعلومات بأسلوب رمزي.

فنحن إذن ما لم نغير بطريقة وراثية من شخصيتنا الأساسية، فمن الممكن أن نتوقـع تعاظـم قـوة الترفيـه وشائعات التابلويـد (الصحـف الصفراء) والشبكات الاجتماعية في المستقبل، لا أن تقل.

العلم سلاح ذو حدين

شاهـدت ذات مرة فيلما غيّر من نظرتي للمستقبل إلى الأبد، كان اسمه (الكوكـب المحـرم) Forbidden Planet، وكان مأخـوذا عـن مسرحيـة

(العاصفة) The Tempest لشكسبير. وفي الفيلم يلتقي رواد فضاء بحضارة قديمة، كانت تسبقنا أيام مجدها بملايين السنين. لقد بلغوا هدفهم النهائي من وراء تقنيتهم؛ القدرة المطلقة دون الحاجة إلى أدوات، أي القدرة على القيام بأي شيء تقريبا عن طريق عقولهم. كانت خواطرهم تصل إلى محطات طاقة حرارية نووية عملاقة، مدفونة في أعماق كوكبهم، فتحول كل رغباتهم إلى واقع. أو بعبارة أخرى، كانوا يملكون قدرات الآلهة.

ونحن كذلك سوف نمتلك قدرة مشابهة، لكننا لن نضطر للانتظار ملايين السنين حتى يتم ذلك. إننا لن نضطر إلا للانتظار مدة قرن من الزمان، ويمكننا مشاهدة بذور هذا المستقبل حتى في تكنولوجيا اليوم. غير أن الفيلم كان بمثابة قصة تربوية أيضا، إذ إن هذه القدرة الإلهية في نهاية الأمر هي التي قهرت تلك الحضارة.

وبطبيعة الحال، العلم سلاح ذو حدين؛ إنه يصنع الكثير من المشكلات بقدر ما يحلها، لكن هذا دائما ما يكون عند مستوى أعلى. فهناك في عالم اليوم اتجاهان متنافسان؛ أحدهما خلق حضارة كوكبية علمية مزدهرة، لكن الآخر يمجد الفوضى والجهل اللذين يمكنهما تمزيق نسيج مجتمعنا. ونحن ما زلنا نعتنق المشاعر الطائفية الأصولية غير العقلانية نفسها، التي كانت لدى أجدادنا، لكن الفارق الآن أننا نملك أسلحة نووية وكيميائية وبيولوجية.

في المستقبل، سوف نصنع نقلة وتحولا من كوننا متفرجين سلبيين على رقص الطبيعة؛ إلى مصممين لرقصات الطبيعة، وإلى أسياد للطبيعة، وأخيرا

محافظـين على الطبيعة. فدعونا إذن نأمل في أن نتمكن من السيطرة ببراعة على سيف العلم بالحكمة ورباطة الجأش، ومن ترويض النزعة البربرية التي سادت ماضينا القديم.

دعونا الآن نحجز مقاعدنا في رحلة افتراضية تعبر بنا الأعوام المئة المقبلة من الابتـكارات والاكتشافات العلمية، وذلـك حسبما حكى لي العلماء الذين ينفذون ذلك. سوف تكون رحلة برية نجوس فيها خلال التطورات السريعة ومناحي التقدم في مجالات الحاسبات والاتصالات والتكنولوجيا الحيويـة والذكاء الاصطناعـي والنانو تكنولوجي. إنهـا ستغير دون شك وجه الحضارة.

الفصل الأول

مستقبل الحاسوب العقل يسمو على المادة

«كلنا يجعل من حدود رؤيته حدودا للعالم بأسره»

- آرثر شوبنهاور[1]

«لم يسبق من قبل لأي متشائم أن اكتشف أسرار النجوم أو أبحر إلى أرض لا تظهر على الخرائط أو فتح أبواب فردوس جديد للروح الإنسانية»

- هيلين كيللر[2]

أتذكـر جيدا أنني كنت جالسـا في مكتب مارك ويـزر Mark Weiser بـوادي السليكون منـذ ما يقرب مـن عشرين عاما وهو يشـرح لي رؤيته للمستقبـل. ومـن خلال إيماءاتـه بيديه، شرع يخـبرني في حماس أن ثورة جديـدة على وشـك الاندلاع من شأنها أن تغير وجـه العالم. كان (ويزر) يشـكل جزءا من مجتمع الصفوة في دنيا الحاسوب، إذ كان يعمل في مركز (زيروكس بارك) Xerox PARK (مركز أبحاث بالو ألتو، الذي كان أول من اقتحم مجال الحاسوب الشخصي، وطابعات الليزر، والبنيان المعماري

(1) آرثـر شوبنهاور Arthur Schopenhauer: فيلسـوف ألماني (1788 – 1860) اشتهر بالتشاؤم والوضوح الفلسفي. نشـر في سـن الخامسة والعشرين رسالة الدكتـوراه بعنوان (الأصول الأربعـة لمبدأ السبب الكافي)، وتتنـاول المنطق في عالم الظواهر. (المترجم)

(2) هيلـين آدامز كيللـر Helen Adams Keller: (1880 – 1968) أديبة أمريكية صماء وعمياء وبكماء وناشطة سياسية، ولـدت مصابـة بالعمى والصمـم وتولت تربيتها المربيـة آن سوليفـان Anne Sullivan، ومن مؤلفاتهـا (ملك الصقيع The Frost King في سن الحادية عشر و(قصة حياتي) The Story of My Life. (المترجم)

بنمط ويندوز مع واجهة رسومات للمستخدم)، غير أنه كان يتمتع بفكر مستقل، ولا يؤمن بالمعتقدات البالية، ويحطم كل الأمور البديهية المتعارف عليها، كما كان أيضا عضوا في إحدى فرق الروك الجامحة.

في ذلك العهد (يبدو الأمر وكأن عمرا بأكمله قد مضى)، كانت الحواسب الشخصية أمرا مستحدثا، تبدأ حثيثا في اختراق حياة الناس، مع حماسهم المتباطئ نحو فكرة شراء حاسبات مكتبية هائلة وضخمة من أجل إنجاز تحليل الجداول مع القليل من معالجة النصوص. كانت الإنترنت ما زالت بقدر كبير منطقة معزولة قاصرة على العلماء أمثالي، الذين يراسلون أقرانهم من العلماء الآخرين فيبعثون إليهم بمعادلات رياضية بلغة غامضة. كانت هناك مناقشات حامية تدور حول ما إذا كان من الممكن لهذا الصندوق القابع فوق سطح مكتبك أن يفرغ الحضارة من إنسانيتها بنظرته الباردة غير المتسامحة. حتى المحلل السياسي وليم إف. باكلي William F. Buckley كان مضطرا للدفاع عن معالج النصوص ضد هجوم المفكرين الذين عارضوه ورفضوا لمس أي حاسوب بأي حال، مطلقين عليه اسم (أداة غير المثقفين).

خلال تلك الحقبة من الجدال صاغ (ويزر) مصطلح (الحاسوب في كل مكان). وكان يرى لما هو أبعد بكثير من الحاسوب الشخصي، كان يتنبأ بأن رقاقات الحاسوب سوف تصبح ذات يوم من الرخص والوفرة بحيث تصير منتشرة في جميع أنحاء البيئة من حولنا؛ في ملابسنا، داخل أثاثنا، وجدراننا، بل وحتى داخل أجسامنا. وسوف تصبح جميعها متصلة بشبكة الإنترنت، تتبادل البيانات، وتجعل حياتنا أكثر بهجة، وتلبي

لنـا أمانينـا. في كل مكان نذهب إليه، سوف تلبي لنـا الرقاقات أمانينا في صمت. سوف تصير البيئة مفعمة بالحياة.

بالنسبة لذلك الوقـت، كان حلم (ويزر) يبدو غريبا، بل ومنافيا للعقل. كانـت الحواسـب الشخصيـة مـا زالـت باهظة الثمـن بل وغـير متصلة بالإنترنت. كانـت فكرة أن تصبح مليارات مـن الرقاقات صغيرة الحجم ذات يوم رخيصة رخص المياه الجارية تعد فكرة أقرب إلى الجنون.

ثـم سألته بعد ذلك عن سبب شعوره بتلك الثقة الشديدة في وقوع تلك الثورة. فأجابني في هـدوء أن قدرة الحاسوب في نمو متضاعف، ولا تبدو هناك نهاية في الأفق لذلك النمو. وألمح لي بقوله، أجرِ العملية الحسابية. إن المسألة مسألة وقت ليس إلا. (من المؤسف، أن ويزر لم يعش طويلاً ليشاهد ثورته وقد صارت حقيقة واقعة، إذ توفى بمرض السرطان عام 1999).

كانت القوة الدافعة التي تقف وراء أحلام ويزر التنبؤية شيئا اسمه قانون مـور، وهو مبدأ قاد صناعـة الحواسب لخمسين عاما أو يزيد، محددا إيقاع خطـى الحضارة الحديثـة فيما يشبه تروس الساعة. إن قانـون مور ينص ببساطة على أن قدرة الحاسوب تتضاعف كل فترة تناهز ثمانية عشر شهرا. كان أول من ذكر هذا القانون عام 1965 جوردون مور Gordon Moore، وهو واحد من مؤسسي (إنتل)، وقد ساعد هذا القانون البسيط على إشعال ثورة في اقتصاد العـالم، وحقق ثروات جديدة هائلة، وغير أسلوب حياتنا إلى الأبـد. عندما تضـع إحداثيات السعر الآخـذ في الانخفاض لرقاقات الحاسوب وتقدمها السريع مـن حيث سرعة وقدرة المعالجة، والذاكرة تجد أمامـك خطا مستقيمـا بشكل عجيب يعـود إلى خمسـين عاما مضت.

(لقد وضعت تلك الإحداثيات على منحنى لوغاريتمي. والحقيقة، أنك إذا قمت بمد الشكل البياني، بحيث يشمل تكنولوجيا أنبوب التفريغ بل وحتى آلات الجمع الحسابي الميكانيكية التي تلف باليد، يمكن مد الخط على استقامته لأكثر من 100 سنة ماضية).

وكثيرا ما يصعب الإمساك بالنمو الأُسي أي المتضاعف بقوة الأُس، إذ إن عقولنا تفكر بنمط خطي منتظم. إنه تدريجي إلى الدرجة التي تجعلك في بعض الأحيان غير قادر على الإحساس بالتغيير على الإطلاق. لكن مع مرور عقود، يمكنه أن يغير تماما كل شيء من حولنا.

ووفق قانون مور، فإنه في كل عيد كريسماس تتضاعف قدرات ألعاب حاسوبك الجديدة تقريبا (من حيث عدد الترانزستورات) مقارنةً بالتوقيت ذاته من العام الماضي. أضف إلى ذلك، أنه مع مرور السنين، تصبح هذه الزيادة التراكمية هائلة. فعلى سبيل المثال، عندما تتلقى في البريد بطاقة معايدة بمناسبة عيد ميلادك، غالبا ما تكون بها رقاقة تغني لك أغنية (عيد ميلاد سعيد). العجيب، أن هذه الرقاقة تتمتع بقدرة حاسوب تفوق كل ما كانت تملكه قوات الحلفاء عام 1945. ولو كان هتلر أو تشرشل أو روزفلت علموا بأمر هذه الرقاقة لتقاتلوا عليها. لكن ما الذي نفعله بها؟ بعد انتهاء عيد الميلاد، نلقي بالبطاقة والرقاقة في سلة المهملات. واليوم، صار هاتفك الجوال يمتلك قدرة حاسبة تفوق ما كانت تملكه وكالة ناسا عام 1969، عندما أرسلت رائدي فضاء إلى القمر. وألعاب الفيديو، التي تستهلك مقادير هائلة من قدرة الحاسب من أجل محاكاة المواقف ثلاثية الأبعاد، تستخدم قدرات حاسبة تفوق ما كانت تملكه حاسبات المين فريم

Main frame التي كانت سائدة في عقد سابق. إن أجهزة سوني بلاي ستيشن الموجودة اليوم، وسعرها 300 دولار، تملك قدرة حاسبة كان يمتلكها الحاسب العسكري الفائق عام 1997، الذي تكلف بناؤه ملايين الدولارات.

إن باستطاعتنا فهم الفارق بين النمو الخطي والنمو الأسي لقدرة الحاسوب عندما نحلل أسلوب رؤية الناس لمستقبل الحاسوب في ذلك العهد عام 1949، عندما تنبأت مجلة (بوبيولار ميكانيكس) Popular Mechanics بأن الحاسبات سوف تنمو في المستقبل خطيا، ربما بالتضاعف مرتين أو ثلاث مرات في كل مرة. وكتبت المجلة تقول: (في الوقت الذي نجد فيه آلة حاسبة مثل (إينياك) ENIAC اليوم مجهزة بـ 18 ألف أنبوب مفرغ وتزن 30 طنا، فإن الحاسبات في المستقبل قد لا تحتوي سوى على 1000 أنبوب مفرغ ولن يتعدى وزنها 1.5 طن فقط).

(الطبيعة الأم تقدر قيمة الأس. فالفيروس الواحد يمكنه غزو الخلية البشرية واختطافها وإرغامها على خلق عدة مئات من النسخ منه. إن الفيروس الواحد الذي ينمو بمضاعفات رقم مئة في كل جيل، يمكنه توليد 10 مليارات فيروس في خمسة أجيال لا أكثر. فلا عجب إذن أن الفيروس الواحد يمكنه إصابة الجسم البشري، الذي يحوي تريليونات الخلايا السليمة، بالعدوى ويصيبك بنزلة برد في خلال أسبوع أو نحو ذلك على الأكثر).

لم يزدد فقط مقدار قدرة الحاسوب، لكن أسلوب تحقيق هذه القدرة تغير هو الآخر تغيرا جذريا، وكانت له تداعيات هائلة على الاقتصاد. ويمكننا

رؤية هذا التقدم المضطرد، عقدا وراء عقد:

- خمسينيات القرن العشرين. كانت أجهزة الحاسوب التي تعمل بأنبوب التفريغ عبارة عن آلات عجيبة الشكل تملأ غرفا بأكملها تحوي غابات من الأسلاك والملفات والفولاذ. لم تكن هناك جهة قادرة على تحمل تكلفة هذه الأجهزة الضخمة سوى الجيش.
- الستينيات. حلت الترانزستورات محل أجهزة الحاسوب التي تعمل بأنبوب التفريغ، وبدأت أجهزة المينفريم تدخل السوق التجارية تدريجيا.
- السبعينيات. بدأت لوحات الدوائر المتكاملة (آي سي)، التي تحتوي على المئات من الترانزستورات، تصنع ما عرف بالميكروكمبيوتر، الذي كان في حجم المكتب الكبير.
- الثمانينيات. الرقاقات، التي تحتوي على عشرات الملايين من الترانزستورات، جعلت من الممكن صنع الحواسب الشخصية التي يمكن وضعها في حقيبة أوراق.
- التسعينيات. ربطت الإنترنت بين مئات الملايين من أجهزة الحاسوب في شبكة حاسوب عالمية واحدة.
- بعد عام 2000 حرر مبدأ الحاسوب في كل مكان الرقاقة من الحاسوب، وبهذا انتشرت الرقاقات في البيئة من حولنا.

إذن النموذج القديم (رقاقة واحدة داخل حاسوب مكتبي أو محمول (لابتوب) متصل بحاسوب) بدأ يحل محله نموذج جديد (آلاف الرقاقات المبعثرة في كل شيء كالأثاث، والأجهزة المنزلية، والصور، والجدران، والسيارات، والملابس كلها تتحدث إلى بعضها بعضا وتتصل بالإنترنت).

عنـد وضع تلـك الرقاقات داخـل جهاز ما، نجـده يتحول فيمـا يشبه المعجـزة. فعنـد زرعها في الهواتـف، تتحول إلى هواتـف محمولة. وعند زرعها في كاميـرات، تصير كاميرات رقمية. وصارت ماكينات لعبة (بين بول) ألعـاب فيديو. وصارت أجهزة الفونوغـراف (آي بود). وصارت الطائـرات وحوشا مفترسة مميتة تطير دون طيار. في كل مرة، تحدث ثورة في إحـدى الصناعات وتولد من جديـد. وفي نهاية المطاف، سوف يصير كل شـيء من حولنا تقريبـا ذكيا. وستصير الرقاقات مـن الرخص بحيث تصبح تكلفتها أقل من سعر تغليفها البلاستيكي وسوف تحل محل الباركود. والشـركات التي لا تجعـل منتجاتها ذكية سوف تجـد نفسها مطرودة من المجال الصناعي الذي تعمل به من منافسيها الذين سيقومون بذلك.

وبطبيعة الحال، سنظل محاصرين بشاشات الحاسوب، لكنها ستصير أشبه بورق الحائط، وإطارات اللوحات، والصور العائلية، لا الحاسوب. تخيل جميع الصور والصور الفوتوغرافية التي تزين منازلنا اليوم؛ تخيل الآن أن كل واحدة منها صـارت مفعمة بالحيوية، ومتحركة، ومتصلة بالإنترنت. عندما نسير خارج المباني، سوف نرى الصور تتحرك، لأن الصور المتحركة سوف تكون تكلفتها بسيطة مثلها مثل الصور الثابتة.

إن مصـير الحواسـب – مثلها مثل التقنيات الأخـرى التي تنتج بالجملة كالكهربـاء، والورق، والمياه الجارية – أنها ستصير غير مرئية، بمعنى، أنها ستختفي داخـل نسيج حياتنا، وتصير في كل مكان لكنها خفية، تحقق لنا أمانينا في سلاسة ودون ضجيج.

واليوم، عندمـا ندخل إحدى الغرف، نبحث آليا عـن مفتاح الإضاءة،

إذ إننـا نفترض أن الجدران متصلة بالكهرباء. وفي المستقبل، سوف يكون أول شـيء نصنعه أن نبحث عن مقبس الإنترنـت، لأننا نفترض أن الغرفة ذكيـة. أو على حد تعبير الروائي (ماكس فريش) Max Frisch الذي قال يومـا: (التكنولوجيا (هي) البراعة في أن ترتـب العالم على نحو لا نضطر للإحساس به).

يتيح لنا قانون مـور أيضا التنبؤ بتطور الحاسـوب في المستقبل القريب. فخـلال العقد المقبل، سوف تجتمع الرقاقات مـع أجهزة الاستشعار فائقة الحساسيـة، بحيث يمكنهـا اكتشـاف الأمراض، والحـوادث، وحالات الطـوارئ وأن تنبهنا قبل أن تخرج عن نطـاق السيطرة. وسوف تتعرف بدرجة ما على الصوت البشري وعلـى الوجوه وتتحدث بلهجة رسمية. وسـوف تكون قادرة على خلق عوالم افتراضية كاملة لا يمكننا اليوم سوى أن نحلم بها. وحوالي عام 2020، سوف ينخفض سعر الرقاقة الواحدة إلى مـا يقرب من بنس واحد، وهي تكلفة الـورق (الدشت). وبعدها سوف تكـون لدينا ملايين الرقاقـات الموزعة في كل مـكان في البيئة من حولنا، تنفذ أوامرنا في صمت.

وفي نهايـة المطـاف، سوف تختفي كلمة حاسـوب نفسها من قاموسنا اللغوي.

وحتى أناقشـ التقدم الذي سيحرزه العلـم والتكنولوجيا في المستقبل، قسمت كل فصل إلى ثلاث فترات زمنية: المستقبل القريب (من اليوم حتى عـام 2030)، ومنتصف القرن (من 2030 حتـى 2070)، وأخيرا المستقبل البعيـد، أي من 2070 إلى 2100. تلك الفترات الزمنية ليست سوى فترات

تقريبية، لكنها توضح الإطار الزمني لمختلف الاتجاهات التي يصورها هذا الكتاب.

إن النهضة السريعة التي ستحققها قدرات الحاسوب بحلول عام 2100 سوف تمنحنا قدرات تشبه قدرات آلهة الأساطير التي سمعنا قصصها وأذهلتنا ذات يوم، فتمكننا من التحكم في العالم من حولنا بمجرد التفكير. ومثل آلهة الأساطير، التي يمكنها تحريك الأشياء وإعادة تشكيل الحياة بتلويحة بسيطة باليد أو إيماءة بالرأس، سوف نكون أيضا قادرين على السيطرة على العالم من حولنا باستخدام قوة عقولنا. وسنكون في حالة اتصال ذهني متواصل مع رقاقات منتشرة في بيئتنا تنفذ أوامرنا في صمت.

وأتذكر أنني كنت أشاهد ذات يوم حلقة من مسلسل Star Trek، وفيها مر طاقم السفينة الفضائية (إنتربرايز) Enterprise على كوكب تسكنه آلهة الإغريق. وكان واقفا أمامهم الإله أبولو كالبرج، شخصية عملاقة كان بإمكانها أن تبهر طاقم السفينة وتهيمن عليهم بأعمال الآلهة. لقد كان علم القرن الثالث والعشرين لا حول له ولا قوة. لكن بمجرد تعافي أفراد الطاقم من صدمة مواجهة آلهة اليونان، سرعان ما أدركوا أنه لا بد أن يكون ثمة مصدر لطاقته، وأن أبولو يجب بكل بساطة أن يكون في حالة اتصال ذهني بحاسوب مركزي ومحطة طاقة يلبيان له أمنياته. وبمجرد تحديد الطاقم لموقع مصدر الطاقة وتدميره، تضاءل أبولو إلى كائن عادي يمكن أن يدركه الموت.

لقد كانت هذه مجرد حكاية خرافية من هوليوود. لكن إذا توسعنا في اكتشافاتنا الجذرية التي تتم الآن في معاملنا، فإنه يصبح في مقدور العلماء

تخيل ذلك اليوم الذي يمكننـا نحن أيضا فيه استعمال التحكم التخاطري عن بعد في السيطرة على حواسبنا التي تمنحنا قدرات أبولو.

المستقبل القريب
(من الوقت الحاضر إلى عام 2030)

دورات الإنترنت والعدسات اللاصقة

اليوم يمكننا الاتصال بالإنترنت عن طريق حاسباتنا وهواتفنا المحمولة. لكن في المستقبل، سوف تصبح الإنترنت في كل مكان؛ على الشاشات الحائطية، الأثاث، على لوحات إعلانات الشوارع، بل وحتى داخل نظاراتنا وعدساتنا اللاصقة. وعندما نرمش بجفوننا، يمكننا أن نصبح (أون لاين).

هناك سبل عدة يمكننا من خلالها وضع الإنترنت على عدسة. فالصورة يمكن أن تومض من نظاراتنا مباشرةً من خلال عدسة عينك لتسقط على شبكية العين. ويمكن أيضا عرض الصورة على العدسة، والتي تعمل ساعتها وكأنها شاشة عرض بروجيكتور. أو يمكن تثبيتها في إطار النظارة، وكأنها عدسة صائغ صغيرة. وأثناء تحديقنا في النظارة، نشاهد الإنترنت، وكأننا نشاهد فيلما سينمائيا. وبعدها يمكننا التعامل معه باستخدام جهاز ممسوك باليد يتحكم في الحاسوب من خلال اتصال لاسلكي. ويمكننا أيضا ببساطة تحريك أصابعنا في الهواء للتحكم في الصورة، إذ إن الحاسوب يتعرف على موقع أصابعنا أثناء تلويحنا بها.

على سبيل المثال، منذ عام 1991، عمل العلماء في جامعة واشنطن University of Washington على إتقان العرض الشبكي الافتراضي

(VRD)، وفيه تومض أضواء الليزر الحمراء والخضراء والزرقاء مباشرةً فوق الشبكية. بمجال رؤية زاويته 120 درجة ودرجة وضوح صورة 1600×1200 بيكسل، يمكن للعرض بطريقة VRD إنتاج صورة براقة حية يمكن مقارنتها بتلك التي تشاهدها في قاعة السينما. ويمكن توليد الصورة باستخدام خوذة أو نظارات الوقاية أو النظارات العادية.

خلال عقد التسعينيات، أتيحت لي الفرصة لتجربة نظارات الإنترنت. وكانت نسخة أولية صنعها علماء في ميديا لاب بمعهد ماساشوستس للتكنولوجيا. كانت تبدو أشبه بزوج النظارات العادية، فيما عدا أنها مزودة بعدسة اسطوانية الشكل طولها حوالي 1/2 بوصة، مثبتة في الركن الأيمن من العدسة. كان باستطاعتي النظر من خلال النظارة دون أي مشكلة. لكنني إذا طرقت بخفة على النظارة، فإن العدسة الصغيرة تسقط لتصبح أمام عيني. فإذا حدقت في العدسة، صار في استطاعتي بوضوح تبين شاشة كمبيوتر كاملة، إلا أنها تبدو أصغر قليلاً من شاشة الحاسب الشخصي المعهودة. وقد فوجئت بمدى الوضوح الذي تميزت به، تقريبا كما لو كانت الشاشة أمام وجهي مباشرةً. وبالضغط على الأزرار، كان في استطاعتي التحكم في المؤشر الظاهر على الشاشة بل وحتى كتابة التعليمات على لوحة مفاتيح.

في عام 2010، وفي برنامج كنت أقدمه في قناة (ساينس) Science Channel، ذهبت في رحلة إلى فورت بينينج، جورجيا، لفحص أحدث (إنترنت لميدان المعركة) مملوك للجيش الأمريكي، اسمه (المحارب البري). وضعت على رأسي خوذة خاصة ذات شاشة مصغرة الحجم

مثبتــة إلى جانبها. وعندما قلبت الشاشة فوق عيني، أمكنني فجأة أن أرى صــورة مذهلــة: ميدان المعركة بالكامــل وهناك علامة إكســ تحدد موقع الجيوش الصديقة وجيوش الأعداء. والمثير للإعجاب أن (ضباب المعركة) انقشــع، وكانت أجهزة استشعار تحديد الموقــع الجغرافيGPS تحدد بدقة موقــع جميــع القــوات، والدبابات، والمبــاني. عن طريق النقــر على زر، تتغــير الصورة سريعا، فتجعل الإنترنت تحت تصرفي في ميدان المعركة، مع تزويدي ببيانات تتعلق بحالة الطقس، وتنظيم الجيوش الصديقة والمعادية، وإستراتيجياتها وتكتيكاتها.

في نسخة أكــثر تقدما بكثير تومض الإنترنت مباشرةً من خلال عدساتنا اللاصقــة عن طريق زرع رقاقــة وشاشة عرض LCD داخــل البلاستيك. يضع باباك أيه. بارفيــز Babak A. Parviz ومجموعته بجامعة واشنطن في سياتل الأساس لعدسات الإنترنت اللاصقة، حيث يصممون نماذج مبدئية ربما تغير في نهاية المطاف من أسلوبنا في الدخول على الإنترنت.

وهو يتوقع أن يكون من بين التطبيقات الفورية لهذه التكنولوجيا مساعدة مرضــى السكري على تنظيم مستويات الجلوكوز لديهم. وسوف تعرض العدســة قراءة مباشرة لأحوال أجسادهــم. لكن هذه ليست سوى البداية. في نهاية الأمر، يحلم بارفيز بذلك اليوم الذي نصبح قادرين فيه على إنزال أي فيلــم، أو أغنية، أو موقع إنترنت، أو معلومة من الإنترنت على عدستنا اللاصقــة. سوف يكون لدينا نظام ترفيهي منــزلي متكامل داخل عدساتنا ونحن جالســون في مقاعدنا الوثيرة نستمتع بأفــلام روائية طويلة. يمكننا أيضــا استخدامها في الاتصال مباشرةً بحاسب مكتبنا من خلال عدساتنا،

ثــم نتعامل مع الملفات التي تومض أمامنا. ونحن مرتاحون على الشاطئ، يمكننا إقامة مؤتمر عن بعد مع المكتب بمجرد الرمش بالجفون.

بــزرع بعض البرامج التــي تتعرف على النمط في نظــارات النت هذه، سوف يمكنها أيضا التعرف على الأشياء بل وحتى على وجوه بعض الناس. بعضــ برامــج الحاسب يمكنها بالفعــل التعرف على الوجــوه التي سبقت برمجتهــا بدقة تزيد على 90 في المئة. ليس الاســم فقط، وإنما السيرة الذاتية للشخص الذي تتحدث معه قد تومض أمامك وأنت تتكلم. ففي اجتماع مــا قد ينهــي هذا الأمر الإحــراج الذي يحدث عندما تفاجــأ بشخص ما تعرفــه لكنك لا تتذكر اسمه. قد يؤدي هذا أيضا وظيفة مهمة في حفلات الكوكتيــل، حيث يكون هناك أغراب كثيرون، بعضهــم يتمتعون بأهمية كبــيرة للغاية، لكنك لا تعرف هويتهم. وفي المستقبل، سوف تكون قادرا علــى تحديد هوية الغرباء ومعرفة نبذة عنهــم، حتى وأنت تتحدث معهم. (هــذا يشبه إلى حد ما العالم وأنت تــراه من خلال عيون الروبوت في فيلم المدمر Terminator).

ربما غير هذا من النظــام التعليمي. ففي المستقبل، سوف يكون الطلاب الذيــن يحضرون اختبــار نهاية العام قادرين علــى أن يمسحوا الإنترنت في صمت عبر عدساتهم اللاصقة بحثا عن إجابات الأسئلة، وهو ما يمكن أن يفرضــ مشكلة واضحة على المعلمين الذين كثيرا ما يعتمدون على الحفظ عن ظهــر قلب. ومعنى هــذا أن المعلمــين سوف يشــددون على قدرات التفكير والتحليل المنطقي.

قد تحتــوي نظارتك أيضا علــى كاميرا فيديو دقيقة الحجــم في إطارها،

وبهـذا يمكنهـا تصوير الأماكـن المحيطة بك ومن ثم يبـث الصور مباشرةً علـى الإنترنت. وقد يكون الناس من جميع أنحاء العالم قادرين على تبادل تجاربهـم معا أثناء حدوثهـا. وأيا كان ما تشاهده، فـإن آلافا من الآخرين سوف يكونـون قادرين علـى مشاهدته هم كذلك. وسـوف يعلم أولياء الأمـور ما يفعلـه أبناؤهم. وقـد يتقاسم المحبون مـا يعايشون من تجارب عندمـا يكونون متباعديـن. وسوف يصبح الناس في الحفـلات الموسيقية قادريـن على إيصال مدى ما يشعرون به من إثارة وانفعالات إلى الجماهير مـن جميع أنحاء العالم. وسـوف يزور المفتشون المصانـع البعيدة ومن ثم يبثون صورا حية مباشرة إلى عدسات رؤسائهم اللاصقة. (أو قد يقوم أحد الزوجـين بالتسـوق، في الوقت الذي يبدي الآخر تعليقـه على ما يشتريه الأول).

بالفعـل تمكن بارفيز من تصغـير رقاقة الحاسوب بحيـث يمكن وضعها داخل غلالة العدسة اللاصقة الرقيقـة المصنوعة من اللدائن. ونجح كذلك في وضـع وحدة LED (ديود باعث للضوء) داخل العدسة اللاصقة، وهو يعمـل الآن على عدسـة بها مصفوفـة 8×8 من وحـدات LED. ويمكن التحكـم في عدستـه اللاصقة بالاتصـال اللاسلكي. وعلـى حد زعمه، (سـوف تشتمل تلك المكونـات في نهاية الأمر على مئـات من وحدات LED، التـي سوف تصنـع الصور أمام العين، مثـل الكلمات، والخرائط، والصـور الفوتوغرافية. كثير من الأجهزة تكـون شبه شفافة بحيث يمكن لمرتديها الإبحار في البيئة المحيطة به دون الاصطدام بها أو فقدان اتجاهه). وهدفه النهائي، والذي ما زال أمامه سنوات لكي يحققه، هو صنع عدسة

لاصقــة ذات 3600 بكســل، كل واحــدة منهــا لا يزيد سمكهــا على 10 ميكرون.

إحدى مزايا عدسة الإنترنت اللاصقة أنها تستهلك قدرا بالغ الضآلة من الطاقــة، لا يزيد على بضعة أجزاء مــن المليون من الواط، لهذا فهي شديدة الوفــر في احتياجاتهــا من الطاقــة ولا تعمل على إفــراغ البطارية. وهناك ميزة أخرى، وهي أن العين والعصب البصري هما بصورة ما امتداد مباشر للمخ البشري، وبهذا فإننا نحصل على مدخل مباشر إلى المخ البشري دون أن نضطــر لــزرع أقطاب كهربية. وتقــوم العين والعصــب البصري بنقل المعلومــات بمعدل يتجاوز معدل الاتصــال بالنت فائق السرعة. وبهذا فإن عدسة الإنترنت اللاصقة ربما تكون الأكثر كفاءة والأسرع وصولاً للمخ.

إن إضاءة صورة على العين عبر العدسة اللاصقة تعد أكثر تعقيدا إلى حد ما مما هو عليه الحال في نظارات الإنترنت. إن وحدة الديود الباعث للضوء يمكنهــا إنتاج نقطة، أو بكسل، من الضوء، لكــن عليك أن تضيف عدسة مصغــرة بحيث تركز مباشرةً على الشبكية. ســوف تظهر الصورة النهائية سابحــة على بعد قدمين منك. وهناك تصميم أكثر تقدما يفكر بارفيز فيه، ألا وهــو استخدام الميكروليــزر microlaser في إرسال صورة بالغة الحدة إلى الشبكية مباشرةً. باستخدام التكنولوجيا ذاتها في صناعة الرقاقات التي يتم بها نحت الترانزستورات الدقيقة، يمكن للمرء أيضا حفر ليزرات دقيقة بالحجم ذاته، فيصنع أصغــر ليزرات في العالم. الليزرات التي يبلغ عرضها حوالي 100 ذرة متاحة لهــذه التقنية من حيث المبدأ. مثل الترانزستورات، يمكنك بالتالي حشد ملايين الليزرات داخل رقاقة بحجم ظفرك.

سيارة دون قائد

في المستقبل القريب، سوف تكون قادرا أيضا على تصفح شبكة الإنترنت بأمان من خلال عدساتك اللاصقة في الوقت الذي تقود فيه سيارتك. إن الذهاب للعمل لن يمثل ذلك العبء المؤلم الذي كان يمثله لك، لأن السيارات ستقود نفسها. والسيارات التي بلا قائد تستطيع بالفعل باستخدام جهاز GPS تحديد مواقعها في حدود بضع أقدام، وتستطيع السير لمئات الأميال. وقد رعت وكالة مشاريع أبحاث الدفاع المتطورة التابعة للبنتاجون (DARPA) مسابقة، أسمتها التحدي الكبير لـ DARPA، وفيها دعيت المعامل للتقدم بعروضها لسيارات بلا قائدين لخوض سباق تخترق فيه صحراء (موجافي) للفوز بجائزة مقدارها مليون دولار. وفي هذا كانت DARPA تواصل تقليدها الذي بدأته منذ أمد بعيد في تمويل تقنيات حالمة وإن كانت تتسم بالمخاطرة.

(من الأمثلة على مشروعات البنتاجون شبكة الإنترنت نفسها، التي صممت في الأصل من أجل ربط العلماء والمسؤولين ببعضهم بعضا أثناء اندلاع حرب نووية وبعد أن تضع أوزارها، وكذلك نظام GPS، الذي صمم في الأصل لتوجيه صواريخ ICBM. لكن كليهما، الإنترنت و GPS، كان سريا ولم يطرح لعموم الناس إلا بعد انتهاء الحرب الباردة).

في عام 2004، بدأت المسابقة بداية محرجة، عندما لم تتمكن سيارة واحدة دون قائد من قطع 150 ميلاً من الأراضي الوعرة وعبور خط النهاية. فالسيارات الأشبه بالروبوت إما تحطمت وإما ضلت الطريق. لكن في العام التالي، أكملت خمس سيارات مسافة السباق التي كانت

حتـى أكثر صعوبة من سابقتها؛ حيـث تعين عليها السير في طرق احتوت على 100 منعطف حاد، والمرور في ثلاثة أنفاق ضيقة، وقطع مسارات بها منحدرات شديدة.

وقد ذكر المحللون أن السيارات الأشبه بالروبوت ربما تكون قادرة على السير في الصحراء، لكن ليس في شوارع المدينة المزدحمة. وهكذا في عام 2007، رعـت DARPA مشروعا أكثر طموحا من هذا، التحدي الحضري Urban Challenge، وفيـه كان علـى السيـارات الآليـة أن تكمل مسارا منهـكا مسافته 60 ميلاً عبر أراضٍ تحاكي المدن في أقل من ست ساعات. وكان علـى السيـارات إطاعة قوانين المرور كافـة، وأن تتفادى السيارات الآلية الأخـرى طيلة مسار السباق، وأن تدبـر أمرها في التقاطعات ذات الأربـع اتجاهات. وأتمت ست فرق بنجـاح التحدي الحضري، وحصلت الثلاثـة الأولى منها على جوائـز قيمتها مليوني، وواحـد مليون، ونصف مليون دولار على الترتيب.

إن الهـدف الذي يسعـى إليه البنتاجـون هو جعل ثلث القـوات البرية الأمريكيـة بالكامل آلية الحركة بحلـول عام 2015. ويمكن لهذه التقنية أن تثبت مـدى جدواها في إنقـاذ الأرواح، إذ إنه في الآونـة الأخيرة كانت معظم الإصابات بين الجنود الأمريكيين من القنابل التي تزرع على جانبي الطريـق. وفي المستقبل، ستكون كثير من المركبات الحربية الأمريكية دون قائـد على الإطلاق. لكن على مستـوى المستهلكين، قد يعني هذا تصنيع سيـارات تقـود نفسهـا بضغطة زر، فتتيـح لسائقها أن يعمـل ويسترخي ويبدي إعجابه بالمشاهد من حوله أو يشاهد فيلما أو يتصفح الإنترنت.

وقـد أتيحت لي الفرصة لكـي أقود واحدة من تلـك السيارات بنفسي لصالـح برنامج تلفزيوني تنتجه قناة ديسكفري Discovery. كانت سيارة رياضية رشيقة للغاية، أدخل عليها المهندسون بجامعة ولاية نورث كارولينا North Carolina State University تعديلات بحيث صارت ذاتية القيادة تماما. كانت حاسباتها تملك قدرة ثمانية حاسبات شخصية. وكان ركوب السيـارة يمثل لي مشكلة إلى حد ما، إذ كانـت مزدحمة من الداخل. ففي جميع أنحائها مـن الداخل، استطعت أن أرى مكونات إلكترونية شديدة التعقيـد متراكمة فوق المقاعد والتابلـوه. وعندما أمسكت بعجلة القيادة، لاحظت أن لها كابـلاً مطاطيا خاصا يتصل بمحرك صغير. وبهذا كان في مقدور الحاسب الآلي، عن طريق التحكم في المحرك، إدارة عجلة القيادة.

وبعـد أن أدرت المفتاح، وضعت قدمي علـى دواسة البنزين، ووجهت السيـارة نحو الطريـق السريع، وضغطـت على أحد المفاتيـح الذي أتاح للحاسـب تولي زمام الأمور. ورفعت يدي من على مقود السيارة، فبدأت السيارة تقود نفسها. كنت واثقا بشدة في السيارة، التي كان حاسبها الآلي يجـري باستمرار تعديـلات دقيقة من خلال الكابـل المطاطي على عجلة القيـادة. وفي البداية، كان من العجيب بعض الشـيء أن ألاحظ أن عجلة القيـادة ودواسة البنزين تتحركان من تلقاء نفسيهما. وشعرت كما لو كان هنـاك سائق غير مرئي، يشبـه الشبح قد سيطر على السيـارة، لكنني بعد برهـة اعتدت الأمر. في الحقيقة، صار الأمـر متعة بعد ذلك، أن تسترخي في سيارة تقـود نفسها بنفسها بدقة ومهارة سوبرمان. كان في استطاعتي أن أرجع إلى الخلف في مقعدي وأستمتع بالرحلة.

كان نظـام GPS بمثابة القلب بالنسبة للسيارة التـي بلا سائق، فقد أتاح للحاسـب أن يحـدد موقعها في نطـاق بضع أقدام. (في بعض الأحيان، حسبمـا أخبرني المهندسون، يمكن لجهـاز GPS تحديد موقع السيارة حتى نطاق بضع بوصات). إن جهـاز GPS نفسه يعد من روائع التكنولوجيا. فكل واحـد من أقمار GPS الاثنين والثلاثين التـي تدور في فلك الأرض يبث موجة راديـو معينة، والتي تلتقطها بعد ذلك مستقبلات GPS داخل سيارتـي. وتتعرض الإشارة القادمة من كل قمر صناعي للتشوه نظرا لسير تلـك الأقمار في مـدارات مختلفة عن بعضها اختلافـا طفيفا. ويطلق على هـذا التشوه اسم (انحـراف دوبلـر) Doppler shift. (موجات الراديو، علـى سبيل المثال، تنضغط إذا كان القمر يتحرك باتجاهك، وتتسع إذا كان في حالـة ابتعاد عنك). وبتحليـل ذلك التشوه الطفيف للـترددات الآتية مـن الأقمار الصناعيـة الثلاثة أو الأربعة، يستطيـع حاسب السيارة تحديد موضعي بدقة.

كان في السيـارة أيضا رادار داخل مصداتها بحيـث تستشعر العوائق. وسوف يكون هذا أمرا بالغ الأهمية مستقبلاً، لأن كل سيارة سوف تتخذ بطريقـة أوتوماتيكية إجراءات الطوارئ بمجـرد اكتشافها لحادث وشيك الحـدوث. واليوم، يمـوت في الولايات المتحـدة سنويا مـا يناهز 40 ألف شخص في حوادث سيـارات. وفي المستقبل، ستتلاشـى تدريجيا عبارة (حادث سيارة) من اللغة.

قـد تصبح الاختناقـات المرورية كذلك أمرا مـن الماضي. سوف يكون حاسـوب مركزي قادرا على تتبع الحـركات كافة التي تقوم بها كل سيارة

علـى الطريق عن طريق الاتصال بكل سيـارة تسير بلا قائد. سوف يكون من السهـل حينذاك تحديد مواقع الاختناقات المروريـة والمناطق التي تمثل عنـق زجاجة علـى الطرق السريعـة. في إحدى التجـارب، التي أجريت شمـال سان دييجو على الطريـق رقم 15 الرابط بـين الولايات، وضعت رقاقـات كمبيوتـر في الطريق بحيث صار الحاسـوب المركزي قادرا على السيطـرة على السيارات المنطلقة على الطريق. وفي حالة حدوث اختناق مـروري، يسيطر الحاسوب على السيارة بـدلاً من السائق ويسمح بإعادة الحركة الانسيابية للمرور من جديد.

سـوف تكـون سيـارة المستقبل قـادرة أيضا علـى استشعـار الأخطار الأخـرى. فقد لقي الآلاف مـن الناس مصرعهم أو لحقـت بهم إصابات في حـوادث سيارات عندما غلـب النعاس قائد السيـارة، لا سيما ليلاً أو في حالة قطع مسافات طويلـة في رحلات رتيبة. واليوم يمكن للحاسوب التركيز على عينيك وتحديد العلامات التي تنم عن بدء النعاس. وتتم عندئذ برمجـة الحاسوب بحيث يصدر صوتا ويوقظك من النعاس. فإذا فشل هذا الأمـر، يتولى الحاسوب قيـادة السيارة. ويمكن للحاسبـات أيضا التعرف علـى وجود كميـات مفرطة من الكحول في السيـارة، مما قد يخفض من الآلاف من حالات الوفيات المتعلقة بتعاطي الخمور والتي تقع سنويا.

إن الانتقـال إلى السيـارات الذكيـة لن يحدث على الفـور. في البداية، سوف تقـوم القوات المسلحة بنشر هذه السيـارات، وخلال ذلك سوف تعالج أي ثغـرات في المنظومة. وبعدها سوف تدخل السيارات الروبوت السـوق، فتظهر في بادئ الأمر على القطاعات الطويلة المملة الممتدة على

الطرق السريعة الرابطة بين الولايات. وبعدها، سوف تظهر في الضواحي والمدن الكبرى، غير أن القائد سوف يمتلك دوما القدرة على تولي زمام الأمور بدلاً من الحاسوب في حالات الطوارئ. وفي نهاية الأمر، سوف نتعجب كيف أمكننا أن نعيش دون تلك السيارات.

شاشات على الجدران الأربعة

إن الحاسبات لن تكتفي بتخفيف عبء المشاوير التي نقوم بها بالسيارات وتقليص أعداد حوادث السيارات، وإنما ستساعد كذلك في ربطنا بأصدقائنا ومعارفنا. ففي الماضي، شكا البعض من أن ثورة الحاسوب أفقدتنا آدميتنا وعزلتنا عن بعضنا بعضا. وحقيقة الأمر، أنها سمحت لنا بتوسيع دائرة معارفنا وأصدقائنا بصورة خرافية. فعندما تشعر بالوحدة أو تكون في حاجة إلى صحبة، فإن كل ما عليك أن تطلب من شاشة حائطك أن تقيم لعبة جسر مع غيرك ممن يشعرون بالوحدة في أي مكان من العالم. عندما ترغب في شيء من المساعدة في التخطيط لأجازة، أو تنظيم رحلة، أو تحديد موعد للالتقاء مع صديق أو صديقة، سوف تقوم بكل ذلك من خلال الشاشة.

وفي المستقبل، قد يكون أول ما يظهر لك على شاشتك الحائطية وجها بشوشا (وهو وجه يمكنك تغييره بحيث يلائم ذوقك). وسوف تطلب منه وضع خطة لأجازة تريد قضاءها. وهو يعلم مسبقا بأفضلياتك وسوف يقوم بمسح الإنترنت ويقدم لك قائمة بأفضل الخيارات المتاحة بأفضل الأسعار.

وقد تتم أيضا التجمعات العائلية عبر الشاشة الحائطية. جميع حوائط غرفة معيشتك سوف يكون بها شاشات حائطية، وبهذا سوف تصبح محاطا بصور أقاربك الآتية من أماكن بعيدة. وفي المستقبل، ربما قد لا يتمكن أحد أقاربك من زيارتك في مناسبة مهمة. وبدلاً من ذلك، ربما تتجمع العائلة حول الشاشة الحائطية وتحتفل بلقاء عائلي جزء منه واقعي والجزء الآخر افتراضي. أو من خلال عدساتك اللاصقة، يمكنك مشاهدة صور جميع أحبائك كما لو كانوا موجودين بالفعل، حتى لو كانوا على بعد آلاف الأميال. (علق بعض المعلقين على هذا بأن الإنترنت اعتبرت في الأصل جهازا (ذكوريا) أنشأه البنتاجون، بمعنى، أنه كان معنيا بالسيطرة على العدو في زمن الحرب. لكن الآن صارت الإنترنت بصورة أساسية جهازا (أنثويا)؛ لأنه صار معنيا بالوصول لمن يوجدون بعيدا عنا والاتصال بهم).

إقامة المؤتمرات عن بعد Teleconference سوف يحل بدلاً منه الحضور عن بعدTelepresence ؛ صور كاملة ثلاثية الأبعاد وأصوات مجسمة لشخص ما تظهر على نظارتك أو عدستك اللاصقة. ففي أحد الاجتماعات على سبيل المثال، سوف يجلس الجميع حول مائدة، إلا أن بعض المشاركين لن يظهروا إلا على عدستك أنت. ودون عدستك، سوف تجد أن بعض المقاعد حول المائدة شاغرة. أما باستخدام عدستك، فسوف تشاهد صورة للجميع وهم جالسون في مقاعدهم كما لو كانوا موجودين بالفعل. (ومعنى هذا أن جميع المشاركين سوف يتم تصويرهم بالفيديو باستخدام كاميرا خاصة وهم جالسون حول مائدة مماثلة ثم

ترسل الصور عبر الإنترنت).

في فيلم (حـرب النجوم) Star Wars، ذُهـل المتفرجون عندما شاهدوا صورا ثلاثية الأبعاد لأشخاص تظهر في الهواء. لكن باستخدام تكنولوجيا الحاسـوب، سوف نتمكن في المستقبل من رؤية تلك الصور ثلاثية الأبعاد بعدساتنا اللاصقة، ونظاراتنا، أو على شاشاتنا الحائطية.

في البدايـة، قد يبدو مستغربا أن تتحـدث إلى غرفة خالية من البشر. لكن تذكـر، أنه عندما ظهـر الهاتف لأول مرة، انتقده البعض، قائلين إن الناس سـوف يتحدثون إلى أصوات بـلا أجساد. وشكا هؤلاء من أن هذا الهاتف سـوف يحـل تدريجيا محـل اللقاءات التي يجتمـع فيهـا الأشخاص سويا. وكانت الانتقادات محقة فعلاً، لكن اليوم صرنا لا نعبأ بالتحدث إلى أصوات بلا أجساد؛ لأنه زاد بشكل واسع من دائرة اتصالاتنا وأثرى حياتنا.

قد يغير هذا أيضا من شكل حياتك الغرامية. فإذا كنت وحيدا، فإن شاشتك الحائطية سوف تتعرف على أفضلياتك السابقة والسمات البدنية والاجتماعية التـي تتمناهـا فيمن تريد مواعدتـه، ثم تمسح شبكة الإنترنـت للحصول على شريـك متـاح. ولمـا كان الناس أحيانا مـا يكذبون فيمـا يتعلـق بالمعلومات الشخصية عنهم، فإنه كإجراء أمني، سوف تقوم شاشتك الحائطية بعمل مسح لتاريخ كل شخص من أجل اكتشاف البيانات الزائفة في سيرتهم الذاتية.

الورق الإلكتروني المرن

هبـط سعر شاشة التلفـاز المسطحة، التي كان سعرها ذات يوم يزيد على عشـرة آلاف دولار إلى ما يقرب من واحـد على خمسين من ذلك السعر

خـلال عقد واحد. وفي المستقبل، سوف يهبـط سعر الشاشات المسطحة التـي تغطي الحائـط بأكمله هبوطا مدويا. وسوف تكـون تلك الشاشات الحائطيـة مرنـة وسمكها غايـة في الرقـة، باستخدام الـ OLEDs (وهي الحـروف الأولى من عبـارة معناها الديـودات العضوية الباعثـة للضوء). إنها مماثلة للديـودات العادية الباعثة للضوء، إلا أنها مصنوعة من مركبات عضويـة يمكن ترتيبها على هيئة لدائن، مما يجعلها مرنة. وكل بكسل على الشاشة المرنة متصل بترانزستور يتحكم في اللون وشدة الإضاءة.

يعمـل علمـاء مركز الشاشـات المرنة التابـع لجامعة ولايـة أريزونا بالفعل بالتعاون مـع مؤسسة هيوليت باكارد والجيش الأمريكي، على إتقان صنع هـذه التقنية. وسوف تدفع قـوى السوق بعد ذلك تكلفة هـذه التقنية نحو الهبـوط، وتجعلها متاحة لعامة الناس. ومع هبـوط السعر، قد تقترب تكلفة تلـك الشاشات الحائطيـة في النهاية من سعر ورق الحائـط العادي. إذن في المستقبل، عندما يفكر أحدهم في لصق ورق حائط، ربما تجده يضع بدلاً منها شاشات حائطية. وعندما يرغب في تغيير الرسم الذي على ورق الحائط، فإن كل ما عليه أن يضغط زرا. وبهذا يصبح تغيير الديكور أمرا غاية في البساطة.

وربمـا تحدث تقنية الشاشات المرنة هذه ثورةً أيضا في أسلوب تعاملنا مع حاسباتنا المحمولـة. فلن نحتاج إلى حمل حاسب محمول (لابتوب) ثقيل معنا. فقد يصبح الحاسب المحمول مجرد فرخ بسيط من الـ OLEDs نطبقه بعد ذلك ونضعه في حافظات نقودنا. وقد يحتوي الهاتف المحمول على شاشـة مرنـة يمكن جذبها للخـارج، مثل الدرج. وبعد ذلـك، وبدلاً من أن تلقـى العناء في النسخ على لوحة المفاتيح صغـيرة الحجم التي بهاتفك

المحمول، ربما تكون قادرا على جذب شاشة مرنة بالحجم الذي تريده.

هـذه التقنية تمكننا أيضا مـن تصنيع شاشات حاسـوب شخصي شفافة تماما. في المستقبل القريب، ربما نحدق في شاشة، ثم نلوح بأيدينا، وفجأة تتحـول النافـذة إلى شاشة حاسوب شخصـي، أو أي صورة نرغب فيها. وربما نحدق في نافذة تبعد عنا بآلاف الأميال.

واليـوم، لدينـا ورق دشت كتبنا عليه ثم نتخلص منـه بعد ذلك. أما في المستقبل، فقد يكون لدينا كمبيوتر دشت ليس له هوية خاصة به. فنكتب عليـه ثم نتخلص منه. اليـوم نرتب مكتبنا وأثاثنا حـول الحاسوب، الذي يهيمن على غرفة المكتب. أما في المستقبل، فربما يختفي الحاسوب المكتبي وتتنقل الملفات معنا أينما ذهبنا من مكان إلى آخر، ومن غرفة إلى أخرى، أو من المكتب إلى المنزل. وسوف يقدم لنا هذا معلومات لا تشوبها شائبة، في أي وقت، وفي أي مـكان. واليوم في المطارات ترى المئات من المسافرين يحملون حاسباتهم المحمولة. وبمجـرد نزولهم في الفندق، يكون عليهم الاتصـال بالإنترنت؛ وبمجـرد عودتهم إلى منازلهم، يكـون عليهم إنزال ملفـات على أجهزتهم المكتبية. أما في المستقبـل، فلن تحتاج مطلقا لحمل حاسـوب معك أينما ذهبت، إذ إنـه في كل مكان تذهب إليه، سوف تجد الحوائط، والصـور المعلقة، والأثاث يربط بينك وبـين الإنترنت، حتى لو كنت داخـل قطار أو سيارة. (الحوسبة السحابية Cloud computing التي تحاسـب فيها لا على الحواسـب وإنما على زمـن استخدامك للحاسوب، والتي تتعامل مع استخدام الحاسوب وكأنه مرفق من المرافق يقاس بعدادات مثل استهلاك المياه والكهرباء، يُعد مثالاً مبكرا على هذا).

العوالم الافتراضية

إن الهدف من تواجد الحاسبات في كل مكان هو إدخال الحاسوب في عالمنا: جعل الرقاقات في كل مكان. والهدف من الواقع الافتراضي Virtual Reality هو العكس: وضعنا داخل عالم الحاسوب. لقد كان الجيش أول من قام بتقديم ما يعرف بالواقع الافتراضي في ستينيات القرن الماضي كوسيلة لتدريب الطيارين والجنود باستخدام عمليات المحاكاة. وكان في استطاعة الطيارين التدريب على الهبوط على سطح حاملة طائرات عن طريق مشاهدة شاشة حاسوب وتحريك ذراع التوجيه المستخدم في ألعاب الفيديو. وفي حالة الحرب النووية، أمكن للجنرالات والزعماء السياسيين المتواجدين في مواقع متباعدة الالتقاء سرا في الفضاء الإلكتروني.

اليوم، بعد أن اتسع نطاق قدرات الحاسوب بصورة هائلة، يمكن للمرء العيش داخل عالم من المحاكاة، حيث يمكنك التحكم في تجسيد ما (صورة متحركة تمثلك). ويمكنك الالتقاء بتجسيدات أخرى، وأن تستكشف العوالم التخيلية، بل والوقوع في الغرام والزواج. يمكنك أيضا شراء أصناف افتراضية بأموال افتراضية يمكن فيما بعد تحويلها إلى أموال حقيقية. ومن أشهر المواقع على النت، واسمه (الحياة الأخرى) Second Life، سجل 16 مليون حساب بحلول عام 2009. وفي ذلك العام، ربح العديد من الأشخاص أكثر من مليون دولار سنويا باستخدام موقع الحياة الأخرى. (إلا أن الربح الذي تحققه خاضع للمحاسبة ضريبيا من قبل الحكومة الأمريكية، التي تعتبره دخلاً حقيقيا).

صار الواقع الافتراضي بالفعل عصب ألعاب الفيديو. وفي المستقبل ومع

استمـرار قدرات الحاسـوب في التوسع، من خلال نظارتـك أو شاشتك الحائطيـة، سوف تكون قـادرا أيضا على زيارة العوالم غـير الواقعية. على سبيـل المثال، إذا رغبت في الذهاب للتسـوق أو زيارة مكان غريب، فقد تقـوم بذلك أولاً من خلال الواقع الافتراضي، فتبحر عبر شاشة الحاسوب كما لو كنـت هناك بالفعل. وبهذه الطريقة، سوف تتمكن من السير على القمـر، أو تمضي أجازة علـى سطح المريخ، أو تتسوق من بلدان بعيدة، أو تزور أي متحف، أو تقرر لنفسك إلى أين تريد الذهاب.

سـوف تملك القـدرة إلى حد ما علـى الشعور بالأشيـاء ولمسها في هذا العالم الإلكتروني. هذا ما يطلق عليـه اسم (التكنولوجيا اللمسية) Haptic Technology، وهـي تتيح لـك الإحساس بوجـود الأشيـاء التي يولدها الحاسوب. لقد ابتكرت هذه التقنية في البداية على يد العلماء الذين أرادوا التعامـل مع المواد ذات النشاط الإشعاعـي العالي باستخدام أذرع روبوتية يتـم التحكم فيها عن بعد، وكذلـك الجيش الذي كان يرغب في أن يشعر طياروه بمقاومة ذراع التحكم في محاكي الطيران.

ولمحاكاة الإحساس باللمس صنع العلماء جهازا متصلاً ببايات وتروس، بحيـث يمكنك دفع أصابعك للأمام على الجهاز، فيقاوم دفعتك، فيحاكي ذلك الإحساس بالضغط. وبينمـا أنت تحرك أصابعك على سطح منضدة مثـلاً، يمكن لهذا الجهاز محاكاة الإحساس بملمس السطح الخشبي الجامد. وبهـذه الطريقة، يمكنك استشعار وجـود الأشياء التي تشاهد في نظارات الرؤيـة المجسمة ذات الواقع الافتراضي، فتكمل عملية تخيل وجودك في مكان آخر.

ولخلق الإحساس بملمس الأشياء، هناك جهاز آخر يسمح لأصابعك بالمرور عبر سطح يحوي الآلاف من الدبابيس دقيقة الحجم. وأثناء حركة أصابعك، يتم التحكم في ارتفاع كل دبوس عن طريق حاسب آلي، بحيث يمكنه محاكاة ملمس سطح صلب أو الأقمشة المخملية أو ورقة صنفرة خشنة. وفي المستقبل، وعن طريق ارتداء قفازات خاصة، قد يكون من الممكن منح إحساس واقعي بملمس مختلف الأجسام والأسطح.

وسوف يكون ذلك أمرا جوهريا بالنسبة للجراحين مستقبلاً، إذ يتعين على الجراح أن يكون قادرا على الإحساس باللمس عند أدائه لجراحة دقيقة، وقد يكون المريض عبارة عن صورة مجسمة ثلاثية الأبعاد. ويأخذنا هذا أيضا إلى إلقاء نظرة عن كثب على السطح المجسم الذي عرضه مسلسل Star Trek، حيث تتجول في عالم افتراضي وتتمكن من ملامسة أجسام افتراضية. وبينما تتجول في أنحاء غرفة خالية، يمكنك رؤية أجسام خيالية في نظارتك أو عدستك اللاصقة. وبينما تمد يدك وتمسك بها، يرتفع جهاز لمسي على الأرض ويحاكي الجسم الذي تلامسه.

لقد سنحت لي الفرصة لكي أشهد تلك التقنيات وهي تظهر لأول مرة عندما قمت بزيارة لـ CAVE (وهي الحروف الأولى من كلمات عبارة معناها بيئة الكهف الافتراضية الآلية) بجامعة روان Rowan بنيوجيرسي New Jersey لصالح قناة (ساينس). لقد دخلت غرفة خالية، حيث أصبحت محاطا بأربعة جدران، كل جدار منها مضاء ببروجكتور. وأصبح في الإمكان عرض صور ثلاثية الأبعاد مضيئة على الجدران، مما أعطى الرائي إحساسا وهميا بأنه قد انتقل إلى دنيا أخرى. وفي واحد من هذه العروض، صرت

محاطـا بديناصـورات عملاقة شديدة الضـراوة. وبتحريك عصـا التحكم، أمكنني امتطـاء ظهر التيرانوصورس ركس Tyrannosaurus rex، بل وحتى الدخـول إلى فمه مباشرةً. ثم زرت بعد ذلـك أرض برهان أبردين بميريلاند، حيـث صمم الجيش الأمريكـي أحدث نسخة متقدمة مـن السطح المجسم (الهولـودك). لقـد وضعت أجهـزة استشعار فوق خوذتـي وحقيبة الظهر (الجربنديـة). وبهذا صار الحاسـوب يعلم بدقة موقع جسدي. ثم سرت بعد ذلك فوق مشاية متعددة الاتجاهات، وهي مشاية معقدة التصميم تسمح لك بالسـير في أي اتجـاه رغم أنك لم تغادر مكانك. وفجـأة صرت وسط ميدان معركة، أحاول الإفلات من رصاصـات قناصة العدو. وكان في استطاعتي العـدو في أي اتجاه، والاختبـاء في أي زقاق، أو العدو بأقصى سرعتي في أي شارع، وكانت الصور علـى الشاشة تتغير على الفور. بل كان في مقدوري الانبطاح أرضا، وتتغير المناظر على الشاشة تبعا لذلك. وصار في استطاعتي أن أتخيـل أنـه في المستقبل سـوف يمكنك تجربة الغمر الكامـل، على سبيل المثال، الدخول في معارك مع سفن فضائية تحمل كائنات من كواكب أخرى، أو الهروب من وحوش هائجة، أو حضور حفل سمر فوق جزيرة مهجورة، كل هذا وأنت جالس في راحة ورفاهية داخل غرفة معيشتك.

الرعاية الطبية في المستقبل القريب

سوف تتغير تماما أساليب زيـارة عيادة الطبيب. ففي الفحص الدوري، عندمـا تتحدث إلى (الطبيب)، ربما يكـون عبارة عن برنامج حاسوب آلي يظهـر لك على شاشتك الحائطية يمكنـه أن يشخص تشخيصا صحيحا ما

يصـل إلى 95 % مـن جميع العلل الشائعة. وقد يبـدو (طبيبك) على هيئة شخص، لكنه في واقع الأمر سـوف يكون صورة متحركة مبرمجة بحيث تسـأل أسئلـة بسيطة. كذلك سـوف يكون لدى (طبيبـك) سجل كامل لجيناتـك، وسوف يصف لك علاجـات طبية تأخـذ في حسبانها جميع عوامل الخطر الوراثية التي لديك.

ولتشخيص المشكلة، سوف يطلب منـك (الطبيب) إمرار مسبر بسيط فوق سائـر جسمك. في مسلسـل Star Trek الأصلـي، دهش الجمهور عندما رأوا جهازا اسمـه الترايكوردر يمكنه على الفور تشخيص أي حالة مرضية ويمكنه سبر غور الجسم من الداخل. لكننا لسنا مضطرين للانتظار إلى القرن الثالث والعشرين حتى يظهر هذا الجهاز المستقبلي. فأجهزة الرنين المغناطيسـي بالفعل يصل وزنها إلى عدة أطنان ويمكن أن تشغل حيز غرفة بأكملهـا، تم تصغيرها إلى مساحـة تبلغ حوالي قدم واحدة، وسوف يصغر حجمهـا في نهاية الأمر لتصبح في صغر حجم الهاتف المحمول. وبإمرار الواحـد منها فوق جسدك، سوف تتمكـن من رؤية ما بداخل أحشائك. وسـوف تقوم الحاسبات بمعالجـة تلك الصور ثلاثية الأبعـاد ثم تقدم لك التشخيص. وسوف يكون هذا المسبر أيضا قادرا على اكتشاف، في خلال بضع دقائق، وجود مجموعة متنوعة من الأمراض، من بينها السرطان، قبل سنـوات من تكون الـورم. وسوف يحتوي هذا المسـبر على رقاقات دي إن أيه، وهى رقاقات مـن السليكون بها ملايين المستشعرات الدقيقة التي يمكنها اكتشاف وجود دي إن أيه دال على العديد من الأمراض.

وبطبيعـة الحال، فـإن كثيرا من الناس يكرهون زيـارة الطبيب. لكن في

المستقبل، سوف تتم مراقبة حالتك الصحية في صمت ودون جهد عدة مرات في اليوم الواحد دون أن تعلم. فمرحاضك، ومرآة حمامك، وملابسك سوف تكون بها رقاقات دي إن أيه تحدد في صمت إن كانت مستعمرات البكتريا في أمعائك ليست مكونة سوى من بضع مئات من الخلايا النامية داخل جسمك. سوف تكون هناك مستشعرات مخبأة دخل حمامك وملابسك أكثر مما يمكن أن تجده في مستشفى حديث أو جامعة اليوم. مثال لذلك أنه بمجرد النفخ على مرآة، يمكن اكتشاف دي إن أيه بروتين متحول يسمى P53، وهو موجود في نسبة 50 % من جميع السرطانات الشائعة. ومعنى هذا أن كلمة ورم سوف تختفي تدريجيا من قاموس اللغة.

واليوم، إذا أصبت في حادث سيارة سيئ على طريق مهجور، فإنك من الممكن بسهولة أن تنزف حتى الموت. لكن في المستقبل، سوف تكون ملابسك وسيارتك جاهزة آليا للتصرف السريع لدى أولى علامات حدوث إصابة بدنية، فتطلب سيارة الإسعاف، وتحدد موقع سيارتك، وترفع إلى شبكة الإنترنت بيانات سجلك الطبي بأكمله، كل هذا وأنت غائب عن الوعي. في المستقبل، سوف يكون من الصعب أن تموت وحيدا. فملابسك سوف تكون قادرة على الإحساس بأي اضطرابات في ضربات قلبك، ومعدل تنفسك، بل وحتى موجات المخ بواسطة رقاقات دقيقة الحجم مخيطة داخل نسيج ملابسك. فعندما ترتدي ملابسك، تصبح متصلاً بالإنترنت.

واليوم، من الممكن وضع رقاقة داخل حبة دواء في حجم الإسبرينة، كاملة بكاميرا تلفزيونية وراديو. وعندما تبتلعها، تلتقط (الحبة الذكية)

صـورا تلفزيونيـة لمريئك وأمعائك، ثـم تبث إشـارات إلى جهاز استقبال قريب. (وهذا يعطي معنىً جديدا لشعار (إنتل بالداخل). وبهذه الطريقة، قد يصبـح الأطباء قادريـن على التقاط صـور لأمعاء المريض واكتشاف السرطانات دون إجراء منظار القولون على الإطلاق (وهو أسلوب يسبب الضيـق للمريض بغرس أنبوب طولـه ست أقدام داخـل أمعائه الغليظة). إن أجهـزة ميكروسكوبية مثل هذه تقلـل بالتدريج من ضرورة قطع الجلد لإجراء جراحة.

هذه ليست سوى عينة مـن الكيفية التي ستؤثر بها ثورة الحاسوب على صحتنـا. وسوف نناقش في الفصلـين الثالث والرابع بمزيـد من التفصيل الثـورة في مجال الطب، حيث سنبحث أيضـا موضوع العلاج بالجينات، والاستنساخ، وتغيير طول عمر الإنسان.

الحياة داخل قصة خيالية

لمـا كان ذكاء الحاسوب سيصير بهذا الرخـص والانتشار في البيئة، فقد علق بعضـ المتنبئـين بالمستقبل قائلـين إن المستقبل قد يصبـح أشبه بقصة خياليـة. إذا امتلكنا قدرات الآلهة، فإن السماء التي سنسكنها سوف تبدو أشبه بعالم خيـالي. فمستقبل الإنترنت، على سبيـل المثال، يمكن أن يصبح مثـل المرآة السحريـة في قصة (بياضـ الثلـج)[1] Snow White. فسوف

(1) بياضـ الثلـج Snow White: شخصية شهيرة ارتبط اسمهـا باسم قصة أوروبية ألمانية الأصـل (Schneewittchen) والتـي تعنـي نداف الثلج بالألمـاني. تحظى القصة بشهرة عالمية حيـث أنتجت بناءً عليها العديد من الأفـلام وقصص الأطفال والرسوم المتحركة والتي كان من أشهرها بيضاء الثلج والأقزام السبعة (سنو وايت)، انتاج شركة ديزني عام 1937. (المترجم)

نقـول: (مرآتي يا مرآتي)، فيخرج لنا وجـه بشوش، فيسمح لنا بالدخول على حكمة الكوكب. سوف نضع الرقاقات داخل ألعابنا، فنجعلها ذكية، مثـل بينوكيو Pinocchio، الدمية التي أرادت أن تصير ولدا حقيقيا. ومثل بوكاهونتاس Pocahontas، سوف نتحدث إلى الرياح والأشجار، وسوف تجيبنا. سوف نفترض أن الأشياء ذكية وأن في استطاعتنا التحدث معها.

ولما كانت الحاسبات ستصير قادرة على تحديد مواقع الكثير من الجينات المتحكمـة في عملية الشيخوخة، فقد نظـل في شباب دائم مثل بيتر بان[1] Peter Pan. سـوف نكون قادريـن على الإبطاء من زحـف الشيخوخة، وربمـا الاتجاه نحو الشباب، مثل الصبية في (أرض الخيال) الذين لم يكونوا يريـدون أن يشبوا عن الطوق. إن الواقـع المتضخم سوف يمنحنا إحساسا خياليـا بأننا مثـل سندريلا، يمكننا امتطاء الكـرات الخيالية في عربة ملكية والرقص في رقة مع أمير وسيم. (لكن عند منتصف الليل، تنطفئ نظارات واقعنـا المتضخـم ونعود إلى عـالم الواقع). ولما كانـت الحاسبات تكشف عن الجينات التي تتحكـم في أجسادنا، فسوف نصبح قادرين على إعادة تصميم هندسـة أجسامنا، واستبدال الأعضاء وتغيـير مظهرنا، حتى على المستـوى الجيني، مثل الوحش في قصـة (الجميلة والوحش) Beauty and the Beast.

بل إن بعض المتنبئين بالمستقبل أعربوا عن خشيتهم من أن يؤدي هذا إلى

(1) بيـتر بـان Peter Pan: شخصيـة خيالية ابتكرها جيمس بـاري J. M. Barrie، وهو فتى يهرب مـن والديه إلى جزيرة نيفرلاند التي لا يكبر فيها أحد، بعدما سمع والداه يتحدثان عن مستقبله وما سيصبح عليه عندما يكبر. (المترجم)

العودة للنزوع إلى الاعتقاد في السحر الذي ساد العصور الوسطى، عندما كان أغلب الناس يعتقدون أن هناك أرواحا غير مرئية تسكن كل مكان من حولهم.

منتصف القرن (2030 إلى 2070)

نهاية قانون مور

علينا أن نتساءل: كم ستطول مدة هذه الثورة في عالم الحاسوب؟ لو ظل قانون مور صحيحا لخمسين عاما أخرى، فمن المفهوم أن الحاسبات سوف تتجاوز سريعا القدرة الحسابية للمخ البشري. وبحلول منتصف القرن، سيقع عامل محرك جديد. ومثلما قال جورج هاريسون George Harrison ذات يوم: (كل الأمور حتما إلى زوال). حتى قانون مور لا بد له من أن ينتهي، ومعه تزول تلك النهضة الرائعة للحاسوب التي غذت النمو الاقتصادي طيلة نصف قرن.

واليوم، صرنا نرى هذا أمرا مسلما به، والحقيقة أننا نؤمن بأنه حق مكتسب لنا منذ مولدنا، أن تكون منتجات الحاسوب ذات قوة وتعقيد آخذين في الازدياد على الدوام. ولهذا نشتري كل عام منتجات حاسوب جديدة، لعلمنا بأن قدرتها تبلغ تقريبا ضعفي قدرة طراز العام السابق. غير أنه إذا انهار قانون مور – وصار كل جيل من منتجات الحاسوب له بالتقريب نفس قدرة الجيل السابق – فلماذا نكلف أنفسنا ونشتري حاسبات جديدة؟

لما كانت الرقاقات توضع في شتى المنتجات على تنوعها، فإن هذا من الممكن أن يجلب آثارا كارثية على سائر الاقتصاد. فمع توقف نمو شتى المجالات الصناعية، سيفقد الملايين وظائفهم، وقد يتعرض الاقتصاد برمته للاضطراب.

منذ سنوات مضت، عندما أشرنا نحن المتخصصون في علم الفيزياء إلى الانهيار الحتمي لقانون مور، كان الرد التقليدي من جانب أهل تلك الصناعة أنهم سخفوا من مزاعمنا، قائلين ما معناه أننا أشبه بالغراب النوحي الذي يحذر من خطر كاذب، مثل الراعي الذي أخذ يصيح ذئب ذئب. لقد جرى التنبؤ بنهاية قانون مور عدة مرات من قبل، على حد زعمهم، حتى إنهم بكل بساطة لم يعودوا يصدقون هذا الأمر. لكن لم يعد هذا الأمر يحدث.

فمنذ عامين، كنت أحد المحاضرين الرئيسين في مؤتمر كبير عقدته مايكروسوفت Microsoft في مقرها الرئيس في سياتل، واشنطن. كان من بين الحاضرين ثلاثة آلاف من كبار مهندسي مايكروسوفت، منتظرين سماع ما سأقوله عن مستقبل الحاسبات والاتصالات. وبينما أنا أحدق في الحشد الهائل، أمكنني أن أرى وجوه أولئك المهندسين الشبان الممتلئين حماسة الذين سيصنعون برامج تشغل حاسباتنا القابعة فوق أسطح مكاتبنا وفي حجورنا. كنت فظا في حديثي عن قانون مور، فقلت إن على الصناعة أن تستعد لهذا الانهيار. قبل عقد واحد من ذلك التاريخ، كان من الممكن أن أقابل بالضحك الساخر وربما ببعض صيحات الاستهجان البذيء. لكن في هذه المرة لم أشاهد سوى أناس تهز رأسها بالإيجاب.

إذن انهيار قانون مور أمر ذو أهمية دولية، يهدد بضياع تريليونات الدولارات. لكن كيف سينتهي على وجه التحديد، وما البديل له، هذا يتوقف على قوانين الفيزياء. والإجابات عن تلك التساؤلات الفيزيائية سوف تهز في نهاية الأمر البنيان الاقتصادي للرأسمالية.

وحتى نفهم هذا الوضع، من المهم أن ندرك أن النجاح الباهر لثورة الحاسبات يقوم على عدة مبادئ فيزيائية. أولها، أن الحاسبات تملك سرعة خرافية لأن الإشارات الكهربائية تسير بسرعة تناهز سرعة الضوء، وهي أعلى سرعة في الكون. ففي الثانية الواحدة يمكن لشعاع الضوء أن يدور حول العالم سبع مرات أو يصل إلى القمر. وتتحرك الإلكترونات أيضا بسهولة في الأنحاء، وهي متصلة اتصالاً هشا بذراتها (ويمكن كشطها من عليها بمجرد تمشيط شعرك، أو السير فوق البساط، أو تشغيل الغسالة؛ لهذا نشعر بالكهرباء الاستاتيكية). واجتماع الإلكترونات هشة الارتباط مع سرعتها الهائلة يتيح لنا إرسال إشارات كهربائية بسرعة تخطف الأبصار، وهذا ما صنع الثورة الكهربائية خلال القرن الماضي.

وثانيها، أنه في الواقع لا يوجد حد لمقدار المعلومات التي يمكنك وضعها فوق شعاع ليزر. فالموجات الضوئية، لكون ذبذباتها أسرع كثيرا من ذبذبات الموجات الصوتية، يمكنها حمل معلومات أكثر بكثير مما يحمل الصوت. (على سبيل المثال، جرب أن تشد قطعة طويلة من الحبال ثم تهز أحد طرفيها بسرعة. كلما زادت سرعة ذبذبة أحد الطرفين، زاد عدد الإشارات التي يمكنك إرسالها عبر الحبل. ومن هنا، فإن مقدار المعلومات التي يمكنك حشدها في موجة ما يزداد كلما زادت سرعة ذبذبتها، أي ترددها). الضوء موجة تهتز بمعدل 10^{14} لفة تقريبا في الثانية (أي واحد وبجوارها 14 صفرا). وهو يحتاج لعدة لفات كي ينقل معلومة واحدة بحجم بِت Bit (أي إما 1 وإما صفر). ومعنى هذا، أن كابل الألياف البصرية يمكنه نقل ما يقرب من 10^{11} بِت من المعلومات في التردد الواحد.

ويمكن زيادة هذا العدد بحشد العديد من الإشارات في ليفة بصرية واحدة ثـم جعل تلـك الألياف تشكل حزمة في كابل. وهـذا معناه أنه عن طريق زيـادة عدد القنـوات داخل كابل ما ثم زيادة عـدد الكابلات، يمكننا نقل المعلومات بلا حدود تقريبا.

وثالثهـا، وأهمها، أن ما يقود ثورة الحاسبـات هو عملية تصغير أحجام الترانزستـورات. فالترانزستور عبارة عن بوابـة، أو مفتاح تحكم، يتحكم في سريـان الكهرباء. إذا قورنت الدائرة الكهربية بمجال السباكة مثلاً، فإن الترانزستور يصبح أشبه بصمام أو محبس يتحكم في جريان الماء. وبالطريقة ذاتهـا التي يمكن بلفة بسيطة للمحبـس التحكم في جريان كمية كبيرة من المـاء، يسمح الترانزستور لسريان ضئيل مـن الكهربية بالتحكم في جريان أعظم بكثير، ومن ثم يضخم من قدرتها.

ويقع في مركز القلب من هذه الثورة رقاقة الحاسوب، التي يمكنها احتواء مئات الملايين من الترانزستورات فوق طبقة رقيقة من السليكون في حجم ظفـرك. وداخل جهاز الحاسـب المحمول خاصتك هنـاك رقاقة لا يمكن رؤيـة ترانزستوراتها إلا تحت المجهر. تلك الترانزستورات بالغة الضآلة إلى حد لا يصدقه عقل صنعت بنفس طريقة عمل تصميمات (التي شيرتات).

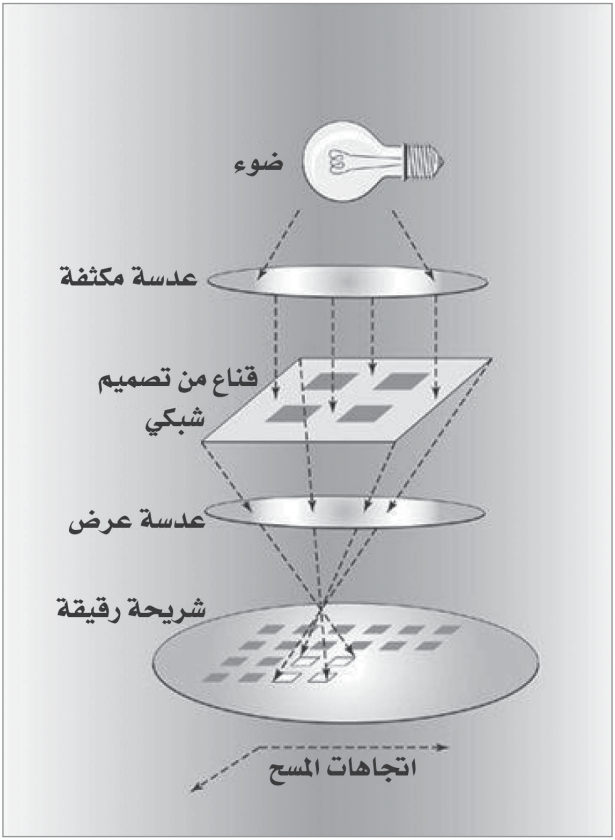
فتصميمات (التي شيرتات) تنتـج بالجملة أولاً عن طريق عمل استنسل stencil (رسـم مفرغ) يحدد الخطوط العامة للشكل الذي نود رسمه. ثم يوضـع الاستنسل فوق القماش، ويرش فوقه الطـلاء. فالطلاء لا يخترق القماش سوى عند الأماكن المفرغة من الاستنسل. وبمجرد رفع الاستنسل، نجد نسخة متقنة من أشكال قد رسمت على (التي شيرت).

وبالطريقة ذاتها، يتم عمل رسم مفرغ يحتوي على الخطوط العامة المتداخلة لملايين الترانزستورات. ويوضع هذا الرسم فوق الشريحة الرقيقة التي تحوي عدة طبقات من السليكون الحساس للضوء. ثم يتم بعد ذلك توجيه أشعة فوق بنفسجية بدقة على الاستنسل، فتخترق الفتحات الموجودة به فتكشف الشريحة الرقيقة من السليكون.

بعدها يتم غمر الشريحة في حامض، ينحت حدود الدوائر ويصنع التصميم المعقد المتشابك لملايين الترانزستورات. ولما كانت الشريحة الرقيقة مكونة من العديد من الطبقات الموصلة وشبه الموصلة، فإن الحامض يخترق الشريحة بأعماق وأشكال متباينة، وبهذا يمكن صنع دوائر ذات تعقيد رهيب.

ومن الأسباب التي جعلت قانون مور يزيد بلا هوادة في قدرة الرقاقات أن الأشعة فوق البنفسجية يمكن ضبط ترددها بحيث يصغر طولها الموجي أكثر وأكثر، مما يمكننا من حفر ترانزستورات بالغة الدقة على شرائح السليكون. ولما كان الطول الموجي للأشعة البنفسجية يصل إلى 10 نانومتر (النانو متر واحد على بليون من المتر)، فإن معنى هذا أن أصغر ترانزستور يمكنك حفره عرضه حوالي ثلاثون ذرة.

غير أن هذه العملية لا يمكن أن تستمر إلى الأبد. فعند نقطة ما، سوف يصبح من المستحيل من الناحية الفيزيائية حفر ترانزستورات بهذه الطريقة التي تعتمد على حجم الذرات. بل إن في مقدورك أن تحسب بالتقريب متى سينهار قانون مور في نهاية الأمر: عندما تصل في النهاية إلى ترانزستورات الواحد منها بحجم الذرة الواحدة.



نهاية قانون مور. تصنع الرقاقات بنفس طريقة عمل تصميمات رسوم (التي شيرتات). وبدلاً من رش طلاء فوق رسم مفرغ، يتم تسليط الأشعة فوق البنفسجية على رسم مفرغ، يحرق صورة على طبقات السليكون. ثم تقوم الأحماض بعد ذلك بنحت الصورة، فتصنع مئات الملايين من الترانزستورات. غير أن هناك حدا لتلك العملية عندما نصل إلى المقياس الذري. فهل سيصبح وادي السليكون حزاما صدئا؟

حـوالي عام 2020 أو بعده، سوف يتوقف قانون مور تدريجيا عن العمل ويتحول وادي السليكون ببطء إلى حزام صدئ ما لم نعثر على تقنيـة بديلة. وطبقـا لقوانين الفيزياء، سوف يصـل عصر السليكون في نهايـة الأمـر إلى نهايتـه، مع دخولنـا حقبة ما بعـد السليكون. سوف تصبح الترانزستـورات من الصغر بحيث تسيطر نظرية الكم أو الفيزيـاء الذريـة علـى زمام الأمـور وتتسـرب الإلكترونات من الأسـلاك. فمثلاً، سوف تكون أرق طبقـة داخل حاسوبك بعرض حوالي خمس ذرات. وعند هذه النقطة، ووفق قانون الفيزياء، تتولى نظرية الكم مقاليـد الأمور. وتنص قاعدة (هايزنبرج) Heisenberg لانعـدام اليقين علـى أنه ليسـ في استطاعتك معرفـة كل من موقع وسرعـة أي جسيم. وقد يبدو هـذا الأمر مناقضا للبديهة، لكن على المستوى الذري لا يمكنك ببساطة معرفة موقع أي إلكترون، لهذا لا يمكنـك أبدا أن تكون محددا بدقـة داخل سلك أو طبقة فائقي الرقة، ومن المحتم أنه سيتسرب للخارج، مما يتسبب في ماس كهربي داخل الدائرة.

وسـوف نناقش هـذا الأمر في الفصل الرابع بمزيد مـن التفصيل، عندما نقـوم بتحليـل النانوتكنولوجـي. أما خلال بقيـة هذا الفصـل، فسوف نفترض أن علماء الفيزياء توصلوا إلى خليفة لقوة السليكون، لكن قدرات الحاسوب سوف تنمو بمعدلات أبطأ من ذي قبل. والأرجح أن الحاسبات سـوف تواصل النمو بمعامل أسي، لكن زمن مضاعفة القدرة سيتحول من ثمانية عشر شهرا إلى عدة سنوات.

خلط الواقع الحقيقي بالواقع الافتراضي

بحلول منتصف القرن، من المؤكد أننا سنعيش جميعا وسط خليط من الواقع الحقيقي والواقع الافتراضي. فمن خلال عدساتنا اللاصقة أو نظاراتنا، سوف نشاهد في آنٍ واحد صورا افتراضية مركبة على عالم الواقع. هذه هي رؤية ساسومو تاشي Susumu Tachi الأستاذ بجامعة كييو University Keio باليابان وكثيرين غيره. إنه يصمم حاليا نظارات خاصة ثلاثية الأبعاد تمزج بين الخيال والواقع. وكان مشروعه الأول جعل الأشياء تتلاشى داخل هواء رقيق.

لقد زرت بروفيسور تاشي في طوكيو وشاهدت بعضا من تجاربه الرائعة في خلط الواقع الحقيقي بالواقع الافتراضي. من بين تطبيقاته البسيطة جعل جسم ما يختفي (على الأقل من خلال نظارتك). في البداية، ارتديت معطفا خاصا للمطر لونه بني فاتح. وعندما فردت ذراعي، صار يشبه شراعا كبيرا. ثم سلطت كاميرا على معطف المطر الذي أرتديه وقامت كاميرا أخرى بتصوير المشهد الذي ورائي، والذي كان يتكون من حافلات وسيارات تتحرك على الطريق. وبعدها ببرهة، قام حاسوب بدمج هاتين الصورتين معا، وبهذا ومضت الصورة التي خلفي على معطفي، كما لو كانت تظهر على شاشة. فإذا حدقت في عدسة خاصة، لوجدت جسمي قد اختفى، فلا يتبقى سوى صور السيارات والحافلات. ولما كان رأسي يعلو المعطف، فقد بدا المشهد كما لو كان رأسي سابحا في الجو، دون جسد، مثل هاري بوتر[1] Harry

(1) سلسلة هاري بوتر Harry Potter: سلسلة من سبعة كتب للكاتبة البريطانية جيه. كي. رولنج J. K. Rowling؛ تحكي حكاية الصبي الساحر هاري بوتر، منذ اكتشافه لحقيقة كونه ساحراً، وحتى بلوغه سن السابعة عشرة، فتكتشف ماضيه، وعلاقاته السحرية، وسعيه للقضاء على سيد الظلام لورد فولدمورت. وترافق سلسلة الكتب سلسلة من سبعة أفلام تحمل نفس عناوين الكتب. (المترجم)

Potter وهو يرتدي معطف الاختفاء عن الأنظار.

بعدها عرض بروفيسور تاشي عليّ بعض النظارات الخاصة. عندما ارتديتها، أمكنني مشاهدة الأشياء الحقيقية ثم جعلها تختفي. هذا ليس إخفاءً حقيقيا عن الأنظار، إذ إنه لا ينجح إلا عند ارتداء نظارات خاصة تمزج بين صورتين. لكنه مع ذلك جزء من برنامج كبير للبروفيسور تاشي، الذي يطلق عليه أحيانا (الواقع المضخم) augmented reality.

بحلول منتصف القرن، سوف نعيش وسط عالم إلكتروني يؤدي وظائفه على أكمل وجه يدمج عالم الواقع بصور مأخوذة من الحاسوب. وقد يغير هذا تغييرا جذريا في أماكن عملنا، وتجارتنا، ووسائلنا الترفيهية، وأسلوب حياتنا. وربما كانت للواقع المضخم عواقب فورية تلقي بظلالها على السوق. أول تطبيق تجاري أن تجعل الأشياء غير مرئية، أو تجعل غير المرئي يظهر للعيان.

مثال على ذلك، إذا كنت سائق سيارة أو طيارا، فسوف تكون قادرا على مشاهدة ما حولك بزاوية 360 درجة، بل وحتى ما هو أسفل قدميك، لأن نظارتك أو عدستك تتيح لك الرؤية من خلال جدران طائرتك أو سيارتك. وسوف يلغي هذا البقع العمياء المسؤولة عن عشرات الحوادث وحالات الوفاة. وفي المعارك الجوية، سوف يكون قائدو الطائرات النفاثة قادرين على تتبع طائرات العدو أينما حلقت، حتى لو كانت أسفل طائراتهم، كما لو كانت طائراتهم هم شفافة. سوف يكون السائقون قادرين على الرؤية في جميع الاتجاهات، إذ ستعمل كاميرات دقيقة الحجم على مراقبة ما يحيط بهم بزاوية 360 درجة وبث الصور على عدساتهم اللاصقة.

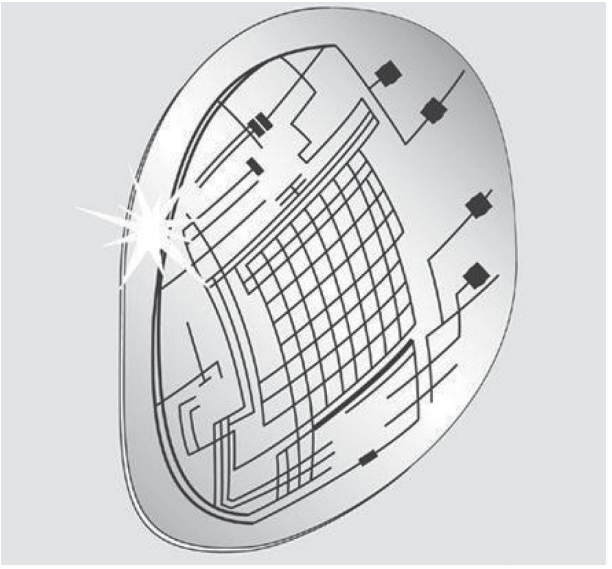
إذا كنت رائد فضاء تجري إصلاحات خارج سفينتك الفضائية، فسوف تجد هذا الأمر مفيدا أيضا، إذ سيصبح في مقدورك الرؤية من خلال الجدران، والحواجز، وهيكل السفينة. قد يكون هذا بمثابة إنقاذ للأرواح. إذا كنت عامل إنشاءات تجري إصلاحات تحت الأرض، وسط خضم من الأسلاك، والمواسير، والصمامات، فسوف تعلم على وجه الدقة كيفية اتصالها جميعا ببعضها بعضا. وقد يكون هذا الأمر جوهريا في حالة وجود انفجار غاز أو بخار، وعندما يتعين إصلاح المواسير المختبئة خلف الجدران وإعادة توصيلها سريعا.

وبالمثل، إذا كنت جيولوجيا، فسوف تكون قادرا على الرؤية من خلال التربة، لترى تراكمات الماء أو النفط تحت الأرض. ويمكن تحليل الصور الفوتوغرافية الملتقطة بواسطة الأقمار الصناعية والطائرات لميدان ما باستخدام الأشعتين تحت الحمراء وفوق البنفسجية ثم إمداد عدساتك اللاصقة بها، فيزودك ذلك بتحليل ثلاثي الأبعاد للموقع وما يوجد تحت السطح. وبينما تسير عبر أرض قاحلة، سوف (ترى) الركاز المعدني الثمين من خلال عدستك.

وعلاوة على جعل الأشياء غير مرئية، سوف تكون قادرا أيضا على فعل العكس: أي جعل غير المرئي مرئيا.

إذا كنت مهندسا معماريا، فسوف تكون قادرا على السير في أنحاء غرفة خالية ثم فجأة (ترى) صورة ثلاثية الأبعاد للمبنى الذي تقوم بتصميمه. فالتصميمات التي ستضعها على مخططك المعماري سوف تقفز أمامك وأنت تتجول في أنحاء كل غرفة. سوف تنبض كل الغرف الخالية بالحياة

فجـأة، بأثاثها، وسجاجيدها، والديكورات التـي على الجدران، مما يتيح لـك تخيل إبداعك مجسمـا قبل بنائه الفعلي. إذ بمجـرد تحريك ذراعيك، سوف تكون قادرا على خلق غرف جديدة وجدران وأثاث. في هذا العالم المضخـم، سوف تملك قدرات السحرة، فتلـوح بعصاك السحرية وتصنع الشيء الذي تريده.



سوف تتعرف عدسات الإنترنت اللاصقة على وجوه الناس، وتعرض سيرهم الذاتية، وتترجم كلماتهم في عبارات تظهر أسفل الشاشة مثل ترجمة الأفلام. وسوف يستعين بها السائحون في إعادة إحياء الآثار القديمة. كما سيستعين بها الفنانون والمعماريون في التعامل مع إبداعاتهم الافتراضية وإعادة تشكيلها من جديد. إن الاحتمالات المتاحة أمام الواقع المضخم لا حدود لها.

الواقع المضخم: ثورة في السياحة والفنون والتسوق والعمليات الحربية

كما ترون، فإن التطبيقات في مجالات التجارة والعمل من المتوقع أن تكون هائلة. فكل عمل تقريبا سوف يثرى من خلال الواقع المضخم. وعلاوة على ذلك، فإن حياتنا، ووسائلنا الترفيهية، ومجتمعنا سوف ترتقي كثيرا من خلال هذه التقنية.

مثال لذلك، أن سائحا يسير في أحد المتاحف يمكنه الانتقال من معرض إلى آخر بينما تقدم له عدساته اللاصقة وصفا لكل شيء؛ سوف يقدم لك مرشد افتراضي جولة إلكترونية أثناء مرورك عليه. وإذا كنت في زيارة لأطلال قديمة، فسوف تكون قادرا على (رؤية إعادة بناء مكتملة للمباني والآثار بمجدها التام، بجانب روايات تاريخية عنها. فبقايا الإمبراطورية الرومانية، بدلاً من أن تشاهدها على هيئة أعمدة محطمة مكسوة بالأعشاب، سوف تعود مرة أخرى فجأة إلى الحياة وأنت تتجول وسطها، تامة مع التعليق والملاحظات.

لقد اتخذ معهد بكين للتكنولوجيا Beijing Institute of Technology بالفعل أولى الخطوات المبكرة في هذا الاتجاه. ففي الفضاء الإلكتروني، أعاد المعهد بناء حديقة الحدائق (أو حديقة الإشراق التام) Garden of Perfect Brightness، التي دمرتها القوات البريطانية – الفرنسية أثناء حرب الأفيون الثانية عام 1860.[1] واليوم، لم يبقَ من الحديقة الأسطورية

(1) حدائق صينية بنيت في القرن الثامن عشر وبداية القرن التاسع عشر أقام فيها أباطرة أسرة كينج وأداروا شؤون الحكم، وتعرضت للدمار على يد القوات الفرنسية والبريطانية في حرب الأفيون الثانية وعدت بذلك رمزًا للعدوان والعار في الصين. (المترجم)

سوى حطام خلفته الجيوش الغازية. لكنك إذا شاهدت الأطلال من خلال منصة مشاهدة خاصة، فسوف ترى الحديقة بالكامل أمامك بكل بهائها وروعتها. وفي المستقبل، سوف يصبح هذا الأمر عاديا.

كما ظهر نظام أكثر تقدما من هذا على يد المبتكر (نيكولاس نيكي) Nikolas Neecke، الذي صنع جولة على الأقدام لبازل، سويسرا. فعندما تمشي في أنحاء شوارعها القديمة، ترى صورا للمباني العتيقة بل وللناس مركبة فوق الحاضر، كما لو كنت مسافرا عبر الزمن. ويحدد الحاسوب موقعك ثم يعرض عليك صور المشاهد القديمة من خلال نظارتك، كما لو كنت قد انتقلت إلى العصور الوسطى. واليوم، عليك أن ترتدي نظارات ضخمة وجربندية ثقيلة مليئة بمعدات إلكترونية لنظام GPS وحاسبات. وغدا، سوف تمتلك هذا داخل عدستك اللاصقة.

إذا كنت تقود سيارة في أرض أجنبية، فإن جميع العدادات سوف تظهر لك من خلال عدستك اللاصقة باللغة التي تريدها، وبهذا لن تضطر مطلقا لإلقاء نظرة عليها كي تشاهدها. سوف تشاهد كل اللافتات على امتداد الطريق مصحوبة بشروح لأي شيء قريب منها، مثل المشاهد السياحية الجذابة. سوف ترى أيضا ترجمات سريعة للافتات الطريق.

سوف يعرف الجائل على قدمه، أو الراغب في إقامة مخيم، أو الخارج في نزهة موقعه بالضبط في بلد أجنبي لكنه أيضا سيتعرف على أسماء جميع النباتات والحيوانات، وسوف يكون قادرا على مشاهدة خارطة للمنطقة وتلقي تقارير عن حالة الطقس. كما سيشاهد أيضا آثار الحيوانات ومواقع المخيمات المختبئة وسط الأحراش والأشجار.

وسوف يتمكن الباحثون عن شقق من رؤية المتاح أثناء سيرهم في الشارع أو قيادتهم السيارة. إن عدستك سوف تعرض لك السعر، والمرافق المزودة بها، إلخ، لأي شقة أو منزل معروض للبيع.

وعند التحديق في السماء ليلاً، سوف ترى النجوم وجميع الأبراج محددة بوضوح، كما لو كنت تشاهد عرض القبة السماوية، إلا أن النجوم التي ستراها هذه المرة ستكون حقيقية. سوف ترى أيضا مواقع المجرات، والثقوب السوداء البعيدة، وغيرها من المشاهد الفلكية المشوقة ومواقعها وسوف تكون قادرا على إنزال محاضرات مشوقة.

أضف إلى ذلك قدرتك على الرؤية من خلال الأجسام وزيارة البلدان الأجنبية. إن الرؤية المضخمة سوف تكون ضرورية إذا كنت تحتاج لمعلومات شديدة التخصص في لمح البصر.

على سبيل المثال، إذا كنت ممثلاً، أو موسيقيا، أو مؤديا من أي نوع وعليك أن تحفظ عن ظهر قلب مادة مكتوبة هائلة الحجم، فإنك في المستقبل سوف ترى جميع السطور أو النوتة الموسيقية من خلال عدستك. فلن تكون في حاجة إلى ملقنين، ولا بطاقات تلقين، ولا لنوتة موسيقية، أو ملاحظات تذكرك بما تريد. لن تحتاج لحفظ أي شيء عن ظهر قلب بعد ذلك.

ومن بين الأمثلة الأخرى: إذا كنت طالبا وفاتتك محاضرة، فسوف تكون قادرا على إنزال المحاضرات التي قدمها أساتذة افتراضيون في أي مادة ومشاهدتهم. وعن طريق الحضور عن بعد، من الممكن أن تظهر صورة الأستاذ الحقيقي أمامك وأن يجيبك عن أي سؤال يخطر على

بالـك. سوف تكون قادرا أيضا على مشاهدة عروض شارحة للتجارب، وأفلام فيديو، إلخ، من خلال عدستك.

- إذا كنت جنديا تشارك في إحدى الحروب، فإن نظارتك أو خوذتك قد تقدم لك أحـدث المعلومات كاملة، إضافة إلى الخرائط، ومواقع العدو، واتجاه نـيران العدو، والتعليمـات الواردة من رؤسائـك، إلخ. وخلال التراشـق بالنـيران، عندما يكـون أزيز الرصاص قادمـا من كل صوب، سوف تكون قادرا على الرؤية من خلال الحواجز والتلال وتحديد موقع العـدو، إذ ستحلق هناك طائرات دون طيار فـوق الموقع في استطاعتها تحديد كل المواقع.
- إذا كنت جراحا تجري عملية طـوارئ دقيقة، فسوف تكون قادرا على رؤية ما بداخل المريض (من خلال أجهزة رنين مغناطيسي محمولة)، من خلال جسده (عبر أجهزة استشعار تتحرك داخل الجسم)، بالإضافة إلى إمكانية الدخول على السجلات الطبية وفيديوهات للعمليات السابقة.
- إذا كنـت تلعـب لعبة مـن ألعاب الفيديـو، يمكنك الغوص في الفضاء الإلكـتروني من خلال عدستك اللاصقـة. وبرغم وجودك داخل غرفة خاليـة، فإنه سيكـون باستطاعتك مشاهدة جميـع أصدقائك مجسمين تجسيمـا متقنا، تخوض مغامرة في أراضٍ غريبـة وأنت تستعد للدخول في معركـة مـع كائنات غريبـة تخيلية. سوف يبدو الأمـر كما لو كنت في ميـدان معركة على كوكب غريب، وطلقـات الأشعة تئز من جميع الجوانب من حولك ومن حول أصدقائك.
- إذا كنت في حاجة لمطالعة أي إحصائيات أو منافسات لأحد الرياضيين،

فـإن المعلومات سوف تقفز إليك علـى الفور لتظهر من خلال عدستك اللاصقة.

ومعنى هذا أنك لن تحتاج إلى هواتف خلوية، أو ساعات حائط أو يد، أو لمشغـلات إم بي ثري بعد ذلك. فجميع الأيقونات الموجودة على أشيائك المختلفـة الممسوكـة باليـد سوف تُعرض مـن خلال عدستـك اللاصقة، بحيث يمكنك الدخول عليها في أي وقت تشاء. المكالمات الهاتفية ومواقع الإنترنت الموسيقية، إلخ يمكن الدخول عليها جميعا بهذه الطريقة. ويمكن للواقع المضخم بذلك أن يحل محل العديد من الأجهزة والآلات الموجودة بمنزلك.

هنـاك عالمة أخرى تعمـل على الارتقـاء بحدود الواقـع المضخم وهي (باتي مايـس) Pattie Maes من معمل الميديا التابـع لمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيـا MIT Media Laboratory . وبـدلاً مـن استخدام عدسات لاصقـة أو نظارات أو نظارات مجسمة خاصـة، قامت هذه العالمة بعرض شاشة حاسوب على الأشياء العادية الموجودة في بيئتنا. ومشروعها، الذي أطلقـت عليه اسم (الحاسة السادسـة)، يتضمن ارتداء كاميرا دقيقة الحجم وجهاز عرض (بروجكتور) حول عنقك، كالميدالية، يمكنها عرض صورة شاشة حاسوب على أي شيء أمامك، كالحائط أو المنضدة. وبالضغط على أزرار تخيليـة ينشط الحاسـوب آليا، تماما كما لو كنـت تنسخ على لوحة مفاتيـح حقيقية. ولما كانت صورة شاشة الحاسوب يمكن عرضها على أي شـيء مسطح أو صلب أمامك، فـإن باستطاعتك تحويل مئات الأشياء إلى شاشات حاسوب.

كذلك، ترتدي كشتبان بلاستيكي plastic thimbles خاصا في إبهامك وأصابعك. وبينما تحـرك أصابعك، ينفذ الحاسوب التعليمات على شاشة الحاسـوب الموجودة علـى الجدار. فبتحريك أصابعك علـى سبيل المثال، يمكنك رسم صور على شاشة الحاسوب. ويمكنك استخدام أصابعك بدلاً مـن الفأرة في التحكم في المؤشر. وإذا صنعت بيديك شكل مربع، يمكنك تنشيط كاميرا ديجيتال والتقاط صور.

وهـذا معناه أيضا أنـك عندما تذهب للتسوق، سـوف يقوم حاسوبك بمسح شتى المنتجات، وتحديد ماهيتها، ثم يعطيك قراءة كاملة لمحتوياتها، ومحتواهـا من السعرات الحرارية، وآراء المستهلكـين الآخرين. ولما كانت تكلفـة الرقاقـات أقل من سعـر تكلفة البار كـود، فإن جميـع المنتجات التجاريـة سوف يكـون عليها عنوانها التجاري الذكـي الخاص بها الذي يمكنك الدخول عليه وعمل مسح له.

ومن التطبيقات الأخرى الممكنة للواقع المضخم الرؤية بالأشعة السينية، وهـو أمـر يشبه تماما الرؤيـة بالأشعة السينية الموجـودة في مجلة سوبر مان المصورة، التي تستخدم فيها عملية تسمى (الأشعة السينية المبعثرة المرتدة) backscatter X – rays. فإذا كانت نظارتك أو عدستك اللاصقة حساسة للأشعـة السينيـة، فسوف يكون من الممكن أن تـرى من خلال الحوائط. فبينما تطالع ما حولك، سوف تكون قادرا على الرؤية من خلال الأجسام، تمامـا مثلما يحدث في القصص المصورة. فكل طفل، عندما قرأ لأول مرة قصص (سوبرمان) المصورة، كان يحلم بـأن يكون (أسرع من الرصاصة المنطلقـة، وأقوى من القاطرة). فآلاف الأطفـال ارتدوا العباءات، ووثبوا

مـن الأقفاص، وقفزوا في الهواء، وتخيلوا أنهم يـرون بأشعة إكس، لكن ذلك صار أيضا احتمالية واقعية.

إحـدى المشكلات في أشعة إكس العادية أنـك تضطر لوضع فيلم أشعة إكس خلف الشـيء الذي تصـوره، وتعرض الشيء للأشعـة السينية، ثم تحمض الفيلم. لكن الأشعة السينية المبعثرة المرتدة تحل كل تلك المشكلات. أولاً، لديـك أشعـة سينية تنبعث مـن مصدر ضوئي يمكنـه أن يغمر غرفة بأكملهـا. ثم ترتد الأشعة من الجـدران، وتمر من الخلف من خلال الجسم الذي تـود فحصه. ونظارتك حساسة لأشعـة إكس التي مرت من خلال الجسم. إن الصور التـي تشاهد بواسطة أشعة سينية مبعثرة مرتدة يمكن أن تكـون في نفس جودة الصور التي تراها في القصص المصورة. (عن طريق زيـادة الحساسية بالنظارات، يمكـن للمرء تخفيض شـدة الأشعة السينية، للإقلال من مخاطرها الصحية).

المترجمون الكونيون

في فيلم (Star Trek) أو رحلة بين النجوم، الملحمي، والحقيقة في جميع أفـلام الخيال العلمي الأخرى، مـن الملاحظ أن جميـع الكائنات القادمة مـن الفضاء كانت تتحـدث الإنجليزية بإتقان. وهذا لأنـه كان هناك شيء يعرف باسم (المترجم الكـوني) Universal translator الذي يتيح لسكان الأرض التخاطب فوريا مـع أي حضارة قادمة من كواكب أخرى، فيرفع الحرج المصاحب للاستعمال الشاق للغـة الإشارة أو الإيماءات البدائية في التخاطب مع أحد القادمين من الفضاء.

وبرغم أن هذا الأمر عُدّ ذات يوم من قبيل التنبؤ غير الواقعي بالمستقبل، فإن هناك نسخا من المترجم الكوني موجودة بالفعل الآن. ومعنى هذا أنه في المستقبل، إذا كنت سائحا تطوف بلدا أجنبيا وتريد التحدث مع أهله، فسوف ترى من خلال عدستك اللاصقة ترجمة فورية مصاحبة للكلام على هيئة عبارات مثل التي تصاحب الأفلام الأجنبية. ويمكنك أيضا أن تجعل حاسوبك يصنع ترجمة صوتية تغذي بها أذنيك. ومعنى ذلك، أنه قد يكون في الإمكان جعل شخصين يجريان حوارا سويا، وكل منهما يتكلم بلغته، بينما يستمع إلى الترجمة في أذنيه، لو كان كلاهما يمتلك مترجما كونيا. لن تكون الترجمة تامة الإتقان، إذ لا بد وأن ستظهر مشكلات مع العبارات الاصطلاحية لكل لغة، وفي الألفاظ الدارجة، والتعبيرات التي يمكن أن تحمل عدة معانٍ، لكنها ستتمتع بالجودة الكافية بحيث يفهم المرء فحوى ما يقوله الشخص الآخر.

وهناك عدة طرق يتمكن بها العلماء من جعل هذا الأمر حقيقة واقعة. أولاها بصنع آلة يمكنها تحويل اللفظ المنطوق إلى كتابة. ففي منتصف تسعينيات القرن العشرين، ظهرت في الأسواق أولى آلات التعرف على الكلام وصارت متاحة للمستهلكين. وكان في استطاعة هذه الأجهزة التعرف على ما يصل إلى 40 ألف كلمة بنسبة دقة تبلغ 95 %. ولما كان الحوار التقليدي اليومي لا تستخدم فيه عادةً سوى من 500 إلى ألف كلمة، فإن تلك الآلات تعد أكثر من دقيقة. وبمجرد إتمام عملية نقل الصوت الآدمي إلى كلمات مكتوبة، فإن كل لفظ تتم ترجمته إلى لغة أخرى من خلال قاموس الحاسوب. ثم يأتي الجزء الشاق: وضع الألفاظ داخل

سيـاق، بإضافة العبـارات الدارجة والتعبـيرات العامية، إلـخ، وجميعها تستلزم فهما معقدا للتفاصيـل الصغيرة للغة. ويطلق على هذا الميدان اسم CAT (أي الترجمة بمساعدة الحاسوب).

وهنـاك طريقـة أخـرى تبتكـر لأول مـرة في جامعة كارنيجـي ميلون Carnegie Mellon في بيتسـبرج. فقـد صنع العلماء هنـاك بالفعل نسخا مبدئية مـن أجهزة يمكنها الترجمة مـن اللغة الصينيـة إلى الإنجليزية، ومن الإنجليزيـة إلى الأسبانية والألمانية. وهم يصلون أقطابا كهربية بعنق المتكلم ووجهـه؛ وتلتقط تلك الأقطـاب التقلص العضلي وتفـك شفرة الألفاظ المنطوقـة. ولا يتطلـب عملهم هذا أيـة معدات صوتيـة، إذ يمكن تحريك الشفاه فقط بالألفـاظ في صمت. ثم يقوم حاسوب بترجمة تلك الألفاظ فينطـق بها مخلّق صوت جهـرا. وفي المحادثات البسيطة التي لا يزيد عدد الكلمات المستخدمة فيها على 100 إلى 200 كلمة، وصلوا إلى دقة نسبتها 80 %.

تقول إحدى الباحثات، وهي تانيا شولتز Tanja Schultz: (الفكرة مفادها أن باستطاعتـك نطـق الكلمات باللغة الإنجليزية فتخـرج من الجهاز باللغة الصينيـة أو بلغة أخرى). وفي المستقبل، قد يكـون من الممكن للحاسوب قـراءة شفـاه شخص تتحدث معـه، وبهـذا لا تصبح الأقطـاب الكهربية ضروريـة. وهكذا، مـن حيث المبدأ، من الممكـن أن يتحدث شخصان في حوار حي معا، رغم أن كلاً منهما يتكلم بلغة مختلفة عن الآخر.

وفي المستقبـل، قد تتهاوى بالتدريج حواجز اللغـة، تلك الحواجز التي كانـت تعرقل بصورة مأساوية التفاهم بين الثقافات المختلفة وبعضها، مع

وجود المترجم العالمي وعدسات الإنترنت اللاصقة ونظاراته.

وعلى الرغم من أن الواقع المضخم يفتح لنا عالما جديدا تماما، فإن له حدودا. فالمشكلة ليست في الأجهزة الصماء، ولا في عرض النطاق، إذ لا توجد حدود في مقدار المعلومات التي يمكن نقلها من خلال كابلات الألياف الضوئية.

البرمجيات هي عنق الزجاجة الحقيقي. إن صناعة البرمجيات اللازمة لا يمكن القيام بها بإتباع أسلوب عتيق. فهناك إنسان – جالس بهدوء على مقعد ومعه قلم رصاص، وورق، وحاسوب محمول – سوف يكتب الأكواد سطرا سطرا، التي تجعل هذه العوالم التخيلية حقيقة واقعة. فالمرء يمكنه إنتاج الأجهزة الصماء بالجملة ويزيد في قدرتها بتجميع المزيد والمزيد من الرقاقات، لكنك لا تستطيع إنتاج المخاخ بالجملة. وهذا معناه أن إدخال العالم المضخم فعلاً سوف يستغرق عقودا، حتى نصل إلى منتصف القرن.

الصور المجسمة والأبعاد الثلاثية

هناك تقنية أخرى متطورة ربما نشاهدها بحلول منتصف القرن، وهي التلفاز ثلاثي الأبعاد الحقيقي وكذلك الأفلام. ففي تاريخ سابق يعود إلى الخمسينيات من القرن الماضي، كانت الأفلام ثلاثية الأبعاد تحتاج لارتداء نظارات ضخمة ذات عدستين ملونتين، واحدة زرقاء والأخرى حمراء. وكان هذا يمثل استفادة من نظرية حقيقية تقول إن العين اليسرى والعين اليمنى ليستا على استقامة واحدة وأن بينهما اختلافا طفيفا؛ وكانت شاشة

السينما تعرض صورتين، إحداهما زرقاء والأخرى حمراء. ولما كانت تلك النظارات تعمل كفلاتر تعطي صورتين مختلفتين واحدة لكل عين، فإنها تمنح إحساسا تخيليا بأنك تشاهد الأبعاد الثلاثة عندما يدمج المخ الصورتين معا. ومن ثم كان إدراك العمق بمثابة خدعة. (وكلما كانت عيناك متباعدتين عن بعضهما بعضا، زاد حجم إدراك العمق. ولهذا نجد عيون بعض الحيوانات خارج رؤوسها: حتى تحصل على أقصى درجة من إدراك العمق).

وهناك تحسين لذلك، وهو امتلاك نظارات ثلاثية الأبعاد مصنوعة من زجاج مستقطب، وبهذا تعرض على العينين اليسرى واليمنى صورتان مستقطبتان مختلفتان. وبهذه الطريقة، يمكن للمرء مشاهدة صور ثلاثية الأبعاد بألوانها المكتملة، وليس فقط باللونين الأزرق والأحمر. ولما كان الضوء عبارة عن موجات، فإنه يتذبذب لأعلى ولأسفل، أو يسارا ويمينا. والعدسة المستقطبة عبارة عن قطعة زجاج تسمح فقط باتجاه واحد من الضوء بالمرور من خلالها. وبهذا، إذا كان لديك عدستان مستقطبتان في نظارتك، ولكل منهما اتجاه مختلف للاستقطاب، فإنه بإمكانك خلق تأثير ثلاثي الأبعاد. وهناك نسخة أكثر تطورا من ثلاثية الأبعاد، وهي أن تلمع صورتان مختلفتان من خلال عدستك اللاصقة.

أما التلفزيونات ثلاثية الأبعاد التي تحتاج لارتداء نظارات خاصة فقد نزلت الأسواق بالفعل. لكن خلال وقت قصير، لن تعود التلفزيونات ثلاثية الأبعاد في حاجة إليها، حيث ستستخدم بدلاً منها عدسات محدبة. ستصنع شاشة التلفاز بطريقة خاصة بحيث تعرض صورتين منفصلتين

بزاويتين مختلفتين اختلافا طفيفا، واحدة لكل عين. ومن ثم ترى عيناك صورتين مستقلتين، فتعطيك صورة تخيلية ثلاثية الأبعاد. إلا أن رأسك لا بد أن يكون متخذا وضعا صحيحا؛ هناك (نقاط تركيز) ينبغي أن تكون عيناك واقعة عليها وأنت تحدق في الشاشة. (وهذا الأمر يمثل استفادة من ظاهرة خداع بصري شهيرة. في محال الأزياء الحديثة، نشاهد صورا تتغير بطريقة سحرية ونحن نسير بجوارها ونتخطاها. ويتم هذا بالتقاط صورتين، وتمزيق كل واحدة إلى الكثير من الشرائط الرفيعة، ثم وضع كل شريط بالتبادل مع كل صورة، مما يصنع صورة مركبة. ثم توضع عدسة محدبة على هيئة لوح ذي أخاديد رأسية عديدة فوق سطح الصورة المركبة، وكل أخدود موضوع بدقة فوق سطح شريطين. ويكون الأخدود له شكل خاص بحيث عندما تحدق فيه من إحدى الزوايا، يمكنك رؤية أحد الشرائط، لكن الشريط الآخر لا يبدو إلا من زاوية أخرى. ومن ثم، فإنك بمرورك على لوح الزجاج ترى كل صورة منهما تتحول فجأة إلى الصورة الأخرى، ثم تعود للصورة الأولى من جديد وهكذا. إن التلفزيونات ثلاثية الأبعاد سوف تحل محل تلك الصور الثابتة بتحريك الصور للوصول للتأثير ذاته دون استعمال النظارات).

غير أن أكثر نسخ الأبعاد الثلاثية تطورا هي الصور المجسمة. فدون استخدام أية نظارات، سوف تشاهد مقدمة موجة الصورة ثلاثية الأبعاد بدقة، كما لو كانت قابعة أمامك مباشرةً. الصور المجسمة موجودة منذ عقود مضت (فهي تظهر في محال الأزياء، وعلى بطاقات الائتمان، وفي المعارض)، وهي تظهر في أفلام الخيال العلمي. ففي فيلم Star Wars، تم

عرض حبكة القصة من خلال رسالة تعرض فيها الأميرة ليا محنتها على أعضاء تحالف المتمردين عرضا مجسما ثلاثي الأبعاد.

المشكلة أن صنع الصور المجسمة أمر بالغ الصعوبة.

تصنع الصور المجسمة بأخذ شعاع ليزر واحد وشقه إلى نصفين. أحدهما يسقط على الشيء الذي تريد تصويره فوتوغرافيا، والذي يرتد بعد ذلك منه ليسقط على شاشة خاصة. أما شعاع الليزر الثاني فيسقط فوق الشاشة مباشرةً. ويصنع المزج بين الشعاعين نمطا تداخليا معقدا يحتوي على صورة ثلاثية الأبعاد (مجمدة) للشيء الأصلي، تلتقط بعد ذلك على فيلم خاص على الشاشة. وبعدها، وبإطلاق شعاع ليزر آخر يمر من خلال الشاشة، تخرج صورة الشيء الأصلي إلى الحياة بأبعادها الثلاثية كاملة.

وهناك مشكلتان في التلفاز المجسم. الأولى، أن الصورة يجب أن تضيء على شاشة. وبجلوسك أمام الشاشة، ترى بالضبط صورة الشيء الأصلي ثلاثية الأبعاد. لكنك لا تستطيع أن تمد يدك لتلمس الشيء. فالصورة ثلاثية الأبعاد التي تراها أمامك إن هي إلا خيال.

ومعنى هذا أنك إذا كنت تشاهد مباراة كرة قدم ثلاثية الأبعاد على تلفازك المجسم، فإنك أينما تحركت، سوف تتحرك الصورة التي أمامك كما لو كانت حقيقية. فقد يبدو لك أنك جالس عند خط الخمسين ياردة مباشرةً، تشاهد المباراة على بعد بوصات فقط من لاعبي كرة القدم. لكنك إذا حاولت أن تمد يدك لالتقاط الكرة، فسوف تصطدم بالشاشة.

المشكلة التقنية الحقيقية التي حالت دون تطوير التلفاز المجسم تكمن في تخزين المعلومات. فالصورة الحقيقية ثلاثية الأبعاد تحتوي على كمية هائلة

من المعلومـات، تبلغ أضعـاف المعلومات المختزنة داخـل صورة واحدة ذات بعدين. والحاسبات تعالج بانتظام الصور ثنائية الأبعاد، إذ إن الصورة تتم تجزئتهـا إلى نقاط دقيقة، تسمى البكسلات، وكل بكسل تنير بواسطة ترانزستور دقيق الحجم. لكن لجعل صورة ثلاثية الأبعاد تتحرك، فأنت في حاجـة لإضاءة ثلاثين صورة في الثانية الواحـدة. وبحسبة سريعة يتبين لنا أن المعلومـات المطلوبة لتوليد صور ثلاثية الأبعـاد مجسمة في حالة حركة تتجاوز بكثير القدرة التخزينية للإنترنت بوضعه الحالي.

وبحلول منتصف القرن، قد يتم حل هذه المشكلة مع التوسع في عرض نطاق الإنترنت توسعا هائلاً أُسيا.

فكيف سيبدو التلفاز ثلاثي الأبعاد الحقيقي؟

أحـد الاحتمـالات أن شـكل الشاشـة سيشبـه اسطوانـة أو قبة تجلس بداخلهـا. وعندما تضيء الصورة المجسمة علـى الشاشة، نشاهد الصور ثلاثية الأبعاد من حولنا، كما لو كنا بالفعل في موقع الأحداث.

المستقبل البعيد (2070 - 2100)

العقل يسمو فوق المادة

بحلول نهاية هذا القرن، سوف نتحكم في الحاسبات مباشرةً بأذهاننا. مثل آلهة الإغريق، سوف نفكر في أوامر معينة وسوف تلبى رغباتنا. لقد وضع بالفعل أساس هذه التقنية. غير أنها قد تستغرق عقودا من العمل الشاق إلى أن تصل لحد الإتقان. وتتكون هذه الثورة من جزأين: الأول، أن على العقل أن يكون قادرا على التحكم في الأشياء من حوله. والثاني، أن على الحاسوب أن يفك شفرة رغبات الشخص حتى ينفذها.

صنعت أولى الطفرات العلمية عام 1998، عندما وضع العلماء بجامعة إيموري Emory University وجامعة توبينجن University of Tubingen الألمانية، قطبا زجاجيا دقيق الحجم في المخ مباشرةً لدى رجل يبلغ من العمر ستا وخمسين عاما أصيب بالشلل جراء سكتة دماغية. تم إيصال قطب كهربي بحاسوب قام بتحليل الإشارات الواردة من مخ الرجل. وصار مريض السكتة الدماغية قادرا على رؤية صورة المؤشر على شاشة الحاسوب. وبعدها، وباستخدام التغذية الحيوية الارتجاعية، صار قادرا على التحكم في المؤشر على شاشة الحاسوب بمجرد التفكير. وللمرة الأولى، حدث اتصال مباشر بين مخ الإنسان والحاسوب.

أما أعظم النسخ تعقيدا لهذه التقنية فتم تطويرها في جامعة براون Brawn University على يد عالم المخ والأعصاب جون دونوج John

Donoghue، الذي صنع جهـازا يسمى (بوابة المخ) BrainGate لمساعدة مـن عانوا من إصابات معيقة بالمخ على التخاطـب مع الغير، وقد أحدث هـذا العالم ضجة إعلامية، بل وكان نجم غـلاف مجلة (نيتشر) Nature عام 2006.

وأخبرني دونوج أن حلمه هو جعل بوابة المخ (برين جيت) تحدث ثورة في الأسلوب الذي نعالج به إصابات المخ عن طريق الاستفادة الكاملة من الثورة المعلوماتية. لقد كان له بالفعل تأثير هائل على حياة مرضاه، وكانت لديه آمال كبيرة في الارتقاء بهذه التقنية. وكان لديه اهتمام شخصي ببحثه لأنـه وهو طفـل، كان مقعدا علـى كرسي متحرك نتيجـة لإصابته بمرض تآكلي ومن ثم فهو يعرف شعور العاجز الذي لا حول له ولا قوة.

ومن بين مرضاه ضحايا السكتة الدماغية الذين أصيبوا بشلل كامل وغير قادريـن على التواصل مـع أحبابهم، رغم أن مخاخهـم نشيطة. لقد وضع رقاقـة، لا يزيد عرضها على 4 ملليمترات، فوق سطح مخ مريض السكتة الدماغيـة، في المنطقة التـي تتحكم في الأعصاب الحركيـة. ثم تم توصيل هـذه الرقاقة بعد ذلك بحاسوب يحلل ويعالـج إشارات المخ ويرسلها في النهاية إلى حاسوب محمول.

في بـادئ الأمر لم تكن لدى المريض سيطرة على موقع المؤشر، لكنه كان قادرا على رؤية الموقع الذي تتحرك فيه. وعن طريق المحاولة والخطأ، تعلم المريضـ كيفية التحكم في المؤشر، وبعد عدة ساعات، تمكن من وضعه في أي مـكان يريده على الشاشة. ومع التدريـب، صار مريض السكتة قادرا على قراءة وكتابة رسائل إلكترونية ولعب ألعاب الفيديو. فمن حيث المبدأ

مـن المؤكـد أن الشخص المشلول قادر علـى أداء أي وظيفة يمكن التحكم فيها من خلال الحاسوب.

في البداية، بدأ دونوج بأربعة مرضى، اثنان يعانيان من إصابات في الحبل الشوكـي، وواحد أصيب بسكتة دماغية، والرابـع يعاني من مرض ALS (تصلـب جانبي ضمـوري). أحدهم كان مصابا بشلـل رباعي من العنق حتى طرفـه السفلي، لم يستغرق سوى يوم واحد كـي يتقن تحريك المؤشر بذهنـه. واليوم، صار يمكنه التحكم في التلفاز، وتحريك مؤشر الحاسوب، ولعـب ألعاب الفيديو، وقـراءة البريد الإلكتروني. ويمكـن للمرضى أيضا التحكـم في قدرتهـم على الحركة عـن طريق التعامل مـع كرسي متحرك مزود بموتور.

خـلال هذه المدة القصيرة، لا يقل هـذا الإنجاز عن كونه إعجازا بالنسبة لأناس مصابين بالشلل الكامـل. فذات يوم، كانـوا محاصرين، بلا حول ولا قـوة، داخل أجسادهم؛ وفي اليوم التالي، صاروا يتصفحون الإنترنت ويجرون المحادثات مع أناس من جميع أنحاء العالم.

(حضرت ذات يـوم حفل استقبال في مركز لنكولـن Lincoln Center بنيويـورك على شـرف عالم الفلـك العظيم ستيفـن هوكنـج[1] Stephen Hawking. وكان مما يمزق نياط القلوب أن أراه مقعدا على كرسي متحرك،

(1) ستيفـن هوكنـج Stephen Hawking: عالم فيزياء نظرية وفلـك إنجليزي. أجرى أبحاثًا بمعاونـة علماء آخرين في إطار نظرية النسبية العامة كما حاول إثبات أن الثقوب السوداء تبث إشعاعات. أصيب بمرض التصلب الجانبي الضموري مما جعله مقعدًا تمامًا. من أشهر مؤلفاته (التصميم الكبير) The Grand Design و(تاريخ موجز للزمن) A Brief History of Time. (المترجم)

عاجزا عن تحريك أي شيء باستثناء بعض عضلات الوجه وجفنيه، وهناك ممرضات يمسكن برأسه المشلول لأعلى ويدفعنه ليتجول في أنحاء المكان. ويحتاج لساعات وأيام من الجهد المضني لكي يوصل أفكارا بسيطة للآخرين من خلال جهاز مخلق للصوت. وتساءلت بيني وبين نفسي إن لم يكن الوقت قد فات بالنسبة له كي يستفيد من تقنية (برين جيت). وبعدها جاء جون دونوج، الذي كان من ضمن الحضور أيضا، لتحيتي. إذن لعل برين جيت تكون أفضل خيار أمام هوكنج).

وحققت مجموعة أخرى من علماء جامعة ديوك Duke University نتائج مشابهة مع القرود. وضع ميجيل أيه. إل. نيكوليليس Miguel A. L. Nicolelis ومجموعته رقاقة داخل مخ أحد القردة. وتتصل الرقاقة بذراع ميكانيكية. في بادئ الأمر، يهز القرد ذراعه، وهو لا يفهم كيفية تشغيل الذراع الميكانيكية. لكن مع بعض التدريب، صارت هذه القرود باستخدام قوة أذهانها، قادرة على التحكم في حركات الذراع الميكانيكية؛ على سبيل المثال، تحريكها بحيث يمكنها التقاط إصبع موز. ويمكنها بالفطرة تحريك تلك الأذرع دون تفكير، كما لو كانت الذراع الميكانيكية ذراعها الحقيقية. يقول نيكوليليس: (هناك بعض الأدلة الفسيولوجية على أنه خلال التجربة شعرت هذه القرود بأنها أكثر ارتباطا بالإنسان الآلي من أجسادها هي).

وهذا معناه أيضا أنها سوف تتمكن ذات يوم من التحكم في الآلات باستخدام التفكير المحض. أولئك الذين أصيبوا بالشلل ربما يكونون قادرين على ربط مخ الشخص ربطا مباشرا بالأذرع والسيقان الميكانيكية،

والاستغناء عن الحبل الشوكي، وبهذا يتمكن المريض من السير من جديد. كذلك فإن هذه التقنية قد تضع الأساس للتحكم في عالمنا عن طريق القدرة الذهنية.

قراءة الأفكار

إذا كان باستطاعة المخ التحكم في حاسوب أو ذراع ميكانيكية، فهل يستطيع حاسوب أن يقرأ أفكار شخص ما، دون وضع أقطاب كهربائية داخل المخ؟

من المعروف منذ عام 1875 أن عمل المخ يقوم على أساس كهرباء تسري بين خلاياه العصبية وبعضها، وهو ما يولد إشارات كهربية واهنة يمكن قياسها بوضع أقطاب حول رأس الإنسان. ومن خلال تحليل النبضات الكهربية التي تلتقطها تلك الأقطاب، يمكن للمرء تسجيل موجات المخ. ويسمى هذا رسم المخ الكهربائي Electrocephalogram، والذي يمكنه تسجيل التغيرات الكبرى التي تحدث داخل المخ، مثل تلك التي تحدث أثناء النوم، وكذلك الأحوال المزاجية، مثل الهياج، والغضب.. إلخ. ويمكن عرض نتيجة رسم المخ على شاشة حاسوب، يمكن للشخص مشاهدتها. وبعد برهة، يكون الشخص قادرا على تحريك المؤشر عن طريق التفكير وحده. وقد تمكن (نيل بيرباومر) Neils Birbaumer العالم بجامعة توبنجن University of Tubingen، بالفعل من تدريب أشخاص مصابين بشلل جزئي من نسخ عبارات بسيطة من خلال هذه الطريقة.

وحتى صانعي لعب الأطفال يستفيدون من هذا. فهناك عدد من شركات

لعـب الأطفال، من بينها (نيوروسكاي) NeuroSky، تقوم بتسويق شريط رأس (باندانا) وبداخله قطب من نوع رسام المخ الكهربائي. فإذا ركزت تفكـيرك بصورة ما، يمكنك تنشيـط رسام المخ الكهربـي الموجود داخل شريـط الرأس، الذي يتحكم بعد ذلك في اللعبة. على سبيل المثال، يمكنك رفع كرة بنج بونج داخل اسطوانة بمجرد إعمال الفكر.

وميزة رسـام المخ الكهربائـي أن باستطاعته سريعـا اكتشاف الترددات المختلفـة التـي يبثها المـخ دون الحاجة لمعدات معقدة باهظـة الثمن. لكن هنـاك عيب كبير في هذا الأمر أن رسام المخ الكهربي لا يمكنه تعيين مواقع محددة للأفكار داخل المخ.

وهناك طريقة أكثر حساسية من تلك بكثير، وهي (المسح بالرنين المغناطيسي الوظيفـي)[1] (fMRI). ويختلـف رسـم المـخ الكهربائي عن المسـح بالرنين المغناطيسي الوظيفي في عدة نقاط مهمة. فالمسح برسم المخ جهاز سلبي كل ما يفعلـه أنه يلتقط الإشـارات الكهربية من المخ، وبهذا لا يمكننا أن نحدد بطريقة جيـدة تمامـا موقع المصدر. أمـا آلة المسح بالرنـين المغناطيسـي الوظيفي فإنها تستخـدم (موجات الصدى) التي تصنعها موجـات الراديو في الغوص داخل أعمـاق النسيج الحي. وهذا يسمح لنا بالتحديد بالغ الدقة للموقع الذي تصدر منه مختلف الإشارات، مما يعطينا صورا ثلاثية الأبعاد رائعة لما بداخل المخ.

إن آلة المسـح بالرنين المغناطيسي الوظيفي باهظة الثمن للغاية وتحتاج إلى مختبر

(1) التصويـر بالرنـين المغناطيسـي الوظيفـي (fMRI) Functional Magnetic Resonance Imaging : نوع من التصويـر بالرنـين المغناطيسي المتخصص المستخدم لقياس استجابة الدورة الدموية (التغير في تدفق الـدم) المتصلة بالنشاط العصبي في الدماغ أو النخاع الشوكي من البشر أو الحيوانات الأخرى. (المترجم)

مليء بالمعدات الثقيلة، لكنها قدمت لنا بالفعل تفاصيل في غاية الإثارة لأسلوب أداء المخ لوظائفه الذهنية. إن المسح بالرنين المغناطيسي الوظيفي يتيح للعلماء تعيين موقع وجود الأكسجين داخل هيموجلوبين الدم. ولما كان الهيموجلوبين المؤكسج يحتوي على طاقة تمد النشاط الخلوي بالوقود اللازم، فإن تحديد مقدار تدفق هذا الأكسجين يتيح لنا تتبع مسار تدفق الأفكار داخل المخ.

ويقول جوشوا فريدمان Joshua Freedman، طبيب نفساني بجامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس UCLA: (إن الأمر أشبه بأن تكون عالم فلك في القرن السادس عشر بعد اختراع التلسكوب. لألوف السنين، حاول أناس يتمتعون بالذكاء الخارق فهم ما يحدث في السماوات، غير أنهم لم يتمكنوا سوى من تخمين ما يوجد فيما وراء قدرة الإنسان على الرؤية دون وسائل مساعدة. ثم فجأة ظهرت تقنية جديدة أتاحت لهم أن يروا مباشرةً ما يحدث هناك).

حقيقةً، يمكن لعمليات المسح بالرنين المغناطيسي الوظيفي حتى أن ترصد حركة الأفكار داخل المخ الحي بدقة تصل إلى المليمتر، أو حجم أقل من رأس الدبوس، وهو حجم يعادل حجم ربما بضعة آلاف من الخلايا. ومن ثم يمكن للمسح بالرنين المغناطيسي الوظيفي إعطاؤنا صورا ثلاثية الأبعاد لسريان الطاقة داخل المخ أثناء التفكير تصل إلى حد مذهل من الدقة. وفي نهاية المطاف، ربما يجري تشييد ماكينات رنين مغناطيسي وظيفي في مقدورها سبر غور المخ حتى مستوى النيورون (الخلية العصبية) الواحد، وفي هذه الحالة ربما أمكن للمرء التقاط الأنماط العصبية المقابلة لخواطر محددة.

وقد تحقق سبق علمي كبير مؤخرا على يد كيندريك كاي Kendrick Kay وزملائه بجامعة كاليفورنيا University of California في بيركلي

Berkeley. لقد أجروا مسحـا بالرنين المغناطيسي الوظيفي fMRI لأناس ينظرون إلى صور لمختلف الأشياء، كالطعام، والحيوانات، والبشر، وأشياء عادية مختلفة الألـوان. وصنع كاي وزملاؤه برنامج حاسوب يمكنه الربط بـين تلك الأشياء وأنمـاط المسح بالرنين المغناطيسـي الوظيفي المقابلة لها. وكلما رأى الأفراد أشياء أكثر، تحسنت قدرة برنامج الحاسوب على تحديد ماهية تلك الأشياء على صور المسح بالرنين المغناطيسي الوظيفي.

بعد ذلـك قاموا بعرض أشياء مختلفة تماما علـى الأشخاص أنفسهم، وكان برنامج الحاسوب قادرا في الغالـب على التوفيق بصورة صحيحة بين الشيء والمسـح بالرنين المغناطيسـي الوظيفي. وعندما عرضـت عليهم 120 صورة لأشيـاء جديدة، توافق برنامج الحاسوب بصـورة صحيحة مع المسح بالرنين المغناطيسي الوظيفي في نسبـة 90 في المائة من المرات. وعندما عرضت على الأفراد 1000 صورة جديدة، كانت نسبة نجاح برنامج الحاسوب 80 %.

ويقول كأي إنه (من الممكن تحديد، من مجموعة كبيرة من الصور الطبيعية الجديدة تماما، أي الصـور بالتحديد شاهدها الرائي .... وقد يكون ممكنا في القريب العاجل إعادة بناء صورة للتجربة البصرية التي خاضها شخص ما من قياسات نشاط المخ وحدها).

والهـدف من هذه الطريقة إنشاء (قاموس للأفكار)، بحيث يكون لكل شيء صـورة مقابلة محددة من صور المسح بالرنـين المغناطيسي الوظيفي. وعـن طريق قراءة نمط المسح بالرنين المغناطيسي الوظيفي، يمكن للمرء بعد ذلك فك شفرة ما يجول بخاطر الإنسان. وفي النهاية، ربما يقوم الحاسوب بمسـح الآلاف من أنماط المسح بالرنين المغناطيسي الوظيفي التي تنهال من

المـخ أثناء التفكير وفك شفرة كل واحـد منها. وبهذه الطريقة، قد يتمكن الإنسان من فك شفرة تيار الوعي لدى أحد من الناس.

تصوير الأحلام فوتوغرافيا

إن المشكلة التي تعترض هذه التقنية، مع ذلك، أنه بينما قد يكون من الممكن معرفـة إن كنت تفكر في كلب مثـلاً أم لا، إلا أنه لا يمكن إعادة رسم صورة الكلـب الحقيقي الذي تفكر فيه بالفعل. وقد ظهر خط جديد من الأبحاث، ألا وهو محاولة إعادة إنشاء الصورة التي يفكر فيها المخ بدقة، بحيث إننا ربما نتمكن ذات يوم من صنـع فيلم فيديو لخواطر الإنسان وأفكاره. وبذلك قد يصبح الإنسان قادرا على عمل تسجيل فيديو لحلم زاره في المنام.

منـذ الأزل، ومسألـة الأحلام تشغل ألباب الناس، تلـك الصور العابرة سريعة الزوال التي أحيانا تصيبنا بإحباط كلما تذكرناها أو فهمناها. ولطالما حلمت هوليوود بأجهزة يمكنها ذات يوم أن ترسل بخواطر أشبه بالأحلام إلى المـخ أو حتى تسجلها، مثلما ظهـر في أفلام مثل Total Recall. وكان هذا كله، على أية حال، تخمينا محضا.. إلى وقت قريب، أعني.

فلقـد أحرز العلمـاء تقدما يستحق الإعجاب في هـذا المجال الذي كان يظن يوما أنه مستحيل: التقـاط صور فوتوغرافية لذكرياتنا وربما لأحلامنا أيضـا. وتحققت الخطوات الأولى في هذا الصدد على يد علماء بمختبر علم الأعصـاب الحاسوبي في برنامـج بحوث الاتصـالات اللاسلكية المتقدمة بكيوتـو. فعرضوا على عـدة أفراد نقطـة بالغة الدقة مـن الضوء في موقع معين. ثم استعانوا بالمسح بالرنين المغناطيسي في تسجيل موقع اختزان المخ

لتلـك المعلومة. ثم حركوا نقطة الضـوء الدقيقة من موقعها وسجلوا الموقع الـذي اختزنت فيه الصورة الجديدة من المخ. وأخيرا، أصبح لديهم خارطة نقطـة لنقطة لمواقع اختزان العشرات من النقط المضيئة الدقيقة في المخ. وقد حددت مواقع تلك النقاط الدقيقة من الضوء على مصفوفة شبكية 10×10.

بعدهـا عرض العلماء لبرهة خاطفة صورة لشـيء بسيط مصنوع من تلك النقاط الـ 10×10، كحدوة الحصان مثلاً. وباستخدام الحاسوب أمكنهم بعد ذلك تحليل الأسلوب الذي اختزن به المخ هذه الصورة. ولا ريب، أن الشكل الذي اختزنه المخ كان حاصل جمع الصور التي شكلت رسم حدوة الحصان.

وبهـذه الطريقة، تمكن هؤلاء العلماء مـن صنع صورة مما يراه المخ. وهكذا يمكـن فك شفرة أي شكل من الأضواء على هـذه المصفوفة 10×10 بواسطة حاسوب تتم تغذيته بصور مسح المخ بالرنين المغناطيسي الوظيفي.

وفي المستقبل، يرغب هؤلاء العلماء في زيادة عدد البكسلات في مصفوفتهم الـ 10×10. علاوة على ذلك يزعم هؤلاء أن هذه العملية عمومية، بمعنى، أن أي فكرة بصرية أو حتى حلم يجب أن يكون في الإمكان اكتشافه بواسطة المسح بالرنين المغناطيسي الوظيفي. فإذا صح ذلك، فقد يكون معناه أننا سنكون قادرين لأول مرة في التاريخ، على تسجيل الصور التي تظهر في أحلامنا.

وبطبيعة الحال، فإن صورنا الذهنية، لا سيما أحلامنا، لا تكون أبدا واضحة وضوح البللور، وسوف يكون هناك دوما نوع ما من الغموض بها، لكن مجرد صدق مسألة أن باستطاعتنا النظر بعمق في الأفكار البصرية التي تظهر بمخ إنسان ما ليعد أمرا لا بد وأن يشار له بالبنان.

قراءة الأفكار عن طريق رسم المخ الكهربي (يسار)، والمسح بالرنين المغناطيسي الوظيفي (يمين). في المستقبل، سوف تصبح هذه الأقطاب صغيرة جدا. سوف يصبح في مقدورنا قراءة أفكار الآخرين، وتحريك الأشياء بمجرد التفكير في ذلك.

أخلاقيات قراءة الأفكار

هـذا الموضوع يطـرح مشكلـة: ما الذي يمكـن أن يحـدث إذا كان باستطاعتنـا بصورة روتينية قراءة أفكار الناس؟ إن ديفيد بالتيمور David Baltimore، الرئيـس الأسبق لمعهـد كاليفورنيـا للتكنولوجيا (كالتك) California Institute of Technology، يعـرب عـن قلقـه مـن تلـك المشكلـة، حيث كتب يقول: (هـل يمكننا معرفة أفـكار الآخرين؟.. لا أعتقـد أن الأمـر محض خيال علمـي، لكن من شأنه أن يصنـع عالما أشبه بالجحيـم. تخيل أنك تغازل شريكة حياتـك وفي إمكانها قراءة ما يدور بخلـدك، أو التفاوض على شروط عقد إذا كان في إمكان الطرف الآخر معرفة ما يدور برأسك).

في معظـم الأحيان، حسب تخمينه، سـوف ترتبط قراءة الأفكار بشيء مـن الحرج لكنه لن يكون لها تبعات كارثية. وكتب يقول أيضا: (لقد قيل لي إنـك إذا أوقفت محاضرة أحد الأساتـذة في وسطها.. لوجدت نسبة لا بأس بها (من الطلبة) منشغلين بهواجس إباحية في مخيلاتهم).

لكن لعل قراءة الأفـكار لا تصبح قضية خصوصية على هذا النحو، إذ إن معظـم أفكارنا ليست محددة تحديـدا واضحا. وقد يصبح من الممكن ذات يـوم تصوير أحـلام يقظتنا ورؤانا في المنـام فوتوغرافيا، غير أنه قد تصيبنا خيبة أمل من رداءة الصور. فمنذ سنوات مضت، أتذكر أنني كنت أقـرأ قصة قصيرة تحكي عن رجل ظهر له جني قال له إن في استطاعته أن يلبي له أي طلب يتخيلـه. وعلى الفور تخيل الرجل وسائل ترف باهظة الثمن، كسيـارات ليموزين، وملايين الـدولارات السائلة، وقلعة. وفي

الحـال أوجد الجني لـه هذه الأشياء مجسدةً أمامه. لكـن ما أن بدأ الرجل يتفحصهـا بعناية حتى أصيـب بصدمة، فالليموزين كانـت بلا مقابض أبـواب ولا محرك، وكانت الوجـوه المطبوعة على الدولارات مشوهة لا تبـين ملامحها، أما القلعة فكانت خاوية تمامـا. ففي غمرة اندفاعه لتخيل تلـك الأشياء، نسي أن تلـك الصور التي كانـت في مخيلته ليست سوى أفكار عامة.

أضـف إلى ذلـك أنه مـن المشكوك فيه أنـك ستتمكن من قـراءة أفكار شخص عن بعد. فجميـع الوسائل التي درست حتـى الآن (بما فيها رسم المـخ الكهربي، والرنين المغناطيسي الوظيفي، والأقطاب التي تركب على المخ نفسه) تحتاج لاتصال وثيق بالفرد.

ومـع ذلك، فإنه قد تمـرر في النهايـة قوانين تحد من قـراءة الأفكار غير المصـرح بها. كذلك قد تصنـع أجهزة تحمي أفكارنا إمـا بالتشويش على إشاراتنا الكهربية وإما إعاقتها وإما خلطها ببعضها بعضا.

إن القـراءة الحقيقيـة للأفكار مـا زالت على بعد عقـود عديدة منا. لكـن علـى أقل تقدير، ربمـا أدى ماسـح الرنين المغناطيسـي الوظيفي وظيفـة كاشف الكذب البدائي. فقول الكذب يعني ضمنا أنك تعرف الحقيقـة، لكنك تفكر في الكذبة وما لا يحصـى من عواقبها، وهو ما يتطلب طاقة أكبر بكثير من قول الصدق. ومن هنا، من المحتم أن مسح المـخ بالرنين المغناطيسـي الوظيفي سوف يكون قـادرا على اكتشاف هذا الإنفـاق الإضافي مـن الطاقة. وفي الوقت الحاضـر، توجد لدى مجتمع العلم بعض التحفظات حـول السماح لأجهزة كشف الكذب

بالرنين المغناطيسي الوظيفي بأن تكون لها الكلمة الأخيرة، لا سيما في قاعات المحاكم. وما زالت التقنية شديدة الحداثة بحيث لا يمكنها تقديم أسلوب لا تشوبه شائبة في كشف الكذب. وسوف تعمل المزيد من الأبحاث، حسبما يقول مروجوها، على تنقيح دقتها. لكن هذه التقنية وجدت لتبقى.

وهناك بالفعل، شركتان تجاريتان تقدمان أجهزة كشف الكذب بالرنين المغناطيسي الوظيفي، تزعمان أنها تحقق نسبة نجاح تزيد على 90 في المائة. وقد استعانت إحدى المحاكم الهندية بالفعل بجهاز رنين مغناطيسي وظيفي في حل إحدى القضايا، وهناك العديد من القضايا المنظورة حاليا أمام القضاء الأمريكي تستعين بهذه التقنية.

إن أجهزة كشف الكذب العادية لا تقيس الكذب؛ وإنما تقيس فقط العلامات الدالة على التوتر، مثل ازدياد معدل إفراز العرق (ويقاس عن طريق تحليل قدرة الجلد على توصيل التيار الكهربي) وارتفاع سرعة ضربات القلب. إن عمليات المسح المخي تقيس ارتفاع نشاط المخ، لكن ما زالت العلاقة بين هذا والكذب في حاجة إلى إثبات بصورة تخدم العدالة في ساحات القضاء.

وقد يستغرق الأمر سنوات من الاختبار المتأني لاستكشاف حدود ودقة كشف الكذب باستخدام الرنين المغناطيسي الوظيفي. وفي هذه الأثناء، قدمت مؤسسة ماك آرثر MacArthur Foundation مؤخرا منحة قوامها 10 ملايين دولار لمشروع القانون وعلم المخ والأعصاب لتحديد مدى قدرة هذا العلم على التأثير على المسائل القانونية.

مسح أجريته على مخي بالرنين المغناطيسي الوظيفي

خضعت ذات يوم لمسح لمخي باستخدام جهاز رنين مغناطيسي وظيفي. لصالح فيلم وثائقي لقناة بي بي سي/ديسكفري، سافرت بالطائرة إلى جامعة ديوك Duke University، حيث وضعوني على نقالة، ثم أدخلت في اسطوانة معدنية عملاقة. وعندما بدأ مغناطيس هائل، شديد القوة (تبلغ قوته 20 ألف مرة قدر المجال المغناطيسي للأرض)، اصطفت ذرات مخي على استقامة واحدة مع المجال المغناطيسي، مثل رؤوس المغازل التي تشير محاورها جميعا في اتجاه واحد. ثم أرسلت نبضة راديو إلى مخي، فقلبت بعض من نويات ذراتي رأسا على عقب. وعندما عادت النويات في النهاية إلى وضعها الطبيعي من جديد، بعثت نبضة واهنة، أو (صدى)، أمكن لجهاز الرنين المغناطيسي الوظيفي اكتشافها. وبتحليل موجات الصدى تلك، أمكن لأجهزة الحاسوب معالجة الإشارات، ثم إعادة تجميع خارطة ثلاثية الأبعاد للمخ من الداخل.

كانت العملية برمتها خالية تماما من أي ألم أو أذى. فالإشعاع الذي أطلق نحو جسمي كان غير مؤين ولا يمكنه أن يتلف خلاياي بتمزيق ذراتها إربا مثلاً. وحتى مع التواجد داخل مجال مغناطيسي تبلغ قوته آلاف المرات قدر مجال الأرض المغناطيسي، لم أشعر ولا حتى بأقل قدر من التغيير في جسدي.

وكان الهدف من إجراء مسح الرنين المغناطيسي الوظيفي عليّ هو التحديد الدقيق لموقع تصنيع أفكار معينة داخل مخي. وعلى وجه التحديد، هناك (ساعة) بيولوجية شديدة الصغر داخل مخك، تقع بين العينين تماما،

وخلـف أنفك، وهو الموضـع الذي يحسـب فيه المخ الثـواني والدقائق. وحـدوث تلف لهذا الجزء الحساس من المـخ يسبب تشوها في الإحساس بالزمن.

بينما أنا داخل الماسحة، طلب مني قياس مرور الوقت بالثواني والدقائق. وبعدها، عندما تم تحميض صور الرنـين المغناطيسي الوظيفي، أمكنني أن أرى بوضـوح بقعة مضيئة ساطعة خلف أنفـي مباشرةً ظهرت بينما كنت أعـد الثـواني. وأدركت أنني كنـت أشهد مولد مجال جديـد تماما من علم الأحياء: التتبع الدقيق للمواقع التي بداخل المخ المرتبطة بأفكار معينة، وهو شكل من أشكال قراءة الأفكار.

الترايكوردرات وماسحات المخ المحمولة

في المستقبل، لن تحتاج آلـة الرنين المغناطيسي إلى أن تكون جهازا هائل الحجـم مما تجده في المستشفيات اليوم، يـزن عدة أطنان ويشغل حيز غرفة بأكملهـا. فقد يصغر حجمه حتى يصير أشبـه بالهاتف المحمول، بل وقد يصل إلى حجم القطعة المعدنية الصغيرة.

في عام 1993، توصل برنـارد بلوميش Bernhard Blumich وزملاؤه، عندمـا كانوا بمعهد ماكس بلانك Max Planck Institute يجرون أبحاث البوليمرات في ماينز، ألمانيا، إلى فكرة جديدة يمكن من خلالها صنع أجهزة تصوير بالرنين المغناطيسـي دقيقة الحجم. لقد شيدوا آلة جديدة، أسموها MRI – MOUSE (وهو اختصار لعبارة معناها مستكشف السطح العالمي الجـوال)، وهي حاليا يبلغ طولها حوالي قدم واحـدة، يمكنها أن تصل بنا

ذات يـوم إلى أجهـزة تصوير بالرنين المغناطيسـي في حجم فنجان القهوة وتبـاع في المتاجر الكـبرى. قد يشكل هذا الأمر ثـورة في عالم الطب، إذ قد يكون المرء قادرا حينذاك على إجراء عمليات مسح بالرنين المغناطيسي في منزلـه. ويحلم بلوميش بالوقت الـذي لا يبعد عنا كثيرا، الذي يتمكن فيـه الإنسان من إمـرار جهازه الشخصـي MRI – MOUSE فوق جلده وينظـر إلى ما بداخل جسمـه في أي وقت من أوقات اليوم. وسوف تقوم الحاسبـات بتحليل الصورة وتشخيص أي مشكلة صحية. واختتم بقوله: (ربمـا يكون شيئـا أشبه بجهاز الترايكوردر الذي ظهـر بفيلم Star Trek، وهو ليس أمرا بعيد المنال عنا بأي حال).

(تعمـل عمليـات المسـح بالرنـين المغناطيسي على مبـدأ مشابـه لإبر البوصلة. إن قطب إبـرة البوصلة يشير على الفور إلى المجال المغناطيسي. لهذا عندمـا يوضع الجسم داخـل جهاز الرنين، تصبـح نويات الذرات، مثـل إبر البوصلات، على استقامة واحدة مشيرة للمجال المغناطيسي. ثم تبـث موجة راديو في الجسم تجعل النويـات تنقلب رأسا على عقب. وفي نهايـة الأمر، تعود النويـات لوضعها الأصلي، فتبث نبضـة راديو ثانية أو (صدى).

ومفتاح التوصل لهـذه الماكينة المصغرة للرنين المغناطيسي هو المجالات المغناطيسيـة غير المتسقـة. ففي الأحـوال الطبيعية، يعـود سبب ضخامة حجم جهاز الرنـين المغناطيسي اليوم إلى احتياجنـا لوضع الجسم بأكمله داخل مجـال مغناطيسي شديد التوحد. وكلما زادت درجة اتساق المجال وتوحده، زادت دقة تفاصيـل الصورة الناتجة، وهو ما يصل في يومنا هذا

إلى عشـر المليمتر. وللحصـول على تلك المجالات الموحـدة، يبدأ علماء الفيزياء بملفين كبيرين من الأسلاك، قطرهما قدمان بالتقريب، موضوعان فوق بعضهما بعضا. ويسمـى هذا ملف هيلمهولتز Helmholtz، ويعطي مجـالاً مغناطيسيـا موحد القوة داخـل الحيز الواقع بين الملفـين. ثم يوضع جسم الإنسان بعد ذلك على امتداد محور هذين المغناطيسين العملاقين.

لكن في حالـة استخدامك للمجـالات المغناطيسية غـير الموحدة، فإن الصـورة الناتجة تكـون مشوهة ولا فائدة منها. وكانـت هذه هي مشكلة أجهـزة التصويـر بالرنين المغناطيسي لعدة عقود. لكـن بلوميش عثر على أسلوب بـارع لتعويض هذا التشوه من خلال إرسـال عدة نبضات راديو داخل العينة ثم رصد موجات الصدى المرتدة منها. ثم تستخدم الحاسبات في تحليـل تلك الموجات ومعالجة التشوه الـذي نشأ عن استخدام مجالات مغناطيسية غير موحدة.

واليـوم، يستخـدم جهـاز MRI – MOUSE المحمـول الـذي ابتكره بلوميش مغناطيسـا صغيرا على شكل حـدوة فرس يخـرج قطبا شماليا وقطبـا جنوبيا عند كل طرف من طرفي الحـدوة. ويوضع هذا المغناطيس فوق رأس المريض، وبتحريك المغناطيس، يمكن للمرء رؤية ما داخل الجلد بعمـق عدة بوصات. وعلى عكس أجهزة الرنين المغناطيسي العادية، التي تستهلـك كميات هائلة من الطاقة ولا بد لها مـن مقابس كهرباء خاصة، لا يستخدم جهاز MRI – MOUSE سوى كمية الكهرباء التي يستهلكها المصباح الكهربي العادي.

في بعض الاختبـارات الأولى، وضع بلوميش جهاز MRI – MOUSE

فـوق سطـح إطارات مـن الكاوتشوك، وهـي لينة مثل نسيـج الإنسان. ويمكـن لهذا الأمر أن يكون له تطبيق تجاري فوري: المسح السريع لعيوب المنتجات. ولا يمكن استخدام آلات الرنين المغناطيسي العادية على أجسام تحتـوي على معادن، مثل الإطـارات التي تحتوي على سيـور من الصلب steel – belted tires (أو الإطارات القطرية). أما جهاز MRI – MOUSE فلأنه لا يستخدم سوى مجالات مغناطيسية ضعيفة، فإنه لا توجد قيود على استخدامه. (مجالات أجهزة الرنين المغناطيسي التقليدية تبلغ قوتها 20 ألف مرة قدر المجـال المغناطيسي للأرض. ويتعرض العديد من أفراد التمريض والفنيين لضرر خطير عند تشغيل المجال المغناطيسي وقد يفاجئون بأجسام معدنية طائرة تأتي طائرة نحوهم. ولا يصنع جهاز MRI – MOUSE هذه المشكلة).

وهـذا الجهاز ليس مثاليا فقط لتحليـل الأجسام التي بها معادن الحديد، وإنما في استطاعته كذلك تحليل الأجسام التي تبلغ أحجاما لا يمكن إدخالها في جهاز الرنين المغناطيسـي التقليدي أو لا يمكن نقلها من مواقعها. على سبيـل المثال، في عـام 2006 نجح جهـاز MRI – MOUSE في تصوير ما بداخل رجل الجليد (أوتزي) Otzi، وهو عبارة عن جثة متجمدة عثر عليها في جبال الألب عام 1991. إذ بتحريك مغناطيس على هيئة حدوة حصان فوق أوتزي، تم بنجاح الكشف عن مختلف طبقات جسده المتجمد.

وفي المستقبـل، ربما تم تصغير جهـاز MRI – MOUSE أكثر وأكثر، مما يسمح لعمليات المسح بالرنين المغناطيسي للمخ باستخدام شيء في حجم الهاتف المحمول. وعندئذ، قـد لا تصبح قراءة أفكار إنسان بإجراء مسح

لمخه تمثل مشكلة عويصة. وفي نهاية المطاف، قد يصل جهاز ماسح الرنين المغناطيسي إلى حجم العملة المعدنية الصغيرة، أي لا يكاد يرى. بل إنه قد يصل إلى حد أن يشبه جهاز رسم المخ الأقل قوة، حيث توضع قبعة بلاستيكية بها العديد من الأقطاب الكهربية المتصلة بالرأس. (إذا وضعت هذه الأقراص الخاصة بالرنين المغناطيسي المحمول فوق أطراف أصابعك، ثم وضعتها فوق رأس شخص ما، فإن هذا قد يشبه إجراء الالتحام الذهني لشخصية (فولكان) في فيلم Star Trek).

التحريك عن بعد وقدرات الآلهة

ونقطة النهاية لهذا التقدم تصل بنا إلى القدرة على تحريك الأشياء عن بعد؛ وهي قدرة كانت آلهة الأساطير الإغريقية تمتلكها فكانت تحرك الأشياء بمجرد التفكير في ذلك.

ففي فيلم Star Wars، على سبيل المثال، القوة ميدان غامض يتخلل المجرة ويطلق سراح القدرات الذهنية لفرسان جيدي Jedi، فيسمح لهم بالتحكم في الأشياء بعقولهم. فكانت السيوف الضوئية، ومدافع الليزر، بل وحتى سفن الفضاء بأكملها تحلق في الجو باستخدام قدرة (القوة)؛ وكذلك تتحكم في تصرفات الآخرين.

لكننا لن نضطر للسفر إلى مجرة، تبعد كثيرا عن أرضنا حتى نستغل هذه القدرة. فبحلول عام 2100، عندما ندخل غرفة، سوف نكون قادرين على التحكم ذهنيا في حاسوب يتحكم بدوره في الأشياء من حولنا. فقد يكون تحريك الأثاث الثقيل، وإعادة ترتيب مكتبنا، وإجراء إصلاحات،

إلخ، ممكنا بالتفكير فيه. وقد يكون في هذا فائدة عظيمة للعمال، وأطقم رجال الإطفاء، وروّاد الفضاء، والجنود الذين يعملون على ماكينات تحتاج لأكثر من يدين لتحريكها. كما سيغير كذلك من أسلوب تعاملنا مع العالم. وسوف نصبح قادرين على ركوب دراجة، أو قيادة سيارة، أو لعب الجولف أو البيسبول أو تأليف ألعاب جديدة بمجرد التفكير فيها.

وقد يصبح تحريك الأشياء عن طريق التفكير ممكنا باستغلال شيء يسمى الموصلات الفائقة، والتي سنشرحها بمزيد من التفصيل في الفصل الرابع. وبحلول نهاية هذا القرن، ربما يصبح علماء الفيزياء قادرين على صنع موصلات فائقة يمكنها أن تعمل في درجة حرارة الجو العادية، ومن ثم تتيح لنا إنشاء مجالات مغناطيسية لا تحتاج سوى لطاقة ضئيلة الحجم. ومثلما كان القرن العشرين يمثل عصر الكهرباء، فإن المستقبل قد يحمل لنا الموصلات فائقة القدرة في درجة حرارة الغرفة التي ستقدم لنا عصر المغناطيسية.

في الوقت الحالي يعد صنع المجالات المغناطيسية القوية أمرا باهظ التكلفة لكنه قد يقترب في المستقبل من أن يكون مجانيا. وسوف يتيح هذا لنا الإقلال من الاحتكاك في قطاراتنا وشاحناتنا، مما يحدث ثورة في عالم النقل، ويمنع الفاقد في النقل الكهربائي. وسوف يتيح هذا لنا تحريك الأشياء بمجرد التفكير. ومع المغناطيس الفائق دقيق الحجم الذي يوضع داخل مختلف الأشياء، سوف نكون قادرين على تحريكها من حولنا بمجرد أن نريد ذلك.

وفي المستقبل القريب، سوف نفترض أن كل شيء به رقاقة دقيقة

بداخله، ليحولـه إلى شيء ذكي. وفي المستقبـل البعيد، سوف نفترض أن بداخل كل شيء موصلاً فائقا دقيقا يمكنه توليد شحنات متفجرة من الطاقة المغناطيسية، كافية لتحريكه في أرجاء غرفة. ومن الطبيعي أن هذا الموصل الفائـق لن يكون به تيار كهربي. لكن عنـد إضافة تيار كهربي ضئيل إليه، يمكنـه صنع مجال مغناطيسي قوي، قادر على نقلـه لمكان آخر من الغرفة. وعـن طريق التفكـير، لا بد أننا سنكـون قادرين على تنشيـط المغناطيس الفائق المزروع داخل جسم ما ومن ثم تحريكه من مكانه.

ففي فيلم الرجال – إكس X – Men، على سبيل المثال، يقود (ماجنيتو) Magneto (المغناطيـس)، المتحولين الأشرار، الذيـن يمكنهم تحريك أشياء هائلـة الحجم عن طريـق التلاعب بخواصهـا المغناطيسية. وفي واحد من المشاهد، وصل بـه الأمر إلى تحريك جسر البوابـة الذهبية مستخدما قوته الذهنية. لكن هناك حدود تقيد هذه القدرات. فمثلاً، من الصعب تحريك شـيء مثل البلاستك أو الورق ليست له أية خواص مغناطيسية. (في نهاية أول أجزاء فيلم الرجال إكس، يتم حبس (ماجنيتو) في سجن مصنوع كله من البلاستك).

وفي المستقبـل، قد تكون الموصلات الفائقة في درجة حرارة الجو مختبئة داخـل الأشيـاء العادية، حتى التـي لا تتمتع بخواصـ مغناطيسية. فإذا تم توصيل التيـار داخل الشيء، يصبح مغناطيسيا ومن ثم يصبح في الإمكان تحريكه بواسطة مجال مغناطيسي خارجي نتحكم فيه بأذهاننا.

سـوف نملـك أيضا القدرة علـى التحكـم في الروبوتـات والقرائن أو المجسـدات (الأفاتـارات) عن طريق التفكـير. ومعنى هـذا، أنه كما في

فيلمي Surrogates و Avatar، ربما نكون قادرين على التحكم في حركات بدائلنا، بل وحتى الشعور بالألم والضغط. وقد تثبت جدوى ذلك إذا احتجنا لجسد سوبرمان لإجراء إصلاحات في الفضاء الخارجي أو لإنقاذ الناس في حالات الطوارئ. ولعله يوما ما قد نجد رواد الفضاء جالسين في أمان على كوكب الأرض يتحكمون في أجسام آلية لسوبرمان أثناء حركتها فوق سطح القمر. وسوف نناقش هذا الأمر بمزيد من التفاصيل في الفصل التالي.

وينبغي علينا الإشارة كذلك إلى أن امتلاك هذه القدرة للتحريك عن بعد لا يخلو من مخاطر. فكما ذكرت من قبل، في فيلم (الكوكب المحرم)، تصل حضارة قديمة سبقتنا ملايين السنين إلى حلمها النهائي، وهو القدرة على التحكم في أي شيء بقدرة أذهانها. ومن الأمثلة البسيطة على تقنيتهم، أنهم صنعوا ماكينة يمكنها تحويل أفكارك إلى صورة ثلاثية الأبعاد. فأنت تضع الجهاز داخل رأسك، وتتخيل شيئا ما، فتتجسد صورة ثلاثية الأبعاد داخل الآلة. وبرغم أن هذا الجهاز بدا متقدما إلى حد يستحيل على جمهور السينما تصديقه في ذلك الزمن في خمسينيات القرن العشرين، فإن هذا الجهاز سوف يكون متاحا خلال العقود المقبلة. كذلك في الفيلم نفسه، كان هناك جهاز يستغل الطاقة الذهنية في رفع شيء ثقيل. لكننا كما نعلم، لن نضطر للانتظار لملايين السنين حتى نصل إلى هذه التقنية؛ فهي موجودة بالفعل، في شكل لعبة أطفال. فأنت تضع أقطاب رسام المخ الكهربي فوق رأسك، فتكتشف اللعبة النبضات الكهربية لمخك، ثم ترفع جسما صغيرا، مثلما يحدث في الفيلم. وفي المستقبل، سوف

تلعــب العديد من الألعاب بمجرد التفكير فقط. وسوف يتم توصيل الفرق الرياضيــة ذهنيا بحيث يمكنها تحريك كرة عن طريق التفكير فيها، والفريق الأفضل في تحريك الكرة يصبح هو الفائز.

ويأتــي لنا الجزء الأخــير أو عقدة فيلم (الكوكب المحــرم) بوقفة. فعلى الرغم من عظمة هذه التقنية، فــإن سكان الكوكب تعرضوا للفناء؛ لأنهم عجــزوا عن ملاحظة وجود عيــب في خططهــم. إن ماكيناتهم الجبارة لم تخترق فقط أفكارهم أثناء الوعي وإنما وصلت كذلك إلى رغباتهم الدفينة الكامنــة في اللاوعي. وعادت إلى الحياة من جديد أفكارهم الهمجية التي طالمــا كبتوها في نفوسهم آتية من ماضيهم التطوري العتيق المليء بالعنف، فجســدت الآلات كل كابوس زارهم في اللاوعي وحولته إلى واقع. وفي ليلة بلوغ أعظم إبداعاتهم، تعرضت تلك الحضارة العظيمة للدمار على يد التقنية ذاتها التي كانوا يأملون أن تحررهم من المحسوبية.

إلا أن الأمــر ما زال بالنسبة لنا خطرا بعيــدا. فجهاز بهذه الضخامة لن يكون متاحــا لدينا قبل بلوغ القرن الثاني والعشريــن. لكننا على أي حال نواجــه قلقا أكثر قربا من ذلك. بحلــول عام 2100، سوف نعيش أيضا في عــالم يسكنه بشر آليون يتمتعون بخصائــص شبه آدمية. فماذا سيحدث إذا صاروا أذكى منا؟

الفصل الثاني

مستقبل الذكاء الاصطناعي[1] ثورة الآلات

«هل سترث أجهزة الروبوت (الإنسان الآلي) الأرض؟ نعم، لكنها ستكون بمثابة أبنائنا»

- مارفن مينسكي[2] Marvin Minsky

استطاعت آلهة الميثولوجيا من خلال قدرتها الإلهية بعث الحياة في الجماد. وبحسب ما جاء في الإنجيل، في (الإصحاح الثاني) من (سفر التكوين): (وجبل الرب الإله آدم ترابا، ونفخ في أنفه نسمة حياة، فصار آدم نفسا حيا). ووفقا لما ذكرته الميثولوجيا اليونانية والإغريقية، امتلكت الإلهة (فينوس) القدرة على بعث الحياة في التماثيل. وبعد أن أخذتها الشفقة بالفنان (بجماليون) الذي وقع في حب ميؤوس مع تمثاله حققت له أغلى أمانيه وحولت التمثال إلى امرأة جميلة تدعى (جالاتيا). حتى إن الإله (فولكان) – حداد الآلهة – استطاع أن يخلق جيشا من العبيد الآليين المصنوعين من المعدن ثم بث فيهم الحياة.

(1) الذكاء الاصطناعي Artificial Intelligence: سلوك وخاصيات معينة تتسم بها البرامج الحاسوبية مما يجعلها تحاكي القدرات الذهنية البشرية وأنماط عملها. من أهم هذه الخاصيات القدرة على التعلم والاستنتاج ورد الفعل على أوضاع لم تبرمج في الآلة. إلا أن هذا المصطلح إشكالي نظرًا لعدم توفر تعريف محدد للذكاء. الذكاء الاصطناعي فرع من علم الحاسوب. كما تعرف الكثير من الكتب الذكاء الاصطناعي على أنه (دراسة وتصميم العملاء الأذكياء)، والعميل الذكي هو نظام يستوعب بيئته ويتخذ المواقف التي تزيد من فرصته في النجاح في تحقيق مهمته أو مهمة فريقه. جون ماكارثي، الذي صاغ هذا المصطلح في عام 1956، عرفه بأنه (علم وهندسة صنع آلات ذكية). (المترجم)

(2) مارفن لي مينسكي Marvin Lee Minsky: ولد في 9 أغسطس 1927، وهو عالم أمريكي مختص بالعلوم الإدراكية والمعرفية في مجال الذكاء الاصطناعي، وهو مؤسس مشارك لمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا ومختبر الذكاء الاصطناعي، كما ألف عدة نصوص في مجال الذكاء الاصطناعي والفلسفة. (المترجم)

والآن، نحن نحذو حذو (فولكان) فنصنع في معاملنا آلات تنفخ الروح لا في الصلصال، وإنما في الفولاذ والسليكون. والسؤال هو: هل سيؤدي ذلك إلى تحرير الجنس البشري أم إلى استعباده؟ بقراءة العناوين التي تطالعنا اليوم، تبدو المسألة محسومة: فما صنعه الجنس البشري بيديه يكاد اليوم يفوقه سريعا.

هل هذه هي نهاية البشرية؟

وجملة القول ما جاء في أحد عناوين صحيفة نيويورك تايمز من أن (العلماء يخشون أن الآلات قد تفوق الإنسان ذكاءً). التقى قادة العالم في مجال الذكاء الاصطناعي AI في مؤتمر (أسيلومار) Asilomar بكاليفورنيا عام 2009 ليناقشوا بجدية ما سيحدث عندما تتولى الآلات في النهاية ذمام الأمور. وكما يحدث في مشهد من مشاهد أفلام هوليود، طرح المندوبون أسئلة سابرة مثل، ماذا سيحدث إذا أصبح الإنسان الآلي أذكى من زوجك؟

وكدليل دامغ على ثورة الآلات هذه، أشار البعض إلى الطائرة دون طيار (بريديتور) Predator – وهي طائرة آلية عنيفة تستهدف حاليا الإرهابيين في أفغانستان وباكستان بدقة متناهية – والسيارات ذاتية القيادة و(أسيمو) ASIMO الإنسان الآلي الأكثر تقدما في العالم؛ فهو يستطيع السير والركض وصعود الدرج والرقص، حتى إنه يستطيع تقديم القهوة.

ومشيرا إلى الإثارة الجياشة التي سادت المؤتمر، قال (إريك هورفيتز) Eric Horvitz الذي جاء ممثلاً عن شركة مايكروسوفت وأحد منظمي المؤتمر إن

(خـبراء التكنولوجيا يطرحـون رؤى دينية وتعكـس أفكارهم إلى حد ما أصداء فكرة (الرفع) ذاتها. (ويشير الرفع إلى عروج المؤمنين المخلصين إلى السماء عند (العودة الثانية للمسيح). لقب النقاد الروح التي سادت مؤتمر (أسيلومار) Asilomar (برفع الأذكياء).

وفي ذلـك الصيف، كانـت الأفلام التي سـادت الشاشـة الفضية تبدو وكأنهـا تعظّم من تلك الصورة التي تعكس نهاية العالم. فيلم Terminator Salvation مثلاً، يـروي قصة مجموعة من عوام البشر تخوض معركة ضد عمالقـة آليين استولوا علـى كوكب الأرض. وفي فيلـم :Transformers Revenge of the Fallen، يأتـي آليون مستقبليون من الفضاء ليتخذوا من البشـر رهائن، ومن الأرض ساحة للنزال تدور عليها حروبهم التي تنشب بين النجوم. وفي فيلـم Surrogates، يفضل الناس العيش كآليين يتمتعون بالكمـال والجمال والقدرات التـي تفوق طبيعة البشر علـى أن يواجهوا حقيقة أجسادهم التي تبلى بمرور العمر.

إذا حكمنـا علـى الأمر من منظـور عناوين الصحـف وخشبة المسرح، لوجدنا أن البشر على وشك التقاط أنفاسهم الأخيرة. يتساءل علماء الذكاء الاصطناعـي في أسف: هل سنضطر يوما إلى الرقص خلف القضبان بينما تلقينـا أجهزة الروبـوت التي صنعناها بالفول السـوداني، كما نفعل نحن بالدببـة في حديقة الحيوان؟ أم سنصبح كالكلاب المطيعة في أيدي الآلات التي صنعناها؟

لكـن إذا تفحصنا الأمر، لرأينا مـا تعجز أعيننا عن رؤيته. لا شك في أنه قـد حدثت طفرات هائلة خلال العقد الأخير، لكن علينا وضع الأمور في

نصابها الصحيح بإجراء مقارنة.

طائرة (بريديتور) التي تطير دون طيار ويبلغ طولها 27 قدما والتي تطلق على الإرهابيين قذائف فتاكة من السماء، يتحكم فيها إنسان باستخدام عصا للتحكم. ذلك الإنسان هو في الغالب جندي شاب متمرس في ألعاب الفيديو يجلس مستريحا خلف شاشة الحاسب الآلي ويختار الأهداف. فهذا الإنسان – وليس الطائرة (بريديتور) – هو الذي يوجه الضربات. والسيارات ذاتية القيادة لا تتخذ قرارات مستقلة عندما تُجري مسحا للأفق وتدير عجلة القيادة؛ لكنها تتبع خريطة GPS (نظام تحديد المواقع العالمي) مخزنة في ذاكرتها. ومن هذا نستنتج أن كابوس الروبوت الواعي الذي يتمتع بكامل الاستقلالية والقدرة على القتل ما زال قابعا في المستقبل البعيد.

وما لا ينبغي أن يثير دهشتنا هو أنه رغم الترويج الإعلامي لأكثر التنبؤات إثارة في مؤتمر (أسيلومار)، كان أغلب العلماء الذين يجرون الأبحاث بصفة دورية في مجال الذكاء الاصطناعي أكثر تحفظا وحيطةً. فعندما سئل العلماء متى ستصبح الآلات في نفس ذكائنا، جاءوا بمجموعة مدهشة من الإجابات المختلفة التي تراوحت بين 20 و1000 عام.

لذا، وجب علينا أن نميز بين نوعين من أجهزة الروبوت. النوع الأول هو ذلك الذي يتحكم فيه الإنسان عن بُعد أو الذي تتم برمجته ووضع نص مسبق له كمسجل الشرائط ليتبع تعليمات دقيقة. هذا الروبوت موجود بالفعل ويعتبر موضوعا لعناوين الصحف. وهم يدخلون بيوتنا على مكث وكذلك ساحة النزال. لكنهم بدون إنسان يتخذ القرارات

يصبحـون خردة عديمة الفائدة. لذلك، يحب عـدم الخلط بين هذا النوع مـن أجهزة الروبوت والنوع الثاني من أجهزة الروبوت، ذلك النوع ذاتي الاستقلال بحق والـذي يستطيع التفكير بنفسه ولا يتطلب إدخالاً بشريا. أجهزة الروبوت ذاتية الاستقـلال هذه هي التي ظلت تراوغ العلماء على مدى نصف القرن الماضي.

الروبوت (أسيمو)

كثيرا ما يشـير الباحثون في مجال الذكاء الاصطناعي إلى الروبوت الذي أنتجته شركـة هوندا Honda باسم (أسيمو) (وترمز هـذه اللفظة الأوائلية ASIMO إلى عبـارة (خطوة متقدمة في الحركة الابتكارية) على أنه تجسيد دقيق للإنجازات التي تحققت في علم الروبوت. ويبلغ طول هذا الروبوت أربع أقدام وثـلاث بوصات، ويزن 119 رطلاً، ويبدو كولدٍ صغيرٍ يرتدي خوذة مزودة بقناع وحقيبة ظهر. ويعد (أسيمو) في الواقع جهازا متميزا: فهو يستطيع المشي على نحو طبيعي والركض وصعود الدرج والتحدث. كما يستطيع التجول بين الحجرات ورفع الأكواب والصواني، والاستجابة إلى الأوامر البسيطة، حتى إنه يستطيع التعرف على بعض الوجوه. ويتميز كذلـك بثراء مفرداتـه اللغوية وقدرته علـى التحدث بلغـات مختلفة. يُعد (أسيمو) ثمرة عشرين عاما من العمل المكثف الذي قام به عشرات العلماء في شركة هوندا والذي أثمر عن معجزة الهندسة.

لقد سنحـت لي الفرصة في مناسبتين منفصلتـين أن أتعامل شخصيا مع (أسيمـو) في المؤتمـرات أثناء تقـديم حلقات علمية خاصـة على قناتي بي

بـي سي وديسكفري. عندمـا صافحت يده، أبـدى استجابة بشرية تامة. وعندما لوَّحت له، لوَّح لي هو أيضا. وعندما طلبت منه أن يحضر لي بعض العصـير، استدار وسار نحو طاولة المشروبـات بحركات بشرية مخيفة. في الواقع، يشبه (أسيمـو) الأحياء إلى حد كبير، حتى إنه عندما كان يتحدث كنـت أتوقع جزئيا أن يخلع الروبوت خوذتـه ويكشف عن الصبي الذي كان مختبئا بذكاء داخله. إنه يستطيع الرقص أفضل مني.

للوهلـة الأولى، يبدو أن (أسيمو) يتمتع بالذكاء والقدرة على الاستجابة للأوامـر البشرية وإدارة حوار والتجول عبر الغرفة. أما الواقع، فهو مختلف جـدا. عندما كنت أتعامـل مع (أسيمـو) أمام كاميرا التلفـاز، كانت كل الحركات وكل التعبيرات مخططا لها بدقة. في الواقع، لتصوير مشهد مدته خمس دقائـق مع (أسيمـو)، استغرق الأمر نحو ثـلاث ساعات. وحتى ذلـك تطلب مساعـدة فريق من المتخصصـين في معالجـة (أسيمو) كانوا يضطـرون علـى مضضٍ إلى إعادة برمجـة الروبوت علـى أجهزة الحاسب الآلي المحمولـة الخاصة بهم بعـد تصوير كل مشهد. ورغـم أن (أسيمو) يستطيـع أن يتحـدث إليك بلغات مختلفة، فإن الفضـل في ذلك يرجع إلى مسجـل شرائط يقوم بتشغيل رسائل مسجلة. فالروبوت ببساطة ينطق بلا وعـي كلاما قام إنسان ببرمجته. ورغم أن (أسيمـو) يزداد تعقيدا كل عام، فهـو يعجز عن التفكير المستقل. فـكل كلمة وكل إيماءة وكل خطوة يتولى معالجو (أسيمو) تدريبه عليها.

وبعـد ذلك، دخلت في حوار صريـح مع أحد مخترعـي (أسيمو)، وقد اعـترف أن (أسيمو) رغم تحركاته وتصرفاتـه التي تبدو بشرية إلى حد كبير

لا يتعـدى ذكاؤه ذكاء حشـرة؛ حيث يجب برمجة أغلـب تحركاته مسبقا. يستطيع الروبوت السير مثـل الأحياء تماما، لكن يجب برمجة المسار الذي يتخـذه وإلا تعثر بالأثاث نظرا لعجزه عن التعـرف على الأشياء الموجودة في الغرفة.

حتى الصرصور إذا مـا قارناه بالروبوت يستطيع التعرف على الأجسام وتفـادي العقبات والبحث عن الطعام والرفقـاء والهروب من الحيوانات المفترسـة والتخطيـط لمسـارات معقدة للهـروب والاختباء بـين الظلال والاختفاء في الشقوق، كل ذلك في غضون ثوانٍ معدودة.

اعترف توماس دين Thomas Dean الباحث في مجال الذكاء الاصطناعي والأستاذ بجامعة بـروان Brown University أن أجهزة الروبوت الخرقاء التـي يصنعها (لم تتعد مرحلة امتلاك القـوة الكافية لتسير عبر الردهة دون أن تـترك حفرا كبيرة في الجص). وكما سيتضح لنا فيما بعد، أقوي أجهزة الحاسب الآلي حاليا تستطيع بالكاد تحفيز الخلايا العصبية لفأر، وإن حدث ذلك، فإنه يستمر لبضع ثوانٍ فقط. سيتطلب الأمر عقودا عديدة من العمل الشـاق حتى تصـل أجهزة الروبوت لذكاء الفـأر أو الأرنب أو الكلب أو القطة، ثم القرد.

تاريخ الذكاء الاصطناعي

يشـير النقاد في بعض الأحيان إلى وجود نمط يقتضي أنه كل ثلاثين عاما يدعـي ممارسو الذكاء الاصطناعي أنهم علـى وشك إنتاج أجهزة روبوت فائقة الذكاء. وبعد ذلك، يتضح من واقع الأمر أن ما يحدث هو انتكاسة.

في خمسينيات القرن العشرين، عندما تم تقديم الحواسب الإلكترونية للمرة الأولى بعد الحرب العالمية الثانية، أدهش العلماء الجمهور بفكرة الآلات التي تستطيع عمل المعجزات: مثل رفع القوالب ولعب الداما وحتى حل مسائل الجبر. كان يبدو أن اختراع الآلات الذكية بحق بات وشيكا. كان الجمهور منبهرا، وسرعان ما ظهرت مقالات في المجلات تتنبأ في إثارة بالوقت الذي سيكون هناك روبوت في كل مطبخ ليطهو العشاء أو ينظف المنزل. وفي عام 1965، أعلن رائد الذكاء الاصطناعي (هيربرت سايمن)[1] Herbert Simon أن الآلات ستكون قادرة على الاضطلاع بأي عمل يستطيع البشر أداءه). لكن الواقع فرض نفسه. فلم تستطع أجهزة لعب الشطرنج الفوز على خبير بشري، لكنها استطاعت فقط لعب الشطرنج، لا أكثر من ذلك. كانت أجهزة الروبوت الأولى تلك بمثابة فرس السيرك الذي يؤدي خدعة واحدة؛ حيث كانت تؤدي مهمة بسيطة واحدة.

وفي خمسينيات القرن العشرين، حدثت في الواقع طفرات حقيقية في الذكاء الاصطناعي، لكن نظرا للمبالغة في الحديث عن هذا التقدم والضجة الدعائية التي ثارت بشأنه، حدثت انتكاسة. وفي ظل النقد المتزايد الذي ردده الجميع عام 1974، خفضت حكومتا الولايات المتحدة

(1) ألكسندر هربرت سيمون Alexander Herbert Simon : (15يونيو، 1916 – 9 فبراير، 2001)، هو اقتصادي أمريكي وعالم سياسة وعالم نفسي وأستاذ سابق شهير في جامعة كارنيجي ميلون، وكانت أبحاثه حول علم النفس المعرفي، علوم الحاسوب، الإدارة العامة، الاقتصاد، الإدارة، فلسفة العلوم، علم الاجتماع، والعلوم السياسية. وله حوالي ألف مؤلف، وهو واحد من أكثر علماء الاجتماع تأثيرًا في القرن العشرين. (المترجم)

وبريطانيا تمويلهما، ليأفل لأول مرة نجم الذكاء الاصطناعي.

اليـوم، يعرب (بول آبراهام) Paul Abrahams، الباحث في مجال الذكاء الاصطناعي، عن أسفه عندما يذكر تلك الأوقات المتهورة من خمسينيات القـرن العشرين عندمـا كان خريجا في معهـد MIT وكان كل شيء يبدو ممكنـا. واسترجـع تلك الذكريات قائـلاً: (كان الأمر أشبـه بمجموعة من الناس اقترحوا بناء برج فـوق سطح القمر. وكل عـام يشيرون بفخر إلى مـدى ارتفاع البرج عن العام السابق. لكن المشكلة الوحيدة هي أن القمر لم يكن يقترب أكثر).

وفي ثمانينيات القرن العشريـن، بلغ الحماس للذكاء الاصطناعي ذروته مـرة أخـرى. وهذه المـرة، ضـخ البنتاجون ملايـين الـدولارات لصالح مشروعـات مثل الشاحنة الذكية التـي كان من المفترض أن تتخطى حدود العدو وتـؤدي عمليات الاستكشاف وإنقاذ قـوات الولايات المتحدة ثم تعود إلى المقر، وكان من المفترض أن تفعل كل ذلك تلقائيا. حتى الحكومة اليابانية وضعت كامل تمويلها تحت تصرف (مشروع أنظمة الجيل الخامس مـن الحواسب الآليـة)، ذلك المشروع الطموح الـذي كانت ترعاه وزارة قويـة؛ وهـي وزارة التجـارة الدولية والصناعـة في اليابـان. وكان يرمي مشـروع الجيل الخامس إلى عدة أهداف مـن بينها تطوير نظام حاسب آلي يستطيع التحدث بلغة الحوار ويتميز بقدرة كاملة على التفكير ويشارك في أي شيء نريده، وكل ذلك بحلول تسعينيات القرن العشرين.

لكن لسوء الحظ كان الشيء الوحيد الذي فعلته الشاحنة الذكية هو أنها ضلت طريقها ولم تعد. أما مشروع الجيل الخامس، فبعد كثير من الدعاية،

تم إلغـاء المشروع دون إبـداء أسباب. مرة أخرى سبـق الخيال الواقع. لقد تحققـت بالفعل مكاسب كبـيرة في الذكاء الاصطناعي خـلال ثمانينيات القـرن العشرين، لكن نظـرا للمبالغة في الحديث عن التقـدم مرة أخرى، حدثـت انتكاسـة ثانية ليشهد نجم الـذكاء الاصطناعي الأفـول الثاني له؛ حيـث نضب التمويل وتحرر الناس من أوهامهم ليرحلوا في جماعات عن مجال الذكاء الاصطناعي. اتّضح مع الأسف أن شيئا ما كان مفقودا.

في عام 1992، اختلطت مشاعر باحثي الذكاء الاصطناعي حينما أقاموا احتفالاً خاصا على شرف فيلم (2011)، الذي تروي أحداثه قصة حاسب آلي يدعى (هال 9000) Hal 9000 تنتابه نوبة من القتل ويذبح طاقم سفينة فضـاء. تنبأ هذا الفيلم الـذي تم تصويره عام 1968 بأنه بحلول عام 1992، ستكـون هناك أجهزة روبوت تستطيع التحدث بحرية إلى البشر حول أي موضـوع تقريبا،كمـا تستطيع قيادة سفينة فضاء. واتضـح مع الأسف أن أكثر أجهزة الروبوت تقدما بالكاد تستطيع بلوغ ذكاء الحشرات.

في عام 1997، حقق Deep Blue الذي أنتجته شركة IBM طفرة تاريخية عندما هزم بطل العالم في الشطرنج (جاري كاسباروف) Gary Kasparov هزيمة ساحقة. كان Deep Blue معجزة هندسية، حيث كان يستطيع إجراء 11 مليار عملية حسابية في الثانية الواحدة. غير أنه بدلاً من أن يفتح الطريق أمـام البحث في مجال الذكاء الاصطناعي وأن يقود بداية عصر جديد، فعل المقابـل بدقة. لقـد أوضح فقط بدائية أبحاث الـذكاء الاصطناعي؛ حيث اتضـح للكثيرين بعد التحقق من الأمر عجز Deep Blue عن التفكير. لقد كان فائقـا في الشطـرنج لكنه كان ليحرز صفرا في اختبـار لمعدل الذكاء.

لقد تحول نصره إلى هزيمة، وتولى كاسباروف كل الأحاديث الصحفية، نظرا لأن Deep Blue لم يستطع التحدث على الإطلاق. بدأ باحثو الذكاء الاصطناعي يقدرن على مضض حقيقة أن القدرة الحسابية العجماء لا تعادل الذكاء. يقول باحث الذكاء الاصطناعي (ريتشارد هيكلر) Richard Heckler: (يمكنك اليوم شراء برامج شطرنج تستطيع هزيمة الجميع باستثناء أبطال العالم مقابل 49 دولارا، لكن لا يعتقد أحد أن هذه البرامج ذكية).

لكن في ظل قانون (مور) الذي ينتج بغزارة أجيالاً جديدة من الحواسب الآلية كل ثمانية عشر شهرا، يصبح نسيان التشاؤم المعهود عند الجيل الماضي مسألة وقت، وسيتولى زمام الأمور جيل جديد من المتحمسين الأذكياء، ليبثوا حماسا متجددا وحيوية في مجال ظل لفترة في سبات عميق. وبعد مرور ثلاثين عاما على آخر استمرار لموجة الركود التي اجتاحت الذكاء الاصطناعي، تقدمت الحواسب الآلية بدرجة كافية لتسمح للجيل الجديد من باحثي الذكاء الاصطناعي مرة أخرى بتنبؤات تحمل آمالاً للمستقبل. ويقول مؤيدو الذكاء الاصطناعي إن وقته قد حان أخيرا. وهذه المرة، الأمر حقيقي. فالمرة الثالثة لها مفعول السحر. لكن إن حق قولهم، فهل سرعان ما يصبح البشر عديمي الفائدة؟

هل المخ حاسب رقمي؟

هناك مشكلة أساسية يدركها علماء الرياضيات الآن، وهي أنهم اقترفوا خطأً فادحا منذ خمسين عاما عندما ظنوا أن المخ يماثل حاسبا رقميا ضخما، فيما يتضح الآن أن هذا غير صحيح. فلا يوجد داخل المخ رقاقة

Pentium أو نظـام تشغيل Windows أو برامج تطبيقات أو وحدة معالجة مركزيـة أو برمجة أو تلك الأنظمة الفرعية التـي تميز الحاسب الآلي الرقمي المعاصـر. فبنيـة أجهزة الحاسـب الآلي الرقمية تختلـف في الواقع عن بنية المـخ – الـذي يعد جهـازا للتعلّم من نوع ما – وهـو مجموعة من الخلايا العصبيـة التي تعـاود الاتصال ببعضها باستمـرار في كل مرة تتعلم مهمة. (أمـا الحاسب الآلي الشخصـي، فإنه لا يتعلم على الإطـلاق. هذا الجهاز اليوم مجرد مستودع للتخزين كما كان بالأمس).

ومن ثم، توجد طريقتـان لعمل نموذج للمخ. أولاهما – وهي الطريقة التقليديـة من أعلى إلى أدنى – هـي التعامل مع أجهزة الروبوت على أنها أجهـزة حاسب رقمية، وبرمجة كل أدوار الذكاء من البداية. ويمكن تقسيم الحاسب الآلي الرقمي بدوره إلى ما يطلق عليه آلة Turing، وهي عبارة عن جهاز افتراضي قدمه عالم الرياضيات البريطاني القدير آلان تورينج[1] Alan Turing. تتكـون آلـة Turing من ثلاثـة مكونات رئيسـة: وحدة إدخال ومعالـج مركزي يعالج البيانـات وحدة إخراج. وتقـوم أجهزة الحاسب الآلي الرقميـة كافتها على هذا النموذج البسيط. وتهدف هذه الطريقة إلى الحصول على CD – ROM (ذاكرة قراءة فقط للأقراص المضغوطة) مشفَّر عليهـا كل أدوار الذكاء. وبإدخال هذا القرص، يهب الحاسب الآلي فجأة

(1) آلان تورينـج Alan Turing: (1912–1954م)، يوصـف بأنـه أعظـم عـالم بريطاني في القـرن العشرين، حيث برع بشـكل ملفت للنظر في العلوم والرياضيات والمنطـق وتخصص في كتابة الشفرات وكسرها. ويمكن وصف (تورينج) أيضاً بأنـه المؤسس لعلوم الحاسـب الآلي الحديثة، فقدم جهازًا أطلق عليه اسم آلة تورينج وفيـه وضع النواة الأولى لمفهوم الحوسبة واستخـدام الخوارزميـات، كما ساهم بقدر كبير في العمل على تطوير مفهوم الـذكاء الاصطناعي ورسم صورة للتطبيقات التي يمكن استخدامه فيها. (المترجم)

إلى الحياة ويصبح ذكيا. أي أن هذه الـ CD – Rom الأسطورية تحتوي على كل البرامج اللازمة لصنع آلات ذكية.

وبالرغم من ذلك، لا يحتوي المخ على أي برمجة أو برامج على الإطلاق، لكنه أشبه (بشبكة عصبية)، أو مزيج معقد من الخلايا العصبية التي تعاود الاتصال ببعضها باستمرار.

تتبع الشبكات العصبية قانون (هيب): في كل مرة يُتخذ قرار صحيح، تتعزز قوة تلك المسارات العصبية. وهي ببساطة تفعل ذلك عن طريق تغيير قوة توصيلات كهربية معينة بين الخلايا العصبية في كل مرة تنجح في إنجاز مهمة. (يمكن التعبير عن قاعدة هيب باستخدام السؤال المعهود: كيف يستطيع العازف الوصول إلى مبنى (كارنيجي) Carnegie Hall؟ الإجابة: الممارسة ثم الممارسة ثم الممارسة. بالنسبة للشبكة العصبية، تثمر الممارسة عن نتائج رائعة. كما تفسر قاعدة (هيب) Hebb صعوبة التوقف عن العادات السيئة، حيث يكون المسار العصبي للعادة السيئة مترسخا جيدا).

تعتمد الشبكات العصبية على طريقة بحث علمية من أدنى لأعلى (من المستوى الأبسط إلى الأعقد). فبدلاً من أن تتلقى كل قواعد الذكاء دون مجهود، فإنها تتعلمها كما يتعلمها الطفل الرضيع عن طريق الاصطدام بالأشياء والتعلم بالتجربة. وبدلاً من أن تخضع الشبكات العصبية للبرمجة، فإنها تتعلم بالطريقة التقليدية من خلال (مدرسة الاصطدامات القاسية).

تختلف بنية الشبكات العصبية تماما عن بنية الأجهزة الرقمية. إذا قمت بإزالة ترانزستور واحد من المعالج المركزي للحاسب الرقمي، فإن الجهاز

سـوف ينهار. في حين أنك لو اقتطعت كتلة كبيرة من المخ، فإنه سيحتفظ بقدرتـه على العمـل وستتولى الأجزاء الأخرى الاضطـلاع بمهام الأجزاء المفقودة. إضافةً إلى ذلـك، يمكن تحديد موقع (التفكير) في الحاسب الآلي الرقمـي بدقة: المعالج المركزي. أما في العقـل البشري، فيتضح من خلال عمليـات المسح التي تُجرى عليه أن التفكير ينتشـر على نطاق أجزاء كبيرة منه. وتنير قطاعات مختلفة في تسلسل دقيق وكأن الأفكار يتم تقاذفها مثل كرة البينج بونج.

تستطيع أجهزة الحاسب الآلي الرقميـة إجراء العمليات الحسابية بسرعة الضـوء تقريبـا. أما العقل البشري فهو على العكـس من ذلك بطيء جدا. تنتقل النبضـات العصبية ببطء لا يحتمل حيث تبلغ سرعتها نحو 200 ميل في الساعة. لكن المخ يعوض عن ذلك بل ويفوقه من خلال التوازي الهائل الذي يتسم به؛ حيث يحتوي على 100 مليار خلية عصبية تعمل في الوقت نفسه، وتؤدي كل خلية جزءا من عملية حسابية صغيرة، وتتصل كل خلية بمئة ألف خلية عصبية أخـرى. إذا أجرينا منافسة بين معالجين، فإن المعالج المتـوازي شديد البطء يفوق المعالج الفـردي فائق السرعة بمراحل. (يرجع السبب في هـذا إلى اللغز القديم: إذا استطاعت قطـة واحدة أن تأكل فأرا واحـدا خلال دقيقـة واحدة، فكم من الوقت تستغرقـه مليون قطة لتأكل مليون فأر؟ الإجابة هي: دقيقة واحدة).

بالإضافـة إلى هذا، المخ ليس رقميا. أجهـزة الترانزستور هي عبارة عن بوابـات يمكن إمـا فتحها وإما إغلاقهـا، ويمكن تمثيلهـا بالعددين ١ أو ٠. الخلايـا العصبية رقمية هي الأخرى (حيث تستطيـع إصدار الإشارات أو

عـدم إصدارها)، لكنها أيضا يمكن أن تصبح قياسية؛ بحيث تبث إشارات متواصلة بالإضافة إلى الإشارات المتقطعة.

أجهزة الروبوت تعاني مشكلتين

بالنظـر إلى جوانب القصـور الواضح الذي تعاني منـه أجهزة الحاسب الآلي إذا مـا قارناها بالعقل البشري، يدرك الفرد السبب وراء عجز أجهزة الحاسـب الآلي عن إنجاز مهمتين رئيستين يؤديهما البشر دون أدنى مجهود، وهمـا: التعـرف على الأنمـاط والمعرفـة البديهية. ظل إيجـاد حل لهاتين المشكلتـين يمثل تحديـا على مدى نصف القرن الماضـي. وهذا هو السبب الأساسـي وراء عدم وجود روبوت يؤدي وظائـف الخادمة ومدير المنزل والسكرتيرة.

المشكلـة الأولى هـي إدراك الأنمـاط. تستطيع أجهزة الروبـوت الرؤية أفضـل من البشر، لكنها لا تـدرك ما تراه. عندما يسير الروبوت في غرفة، فإنـه يحول الصورة إلى مجموعة مختلطة مـن النقاط. وبمعالجة هذه النقاط، يستطيع الروبوت التعرف علـى مجموعة من الخطوط والدوائر والمربعات والمستطيـلات. ثم يحاول الروبـوت أن يربط بين هـذا المزيج عنصرا تلو الآخـر مع تخزين كل عنصـر في ذاكرته؛ وتعد هذه مهمـة فائقة ومرهقة حتـى بالنسبـة للحاسب. وبعد ساعات عديدة مـن الحسابات، قد يطابق الروبـوت هذه الخطوط بالمقاعد والطاولات والأشخاص. وعلى العكس مـن ذلك، عندما نسير نحن في غرفة، نتعـرف خلال جزء من الثانية على المقاعد والطاولات والمكاتب والأشخاص. ومن ثم، يتضح أن عقولنا هي

بالفعل أجهزة للتعرف على الأنماط.

ثانيـا، لا تتمتع أجهزة الروبوت بالمعرفة البديهية. فبالرغم من أن قدرتها علـى السمـع أفضل من البشـر، فإنهـا لا تستوعب ما تسمعـه. انظر إلى العبارات التالية على سبيل المثال:

- يحب الأطفال الحلوى لا العقاب
- تستطيع الخيوط أو الأوتار الشد لا الدفع
- تستطيع العصي الدفع لا الشد
- تعجز الحيوانات عن التحدث باللغة الإنجليزية وفهمها
- يؤدي الدوران إلى الشعور بالدوار

تُعد كل هذه العبارات مجرد أمور بديهية بالنسبة لنا، لكنها ليست كذلك بالنسبـة لأجهزة الروبوت. فلا يوجد في الروبوت فاصل منطقي أو برمجة تثبـت أن الخيـوط تستطيـع الشد لا الدفـع. لقد تعرفنا علـى حقيقة هذه العبارات (البديهية) عن طريق التجربة، لا لأنها مبرمجة في ذاكرتنا.

مشكلة الطريقة من أعلى إلى أدنى هي كثرة سطور أكواد المعرفة البديهية اللازمة لتقليد الفكر البشري. فمثلاً، يلزم مئات الملايين من سطور الأكواد لوصف قوانين المعرفـة البديهية التي يعرفها طفل في عمر الست سنوات. يعـبر (هانـز مورافيـك Hans Moravec) – المدير السابـق لمعمل الذكاء الاصطناعي في (كارنيجي ميلون Carnegie Mellon) – عن أسفه قائلاً: (إلى يومنا هذا، لم تبدِ برامج الذكاء الاصطناعي أية بارقة للمعرفة البديهية؛ فمثـلاً قـد يصف برنامـج للتشخيـص الطبي مضـادا حيويـا عند عرض دراجـة مكسورة عليـه، لأنه يفتقر إلى نموذج الأشخاص أو الأمراض أو

الدراجات).

غـير أن بعض العلماء يتشبثون بالاعتقـاد القائل بأن العقبة الوحيدة أمام إجادة المعرفة البديهية هي القوة الغاشمة. فهم يشعرون أن مشروعا جديدا مـن مشاريـع منهاتن – مثل ذلك المشروع الذي ترتـب عليه صنع القنبلة الذرية – سيحطم بلا شـك مشكلة المعرفة البديهية. بدأ البرنامج المكثف لإنشـاء هذه (الموسوعـة الفكرية)، والذي يدعـى CYC عام 1984. كان يُنتظـر من هذا البرنامـج أن يصبح تتويجا لإنجازات الـذكاء الاصطناعي، وأن يشفّـر كل أسرار المعرفـة البديهية في برنامج واحـد. لكن بعد عقود طويلة من العمل الشاق، أخفق برنامج CYC في تحقيق أهدافه.

كان الهـدف من CYC بسيطا وهو إجـادة (100 مليون معلومة –وهو ما يعـادل تقريبا عدد المعلومـات التي يعرفها الشخص العادي عن العالم – بحلـول عـام 2007). لكن هذه المهلة – وغيرهـا من المهلات السابقة – مضـت سريعـا دون أن تثمر عن أي نجاح. وكانـت كل مرحلة أساسية يخطط لها المهندسون في برنامج CYC تبدأ وتنتهي دون أن يحرز العلماء أي تقدم صوب إجادة جوهر الذكاء.

الإنسان مقابل الآلة

سنحـت لي الفرصة ذات مـرة لأن أخوض منافسة ذكاء مع روبوت من صنـع توماسو بوجيـو Tomaso Poggio، الأستاذ بمعهـد ماساتشوستس للتكنولوجيـا MIT. ورغم أن أجهزة الروبـوت لا تستطيع التعرف على الأنمـاط البسيطة كمـا نفعل نحن، فقـد استطاع (بوجيـو) عمل برنامج

حاسب لديه القدرة علـى حساب كل شيء بنفس سرعة الإنسان في مجال محدد بعينه، وهو (المعرفـة الفورية). يشير هذا المصطلح إلى قدرتنا البشرية العجيبة علـى الإدراك اللحظي للشيء حتى قبـل أن نعي وجوده. (وكان لـلإدراك اللحظي أهمية كبيرة في تطورنـا، حيث كان يملك أسلافنا جزءا من الثانية فقط ليحددوا ما إذا كان هناك نمر متربص بين الشجيرات، حتى قبل أن يعوا وجوده تماما). كانت تلك المرة الأولى التي يحرز فيها روبوت باستمرار درجات أعلى من الإنسان في اختبار محدد على الإدراك المرئي.

كان السبـاق بيني وبين الجهـاز بسيطا جدا. في البدايـة، جلست على مقعـد وأمعنت النظـر في شاشة حاسب آلي عاديـة. وبعد ذلك، أومضت صـورة على الشاشة لجزء مـن الثانية، وكان من المفترض أن أضغط على أحـد زرين بأقصى سرعة ممكنة، لأعلن ما إذا كنت رأيت صورة حيوان أم لا. كان علـي اتخاذ القرار في أسـرع وقت ممكن، قبل أن تتاح لي الفرصة لأستوعـب الصورة تماما. وكان من المفترض أن يقرر الحاسب الآلي بشأن الصورة نفسها.

وحسبـي حرجا أنـه بعد وابل من الاختبارات، تمكنـت أنا والجهاز من التعـادل تقريبا. لكن في بعض المـرات كان الجهاز يحرز نتائج أفضل مني على نحو ملحوظ، ليمنيني بهزيمة ساحقة. لقد هزمتني آلة. (وكان عزائي ما سمعته عن أن الحاسب يجيب بإجابات صحيحة بنسبة 82 في المئة، أما البشر، فيحققون في المتوسط نسبة 80 %).

السر في جهـاز (بوجيو) هو أنه يقلد الدروس من (الطبيعة الأم). يدرك العلمـائ صحـة العبارة القائلـة: (طالما تم اختراع العجلـة بالفعل، فلمَ لا

نقلدهـا؟). على سبيل المثال، عندما ينظر الروبـوت عادةً إلى صورة، فإنه يحـاول تقسيمها إلى سلسلة من الخطـوط والدوائر والمربعات وغيرها من الأشكال الهندسية. لكن البرنامج الذي طوره (بوجيو) مختلف.

عندما ننظر إلى صورة، قد نرى أولاً مخططا خارجيا للأجسام المختلفة، ثـم نرى السمات المتنوعـة داخل كل جسم، ثم نلاحـظ التدرج في هذه السمـات، إلـخ. أي أننـا نقسـم الصورة إلى عـدة طبقات. مـا أن يعالج الحاسـب الآلي إحـدى طبقات الصـورة، حتى يدمجها مـع الطبقة التالية، ويستمـر العمل على هذا المنـوال. وبهذه الطريقة، يقلد – خطوة بخطوة وطبقة تلو الأخرى – الطريقة التسلسلية التي تتبعها عقولنا لمعالجة الصور. (لا يستطيع برنامج (بوجيو) الاضطلاع بكل أعمال التعرف على الأنماط التـي نسلم بقدرتنـا على فعلها، مثل تصوير الأشيـاء بشكل ثلاثي الأبعاد والتعرف على الأشياء من زوايا مختلفة، إلخ، لكن هذه بالفعل مرحلة تحول في التعرف على الأنماط).

ولاحقا، أُتيحت لي الفرصة لأرى كلتا الطريقتين؛ الطريقة من أعلى إلى أدنى والطريقة من أدنى إلى أعلى قيد التفعيل. ذهبت أولاً إلى مركز الذكاء الاصطناعـي في جامعة ستانفورد، حيث قابلـت STAIR – وترمز هذه الأحـرف الأوائلية إلى (روبوت الذكاء الاصطناعي من جامعة ستانفورد) أو Stanford artificial Intelligence robot – ويتبـع المركـز الطريقة من أعلـى إلى أدنـى. يبلغ طـول STAIR نحو 4 أقدام، ولـه ذراع ميكانيكي ضخـم يستطيـع الدوران حـول محور وجلـب الأشياء من فـوق طاولة. اعتـادت أجهزة الروبوت على جلب الأشياء بهـذه الطريقة منذ ستينيات

القرن العشرين، ونرى مثل هذه الأجهزة في مصانع سيارات ديترويت.

لكن المظاهر خادعة؛ حيث إن STAIR يستطيع فعل أكثر من هذا بكثير. بخلاف أجهزة الروبوت في ديترويت، لم تتم برمجة النصوص في STAIR. لكنه يعمل بنفسه. إذا طلبت منه أن يحضر لك برتقالة مثلاً، فإنه يستطيع تحليل مجموعة من الأجسام على الطاولة، ومقارنتها بآلاف الصور المخزنة بالفعل في ذاكرته، ثم يتعرف على البرتقالة ويلتقطها. كما أنه يستطيع التعرف على الأشياء بدقة أكبر عن طريق الإمساك بها وتفحّصها.

لاختبار قدرة الروبوت، خلطت بين مجموعة من الأشياء على طاولة، ثم راقبت ما حدث بعد أن طلبت إحضار شيء معين. وجدت أن STAIR قد حلل الترتيب الجديد للأشياء ترتيبا صحيحا، ثم توجه نحو الشيء المطلوب وأحضره. الهدف في النهاية هو جعل STAIR يتجول في بيئتي المنزل والعمل ويلتقط الأشياء والأدوات المختلفة ويتعامل معها، وأن يتحدث مع الأشخاص ولو بلغة مبسطة. وبهذه الطريقة، سيتمكن من القيام بأي شيء يفعله الساعي في المكتب. يُعد STAIR مثالاً على الطريقة من أعلى إلى أدنى: فكل شيء مبرمج بداخله من البداية. (رغم قدرة STAIR على التعرف على الأشياء من زوايا مختلفة، فهو مقيد بعدد محدد من الأشياء التي يستطيع التعرف عليها. وسيصاب بحالة من الشلل إذا اضطر للسير خارجا والتعرف على أجسام عشوائية).

ولاحقا، واتتني الفرصة لزيارة جامعة نيويورك، حيث يُجري (يان ليتشان) Yann LeCun تجربةً على تصميم جديد من نوعه، ويُدعى LAGR (اختصارا للعبارة الإنجليزية Learning applied to ground robots) أو

(تطبيق التعليم على أجهـزة الروبوت الأرضية). ويُعد LAGR مثالاً على الطريقة من أدنى لأعلى (التصاعدية): يجب أن يتعلم كل شيء من البداية، عـن طريق مصادفة الأشياء. وهو في حجم سيارة الجولف الصغيرة ومزود بكاميراتـين ستيريو بالألوان تقومان بمسح المنطقة المحيطة، والتعرف على الأجسـام في مسارها. وبعد ذلك، يتحرك الروبـوت بين هذه الأشياء – متجنبـا الاصطـدام بها – ويتعلـم الطريق في كل مرة ينجـح في المرور. والروبـوت مزود بنظام تحديـد المواقع العالمي GPS وبه جهـازا استشعار للأشعـة تحـت الحمـراء يستطيعـان اكتشاف الأجسـام التي يمـر أمامها. كمـا يحتوي على ثلاث رقاقـات Pentium عالية الطاقـة ويتصل بشبكة Earthnet (إيثرنـت) تنقل البيانات بمعـدل 1 جيجابت في الثانية. توجهنا إلى متنزه قريب يستطيع فيه الروبوت LAGR التجول حول عقبات مختلفة تم وضعهـا في طريقه. وفي كل مرة كان يعيد التحـرك في المسار المحدد، كانت قدرته على تجنب العقبات تتحسن.

مـن الاختلافـات المهمـة بـين LAGR وSTAIR أن الأول تم تصميمه خصيصـا ليتعلم. فكل مرة يصادف فيها هذا الروبوت شيئا، يجول حوله ويتعلـم أن يتفـادى هذا الشـيء في المرة التالية. في حـين تم تخزين آلاف الصـور في ذاكرة STAIR، فـإن LAGR تكاد تخلـو ذاكرته من الصور، لكنـه يصنع عوضا عن ذلك خريطـة ذهنية مع كل مرور له. وعلى عكس السيـارة ذاتيـة القيادة – التي تتـم برمجتها وتتبع مسارا محـددا لها مسبقا عـن طريق GPS – فإن LAGR يتحـرك باستقلالية تامة، ودون تلقي أي تعليمات بشرية. ما عليك سوى إخباره بالوجهة التي تريدها، وسيقصدها

مباشـرةً. في نهاية المطاف، قد نجد مثل هـذا الروبوت على كوكب المريخ وعلى أرض المعركة وفي منازلنا.

مـن ناحية، كنت منبهرا بحماس هؤلاء الباحثين وطاقتهم. فهم يؤمنون في أعمـاق قلوبهم أنهم يضعون أساس الـذكاء الاصطناعي، وأن عملهم سيؤثـر في المجتمع ذات يوم بطـرق لا نملـك الآن أن نفهمها تماما. لكن مـن منظور أبعد، كنت أقدر أيضـا أن الطريق أمامهم ما زال طويلاً. حتى الصرصـور يستطيع التعرف علـى الأجسام ويتعلم كيـف يتفاداها. إننا لم نتخـطَّ بعـد مرحلة تفوق أدنى مخلوقـات (الطبيعـة الأم) ذكاءً على أفطن روبوت اخترعناه.

المستقبل القريب (الوقت الحالي حتى 2030)

الأنظمة الخبيرة

يمتلك الكثيرون في أيامنا هذه أجهزة روبوت في منازلهم تستطيع كنس البُسط. كما توجد أجهزة روبوت تعمل كحراس أمن تحرس المباني ليلاً، وكمرشدين، وعمال مصانع. وفي عام 2006، قُدّر عدد أجهزة الروبوت الصناعية بالعدد 950 ألف روبوت وبلغ عدد أجهزة روبوت الخدمة التي تعمل في المنازل والمباني 3450 ألف روبوت. لكن خلال العقود المقبلة، قد يزدهر علم الروبوت ويسلك العديد من الاتجاهات. لكن تلك الأجهزة لن تشبه الروبوت الذي تصوره قصص الخيال العلمي.

وقد يقع التأثير الأكبر على ما يدعى الأنظمة الخبيرة؛ وهي عبارة عن برامج مشفّرة عليها حكمة الجنس البشري وخبراته. كما رأينا في الفصل الأخير، قد نتحدث يوما إلى الإنترنت عبر شاشات الحائط ونتجاذب أطراف الحديث مع الوجه المألوف الذي يتميز به الطبيب الآلي أو المحامي الآلي.

ويطلق على هذا المجال المنهج التجريبي؛ وهو يشير إلى اتباع نظام منهجي قائم على قواعد محددة. عندما نريد التخطيط لعطلة، سنتحدث إلى الوجه الظاهر على شاشة الحائط ونطلعه على خياراتنا المفضلة لقضاء العطلة: المدة الزمنية والوجهة والفنادق ونطاق السعر. سيكون النظام الخبير على علم مسبق بخياراتنا المفضلة من خلال التجارب السابقة، ومن

ثم، سيتصل بالفنـادق وشركات الطيران وغيرها، ثم يمنحنا الخيار الأمثل. لكن بدلاً من التحدث إليه على نحو ودي وثرثار، فسنضطر إلى استخدام لغـة رسمية ونمطية بعضـ الشيء يستطيع البرنامج فهمهـا. ويستطيع مثل هذا النظـام الاضطلاع بأي عدد من الواجبـات المفيدة بسرعة. ما عليك سوى أن تعطيه الأوامر، وسيقوم هو بالحجز في المطعم والبحث عن مواقع المتاجر وطلب البقالة والأطعمة السريعة وحجز تذكرة الطيران، إلخ.

يرجع الفضل إلى التقدم الذي تم إحرازه في المنهج التجريبي في امتلاكنا لبعضـ محركات البحـث البسيطة التي نستخدمها حاليـا. لكنها ما زالت تفتقد إلى البراعة. ويتضح للجميع أننا نتعامل مع آلة وليس مع إنسان. غير أن أجهـزة الروبوت في المستقبل ستصل إلى درجة من التعقيد تجعلها تبدو وكأنها بشرية، حيث ستعمل بانسيابية وبفارق بسيط عن البشر وبكثير من الرقي.

ولعل أكـثر التطبيقات عمليـةً سيكون مجال الرعاية الطبيـة. على سبيل المثـال، إذا شعـرت بالتعب في الوقـت الحاضر، فقط تضطـر إلى الانتظار لساعـات في غرفة الطـوارئ قبل أن يتـم عرضك على الطبيـب. أما في المستقبـل القريب، فقـد تتوجه ببساطـة إلى شاشة الحائـط وتتحدث إلى الطبيـب الآلي. ستتمكـن من تغيـير وجه الطبيب الآلي الـذي تراه وحتى شخصيتـه بمجرد ضغطة زر. سيطرح عليك الوجه الودود الذي تراه على شاشة الحائـط مجموعة من الأسئلة البسيطة: كيف تشعر؟ ما الذي يؤلمك؟ متى بدأ الألم؟ كم مرة يعاودك هذا الشعور بالألم؟

في كل مـرة، ستجيب عن طريـق الاختيار من بين مجموعـة بسيطة من

الإجابـات. وستجيب لا عن طريق الكتابة علـى لوحة المفاتيح، وإنما عن طريق التحدث.

وستمهـد كل إجابـة بدورهـا إلى المجموعـة التالية مـن الأسئلة. وبعد سلسلـة من مثل هذه الأسئلة، سيتمكن الطبيب الآلي من تشخيص حالتك بناءً على أفضـل الخبرات المستمدة من أطباء العـالم. سيحلل الطبيب الآلي كذلـك البيانات التي يتلقاها من حمامك وملابسك وأثاثك، التي تراقب صحتـك باستمرار من خلال رقاقات DNA. وقد يطلب منك أن تفحص جسـدك باستخدام ماسـح MRI (التصوير بالرنـين المغناطيسي) محمول، لتقوم أجهزة الحاسب الآلي الفائقة بتحليله بعد ذلك. (توجد بالفعل بعض الإصدارات البدائية من برامج المنهج التجريبي هذه، مثل WebMD، لكنها تفتقر إلى الفروق الطفيفة والطاقة الكاملة التي يتميز بها المنهج التجريبي).

وبهذه الطريقـة، يمكن الاستغناء عن أغلب الزيـارات التي نقوم بها إلى عيـادة الطبيب، مما يخفـف العبء الواقع على نظام الرعايـة الصحية. إذا كانـت المشكلة خطـيرة، فسينصحك الطبيـب الآلي بالتوجه إلى المشفى، حيث يوفر أطباء بشريون رعاية مكثفة. لكن حتى في المشفى، سترى برامج ذكاء اصطناعـي في صورة ممرضين آليين، مثل (أسيمو). هؤلاء الممرضون الآليـون ليسوا أذكياءً بالفعل، لكنهـم يستطيعون التنقل بين غرف المشفى وإعطـاء العـلاج الصحيـح للمرضـى والسهـر علـى احتياجاتهم. وهم يستطيعـون التنقل على قضبان ممتدة على الأرض أو الحركة باستقلال مثل (أسيمو).

ويوجـد بالفعل ممرض آلي – وهو الروبوت النقال RP – 6 – يتم نشر

استخدامه في المستشفيات مثـل (المركز الطبي لجامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس) UCLA. وهو عبارة أساسا عن شاشة تلفاز تستقر أعلى حاسب نقال يتحرك على بكرات دوارة. وتعرض شاشة التلفاز فيديو لوجه طبيب حقيقي قـد يكون على بُعد أميـال. وتوجد كاميرا في الروبوت لتسمح للطبيـب برؤية ما ينظـر إليه الروبـوت. كما يوجد ميكروفـون يستطيع الطبيـب مـن خلاله التحـدث إلى المريض. يستطيع الطبيـب التحكم عن بُعد في الروبوت باستخدام عصا للتحكم، والتفاعل مع المرضى، ومراقبة العقاقـير، إلخ. نظـرا لأنه تتم إحالـة خمسة ملايين مريضـ في الولايات المتحـدة إلى وحدات الرعاية المكثفة سنويا، في حين لا يوجد سوى 6000 طبيـب مؤهل للتعامل مع مرضى الحالات الحرجـة، فقد تفيد مثل أجهزة الروبـوت هـذه في التخفيف من حدة الأزمة في رعايـة الطوارئ، حيث يتولى طبيـب واحد رعاية العديد من المرضـى. في المستقبل، قد تكتسب مثل أجهزة الروبوت هذه مزيدا من الاستقلالية؛ بحيث تتمكن من التنقل بنفسها والتفاعل مع المرضى.

تُعـد اليابان إحدى الدول الرائدة في العالم في هـذه التكنولوجيا. وهي تنفـق أموالاً طائلة على أجهزة الروبـوت لتدارك الأزمة الوشيكة في مجال الرعايـة الطبية. بالنظر إلى أحداث الماضي، لن تتعجب من أن تحتل اليابان صدارة الأمم في علم الروبوت، ويرجع ذلك لأسباب عدة. أولاً، في ديانة (شينتو) Shinto، يُعتقد أن الجمـادات تسكنها الأرواح. حتى الجمادات الآلية. في الغرب، قد يصرخ الأطفال رعبا لدى رؤيتهم أجهزة الروبوت، وخاصـةً بعدمـا شاهـدوا العديد من الأفلام عـن الآليين الثائريـن القتلة.

أما بالنسبة لأطفال اليابان، فأجهزة الروبوت تمثل أرواحا قريبة ومرحة ومفيدة. في اليابان، من الشائع أن ترى موظفي استقبال آليين يلقون عليك التحية عند دخولك المتاجر الكبيرة للبيع بالتجزئة. ففي الواقع، تمتلك اليابان 30 % من إجمالي أجهزة الروبوت التجارية في العالم.

ثانيا، تواجه اليابان كابوسا سكانيا؛ حيث تعاني من أسرع شيخوخة سكانية. انخفض معدل المواليد انخفاضا مفجعا إلى 1.2 طفل للأسرة الواحدة، ولم تعد الهجرة في الحسبان. يرى بعض علماء إحصاء السكان أنهم يشهدون تصادم قطارين بالحركة البطيئة: هناك قطار سكاني (ارتفاع أعمار السكان وانخفاض معدل المواليد) على وشك الاصطدام بقطار آخر (انخفاض معدل الهجرة) خلال السنوات المقبلة. (وقد يحدث التصادم نفسه في أوروبا أيضا في نهاية المطاف). سينعكس هذا بشدة على المجال الطبي، حيث سيكون استخدام ممرض آلي على نمط (أسيمو) أمرا مفيدا. تُعد أجهزة الروبوت، مثل (أسيمو)، مثالية للاضطلاع بمهام المستشفيات، مثل جلب الأدوية وإعطاء العقاقير ومراقبة المرضى على مدار اليوم.

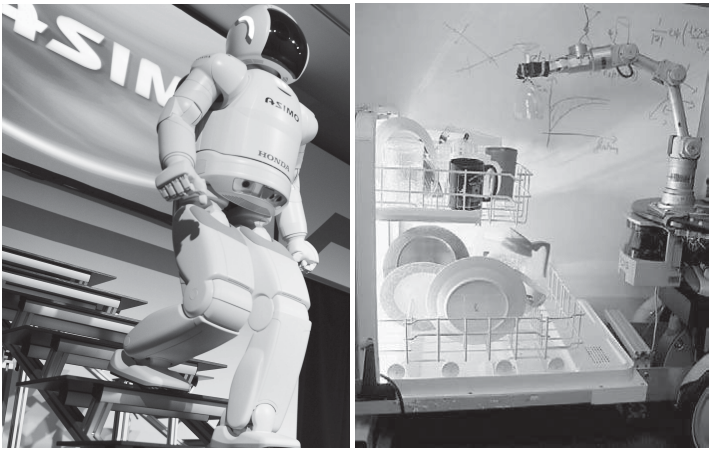
منتصف القرن (من عام 2030 وحتى 2070)

أجهزة الروبوت التركيبية

بحلـول منتصف القرن، قـد يعج عالمنا بأجهزة الروبـوت، لكننا قد لا نلاحظ وجودها. ذلك أن أغلب أجهزة الروبوت لن تظهر بشكل بشري. لكنهـا قد تختبئ عن الأنظار، لتتنكر في هيئة ثعابين وحشرات وعناكب، وتـؤدي مهـام بغيضة لكن مهمـة. ستكون هـذه هي أجهـزة الروبوت التركيبية التي تستطيع تغيير شكلها وفقا للمهمة التي تؤديها.

سنحـت لي الفرصـة لألتقـي بأحـد الـرواد في صناعة أجهـزة الروبوت التركيبيـة، وهو (ويمـين شـين) Weimin Shen، الأستاذ بجامعـة كاليفورنيا الجنوبيـة University of Southern California. وفكرته هي عمل وحدات نمطيـة من مكعبات صغـيرة يمكن التبديـل بينها كالوحـدات البنائية في لعبة الليجو وإعادة تجميعها حسب الرغبة. ويُطلق عليها أجهزة الروبوت متعددة الأشكال حيث تستطيع تغيير شكلها وبنيتها الهندسية ووظيفتها. وفي معمله، أدركت على الفـور الفرق بين طريقته، وتلك الطريقة المتبعة في ستانفورد أو MIT. في ظاهـر الأمـر، كان كلا المعملـين يشبهبيت اللعب الـذي يحلم به الطفـل حيث ترى أجهزة روبـوت متحركة ومتحدثة في كل مكان حولك. عندمـا زرت معملي الذكاء الاصطناعي في ستانفورد وMIT، رأيت مجموعة متنوعة من (الدمى) الآلية المـزودة برقاقات وتتمتع بقدر من الذكاء. وكانت طـاولات العمل تعج بالطائـرات وطائرات الهليكوبـتر والشاحنات الآلية،

بالإضافة إلى أجهزة روبـوت على شكل حشرات بداخلها رقاقات، وكانت جميعها تتحرك باستقلالية؛ حيث يمثل كل روبوت وحدة متكاملة بذاتها.



أنواع مختلفة من أجهزة الروبوت: *LAGR* (الصورة العلوية) و*STAIR* (أسفل اليسار) و *ASIMO* (أسفل اليمين).

بالرغم من الزيادة الهائلة في قدرة الحاسب الآلي، فإن أجهزة الإنسان الآلي أو الروبوت هذه لا تتعدى ذكاء الصرصور.

لكن عندما تدخل إلى معمل جامعة كاليفورنيا الجنوبية USC، ستشاهد شيئـا مختلفا تماما. ستشاهد مربعات من الوحـدات المكعبة، تصل مساحة كل واحـدة منهـا إلى 2 بوصة مربعة، حيـث يمكنها أن تتحـد أو تنفصل وتسمـح لك بإنشاء العديد من الكائنـات الشبيهة بالحيوانات. على سبيل المثال، يمكنك إنشاء ثعابين تسعى واحدا تلو الآخر أو إنشاء حلقات يمكنها أن تـدور كالطـوق. وباستطاعتك أن تركّب هذه المكعبـات معا أو تثبتها باستخـدام مفصلات على شكل حرف Y بحيـث تنشئ مجموعة جديدة تماما من الأجهزة تشبـه الأخطبوطات أو العناكب أو القطط أو الكلاب. تخيل مجموعة ذكية من مكعبات الليجو تتسم كل وحدة بنائية فيها بالذكاء والقدرة على إعادة ترتيب نفسها في أي شكل يمكن أن تتخيله.

تتجلـى فائدة أجهزة الروبوت هذه في تخطي أيـة عوائق تعترضها. إذا كان الروبـوت، الذي يتخذ شـكل عنكبوت، يزحـف في نظام الصرف الصحـي، وصـادف جـدارا، فسيبحـث أولاً عن حفرة صغـيرة في هذا الجـدار، ثم يفـك نفسه. وسيمر كل جـزء منه عبر الفتحة، ثـم تعيد هذه الأجـزاء تركيب نفسهـا على الجانب الآخر من الجـدار. وبهذه الطريقة، لا شـيء تقريبـا سيتمكن من ردع أجهزة الروبـوت التركيبية هذه، لكنها ستتحايل على أغلب العقبات التي تواجهها.

قـد تلعب أجهزة الروبوت التركيبية دورا مهما في إصلاح البنية التحتية المتهاوية. على سبيل المثال، تعرض كوبري نهر الميسيسبي في مدينة مينابولي للانهيار عـام 2007، مما أسفر عن مقتل 13 شخصـا وإصابة 145 آخرين؛ ربمـا لأن الكوبري كان متقادما ومحمـلاً بأكثر من طاقته، وشاب تصميمه

بعض العيوب. هناك أيضا مئات الحوادث المشابهة توشك أن تقع في أرجاء البلاد، لكن مراقبة كل كوبري معرض للانهيار وترميمه ستتكلف أموالاً طائلة. وهنا يأتي دور أجهزة الروبوت التركيبية في الإنقاذ، لتفحص في هدوء الكباري والطرق والأنفاق والأنابيب ومحطات الطاقة، وتُجري إصلاحات عند الضرورة. (على سبيل المثال، عانت الكباري في مدينة مانهاتن الواقعة أقصى الجنوب الأمرين جرّاء التآكل والإهمال والافتقار إلى التصليحات. بلغ الأمر أن أحد العاملين عثر على زجاجة كوكاكولا تم إنتاجها خلال خمسينيات القرن العشرين ملقاة على الكوبري منذ آخر مرة تم طلاء الكباري فيها. في الواقع، أوشك أحد أجزاء كوبري مانهاتن على خطر الانهيار مؤخرا، وكان يجب إغلاقه للإصلاح).

جراحون وطهاة آليون

يمكن استخدام أجهزة الروبوت لتقوم بدور الجراحين والطهاة والموسيقيين. من العناصر المهمة التي تقيد مجال الجراحة، براعة اليد البشرية ودقتها. فالجراحون – شأنهم شأن جميع البشر – يصيبهم الإرهاق بعد عدة ساعات، وتقل كفاءتهم؛ لترتجف أيديهم. لكن أجهزة الروبوت تستطيع أن تتدارك تلك المشكلات.

على سبيل المثال، تشمل الجراحات التقليدية لإجراء عملية مجازة القلب (القنطرة) فتح شق بطول قدم في منتصف الصدر، ويتطلب ذلك تخديرا كليا. كما أن إجراء فتح في التجويف الصدري يزيد من احتمالية حدوث تلوث، وطول فترة النقاهة، ويُحدث ألما شديدا وتعبا أثناء عملية التعافي،

بـل ويترك ندبا مشوهة. لكن مع نظام الروبـوت (دا فينشي) Da Vinci، تقـل هـذه السلبيات بدرجة كبـيرة. فهذا الروبـوت له أربـع أذرع آلية، واحدة للتعامل مع كاميرا الفيديو، وثلاثة لإجراء جراحة دقيقة. وبدلاً من إجراء شق طويـل في الصدر، فهو يقوم بعمل العديد من الفتحات الدقيقة في جانـب جسم المريض. ويستعين بهـذا النظام ما يقرب من 800 مشفى في أوروبـا والأمريكتين الشمالية والجنوبية، وقـد تم إجراء 48000 عملية في عـام 2006 فقط باستخـدام هذا الروبوت. كما يمكـن إجراء عمليات جراحية من خـلال التحكم عن بُعد عبر الإنترنـت؛ بحيث يستطيع أحد الجراحـين العالميين في مدينة إجراء عمليـة جراحية لمريض في منطقة ريفية نائية في قارة أخرى.

وفي المستقبل، ستكون الإصدارات الأكثر تقدما من هذه الأجهزة قادرة على إجراء جراحـات في الأوعية الدموية المجهريـة، والألياف العصبية، والأنسجـة من خلال استخـدام المشارط والملاقيط والإبـر المجهرية التي يستحيـل استخدامها الآن. بل سيكون من النـادر في المستقبل أن يُحدث الجـراح أي شـق في الجلد على الإطـلاق، وستكون القاعـدة عندئذٍ هي إجراء العمليات دون إحداث فتح جراحي.

ستكـون المناظير الداخلية (أنابيـب طويلة يتم إدخالها في الجسم ويمكن أن تضيء الأنسجة وتقطعها) أدق من الخيط. وستقوم أجهزة مصغرة أدق حجمـا من النقطة التي تنتهي بها هذه الجملة بالكثير من العمل الآلي. (في إحدى حلقات مسلسـل Star Tekالأصلي، شاهدنا دكتور (ماك كوي) McCoy، وهـو يثور ضد لجوء الأطباء في القرن العشرين إلى إحداث قطع

في الجلد). لقد أوشك اليوم الذي سيصبح فيه هذا واقعا.

سيتعلم طلبة الطب في المستقبل اقتطاع صور افتراضية ثلاثية الأبعاد للجسم البشري، حيث يقلد روبوت في حجرة أخرى كل حركة تؤديها اليد.

أبدى اليابانيون تفوقا في تصنيع أجهزة روبوت يمكنها التفاعل اجتماعيا مع البشر. في مدينة (ناجويا) Nagoya، على سبيل المثال، نجد الطاهي الآلي الذي يمكنه إعداد عشاء سريع قياسي في بضع دقائق. يمكنك ببساطة أن تضغط على الأزرار وتختار ما تريد من القائمة ليقوم الطاهى الآلي بإعدادها أمام عينيك. وحيث إن الشركة القائمة على تصميمه هي شركة (آيسي) Aisei لتصنيع أجهزة الروبوت، فهو يستطيع طهي النودلز في دقيقة و40 ثانية، ويمكنه تقديم 80 طبقا في يوم عمل. وهذا النوع من الروبوت يشبه كثيرا أجهزة الروبوت الموجودة في خطوط تجميع السيارات في ديترويت. فهو لديه ذراعان آليان كبيران، مبرمجان على التحرك في تسلسل معين. وبدلاً من ربط المعدن ولحامه في المصانع، فإن هذه الأصابع الآلية تجلب المكونات من سلسلة من الأطباق تحتوي على التتبيلة واللحم والدقيق والصوص والبهارات، وغيرها. ثم تقوم أيدي الروبوت بمزجها ثم تجميعها في شطيرة أو سلطة أو حساء. يبدو الطاهي الذي ابتكرته شركة (آيسي) كالروبوت المزود بيدين كبيرتين تخرجان من طاولة المطبخ. لكن النماذج الأخرى من أجهزة الروبوت التي يتم التخطيط لتصنيعها ستبدو أشبه بالإنسان.

وفي اليابان أيضا، أنشأت (تويوتا) Toyota جهاز روبوت يجيد العزف

علـى آلة الكمـان تقريبا مثـل أي عازف محـترف. وهو يشبـه الروبوت (أسيمو) باستثناء أنه يمسك بالكمان ويتمايل على أنغام الموسيقى، ثم يعزف مقطوعات صعبة على الكمان برقة شديدة، فيخرج الصوت حقيقيا على نحـو مذهل ويستطيع الروبوت عمل إيمـاءات رائعة يحاكي بها الموسيقي الماهر. وعلى الرغم من أن الموسيقى ليست على مستوى عازف كمان في الحفلات الموسيقية، فإنها جيدة بمـا يكفي لإمتاع الجمهور. وبالطبع كان لدينا في القرن الماضي أجهزة بيانو آلية تعزف نغمات مسجلة على أقراص دوارة كبـيرة. وكما هو الحال مع أجهـزة البيانو هذه، فإن جهاز (تويوتا) مبرمج أيضا. لكن يكمن الاختلاف في أن الأخير مصمم خصيصا ليحاكي جميع الأوضاع والحالات الخاصة بعـازف الكمان الحقيقي بطريقة غاية في الواقعية.

وفي جامعـة (واسيدا) Waseda أيضا في اليابـان، صمم العلماء عازف فلـوت آلي. وهـذا الروبوت يشتمل بدوره على غـرف مجوفة في صدره، أشبـه بالرئتين تدفـع الهواء عبر فلـوت حقيقي. وهو يستطيـع أن يعزف مقطوعـات موسيقية صعبة جدا مثل (The Flight of the Bumblebee)، لكننـا يجب أن نؤكـد على حقيقة أن هـذه الأجهزة لا يمكنهـا أن تبتكر مقطوعـات موسيقيـة جديـدة، لكنها تستطيـع أن تتحـدى الإنسان في قدرتها على العزف.

إن الروبـوت الطاهي والروبـوت العازف مصممـان بعناية، ويعملان وحدهمـا بشكل مستقل. وعلى الرغم من أن هـذه الأجهزة معقدة جدا مقارنة بأجهزة البيانو القديمة، فإنها ما زالت تعمل وفقا لقواعد. أما أجهزة

الروبـوت التي تقوم بدور النادل أو الخـادم فما زالت في المستقبل البعيد. وبالنسبـة للأجيـال المستقبلية مـن الروبوت الطاهـي والروبوت عازف الكمان وعـازف الفلوت، فربما تجد نفسها وقد دخلت حياتنا وأصبحت تؤدي وظائف أساسية كانت مقتصرة ذات يومٍ على البشر.

أجهزة الروبوت العاطفية

بحلول منتصف القرن القادم، ربما يأتي عصر أجهزة الروبوت العاطفية.

لقـد جنح المؤلفون بخيالهم في الماضي في تصوير أجهزة روبوت تتوق لأن تتحول إلى بشر وتمتلك مشاعر وانفعالات بداخلها. على سبيل المثال، في فيلم (بينوكيو) Pinocchio، نرى دمية خشبية تُدعى (بينوكيو) تتحول إلى ولـد حقيقـي. وفي فيلـم (ساحـر أوز) Wizard of Oz، يريد الرجل الصفيـح أن يحصـل على قلب، بينما نرى الإنسـان الآلي (داتا) Data في Star Trek: The Next Generation، وهـو يحـاول أن يصـدر انفعالات مـن خلال ترديد النكات وأن يفهم السبـب الذي يجعلنا نضحك. تتردد في قصص الخيال العلمي فكرة أنه على الرغم من أن أجهزة الروبوت ربما تـزداد ذكاءً، فإنها ستفتقر دائما إلى جوهر المشاعر. في الحقيقة، قد تصبح أجهزة الروبوت يوما ما أكثر ذكاءً منا – وفقا لما أعلنه بعض مؤلفي الخيال العلمي – لكنها لن تكون قادرة على البكاء.

لكـن هذا الرأي قـد يجانبه الصواب. فالعلمـاء الآن يعكفون على فهم الطبيعة الحقيقيـة للمشاعر. بادئا ذي بـدء، إن المشاعر تخبرنا عما يصلح لنـا وما يضر بنا. والغالبية العظمى للأشياء في هذا العالم إما ضارة وإما غير

ذات نفع كبير. فعندما نختبر مشاعر (الإعجاب)، نستطيع أن نحدد جزءا يسيرا من الأشياء المفيدة لنا في البيئة.

لقد تطورت داخلنا المشاعر بألوانها (من كره أو غيرة أو خوف أو حب وما شابه) عبر ملايين السنين لحمايتنا من أخطار العالم المعادي لنا، ومساعدتنا في حفظ النوع. وكل لون من ألوان المشاعر هذه يساعدنا في نقل الجينات الخاصة بنا إلى الجيل التالي.

لقد تمكّن طبيب الأمراض العصبية (أنتونيو داماسيو) Antonio Damasio بجامعة جنوب كاليفورنيا، والذي عكف على تحليل ضحايا الإصابات أو الأمراض العقلية، من فهم الدور الحيوي للمشاعر في تطورنا. إذ إنه في بعض من هؤلاء المرضى، يكون الرابط بين الجزء المفكر من عقولهم (قشرة الدماغ) والمركز العاطفي (الكائن في مركز العقل، مثل اللوز الدماغية) مقطوعا. وهؤلاء الأشخاص طبيعيون تماما، باستثناء أنهم يجدون صعوبة في التعبير عن مشاعرهم.

ثمة مشكلة أصبحت واضحة في هؤلاء المرضى بشكل مباشر، ألا وهي أنهم لا يستطيعون أن يتخذوا قرارات. فالتسوق كابوس مؤلم بالنسبة لهم؛ لأن كل الأشياء تستوي في قيمتها عندهم، سواء أكانت باهظة أم زهيدة الثمن، مبهرجة أم راقية. كما أن تحديد موعد يبدو مستحيلاً لديهم؛ حيث إن جميع التواريخ في المستقبل سواء. باختصار، يبدو أن هؤلاء المرضى – وفقا لما يراه داماسيو – (يعرفون، لكنهم لا يشعرون).

لتبسيط هذا المفهوم، نستطيع القول بأنه من بين الأهداف الرئيسة للمشاعر أنها تمنحنا قيما حتى نستطيع أن نقرر ما هو مهم وما هو غالٍ،

ومـا هو لطيف، ومـا هو نفيس. وفي غياب المشاعـر، تستوي الأشياء في قيمتهـا، ونقف مكتوفي الأيدي أمام قـرارات لا نهائية لأن كلاً منها يمثل الأهمية نفسها بالنسبة لنا. لذا، فإن العلماء يبدءون الآن في فهم أن المشاعر البعيدة عن الترف أساسية للذكاء.

فالـذي يشاهد Star Trek، علـى سبيل المثال، ويـرى (سبوك) Spock و(داتـا) Data وهمـا من المفترض أن يؤديا وظائفهمـا دون أي مشاعر، سيعرف موطن الخطأ في الحال. ففي كل حركة، يعبر فيها (سبوك) و(داتا) عن مشاعرهما، يقومان بعمل سلسلة طويلة من الأحكام التقديرية. وهما يقـرران أن البقـاء كضباط أمرٌ ضروري، وأنه مهـمٌ لأداء مهام معينة، وأن هدف (الفيدراليـة) نبيل في جوهره، وأن حياة البشر غالية وأمور من هذا القبيـل. ويتضح من هـذا أن من يعتقـد بوجود ضابط مجرد مـن المشاعر شخص واهم.

قـد تكون أجهزة الربوت العاطفية أيضا خطا فاصلاً بين الحياة والموت. وفي المستقبـل، قد يتمكـن العلماء من إنشاء أجهزة روبـوت إنقاذية، يتم إرسالهـا إلى الحرائق والزلازل والانفجارات؛ ذلك أنها تستطيع أن تُجري آلاف الأحـكام التقديرية عن الشخص والشيء الذي ستتولى إنقاذه وبأي ترتيـب يتم الإنقاذ. وبعد بحث التدمير المحيـط بها، يتعين عليها تصنيف المهام المختلفة التي تواجهها حسب الأولوية.

تُعد المشاعر أيضا مهمة إذا ما استعرضنا تطور العقل البشري. وإذا نظرنا إلى السمـات التشريحية الهائلة للعقل، سنلاحظ أنها يمكن أن تندرج تحت ثلاث فئات كبيرة.

أولاً، لدينا العقل الزاحف الموجود بالقرب من قاعدة الجمجمة، والذي يشكل السواد الأعظم من عقل الزواحف. وهذا الجزء من العقل مسؤول عن التحكم في وظائف الحياة الأساسية، مثل التوازن والعدوان والإقليمية والبحث عن الطعام، إلخ. (وفي بعض الأحيان، عند التحديق في ثعبان يبادلك التحديق هو الآخر، يساورك شعورٌ بالخوف. وحينئذ تتساءل، ما الذي يفكر فيه الثعبان؟ إذا صحت هذه النظرية، فإن الثعبان لا يفكر كثيرا على الإطلاق، سوى فيما إذا كنت غداءً مناسبا له من عدمه).

وبالنظر إلى الكائنات العليا، نرى أن العقل قد توسع عند الجزء الأمامي من الجمجمة. وعلى المستوى التالي، نجد أن عقل القرد أو الجهاز الطرفي موجود في وسط العقل؛ فهو يشتمل على أجزاء مثل اللوز، تشترك في معالجة المشاعر. والحيوانات التي تعيش في مجموعات لديها جهاز طرفي مطور جيدا على نحو استثنائي. وهذه الحيوانات الاجتماعية، التي تخرج للصيد في جماعات، تحتاج درجة أعلى من القدرة العقلية المخصصة لفهم قواعد الجماعة. وحيث إن النجاح في الحياة البرية يعتمد على التعاون مع الآخرين، وبما أن تلك الحيوانات لا يمكنها التحدث، فهذا يعني أنه يتعين عليها أن توصِّل حالتها العاطفية عن طريق لغة الجسد والإيماءات وإطلاق أصوات مثل الخفخفة والعُواء.

وأخيرا، لدينا الطبقة الأمامية والخارجية من العقل، ألا وهي القشرة الدماغية؛ تلك الطبقة التي تعرِّف الإنسانية وتحكم التفكير المنطقي. وفي حين أن الحيوانات الأخرى تتحكم فيها الغريزة والوراثة، فإن البشر يستخدمون القشرة الدماغية للحكم على الأشياء.

وإذا صح هذا التقدم الارتقائي، فهذا يعني أن المشاعر ستلعب دورا حيويا في إنشاء أجهزة روبوت مستقلة. لقد صُممت أجهزة الروبوت حتى الآن كي تحاكي عقل الزواحف فقط؛ فهي تستطيع المشي والبحث عما يحيط بها والتقاط الأشياء، لكنها ليست مؤهلة للقيام بأكثر من ذلك. وعلى الجانب الآخر، تُعد الحيوانات الاجتماعية أكثر ذكاءً من الحيوانات التي لها عقل زاحف. فالمشاعر مطلوبة حتى يصبح الحيوان اجتماعيا، وحتى يتمكن من الإلمام بقواعد الجماعة. لذا، فالطريق طويل أمام العلماء قبل أن يستطيعوا محاكاة الجهاز الطرفي والقشرة الدماغية.

وبالفعل، فقد استطاعت العالمة (سينثيا بريازيل) Cynthia Breazeal في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا MIT إنشاء جهاز روبوت مصمم خصيصا لمعالجة تلك المشكلة. هذا الروبوت يُدعى (كيسميت) KISMET وله وجه يشبه الجني العابث. ومن الوهلة الأولى، يبدو كما لو كان حيا؛ فهو يستجيب لك بتحريك قسمات وجهه تعبيرا عن مشاعره. ويمكنه التعبير عن مجموعة هائلة من المشاعر عن طريق تغيير تعبيرات وجهه. وفي الحقيقة، فإن السيدات، اللاتي يتفاعلن مع هذا الروبوت الذي يبدو أشبه بالطفل، غالبا ما يتحدثن إليه بطريقة يغلب عليها طابع الأمومة؛ أي أنهن يستخدمن المصطلحات التي تستخدمها الأمهات عند الحديث إلى الرضع والأطفال. وعلى الرغم من أن أجهزة الروبوت من نوع (كيسميت) مصممة لمحاكاة المشاعر، فإن العلماء على يقين من أن الروبوت يشعر فعليا بتلك المشاعر. فهو إلى حد ما أشبه بمسجل الشرائط المبرمَج على ألا يصدر أصواتا، لكنه يرسم تعبيرات وجهية دون أي وعي بما يفعله. لكن

يكمـن التقدم المحقق في الروبـوت (كيسميت) في أن الأمر لا يحتاج إلى كثير من البرمجة لإنشاء جهاز روبوت يحاكي مشاعر البشر ويستجيب لها الإنسان.

عما قريب ستجد أجهـزة الروبوت العاطفية هذه طريقا لها في منازلنا. لكنها لن تقوم مقام الصديق المقرَّب أو السكرتير أو الخادمة، كل ما هنالك أنها تستطيع تنفيذ إجراءات تستند إلى قواعد اعتمادا على الحدس أو التوقع المبني على المنهج التجريبي. وبحلول منتصف القرن القادم، ربما يرتفع ذكاء مثـل هذه الأجهزة إلى مستوى ذكاء كلب أو قط. فهي تستطيع التعبير عن الرباط العاطفي الذي يربطها بسيدها، مثلها في ذلك مثل الحيوان الأليف، وبالتـالي لا يمكن الاستغناء عنها بسهولة. لكنك لن تستطيع التحدث إليها بالإنجليزية العامية؛ لأنهـا لا تفهم سوى الأوامر المبرمجة، ربما المئات منها. وإذا أمرتهـا أن تفعل شيئا غير مخزَّن بالفعل في ذاكراتها مثل (اذهب للعب بطائرة ورقية في الهواء)، فستعلو وجهها علامات الاستغراب والارتباك. (وإذا تمكنت أجهزة الروبوت التي تتخذ شكل قطط وكلاب من مضاعفة النطـاق الهائل من استجابات الحيوانات، والتـي يتعذر تمييزها عن سلوك الحيوانـات الحقيقي، فإن السؤال الذي يطرح نفسه الآن هو هل يُعد ذكاء تلك الحيوانات الآلية في مثل ذكاء مثل كلب أو قط عادي).

أجـرت شركة (سوني) Sony اختبارات علـى أجهزة الروبوت العاطفية عنـد تصنيعها الكلـب الآلي (آيبـو) AIBO (جهاز روبوت مـزود بذكاء اصطناعي). كان هذا الروبوت أول لعبة تستجيب حقيقيا نحو سيدها من الناحيـة العاطفية، حتى وإن كان ذلـك بدائيا. على سبيل المثال، إذا دللت

الكلب (آيبو) على ظهره، فسيبدأ هذا الحيوان الآلي على الفور في إصدار غمغمة وإطلاق بعض الأصوات اللطيفة. وهو يمكنه المشي والاستجابة للأوامر الصوتية، بل والتعلم إلى حد ما، لكن لا يمكنه تعلم مشاعر جديدة أو التجاوب عاطفيا مع الطرف الآخر. (وقد توقف العمل فيه عام 2005 لأسباب مالية، لكنه كان سببا بعد ذلك في قيام إحدى المجموعات الموثوق فيها بتطوير برنامج الحاسب الآلي الخاص به بحيث يستطيع (آيبو) أن يؤدي المزيد من المهام). وفي المستقبل، سيكون من الشائع أن تجد حيوانات أليفة آلية ترتبط بالأطفال عاطفيا.

وعلى الرغم من أن هذه الحيوانات الآلية ستكون محمّلة بمجموعة هائلة من المشاعر وستبني جسورا من المودة العميقة مع الأطفال، فإنها لا تشعر بمشاعر فعلية.

الهندسة العكسية للعقل

بحلول منتصف القرن القادم، يجب أن نكون قادرين على استكمال الحدث التالي المهم في تاريخ الذكاء الاصطناعي: ألا وهو الهندسة العكسية للعقل البشري. وعلى الرغم من شعور العلماء بالإحباط لعدم استطاعتهم إنشاء روبوت مصنوع من السليكون والصلب، فهم يحاولون أيضا في الاتجاه العكسي تحليل العقل، خلية عصبية تلو الأخرى – تماما مثلما يقوم الميكانيكي بتحليل وتفكيك الموتور، مسمارا تلو الآخر – ثم يقومون بتشغيل محاكاة تلك الخلايا العصبية على جهاز حاسب آلي ضخم. إنهم يحاكون عمل الخلايا العصبية في الحيوانات بشكل نظامي بداية من

الفئران والقطط، ثم يتجهـون تصاعديا عبر السلم الارتقائي للحيوانات. إن هـذا الهدف محدد جيدا لديهم، ويمكن أن يكون قائما بحلول منتصف هذا القرن.

كتـب الباحـث فريـد هابجـود Fred Hapgood الـذي يعمـل بمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا قائلاً: (إذا فهمنا عمل العقل بالضبط بالطريقة نفسها التي نفهم بها كيفية عمل الموتور، فسنعيد تقريبا كتابة كل النصوص المسطورة في الكتب التي تعج بها المكتبات).

تكمـن الخطوة الأولى نحـو الهندسـة العكسية للعقـل في فهم تكوينه الأساسـي، حتـى وإن كانت هـذه المهمة طويلـة وشاقة. لقـد تم تعريف الأجـزاء المتعـددة للعقل في عمليـات التشريح قديمـا دون أن يكون هناك مفتـاح لوظائفها. لكن هذا الأمر بدأ في التغير عندمـا قام العلماء بتحليل الأشخاص المصابين بتلف في المخ، ولاحظوا تغييرات سلوكية ناجمة عن تلف أجزاء معينة من المخ.

ومـن أكثر الأمثلة التي تبعث علـى الدهشة تلك الحادثة التي وقعت عام 1848 في فيرمونت والتي على أثرها دخل قضيب معدني طوله 3 أقدام و8 بوصـات في جمجمة شخص يُدعى فينياس جيـدج Phineas Gage كان يعمـل رئيس عمال في السكك الحديدية. وقعت هذه الحادثة، التي غيّرت مجـرى التاريخ، عندما انفجر لغم ديناميـت بالصدفة. فقد دخل القضيب المعـدني في جانب من الوجه وكسر الفك، ثـم استقر في المخ، فأفقد الجزء العلـوي من الرأس وعيه. وكانت معجزةً إلهية أن يظل الرجل حيا بالرغم مـن أن هذا الحـادث المرعب قد قضى علـى إحدى شحمتـي أذنيه وربما

كلتيهمـا. في البداية لم يصـدق الطبيب الذي عالجـه أن أي شخص يمكن أن ينجـو مـن هذا الحادث ويبقـى حيا. فقد ظل الرجل شبـه فاقد للوعي لعـدة أسابيع، لكنـه استعاد وعيه بمعجـزة. وقد عاش فينياس بعدها لمدة 12 عامـا يؤدي مهام شاقـة ويسافر إلى أن توفى عـام 1860. وقد احتفظ الأطبـاء بجمجمتـه وبالقضيب المعدني، وعكفوا علـى دراستها بدقة منذ ذلـك الحين. ثم جاءت الوسائل التكنولوجية الحديثة عن طريق ماسح CT (التصوير المقطعي بالحاسـب الآلي) لتعيد لنا تشكيل تفاصيل هذه الحادثة الفريدة.

لقـد غيّر هـذا الحادث مـن الآراء السائدة حول قضيـة العقل والجسم. في السابـق، كان يُعتقـد في الأوسـاط العلمية أن الـروح والجسد كيانان منفصـلان، وكان المؤلفـون يكتبون بثقـة عن وجود (قـوى حية) محرِّكة للجسـد، ومنفصلة عن العقل. لكـن التقارير المتداولة علـى نطاق واسع أشـارت إلى أن شخصيـة (جاج) مرت بتغيـرات ملحوظة بعد الحادث. وتزعـم بعض روايات المقربين منه أنه كان محبوبا ومنبسطا، لكنه تحول إلى شخصـ متعسف وعـدواني بعد الحادث. لقد أكدت نتائـج هذه التقارير فكرة أن هناك أجزاء معينة من العقل هي التي تتحكم في سلوكيات مختلفة، ومن ثم فإن الجسد والروح غير منفصلين.

وفي ثلاثينيـات القـرن الماضـي، حدثـت طفـرة، عندما لاحـظ أطباء الأعصاب مثل وايلدر بينفيلد Wilder Benfield أنه في أثناء إجراء جراحة في المـخ عند مرضى الصرع، تنشط وتتحفز أجزاء معينة من جسد المريض عنـد لمس أجـزاء معينة من المـخ بالإلكـترودات أو الأقطـاب الكهربائية

Electrodes. وعنـد لمس هذا الجزء من القشرة الدماغية، فقد يتسبب ذلك في تحريك اليد أو القـدم. وبهذه الطريقة، فقد استطاع رسم مخطط بسيط عـن أجزاء القشرة الدماغية التـي تتحكم في أجزاء الجسم. ونتيجة لذلك، يستطيـع المرء أن يعيد رسم عقل الإنسان، ويحدد الأجزاء التي تتحكم في كل عضـو. فجاءت النتيجة (أنيسان) أو مصغر إنسان، صورة غريبة نوعا ما للجسم البشري مخططة على سطح العقل؛ فقد كانت أشبه بإنسان صغير وغريب الشكل له أطراف أصابع كبيرة وشفتان ولسان وجسد صغير.

وقـد أسفر لنا الفحص الحديث بمساعـدة ماسح MRI (التصوير بالرنين المغناطيسـي) عن صور تكشف عن العقل المفكر، لكنها جاءت غير قادرة علـى تتبع المسارات العصبيـة الخاصة بالتفكير، ربمـا تضمنت فقط بضعة آلاف مـن الخلايـا العصبيـة. لكن هناك مجـال جديد يعـرف باسم (علم الجينات الضوئية) جمع بين البصريات والجينات لتحديد مسارات عصبية محـددة في الحيوانات. وعـن طريق القياس، نستطيـع أن نقارن هذا برسم خارطـة طريق، حيث جاءت نتائج الفحص عـن طريق ماسح MRI قريبة مـن تحديد الطرق العامة الكبيرة التـي تربط بين الولايات، والتدفق الهائل للمرور فيهـا. لكن بالاستعانة بعلم الجينات الضوئية، أمكن تحديد الطرق والمسـارات الفرديـة. ومبدئيا، يسمـح هذا للعلمـاء بإمكانية التحكم في سلوك الحيوانات من خلال تحفيز هذه المسارات المحددة.

وهذا بدوره شكّل مادة خصبة للعديد من القصص الإعلامية المثيرة. فقد نشر موقع Drudge Report مقالاً مثيرا يستصرخ الناس بعنوان Scientists Create Remote Controlled Flies (العلماء يبتكرون ذبابا يمكن التحكم

فيه عن بُعد). كما نسجت وسائل الإعلام تصورات حول ذباب يتم التحكم فيه عن بُعد ويقوم بتنفيذ المهام غير المشروعة للبنتاجون. وفي برنامج Tonight Show، تحدث جاي لينو Jay Leno عن ذباب يتم التحكم فيه عن بُعد ويستطيع الطيران والوصول إلى فم الرئيس (جورج دبليو بوش) وهو يتلو خطابه. وعلى الرغم من أن مؤلفي نصوص الكوميديا قد وجدوها فرصة لنسج سيناريوهات خيالية عن البنتاجون وهو يدفع بأسراب من الذباب بضغطة زر واحدة، فإن الحقيقة أكثر تواضعا من ذلك.

تمتلك ذبابة الفاكهة 150 ألف خلية عصبية تقريبا في المخ. ويسمح علم الجينات الضوئية للعلماء بتنشيط خلايا عصبية معينة في مخ ذباب الفاكهة تتوافق مع سلوكيات معينة. على سبيل المثال، عند تنشيط خليتين عصبيتين معينتين، فهذا يعطي إشارة لذبابة الفاكهة بالهرب، وعندئذ تمد الذبابة رجليها وتبسط جناحيها وتطير تلقائيا. وقد تمكن العلماء من تربية سلالة معدّلة وراثيا من ذباب الفاكهة الذي تنشط عنده الخلايا العصبية للهرب في كل مرة يتم فيها تسليط شعاع الليزر عليه. فإذا سلطت شعاع ليزر على ذباب الفاكهة، فإنه سيطير في كل مرة.

إن الاستنتاجات المتعلقة بتحديد بنية العقل مهمة. إننا لن نتمكن فحسب من معرفة المسارات العصبية لسلوكيات معينة، لكننا نستطيع أيضا أن نستخدم تلك المعلومات في مساعدة ضحايا ومرضى السكتات الدماغية الذين يعانون من أمراض وإصابات عقلية.

وقد تمكن الباحث جيرو ميسنبوك Gero Miesenbock بجامعة أكسفورد وزملاؤه من تعريف الآليات العصبية للحيوانات بهذه الطريقة.

فهـم لم يكتفوا فقـط بدراسـة استجابات الهـرب الانعكاسيـة في ذباب الفاكهـة، وإنما أيضا الانعكاسات المتعلقـة بالعطور الفواحة. وقد قام هذا الفريـق بدراسة المسارات التي تتحكـم في طلب الطعام في الدود المدور. كمـا عكفوا على دراسة الخلايا العصبية المتعلقة باتخاذ القرار في الفئران، فاكتشفوا أنه على الرغم من وجود خليتين عصبيتين مسؤولتين عن إصدار السلـوك في ذباب الفاكهة، فإنه في مقابلها يتـم تنشيط 300 خلية عصبية تقريبا عند الفئران لاتخاذ القرارات.

ومـن الأدوات الأساسية التي استعان بهـا العلماء في دراساتهم الجينات التي يمكنها التحكم في إنتاج صبغات معينة، وكذلك الجزيئات التي تتفاعل مـع الضوء. على سبيل المثال، يوجد (جـين) في قنديل البحر يمكنه تصنيع بروتين أخضر مشـع. كما يوجد العديد من الجزيئات مثل الرودوبسين أو (الأرجـوان البصري) التـي تستجيب عند تسليط ضـوء عليها من خلال السماح للأيونات بالمرور من خلال أغشية الخلايا. وبهذه الطريقة، يمكن أن يؤدي تسليط الضوء على هذه الكائنات إلى إحداث استجابات كيميائية معينـة. وبمساعدة هذه الصبغات والمواد الكيميائية الحساسة للضوء، تمكن العلمـاء للمرة الأولى من معرفة الدوائر العصبية التي تتحكم في سلوكيات معينة.

وعلى الرغم من أن كتّاب الكوميديا حاولوا تصوير العلماء بشكل هزلي في محاولاتهـم لإنشاء ذباب فاكهة فرانكشتين يتم التحكم فيه بضغطة من زر، فإن العلماء في الحقيقـة، وللمرة الأولى في التاريخ، ينجحون في تتبع مسارات عصبية معينة في المخ تتحكم في سلوكيات معينة.

محاكاة العقل البشري

إن علم الجينات الضوئية ليس إلا خطوة أولى ومتواضعة في بداية الطريق. أما الخطوة التالية فتتمثل في محاكاة العقل البشري بأكمله باستخدام أحدث الوسائل التكنولوجية. وهناك على الأقل طريقتان لحل هذه المشكلة الكبيرة، والتي قد تحتاج إلى عمل شاق على مدار عقود كثيرة. تتمثل الطريقة الأولى في استخدام أجهزة حاسب عملاقة لمحاكات سلوك بلايين الخلايا العصبية، والتي ترتبط كل واحدة منها بآلاف الخلايا العصبية الأخرى. أما الطريقة الثانية فتتمثل في تحديد موقع كل خلية عصبية في العقل بالفعل.

والسبيل إلى الطريقة الأولى، المتمثلة في محاكاة العقل، بسيط؛ إذ إنه لا يحتاج سوى لقدرة حاسوبية هائلة. وكلما زاد حجم جهاز الحاسب الآلي، كان ذلك أفضل. وربما يكون في أساليب بحث الحلول الممكنة والنظريات المنهجية مفتاح حل تلك المشكلة الهائلة. ويُعرف جهاز الحاسب الآلي، الذي يستطيع تنفيذ هذه المهمة الضخمة، باسم Blue Gene، وهو أحد أكبر أجهزة الحاسب على وجه الأرض؛ وقد أشرفت شركة (IBM) على إنشائه.

لقد أُتيحت لي الفرصة لزيارة هذا الحاسب الآلي العملاق عندما كنت في جولة إلى مختبر (لورانس ليفرمور) Livermore الوطني في كاليفورنيا؛ حيث يتم تصميم رؤوس طوربيد هيدروجينية للبنتاجون. إن هذا هو المختبر السري الأول في أمريكا، وهو عبارة عن مجمع يمتد على مساحة 790 فدانا في وسط مدينة زراعية، وتبلغ تكلفته 1.2 مليار دولار في العام،

ويعمل فيه 6800 شخص. وهو أيضا المركز الحيوي لمنشأة تصنيع الأسلحة النووية الأمريكية، وقد تعيّن عليّ أن أمر بالعديد من مراحل الأمان لرؤيته؛ حيث إن هذا هو أحد أكثر معامل الأسلحة حساسية على الأرض.

وأخيرا، وبعد المرور بسلسلة من نقاط التفتيش، تمكنت من الدخول إلى المبنى الذي يستضيف جهاز الحاسب الآلي Blue Gene بشركة (IBM)، والذي يستطيع إجراء عمليات حسابية تصل إلى 500 تريليون عملية في الثانية بسرعة خاطفة. يُعد هذا الجهاز مَعلما مميزا؛ فهو كبير الحجم لدرجة أنه يحتل مساحة ربع فدان، ويتألف من صفوف تلو الأخرى عبارة عن خزانات معدنية سوداء، طول الواحدة 8 أقدام وعرضها 15 قدما.

وعندما تجولت بين هذه الخزانات، كان الأمر تجربةً جديدةً بالنسبة لي. وعلى النقيض مما نشاهده في أفلام الخيال العلمي في هوليوود، والتي تعج فيها أجهزة الحاسب الآلي بالكثير من الأضواء الوامضة والأقراص الدوّارة وطقطقة الشرارات الكهربية في الهواء، كانت هذه الخزانات هادئة تماما سوى من بعض الومضات الضوئية الصغيرة. لكن من يشاهدها على يقين تام من أن جهاز الحاسب هذا يؤدي تريليونات من العمليات الحسابية المعقدة، بيد أنه لا يسمع بها شيئا ولا يعرف كيفية عملها.

لقد كان شغلي الشاغل التأكد من حقيقة أن جهاز Blue Gene يحاكي عملية التفكير التي تجول بعقل الفأر، والذي يحتوي على 2 مليون خلية عصبية (مقارنة بحوالي 100 مليار نملكها نحن البشر). وذلك لأن محاكاة عملية التفكير التي تدور في عقل الفأر أصعب مما تتخيل؛ فكل خلية عصبية متصلة بالعديد من الخلايا العصبية الأخرى؛ مما يجعلها تُشكِّل

شبكـةً كثيفةً من الخلايا العصبية. وبينما كنـت أسير بين حواجز وحدات التحكـم الطرفية التـي يتألف منها جهـاز Blue Gene، لم أملك سوى أن أندهش عندمـا علمـت أن هذه القـدرة المذهلة لجهـاز الحاسب الآلي لا تستطيـع أن تحاكـي سوى عقل فأر، ولمـدة ثوانٍ معـدودة. (لكن هذا لا يعني أن جهـاز Blue Gene يمكنه أن يحاكي سلوك فـأر؛ فالعلماء بالكاد يستطيعـون أن يحاكوا سلوك صرصور. وإن دل هذا على شيء، فإنما يدل على أن Blue Gene يمكنه أن يحاكي عمل خلايا عصبية موجودة في فأر، وليس سلوكه).

في الحقيقـة، ركزت العديد مـن المجموعات الباحثـة على محاكاة عقل الفـأر. وجاء مشـروع Blue Brain بمثابة محاولة طموحـة للباحث هنري ماركـرام Henry Markarm في (مدرسـة الفنـون التطبيقيـة الاتحادية في لـوزان بسويسـرا) Ecole Polytechnique Fédérale de lausanne . بدأ (هنري) محاولاته في 2005 عندما استطاع الحصول على نسخة صغيرة من جهـاز Blue Gene، المزود بحـوالي 16000 معالج. لكن في غضون عام، نجـح في محاكاة عمود قشرة مخية جديدة للفأر، وهو جزء من القشرة المخية الجديـدة، يتألف من 10 آلاف خلية عصبية و100 مليون اتصال. كان هذا بمثابـة دراسة مهمة؛ لأنه يعني أنه من الممكـن بيولوجيا إجراء تحليل كامل لبنيـة أحد المكونات المهمة للعقل، وذلك لكل خليـة عصبية الواحدة تلو الأخـرى. (يتألف عقل الفأر من ملايين من هـذه الأعمدة المكررة. ومن خلال محاكاة أحد هـذه الأعمدة، نستطيع أن نفهم الكيفية التي يعمل بها عقل الفأر).

وفي عـام 2009، أعلن (ماركرام) بتفـاؤل (أن تكوين عقل بشري ليس مستحيـلاً، وأنـه بوسعنا تخليقه في عشـر سنـوات. وإذا استطعنا تخليقه بشكل صحيح، يمكنه أن يتحدث، وأن يمتلك ذكاءً مثلنا، وأن يتصرف مثل الإنسـان إلى حـد كبير). بيد أنه يُحذِّر من أنـه سيحتاج إلى جهاز حاسب عمـلاق يزيد حجمه عـن حجم أجهـزة الحاسب الآلي العملاقـة الحالية بحوالي 20 ألف ضعف، وذاكرة تخزين سعتها 500 ضعف الحجم الكامل لشبكة الإنترنت الحالية، لتحقيق هذا الهدف.

إذن ما العقبة التي تعترض هذا الهدف الكبير؟ إنه المال من وجهة نظره.

وحيث إن العلم الأساسي معروف لدينا، فهو يشعر أنه يستطيع أن يحقق نجاحـا طالما توفّر المـال المطلوب لحل تلك المعضلـة. ويستطرد قائلاً: (إن الأمر لا يتعلق بالوقـت لكن بتوفر المال....إنها مسألة ما إذا كان المجتمع يريد ذلك من عدمه. فإذا كانوا يريدون تحقيقه، في عشر سنوات، فسيكون لهم ما أرادوا. أما إذا كانوا يريدون تحقيقه في ألف سنة، فلننتظر ونرى).

ثمـة مجموعـة منافسة أيضـا تناولـت تلك المشكلـة بالبحـث، من خلال تجميـع أكبر قدرة حاسوبيـة في التاريخ. لقد استخدمـت تلك المجموعة أكثر الإصـدارات حداثة من الجهـاز Blue Gene، الموجود أيضـا في (ليفرمور)، والذي يُطلق عليه اسم Dawn. فهذا الجهاز له شكلٌ مرعب حقا؛ حيث يمتلك 147456 معالجـا وذاكـرة سعتها 150 ألـف جيجا بايت. وهـذا يعني أنه أكبر مـن جهاز الحاسـب الآلي الموجود على مكتبك بحـوالي 100 ألف مرة. وقد سجلت هذه المجموعة، بقيادة (دهارميندرا مودها) Dharmendra Modha، عـددا من النجاحـات. وفي عام 2006، استطاعت تلـك المجموعة أن تحاكي

40 % من عقل الفأر، بينما في عام 2007، نجحت في محاكاة 100 % من عقل الجـرذ (الذي يشتمل على عدد من الخلايا العصبية أكثر من عقل الفأر بحوالي 55 مليون خلية عصبية).

وفي عـام 2009، حطمت المجموعة رقما عالميا قياسيا آخر. فقد نجحت في محـاكاة 1 % من القشرة الدماغيـة للإنسان أو القشـرة الدماغية للقطة تقريبا والتي تشتمل على 1.6 مليار خلية عصبية و9 تريليونات من الروابط العصبيـة. لكن جـاءت المحـاكاة بطيئة، حـوالي 1/600 مـن سرعة عقل الإنسـان. (وإذا استطاعـت أن تحاكي فقط مليار خليـة عصبية، فستكون أسرع بكثير، حوالي 1/83 من سرعة عقل الإنسان).

يعلِّق (مودها) بفخر على هذا الإنجاز الضخم قائلاً: (إن هذا السبق بمثابة مرصد هابل للعقل أو معجِّل خطي للمخ). وحيث إن العقل يحتوي على 100 مليـار خلية عصبيـة، فإن هؤلاء العلماء يمكنهـم الآن رؤية شعاع من ضوء في نهاية هذا النفق المظلـم. فهم يشعرون أن المحاكاة الكاملة للعقل البشـري تلـوح في الأفق. ويكمـل (مودها) حديثه: (إن هـذا الأمر ليس ممكنا فقط، لكنه بات وشيكا).

ثمـة مشكلات خطـيرة في محاكاة العقـل البشري بأكملـه تتعلق بالقوة والحـرارة؛ فالجهاز Dawn يستهلك مليون وات مـن الطاقة، وتنبعث منه حـرارة يحتاجها 6675 طنا مـن أجهزة التكييف والتـي تطلق 2.7 مليون قدم مكعب من الهواء البارد كل دقيقة. ولمحاكاة العقل البشري، يجب أن تضرب هذه المقاييس في معامل تكبير 1000.

حقا إن هذه مهمة ضخمـة؛ فالقوة الاستهلاكية لأجهزة الحاسب الآلي

الافتراضيــة العملاقــة تصــل إلى مليــار وات أو قد تحتــاج إلى مثل القدرة المشغلة لمحطة توليد طاقة نووية. ولك أن تتخيل أن الطاقة التي يستهلكها مثل هــذا الحاسب الآلي العملاق يمكنها إنارة مدينــة بأكملها. ولتبريدها، فنحن بحاجة إلى تحويل مجرى نهر بأكمله وتوصيل المياه إلى جهاز الحاسب الآلي، أما جهاز الحاسب الآلي نفسه فسيحتل العديد من مناطق المجمعات السكنية في المدن.

ومما يبعــث على الدهشــة أن العقل البشـري، على النقيض من ذلك، يستهلــك 20 وات فقط. وعلى الرغم من صعوبة ملاحظة الحرارة المتولدة من العقل البشري، فإنها تفوق ما يتولد عن هذا الحاسب الآلي العملاق في الأداء. علاوة على ذلــك، فالعقل البشري يُعد أكثر الكائنات التي أنتجتها الطبيعــة الأم تعقيدا في هذا الجزء من المجرة. وحيث إننا لا نرى أي شاهد على أي مظهر آخر من مظاهر الحياة الذكية الأخرى في نظامنا الشمسي، فإن هذا يعني أنه يجب أن تذهب مسافة 24 تريليون ميل على الأقل، وهي المسافــة إلى أقــرب نجم، بل وقد تتجاوزه للبحث عــن كائن في مثل تعقيد العقل الكائن في جمجمتك.

ربمــا نكون قادرين على إجــراء هندسة عكسية للعقــل في غضون عشر سنــوات، لكــن هذا فقــط إذا توفّر لدينــا برنامج منفذ علــى وجه السرعة وبجميــع الإمكانات المُيسرة علــى غرار (مشروع مانهاتــن) الهائل، وإذا أنفقنــا عليــه بلايين الدولارات. بيــد أنه من غير المحتمــل أن يحدث هذا قريبا في ظل المناخ الاقتصادي الحالي. فالبرامج من هذا النوع مثل مشروع (الجينــوم البشـري)، والــذي تكلف 3 مليــارات دولار تقريبــا، تكفلت

الحكومـة الأمريكية بدعمها لمزاياها الصحيـة والعلمية. أما مزايا الهندسة العكسيـة للعقل فتُعد أقل أهمية، وتحتاج وقتا طويلاً. وسنحاول أن نشرح هـذا الهدف في خطوات بسيطة، لكن الأمر قـد يستغرق عقودا للانتهاء من هذا العمل التاريخي.

إن جهاز الحاسب الآلي الذي يحاكي العقل سيقفز بنا إلى منتصف القرن الحـالي. وحتى بفرض حدوث ذلك، فإنه سينقلنا عبر عقود عديدة لتنظيم تـلال البيانات التـي تتدفق من هذا المشـروع الهائـل، ومطابقتها بالعقل البشـري. أي أننا سنغرق في بحر من البيانـات دون أن تكون هناك طرق لاستبعاد البيانات غير ذات الصلة عن قصد.

تحليل العقل

لكن ماذا عن الطريقة الأخرى التي تحدد المكان الدقيق لكل خلية عصبية في العقل؟

إن هذه الطريقة صعبـة، وربما تستغرق عقودا أيضا من البحث المضني. وبـدلاً من استخدام أجهزة حاسـب فائقة مثل Blue Gene، سيلجأ هؤلاء العلمـاء إلى أسلوب تقسيم المعلومـات إلى أجزاء أصغر لفحصها، بدءا من تشريـح عقل ذبابـة الفاكهة إلى شرائح فائقة الدقـة بشكل لا يصدقه عقل، وبعرض لا يتجـاوز 50 نانو متر (حـوالي 150 ذرة) الأمر الذي سينتج لنا ملايين الشرائح. وسيقوم الميكرسكوب الإلكتروني الماسح بالتقاط صورة لـكل منها بسرعـة وبدرجة وضوح تقـترب من مليار بكسـل في الثانية. جديـر بالذكـر أن كم البيانـات التي سيفيضـ بها الميكرسكـوب الماسح

سيكـون مدهشا؛ حيث يصل إلى 1000 تريليون بايت من البيانات. بمعنى أن عقـلاً واحدا لذبابة فاكهة يكفي لملء غرفة تخزين كاملة. وقد تستغرق معالجـة هذه البيانـات حوالي خمس سنوات من خلال إعـادة إنشاء نظام شبـكات ثلاثي الأبعاد لكل خلية عصبية واحدة مـن عقل ذبابة الفاكهة. وللحصـول على صورة أكثر دقة عن هذا العقـل، يجب أن تشرح العديد من ذباب الفاكهة.

يرى جيري روبـين Gerry Rubin أحد رواد هذا المجال، والذي يعمل في (معهد هوارد هيوز الطبي) Howard Hughes Medical Institute، أن إعـداد خريطة تفصيلية تامة لعقل ذبابة الفاكهة بأكمله قد يستغرق عشرين سنـة. ويختتم كلامه قائلاً: (وبعد أن نحل هذه المشكلة، أستطيع أن أقول إننا قطعنا خمسـ الطريق إلى فهم العقل البشري). إن (روبين) يدرك تماما ضخامـة المهمـة التـي يواجهها؛ فالعقـل البشري يزيـد في حجم خلاياه العصبية عن عقـل ذبابة الفاكهة بمقدار مليون خليـة عصبية. وإذا احتجنا إلى عشرين سنـة لتعريف خلية عصبية واحدة من عقل ذبابة الفاكهة، فمن المؤكد أننا سنحتـاج إلى عقود عديدة أكثر من ذلك لتعريف البنية العصبية للعقل البشري. حقا إن تكلفة هذا المشروع هائلة للغاية.

لذا، فإن العاملين في مجـال الهندسة العكسية للعقل محبطون؛ فهم يرون أن هدفهـم صار قاب قوسـين أو أدنى، بيد أن ضعف التمويل يقف حائلاً أمامهـم. ومن الناحية الأخـرى، يبدو منطقيا أن نفترضـ أنه في وقتٍ ما في منتصـف هذا القـرن، ستكون لدينا قدرة جهـاز حاسب تحاكي العقل البشري، ونعكس خرائـط للبنية العصبية للعقل. لكننا قد نحتاج للانتظار

حتـى نهاية هذا القرن قبـل أن نفهم تماما الفكر البشـري أو ننشئ جهازا يمكنه محاكاة وظائف العقل البشري.

وحتـى لو كان لدينـا المكان الدقيق لـكل جين داخل نملـة، على سبيل المثـال، فهذا لا يعنـي أننا نعرف كيف نُقيـم بيت النمـل. وبالمثل، فكما أن العلمـاء يعرفـون الآن تقريبا 25000 جين يؤلـف الجينوم البشري – أو الخريطـة التشريحية التـي توضح توزيع (الجينـات) أو حاملات الصفات الوراثية في الإنسان داخل الخلايا البشرية – فهذا لا يعني أننا نعرف كيف يعمـل الجسم البشري. إن مشروع الجينوم البشري أشبه بقاموس يخلو من تعريفات؛ فكل جين في الجسـم البشري يُنطق صراحة في القاموس، لكن مـا يفعله ما زال لغزا كبيرا. فكل جين يفـك شفرة بروتين معين، لكن من غير المعروف الكيفية التي تعمل بها أغلبية هذه البروتينات في الجسم.

وإذا رجعنـا إلى الوراء حتى عام 1986، نجـد أن العلماء استطاعوا تحديد مـكان جميع الخلايـا العصبية تمامـا في الجهـاز العصبي لـدودة (الربداء الرشيقـة) C. elegans. وقد تم الإعلان عن هذا الخبر مبدئيا على أنه ثورة يمكـن أن تسمح لنا بفك شفرة غموض العقل البشري. لكن معرفة المكان الدقيق لخلاياه العصبية البالغة 302 و6000 نقطة اشتباك عصبية كيميائية لن يضيف إلينا أي فهم جديد للكيفية التي تعمل بها الدودة، حتى لو انتظرنا عقودا أخرى.

وبهـذه الطريقة، فإننـا بحاجة للانتظار عدة عقود، حتـى بعد الهندسة العكسيـة للعقل لفهم كيفية عمل هذه الأجزاء وتركيبها معا. وإذا استطعنا في النهاية هندسة العقل عكسيا، وفك شفرته تماما بنهاية القرن، فسنكون

قـد قفزنا قفزة عملاقة في إنشاء أجهـزة روبوت شبيهة بالإنسان. لكن ما الذي يمنعنا من المضي قدما في هذا الأمر؟

المستقبل البعيد (2070 إلى 2100)

عندما تصبح الأجهزة واعية

في سلسلة أفلام (المدمر) Terminator، يفتخر البنتاجون بإزاحة الستار عن Skynet، شبكة كبيرة ممتدة من أجهزة الحاسب الآلي غير المعرضة للوقوع في أخطاء والمصممة للتحكم بموثوقية تامة في مستودع الأسلحة النووية بالولايات المتحدة الأمريكية. ومع تسلسل الأحداث، تظل هذه الأجهزة تنفذ مهامها دون أخطاء إلى أن يحدث شيء غير متوقع في أحد أيام 1995. لقد تسللت حالة من الوعي والإدراك إلى أجهزة Skynet، لينزل هذا الخبر كالصاعقة على المبرمجين القائمين على إدارتها، فيحاولون تعطيل تلك الإمكانية، لكن السيف يسبق العذل. وفي محاولة منها للدفاع عن نفسها، تقرر أجهزة Skynet أن الطريقة الوحيدة لحماية نفسها هي تدمير البشرية عن طريق إشعال حرب نووية مدمرة. وسرعان ما يموت على أثرها ثلاثة مليارات شخص في جحيم تلك الحرب المستعرة. وبعد هذه الكارثة المروعة، تطلق أجهزة Skynet العنان لفيلق من الأجهزة الآلية القاتلة لذبح الفلول المتبقية، ثم تفتت الحضارة الحديثة وتتصاغر لتنحصر في شراذم من الأشخاص غير الأكفاء والمتمردين.

والأسوأ من ذلك ما يقدمه فيلم Martix Trilogy، من صورة للبشر يبدون فيها غاية في البدائية حتى إنهم لا يدركون أن الأجهزة قد أمسكت بزمام الأمور بالفعل. فالبشر يؤدون مهامهم اليومية، معتقدين أن كل شيء

على ما هو عليه متناسين حقيقة أنهم يعيشون بالفعل في غرف. إن عالمهم عبارة عن محاكاة حقيقة افتراضية يديرها ساداتهم من أجهزة الروبوت. لقد صار (الوجود) الإنساني في نهاية الأمر عبارة عن برنامج يجري تشغيله في جهاز حاسب كبير، تتم تغذيته من عقول البشر الذين يعيشون في هذه الغرف. والسبب الوحيد الذي يجعل الأجهزة تبقي على البشر من حولها هو استخدامهم كبطاريات.

وبالطبع، فإن مدينة هوليوود تتربح من إخافة جمهورها وإفزاعه بمثل هذه الأحداث، لكنها تطرح سؤالاً علمياً وصحيحا: ماذا سيحدث إذا أصبحت أجهزة الروبوت في مثل ذكائنا؟ ماذا سيحدث عندما تصير أجهزة الروبوت واعية؟ إن العلماء يتناقشون حول هذا السؤال بقوة، وليس فقط (ماذا لو...؟) لكن متى سيقع هذا الحدث المهم.

يرى بعض الخبراء أن أجهزة الروبوت التي ننتجها ستتطور تدريجيا وستصعد سلم الارتقاء. فمستوى ذكائها الحالي في مستوى ذكاء الصراصير، بينما في المستقبل، سيرتقي ويصل إلى مستوى ذكاء الفئران والأرانب والكلاب والقطط والقرود، لتنافس البشر بعد ذلك. وقد يستغرق الأمر عقودا لارتقاء هذا السلم ببطء، لكنهم يعتقدون أنها مسألة وقت قبل أن تفوقنا هذه الآلات ذكاءً.

إن الباحثين في الذكاء الاصطناعي منقسمون حول وقت حدوث ذلك. فالبعض يقولون إنه خلال عشرين عاما، ستقترب أجهزة الروبوت من ذكاء العقل البشري، وستمنينا بهزيمة ساحقة. وفي عام 1993، قال فرنور فينجي Vernor Vinge: (إنه خلال ثلاثين عاما، ستتوفر لدينا الوسائل

التكنولوجيــة لإنشاء ذكاء خارق لــذكاء البشر. وبعد فترة قصيرة، سينتهي عصــر البشر .... وسأكون مندهشــا إذا وقع هذا الحدث قبل 2005 أو بعد 2030).

علــى الجانــب الآخــر، يقــول دوغلاس هوفستادتــر[1] Douglas Hofstadter، مؤلــف كتاب Godel، Escher، Bach: (سأندهش كثيرا إذا حدث شيء مثل هذا خلال المئة سنة وحتى المائتي سنة المقبلة).

وعندمــا تحدثــت إلى الباحث مارفــين مينسكــي Marvin Minsky من معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، وهو إحدى الشخصيات المؤسسة في تاريــخ الذكاء الاصطناعــي، كان حريصا على إبلاغنا أنــه لم يضع جدولاً زمنيا لوقوع هذا الحدث. لكنه يعتقد أن هذا اليوم آتٍ، بيد أنه يربأ بنفسه عــن أن يكون عرافا وينجِّم التاريخ الدقيق لحــدوث ذلك. (ونظرا لكونه أقــدم شخص في مجال الــذكاء الاصطناعي، ذلك المجــال الذي ساعد في إنشائــه من البداية، فإنه ربما يكون قد شهــد فيه فشل العديد من التوقعات والتراجع عنها).

يكمــن جزءٌ كبــير من المشكلة في أنــه لا يوجد إجماع عــام فيما يتعلق بمعنى كلمــة الوعي. لقد اختلف الفلاسفة وعلمــاء الرياضة حول الكلمة لعدة قرون، ولم يكن لديهم شيء للتدليل عليها. لقد كتب المفكر جوتفريد ليبنز Gottfried Leibniz، مخترع الآلة الحاسبة في القرن السابع عشر، ذات

(1) دوغلاس هوفستادتــر Douglas Hofstadter: أكاديمي أمريكي عُرف بشكل خاص عن طريق كتابه (الحديقة الذهبية الأبدية) عن الحوسبة والذكاء الاصطناعي وفاز بجائزة بوليتزر عام 1980. (المترجم)

مرة: (إذا استطعت أن تكبّر العقل إلى أن يصل إلى حجم الطاحونة، وتسير بداخلـه، فلن تجد وعيا). أما الفليسوف ديفيد تشالمرز David Chalmers فقد قام بتصنيف 20 ألف ورقة مكتوبة عن هذا الموضوع، دون أن يخرج بشيء نهائيا.

لم يحـدث مطلقا في مجال العلم أن تهافت الكثيرون على موضوع كهذا ورصدوا له الكثير ولم يجنوا سوى القليل. ولسوء الحظ، فإن الوعي كلمة تعني مفاهيم مختلفة لدى أشخاص مختلفين. ومن المؤسف حقا أنه لا يوجد تعريف متفق عليه جماعيا.

وإنني شخصيا أعتقـد أن إحدى المشكلات تكمن في عدم القدرة على وضع تعريف عام للوعي، والفشل في تحديده كمّا.

لكـن إذا كان لي أن أخمن، فسأفترض أن الوعـي يتألف على الأقل من ثلاثة مكونات أساسية:

1 – الشعور بالبيئة وإدراكها

2 – الوعي بالذات

3 – التخطيط للمستقبـل من خلال تحديد الأهداف والخطط، المتمثلة في محاكاة المستقبل ووضع استراتيجية

وبنـاءً على ذلك، فإنه حتى الأجهـزة البسيطة والحشرات لها درجة من درجات الوعي التي يمكن تصنيفها على مقياس يتدرج من 1 إلى 10. فهناك سلسلـة متصلة من الوعي يمكن قياسهـا كما. فالشاكوش على سبيل المثال لا يشعر بالبيئة من حوله. لذا، فإن تقييمه على هذا المقياس سيأخذ صفرا، لكـن الثرموستات يستطيع ذلك. إن جوهر عمـل الثرموستات يكمن في

أنــه يستطيع أن يشعر بدرجة حــرارة البيئة، ويتصرف بناءً عليها من خلال تغييرها. لــذا فسيأخذ التصنيف 1. وبناءً على ذلك، فإن الماكينات المزودة بتقنيات تعطي تقارير إفادة تنطوي على نموذج بدائي من الوعي. والديدان أيضــا لها هذه القــدرة؛ فهي تستطيــع أن تشعر بوجود الطعــام وبرفاقها وبالخطــر المحدق بها وتتفاعل وفقا لتلــك المعلومات، لكنها لا تفعل أكثر من ذلك. أما الحشــرات فتستطيع أن تكتشف أكثر من معامل واحد (مثل الضــوء والصوت والروائح والضغط وما شابــه)، لذا فهي تأتي في ترتيب رقمي أعلى، ربما 2 أو 3.

وتتمثــل أرقى صــور هذا الإدراك الحسي في القــدرة على التعرف على الكائنات الموجودة في البيئة وفهمها. فالبشر يمكنهم تقييم بيئتهم والتصرف بنــاءً عليهــا في الحــال، وبالتالي فهم يحصلــون على أعلــى درجة في هذا المقياس. وهنا تسجــل أجهزة الروبوت أقل درجة؛ فالتمييز النمطي، كما رأينــا، إحدى العقبات الأساسية التي تعترض الذكاء الاصطناعي. صحيح أن أجهزة الروبوت تستطيع أن تشعر ببيئتها أكثر من الأشخاص، لكنها لا تستطيــع فهم ما تراه أو التعرف عليه. وعلى هذا المقياس من الوعي، تأتي أجهــزة الروبوت في المرتبة الأدنى مع الحشرات نظرا لافتقارها إلى التمييز النمطي.

أما المستوى التالي الأعلى في الوعي فيتضمن الوعي بالذات. على سبيل المثال، إذا وضعت مــرآة أمام أغلب الحيوانات الذكور، فستتفاعل بشكل عدائي في الحال، بل إنها ستهاجم المرآة؛ فالصورة تجعل الحيوان يدافع عن موطنه. وكثيرٌ من الحيوانات تفتقر إلى الوعي بذاتها، لكن القردة والأفيال

والدلافين وبعض الطيور تدرك سريعا أن الصورة الموجودة في المرآة تمثلها، وتكف عن مهاجمتها. وعلى الجانب الآخر، يأتي تصنيف البشر في أعلى المقياس؛ لأنهم يملكون إحساسا راقيا بأنفسهم مقارنة بالحيوانات الأخرى والأشخاص الآخرين والعالم من حولهم.

بالإضافة إلى ذلك، يتمتع البشر بوعي كبير بأنفسهم؛ فهم يستطيعون التحدث إلى أنفسهم في صمت، وبالتالي يستطيعون تقدير الموقف من خلال التفكير.

ثالثا، يمكن تصنيف الحيوانات حسب قدرتها على إعداد خطط للمستقبل. فالحشرات، وفقا لمعتقداتنا، لا تضع أهدافا واضحة لمستقبلها. فبدلاً من ذلك، يصدر معظمها ردود أفعال على المواقف المباشرة لحظة حدوثها مستندةً في ذلك إلى غريزتها وإلى ما يدور حولها في البيئة المحيطة.

من هذا المنطلق، تعد الحيوانات المفترسة أكثر وعيا من الفريسة. فالحيوانات المفترسة بحاجة إلى التخطيط أولاً. ويتمثل هذا التخطيط في البحث عن أماكن للاختباء والتخطيط للهجوم على الفريسة والمطاردة في خلسة وتوقع مقاومة الفريسة. وعلى الجانب الآخر، ما على الفريسة سوى الهروب والفرار، لذا فهي تحتل مكانة أقل تبعا لهذا التصنيف.

علاوةً على ما سبق، فالحيوانات الرئيسة يمكنها التصرف دون تفكير مثلما يمكنها التخطيط للحظة القادمة. فإذا ما ظهرت أمامها ثمرة موز بعيدة المنال قليلاً، فحينئذٍ يمكنها ابتكار الخطط والاستراتيجيات للإمساك بهذه الثمرة، مثل الاستعانة بعصا ما. لذلك، فعندما تواجه هذه الحيوانات

الرئيسة هدفا معينا (اختطاف الطعام)، فإنها ستعد الخطط على الفور للحظة القادمة لتحقيق هذا الهدف.

لكن في المجمل، لا تمتلك الحيوانات حس التطوير الجيد سواء للماضي البعيد أو المستقبل البعيد. وبشكل واضح، تعد فكرة (الغد) غير موجودة في مملكة الحيوانات. ولا يتوفر دليل لدينا أن بإمكانها التفكير في المستقبل حتى ولو كان هذا المستقبل عبارة عن أيام قلائل. (فالحيوانات تقوم بتخزين الطعام استعدادا منها لمجابهة الشتاء. لكن هذا السلوك سلوك عام بدرجة كبيرة؛ نظرا لأنها تحمل في جيناتها التفاعل مع الحرارة من خلال البحث عن الطعام).

على الصعيد الآخر، يمتلك البشر حسا جيدا للتفكير في المستقبل، ويقوم البشر باستمرار بعمل خطط للمستقبل. فدائما ما نقوم بعمل محاكاة للواقع في أذهاننا. وفي الواقع، بمقدورنا التفكير في خطط مستقبلية تتعدى نطاق الوقت الذي نحياه بالفعل. كما نستطيع الحكم على الآخرين من خلال قدرتهم على التنبؤ بالمواقف الناشئة وتشكيل استراتيجيات محددة وواقعية. ويتمثل الجزء المهم من القيادة في التنبؤ بالأحداث المستقبلية وتقدير النتائج المحتملة وإعداد الأهداف والغايات تبعا لذلك.

بمعنى آخر، يشتمل هذا النوع من الوعي على التنبؤ بالمستقبل. ويعني ذلك الأمر إنشاء عدة نماذج تتشابه مع الأحداث المستقبلية. ويتطلب ذلك تفهما شديدا بالفطرة السليمة وقواعد الطبيعة. ويعني ذلك أن تطرح على نفسك سؤالاً بصفة متكررة، ألا وهو (ماذا لو). سواء أكنت تخطط لسرقة بنك أم تود الفوز بمنصب الرئاسة، فإن هذا النوع من التخطيط يعني

القدرة على تنظيم مواقف عديدة تحاكي المواقف الواقعية في ذهنك.

تشـير جميع الإشارات إلى أن البشر وحدهم هم من يقدرون على القيام بهذه المهارة بطبيعتهم.

كمـا يتضـح لنا ذلك أيضـا عند تحليـل الأوضاع النفسيـة لموضوعات الاختبار. فعادةً ما يقوم الأطباء النفسيون بمقارنة الأوضاع النفسية للبالغين مع أوضاعهـم النفسية ذاتها، لكن حينما كانوا صغارا. عندئذٍ، يتبادر إلى الذهن سؤال، ألا وهو: ما الصفة الوحيدة التي تتنبأ بنجاحهم في الزواج أو العمل أو الثروة أو ما شابه؟ عندما يقوم الفرد بتعويض العوامل الاقتصادية الاجتماعيـة، يجـد أن الصفة الوحيـدة التي أحيانا ما تنبـع من غيرها من الصفات الأخرى هي القدرة علـى تأجيل المتعة. ووفقا للدراسات طويلة الأجل التي أجراها والتر ميشيل Walter Mischel بجامعة كولومبيا وغيره الكثـيرون، فالأطفال الذين تكون لديهـم القدرة على الإعراض عن المتعة الفوريـة (مثـل تناول المارشملـو الممنوح لهم) والانتظـار للحصول على مكافآت أكبر وأعظم على المـدى البعيد (الحصول على قطعتين مارشملو بدلاً من واحدة)، دائما ما ينالون أعلى الدرجات في جميع مقاييس تحقيق النجـاح المستقبلي تقريبا، على مستوى اختبارات SAT (اختبار التحصيل الدراسي) وعلى مستوى الحياة والحب والعمل أيضا.

عـلاوة على ذلك، تشير القدرة على تأجيل المتعة أيضا إلى مستوى أعلى مـن الوعي والإدراك. فهؤلاء الأطفـال كانوا قادرين على محاكاة المستقبل وإدراك أن المكافآت المستقبلية لأفعالنا تتطلب مستوى أعمق من الإدراك.

لذلـك، ينبغي أن يهدف باحثـو الذكاء الاصطناعـي إلى صنع روبوت

(إنسان آلي) يجمع بين الصفات الثلاثة. فالصفة الأولى يصعب تحقيقها، نظرا لأن الروبوت بإمكانه أن يستشعر البيئة المحيطة به دون أن يدركها. فمن الأسهل تحقيق الوعي الذاتي. لكن التخطيط للمستقبل يتطلب الفطرة السليمة والحدس لإدراك الممكن والاستراتيجيات المحددة لتحقيق أهداف معينة.

بناءً على ذلك، نجد أن الفطرة السليمة تعد متطلبا أساسيا لأعلى مستويات الإدراك. ولكي يقوم روبوت بمحاكاة الواقع والتنبؤ بالمستقبل، يجب أولاً أن يجيد قواعد الفطرة السليمة عن العالم المحيط به. لكن الحس العام لا يكفي وحده. فالحس العام لا يمثل سوى (قواعد اللعبة) بدلاً من أن يمثل قواعد الاستراتيجيات والتخطيط.

يمكننا إذا باستخدام هذا المقياس تصنيف أنواع آلات الروبوت المتنوعة كافة التي تم صنعها.

على سبيل المثال، نجد أن آلة لعب الشطرنج Deep Blue تحتل مرتبة متدنية للغاية في التصنيف. فبإمكانها أن تهزم بطل العالم في الشطرنج، لكن لا يسعها القيام بأي شيء آخر. فهي بإمكانها محاكاة الواقع، لكن في لعب الشطرنج فقط. فلا تستطيع هذه الآلة محاكاة أي واقع آخر. وينطبق ذلك الأمر على الكثير من أجهزة الحاسب الآلي الكبرى في العالم. فهي بارعة في محاكاة الواقع لهدف ما، مثل إعداد نماذج لانفجار نووي، وقوالب الريح المحيطة بطائرة نفاثة أو نماذج للطقس وهكذا.. ويمكن لأجهزة الحاسب الآلي هذه محاكاة الواقع بصورة أكبر من البشر. لكنها تحاكيه بصورة أحادية البعد للأسف، ولذلك فهي تفشل في النجاح في العالم الحقيقي.

في الوقت الحالي، يجهل باحثو الذكاء الاصطناعي كيفية تكرار جميع هذه العمليات داخل الروبوت. فالغالبية العظمى منهم يرون أنه ليس بإمكانهم فعل المزيد ويقولون إن شبكات الحاسب الآلي الضخمة إلى حد ما ستعرض (ظواهر ناشئة) بالطريقة نفسها التي ينبثق بها النظام بتلقائية من الفوضى. وعند السؤال الدقيق عن كيفية تسبب هذه الظواهر الناشئة في إحداث الوعي، فالغالبية العظمى منهم تلوذ بالصمت.

على الرغم من عدم معرفتنا بكيفية صنع روبوت يتسم بالوعي، فبمقدورنا تخيل شكل الروبوت الأكثر تقدما منا نحن البشر بفضل هذا النظام لقياس الوعي.

ستتفوق آلات الروبوت في الصفة الثالثة، حيث ستكون قادرة على تنظيم عمليات محاكاة معقدة للمستقبل البعيد الذي بانتظارنا، بمزيد من وجهات النظر ومزيد من التفاصيل والعمق. وستتسم عمليات المحاكاة هذه بدقة أكثر من تلك التي نبتكرها؛ نظرا لأنها ستتمتع بقدر أكبر من الحس العام ومن قواعد الطبيعة. ومن ثم، فستكون قادرة بصورة أكبر على البحث عن الأنماط. كما ستتوفر لديها القدرة أيضا على توقع المشكلات التي قد نتغافل عنها أو حتى لا ندركها على الإطلاق. علاوةً على ما سبق، فستكون قادرة على وضع أهدافها الخاصة. فإذا ما اشتملت أهدافها على مساعدة العنصر البشري، فسيفلح الأمر. لكن إذا ما قامت ذات يوم بصياغة الأهداف بالاعتماد على البشر، فسيكون لذلك الأمر تبعات غير محمودة.

لكن هذا يؤدي إلى طرح السؤال التالي: ما الذي سيحدث للبشر في هذا السيناريو؟

عندما تتفوق آلات الروبوت على البشر

في أحد السيناريوهات، نُطرح نحن البشر الضعفاء جانبا باعتبارنا تذكارا للتقدم. إنه قانون التقدم الذي يناسب الفصائل التي تنشأ لتحل محل الفصائل غير المناسبة. وربما يضيع البشر في الدوامة وينتهي بهم الحال في حدائق الحيوانات حيثما ستأتي المخلوقات الآلية لكي تحملق بأعينها لرؤيتنا. ربما كان ذلك هو القدر المكتوب لنا، أن نصنع أجهزة روبوت فائقة لكي تعاملنا كمخلوق بدائي يزعج تطورها. ربما يكون هذا هو دورنا في التاريخ أن نصنع خلفاءنا على الأرض من الكائنات المتطورة. وانطلاقا من وجهة النظر تلك، فسيتمثل دورنا في الابتعاد عن طريقها تماما.

ذات يوم، أسر لي (دوغلاس هوفستادتر) أن ذلك ربما يمثل النظام الطبيعي للأشياء، لكننا ينبغي علينا معاملة أجهزة الروبوت الفائقة تلك كما نعامل أطفالنا، فهي كذلك بالفعل بشكل ما. فإذا ما كان باستطاعتنا العناية بأطفالنا، فلماذا إذن لا نستطيع رعاية هذه المخلوقات الذكية التي لها مكانة أطفالنا أيضا؟

يفكر (هانز مورافيك) في الشعور الذي قد يراودنا بعد أن تحل محلنا أجهزة الروبوت، حيث يقول: (... قد تبدو الحياة تافهة إذا كان قدرنا هو قضاؤها في مجرد النظر إلى ما صنعناه بأيدينا من آلات فائقة الذكاء وهي تحاول أن تصف أكثر اكتشافاتها إثارة وهي تتحدث بطريقة الأطفال بحيث يمكننا الاستيعاب).

في النهايـة، عندمـا نواجه هـذا اليوم المحتـوم الذي تتفـوق فيه آلات الروبوت عن البشر، فحينئذٍ لن نكون نحن البشر المخلوق الأكثر ذكاءً على سطح البسيطة فحسب، وإنما قد تصنـع المخلوقات التي صنعناها بأنفسنا نسخا منهـا بحيث تكون أذكى منهـا هي نفسها. وعندئـذٍ، سيقوم هذا الجيش مـن آلات الروبوت ذات النسخ الذاتي بصنـع أجيالٍ غير متناهية مـن الروبوت في المستقبل. ويكـون كل جيل أكـثر ذكاءً من الجيل الذي يسبقـه. نظـرا لأن آلات الروبوت يمكنها إنتاج أجيـال من الروبوت أكثر ذكاءً في فـترة قصيرة من الوقـت، ففي النهاية سوف تنفجـر هذه العملية بشـكل متسـارع إلى أن تنضب موارد الكوكب الـذي نحيا على سطحه خلال سعيها الدؤوب لكي تصبح أكثر ذكاءً.

في أحـد السيناريوهات، ستؤدي هذه الرغبة الجامحة نحو الذكاء المتزايد يومـا بعد يوم في نهايـة الأمر إلى نضب الموارد الموجـودة على سطح هذا الكوكـب. لذا، ستنتشر أجهزة الحاسـب الآلي في أنحاء العالم كافة. بعض التصـورات تذهـب إلى أن أجهزة الإنسان الآلي هـذه ستنطلق عندئذٍ في الفضـاء لكي تتابع بحثها عن المزيد من الـذكاء إلى أن تصل إلى الكواكب والنجوم والمجرات الأخرى وتنشر أجهزة الحاسب على سطحها كما هو الحال مع كوكب الأرض. لكن نظرا لابتعاد الكواكب والنجوم والمجرات بشـكل متناهٍ عن كوكب الأرض، فمـن المحتمل أن تقوم أجهزة الحاسب الآلي بتغيير قوانين الفيزيـاء لكي تسبق هذه الرغبة الجامحة سرعة الضوء في اختراق أنظمة النجوم والمجرات. قد يعتقد البعض أن هذه الرغبة قد تغمر الكون بأكمله بحيث يتحول الكون بأسره إلى عالم ذكي.

وهذا هو (التفرد). وفي الأصل، تم اشتقاق هذه الكلمة من مجال الفيزياء النسبية – وهو مجال تخصصي – حيث يمثل (التفرد) نقطة الجاذبية الأرضية المطلقة التي لا يمكن لأي شيء الفرار منها، مثل حفرة سوداء. ونظرا لعدم قدرة الضوء نفسه على الفرار، فإن هناك آفاقا وراء ما يمكننا رؤيته.

تم ذكر فكرة تفرد الذكاء الاصطناعي للمرة الأولى في عام 1958، في حوار دار بين اثنين من علماء الرياضيات، وهما ستينسلو أولام Stanislaw Ulam (صاحب هذا التقدم المذهل في تصميم القنبلة الهيدروجينية) وجون فون نويمان John Von Neumann. وقد ذكر (أولام) قائلاً: (لقد ركز أحد الحوارات على التقدم المتسارع للتكنولوجيا والتغيرات في نمط حياة البشر، والذي يعكس الاقتراب من التفرد الجوهري في تاريخ الجنس البشري، بعيدا عما يتعذر على الشؤون الإنسانية متابعته، نظرا لمعرفتنا بها. وقد ظلت هذه الفكرة بصورها المتعددة مستمرة على مدار عقود. لكنها توسعت حينئذ وذاع صيتها عن طريق مؤلفي قصص الخيال العلمي وعالم الرياضيات فيرنر فينج Vernor Vinge في رواياته ومقالاته.

لكن هذا يبعث في الأذهان سؤالاً لم تتم الإجابة عنه بعد، ألا وهو: متى سيحدث هذا التفرد بالفعل؟ هل خلال فترة حياتنا؟ ربما في القرن القادم؟ أو لن يحدث مطلقا؟ وجميعنا يتذكر أن المشاركين في مؤتمر أسيلومار قد حددوا تاريخا يقع في نطاق زمني يتراوح بين 20 عاما إلى 1000 عام.

يعد راي كورزويل Ray Kurzweil هو المتحدث باسم التفرد وهو مخترع وكاتب تحقق مؤلفاته أعلى المبيعات. وهذا الرجل لديه ولع شديد

باستنتاج تنبؤات تقوم على التطور المتسارع للتكنولوجيا. وقد أخبرني (كورزويل) ذات مرة أنه عند تدقيق النظر في النجوم البعيدة ليلاً، ربما يتمكن المرء من رؤية بعض الدلائل الكونية على التفرد الموجود في بعض المجرات البعيدة. ومع وجود القدرة على تبديد نظم النجوم بأكملها أو إعادة ترتيبها، ينبغي أن توجد هناك بعض الآثار التي خلفتها فكرة التفرد هذه المنتشرة بشكل واسع. (وقد ذهب بعض الذين يريدون النيل منه إلى أنه يحاول إثارة الحماسة المتعلقة بالدين نوعا ما حول فكرة التفرد. ومن ناحية أخرى، ذكر مؤيدوه أنه يمتلك قدرة ممتازة على رؤية المستقبل بشكل صحيح، والدليل على ذلك يتمثل في أعماله السابقة).

وقد اكتسب (كورزويل) خبرة واسعة فيما يتعلق بثورة أجهزة الحاسب الآلي، وذلك من خلال تأسيس شركات في مختلف المجالات، مثل تكنولوجيا التعرف على الصوت والتعرف على الأحرف الممسوحة ضوئيا وأدوات لوحة المفاتيح الإلكترونية. وفي عام 1999، قام بتأليف كتابه الأكثر مبيعا، The Age of Spiritual Machines: When Computers Exceed Human Intelligence[1]. وقد تنبأ هذا الكتاب بالوقت الذي ستتفوق فيه أجهزة الروبوت عنا نحن البشر في الذكاء. وفي عام 2005، قام بتأليف كتابه الذي يدعى باسم (The Singularity Is Near) ووضح فيه تلك التنبؤات. وقد ذكر أن هذا اليوم المحتوم الذي ستتفوق فيه أجهزة الحاسب الآلي على الذكاء البشري سيأتي على مراحل.

(1) يعبر هذا الكتاب عن فكرة عصر الآلات الروحانية: عندما تتفوق أجهزة الحاسبات الآلية على الذكاء البشري. (المترجم)

تنبأ (كورزويل) أنه بحلول عام 2019، سيكون لدى الحاسب الآلي الشخصي الذي يُقدر بنحو 1000 دولار أمريكي قدر من الطاقة يعادل المخ البشري. وبعد هذا الوقت بفترة قصيرة، ستتفوق أجهزة الحاسب الآلي علينا نحن البشر بدرجة مذهلة. فبحلول عام 2029، سيتوفر لدى الحاسب الشخصي الذي يقدر بألف دولار أمريكي قدر من الطاقة يعادل ألف مرة قدرة المخ البشري. وبحلول عام 2045، فإن الحاسب الآلي الشخصي الذي يقدر ثمنه بنحو ألف دولار أمريكي ستضاعف طاقته ذكاء كل العقول البشرية جمعاء بلايين المرات. حتى أجهزة الحاسب الصغيرة ستتفوق على قدرة الجنس البشري بأكمله.

بعد عام 2045، ستصبح أجهزة الحاسب الآلي متقدمة للغاية لدرجة أنها ستتمكن من نسخ نفسها بمستوى ذكاء دائم التزايد يوما بعد يوم، مما يجعلها متفردة بشكل منقطع النظير. ولإشباع هذه الرغبة الجامحة غير المتناهية لطاقة الحاسب الآلي، فستشرع الأجهزة في إبادة الأرض والكواكب والنجوم والكويكبات وستؤثر على التاريخ الكوني للكون نفسه.

لقد سنحت لي الفرصة لزيارة (كورزويل) في مكتبه خارج بوسطن. ومن يجتاز الممر المؤدي إلى مكتبه، يستطيع أن يرى الجوائز والأوسمة التي نالها، وكذلك بعض الآلات الموسيقية التي صممها والتي يستخدمها كبار الموسيقيين مثل ستيف وندر Stevie Wonder. شرح لي (كورزويل) أن نقطة تحوّل فاصلة حدثت في حياته عندما خضع للفحص الطبي بالمصادفة، لتتضح إصابته بداء السكري من الدرجة الثانية، وهو في

الخامسة والثلاثين. لقد صدمته حقيقةٌ مروعة ومفاجئة بأنه لن يمتد به العمر ليرى صدق توقعاته. فجسده بعد سنوات من الإهمال أصابه من الوهن ما يفوق عمره الفعلي. وبسبب انزعاجه من هذا التشخيص، أخذ يبحث مشكلته الصحية بالقدر نفسه من الحماس والطاقة الذي استخدمه في إحداث ثورة في عالم الحاسب الآلي. (إنه يتعاطى الآن أكثر من مئة قرص طبي في اليوم، وقد شرع في كتابة مؤلفات عن الثورة في إطالة العمر. فهو يتوقع أن الثورة الجديدة في عالم أجهزة الروبوت الميكروسكوبية ستكون قادرة على تنظيف الجسم البشري وإصلاحه بحيث يستطيع أن يعيش فترة أطول. ومن منطلق فلسفة (كورزويل)، يريد أن يحيا طويلاً ليرى الثورات الطبية التي يمكن أن تطيل الأعمار لأجل غير مسمى..بمعنى أنه يريد أن يمتد به العمر بما يكفي لأن يعيش إلى الأبد).

وقد بدأ مؤخرا في وضع خطة طموحة لافتتاح (جامعة التفرد) في مركز أبحاث (أيمس) Ames التابع لوكالة ناسا في منطقة الخليج في سان فرانسيسكو، وهي ترمي إلى تدريب كادر من العلماء لإعدادهم للتفرد الوشيك.

هناك كثير من أوجه الشبه والاختلاف بين هذه الأفكار المتعددة. ويعتقد (كورزويل) نفسه: (بأن هذا ليس غزوا لأجهزة ذكية قادمة من الفضاء، لكننا نحاول أن نندمج مع هذه التكنولوجيا..بمعنى أننا سنغرس هذه الأجهزة الذكية في أجسامنا وعقولنا لتجعلنا نعيش حياة أطول ونتمتع بصحة أكثر).

إن أية فكرة مثيرة للجدل مثل (التفرد) محكوم عليها بردة فعل عنيفة.

وفي هـذا الصـدد، يقـول ميتش كابـور Mitch Kapor مؤسـس شركة Lotus Development Corporation: إن التفـرد عبارة عن (تصميم ذكي للأشخاص الحاصلين على 140 في اختبارات الذكاء... ومن وجهة نظري، فإن هذا الاقتراح – الذي نحن بصدده والذي سيكون فيه كل شيء مختلفا بشـكل لا يصدقه عقل – إنما ينبع مـن وازع ديني في الأساس. ولا يمكن لكل هذه التلويحات الرافضة أن تحجب عن ناظري هذه الحقيقة).

يعلـق دوغلاس هوفستادتر على ذلك قائـلاً: (إن هذا الأمر أشبه بجمع الكثـير من الطعام الجيد والطعام الفاسـد، ثم مزجهما معا بحيث لا يمكن التمييـز بين النافع والضار. حقا إنه مزيجٌ قويٌ بين الأفكار الجيدة والسيئة ومـن الصعب فصلهما عن بعضـ؛ لأن الأشخاص القائمـين عليه أذكياء وليسوا أغبياء).

لا أحد يعرف كيف سينتهي هذا الأمر، لكنني أعتقد أن السيناريو الأكثر احتمالاً سيكون كالتالي.

السيناريو الأكثر احتمالاً: الذكاء الاصطناعي الصديق

بـادئ ذي بدء، هناك احتمال أن يتخذ العلمـاء إجراءات بسيطة للتأكد مـن عدم خطورة أجهزة الروبوت عليهـم. وأضعف الإيمان أن بإمكانهم وضـع شريحـة في عقول هذه الأجهـزة لإغلاقها تلقائيـا إذا كانت لديها أفـكار قاتلة. وفي هذا الصدد، سيتم تزويد جميع أجهزة الروبوت الذكية بنظـام مأمون من الإخفاق يمكن تشغيله من جانب الإنسان في أي وقت، خاصـة عندما يتصرف الروبوت تصرفا خاطئا. وعنـد لمح أقل بادرة تنبئ

عن تعطل جهاز الروبوت، سيتسبب أي أمر صوتي في إغلاقه على الفور.

يمكن أيضا إنشاء أجهـزة روبوت قناصة ومتخصصة تتمثل وظيفتها في تعديل أجهزة الروبوت الشاذة. وسيتم تصميم مثل هذه الأجهزة خصيصا بحيـث تكون فائقة السرعة والقوة والتنظيـم للسيطرة على الأجهزة التي انحرفت عن هدفها. ويكمن الهدف من الاستعانة بتلك الأجهزة في فهم نقاط الضعف في أي نظام آلي، ومعرفة كيفية التصرف إزاء ظروف معينة، ويمكـن أيضا تدريب البشر علـى هذه المهارة. على سبيـل المثال، في فيلم Blade Runner، نشاهـد مجموعة أشخاص، من بينهم شخص لعب دوره الممثـل هاريسون فـورد Harrison Ford، مدربين على استخدام التقنيات الضرورية لإبطال تأثير الروبوت المؤذي.

وحيث إن الأمر قد يستغرق عقودا من العمل المضني حتى ترتقي أجهزة الروبـوت على مهل في مقياس متطور، فلن تكون هناك لحظة فجائية نجد فيها أنفسنا بين عشية وضحاها ونحن نُساق كالقطيع إلى حدائق الحيوان. إن الوعـي، مـن وجهة نظري، عمليةٌ يمكن تصنيفهـا على مقياس، وليس حدثـا تطوريـا مفاجئـا وسيتطلب الأمر عـدة عقود حتى ترتقـي أجهزة الروبوت على مقياس الوعي. فالطبيعة شكلت الوعي الإنساني في ملايين السنـين. لـذا، فإن الإنسان لن يفاجأ في يوم ما بـأن الإنترنت قد صار لها (وعي) على غير العادة أو أن أجهزة الروبوت قد بدأت فجأة في التخطيط لنفسها.

إن هذا هو الخيار المفضل لدى كاتب الخيال العلمي (إسحاق أسيموف) Isaac Asimov الذي تصور أن كل جهاز روبوت في المصنع مبرمج بثلاثة

قوانين لمنعه من الخروج عـن السيطرة. فقد اخترع ثلاثة قوانين شهيرة في علـم الروبـوت لمنع هذه الأجهزة مـن إيذاء نفسها أو البشـر. (تنص هذه القوانـين الثلاثة على أن أجهزة الروبوت لا يمكنها إيذاء البشر وأنها يجب أن تطيعهم، وتعمل على حماية نفسها بهذا الترتيب).

(حتـى في ظل وجود القوانين الثلاثـة للباحث (أسيموف)، فقد تحدث مشـكلات أيضا عندما يكون هناك تعارض بين هذه القوانين الثلاثة. على سبيل المثال، إذا أنشأ شخصٌ ما جهاز روبوت مُحبّا للخير، فماذا سيحدث إذا قـرر البشـر اختيارات مدمـرة للذات يمكن أن تعرض الجنس البشري للخطـر؟ سيشعر الروبوت الصديق عندئذ بأنه يجب أن ينتزع السلطة من الحكومة لمنع الإنسانية من إيذاء نفسها. كانت تلك مشكلة واجهها (ويل سميث) Will Smith في فيلم (I، Robot) عندما قرر جهاز الحاسب الآلي المركزي (التضحية ببعض البشر وإجبارهم على التنازل عن بعض الحريات) لإنقاذ الجنس البشري. ولمنع جهاز الروبوت من استعبادنا بغرض إنقاذنا، أيدّ البعض ضـرورة إضافة القانون الصفري الخاص بعلم أجهزة الروبوت ومفاده: (لا يحق لأجهزة الروبوت إيذاء الجنس البشري أو استعباده).

غير أن بعض العلماء يستندون إلى مبدأ (الـذكاء الاصطناعي الصديق) حيث يتـم تصميم أجهزة الروبوت بحيث تكـون غير خطرة من البداية. وحيـث إننا القائمون على إنشاء هذه الأجهزة، فإننا سنصممها من البداية على أن تؤدي مهام مفيدة وخيِّرة فقط.

ظهر مصطلح (الذكاء الاصطناعي الصديق) على يد إليزر يودكويسكي Eliezer Yudkowsky مؤسـس معهـد التفـرد للـذكاء الاصطناعـي

Singularity Institute for Artificial Intelligence. ويختلف الذكاء الاصطناعي الصديق قليلاً عن قوانين (أسيموف) المفروضة على أجهزة الروبوت ضد رغبتها. (إن قوانين أسيموف المفروضة من الخارج يمكنها أن تحفز أجهزة الروبوت بالفعل على ابتكار طرق ذكية في التحايل على تلك القوانين). وعلى النقيض من ذلك، فإنه في الذكاء الاصطناعي الصديق، تكون أجهزة الروبوت لديها مطلق الحرية في أن تقتل الآخرين أو تمثّل بهم؛ إذ إنه ليست هناك أية قواعد تفرض مبادئ أخلاقية اصطناعية. لكنها في الواقع مصممة من البداية على أن تكون راغبة في مساعدة البشر بدلاً من تدميرهم، وبالتالي، ستختار أن تكون مُحبّةً للخير.

لقد ساعد هذا على ظهور مجال جديد يطلق عليه (علم الروبوت الاجتماعي) الذي يهدف إلى تزويد الأجهزة الآلية بمواصفات ستساعدها على الاندماج في المجتمع البشري. فالعلماء على سبيل المثال في معهد (Hanson Robotics) ذكروا هدفا واحدا لبحثهم، ألا وهو تصميم أجهزة روبوت (ترتقي لتصبح كائنات ذكية اجتماعيا، تستطيع أن تحب البشر وتشغل مكانة في قلوبهم).

لكن ثمة مشكلة واحدة في جميع هذه الإجراءات، ألا وهي أن الجيش ما زال هو الممول الأكبر لنظم الذكاء الاصطناعي إلى حد بعيد، وأجهزة الروبوت العسكرية هذه مصممة خصيصا لمطاردة البشر واقتفاء أثرهم وقتلهم. ويمكن لنا أن نتخيل بسهولة جنودا آليين قادمين في المستقبل مهمتهم رصد الأعداء من البشر، وإبادتهم بكفاءة دون وقوع أي خطأ. في هذه الحالة، يتعين علينا أن نتخذ احتياطات استثنائية لضمان أن

أجهـزة الروبوت هذه لن تنقلب علـى سادتها. على سبيل المثال، طائرات (بريديتـور) التي تطير دون طيار، يتم تشغيلها عن طريق التحكم عن بُعد، بحيـث يكون هناك أشخاص يقومون بتوجيه حركاتها، لكن يوما ما هذه الطائـرات ستكون مستقلة وستصبح قـادرة على الاختيار وتنفيذ أهدافها بمحض إرادتها. وتجدر الإشارة إلى أن قصور الأداء في مثل هذا النوع من الطائرات المستقلة يمكن أن يؤدي إلى عواقب وخيمة.

ومن ناحية أخـرى، فإنه في المستقبل، سيكون هناك تمويل أكبر لأجهزة الروبوت من جانب القطاع التجاري المدني، خاصة في اليابان، حيث يتم تصميم أجهزة الروبوت لتقديم المساعدة بدلاً من الاستعانة بها في التدمير. وإذا استمر هذا الاتجاه، فربما يصبح الذكاء الاصطناعي الصديق أمرا واقعا. وفي هـذا السيناريـو، سيكون قطـاع المستهلكين والقـوى السوقية هما المسيطـران في النهاية على علم الروبوت، وبالتـالي سيكون هناك اهتمام تجاري هائل بالاستثمار في الذكاء الاصطناعي الصديق.

الاندماج مع أجهزة الروبوت

وإلى جانـب الـذكاء الاصطناعـي الصديق، ثمـة خيار آخـر: ألا وهو الاندمـاج مع ابتكاراتنا المتطورة. وبدلاً مـن الانتظار حتى تتفوق أجهزة الروبـوت علينا في الـذكاء والقوة، يجب أن نحـاول التطوير من أنفسنا، وأن نكـون أشخاصـا غـير عاديين في هـذا الصدد. وفي اعتقـادي، فإن السيناريـو الأكثر احتمالاً أن يحمل لنا المستقبل مزيجا من هذين الهدفين: بمعنى أن يتم إنشاء ذكاء صناعي صديق مع التطوير من أنفسنا أيضا.

يخضع هـذا الخيار للبحث من جانب رودني بروكس Rodney Brooks المديـر السابـق لمعمل الـذكاء الاصطناعي الشهـير بمعهـد ماساتشوستس للتكنولوجيا. فقد حاول أن يكسـر القاعدة، وينشق على الأفكار القديمة، ويدخـل ملامح الابتـكار إلى هذا المجـال. وعندما خاض فيـه، وجد أن الأسلـوب السائد في أغلـب الجامعات هو أسلـوب (الأعلى إلى الأدنى)، لكـن هذا المجال كان راكدا. لقد أثـار (بروكس) استهجان البعض عندما دعا إلى إنشاء جيش من الأجهزة الآلية الشبيهة بالحشرات التي تعلمت عن طريـق أسلوب (الأدنى إلى الأعلى) من خلال اكتشافها العقبات بالصدفة. فهو لم يكن يريد إنشاء جهاز روبوت محدود الذكاء يتحرك بتثاقل ويستغرق الساعات وهو يمشي في الغرفة، لكنه قام بتصميم جهاز (روبوت ذكي شبيه بالحشرات) ليس فيه برمجـة تقريبا، لكنه يتعلم المشي سريعا وكذلك تخطي العقبات عن طريق المحاولة والخطأ. لقد تخيل (بروكس) اليوم الذي ستقوم فيه أجهزة الروبوت التي صممها باستكشاف النظام الشمسي، واكتشاف الأشيـاء التي تصادفها في طريقها. وكانت فكرة مدهشة، طرحها في مقالة بعنـوان (Fast، Cheap and Out of Control) (أسـرع وأرخـص وخارج السيطـرة)، لكن أخيرا قاده تفكيره إلى مجموعـة من الطرق الجديدة. ومن النتائج التي أتت مصاحبة لأفكاره ابتكار Mars Rovers (أو جوالة المريخ) الذين ينطلقون لاستكشاف سطـح الكوكب الأحمر. ولا يوجد ما يدعو للدهشة إذا عرفنا أن (رودني بروكس) كان أيضا رئيسا لمجلس إدارة شركة iRobot التي تطرح في السوق مكانس كهربية أشبه بالحشرات للاستخدام المنزلي، وتروج لها في جميع أنحاء البلاد.

ومن بين المشكلات التي يلمسها (رودني بروكس) اتباع العاملين في مجال الذكاء الاصطناعي للأنماط السائدة، وتطبيق النموذج الحالي، بدلاً من التفكير في طرق جديدة. فهو يتذكر على سبيل المثال: (عندما كنت طفلاً، كان لديّ كتاب يصف العقل وكأنه شبكة تحويل عن طريق خطوط الهاتف. أما الكتب التي ظهرت قبل ذلك، فقد شبهت العقل بالنظام الهيدروديناميكي أو المحرك البخاري. وفي فترة الستينيات من القرن العشرين، أصبح العقل أشبه بجهاز حاسب رقمي، بينما توسع المفهوم أكثر في الثمانينيات ليصبح العقل بمثابة حاسب رقمي متوازن. ليس هذا فقط، لكن من المحتمل أن يرد وصف بمكان ما للعقل في أحد كتب الأطفال على أنه شبكة ويب عالمية...).

على سبيل المثال، لاحظ بعض المؤرخين أن تحليل (سيجموند فرويد)[1] Sigmund Freud للعقل قد تأثر بقدوم المحرك البخاري. فقد كان لانتشار السكك الحديدية في أوروبا من منتصف القرن التاسع عشر حتى أواخره تأثير كبير على تفكير العقلانيين. في الصورة التي رسمها (فرويد)، نرى تدفقات طاقة في العقل تتصارع مع تدفقات أخرى باستمرار، كما هو الحال في أنابيب البخار في المحرك. كما أن التفاعل المستمر بين الأنا

(1) سيجموند فرويد: Sigmund Freud (6 مايو 1856—23 سبتمبر 1939)، طبيب نمساوي، عصبي ومفكر حر، ويُعد مؤسس التحليل النفسي. أسس فرويد مدرسة التحليل النفسي وعلم النفس الحديث، واشتهر بنظريات العقل واللاواعي، وآلية الدفاع عن القمع وخلق الممارسة السريرية في التحليل النفسي لعلاج الأمراض النفسية عن طريق الحوار بين المريض والمحلل النفسي. اشتهر فرويد بتقنية إعادة تحديد الرغبة الجنسية والطاقة التحفيزية الأولية للحياة البشرية، فضلاً عن التقنيات العلاجية، بما في ذلك استخدام حرية تكوين الجمعيات، ونظريته من التحول في العلاقة العلاجية، وتفسير الأحلام كمصادر للنظرة الثاقبة عن رغبات اللاوعي. (المترجم)

العليا والأنا السفلى والأنا يشبه التفاعل المستمر بين أنابيب البخار في أية مركبة. كما أن حقيقة كبح تدفقات الطاقة هذه يمكن أن يؤدي إلى اضطراب عصبي وظيفي تماثل حقيقة أن كبح الطاقة البخارية قد يؤدي إلى الانفجار.

وقد اعترف (مارفين مينسكي) لي بأن هناك نموذجا آخر قد ساهم في تضليل مجال الذكاء الاصطناعي لعدة سنوات. فبما أن العديد من الباحثين في الذكاء الاصطناعي فيزيائيون سابقون، يوجد مفهوم يُطلق عليه (Physics envy) – الرغبة في محاكاة منهج الفيزياء للتعبير عن المفاهيم الأساسية بالصيغ الرياضية – وهو يعني الميل إلى البحث عن الفكرة الواحدة الموحدة التي تضم جميع أنواع الذكاء. في الفيزياء، تحدونا الرغبة في أن نحذو حذو (آينشتين) في اختزال العالم المادي في مجموعة من المعادلات الموحدة؛ ربما للعثور على معادلة واحدة لا تتجاوز بوصة يمكن أن تلخص الكون في فكرة واحدة مترابطة. ويعتقد (مينسكي) أن دافع محاكاة منهج الفيزياء جعل الباحثين في مجال الذكاء الاصطناعي يهتمون بالبحث عن هذه الفكرة الواحدة الموحدة للوعي. أما الآن، فهو يعتقد أن هذا الأمر غير موجود. فالتطور ربط عشوائيا بين مجموعة من التقنيات معا فيما يعرف باسم الوعي. على سبيل المثال، خذ شريحة من العقل، وستجد مجموعة متفرقة من العقول الصغيرة، كل واحد منها مصمم لأداء وظيفة معينة. وهو يطلق على هذا اسم (مجتمع العقول): وهذا الوعي فعليا عبارة عن مجموع العديد من اللوغاريتمات والتقنيات المنفصلة التي اكتشفتها الطبيعة عبر ملايين السنين.

كان (رودني بروكس) يبحث أيضا عن نموذج مشابه، بشرط ألا يكون قد تطرق إليه أحد من قبل. وسرعان ما أدرك أن الطبيعة الأم والتطور قد تفضلا بحل العديد من هذه المشاكل. على سبيل المثال، إن الذبابة، التي لها بضع مئات الآلاف من الخلايا العصبية فقط، يمكنها أن تتفوق في الأداء على أعظم النظم الآلية العسكرية. وعلى النقيض من الطائرات الموجهة بإشارات لاسلكية، فإن الذباب المصمم بعقل أصغر من رأس الدبوس يمكن أن يدور وحده حولك ويبحث عن الطعام والرفاق. لكنه لماذا لا يتعلم من الطبيعة والأحياء؟ إذا تتبعت مقياس التطور والارتقاء، فستعرف أن قواعد المنطق غير مبرمجة في عقول الحشرات والفئران. لكنها من خلال المحاولة والخطأ، تفاعلت مع العالم الخارجي، وأتقنت فن البقاء.

والآن، يحاول (رودني بروكس) أن يبحث عن فكرة أخرى مبتكرة، مشروحة في مقال له بعنوان (The Merger of Flesh and Machines) (دمج الأحياء والآلات). فقد لاحظ أن المعامل القديمة في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، والتي اعتادت تصميم مكونات السليكون لأجهزة الروبوت الصناعية والعسكرية، أصبح الآن يتم إخلاؤها من محتوياتها، لتفسح الطريق أمام جيل جديد من أجهزة الروبوت المؤلفة من أنسجة حية مع السليكون والحديد. فهو يتوقع ظهور جيل جديد تماما من أجهزة الروبوت ستتزواج فيه النظم البيولوجية مع النظم الإلكترونية لإنشاء بنية جديدة تماما لأجهزة الروبوت.

ويقول (رودني بروكس) في كتاباته: (أتوقع بحلول عام 2100 أن تكون لدينا أجهزة روبوت ذكية في كل مكان في حياتنا اليومية. لكننا لن نكون

بمعـزل عنها؛ وإنما سنكون بمثابة روبـوت جزئي، وسنكون متصلين بتلك الأجهزة الآلية).

وهو يرى أن هذا التطور سيمر بعدة مراحل. وها نحن الآن قد أصبحت لدينـا ثورة متطـورة في الجراحة الترقيعيـة، والتي تتمثـل في زرع شرائح إلكترونية مباشرة في الجسم البشـري لإنشاء بدائل حقيقية للسمع والرؤية وأداء الوظائـف الأخـرى. على سبيل المثـال، لقد أحدثـت قوقعة الأذن الصناعيـة ثورة هائلة في مجال السمـع، وأهدت نعمة السمع للصم. تعمل هذه القواقع الصناعية من خلال الربط بين الأجهزة الإلكترونية و(العقل) البيولوجي؛ ألا وهو الخلايـا العصبية. ويعتمد زرع القوقعة السمعية على مكونـات عديدة؛ فهنـاك ميكروفـون يوضع خـارج الأذن، وهو يتلقى الموجات الصوتية ويعالجها، وينقل الإشارات عن طريق الرسائل اللاسلكية إلى الجـزء المـزروع جراحيـا داخل الأذن. وهـذا الجزء المـزورع يستقبل إشـارات لاسلكيـة ويحولها إلى موجـات كهربية تمر عـبر الإلكترودات في الأذن. وتأتـي قوقعة الأذن لتتعرف على هـذه النبضات الكهربية، ثم ترسلهـا إلى العقـل. وتستطيع هذه القواقـع المغروسـة أن تستخدم حتى 24 قطبـا كهربائيـا، ويمكنها معالجة نصف دستة مـن الترددات، بما يكفي للتعرف على صوت الإنسان. ويوجد الآن بالفعل ما يقرب من 150 ألف شخص من جميع أنحاء العالم ممن يستخدمون القواقع السمعية المزروعة.

هنـاك أيضا العديد من المجموعات الباحثة التي تحاول استكشاف طرق لمساعـدة المكفوفـين عن طريق إنشـاء رؤية صناعية والربـط بين الكاميرا والعقـل البشري. تتلخص الطريقة الأولى في وضـع شريحة سليكون في

شبكية الشخص الكفيف، ثم ربط هذه الشريحة بالخلايا العصبية للقرنية. أمـا الطريقة الأخرى فتتمثل في ربـط الشريحة بكابل خاص متصل بالجزء الخلفـي من الجمجمة، حيث يقوم العقـل بمعالجة الرؤية. وقد نجحت هذه المجموعـات، للمـرة الأولى في التاريخ، في أن تعيـد درجة من درجات الإبصـار للمكفوفين. كما استطاع المرضى رؤيـة حتى 50 بكسلاً مضيئا أمامهم. وأخيرا، يأتي دور العلماء في أن يكونوا أكثر قدرة على زيادة هذه النسبة بحيث يستطيع فاقدوا البصر أن يروا حتى ألف بكسل.

يستطيع المكفوفون أن يشاهدوا الألعاب النارية وأن يروا حدود أيديهم، والأشياء الساطعة والأضواء، وأن يلحظوا وجود السيارات والأشخاص، وحـواف الأشياء مـن حولهم. تقول ليندا مورفـووت Linda Morfoot، وهـي واحدة ممن خضعوا للاختبار: (في مباريات البيس بول، أستطيع أن أشاهد متلقي الكرة وضارب الكرة والحكم).

وحتى الآن، يوجد ثلاثون مريضـا لديهم شبكيات صناعية تتضمن 60 قطبـا. لكن مشـروع الشبكية الصناعيـة التابع لـوزارة الطاقة، في جامعة كاليفورنيا الجنوبية، يتم فيه دراسة نظام جديد بالفعل يتضمن أكثر من 200 قطب. كما يخضع للدراسة أيضا جهاز يشتمل على 1000 قطب (لكن إذا تم تجميع عدد كبير جدا مـن الإلكترودات في الشريحة، فقد يتسبب ذلك في سخونـة مفرطة في الشبكية). وفي هذا النظـام، فإن الكاميرا الصغيرة المثبتة في عدسات العين الزجاجية للشخص الكفيف تقوم بالتقاط الصور، ثـم ترسلها لاسلكيا إلى معالج صغير، مثبـت في حزام ينقل المعلومات إلى الشريحـة الموجـودة مباشرة في الشبكيـة. وهذه الشريحـة ترسل نبضات

صغيرة مباشرة إلى الأعصاب الشبكية التي ما زالت نشطة، ومن ثم تتجاوز الخلايا الشبكية التالفة.

اليد الآلية في حرب النجوم

بفضل التطورات التي شملت مجال تصنيع الأجهزة الآلية، يستطيع المرء أن يزيد من الأعمال البطولية في الخيال العلمي، بما في ذلك اليد الآلية لبطل فيلم Star Wars والرؤية الخارقة بأشعة إكس للبطل في فيلم Superman. وفي فيلم Empire Strikes Back، يتم قطع يد لوك سكاي ووكر Luke Skywalker بواسطة سيف ليزر على يد والده الشرير دارث فادر Darth Vader، وليس في ذلك مشكلة على الإطلاق؛ فالعلماء في هذه المجرة البعيدة يسارعون بتصميم يد آلية جديدة لها أصابع تستطيع أن تلمس وتشعر.

قد يبدو هذا خيالاً علميا، لكنه ما زال حقيقيا. ونستطيع أن نلمس ذلك من خلال تطور مهم حدث على يد العلماء في إيطاليا والسويد حيث قاموا بالفعل بتصميم يد آلية يمكنها أن (تشعر). فقد تعرض أحد الأشخاص ويُدعى روبن إكنشتام Robin Ekenstam وعمره اثنان وعشرون عاما لبتر يده اليمنى لإزالة ورم خبيث، وهو يستطيع الآن التحكم في حركة أصابعه الآلية ويشعر بالاستجابة. لقد ربط الأطباء بين الأعصاب الموجودة في ذراع (إكنشتام) والشرائح الموجودة في اليد الآلية بحيث يمكنه التحكم في حركات الأصابع مستخدما عقله في ذلك. وتشتمل (اليد الذكية) الصناعية على أربع محركات وأربعين مستشعرا. وهنا تبعث حركة أصابعه

الآليــة برسالة إلى العقل فيتلقى تغذية استرجاعية. وبهذه الطريقة، يستطيع أن يتحكم وأن (يشعر) أيضا بحركة يديه. وحيث إن التغذية الاسترجاعية إحدى الميزات الأساسية لحركة الجسم، فإن هذا يمكن أن يُحدث ثورة في طريقة علاجنا للمبتورين بالأطراف البديلة.

يعلــق (إكنشتام) على ذلك قائلاً: (إنه أمرٌ رائع؛ لقد أصبح لديّ الشعور الذي طالما تمنيته، وها أنا الآن قد استعدت إحساسي. وإذا أمسكت بشيء بقــوة، أستطيع عندئذ أن أشعر به بأطــراف أصابعي، وهو أمرٌ غريب لأني فقدتها).

ويرى كريستيــان سيبريــاني Christian Cipriani، الباحث في Scuola Superiore Sant›Anna: (أن العقــل يتحكــم أولاً في اليــد الآلية دون أن يكون هناك أي انقباض للعضلات. بعد ذلك، ترسل اليد إشارة إلى المريض بأنه قادر على الشعور، مثلها في ذلك مثل اليد الحقيقية تماما).

وهــذا التطور مهم؛ لأنه يعنــي أن البشر في يوم مــا يستطيعون التحكم في الأطــراف الآلية دون أدنى مجهــود كما لو كانت عظاما مكسوة لحما. وبدلاً مــن التعلّم الممل لكيفيــة تحريك الذراعين والساقــين المصنوعة من المعــدن، سيتعامل الأشخاص مع هذه الأطراف الآلية كما لو كانت أطرافا حقيقيــة، وسيشعــرون بكل فارق دقيق في حــركات الأطراف من خلال آليات التغذية الاسترجاعية الإلكترونية.

إن مــا سبق دليل آخــر يؤكد النظرية القائلة بأن العقــل قابل للتطويع إلى حــد بعيد وليس جزءا ثابتــا، وهو يعيد تشكيل نفسه باستمــرار أثناء تعلُّم مهــام جديدة، ويستطيع التكيف مع المواقف الجديدة أيضا. وبالتالي، فهو

قابـل للتكيف بما يكفي للتوافق مع أي طـرف جديد أو أي عضو حسي؛ إذ يمكن ربطه بالعقل في مواضع مختلفة، ثم (يتعلم) العقل التحكم في هذا الطـرف الجديد بسهولة. وبنجاح هذا الأمر، يمكـن النظر إلى العقل على أنـه جهاز قابل للتشكيل، وقادر على الاتصـال بالأطراف والمستشعرات المختلفة من الأجهزة الجديدة والتحكم فيها. وهذا النوع من السلوك ربما يكـون متوقعا إذا كان العقـل عبارة عن شبكة عصبية مـن نوع ما يمكنها إنشـاء وصلات جديـدة، ومسارات عصبية في كل مـرة يتعلمً فيها مهمة جديدة بغض النظر عن طبيعة هذه المهمة.

وقد كتـب (رودني بروكس) قائلاً: (على مـدار العشر إلى العشرين سنة المقبلة، سيكون هناك تحول ثقافي نستطيع من خلاله أن نزرع التكنولوجيا الآلية والسليكون والمعدن في أجسامنا لتحسين ما نستطيع فعله وفهم العالم مـن حولنا). وعندما قام (بروكس) بتحليل التقدم الذي حدث في جامعة براون وجامعـة دوك Duke في الربط بين العقـل مباشرة وجهاز الحاسب الآلي أو اليـد الآليـة، اختتم حديثه قائلاً: (ربما نكـون جميعا قادرين على امتلاك اتصال لاسلكي بالإنترنت مثبت مباشرة في عقولنا).

فهـو يرى أن الدمـج بين السليكون والخلايا الحيـة في المرحلة المقبلة لن يكـون فقط من أجـل معالجة الخلـل في أجسامنا، لكـن لتحسين قدراتنا تدريجيا.

ويرى في المرحلة التالية أن الدمج بين السليكون والخلايا الحية لن يكون فقـط من أجل معالجة الخلـل في أجسامنا، لكن لتحسين قدراتنا تدريجيا. فمثـلاً، إذا كانت عمليات زراعة القوقعة السمعيـة والشبكية تستطيع أن

تعيـد السمع والبصـر لفاقديهما، فإن مثل هذه العمليـات في المستقبل قد تمنحنا أيضا قدرات خارقة. فقد نتمكن من سماع الأصوات التي تسمعها الكلاب أو رؤية الأشعة فوق البنفسجية والأشعة السينية.

ومـن المحتمل كذلك أن يرتفـع مستوى ذكائنـا. يستشهد (بروكس) ببحـث تمـت فيه إضافة طبقـات إضافية إلى مخ فأر أثنـاء فترة حرجة من مراحـل تطـوره. وكانت النتيجـة الملحوظة هـي زيادة القـدرة المعرفية لهذه الفئران. ويتخيل (بروكس) ذلـك الوقت الذي سيأتي في المستقبل القريب حين نتمكن من رفع مستوى ذكاء العقل البشري من خلال عملية مشابهـة. سنرى في فصل لاحـق أن علماء الأحياء قـد نجحوا بالفعل في عـزل جين وراثي في الفئران اشتهـر إعلاميا بالاسم (جين الفأر الذكي). وبإضافة هذا الجين، تمتلك الفئران المعدلة ذاكرة أكبر وقدرات أفضل على التعلم.

وبحلول منتصف القـرن، يتخيل (بروكس) الوقـت الذي ستصبح فيه تعديـلات الجسم التي تبـدو دربا مـن دروب الخيال ممكنـة. (بعد مرور خمسـين عاما من الآن، نتوقع أن نرى تغييرات جذرية في الجسم البشري عـن طريق التعديل الوراثي). وعند إضافة تعزيزات إلكترونية أيضا، يعتقد (بروكس) أنه (سـوف يتسع نطاق التنوع البشـري اتساعا يفوق مخيلاتنا اليوم.. ولن نجد أنفسنا مكبلين بقيود التطور الداروينية).

لكن المبالغة في أي شيء أمر وارد. فإلى أي مدى نستطيع المضي قُدما في الاندمـاج مع أجهزة الروبوت التي نصنعها قبل أن يثور البعض مستنفرين من الفكرة؟

البدلاء والمجسدون

مـن السبل التي يمكـن اتباعها للاندماج مـع البشر الآليـين، لكن دون إدخال تغيير على الجسم البشري، صنع بدلاء أو مجسدين. في فيلم (البدلاء Surrogates)، بطولـة بروس ويليز Bruce Willis، في عام 2017 اكتشف العلمـاء طريقـة تمكن الناس من التحكـم في البشر الآليين كمـا لو كانوا يعيشـون بداخلهم، بحيث يمكننا أن نعيش حياتنا داخل أجساد مثالية. إن الإنسـان الآلي يستجيب لكل أمر، كما أن الشخص يرى أيضا ويحس. وفي الوقـت الذي تذوي فيه أجسادنا الفانيـة وتهلك، يمكننا التحكم في حـركات بدائلنا من البشر الآليين، التي تملك قـدرات خارقة ولها هيئات مثاليـة. وتتعقد الأحداث في الفيلم؛ لأن الناس يفضلون أن يحيوا حياتهم في صـورة بشـر آليين يتمتعـون بالجمـال والوسامة والقـدرات الخارقة، متخلـين عـن أجسامهم الآخذة في التحلل، التي يتـم إخفاؤها بعيدا على نحو ملائم. ويصبح الجنس البشري بأكمله، في واقع الأمر، آلي النزعة عن طيب خاطر بدلاً من أن يواجه الواقع.

وفي فيلم (أفاتار) Avatar، يمضي بنا الأمر لما هو أبعد من ذلك. فبدلاً من أن نعيش حياتنا في صورة بشر آليين مثاليين، فإنه في عام 2154 ربما نصير قادريـن على الحياة في صـورة كائنات قادمة من الفضـاء الخارجي. ففي هذا الفيلـم، توضع أجسامنا داخل أغلفة، تتيـح لنا بعد ذلك التحكم في حركـة أجسام كائنات فضائية مستنسخة بطريقة خاصة. وبهذه الطريقة، نصبـح أكثر قدرة على الاتصال بكائنات مـن سكان الكواكب الأخرى. وتتعقـد أحداث الفيلم أكثر عندما يقرر أحـد العاملين التخلي عن بشريته

والعيش باعتباره واحدا من سكان الفضاء الخارجي ليحميهم من هؤلاء المرتزقة. هذه الأجساد البديلة ليست ممكنة اليوم، لكنها قد تكون ممكنة في المستقبل.

ومؤخرا، تمت برمجة الروبوت (أسيمو) بفكرة جديدة ألا وهي الاستشعار عن بعد. ففي جامعة كيوتو Kyoto، جرى تدريب البشر على السيطرة على الحركة الميكانيكية للبشر الآليين باستخدام مستشعرات مخية. على سبيل المثال، بارتداء خوذة رسم مخ كهربي، يمكن للطلاب تحريك أذرع وسيقان (أسيمو) بمجرد التفكير. حتى الآن، أصبحت أربع حركات مستقلة للذراعين والدماغ ممكنة التنفيذ. وقد يفتح هذا الباب نحو واقع آخر للذكاء الاصطناعي: الروبوتات التي نتحكم فيها ذهنيا.

برغم هذا الشرح الفج للعقل الذي يسمو على المادة، فإنه خلال العقود القادمة لا بد أنه سيكون من الممكن زيادة مجموعة الحركات التي يمكننا التحكم فيها في الإنسان الآلي، وكذلك الحصول على إفادة مرتدة بما حدث، وبهذا يمكننا أن (نشعر) بأيدينا الروبوتية الجديدة. وسوف تتيح لنا النظارات أو العدسات اللاصقة رؤية ما يرى الروبوت، وبهذا قد نصل في نهاية المطاف إلى التحكم الكامل في حركات الجسد.

ومن الممكن أيضا أن يعيننا ذلك على تخفيف حدة مشكلة الهجرة للبابان. فقد يظل العمال متواجدين في بلدان مختلفة، غير أنهم يتحكمون في بشر آليين موجودين على بعد آلاف الأميال منهم عن طريق المستشعرات المخية. إذن الإنترنت ليس في مقدورها وحسب نقل أفكار وخواطر الموظفين أصحاب الياقات البيضاء وإنما ستكون قادرةً أيضا على نقل

أفكار العمال أصحاب الياقات الزرقاء وترجمتها إلى حركة بدنية. وربما كان معنى ذلك أن تلك الروبوتات ستصير جزءا لا يتجزأ من أي فكرة تتعامل مع التكاليف الصحية الباهظة ونقص العمالة.

إن التحكم في البشر الآليين عن طريق الاستشعار عن بعد قد يكون له أيضا تطبيقات في ميادين أخرى. في أي بيئة خطرة (على سبيل المثال، تحت سطح الماء، أو بالقرب من خطوط الضغط العالي، أو في الحرائق)، قد تستخدم الروبوتات التي يتحكم فيها البشر بأذهانهم في مهام إنقاذ. وقد يمكن ربط الروبوتات تحت سطح البحر ماشرةً بالبشر، وبهذا يتمكن الإنسان من السيطرة على العديد من الروبوتات العائمة بمجرد التفكير وحده. ولما كان البديل سوف يمتلك قدرات خارقة، فإنه سوف يكون قادرا على مطاردة المجرمين (ما لم يكن المجرمون هم أيضا من البدائل ذات القدرات الخارقة). سوف يمتلك الإنسان بذلك جميع مزايا الاندماج مع البشر الآليين دون إضفاء أي تغيير على أجسادنا على الإطلاق.

ترتيب كهذا قد يبرهن بالفعل على فائدة استكشاف الفضاء، عندما يكون علينا التعامل مع قاعدة قمرية دائمة. إن بدلاءنا قد يقومون بكل المهام الخطرة في صيانة القاعة المقامة على القمر، في حين يبقى رواد الفضاء في أمان على سطح الأرض. سوف يمتلك رواد الفضاء قوة وقدرات خارقة هي قوة الروبوتات في الوقت الذي يستكشفون فيه أراضا غريبة وخطرة. (لن ينجح هذا الأمر إذا كان رواد الفضاء على سطح الأرض يتحكمون في بدلاء لهم على سطح المريخ، إذ إن إشارات الراديو تستغرق مدة تصل إلى 40 دقيقة حتى تصل من كوكب الأرض إلى المريخ ثم تعود. لكنها من

الممكـن أن تنجح إذا كان رواد الفضـاء يجلسون في أمان في قاعدة دائمة على سطـح كوكب المريخ في الوقت الذي يذهب فيـه مندوبوهم البدلاء ويؤدون مهام خطيرة على سطح الكوكب).

ما مدى الاندماج مع البشر الآليين؟

ويمضي (هانز مورافيك) رائد مجال الإنسان الآلي بهذا الأمر عدة خطوات أخرى فيتخيـل النسخة الفائقة منه: سنصبح نحـن الروبوتات ذاتها التي بنيناهـا. ولقد شـرح لي كيف من الممكن لنا أن نندمج مـع إبداعاتنا الآلية مـن الروبوت عن طريق الخضوع لجراحة بالمـخ تستبدل كل خلية عصبية من خلايا مخاخنـا بترانزيستور داخل روبوت. وتبـدأ العملية عندما نرقد بجـوار جسم إنسان آلي دون مخ. ويقوم جراح آلي بأخذ كل تجمع لخلايا المادة الرمادية مـن أمخاخنا، وينسخ منها نسخة في ترانزيستور تلو الآخر، ويربط الخلايا العصبيـة بالترانزيستورات، ثم يضع الترانزيستورات داخل جمجمة الروبوت الخاوية. ومع اكتمال نسخ كل تجمع من الخلايا العصبية داخل الروبوت، يجري التخلص منها. ويكون الشخص الذي تجرى له هـذه العمليـة الدقيقة في كامل وعيـه أثناء إجرائها. جزء مـن مخنا بداخل جسدنا القـديم، لكن الجزء الآخر صـار الآن مصنوعا من ترانزيستورات بداخـل جسدنـا الآلي الجديد. وبعد انتهاء العملية، ينتقـل المخ بأكمله إلى جسم روبوت. إذن لن نكتفي بامتلاك جسد آلي، وإنما سنتمتع أيضا بمزايا الإنسـان الآلي: الخلود في أجساد بشـر خارقين (سوبرمان) مثالية المظهر. لن يكون هذا ممكنا في القرن الحادي والعشرين، لكنه سيصير خيارا متاحا

لمن يرغب خلال القرن الثاني والعشرين.

في السيناريو النهائي لهذا، سوف نتخلص من أجسادنا الكئيبة تماما ونتطور في نهاية الأمر إلى برامج (سوفت ويـر) خالصة تحمل خصائص سماتنا الشخصية. (وسوف (ننزل) سماتنا الشخصية بأكملها على جهاز حاسوب. فإذا ضغط أحدهم على زر مكتوب عليه اسمك، فإن الحاسب الآلي يتصرف كما لو كنت أنت بداخل ذاكرته، إذ إنه مسجل عليه كل هفواتك الشخصية داخل دوائره الإلكترونية. سوف نصير خالدين، لكننا سنقضي زمننا محبوسين داخل حاسوب، ونتعامل مع غيرنا من (البشر) (أي، غيرنا من البرامج الأخرى) في واقع عملاق افتراضي/ فضائي إلكتروني. وسيصبح وجودنا الجسدي أثرا بعد عين بعد أن نتخلص منه، ويحل محله حركة إلكترونات في هذا الحاسب الآلي العملاق. وفي هذه الصورة، سيصبح مصيرنا النهائي أن نتحول إلى سطور في برنامج حاسوب داخل هذا البرنامج الهائل، بينما تتراقص كل حواسنا الظاهرية لأجسادنا المادية في فردوس افتراضي. سوف نتقاسم خواطرنا الدفينة بمجموعة سطور أخرى من برنامج الحاسوب، لنعيش هذا الوهم العظيم. سوف نقوم بأعمال بطولية عظيمة لنفتح عوالم جديدة، متناسين حقيقة أننا لسنا سوى إلكترونات تتراقص داخل حاسوب. هذا بالطبع، إلى أن يضغط أحدهم على أحد الأزرار.

غير أن هناك مشكلة في التمادي في تلك السيناريوهات، ألا وهي قاعدة رجل الكهف. فكما ذكرنا من قبل، فإن البنيان المعماري لمخاخنا هو بناء أجدادنا الأوائل البدائيين الذين كانوا بين صيادين أو جامعي محاصيل

خرجـوا من أفريقيا منذ أكثر من 100 ألـف عام مضت. إن أعمق رغباتنا، وشهواتنـا، وأمانينا تشكلت جميعها في أراضي أفريقيا العشبية عندما كنا نهـرب من الحيوانات الضارية، ونصيـد الحيوانات البرية، ونجمع الحطب من الغابات، ونبحث عن شركاء لحياتنا، ونرفه عن أنفسنا حول النيران.

كانـت من أوليات رغباتنا الغريزيـة المدفونة في أعماق نسيجنا الفكري أن نبـدو في خير مظهر، لا سيمـا في أعين الجنس الآخر وفي أعين أقراننا. وهنـاك قسم هائل من دخلنا الـذي في متناول أيدينا، نخصه، بعد الترفيه، للعناية بمظهرنا. ولهذا حققنا نموا هائلاً في جراحة التجميل، والبوتوكس، ومنتجـات التجميل، والأزياء الأنيقة، وكـذا تعلم رقصات جديدة، وبناء العضلات، وشراء أحدث الألبومـات الموسيقية، والمحافظة على رشاقتنا. فإذا جمعنا كل هـذا إلى بعضه البعض، لصنع قسما هائلاً من حجم إنفاق أي مستهلـك، وهـو مـا يصنع بدوره نسبـة عظيمة من حجـم الاقتصاد الأمريكي.

ومعنـى هذا أنه حتى مـع وجود القدرة علـى خلق أجسـاد مثالية شبه خالـدة، فإننـا من المرجح أن نقـاوم الرغبة في امتلاك أجسـاد آلية إذا كنا سنبدو في صورة روبوت كئيب الملامح به أشياء مزروعة تتدلى من دماغه. لا أحـد يرغب في أن يبدو في صورة لاجئ قادم من فيلم خيال علمي. إذا امتلكنـا أجسادا مقـواة محسنة متطورة، فلا بد أنهـا ستجعلنا أكثر جاذبية للجنـس الآخر وتحسن مـن سمعتنا وسط أقراننـا، وإلا فسوف نرفضها. فمن ذلك المراهق الذي يود أن يبدو أقوى لكنه مفتقد للجاذبية؟

وقـد استهوت بعضـ كتّاب الخيال العلمـي فكرة أننـا سنصبح جميعا

منفصلين عن أجسادنا وأننا سنتحول إلى كائنات خالدة من الذكاء الخالص تعيش داخل حاسوب ما، وتتأمل في خواطر عميقة. لكن من ذا الذي يرغب في أن يعيش حياة مثل هذه؟ لعل أحفادنا لا يريدون حل معادلات التفاضل التي تصف الثقب الأسود. في المستقبل، قد يرغب الناس في قضاء وقت أكثر في الاستماع لموسيقى الروك بالطريقة القديمة أكثر من رغبتهم في حساب حركات الجسيمات دون الذرية أثناء حياتهم داخل حاسب.

ويمضي بنا جريج ستوك Greg stock من جامعة كاليفورنيا لوس أنجلوس UCLA لما هو أبعد من ذلك ويكتشف وجود بضع مزايا في جعل مخاخنا مرتبطة بحاسوب خارق القدرات. فقد قال: (عندما أحاول التفكير فيما يمكن أن أجنيه من خلال وجود رابطة ناجحة بين مخي وحاسب خارق، تواجهني عقبة إذا أصررت على معيارين اثنين: أن المزايا لا يمكن تحقيقها بسهولة من خلال إجراء آخر لا يتطلب إجراء جراحة، وأن المزايا يجب أن تستحق معاناة إجراء جراحة بالمخ).

لهذا، فإنه على الرغم من وجود العديد من الخيارات الممكنة من أجل المستقبل، فإنني شخصيا أؤمن بأن المسار الأرجح هو أننا سوف نبني بشرا آليين ليصبحوا مجبولين على حب الخير ويحملون لنا مشاعر المودة، ويزيدون من قدراتنا إلى درجة ما، لكنهم يتبعون قاعدة رجل الكهف. سوف نشجع فكرة الحياة بصفة مؤقتة كروبوت خارق من خلال أجساد بديلة، لكننا سنقاوم فكرة الحياة للأبد داخل حاسوب أو تغيير أشكال أجسادنا بحيث تتحول إلى أشكال ممسوخة لا يمكن التمييز بينها.

أحجار عثرة في وجه التفرد

لا أحد يعلم متى يمكن للروبوت أن يصبح ذكاءه في مستوى ذكاء البشر. لكنني شخصيا، أضع تاريخا لذلك الأمر يقترب من نهاية القرن وذلك لعدة أسباب.

أولها، التطورات المذهلة التي حدثت في تقنية الحاسوب جاءت نتيجة لقانون مور. وسوف تبدأ تلك التطورات في التباطؤ بل وربما تتوقف تماما بحلول الفترة من 2020 – 2025 تقريبا، لهذا ليس من الواضح إن كان في استطاعتنا أن نحسب بطريقة يعتد بها سرعة الحاسبات بعد ذلك التاريخ. (انظر الفصل الرابع لمزيد من التفاصيل عن حقبة ما بعد السليكون).

وفي هذا الكتاب، افترضت أن قدرة الحاسب الآلي سوف تستمر في النمو، لكن بمعدل أبطأ.

والأمر الثاني، أنه حتى إذا تمكن أحد الحاسبات من إجراء العمليات الحسابية في سرعة خارقة ولتكن مثلاً 1016 عملية في الثانية، فإنه ليس معنى ذلك بالضرورة أنه سيكون أذكى منا. فعلى سبيل المثال، ماكينة لعب الشطرنج التي ابتكرتها شركة (آي بي إم) المسماة (ديب بلو)، تمكنت من تحليل 200 مليون موقف في الثانية، لتهزم بطل العالم. غير أن (ديب بلو)، رغم كل تلك السرعة التي تمتعت بها وقدرتها الحسابية الرهيبة، لم يكن في استطاعتها القيام بأي عمل آخر. والذكاء الحقيقي، حسبما تعلمنا، أكثر بكثير من مجرد حساب المواقف في لعبة الشطرنج.

على سبيل المثال، النوابغ المصابون بالتوحد يمكنهم القيام بأعمال خارقة تنطوي على الحفظ عن ظهر قلب وإجراء الحسابات، إلا أنهم يجدون

صعوبـة في عقد أربطة أحذيتهم، والحصول على وظيفة، أو أداء أي عمل داخـل المجتمـع. وكان الراحل كيـم بيك Kim Peek، الـذي كان يملك قـدرات حازت من الإعجاب ما جعله محور قصة فيلم (رجل المطر) Rain Man عاش حياة استثنائية فكان يتذكر كل كلمة وردت في 12 ألف كتاب وكان في استطاعته إجراء حسابات لا يمكن سوى لحاسوب أن يجريها. إلا أن درجتـه كانت 73 في اختبارات معامل الذكاء (IQ) وكان يجد صعوبة في إجـراء حوار، ويحتاج للعون المستمر حتـى يستطيع أن يعيش. ودون مساعـدة من والـده كان عاجزا إلى حـد بعيد. أو بعبـارة أخرى، سوف تصبـح حاسبات المستقبل خارقة السرعة أشبـه بنوابغ التوحد، قادرة على حفـظ مقادير هائلة من المعلومات، لكن ليس أكثر من هذا كثيرا، فهي غير قادرة على الحياة في عالم الواقع بالاعتماد على نفسها.

وحتى إذا بدأت الحاسبات في مجاراة السرعة الحسابية للمخ، فإنها ستظل تفتقـر إلى البرامـج (Software) والبرمجة الضروريين لإنجـاز أي عمل. إن مجاراة السرعة الحسابية للمخ ليست سوى بداية متواضعة.

ثالثـا، حتـى إذا كان مـن الممكن إنتـاج روبوتات ذكية، فإنـه ليس من الواضح إن كان من الممكن للروبوت أن يصنع نسخة من نفسه أم لا بحيث تكـون أذكى من الأصل. ظهرت الرياضيـات التي تقف وراء الروبوتات التي تستنسخ ذاتها على يد عالم الرياضيات جون فون نويمان، الذي ابتكر نظريـة اللعبة وساعـد على ابتكار الحاسب الإلكـتروني. وكان رائدا سبق الجميع في طرح مسألة تحديد الحد الأدنى من الافتراضات التي تسبق قدرة ماكينة على صنع نسخة من نفسها. غير أنه لم يتناول أبدا مسألة ما إذا كان

باستطاعة روبوت عمل نسخة من نفسه تكون أكثر ذكاءً منه. والحقيقة، أن نفس تعريف كلمة (ذكي) يمثل مشكلة، إذ لا يوجد تعريف مقبول على مستوى العالم لكلمة (ذكي).

من المؤكد أن الروبوت من الممكن أن يكون قادرا على صنع نسخة من نفسه ذات ذاكرة أكبر وقدرة أعظم على المعالجة بمجرد الارتقاء بقدرات الحاسوب وإضافة المزيد من الشرائح الذكية إليه. لكن هل معنى ذلك أن النسخة أكثر ذكاءً أم أنها أسرع فقط؟ مثال لذلك، آلة الجمع الحسابي أسرع ملايين المرات من الإنسان في إجراء عمليات الجمع، بما تملكه من ذاكرة أكبر بكثير وسرعة معالجة أعلى، لكن من المؤكد أنها ليست أذكى. إذن الذكاء ليس مجرد حفظ عن ظهر قلب أو سرعة في المعالجة.

رابعا أنه برغم تقدم الأجهزة الصلبة Hardware تقدما مضطردا بمعدل أُسّي، فإن (البرامج) قد لا تواكب هذا التقدم. وفي الوقت الذي نمت فيه قدرات الأجهزة على حفر ترانزستورات أصغر وأصغر فوق سطح الشريحة الرقيقة، إلا أن الأمر كان مختلفا بالكلية مع البرامج؛ فهي تحتاج إلى إنسان يجلس ومعه قلم رصاص وورقة ليكتب برنامجا. وهذا هو عنق الزجاجة: الإنسان.

البرامج، مثلها مثل جميع الإبداعات الإنسانية الأخرى، تتقدم على نحو متقطع، فهناك أفكار نيرة ورؤى ثاقبة وعبقرية مع فترات طويلة ممتدة من العمل الشاق والركود. على عكس عملية حفر مزيد من الترانزستورات ببساطة فوق السليكون، الذي حدث به نمو أشبه بآلية الساعة، فإن (البرامج) تعتمد على الطبيعة البشرية التي لا يمكن التنبؤ بها

وتتسم بالإبداع والنزوات. لهذا فإن جميع التنبؤات بحدوث نمو ثابت الخطى بمعدل أُسّي في قدرات الحاسوب تتحقق. فالسلسلة ليست أقوى من أضعف حلقاتها، وأضعف حلقاتها هنا هو (برامج السوفت وير) والبرمجة التي يؤديها البشر.

إن التقدم الهندسي غالبا ما ينمو بسرعة أُسّية، لا سيما عندما لا يتعلق الأمر بأكثر من تحقيق مزيد من الكفاءة، مثل حفر المزيد والمزيد من الترانزستورات فوق شريحة السليكون الرقيقة. لكن عندما يتعلق الأمر بالبحوث الأساسية، التي تتطلب اجتماع عناصر الحظ، والمهارة، ولمحات العبقرية غير المتوقعة، فإن التقدم يصبح أشبه (بالتوازن المتقطع)، حيث تكون هناك فترات زمنية ممتدة من الزمن لا تحدث فيها أشياء كثيرة، مع طفرات مباغتة تغير وجه الأرض بالكامل. وإذا نحن نظرنا إلى تاريخ البحوث في العلوم الأساسية، بدءا من نيوتن إلى أينشتاين وحتى يومنا هذا، لوجدنا أن التوازن المتقطع هي الحالة التي تصف على نحو أكثر دقة الأسلوب الذي يتم به إحراز التقدم.

خامسا، كما شهدنا في البحوث التي أجريت على الهندسة العكسية للمخ، فإن التكلفة الهائلة والحجم الكبير للمشروع ربما يؤخره حتى منتصف هذا القرن. وبعدها قد يستغرق فهم منطق كل تلك البيانات عقودا أخرى عديدة، مما يرجئ الانتهاء من الهندسة العكسية للمخ إلى نهاية هذا القرن.

سادسا، لعله لن يحدث ذلك (الانفجار العظيم) الذي نأمله عندما تصبح الآلات فجأة متمتعة بالوعي. فكما حدث من قبل، إذا عرفنا الوعي

بأنه يشمل القدرة على وضع خطط للمستقبل بإجراء عمليات محاكاة للمستقبل، فإنه يكون هناك طيف من الوعي. وسوف ترتقي الآلات حثيثا هذا السلم، مما يمنحنا فسحة كبيرة من الوقت لكي نستعد. ولسوف يحدث هذا قرب نهاية هذا القرن، حسبما أعتقد، وبهذا تكون أمامنا فسحة وافرة من الوقت لكي نناقش مختلف الخيارات المتاحة لنا. كذلك فإن الوعي الذي ستتمتع به الماكينات من المحتمل أن تكون له خصائصه المميزة. لهذا فإن ما سيظهر أولاً هو شكل من أشكال (الوعي السليكوني) وليس الوعي الإنساني الخالص.

لكن هذا يطرح أمامنا قضية أخرى. فعلى الرغم من وجود أساليب ميكانيكية لتحسين أجسادنا وتطويرها، إلا أنه توجد كذلك أساليب بيولوجية لذلك. ففي حقيقة الأمر، أن الدفعة الكاملة للتطور سوف تتحقق بانتخاب جينات أفضل، فلماذا إذن لا نختصر ملايين السنين من التطور ونسيطر على مصيرنا الوراثي؟

الفصل الثالث

مستقبل الطب المثالية وما بعدها

«لا يوجد من يملك الشجاعة حقا ليقولها، لكن إذا تمكنا من صنع بشر أفضل بمعرفتنا كيف نضيف الجينات، فلماذا لا نفعل؟»

- جيمس واطسون James Watson، حائز على جائزة نوبل[1]

«لا أعتقد حقا أن أجسادنا سوف تظل تخبئ أيا من أسرارها خلال هذا القرن. وبهذا، فإن أي شيء يمكننا أن نفكر فيه سوف يصبح على الأرجح أمرا واقع»

- ديفيد بالتيمور David Baltimore، حائز على جائزة نوبل[2]

«لا أظن أن الوقت ملائم حقا، لكنه قد اقترب. وإني لأخشى، للأسف، أنني أنتمي لآخر جيل يعرف الوفاة»

- جيرالد ساسمان Gerald Sussman[3]

كانــت الآلهة في الأساطير القديمة تملك قوة مطلقــة: قوة السيطرة على

(1) جيمس واطسون James Watson: بيولوجي جزيئي أمريكي، اشتهر بأنه أحد مكتشفي بنية الدي إن أيهDNA . فاز واطســون وفرانسيس كريكوموريس ولكنز بجائزة نوبل في الطب لاكتشافاتهــم المتعلقة بالبنية الجزيئية للأحماض النووية وأهميتها في نقل المعلومات في المادة الحية. (المترجم)

(2) ديفيــد بالتيمــور David Baltimore: حائز على جائزة نوبل في الفسيولوجيا والطــب عام 1975 وكان رئيسًا لجامعة روكفلر بين عامي 1990 و1991. (المترجم)

(3) جيرالــد ساســمان Gerald Sussman: أحد علماء الحاسب والذكاء الاصطناعــي، وكان أول من وصف الحالة المرضية التي أطلق عليها حالة ساسمان، وهي مشكلة في مجال الذكاء الاصطناعي. (المترجم)

الحيـاة والموت، والقدرة على شفاء المرضى وإطالة حياة البشر. وكان أكثر ما ندعو به في صلواتنا أن تأخذ الآلهة بأيدينا من المرض والأسقام.

وفي الأساطير الإغريقية والرومانية، نجد قصة (إيوس) Eos، إلهة الفجر الجميلة. وذات يوم، وقعت في غرام ملتهب مع تيثونوس Tithonus الوسيم وكان مـن البشر. كان جسدها مثاليا وكانت خالدة، إلا أن تيثونوس لا بد لـه يوما من أن يهرم، وأن يشيـخ، وأن يهلك. ولما كانت عازمة على إنقاذ حبيبها من مصيره المحزن، تضرعت لزيوس Zeus، أبو كل الآلهة، كي يمنح تيثونوس هبة الخلود حتـى يتمكنا من العيش خالديـن سويا. ولما أخذت زيوس الشفقة بهذين العاشقين، قرر أن يلبي أمنية إيوس.

غـير أن إيوس، في غمـرة عجلتها، نسيـت أن تطلب له شبابـا دائما. وهكـذا صار تيثونوس خالدا لا يموت، غير أن جسـده شاخ وهرم. ولما صار عاجزا عـن الموت، ازداد عجزه يوما بعد يوم وشاخ جسده وذوى، فعاش خالدا في ألم ومعاناة.

وهذا هو التحدي الذي يواجهه العلم في القرن الحادي والعشرين. ويقرأ العلمـاء الآن كتاب الحياة، الـذي يضم بين دفتيه الجينوم genome البشري الكامل، والذي يعدنا بتطورات أشبه بالمعجزات في فهم الشيخوخة. غير أن إطالـة الحيـاة دون التمتـع بالصحة والنشاط من الممكـن أن تمثل عقابا خالدا، مثلما اكتشف تيثونوس ذلك في مأساته.

وبحلـول نهاية هذا القرن، سوف نملك نحن أيضا الكثير من تلك القوة الأسطورية التـي سنسيطر بها على الحياة والموت. ولن تكون هذه القدرة مقصورة علـى علاج المرضى وحسب وإنما ستستغـل كذلك في الارتقاء

بالجسم البشري بل وفي خلق أشكال جديدة من الحياة. لن يتحقق ذلك من خلال الصلوات أو التعاويذ السحرية، وإنما من خلال معجزة التكنولوجيا الحيوية.

روبـرت لانزا[1] Robert Lanza واحد مـن العلماء الذين يعكفون على إماطـة اللثام عـن أسرار الحياة، وهو في عجلة من أمـره. إنه سلالة جديدة من علماء الأحيـاء، شاب ممتلئ بالحيوية والنشـاط وجعبته مليئة بالأفكار الجديدة؛ هناك الكثير والكثير من الطفرات التي ينبغي إنجازها وليس أمامنا الكثـير من الوقت. إن لانزا يعتلي قمة الثـورة البيوتكنولوجية. وهو أشبه بطفل دخل متجرا للحلوى، يسر أيما سرور كلما وطأ أرضا لم يطأها إنسان من قبل، ويحقق طفرات في نطاق واسع من المواضيع الساخنة.

منـذ جيل أو جيلين مضيـا، كان الإيقاع جد مختلف. إذ كنت وقتها تجد علماء الأحيـاء يفحصون على مهل ديدانا أو حشرات غامضة، ويدرسون في صبر وأناة تشريحهـا التفصيلي ويتجادلون حول الأسماء اللاتينية التي سيطلقونها عليها.

لكن لانزا لم يكن من بين هؤلاء.

لقـد التقيت بـه ذات يوم في حـوار في أحـد الاستديوهـات الإذاعية وانبهـرت على الفـور بعنفوانه وإبداعه الذي لا حدود لـه. كان كعادته، يندفع وسط التجارب غير مبـالٍ. فأخبرني أن بدايته في هذا المضمار سريع

(1) روبـرت لانـزا Robert Lanza طبيـب وعالم أمريكي ولد عـام 1956 له أبحاث متقدمة في مجـال الخلايا وأسرارها. (المترجم)

الحركـة جـاءت بأكثر الطـرق غرابة. كان ينتمـي إلى أسـرة متواضعة من الطبقـة العاملة تعيش في جنوبي بوسطن، حيـث قليلون هم من يلتحقون بالجامعـات. لكنـه أثناء دراسته الثانوية، سمع أنباءً مذهلـة عن اكتشاف حمضـ دي إن أيه. وتعلقت أذناه بما سمعه وقرر البدء في مشروع علمي: استنسـاخ دجاجة في غرفتـه. ولم يكن أبواه المندهشـان يعلمان بما يفعل، لكنهما مع ذلك منحاه مباركتهما.

ولمـا كان عازما علـى النهوض بمشروعه، ذهـب إلى هارفارد للحصول على النصيحة. ولم يكـن يعرف أي شخص هناك، فطلب من رجل اعتقد في البداية أنـه حاجب المكان أن يدله على الوجهـة السليمة. وكم كانت دهشته عندما اصطحبه ذلك الحاجب إلى مكتبه. واكتشف لانزا بعد ذلك أن هـذا الحاجب لم يكن سوى واحد من كبـار الباحثين في المعمل. وبعد أن انبهـر الرجل بالجـرأة الشديدة لذلك الشاب المتهـور الذي ما زال في دراسـته الثانوية، عرفه بعلماء آخريـن هناك، من بينهم العديد من الباحثين على مستوى جائزة نوبل، وهم من عملوا على تغيير مسار حياته. ويقارن لانزا نفسه بالشخصية التي أداها مات ديمون Matt Damon في فيلم (صيد النوايـا الطيبة) Good Will Hunting، وفيه يبهـر طفل بائس يتمتع بذكاء فطـري ينتمي لأسرة مـن الطبقة العاملة الأساتذة في معهـد ماساشوستس للتكنولوجيـا Massachusetts Institute of Technology بعبقريتـه في الرياضيات.

واليـوم، صار لانزا الرئيس العلمي لمؤسسـة (أدفانسد سل تكنولوجي) Advanced Cell Technology، حيـث تنسـب إليه المئـات من الأبحاث

والابتكارات في مجال علم الخلية. وفي عام 2003، تصدرت أنباؤه عناوين الصحف عندما طلبت منه حديقة حيوان سان دييجو San Diego استنساخ حيوان البانتنج[1] banteng، وهو فصيلة نادرة من الثيران البرية مهددة بالانقراض، من جسم إحداها الذي نفق منذ خمسة وعشرين عاما. وتمكن لانزا بالفعل من أن يستخلص بنجاح خلايا قابلة للاستخدام من جيفة الحيوان، ثم عالجها وأرسلها إلى إحدى المزارع بولاية (يوتاه) Utah. وهناك تمت زراعة الخلية المخصبة في بقرة. وبعدها بعشرة أشهر جاءته أنباء عن أن أحدث إبداعاته قد ولدت لتوها. وفي يوم آخر، ربما يجري أبحاثه على (هندسة الأنسجة)، والتي ربما تخلق في نهاية المطاف ورشة أعضاء بشرية يمكن عمل طلبيات أعضاء جديدة منها، تم استزراعها من خلايانا، لتحل محل أعضاء أصابها المرض أو الضمور. وقد تجده في يوم آخر يجري أبحاثا على استنساخ خلايا الأجنة البشرية. لقد كان أحد أعضاء الفريق التاريخي الذي استنسخ أول جنين بشري بهدف توليد خلايا جذعية جنينية.

مراحل الطب الثلاثة

يعتلي لانزا موجة عارمة من الاكتشافات، صنعها الكشف عن المعرفة المختبئة داخل حمضنا النووي دي إن أيه. وقد مر الطب عبر العصور بما لا يقل عن ثلاث مراحل رئيسة. ففي أولاها، والتي دامت لعشرات الآلاف

(1) ويعرف أيضًا باسم تيمباداو tembadau، وهو نوع من الثيران البرية. (المترجم)

من السنين، كانت الأمور الخارقة للطبيعة وأعمال السحر والقيل والقال هي المهيمنة على مهنة الطب. ولما كان أغلب الرضع يموتون بعد ولادتهم مباشرةً، صار متوسط العمر المتوقع حينئذ يتأرجح ما بين ثمانية عشر وعشرين عاما. وخلال تلك الحقبة، اكتشفت بعض الأعشاب الدوائية والكيماويات النافعة كالأسبرين، غير أنه في أغلب الأحيان لم تكن ثمة طريقة منهجية معتمدة لاكتشاف الوسائل العلاجية الجديدة. وللأسف ظلت أي علاجات حققت نجاحا فعليا بمثابة أسرار تحفظ في الخزائن. وكان الطبيب يعتمد في دخله على إرضاء الزبائن من المرضى الأثرياء، لذا كانت مصلحته المباشرة في حفظ أسرار ترياقه وتعاويذه.

وخلال هذه الفترة من الزمان، احتفظ واحد من مؤسسي مستشفى (مايو كلينيك) Mayo Clinic بمذكراته الخاصة التي سجل فيها مروره على مرضاه. وكتب في مذكراته صراحةً أن حقيبته السوداء لم يكن بها في حقيقة الأمر سوى مركبين فعالين: منشار معادن والمورفين. كان المنشار يستخدم في استئصال الأطراف المريضة، بينما كان المورفين يستخدم في تسكين الآلام الناتجة عن البتر. وكانا ينجحان في كل مرة. أما كل ما كانت تحويه الحقيبة السوداء من أشياء أخرى، حسبما ذكر في أسى، فكان عبارة عن زيت حية وأدوية زائفة.

وبدأت المرحلة الثانية من مهنة الطب في القرن التاسع عشر، بظهور نظرية الجراثيم والدعوة لتحسين الظروف الصحية. وارتفع متوسط العمر المتوقع في الولايات المتحدة عام 1900 إلى تسعة وأربعين عاما. وعندما كان عشرات الآلاف من الجنود يموتون في ميادين القتال الأوروبية خلال

الحـرب العالميـة الأولى، ظهرت حاجة ماسة للأطبـاء لإجراء تجارب على أرضـ الواقع، تحقق نتائج يمكن تطبيقها بعد ذلك، والتي نشرت بعد ذلك في دوريـات طبية. وطالب ملوك أوروبا، وقد فزعوا للمذابح التي أودت بحياة خيرة أبناء أممهم وألمعهم نبوغا، بنتائج حقيقية ملموسة لا نتائج قائمة على الدجل والشعوذة. وشرع الأطباء حينئذ، بدلاً من السعي نحو إرضاء زبائنهم الأثرياء، في النضال من أجل الشرعية ونيل الشهرة بنشر أبحاث في دوريات تخضع للنقد من قبل نظرائهم. ومهد هذا الأمر الساحة لحدوث تقـدم في مجال إنتاج المضادات الحيويـة والأمصال التي زادت من متوسط العمر المتوقع إلى سبعين عاما وأكثر.

أمـا المرحلة الثالثة من مهنة الطب فهي الطب الجزيئي. إننا نشهد ها هنا اندماجا بين علمـي الفيزياء والطب، ونختزل الطب إلى ذرات وجزيئات وجينـات. وكانت بداية هـذا التحول التاريخي في سنـوات الأربعينيات من القرن العشريـن، عندما ألف الفيزيائي النمسـاوي إرفن شرودينجر[1] Erwin Schrodinger، وهـو واحـد مـن مؤسسـي (نظريـة الكـم)[2] Quantum Theory، كتابا عُد نقطـة فارقة في التاريخ بعنوان (ما الحياة؟) What is life?. رفضـ شرودينجر في هذا الكتـاب فكرة أن هناك روحا غامضة أو قوة الحياة التي تحرك الكائنات الحية. وإنما افترض أن كل أشكال

(1) إرفن شرودينجر Erwin Schrodinger: (1961 – 1887) فيزيائي نمساوي وله نظريات في البيولوجيا ونظرية الكم وحاز جائزة نوبل في الفيزياء عام 1933. (المترجم)

(2) نظرية الكم Quantum Theory: نظرية تقول بأن عملية ابتعاث (إصدار) أو امتصاص الطاقة من قبل الذرات أو الجزيئات لا تتم على نحو متواصل لكن على مراحل، كل منها كناية عن ابتعاث أو امتصاص مقدار من الطاقة يدعى (الكم). (المترجم)

الحيـاة تقوم على شفرة من نـوع ما، وأن هذه الشفـرة مسجلة على أحد الجزيئـات. واكتشافه لذلك الجزيء، افترض أنـه بإمكاننا إماطة اللثام عن سـر الحياة. وكون عالم الفيزيـاء فرانسيس كريـك[1] Francis Crick، بعد أن ألهمـه كتاب شرودينجـر، فريقا مع عالم الوراثـة جيمس واطسون من أجـل إثبات أن حمض (دي إن أيه) النووي هو ذلك الجزيء الأسطوري. وفي عـام 1953، وفي واحد من أهـم الاكتشافات على مر العصور، تمكن واطسون وكريك من فك شفرة تركيب حمض دي إن أيه النووي، الذي يتخـذ هيئة الحلـزون المزدوج. وعند فرد الشريـط الواحد من حمض دي إن أيـه، فإن طوله يمتـد لحوالي ست أقدام. ويحوي هـذا الشريط تسلسلاً مكونا من 3 بلايين حمض نووي، تسمى أ، ث، س، ج (اختصارا لأسماء مركبات أدينين، وثايمين، وسيتوسين، وجوانين)، وهي التي تحمل الشفرة الوراثية. وبقـراءة التتابع الدقيق لتلك الأحماض النووية الموضوعة على امتداد جزيء دي إن أيه، يمكن للمرء قراءة كتاب الحياة.

وأدت التطورات السريعة في علم الوراثة الجزيئية أخيرا إلى إنشاء مشروع الجينوم البشري، وكان بحق علامة فارقة في تاريخ الطب. وتبلغ تكلفة هذا البرنامـج الهائل شديد الطموح الذي يتم مـن خلاله تحديد ترتيب جميع جينـات الجسـم البشري، حوالي 3 بلايـين دولار، وقد تعـاون فيه مئات العلمـاء من جميع أنحاء العالم. وعندما اكتمل المشروع في نهاية الأمر عام

(1) فرانسيس كريك Francis Crick: (1916 – 2004) عالم إنجليزي في مجالات البيولوجيا الجزيئية والفيزياء الحيوية وعلم الأعصاب. (المترجم)

2003، كان اكتمالـه إيذانا ببدء حقبة علمية جديـدة. ففي نهاية المطاف، سـوف يصبح لدى كل إنسان جينومه الشخصي متوفرا على اسطوانات. سوف يكون هذا الجينوم بمثابة قائمة مدرج بها جميع جيناتك التي تقارب 25 ألف جين؛ وذلك أشبه بكتالوج المستخدم الخاص بكل امرئ.

لقد أوجز العالم ديفيد بالتيمور الحائز على جائزة نوبل الأمر بقوله: (لقد صار علم الأحياء اليوم عبارة عن علم من علوم المعلومات).

المستقبل القريب (من الوقت الحاضر حتى 2030)

طب الجينوم

إن المحركين لهذا الانفجار الرائع في عالم الطب هما، جزئيا على الأقل، نظرية الكم وثورة الحاسبات. لقد منحتنا نظرية الكم نماذج تفصيلية مدهشة لكيفية ترتيب الذرات في كل جزيء بروتين وحمض نووي دي إن أيه. فنحن نعلم الآن كيف نبني جزيئات الحياة ذرّة ذرّة من لا شيء تقريبا. كما أن معرفة التسلسل الجيني – التي كانت عادةً ما تمثل عملية طويلة مرهقة وباهظة التكلفة – صارت الآن تتم كلها بطريقة ممكنة باستخدام أجهزة الروبوت. في الأصل، كانت تلك العملية تكلفنا عدة ملايين من الدولارات حتى نعرف تسلسل جميع الجينات الوراثية في جسم بشري واحد. إنها باهظة التكلفة ومضيعة للوقت، حتى إن حفنة قليلة فقط من البشر (من بينهم العلماء الذين أتقنوا هذه التقنية) هم الذين قرئت جينوماتهم. لكن خلال بضع سنين أخرى، قد تصبح هذه التقنية العجيبة متاحة للشخص العادي.

(أتذكر جيدا أنني كنت أحد المحاضرين الأساسيين في مؤتمر أقيم في أواخر التسعينيات في فرانكفورت، بألمانيا، عن مستقبل الطب. وتنبأت بأنه بحلول عام 2020، سوف تصبح الجينومات الشخصية أمرا متاحا على أرض الواقع، وأن كل فرد سوف يمتلك اسطوانة مدمجة أو رقاقة كمبيوتر عليها وصف لجيناته. غير أن واحدا من المشاركين أسخطه هذا الحديث

أيما سخط فقام وقال إن هـذا حلم مستحيل التحقيق. فهناك ببساطة عدد كبـير للغاية من الجينـات، وسوف تكون تكلفة تقـديم الجينوم الشخصي للفرد العادي أمرا باهظ التكلفة إلى حد بعيد. لقد تكلف (مشروع الجينوم البشـري) 3 بلايـين دولار؛ وتكلفة معرفة تسلسل جينـات الفرد الواحد ليس من المحتمل أن تنخفض بهذا القدر الكبير. وبعد أن ناقشته لاحقا في هذا الأمر، صار مكمـن المشكلة واضحا بالتدريج. لقد كان يفكر بمنوال خطي. لكن قانون مـور[1] Moore›s law كان يعمل على توجيه النفقات نحو الانخفاض، وجعل من الممكن تحديد تسلسل الدي إن أيه باستخدام أجهـزة الروبوت، والحاسبات الآليـة، والآلات الأوتوماتيكية. لقد عجز عـن أن يفهم التأثير البالغ لقانـون مور على علم الأحيـاء. وعندما أتذكر تلـك الواقعة، أدرك الآن أنه لو كان هناك خطأ في هذا التنبؤ، فهو كان في المبالغة في تقدير الزمن الذي ستستغرقه مسألة تقديم الجينومات الشخصية للناس).

على سبيل المثال، أتقن مهندس (ستانفورد) Stanford ستيفن آر. كوايك Stephen R. Quake ابتكار أحدث التطورات في معرفة تسلسل الجينات. وقـد انخفض الآن بالتكلفة إلى 50 ألف دولار ويتوقع انخفاض السعر إلى ألـف دولار خلال السنوات القليلـة المقبلة. لطالما تنبـأ العلماء بأنه عندما ينخفض سعـر معرفة التسلسل الجيني البشـري إلى 1000 دولار، قد يفتح

(1) قانون مور Moore's law هو القانون الذي ابتكره غوردون مور أحد مؤسسي إنتل عام 1965، حيث لاحظ أن زيادة عدد الترانزستورات على شريحة المعالج دون تكلفة يتضاعف تقريباً كل عامين، وأدت هذه الملاحظة إلى بدء دمج السليكون والدوائر المتكاملة من قبل إنتل مما ساهم في تنشيط الثورة التكنولوجية في شتى أنحاء العالم. (المترجم)

هذا الأمر بوابات الفيضان نحو تحديد التسلسل الجيني بالجملة، وبهذا قد تستفيد نسبة هائلة من أفراد الجنس البشري من هذه التقنية. وخلال بضعة عقود، قد تهبط تكلفة تحديد التسلسل الجيني إلى أقل من 100 دولار، وهي تكلفة لا تزيد على سعر إجراء تحليل الدم العادي.

(مفتاح تلك الطفرة الأحدث كان في سلوك طريق مختصر. فكوايك Quake يقارن بين تسلسل دي إن أيه الشخص وتتابعات الدي إن أيه التي سبق أن أجريت بالفعل للآخرين. فهو يفكك الجينوم البشري إلى وحدات من دي إن أيه تحتوي على 32 بيت Bit من المعلومات. وبعدها يستخدم برنامج حاسب آلي في مقارنة تلك الشظايا التي تتكون من 32 بيت بالجينومات المكتملة للآخرين. ولما كان أي اثنين من البشر يكونان شبه متطابقين في حمضهما النووي الدي إن أيه، حيث الاختلاف في المتوسط يكون في نسبة تقل عن 0.1 في المائة، فهذا معناه أن الكمبيوتر يمكنه سريعا الحصول على توافق بين تلك الشظايا ذات الـ 32 بيت).

وصار كوايك ثامن شخص في العالم يحصل على تسلسل جينومه مرتبا بالكامل. وكان لديه كذلك اهتمام شخصي بهذا المشروع؛ إذ إنه قام بعمل مسح لجينومه الشخصي للبحث عن دليل على إصابته بمرض بالقلب. وللأسف، أشار الجينوم إلى أنه ورث نسخة من أحد الجينات المرتبطة بمرض القلب. فقال في أسى: (لا بد أن تكون معدتك قوية عندما تنظر إلى الجينوم الخاص بك).

أعرف هذا الشعور الغريب. لقد تم مسح جينومي جزئيا ووضع على اسطوانة لصالح بي بي سي – تي في/ ديسكفري سبيشال الذي كنت

أقدمه. لقد سحب أحد الأطباء دما من ذراعي؛ وأرسله إلى المعمل بجامعة فاندير بيلت؛ وبعد ذلك بأسبوعين، أُعيدت الاسطوانة لي مرة أخرى بالبريد، وهي تحمل قائمة بالآلاف من جيناتي. لقد منحني الإمساك بهذه الاسطوانة بين يدي شعورا عجيبا، وأنا أعلم أنها تحتوي على المخطط الجزئي لجسدي. فمن حيث المبدأ، كان من الممكن استخدام هذه الاسطوانة في صنع نسخة لا بأس بها مني.

غير أن الأمر أيضا استثار فضولي، حيث إن أسرار جسدي كانت ضمن محتويات هذه الاسطوانة. فمثلاً، كان باستطاعتي أن أعرف إن كنت أحمل جينا معينا يزيد من احتمالات إصابتي بمرض ألزهايمر أم لا. كنت مهتما بهذا، حيث إن والدتي توفيت بهذا المرض. (ولحسن الحظ، وجدت أني لا أحمل هذا الجين).

كذلك، تطابقت أربع من جيناتي مع جينوم الآلاف من البشر حول العالم، الذين خضعوا هم أيضا لتحليل جيناتهم. بعدها وضعت مواقع الأفراد الذين تطابقوا تماما مع جيناتي الأربعة على خريطة لكوكب الأرض. وعن طريق تحليل النقاط المسجلة على خريطة الأرض، أمكنني أن أرى ذيلاً طويلاً مصنوعا من النقاط، منشؤه بالقرب من التبت ثم يمتد عبر الصين متجها إلى اليابان. كان من المدهش أن يكون هذا الذيل من النقاط متتبعا لأنماط الهجرة القديمة لأسلاف أمي، الذين عاشوا من آلاف السنين. إن أجدادي لم يتركوا وراءهم أي سجلات مكتوبة لهجراتهم القديمة، لكن الخريطة التي وشت بترحالهم ظلت محفورة داخل دمي وحمضي النووي. (يمكنك أيضا تتبع أسلاف والدك. إن جينات الميتوكوندريا تنتقل دون تغيير من الأم إلى ابنتها،

في حـين أن الكروموسوم ص ينتقل من الأب إلى ولده. ومن هنا، من خلال تحليل هذه الجينات، يمكن للإنسان تتبع سلسال أجداده لأمه وأبيه).

وأتخيـل أنـه في المستقبـل القريب، سـوف يكون لـدى كثيرين نفس الشعور الغريب الـذي انتابني، عند امتلاك مخطـط أجسادهم بين أيديهم وقراءة أسراره شديدة الخصوصية، بما فيها الأمراض الخطيرة، المختفية وراء الجينوم وكذلك أنماط الهجرة التي سار عليها أسلافهم.

لكـن بالنسبـة للعلمـاء، فإن هـذا يفتح فرعا جديـدا من العلـم، اسمه (المعلوماتية الحيوية)[1] Bioinformatics، أو استخدام الحاسبات في المسح السريع وتحليل جينومات الآلاف مـن الكائنات. مثال ذلك أنه عن طريق تغذيـة حاسـب آلي بجينومات عدة مئات مـن الأفراد الذيـن يعانون من مرضـ معين، قد يكـون الإنسان قادرا على حسـاب الموقع المحدد للدي إن أيـه التالف. في الحقيقـة، بعض من أقوى حاسبـات العالم تدخلت في علم البيوإنفورماتيكس، فقامت بتحليل ملايين الجينات التي عثر عليها في النباتات والحيوانات بحثا عن جينات رئيسة معينة.

بـل إن هذا الأمر مـن الممكن أن يحـدث ثورة في مجال برامـج التلفاز البوليسيـة مثـل مسلسل (سي إس آي)[2] CSI. فـإذا توصلنا لمعرفة قطع

(1) المعلوماتية الحيوية Bioinformatics أو علم الأحياء الحاسوبي (البيولوجيا الحاسوبية computational biology): استخـدام أحدث تقنيات الرياضيات التطبيقية، والمعلوماتيـة informatics، والإحصاء، وعلوم الحاسب لحل مشكلات بيولوجية حيوية. (المترجم)

(2) مسلسل (سي إس آي) CSI: مسلسل بوليسي أمريكي يتعقب فيه المحققون الجنائيون الجرائم واسمه اختصارًا لعبارة معناها التحقيـق في مسـرح الجريمة، وقد نال عدة جوائز في الدراما وبلغ عدد مشاهديه عام 2009 ثلاثة وسبعين مليون مشاهد من جميع أنحاء العالم. (المترجم)

ضئيلة الحجم من حمض دي إن أيه (الموجود في جريبات الشعر، أو اللعاب، أو في بقع الدماء)، لأمكننا تحديد ليس فقط لون شعر الشخص ولون عينيه والعرق الذي ينتمي إليه، وطول قامته، وسجله الطبي، وإنما قد يتم أيضا التعرف على شكل وجهه. واليوم يتمكن الفنانون العاملون لدى الشرطة من نحت قالب تقريبي لوجه الضحية مستخدمين جمجمته فقط. أما في المستقبل، فإن الحاسب الآلي ربما يكون قادرا على إعادة بناء ملامح الوجه لأحد الأشخاص بإعطائه فقط بعضا من قشر فروة الرأس أو من دماء ذلك الشخص. (مسألة أن التوائم المتطابقة لديها وجوه متشابهة إلى حد بعيد معناها أن علم الوراثة وحده، حتى في وجود عوامل بيئية، يمكنه تحديد قدر كبير من ملامح وجه الشخص).

زيارة للطبيب

مثلما ذكرنا في الفصول السابقة، سوف يتغير جذريا شكل زيارتك لعيادة الطبيب. عندما تتحدث إلى الطبيب من خلال الشاشة المعلقة على حائط منزلك، ربما تكون ساعتها في واقع الأمر تتحدث إلى برنامج حاسوب. إن حمامك سوف تكون به أجهزة استشعار تفوق ما هو موجود في مستشفى حديث، فيكتشف في صمت خلايا السرطان لديك قبل سنوات من تكون الأورام. مثال ذلك أن حوالي 50 % من جميع السرطانات الشائعة تتضمن طفرة في الجين P53 يمكن بسهولة اكتشافها باستخدام تلك المستشعرات.

فإذا ظهر دليل على الإصابة بالسرطان، فإن تلك الجسيمات النانو سوف

يتــم حقنها مباشرةً داخل تيار دمك، وستقوم مثلمــا تفعل القنابل الذكية، بإيصــال العقاقير المقاومة للسرطان مباشـرةً إلى الخلايا السرطانية. وسوف نعتبر ساعتها أن العلاج الكيماوي الذي نقدمه اليوم بمثابة سلعة تنتمي إلى القرن الماضي. (سـوف نناقش تفاصيل النانوتكنولوجي، ورقاقات الدي إن أيه، وجسيمات النانو، وأجهزة النانوبوت (آليين بحجم النانو)، بمزيد من التفصيل في الفصل التالي).

وإذا لم يتمكــن (الطبيــب) مــن علاج مرضــ أو إصابة مــا لحقت بأحد أعضائك، يمكنــك بكل بساطة زراعة عضو آخــر. ففي الولايات المتحدة وحدهــا، هناك 91 ألف شخص ينتظرون نقل أحد الأعضاء. وهناك ثمانية عشر شخصا يموتون كل يوم، في انتظار عضو لم يتمكنوا من الحصول عليه.

في المستقبل، سوف نمتلك (ترايكوردرز) *tricorders* – مثل تلك التي ظهرت في *Star Trek* – يمكنها تشخيص معظم الأمراض؛ إن المكتشفات المحمولة التي تعمل بالرنين المغناطيسي ورقاقات حمض الدي إن أيه سوف تجعل هذا الأمر ممكنا.

إذا عـثر طبيبـك الافتراضي على خطـأ ما، مثل عضـو مصاب بمرض، فإنـه قد يأمر بزراعـة عضو جديد يصنع من خلاياك مباشـرة. إن (هندسة الأنسجـة) تعد أحد أكـثر الميادين سخونة في دنيا الطـب، فهي تمكّن من إيجاد (متجر للجسم البشري). حتى الآن، يتمكن العلماء من زراعة الجلد والدم والأوعية الدموية وصمامات القلب والغضاريف والعظام والأنوف والآذان في المعمـل باستخـدام خلايـاك. أول عضو رئيـس، وهو المثانة، تمـت زراعته عام 2007، أما أول قصبـة هوائية فزرعت عام 2009. وحتى الآن، فـإن الأعضاء الوحيدة التي من الممكن زرعها في المعمل تعد بسيطة التكويـن نسبيا، فهي غير مكونة سوى من أنـواع قليلة من الأنسجة ومن تراكيب قليلة. وفي غضـون خمسة أعوام، قد نتمكن من زراعة أول كبد وأول بنكرياس، بكل ما ينطوي عليه ذلك مـن اعتبارات هائلة من أجل الصحـة العامة. وقد أخبرني العالم الحائز على جائزة نوبل والتر جيلبرت[1] Walter Gilbert بأنه في وقت ما مستقبلاً، لا يبعد عن يومنا هذا بأكثر من بضعـة عقود، سوف يصبح في الإمكان عمليا تخليق كل عضو من أعضاء جسم أي إنسان باستزراع خلايا من جسده.

إن هندسة الأنسجة تستـزرع أعضاءً جديدة بأن تقوم أولاً باستخلاص بضـع خلايا من جسدك. ويتـم بعد ذلك حقن تلـك الخلايا داخل قالب من البلاستك أشبه بالإسفنج مشكل على هيئة العضو المطلوب استزراعه.

(1) والتر جيلبرت Walter Gilbert: عالم أمريكي نال جائزة نوبل في الكيمياء عام 1980 متقاسمًا إياها مع فريدريك سانجر وبول بيرج وعرف مع سانجر بكونهما أول من ابتكر طرق تحديد ترتيب النيكليوتيدات في الأحماض النووية. (المترجم)

ويتـم صنع هذا القالـب البلاستيكي من حمضـ البوليجليكوليك القابل للتحلـل عضويا. ثم تعالج الخلايا بعوامل نمو معينة لتنشيط النمو الخلوي، مما يجعلها تنمو داخل القالب. وأخيرا، يتحلل القالب، تاركا خلفه عضوا تام التكوين.

لقـد سنحـت لي الفرصة كـي أزور ذات يوم معمـل (أنتـوني أتالا)[1] Anthony Atala بجامعـة ويـك فوريست بنورث كارولينـا وأشهد رأي العـين هذه التقنية المعجزة لأول مرة. وبينما كنت أتجول في أرجاء معمله، شاهـدت زجاجات تحتوي علـى أعضاء بشرية حيـة. وأمكنني أن أشاهد أوعية دموية ومثانات؛ ورأيت صمامـات قلب تفتح وتغلق باستمرار، إذ كانـت هناك سوائل تضخ مـن خلالها. وعندما رأيـت كل تلك الأعضاء البشريـة الحيـة داخل زجاجات، كـدت أشعر كما لو كنـت أتجول داخل معمـل د. فرانكنشتاين Frankenstein، لكن مع وجود اختلافات جذرية بـين الاثنين. فقديما في القرن التاسع عشر، كان الأطباء يجهلون آلية رفض الأعضـاء المزروعة، التي تجعل من المحال زرع أعضاء جديدة. علاوة على أن الأطباء لم يكونوا على علم بكيفية منع حدوث عدوى من الممكن حتما أن تلـوث أي عضو في أعقاب إجراء الجراحـة. وهكذا فإن أتالا بدلاً من خلـق وحشـ، يفتتح تقنية جديدة تماما لإنقاذ الحيـاة ربما تغير وجه الطب ذات يوم.

(1) أنتـوني أتـالا Anthony Atala: عـالم بـيرو في الأصل درس في الولايـات المتحدة في مجال علـم النفس والطب وطب المسالك البولية وله أبحاث في طب تجديد الأنسجة. (المترجم)

أحد الأهداف المستقبلية لهذا المعمل استزراع كبد بشرية، ربما في خلال خمسة أعوام. وهذه الكبد ليست بنفس تعقيد الكبد الحقيقية ولا تتكون سوى من بضعة أنواع من الأنسجة فقط. إن الأكباد المستزرعة معمليا قد تنقذ أرواح الآلاف من البشر، لا سيما أولئك الذين هم في حاجة ماسة لزرع كبد. كما أنها قد تنقذ أرواح مدمني الكحوليات الذين يعانون من التليف الكبدي. (لكن هذا للأسف من الممكن كذلك أن يشجع الناس على الاستمرار في اتباع عادات سيئة، بعد معرفتهم أن بإمكانهم الحصول على أعضاء بديلة تحل محل أعضائهم التالفة).

إذا كان في الإمكان الآن استزراع بعض من أعضاء الجسم، كالقصبة الهوائية والمثانة، فما الذي يمنع العلماء من استزراع كل عضو من أعضاء الجسم؟ من المشكلات الرئيسة في ذلك المضمار كيفية استزراع الشعيرات الدموية الدقيقة التي تمد الخلايا بالدم. فكل خلية يجب أن تكون على اتصال بإمداد من الدم. وعلاوة على ذلك، هناك مشكلة استزراع الأعضاء معقدة التركيب. فالكلية على سبيل المثال، وهي العضو الذي يقوم بتنقية الدم من السموم، تتكون من ملايين المرشحات الدقيقة، لهذا فإن قالب هذه المرشحات يصعب جدا خلقه.

غير أن أصعب عضو في استزراعه هو المخ البشري. وبرغم أن إعادة خلق أو استزراع مخ بشري يبدو أمرا غير محتمل الحدوث خلال العقود القادمة، فإنه من المحتمل بدلاً من ذلك حقن خلايا حديثة السن في المخ مباشرةً، وهو ما يدخلها ضمن الشبكة العصبية للمخ. إلا أن هذا الحقن لخلايا المخ الجديدة، يكون عشوائيا، وبهذا سيضطر المريض لإعادة تعلم

العديـد من الوظائـف الأساسية. لكن لأن المخ (قابـل للتشكل) –بمعنى أنـه يعيد إيصال الدوائر الكهربية به بعـد أن يتعلم مهام جديدة – فإنه قد يكـون قادرا على إدماج تلك النيورونات الجديدة بحيث تعمل على نحو صحيح.

الخلايا الجذعية

إحـدى الخطوات التي تلي ذلك هي تطبيق تقنية الخلايا الجذعية. فحتى الآن، كان استزراع الأعضاء البشرية يتم باستخدام خلايا ليست من الخلايا الجذعية وإنما مـن الخلايا التي عولجت معالجة خاصة بحيث تنقسم داخل قوالـب. وفي المستقبـل القريب، لا بـد أنه سيكون مـن الممكن استخدام الخلايا الجذعية مباشرةً.

الخلايـا الجذعية هي (أم جميع الخلايا) ولديهـا القدرة على التحول إلى أي نـوع من الخلايا في الجسم. كل خلية من خلايـا الجسم لديها الشفرة الوراثيـة الضروريـة لصنع سائـر أجزاء جسدنا. لكن مـع وصول خلايانا لمرحلة النضوج، فإنها تتخصص، وبهذا تصير العديد من الجينات خاملة. مثـال لذلك، برغم أن خلايا الجلد مثلاً تحمـل جينات تمكنها من التحول إلى خلايـا دم، فإن تلك الجينات تصبح خاملة عندما تتحول الخلية الجنينية إلى خلية جلدية ناضجة.

غـير أن الخلايـا الجذعية الجنينية تحتفـظ بقدرتها على النمـو من جديد لتصبح أي نوع مـن أنواع الخلايا طيلة حياتها. وبرغم أن الخلايا الجذعية الجنينيـة هي أكثر ما يحتفي به العلمـاء، فإنها في الوقت نفسه أكثرها إثارة

للجدل، إذ إن الأمر يستدعي التضحية بأحد الأجنة من أجل استخلاص تلك الخلايا، مما يثير بالتالي قضايا أخلاقية. (ومع ذلك، كان لانزا وزملاؤه في طليعة من حاولوا البحث عن طرق يتم بها الحصول على خلايا جذعية بالغة، تحولت بالفعل إلى نوع معين من الخلايا، ثم تم تحويلها إلى خلايا جذعية جنينية).

تمثل الخلايا الجذعية مستقبل علاج العديد من الأمراض المتنوعة، كالسكري، والقلب، وألزهايمر، وباركنسون، بل وحتى السرطان. في حقيقة الأمر، من الصعب أن نذكر مرضا لا يمكن للخلايا الجذعية أن يكون لها تأثير قوي عليه. ومن المجالات البحثية ذات الأهمية الخاصة في هذا الصدد إصابات الحبل الشوكي، التي كانت تعد ذات يوم غير قابلة للشفاء على الإطلاق. ففي عام 1995، عندما عانى الممثل الوسيم كريستوفر ريف[1] Christopher Reeve من إصابة شديدة بالحبل الشوكي نجم عنها شلل كامل، لم يكن هناك علاج لحالته. غير أنه في الدراسات التي أجريت على الحيوانات، تحققت خطوات واسعة في مجال علاج الحبل الشوكي باستخدام الخلايا الجذعية.

على سبيل المثال، حقق ستيفن ديفيز Stephen Davies من جامعة كولورادو نجاحا باهرا في علاج إصابات الحبل الشوكي لدى الفئران.

(1) كريستوفر ريف Christopher Reeve: ممثل ومخرج ومنتج أمريكي الجنسية من أشهر أدواره سوبرمان في الفيلم الشهير الذي أنتج عام 1978 وحقق إيرادات ضخمة وقد توفي عام 2004 بعد أن عانى من إصابة بالحبل الشوكي عام 1995 نتج عنها عجزه الكامل جراء سقوطه من على ظهر جواد، وأسس مؤسسة كريستوفر ريف للأبحاث في مجال العلاج بالخلايا الجذعية. (المترجم)

ويقـول عـن ذلك، (لقـد أجريـت بعض التجـارب التي زرعـت فيها نيورونـات بالغة مباشرةً في الجهاز العصبي المركزي لأفراد بالغين. تجارب تنتمـي إلى عالم فرانكنشتاين حقا. ولدهشتنـا، صارت النيورونات قادرة علـى إرسال ألياف عصبية جديدة من أحـد جانبي المخ إلى الجانب الآخر خـلال أسبـوع واحد). وفي مجال عـلاج إصابات الحبـل الشوكي، كان الاعتقاد السائد على نطاق واسع أن أي محاولة لإصلاح الأعصاب سوف تخلـف ألمـا مبرحا وضيقا. وقـد توصل ديفيز إلى وجود نـوع رئيس من الخلايا العصبية، يسمى الخلايا النجمية، ويوجد منها نوعان فرعيان، لكل منهما نتيجة مختلفة عن الآخر.

يقول ديفيز: (عن طريق استخدام الخلايا النجمية الصحيحة في إصلاح إصابـات الحبـل الشوكـي، نحصل على جميـع المكاسـب دون معاناة، في حـين أن الأنـواع الأخرى فيما يبـدو تقوم بالعكـس؛ أي ألم دون أي مكسـب). الأدهى من ذلك، أن التقنيـات نفسها التي كان هو رائدا فيها باستخـدام الخلايا الجذعيـة تنجح أيضا مـع ضحايا السكتـات الدماغية ومرضى ألزهايمر وباركنسون حسبما يعتقد.

لمـا كانـت كل خليـة من خلايـا الجسم في الواقـع يمكـن أن تخلّق عن طريـق تحويل الخلايا الجذعيـة الجنينية، فإن الاحتمـالات لا نهاية لها. إلا أن دوريـس تايلور Doris Taylor، مدير مركـز الإصلاح القلبي الوعائي بجامعـة مينيسوتـا، تحذر من أنه ما زال أمامنا الكثـير من العمل لنقوم به. فعلى حـد قولها: (تمثل الخلايـا الجذعية الجنينية شخصيـات فيلم الطيب

والشرير والقبيح[1]. فعندما تكـون طيبة، يمكن استزراعها بأعداد ضخمة في المعمـل واستخدامهـا في تكوين أنسجة وأعضـاء أو قطع غيار بشرية. وعندمـا تكون شريرة، لا تعرف متى تتوقف عن النمو وبالتالي تتحول إلى أورام خبيثـة. أما القبيحة؛ حسنا نحن ما زلنا لا نفهم كل المفاتيح، لهذا لا نستطيع السيطرة على النتائج، ونحن لسنا على استعداد لاستخدامها دون إجراء المزيد من الأبحاث في المعمل).

هذه واحدة مـن المشاكل الرئيسة التي تواجه أبحـاث الخلايا الجذعية: مسألـة أن تلك الخلايـا الجذعية، من دون المفاتيـح الكيميائية القادمة من البيئـة، قـد تواصـل الانقسام في وحشيـة إلى أن تصـير سرطانية. ويدرك العلمـاء الآن أن الرسائل الكيميائية الخفية التـي تتنقل بين الخلايا، فتبلغها بتوقيـت وموضع نموها وتوقفها عن النمو، لا تقل أهمية.بمكان عن الخلايا ذاتها.

ومـع ذلك، فقد أحرزنـا تقدما وإن كان بطيئا إلا أنـه حقيقي، لا سيما علـى مستـوى الدراسات التي تتم علـى حيوانات المختـبر. وكانت أنباء (تايلـور) تتصدر عناوين الصحف عـام 2008 عندما نجح فريقها البحثي، للمـرة الأولى في التاريخ، في استـزراع قلب فأر من لا شـيء تقريبا. لقد بـدأ فريقها بقلب فـأر وأذاب الخلايا التي بداخل القلـب، فلم يترك منها

(1) (الطيب والشرير والقبيح) The good، the Bad and the Ugly فيلم من إخراج الإيطالي سيرجيو ليوني عام 1966 من أفلام الغرب لعب بطولته كلينت إيستوود، ولي فان كليف، وإيلي والاش في أدوار الطيب والشرير والقبيح على الترتيب. وتـدور قصتـه حول ثلاثة من أمهر الرمـاة يتصارعون حول العثور علـى كنز تركه أحد ضحايا الحـرب الأهلية الأمريكية. (المترجم)

سوى قالب مكون من البروتينات على هيئة قلب يؤدي وظيفة السقالة. ثم زرعوا خليطا من خلايا القلب الجذعية داخل هذا القالب، وراقبوا الخلايا الجذعية وهي تبدأ الانقسام داخل القالب. فيما مضى، كان العلماء قادرين على استزراع كل خلية من خلايا القلب في طبق زجاجي بالمختبر. غير أن هذه كانت المرة الأولى التي يستزرع فيها قلب نابض حقيقي معمليا.

كان استزراع القلب يمثل كذلك حدثا مثيرا لها على المستوى الشخصي: حيث قالت: (إنه لأمر رائع. إذ بإمكانك رؤية شجرة الأوعية الدموية بأكملها، من شرايين إلى أوردة دقيقة الحجم تمد كل خلية من خلايا القلب بالدم).

هناك أيضا قسم من الحكومة الأمريكية مهتم عن كثب بتحقيق طفرات علمية في مجال هندسة الأنسجة الوراثية، وهو الجيش الأمريكي. في الحروب الماضية، كان معدل الوفيات في ميادين القتال مروعا، إذ كانت أفواج وكتائب بأكملها تباد وكان كثيرون يموتون جراء إصاباتهم. الآن تطير فرق الإجلاء الطبية سريعة الاستجابة بالجرحى من العراق وأفغانستان إلى أوروبا أو الولايات المتحدة، حيث يتلقى هؤلاء الجرحى أرقى مستوى من الرعاية الطبية. وبذلك ارتفع معدل النجاة من إصابات الحروب على مستوى جنود المشاة إلى عنان السماء. كذلك ارتفع معدل أعداد الجنود الذين فقدوا أذرعهم وأطرافهم. ونتيجة لذلك، جعل الجيش الأمريكي أولويته في العثور على سبيل لاستزراع الأطراف مرة أخرى.

وحقق معهد الطب التجديدي التابع للقوات المسلحة طفرة علمية غير مسبوقة في استخدام طريقة جديدة تماما في استزراع الأعضاء. لطالما عرف

العلماء أن حيوانات السلمندر لديها قدرات جديرة بالإعجاب على إنبات أعضائها من جديد، وإعادة إنبات أطراف كاملة بعد فقدانها. وتعود تلك الأطراف للنمو من جديد لأن الخلايا الجذعية للسلمندر تنشط لإنبات أطراف جديدة. إحدى النظريات التي يرجى أن تثمر عن نتائج طيبة خضعت للبحث والتنقيب على يد ستيفن باديلاك Stephen Badylak العالم بجامعة بيتسبرج، الذي نجح في إعادة استزراع أطراف الأنامل. لقد صنع فريقه البحثي (غبارا جنيا) لديه قدرة أشبه بالإعجاز على إعادة استزراع الأنسجة. ولا يصنع هذا الغبار من الخلايا وإنما من قالب خارج خليوي يقع بين الخلايا وبعضها. وهذا القالب مهم لأنه يحتوي على إشارات تبلغ الخلايا الجذعية وتأمرها بالنمو بطريقة محددة. وعندما يوضع هذا الغبار الجني فوق طرف الإصبع المبتور، لن يكتفي بتنشيط طرف الإصبع وإنما سينبت أيضا حتى نسيج الظفر، لينتج في النهاية نسخة أقرب ما تكون إلى الإصبع الأصلية. وقد تم إنبات مسافة تصل إلى ثلث بوصة من النسيج والظفر بهذه الطريقة. والهدف التالي أمامهم أن يتم التوسع في هذه العملية حتى يروا إن كان في الإمكان استزراع طرف الإنسان بالكامل أم لا، تماما مثل حيوان السلمندر).

الاستنساخ

إذا كان باستطاعتنا استزراع أعضاء من الجسم البشري، إذن هل بإمكاننا إعادة إنبات كائن بشري كامل، لنخلق بذلك نسخة وراثية مطابقة تماما، أي إنسان مستنسخ؟ والإجابة هي نعم، من حيث المبدأ، لكن هذا الأمر لم

يتم بالفعل، برغم ورود عديد من التقارير التي تفيد العكس.

كانت الكائنات المستنسخة مادة محببة لأفلام هوليوود السينمائية، غير أنها عادةً ما تعود بالعلم إلى الوراء. ففي فيلم (اليوم السادس) The Sixth Day، تخوض الشخصية التي يلعب دورها (أرنولد شوارزنيجر) معارك مع الأشرار الذين أتقنوا فن استنساخ كائنات بشرية. والأهم من ذلك، أنهم أتقنوا فن استنساخ الذاكرة الكاملة لشخص ما، ومن ثم زرع تلك الذاكرة في الكائن المستنسخ. وعندما يسعى شوارزنيجر للقضاء على أحد الأشرار، يظهر له كائن جديد يحمل نفس الشخصية والذاكرة ذاتها. وتتعقد الأمور أكثر عندما يكتشف أن هناك نسخة صنعت له دون علمه. (في الواقع، عندما يستنسخ حيوان ما، لا يمكن استنساخ ذاكرته معه).

لقد ظهر مفهوم الاستنساخ لأول مرة في عناوين الصحف العالمية الرئيسة عام 1997، عندما تمكن أيان ويلموت[1] Ian Wilmut، العالم بمعهد روزلين التابع لجامعة أدنبرة من استنساخ النعجة دوللي. فعندما أخذ إحدى خلايا نعجة بالغة، واستخلص منها حمض دي إن أيه، ثم زرع تلك النواة في خلية بويضة، صار (ويلموت) قادرا على إتمام ذلك العمل الفذ بصنع نسخة وراثية من الأصل. وقد سألته ذات مرة هل كانت لديه أدنى فكرة عن العاصفة الهوجاء التي من الممكن أن تثور ضده في وسائل الإعلام جراء اكتشافه التاريخي هذا. فأجاب بالنفي. لقد فهم بوضوح

(1) أيان ويلموت Ian Wilmut: عالم أجنة إنجليزي ولد عام 1944 اشتهر بأنه كان أول من استنسخ كائنًا حيًا هو النعجة دوللي من فصيلة الدورسيت الفنلندي وكان ذلك عام 1996، وهو يشغل حاليًا منصب مدير مركز الطب التجديدي التابع لجامعة أدنبرة. (المترجم)

الأهمية الطبية لعمله غير أنه بخس قدر الافتتان العام باكتشافه هذا.

وفي الحال بـدأت مجموعات من مختلف أنحاء العالم في تقليد هذا العمل الفـذ، فاستنسخـوا مجموعة واسعة التنـوع من الحيوانات منهـا الفئران، والماعـز، والقطـط، والخنازيـر، والـكلاب، والخيـول، والماشيـة. وقد اصطحبـت ذات مـرة طاقم تصوير (بـي بي سي) لنـزور (رون ماركيز) التي تقع مباشرةً خارج حدود دالاس بولاية تكساس، وهي كبرى مزارع الماشيـة المستنسخة في البلاد. وفي هـذه المزرعة، أدهشني أن أرى الجيلين الأول والثـاني بـل والثالث مـن الماشيـة المستنسخة؛ نسخ مـن نسخ من نسـخ. وأخبرني (ماركيـز) نفسه أنهم سيضطرون لابتـكار معجم جديد للمصطلحات حتى يتمكنـوا من الاحتفاظ بسجل يتتبع الأجيال المختلفة من الماشية المستنسخة.

ولفـت نظري إحدى مجموعات الماشية. كانت حوالي ثمانية من التوائم المتطابقـة، تصطـف جميعهـا إلى جوار بعضهـا. لقد سـارت وركضت وتناولـت طعامها ورقدت بكل دقة في طابـور واحد. ورغم أن العجول ليسـت لديهـا أية فكرة عـن أنها نسخ مـن بعضها البعض، فإنها كانت بالفطرة مترابطة معا وكان كل واحد منها يحاكي حركات أخيه.

وأخبرني ماركيز أن استنساخ الماشية كان من المتوقع له أن يمثل تجارةً يسيل لها لعـاب المستثمرين. إذا كان لديك أحد الثـيران التي تتمتع بمواصفات جسمانيـة فائقـة، فإن بإمكانـه أن يجلب لك سعرا عاليـا إذا استخدم في التناسل وتربية السلالات. لكـن إذا مات هذا الثور، فإن سلسلته الوراثية سـوف تضيع ما لم تجمع حيواناته المنوية وتجمدها. ومع الاستنساخ، صار

بإمكان المرء المحافظة للأبد على حياة السلسلة الوراثية للثيران التي تحصد الجوائز.

رغم أن للاستنساخ تطبيقات تجارية على الحيوانات وتزاوجها، فإن تطبيقاته على البشر أقل وضوحا. ورغم وجود عدد من المزاعم الحساسة التي تنادي بأن استنساخ البشر قد تحقق، فإن جميعها ربما كان محض احتيال. فحتى الآن، لم ينجح أحد في استنساخ حيوان من الرئيسيات Primates، ناهيك عن الإنسان. وحتى استنساخ الحيوانات ثبتت صعوبة تنفيذه، إذا علمنا أن مئات الأجنة المعيبة تخلق ولا يصل من بينها سوى واحد فقط لمستوى النضوج الكامل.

وحتى إذا صار استنساخ البشر أمرا ممكنا، فإنه توجد عقبات اجتماعية تواجهه. أول شيء أن كثيرا من الأديان تعارض استنساخ البشر، بشكل مشابه للأسلوب الذي اعترضت به الكنيسة الكاثوليكية على أطفال الأنابيب[1] سابقا في عام 1978، عندما صارت لويز براون Louise Brown أول طفلة أنابيب في التاريخ تستقبل أنبوبة اختبار نطفتها. وهذا معناه احتمال صدور قوانين تحظر هذه التقنية، أو على الأقل تفرض عليها محاذير صارمة تنظم عملها. والأمر الثاني، أن الطلب التجاري على استنساخ البشر سوف يكون محدودا. فعلى أقصى تقدير، ربما لا تكون هناك سوى نسبة من الجنس البشري عبارة عن نسخ، حتى إذا صار هذا

(1) الإخصاب المختبري عملية تخصب فيها البويضة بواسطة الحيوانات المنوية خارج الجسم، وهو علاج رئيس من طرق علاج العقم، وكانت اعتراضات الكنيسة الكاثوليكية عليه أنه مثل منع الحمل يفرغ الزواج من هدفه الموحد للزوجين. (المترجم)

الأمـر مشروعا. وعلـى كلٍ، لدينا بالفعل بشر مستنسخـون، وهم التوائم المتطابقـة (سواء كانوا اثنين أو ثلاثة)، وهكذا فـإن حداثة استنساخ البشر سوف تذوي بالتدريج.

في البداية كان الطلب على أطفال الأنابيب هائلاً، إذ كانت هناك أعداد هائلة من الأزواج والزوجات المصابين بالعقم. لكن من ذا الذي يستنسخ إنسانـا؟ ربمـا أبوان ثكلا طفلهمـا. أو الأقرب احتمـالاً، شخص تقدم به العمـر، ثري، يرقد على فراش الموت ولا يوجد له ورثة – أو لا يوجد له ورثة يهتم بأمرهم على وجه التحديد – ويرغب في أن يوصي بكل أمواله لنفسه باعتبار أن نسخته هذه سوف تبدأ الحياة من سن الطفولة من جديد.

إذن في المستقبـل، ورغم احتمال صـدور قوانين تحظر استنساخ البشر، فلربمـا تظهر بالفعل أناس مستنسخة. على أي حال، لن يمثل هؤلاء سوى نسبـة ضئيلة من الجنس البشري وسوف تكـون تداعيات هذا الأمر بالغة الضآلة.

العلاج بالجينات

أخبرني فرانسيس كولينز Francis Collins، المدير الحالي للمعاهد القومية للصحـة بالولايات المتحـدة الذي قاد مشروع الجينـوم البشري الحكومي التاريخـي، أن (كلاً منا لديـه نصف دستة جينات بها قـدر لا بأس به من التلـف). وفي الماضـي السحيق، كان علينا أن نكتفـي بالمعاناة في صمت من تلك العيوب الجينيـة القاتلة في أغلب الأحيان. أما مستقبلاً، فحسبما أخبرني، سوف نعالج الكثير منها باستخدام العلاج بالجينات.

لقد أقضت الأمراض الوراثية مضجع الإنسانية منذ فجر التاريخ، وفي لحظات فارقة ربما كان لها دور مؤثر فعلاً على مسار التاريخ. ومثال لذلك، أنه بسبب التزاوج بين أفراد الأسر المالكة في أوروبا، ابتليت أجيال من النبلاء بأمراض شتى. فجورج الثالث ملك إنجلترا على سبيل المثال، كان يعاني على الأرجح من بورفيريا[1] porphyria حادة متقطعة، وهو مرض يتسبب في نوبات مؤقتة من الجنون. وقد تكهن بعض المؤرخين بأن هذا الأمر جعل العلاقات تسوء بينه وبين المستعمرات البريطانية مما حثها على إعلان استقلالها عن انجلترا عام 1776.

أما الملكة فيكتوريا، فكانت حاملة لجين الهيموفيليا (مرض نزف الدم)، الذي يتسبب في نزيف الدم المفرط. ولما كانت قد أنجبت تسعة من الأطفال، وتزوج العديد منهم من الأسر المالكة الأخرى في أوروبا، فقد انتشر هذا (المرض الملكي) في جميع أنحاء القارة. ففي روسيا، كان الحفيد الأكبر للملكة فيكتوريا (ألكسيس)، وهو نجل القيصر نيقولا الثاني، يعاني من مرض الهيموفيليا، وأوهم الراهب راسبوتين الأسرة المالكة أنه قادر على السيطرة على المرض ولو بصورة مؤقتة. وحصل هذا (الراهب المجنون) على سطوة كافية أصابت الأسرة الروسية النبيلة بالشلل، فكان يؤخر إصلاحات كثيرة كانت الدولة في أمس الحاجة إليها، وحسب زعم بعض المؤرخين، ساعد ذلك على التعجيل بقيام ثورة البلاشفة عام 1917.

(1) البورفيريا porphyria: اسم يطلق على مجموعة متنوعة من الاضطرابات المتعلقة بمشاكل في إنتاج مركب الهيم وهو جزيء غني بالحديد يوجد أساسًا في هيموجلوبين الدم الذي ينقل الأكسجين لسائر الجسم. والبورفيريا الحادة تصيب الجهاز العصبي، وهي نوع وراثي أساسًا، ومن أعراضها ألم يالبطن والشعور بالتنميل والتقلصات والقيء والأعراض العقلية. (المترجم)

غـير أنه في المستقبل، قد يصير العـلاج بالجينات قادرا على شفاء العديد مـن الخمسة آلاف مرض وراثي المعروفـة، مثل التليف الكيسي[1] Cystic fibrosis (الذي يصيب سكان شمال أوروبا)، ومرض (تاي ساكس) Tay Sachs – (الذي يصيب يهود أوروبا الشرقية)، وأنيميا الخلية المنجلية (الذي يصيب الأمريكيين ذوي الأصول الأفريقية). وفي المستقبل القريب، لا بد أنه سيكون من الممكن شفاء العديد من الأمراض الوراثية التي تتسبب فيها طفرة أصابت جينا معينا واحدا.

وهناك نوعان من العلاج بالجينات: الذاتي وذو الخط الجرثومي.

أمـا العلاج بالجينـات الذاتية فيعني إصلاح الجينـات المعطوبة لشخص واحـد. وتتلاشى قيمته العلاجية بوفاة ذلـك الشخص. أما العلاج الجيني ذو الخـط الجرثومـي فهو الأكثر إثـارة للجدل، وفيه يتـم إصلاح جينات الخلايـا التناسلية، وبهـذا يمرر الجين الذي يتم إصلاحـه للجيل التالي، إلى الأبد تقريبا.

ويأتـي شفـاء المرض الوراثـي في أعقاب طريق طويـل، وإن كان ثابت الأركان. فأول شـيء، ينبغي للمرء العثور على ضحايا مرض وراثي معين ثـم تتبع شجرتهـم العائلية، وهو عمـل شاق مضنٍ، بالعـودة للوراء لعدة أجيـال. وعـن طريق تحليل جينات هـؤلاء الأفراد، يسعـى المرء بعد ذلك لتحديد الموقع الدقيق للجين الذي ربما يكون قد أصابه تلف.

(1) التليـف الكيسـي Cystic fibrosis: مرض وراثي يتصف بوجود شذوذ في الخلايا المصنعـة للملح والماء والمخاط، وهو مرضـ مزمن ومتفاقم وعـادةً ما يؤدي إلى الوفاة. وبصفة عامة، لا يعيش الأطفال الذيـن يصابون به بعد سن الثلاثينات من أعمارهم. (المترجم)

بعدهـا يأخذ العـالم نسخة سليمة من ذلك الجـين، ويزرعها في (متجه) (وهـو عـادةً فيروس غير ضار)، ثم يحقنها في المريض. وسرعان ما يقوم الفيروس بزرع (الجين الطيب) في خلايا المريض، مما يمكن المريض من الشفاء من المرض بعد ذلك. بحلول عام 2001، كان هناك أكثر من 500 تجربة للعلاج بالجينات إما يجري القيام بها وإما تخضع للتقييم في جميع أنحاء العالم.

غير أن التقدم كان بطيئا وجاءت النتائج متضاربة. كانت إحدى المشكلات التي واجهت العلماء أن الجسم كثيرا ما يخلط بين هذا الفيروس غير الضار، الذي يحوي بداخله الجين الطيب، وفيروس خطير فيبدأ في مهاجمته. ويتسبب هذا في أعراض جانبية يمكنها أن تقضي على تأثير الجين الطيب. وهناك مشكلة أخرى، وهي أن عددا غير كافٍ من الفيروس ينجح في زرع الجين الطيب في الخلايا المستهدفة بصورة صحيحة، وبهذا لا ينتج الجسم كمية كافية من البروتين الصحيح.

رغم تلك التعقيدات، أعلن العلماء في فرنسا عام 2000 عن تمكنهم من علاج أطفال يعانون من حالات نقص المناعة الكلية الحاد (SCID)، وهم أطفال ولدوا دون جهاز مناعي مؤدٍ لوظائفه. وبعض المرضى بهذا المرض، مثل (ديفيد صبي الفقاعة)[1] The Bubble Boy، يضطرون للعيش داخل

(1) ديفيد فيليب فيتر (1971 – 1984) كان صبيًا من تكساس بالولايات المتحدة أرغم نتيجة إصابته بمرض نقص المناعة الكلية الحاد إلى الحياة داخل بيئة معقمة تمامًا، وقد اشتهر في وسائل الإعلام بلقب الصبي الذي يعيش في الفقاعة البلاستيكية The Boy in the Plastic Bubble . وقد أمضى معظم حياته في مستشفى الأطفال بتكساس لكنه في عام 1981 خرج من المستشفى ليكون تحت رعاية أبويه طول الوقت. وقد توفي بالسرطان بعد أن نقل له نخاع عظم غير متوافق معه من شقيقته. (المترجم)

فقاعة بلاستيكية معقمة طيلة ما تبقى من حياتهم. فمن دون جهاز مناعة، قد يكون أي مرض يصابون به مهلكا لهم. وأظهرت التحليلات الجينية لأولئك المرضى أن خلاياهم المناعية استقبلت بداخلها فعلاً جينا جديدا، حسبما كان مخططا له، ومن ثم نشط ذلك أجهزتهم المناعية.

غير أنه وقعت انتكاسات لذلك. ففي عام 1999، وفي جامعة بنسلفانيا، توفى أحد المرضى خلال تجربة علاج بالجينات، مما تسبب في جدل أخلاقي داخل المجتمع الطبي في محاولة لمواجهة النفس بشجاعة. كانت تلك أول حالة وفاة من بين 1100 مريض خضعوا لذلك النوع من العلاج الجيني. وبحلول عام 2007، أصيب أربعة من عشرة مرضى شفوا من نوع معين من نقص المناعة الكلي الحاد بأثر جانبي خطير، وهو مرض اللوكيميا أو سرطان الدم. وتتركز أبحاث علاج نقص المناعة الكلي الحاد بالجينات حاليا على علاج المرض دون أن يستحث ذلك بطريق المصادفة جينا يمكن أن يتسبب في الإصابة بالسرطان. وحتى اليوم، شفي سبعة عشر مريضا ممن كانوا يعانون من أنواع متباينة من هذا المرض، كما أنهم لم يصابوا بالسرطان، مما يجعل ذلك واحدا من النجاحات القليلة التي حدثت في هذا الميدان.

أحد الأمراض المستهدفة بالعلاج الجيني بالفعل هو السرطان. حوالي 50 % من جميع أنواع السرطان الشائعة ترتبط بالجين التالف P53. إن الجين P53 طويل ومعقد التركيب؛ وهذا ما يجعله الأكثر تعرضا للتلف بفعل عوامل بيئية وكيميائية. لهذا فإن الكثير من تجارب العلاج بالجينات تجرى على زرع جين P53 سليم في المرضى. على سبيل المثال، غالبا ما

يتسبب دخان السجائـر في طفرات مميزة لثلاثة مواقع شهيرة داخل الجين P53. لهـذا فإن العلاج بالجينات، عن طريـق إحلال جين P53 سليم بدلاً من التالف، قد يمكننا ذات يوم من علاج أنواع معينة من سرطان الرئة.

كان التقدم بطيئا لكنه ثابت الخطى. ففي عام 2006، تمكن علماء المعاهد القومية للصحة بماريلاند بنجاح من علاج الميلانوما الانتشارية، وهو أحد أنـواع سرطان الجلد، بتحويل الخلايا التائية القاتلة بحيث تستهدف خلايا السرطان تحديدا. كانت هذه أول دراسة توضح أن العلاج بالجينات يمكن استخدامـه بنجاح لعلاج بعضـ أنواع السرطان. وفي عـام 2007، أعلن الأطبـاء بكلية الجامعـة ومستشفى مورفيلـدز للعيون بلنـدن أنهم تمكنوا مـن استخدام العلاج بالجينات في مداواة نـوع معين من أمراض الشبكية الوراثية (تتسبب فيه طفرات تصيب الجين RPE65).

في الوقت نفسه، هناك بعض الأزواج والزوجات الذين لا ينتظرون العلاج بالجينـات وإنما يحاولون التحكم في موروثهم الجيني بأيديهم. إذ يمكن لزوج وزوجتـه أن يصنعا عـدة أجنة مخصبـة باستخدام تقنيـة الإخصاب المختبري (داخـل أنابيب الاختبار). ويمكن بعد ذلك فحصـ كل جنين من هؤلاء بحثا عن مرض وراثي معين، ويمكن للزوجين عندئذ اختيار الجنين الخالي من المرض الوراثـي كي يزرع في رحم الأم. وبهذه الطريقة، يمكن القضاء بالتدريج على الأمراضـ الوراثيـة دونما حاجة للاستعانـة بتقنيات العـلاج بالجينات باهظة التكلفة. وتجرى هذه العملية في الوقت الراهن على بعض اليهود الأرثوذكس في بروكلن ممن لديهم احتمالات مرتفعة للإصابة بمرض (تاي ساكس). لكن هناك مرض واحد، ربما سيظل مميتا طيلة هذا القرن، ألا وهو السرطان.

التعايش مع السرطان

في عـام 1971، أعلـن الرئيـس الأمريكي ريتشارد نيكسـون Richard Nixon رسميـا ووسط حشد غفير من الجمهـور مصحوبا بحملة إعلامية كبيرة حربا شعواء على مرض السرطان. كان الرئيس مؤمنا بأنه بإنفاق المال الوفـير على مرض السرطان سيصير الشفاء منه في متناول أيدينا. لكن الآن وبعـد أربعين عاما (مصحوبة بإنفاق 200 بليون دولار) من ذلك التاريخ، مـا زال السرطان يحتل المرتبة الثانية بين أبرز أسباب الوفيات في الولايات المتحدة، فهو مسؤول عن نسبة 25 في المئة من إجمالي حالات الوفاة. ولم ينخفض معدل الوفيات الناجمة عن السرطان إلا بنسبة 5 في المئة بين عامي 1950 و2005 (بعد تعديل النسبـة وفقا للعمر والعوامل الأخرى). وتشير التقديـرات إلى أن السرطان سوف يحصـد أرواح 562 ألف أمريكي هذا العـام وحده، أو ما يقدر بأكثر من ألف نسمة يوميا. وقد هبطت معدلات الإصابـة بالسرطان بالنسبة لأنواع قليلة من المرض غير أنها ظلت ثابتة في عنـاد في أنواع أخرى. كما أن علاج السرطان الذي من أساليبه التسميم، والاستئصـال، وقتـل الأنسجة البشرية يـترك أثره النفسـي على المرضى، الذين كثيرا ما يسألون أنفسهم أيهما أسوأ، المرض أم العلاج.

وإذا عدنـا بذاكرتنا إلى الوراء، لأمكننا أن نرى مكمن الخطأ. ففي ذلك التاريـخ، أي عام 1971، وقبل حدوث ثـورة في الهندسة الوراثية، كانت أسباب السرطان تعد لغزا غامضا تماما.

أما الآن فقد أدرك العلماء أن السرطان في الأساس مرض يصيب جيناتنا. فسـواء كان سببـه فيروسـا، أو التعرض لكيماويـات معينـة أو إشعاع أو

بالمصادفة، فإن السرطان من الناحية الجذرية عبارة عن طفرات تصيب أربعا أو أكثر من جيناتنا، وتجعل خلية عادية (تنسى كيف تموت). إن الخلية تفقد السيطـرة على عملية التكاثر فتظل تتكاثر دون حدود، وفي نهاية المطاف تقتل المريض. ومسألة أنه يحتاج إلى سلسلة متتابعة من أربعة جينات معيبة أو أكـثر حتى يحـدث ربما كانت هي ما يفسر استغراقـه في الغالب لعقود مـن السنوات قبل أن يتسبب في وفاة المريـض بعد حدوث الواقعة المسببة الأصلية. فمثلاً قد يُصاب شخص وهو طفل بلفح شمسي شديد. وبعدها بعـدة عقود، يصاب هذا الشخص بسرطان الجلد في الموضع ذاته. ومعنى ذلـك أنه ربما استغرق كل هذه المدة الطويلـة في وقوع طفرات أخرى ثم دفع الخلية في النهاية نحو الانزلاق إلى تحول سرطاني.

هناك على الأقل نوعـان رئيسان من تلك الجينات المسببة للسرطان هما الجينـات الورمية وكابحـات الأورام، وتؤديان وظيفة أقـرب إلى وظيفة دواستي البنزيـن والفرامل. فالجينات الورمية تـؤدي وظيفة دواسة زيادة السرعـة التي ضغطت لأسفل واستمرت علـى هذا الوضع، وهكذا تزداد سرعـة السيارة إلى الحد الـذي يخرجها عن نطاق سيطـرة قائدها، فتترك الخليـة تتكاثـر دون أن يوقفها شيء. أما كابحـة الأورام فإنها تؤدي عادةً دور فرامـل السيـارة، لهذا فإنها عندما تعطب، تصـير الخلية مثل السيارة التي بلا فرامل فلا يمكنها التوقف.

ويخطط مشـروع جينوم السرطان لمعرفة تسلسـل جينات معظم أنواع السرطـان. ولمـا كان كل نوع من أنـواع السرطان يحتـاج لمعرفة تسلسل الجينـوم البشـري، فإن مشروع جينـوم السرطان بذلك يعـد أكثر طموحا

مئات المرات من مشروع الجينوم البشري الأصلي.

وقد أعلنت عام 2009 بعض النتائج الأولى لمشروع جينوم السرطان الذي طال انتظاره وكانت تتعلق بسرطاني الجلد والرئة. وكانت النتائج جد مذهلة. قال مايك ستراتون Mike Stratton الباحث بمعهد (ويلكم تراست سانجر) Wellcome Trust Sanger: (ما نراه اليوم سوف يصنع تحولاً في طريقة رؤيتنا لمرض السرطان. ولم يسبق لنا مطلقا أن شاهدنا أسرار السرطان تنكشف أمامنا على هذا النحو من قبل).

لقد أظهرت الخلايا المأخوذة من سرطان الرئة طفرات جينية عددها مذهل بلغ 23 ألف طفرة، في حين وجد بخلية سرطان الجلد (الميلانوما) 33 ألف طفرة. ومعنى هذا أن المدخن التقليدي تحدث له طفرة واحدة كل خمس عشرة سيجارة يدخنها. (سرطان الرئة يقتل مليون شخص سنويا في جميع أنحاء العالم، غالبا بسبب التدخين).

ويتمثل الهدف في التحليل الوراثي لجميع أنواع السرطان، والتي يوجد منها أكثر من 100 نوع. وهناك العديد من الأنسجة في الجسم، جميعها يمكن أن تصاب بالسرطان؛ وهناك العديد من أنواع السرطان لكل نوع نسيج؛ وعشرات الآلاف من الطفرات التحولية لكل نوع من أنواع السرطان. ولما كان كل نوع سرطان تدخل فيه عشرات الآلاف من الطفرات المحتملة، لذا قد يستغرق الأمر عدة عقود حتى نتمكن من العزل الدقيق لتلك الطفرات المسببة لجنون آليات الخلية. وسوف يتوصل العلماء لعلاجات لأنواع شتى من السرطان، لكنهم لن يعثروا على علاج واحد شافٍ منها جميعا، لأن السرطان ذاته يشبه الإصابة بمجموعة من الأمراض.

وسوف تواصل علاجات وطرق علاجية جديدة دخول السوق، وجميعها مصمم بحيث يستهدف السرطان عند جذوره الجزيئية والوراثية. ومن بين العلاجات الواعدة ما يلي:

- منع النشوء الوعائي أو قطع الإمداد الدموي عن الورم السرطاني حتى لا ينمو أبدا.
- جسيمات النانو، التي تشبه (القنابل الذكية) التي توجه نحو خلايا السرطان.
- العلاج بالجينات، خاصةً للجين P53.
- عقاقير جديدة تستهدف خلايا السرطان دون غيرها.
- تطعيمات جديدة ضد الفيروسات التي من الممكن أن تتسبب في السرطان، مثل فيروس البابيلوما (الورم الحليمي) البشري (HPV) الذي يسبب سرطان عنق الرحم.

للأسف، من غير المحتمل أن نعثر على العصا السحرية التي تقضي على مرض السرطان. لكن سنعالج المرض خطوة خطوة. والأقرب احتمالاً، أن الخفض الأساسي لمعدلات الوفيات سوف يتحقق عندما تنتشر رقاقات دي إن أيه في أنحاء بيئتنا، فتفرض علينا رقابة مستمرة لتكشف عن الخلايا السرطانية قبل أن يتكون الورم بسنوات.

ومثلما ذكر ديفيد بالتيمور العالم الحائز على جائزة نوبل، (السرطان جيش من الخلايا يقاتل شتى صنوف العلاج التي نستخدمها متبعا أساليب، أنا على يقين من أنها، ستبقينا دوما داخل حلبة القتال).

منتصف القرن (2030 إلى 2070)

العلاج بالجينات

رغم الانتكاسات التي حدثت في مجال العلاج بالجينات، يؤمن الباحثون بأن ثمة مكاسب ثابتة الخطى سوف تتحقق خلال العقود المقبلة. بحلول منتصف هذا القرن، حسبما يعتقد كثيرون، سوف يصبح العلاج بالجينات الأسلوب المتعارف عليه لعلاج الكثير من الأمراض الوراثية المختلفة. وسوف يترجم قدر كبير من النجاح الذي حققه العلماء على مستوى الدراسات التي أجريت على الحيوان في نهاية المطاف إلى دراسات تجرى على البشر.

حتى الآن، استهدف العلاج بالجينات الأمراض التي تصيبنا بسبب طفرات لحقت بجين واحد فقط، وسوف تكون تلك الأمراض أول ما يتحقق فيه الشفاء؛ لكن العديد من الأمراض تحدث بسبب طفرات تلحق بجينات متعددة، بجانب محفزات آتية من البيئة المحيطة. وهذه الأمراض أكثر صعوبة بكثير في علاجها، غير أنها تشمل أمراضا غاية في الأهمية كالسكري، والفصام، وألزهايمر، وباركنسون، والقلب. فجميعها يظهر أنماطا وراثية محددة، لكن لا يوجد جين واحد مسؤول عن كل مرض. فعلى سبيل المثال، من الممكن أن تجد شخصا مصابا بالفصام بينما توأمه المطابق له طبيعي.

وعلى مدار سنوات عدة، صدرت عدة تصريحات عن تمكن العلماء من

عـزل بعض الجينات المسؤولة عن الفصام عن طريـق تتبع التاريخ الوراثي لعائلات بعينها. غير أن الأمر المربك أن تلك النتائج غالبا ما لا يتم التحقق منهـا في دراسات أخـرى مستقلة. إذن هذه النتائج معيبـة، أو ربما كانت هنـاك جينات عديدة تتدخـل في الإصابة بالفصام. أضـف إلى ذلك، أن هناك عوامل بيئية تتدخل فيما يبدو في هذا.

وبحلـول منتصف هذا القرن، مـن المؤكد أن العـلاج بالجينات سوف يصبح علاجا ثابت الأركان، على الأقل فيما يخص الأمراض التي يتسبب فيهـا جين واحد. غـير أن المرضى قد لا يقنعون بمجـرد إصلاح الجينات. فهم يرغبون أيضا في الارتقاء بها نحو الأفضل.

تصميم أطفال حسب الطلب

بحلـول منتصف القرن، سوف يتجاوز العلمـاء مسألة إصلاح الجينات المعطوبة نحو الارتقاء بها للأفضل.

إن الرغبـة في امتلاك قـدرات (سوبرمان) رغبة موغلـة في القدم، تمتد جذورهـا إلى أعماق الأساطـير الإغريقية والرومانيـة وفي أحلامنا أيضا. حاز البطل الروماني (هرقل)، وهو واحد من أشهر أنصاف الآلهة الإغريق والرومـان، على قدراته الخارقة لا مـن التدريب الرياضي والنظام الغذائي وإنما من خـلال حقنه بجينات إلهية. كانت أمه (ألكمين) من البشر لكنها كانـت آية في الجمال، وذات يوم استرعت أنظـار (زيوس)، الذي تخفى في صـورة زوجهـا لكي يمارس معها الحب. وعندما حبلـت في طفلها، أعلـن زيوس أن الطفل سوف يصبح محاربـا عظيما في يوم من الأيام. غير

أن زوجة (زيوس)، هيرا، أصابتها الغيرة فخططت سرا لقتل الرضيع بتأخير مولده. وكادت ألكمين تلقى حتفها وهي تتعذب من آلام الوضع الذي طال أمده كثيرا، لكن خطة هيرا انكشفت في آخر دقيقة وولدت ألكمين طفلاً ضخما بصورة غير عادية. وورث هرقل الذي كان نصف إنسان ونصف إله معا، قوة أشبه بقوة الآلهة من أبيه ليحقق أعمالاً بطولية وأسطورية.

وفي المستقبل، ربما لا نكون قادرين على خلق جينات آلهة، لكن من المؤكد أننا سوف نكون قادرين على خلق جينات تمنحنا قدرات السوبرمان. ومثل ولادة هرقل العسرة، سوف نواجه الكثير من الصعوبات إلى أن نصل بهذه التقنية إلى مرحلة الإثمار.

بحلول منتصف القرن، من المؤكد أن فكرة (تصميم أطفال حسب المواصفات) المطلوبة سوف تصير حقيقة واقعة. وحسبما قال عالم الأحياء بجامعة هارفارد إي أوه ويلسون E. O. Wilson: (الإنسان، أول نوع يتمتع بحريته بحق، صار على وشك التخلي عن عملية الانتخاب الطبيعي، وهي القوة التي صنعتنا ... فسرعان ما سيكون علينا أن ننظر بعمق في أنفسنا وأن نقرر ما نتمنى أن نصير عليه).

يقوم العلماء بالفعل بتمزيق الجينات التي تتحكم في الوظائف الأساسية إلى شظايا. على سبيل المثال، جين (الفأر الذكي)، الذي يحسن ذاكرة الفئران وأداءها، تم عزله عام 1999. إن الفئران التي تملك الجين الذكي أقدر على اجتياز المتاهات وتذكر الأشياء.

خلق علماء جامعة برينستون University Princeton من أمثال جوزيف

تجـين Joseph Tsien سلالة من الفئـران المعدلة وراثيا تحمـل جينا إضافيا اسمه NR2B يساعد على تنشيط عملية إنتاج الناقل العصبي ن – ميثيل – د – أسبارتيت (NMDA) في المخ الأمامي للفئران. وأطلق صانعو الفئران الذكيـة عليها اسم (فئـران دوجي) (تيمنا باسم الشخصيـة التلفزيونية د. دوجي هاوزر Doogie Howser)[1].

فاقت تلك الفئران الذكية الفئران العادية في أدائها لمختلف الاختبارات. فـإذا وضع أحد الفئران في راقـود (حوض) مملوء بالماء المخلوط بالحليب، فـإن عليه أن يبحث عن رصيف خفي أسفل سطح الماء مباشرةً كي يستريح عليـه. إن الفئران العاديـة تنسى موقع هذا الرصيف فتظـل تسبح بصورة عشوائيـة في أنحـاء الراقود، في حين تتجه الفئران الذكيـة إليه مباشرةً من المحاولـة الأولى. وإذا عُرض على الفئران جسمان، أحدهما قديم والآخر جديـد، فـإن الفئران العادية لا تعـير انتباها لوجود جسـم جديد. غير أن الفئران الذكية تتعرف على الفور على هذا الجسم الجديد.

أهم شيء أن العلماء يفهمون آلية عمل تلك الجينات التي تحملها الفئران الذكية: إنها تنظم عمل المشابك Synapses العصبية بالمخ. إذا كنت تعتقد أن المـخ عبارة عن مجموعة واسعة مـن الطرق الحرة، فإن المشبك هنا يماثل كشك تحصيل رسوم العبـور. إذا كانت الرسوم باهظة، فإن السيارات لن تتمكن من عبور البوابة: فتتوقف الرسالة داخل المخ. لكن إذا كانت رسوم

(1) د. دوجـي هـاوزر Doogie Howser: كوميديا تلفزيونيـة أمريكية بطولة الممثل نيل باتريـك هاريس الذي يلعب دور طبيـب عمـره 16 عامًـا ويواجه في الوقت نفسـه مشكلاته الشخصيـة كمراهق، وقد عرضت حلقاتهـا بين عامي 1989 و1993 فيما مجموعه 97 حلقة. (المترجم)

العبـور مخفضة، فإن السيارات تتمكن من اجتيـاز البوابة فتواصل الرسالة انتقالها عبر أنحاء المخ. إن الناقلات العصبية مثل مادة NMDA تعمل على خفض رسوم العبور عند المشبك، وبذلك تمكن الرسائل من المرور بحرية. ولـدى الفئران الذكيـة نسختان من جين NR2B، والـذي يساعد بدوره على إنتاج الناقل العصبي NMDA.

وتؤكد تلك الفئران الذكية على صحة قاعدة (هِبّ) Hebb: إن اكتساب المعرفـة يتم عندما يحـدث تعزيز لمسارات عصبية معينـة. وتحديدا، يمكن تعزيـز تلك المسارات عن طريق تنظيم عمل المشبك الذي يربط بين ليفتين عصبيتين، فييسر بذلك على الإشارات العصبية عبور المشبك.

قـد تساعد هذه النتيجة على تفسير سمات خاصة تميز العملية التعليمية. فلقـد كان معروفـا أن الحيوانات التـي يتقدم بها العمر تقـل قدرتها على اكتساب المعرفة. ويشاهـد العلماء هذا في جميع أرجاء المملكة الحيوانية. وقد يكون تفسير هذا أن جين NR2B يقل نشاطه مع زحف الشيخوخة.

كذلك، وكما رأينا من قبل مع قاعدة هب، فإن الذكريات من الممكن أن تُخلق عندما تشكل الخلايا العصبية رابطة قوية. وقد يكون هذا صحيحا، إذ إن تنشيط مستقبل NMDA يصنع رابطة قوية.

جين الفأر الجبار

إضافـة إلى ذلك، تم عزل (جـين الفأر الجبار)، الـذي يعمل على زيادة الكتلة العضلية بحيث يبدو الفأر مفتول العضلات. لقد عثر عليه في البداية لـدى فئـران تتمتع بعضلات ذات ضخامـة استثنائية. وقـد أدرك العلماء

الآن أن المفتاح يكمن في جين الميوستاتين، الذي يساعد على تحجيم النمو العضلي. لكن في عام 1997، اكتشف العلماء أنه عند إسكات جين الميوستاتين لدى الفئران، فإن النمو العضلي يزداد بدرجة هائلة.

وهناك فتح علمي آخر حدث بعدها بوقت قصير في ألمانيا، عندما قام العلماء بفحص صبي حديث الولادة يتمتع بعضلات غير عادية بكل من فخذيه وذراعيه. وأظهر تحليل باستخدام الموجات فوق الصوتية أن عضلات هذا الصبي تتمتع بحجم يبلغ ضعفي الحجم الطبيعي. وبتتبع تسلسل جينات هذا الصبي وكذا ترتيب جينات والدته (وكانت عداءة محترفة)، اكتشفوا تشابه النمط الوراثي لهما. والحقيقة أن تحليل دم الصبي أظهر عدم وجود ميوستاتين لديه على الإطلاق.

كان علماء كلية طب (جونز هوبكنز) شغوفين في بادئ الأمر بالاتصال بالمرضى الذين يعانون من اضطرابات الضمور العضلي الذين من الجائز أن يستفيدوا من تلك النتيجة، غير أن أملهم خاب عندما وجدوا أن نصف عدد المكالمات جاءتهم من لاعبي كمال أجسام أرادوا الحصول على الجين من أجل زيادة أحجام عضلاتهم، بصرف النظر عن العواقب. ولعل هؤلاء اللاعبين كانوا راغبين في تكرار النجاح الأسطوري الذي حققه (أرنولد شوارزنيجر) الذي اعترف بتناوله المنشطات في بداية حياته لكي يحقق قفزات هائلة في مجاله الرياضي. ونظرا للاهتمام الشديد بجين الميوستاتين وطرق كبحه، فإن اللجنة الأوليمبية اضطرت لتشكيل لجنة فرعية مختصة بالنظر في أمره. على عكس المنشطات الاستيرويدية، التي يسهل نسبيا كشفها من خلال التحاليل الكيميائية، فإن هذا الأسلوب الجديد، ونظرا

لتضمنه للجينات والبروتينات التي تصنعها، أكثر صعوبة في اكتشافه بكثير.

تبين الدراسات التي أجريت على التوائم المتطابقة الذين فصل كل واحد منهم عن أخيه عند الميلاد وجود مجموعة واسعة التنوع من السمات السلوكية التي تتأثر بالوراثة. في حقيقة الأمر، أن هذه الدراسات تبين أن حوالي 50 % من سلوكيات التوائم تتأثر بالجينات، بينما تتأثر الخمسون بالمئة الأخرى بالبيئة المحيطة. ومن بين هذه السمات الذاكرة، والمنطق اللفظي، والمنطق المكاني، وسرعة المعالجة، والانفتاح على الآخرين، والبحث عن الإثارة.

حتى السلوكيات التي كان يظن يوما ما أنها معقدة بدأت الآن تكشف عن جذورها الوراثية. مثال لذلك أن فئران البراري أحادية التزاوج، أي يكتفي كل فأر بزوجة واحدة. أما فئران المختبرات فإنها متعددة التزاوج، أي أن الفأر الواحد يتزوج العديد من الإناث دون تفرقة. وقد أذهل لاري يانج Larry Young، العالم بجامعة إيموري، عالم التكنولوجيا الحيوية عندما أوضح أن نقل جين واحد من فئران البراري إلى الفئران العادية جعلها تتصف بصفة أحادية التزاوج. كل حيوان يحمل نسخة مختلفة من مستقبل معين لببتيد مخي مرتبط بسلوك اجتماعي وأسلوب في اتخاذ شريك الحياة. لقد زرع يانج جين فأر البراري الخاص بهذا المستقبل في الفئران العادية، فاكتشف أن الفئران أظهرت بعد ذلك سلوكا أقرب إلى سلوك فئران البراري أحادية التزاوج.

وقال (يانج): رغم احتمال تدخل العديد من العوامل الوراثية في

تطـور السلوكيات الاجتماعية المعقدة مثـل الاكتفاء بزوجة واحدة.. فإن التغـيرات في التعبير عن عامل وراثي واحد قـد يكون لها أثرها في التعبير عن مكونات تلك السلوكيات، مثل الانتماء.

الاكتئـاب والسعـادة أيضا ربما كانـت لهما جذور وراثيـة. لقد عرف منـذ زمن بعيد أن هنـاك أناسا يظلون سعداء حتـى وإن تعرضوا لحوادث مأساوية. إنهم دائما مـا يرون نصف الكوب الممتلئ والجانب المشرق من أي شـيء، حتى في مواجهة أزمات وانتكاسات قـد تكون مدمرة لأناس آخرين. أولئك الناس كذلك عادةً ما يكونون متمتعين بصحة أفضل. وقد أخـبرني عالم النفـس بجامعة هارفارد (دانيال جيلـبرت) Daniel Gilbert أن هنـاك نظريـة يمكنها تفسـير هذا الأمـر. فلعلنا نولـد وبداخلنا (نقطة محددة للسعـادة). ويوما بعد يوم قد نتأرجـح ارتفاعا وهبوطا حول تلك النقطـة المحددة، لكن مستواها يظل ثابتـا عند مستوى لحظة الميلاد. وفي المستقبل، من خـلال العقاقير والعلاج بالهندسـة الوراثية، قد يكون المرء قادرا على تحريك هذه النقطة المحددة، لا سيما إن كان من هؤلاء المصابين باكتئاب مزمن.

الآثار الجانبية لثورة البيوتكنولوجي

بحلـول منتصف هذا القـرن، سيتمكن العلماء من عـزل وتغيير العديد مـن الجينات المنفردة التي تتحكم في سمـات إنسانية متنوعة. غير أن هذا ليـس معناه أن الإنسانية سوف تستفيد منها استفادة فورية. فما زال هناك عمل شاق ومضنٍ علينا القيام به للتغلب على الآثار الجانبية والعواقب غير

المرغوب فيها، وهو عمل قد يحتاج منا لعقود من السنوات.

مثال لذلك، أن (أخيل) كان بطلاً لا يقهر في أي نزال يخوضه، فقاد الإغريق للنصر في معركتهم الحاسمة مع الطرواديين. لكن قوته كان بها عيب قاتل. فعندما كان طفلاً رضيعا، غمرته أمه في نهر (ستيكس) السحري كي تجعل منه بطلاً لا يقهر. لكنها للأسف اضطرت للإمساك به من كعبه أثناء غمره في مياه النهر، تاركة نقطة مؤثرة من جسده تعاني من الضعف. وبعدها، لقي مصرعه أثناء حرب طروادة، عندما أصاب سهم كعبه.

واليوم، يتساءل العلماء إن كانت السلالات الجديدة من المخلوقات التي تخرج من معاملهم لديها هي الأخرى مسألة (كعب أخيل) خفية أم لا. على سبيل المثال، هناك اليوم حوالي ثلاث وثلاثين سلالة مختلفة من (الفئران الذكية) التي تتمتع بذاكرة وأداء أفضل. غير أنه هناك أثر جانبي غير متوقع لامتلاك ذاكرة أقوى؛ فالفئران الذكية في بعض الأحيان يصيبها الخوف بالشلل. فإذا تعرضت مثلاً لصدمة كهربائية بالغة الضعف، فإنها ترتجف في فزع. يقول ألشينو سيلفا Alcino Silva، الباحث بجامعة كاليفورنيا بلوس أنجلوس، الذي طور سلالته الخاصة من الفئران الذكية: (إن الأمر يشبه شخصا يتذكر أكثر من اللازم). ويدرك العلماء الآن أن النسيان ربما كان بنفس أهمية التذكر حتى يكون هذا العالم منطقيا وحتى ننظم معرفتنا. ربما كان علينا أن نتخلص من الكثير من الملفات حتى ننظم معرفتنا.

ويذكرنا هذا بحالة يعود تاريخها إلى العشرينيات، وثقها طبيب المخ

والأعصاب الروسي أيه. آر. لوريا، لرجل لديه ذاكرة فوتوغرافية. فبعد أن قرأ الكوميديا الإلهية لدانتي مرة واحدة فقط، تذكر كل كمة جاءت فيها. وكان هـذا الأمر مفيدا له في عملـه كمراسل صحفي، غير أنه كان عاجزا عن فهم المفردات اللغوية. ولاحظ لوريا ما يلي: (كانت العوائق أمام فهمه كاسحـة: فكل مصطلح كان يعطيه صورة؛ وهذه بدورها كانت تتعارض مع صورة أخرى استثيرت).

في حقيقـة الأمـر، يؤمن العلمـاء بضرورة وجـود توازن بـين النسيان والتذكـر. إذا كنت تنسى بصورة مبالغ فيها، فربما تكون قادرا على نسيان ألم أخطائـك السابقـة، لكنـك تنسى في الوقـت ذاته حقائـق ومهارات أساسيـة. وإذا كنت تتذكر أكثر من اللازم، فلربمـا تصبح قادرا على تذكر تفاصيل مهمة، لكنك قد تصاب بالشلل من جراء ذكرى كل ألم وانتكاسة أصابتك. فقط التوازن بين هاتين الملكتين هو الذي يحقق الفهم الأمثل.

لاعبـو كمال الأجسام يتجهـون بالفعل إلى عقاقـير وعلاجات متنوعة تعدهم بتحقيق الشهرة والمجد. يعمل هرمون الإريثروبويتين EPO بتصنيع أعـداد أكبر من خلايا الـدم الحمراء التي تحمل الأكسجـين، وهو ما يعني زيـادة القدرة علـى التحمل. ولمـا كان هرمون الإريثروبويتـين يؤدي إلى زيـادة غلظة قوام الدم، فقـد ارتبط في الوقت نفسـه بالسكتات الدماغية والنوبـات القلبية. وعوامل النمـو الشبيهة بالأنسولـين IGF مفيدة لأنها تساعـد البروتينات على تكويـن كتلة عضلية ضخمة، غـير أنها ارتبطت بنمو الأورام.

حتـى إذا أجيزت قوانين تحظر عمليات التحسين بالهندسة الوراثية، فإن

منعهـا سيكون أمرا عسيرا. مثال لذلك، الآباء الذين لديهم ميل وراثي من قديم الأزل نحو الرغبة لتحقيق كل ميزة ممكنة لأبنائهم. من ناحية ربما كان هذا معناه الاشتراك لهم في دروس عزف الكمان، ورقص الباليه، وممارسة الرياضـات. لكنه من ناحية أخـرى، قد يعني إجراء تحسينـات بالهندسة الوراثيـة بهـدف تحسـين ذاكرتهم، وإطالة فـترات انتباههـم، وقدراتهم الرياضيـة، بـل وحتى تحسين مظهرهـم الخارجي. إذا اكتشـف أبوان أن طفلهمـا يتبـارى مع طفل أحد الجـيران الذي تناثرت حولـه الأقاويل أنه أجريت له عمليـة تحسين وراثي، فسوف يكون هناك ضغط هائل عليهما لكي يقدما الميزة نفسها لطفلهما.

ومثلمـا ذكـر جريجـوري بينفـورد Gregory Benford: (نعلم جميعا أن الأشخاص أصحاب المظهر الطيب حسني الملامـح يبلون بلاءً حسنا في الحيـاة. فأي أبوين هذين اللذيـن يمكنهما مقاومة الزعم بأنهما يقدمان لطفلهمـا ميـزة قويـة كتلك وسـط عالم اليـوم الذي تحتـدم فيـه المنافسة الضارية؟).

وبحلول منتصف هذا القرن، قـد تصير عمليات التحسين الوراثي أمرا شائعـا. وحقيقة الأمر، ربما يصل الأمـر بالتحسينات الوراثية إلى أن تصير أمرا لا غنى عنـه إذا أردنا استكشاف المجموعة الشمسية وأن نعيش على كواكب لا تصلح للحياة عليها.

ويقـول البعض إنـه يتعين علينا أن نستعين بجينـات المصمم حتى نتمتع بصحـة أفضل ونصير أسعد حالاً. بينما يقول آخرون إننا يجب أن نسمح بإجـراء تحسينات تجميلية. والسؤال المهم الآن إلى أي مدى ستمضي تلك

التحسينـات. تحت أي ظرف، قد يزداد الأمر صعوبة يوما بعد يوم أن تتم السيطـرة على انتشار (جينـات المصمم) التي تعمل علـى تحسين الملامح والأداء. إننـا لا نريـد أن ينقسم الجنس البشـري إلى فصائل وراثية مختلفة، محسنـة وغير محسنة، غـير أن المجتمع سـوف يتعين عليـه أن يقرر بشكل ديمقراطي المدى الذي سيدفع هذه التكنولوجيا نحوه.

واعتقـادي الشخصي، أنه سوف تمرر قوانين من أجل تنظيم هذه التقنية ذات القـدرة العالية، ربما بالسماح للعـلاج بالجينات إذا وجد، بأن يعالج مرضـا مـا وأن نحيا كمنتجـين، لكن مع الحد مـن هذا العـلاج إذا كان الهـدف منه تجميليـا بحتا. ومعنى هذا أن سوقا سـوداء قد تظهر في نهاية الأمـر للالتفاف حول تلـك القوانين، لهذا يجب علينـا التأقلم مع مجتمع تكون نسبة ضئيلة من سكانه محسنة وراثيا.

الأغلب الأعم أن هذا الأمر قد لا يمثل كارثة. فهناك بالفعل من يلجؤون لجراحـات التجميـل لتحسـين مظهرهم، لهذا فـإن الاستعانـة بالهندسة الوراثية للقيام بذلك قد لا تكون ضرورية. لكن الخطر ربما ينشأ من محاولة البعض تغيير شخصيتـه بأسلوب وراثي. ولعل هنـاك العديد من الجينات التـي تؤثر على السلوك، وهي تتفاعـل معا بطرق معقدة، لهذا فإن اللعب بالجينات السلوكية قد يخلق آثارا جانبية غير مقصودة. وقد يستغرق الأمر عقودا لفرز جميع تلك الآثار الجانبية وتمييز الصالح والطالح من بينها.

لكن ماذا عن أعظم التحسينات الوراثية التي أجريت حتى الآن، ونعني بها إطالة عمر الإنسان؟

المستقبل البعيد (2070 - 2100)

رجوع الشيخ إلى صباه

طيلة دروب التاريخ، كان الملوك والقادة العسكريون يملكون القدرة على فرض سيطرتهم على ممالك وإمبراطوريات بأسرها، غير أن أمرا واحدا ظل منذ الأزل خارج نطاق سيطرتهم: الشيخوخة. ومن ثم، فإن السعي نحو الخلود ظل واحدا من أقدم ما سعى إليه الإنسان طوال تاريخه.

ذُكِر في الكتاب المقدس أن الرب طرد آدم وحواء من جنة عدن لعصيانهما أوامره وأكلهما من تفاحة المعرفة. خشي الرب من أن يستخدم آدم وحواء تلك المعرفة في إماطة اللثام عن سر الخلود وأن يصيرا إلهين. وفي سفر التكوين 3:22، يقول الكتاب المقدس: (هو ذا الإنسان قد صار كواحد منا عارفاً الخير والشر، والآن لعله يمد يده ويأخذ من شجرة الحياة أيضاً، ويأكل ويحيا إلى الأبد).

وبجانب الكتاب المقدس، هناك واحدة من أقدم وأعظم الحكايات في تاريخ الحضارة الإنسانية، التي يعود تاريخها إلى القرن السابع والعشرين قبل الميلاد، وهي (ملحمة جلجامش The Epic of Gilgamesh)، التي تحكي عن المحارب العظيم الذي عاش في بلاد ما بين النهرين. فعندما توفى على حين غرة رفيقه الوفي الذي رافقه طيلة حياته، قرر جلجامش القيام برحلة لاستكشاف سر الخلود. وقد سمع شائعات عن رجل حكيم وزوجته اللذين منحتهما الآلهة هبة الخلود، وكانا في الواقع، الوحيدين

على الأرض اللذين نجيا من الطوفان. اكتشف جلجامش بعد فتوحات ملحمية أخيرا سر الخلود، ليجد أن حية اختطفته في آخر لحظة.

ولما كانت ملحمة جلجامش واحدة من أقدم القطع الأدبية، فإن المؤرخين يعتقدون أن هذا البحث عن الخلود هو ما ألهم الأديب الإغريقي هوميروس Homer ملحمته (الأوديسا) Odyssey، وأنها كانت أيضا الإلهام وراء طوفان نوح المذكور في الكتاب المقدس.

العديد من الملوك القدامى – مثل الإمبراطور (كين)، الذي وحد الصين حوالي عام 200 قبل الميلاد – أرسلوا أساطيل بحرية ضخمة للبحث عن (ينبوع الشباب)، لكنها أخفقت جميعا. (ووفق الأساطير، كانت تعليمات الإمبراطور كين لأسطوله ألا يعود إذا أخفق في العثور على ينبوع الشباب. وهكذا لما عجزوا عن العثور على الينبوع، لكنهم خشوا وملأهم رعب شديد من العودة للصين، أسسوا دولة اليابان بدلاً من ذلك).

على مر عقود، آمن معظم العلماء بأن العمر ثابت ولا يمكن تغيير عدد سنينه، فهذا الأمر يخرج عن متناول أيدي العلم. وخلال السنوات القليلة الماضية، ترنح هذا الرأي تحت ضربات معاول سلسلة مذهلة من نتائج التجارب التي أحدثت ثورة في هذا الميدان. وعاد الآن علم الشيخوخة، الذي كان في طي النسيان من قبل، إلى واجهة المشهد من جديد ليصبح من أكثر الميادين سخونة، فجذب مئات الملايين من الدولارات في صورة أرصدة تمويل أبحاث بل وطرح حتى إمكانية تطويره تجاريا.

الآن بدأت تتكشف أسرار عملية الشيخوخة، ولسوف يلعب علم الوراثة دورا محوريا في هذه العملية. إننا إذا نظرنا إلى مملكة الحيوان، لرأينا

تنوعـا هائـلاً في أعمار الكائنـات. مثال لذلك، أن حمضنـا النووي دي إن أيـه لا يختلـف عن دي إن أيه أقرب قريب جينـي لنا وهو الشمبانزي، سـوى بنسبة 1،5 في المئـة فقط، لكن نعيش عمرا أطـول من عمره بنسبة 50 %. وبتحليـل حفنة من الجينات التي نختلف فيها عن الشمبانزي، قد نستطيـع الوقوف علـى السبب الذي يجعلنا نعيش عمـرا أطول من عمر قريبنا الجيني.

وهذا بدوره قدم لنا (النظرية الموحدة للشيخوخة) التي جمعت الخيوط المختلفة للأبحاث في نسيج واحد متماسك. فالعلماء صاروا الآن يعرفون ما هـي الشيخوخة. إنها عبارة عن تجمع لأخطـاء على المستويين الوراثي والخليوي. وقد تتراكم هذه الأخطاء بسبل متنوعة. فعلى سبيل المثال، ينتج عـن التمثيل الغذائي شـوارد حرة وأكسدة، تدمر الميكنـة الجزيئية الدقيقة لخلايانـا، مما يجعلها تشيـخ؛ وقد تتراكم هذه الأخطـاء على هيئة نفايات جزيئية أشبه (بالقمامة) داخل وخارج الخلايا.

إن تراكـم أخطائنا الجينية هذه يعد ناتجا ثانويا للقانون الثاني للديناميكية الحراريـة: مجموع الإنتروبيـا[1] (أي الفوضى) في حالة ازدياد دائم. وهذا هو السبب في أن الصدأ والتعفن والذبول.. إلخ تعد سمات عامة للحياة. والقانون الثاني لا مفر منه. فكل شيء، سواء كان أزهارا في بستان أو كان أجسادنا نحن بل وحتى الكون نفسه، محكوم عليه بالتحلل والفناء.

(1) الإنتروبيا: مصطلح يعبر عن دالة لمتغيرات ديناميكية حرارية كدرجة الحرارة والضغط، وهو مقياس للطاقة غير المتاحة للشغل في العملية الديناميكية الحرارية. (المترجم)

غـير أن هناك ثغـرة، وإن كانت صغيرة إلا أنها مهمـة في القانون الثاني الـذي ينص علـى أن مجموع الإنتروبيـا في حالة ازدياد دائـم. فهذا معناه أنـه في استطاعتك بالفعل الإقلال مـن الفوضى في مكان معين وأن تجعل الشيخوخـة تسـير في الاتجاه المعاكـس، طالما أنك تزيد مـن الإنتروبيا في موضـع آخر. إذن مـن الممكن أن تصـير أكثر شبابا، علـى حساب ضربة معـول توجههـا إلى موضع آخر. (ألمحـت إلى هذا روايـة أوسكار وايلد الشهيرة (صورة دوريان جـراي)، فالسيد جراي كان يتمتع بشباب دائم لسبـب غامض. لكن سـره تمثل في أنه رسم نفسه وقـد طعن في السن إلى حد رهيـب. وبهذا ما زال إجمالي مقـدار شيخوخته في ازدياد). ويمكن كذلـك فهم قاعدة الإنتروبيا عـن طريق النظر إلى ما وراء الثلاجة. فداخل الثلاجـة، تقل الإنتروبيا مع انخفاض درجة الحـرارة. لكن لكي تقلل من حجم الإنتروبيـا، لديك محرك، يزيد من الحـرارة المتولدة خلف الثلاجة، فيزيـد من مقدار الإنتروبيا خارج الماكينة. وهـذا هو السبب الذي يجعل الثلاجات ساخنة دائما من الخلف.

ومثلمـا قال ريتشـارد فينمـان Richard Feynman، الحائز على جائزة نوبـل، ذات يوم: (لا يوجد في علم الأحيـاء حتى الآن ما يشير إلى حتمية الموت. وهذا يوحي لي بأنه ليس حتميا على إطلاقه وأنها فقط مسألة وقت إلى أن يكتشـف علماء الأحياء ما يسبب لنا المتاعب والعلاج لذلك المرض الكوني الفظيع أو ما يسبب وقتية الجسم البشري).

ويمكـن أيضا النظـر إلى نشاط هرمون الجنس الأنثـوي (الإستروجين)، الذي يحافـظ على شباب النساء وحيويتهـن إلى أن يصلن إلى سن اليأس،

وعندها تتسارع عجلة الشيخوخة وترتفع معدلات الوفاة بينهن. إن الإستروجين يشبه عملية ضخ وقود عالي الأوكتان في سيارة رياضية. فتؤدي السيارة أداءً رفيع المستوى لكن ذلك على حساب مزيد من التحميل على المحرك وإنهاكه. وفي حالة النساء، قد يظهر أثر هذا التحميل والإنهاك للخلايا على صورة سرطان ثدي. وحقيقة الأمر أن حقن الإستروجين من المعروف أنها تؤدي إلى الإسراع في نمو سرطان الثدي. إذن الثمن الذي تدفعه النساء مقابل الشباب والنشاط قبل الوصول إلى سن اليأس ربما كان يتمثل في ازدياد مجموع الإنتروبيا، وهي في هذه الحالة، مرض سرطان الثدي. (ظهرت أعداد هائلة من النظريات المطروحة لتفسير سبب الارتفاع الذي حدث مؤخرا في معدلات الإصابة بسرطان الثدي، والتي ما زالت محل جدل كبير. إحدى النظريات تقول إن من أسباب المرض ما يتعلق بإجمالي عدد الدورات الشهرية التي تأتي للمرأة. فعلى امتداد التاريخ القديم، كانت النساء بعد البلوغ في حالة حمل مستمر تقريبا إلى أن يصلن إلى سن اليأس، وبعدها مباشرةً يتوفين. وكان معنى هذا أنه لم تكن تأتيهن سوى دورات شهرية قليلة، ومستويات قليلة من الإستروجين، ومن ثم، من المحتمل أن معدل الإصابة بسرطان الثدي كان متدنيا لديهن. أما اليوم، فتصل الفتيات الصغيرات إلى سن البلوغ مبكرا عن ذي قبل، وتأتيهن دورات شهرية كثيرة، ويحملن فيما لا يزيد في المتوسط على 1،5 طفل لكل امرأة، ويعشن فترة طويلة بعد بلوغ سن اليأس، ومن ثم أصبحن يتعرضن بدرجة أكبر كثيرا لهرمون الإستروجين، وربما أدى ذلك إلى ارتفاع احتمال إصابتهن بسرطان الثدي).

ومؤخرا، اكتشفت سلسلة من المفاتيح التي تلوح لنا من بعيد بحل لغز الجينات والشيخوخة. أولها، أن الباحثين أوضحوا أن من الممكن استيلاد أجيال من الحيوانات التي تعيش أعمارا أطول من المعتاد. وبصفة خاصة، يمكن استيلاد خلايا خميرة، وديدان نيماتودا، وذباب فاكهة في المختبر تعيش فترة أطول من المعتاد. وقد انبهر مجتمع العلم عندما أعلن مايكل روز Michael Rose العالم بجامعة كاليفورنيا بإرفين أنه تمكن من إطالة أعمار ذباب الفاكهة بنسبة 70 في المئة من خلال التلقيح الانتقائي. وقد وجد أن (ذبابه الفائق) أو (ذباب ميثوسيلاه) يحوي كميات أعلى من المركب المضاد للأكسدة (سوبر أكسيد ديسميوتيز) (SOD)، الذي يمكنه إبطاء عملية التلف التي تحدث بسبب الشوارد الحرة. وفي عام 1991 قام توماس جونسون Thomas Johnson العالم بجامعة كولورادو ببولدر بعزل أحد الجينات، أسماه age – 1، والذي على ما يبدو مسؤول عن الشيخوخة لدى النيماتودا ويطيل أعمارها بنسبة 110 %. وذكر جونسون أنه (إذا وجد شيء مثل age – 1 لدى الإنسان، فقد نكون قادرين وقتئذ بالفعل على إنجاز عمل رائع).

لقد عزل العلماء حتى الآن عددا من الجينات (age – 1، age – 2، def – 2) التي تتحكم في عملية الشيخوخة وتنظمها لدى كائنات أدنى، لكن تلك الجينات لها جينات مناظرة لدى البشر أيضا. وحقيقة الأمر أن أحد العلماء علق على ذلك بأن تغيير طول عمر خلايا الخميرة كان أشبه بالضغط على مفتاح الإنارة. وعندما قام الإنسان بتنشيط جين معين، عاشت الخلايا عمرا أطول. وعندما أطفأ نشاطها عاشت الخلايا عمرا أقصر.

إن استيلاد خلايا خميرة ذات عمر أطول أمر بسيط بالمقارنة بمهمة إيجاد سلالات من البشر، وهي مهمة جد شاقة، لأن البشر يعيشون فترة أطول كثيرا حتى إن الاختبار هنا يكاد يكون مستحيلاً. غير أن عزل الجينات المسؤولة عن الشيخوخة من الممكن أن يُعجَل في المستقبل، لا سيما عندما يملك كل منا جينومه الخاص به على اسطوانة مدمجة. فحينذاك، سوف يمتلك العلماء قاعدة بيانات هائلة الحجم من بلايين الجينات التي يمكن تحليلها باستخدام الحاسبات الآلية. وسوف يتمكن العلماء من مسح ملايين الجينومات لفئتين من البشر، الصغار والكبار. وبعقد مقارنة بين المجموعتين، يمكن للمرء حينئذ التعرف على الموقع الذي تحدث فيه الشيخوخة على المستوى الجيني. وقد نتج بالفعل عن المسح المبدئي لتلك الجينات عزل ما يقرب من ستين جينا يبدو أن الشيخوخة تتركز حولها.

مثال لذلك، أن العلماء صاروا يعلمون أن طول العمر خاصية وراثية بعض الشيء. فمن يعيشون إلى أعمار ممتدة عادةً ما يكون آباؤهم أيضا من المعمرين. إن الظاهرة ليست شديدة الوضوح، غير أنه من الممكن قياسها. والعلماء الذين يحللون التوائم المتطابقة الذين عزلوا عن بعضهم عند ولادتهم يمكنهم أيضا مشاهدة ذلك عند المستوى الجيني. غير أن طول العمر المتوقع لا يتحدد بنسبة 100 % عن طريق الجينات. إن العلماء الذين درسوا هذه المسألة يؤمنون بأن أطوال أعمارنا المتوقعة لا تتحدد من خلال الجينات سوى بنسبة 35 %. إذن في المستقبل، عندما يمتلك كل منا جينومه الشخصي مقابل 100 دولار، قد يتمكن العلماء ساعتها من مسح جينومات ملايين البشر عن طريق الحاسب الآلي لعزل الجينات التي

تتحكم جزئيا في أطوال أعمارنا.

والأدهى من ذلك، أن تلك الدراسات التي تتم باستخدام الحاسب الآلي ربما تكون قادرة على التحديد الدقيق للموضع الذي تحدث فيه الشيخوخة في بـادئ الأمر. ففي السيارة مثلاً، نحن نعلم أن الشيخوخة تحدث بصفة رئيسـة في المحـرك، حيث يتأكسـد البنزيـن ويحترق. وبالمثـل، يوضح التحليل الجيني أن الشيخوخة تتركز في (محرك) الخلية أي (الميتوكوندريا)، أو مصنـع الطاقة داخل الخلية. وقد أتاح هذا للعلماء تضييق نطاق البحث عـن (جينات العمر) والبحث عن سبل للتعجيـل بإصلاح الجينات داخل الميتوكوندريا من أجل العودة إلى الشباب.

وبحلول عـام 2050، قد يكون من الممكن إبطاء زحف الشيخوخة عن طريـق أساليـب علاجية متنوعة، ومـن أمثلتها، الخلايـا الجذعية، ومتجر الجسم البشـري، والعلاج بالجينات لإصلاح جينات الشيخوخة. ويمكننا ساعتها أن نعيش حتى سن 150 سنة وأكثر. وبحلول عام 2100، قد يكون مـن الممكن أن نعكس اتجـاه الشيخوخة ونعود إلى سـن الشباب بتعجيل آليـات إصـلاح الخلايا وصيانتها حتـى نعيش إلى أعمـار تزيد على ذلك بكثير.

الحد من السعرات الحرارية

ربما فسرت هذه النظرية أيضا الحقيقة العجيبة، وهي أن الحد من السعرات الحراريـة في طعامنا (بمعنى، خفضـ ما نتناوله من سعرات بنسبة 30 % أو أكثر) يطيل العمر بنسبة 30 %. وكل كائن حي خضع للدراسة حتى الآن،

بـدءا من خلايـا الخميرة والعناكـب والحشرات حتـى الأرانب والكلاب والآن القـردة، يعلن بوضوح عن هذه الظاهرة الغريبـة. فالحيوانات التي قدمـت لها تلك الأنظمـة الغذائية مقيدة السعـرات أصيبت بعدد أقل من الأورام، وأمراض قلب أقل، وانخفضت لديها نسبة الإصابة بالسكري، كمـا قلت لديها نسبة الإصابة بأمراض الشيخوخة. في حقيقة الأمر، أن الحـد من السعرات يعـد الآلية الوحيدة المعلومة حتـى الآن التي تأكد أنها تطيـل العمر وجـرى اختبارها مرارا وتكرارا، علـى معظم أنواع المملكة الحيوانيـة، وهي تنجح دائمـا. وحتى عهد قريب، مـا زال النوع الرئيس الـذي يراوغ الباحثين في مجـال الحد من السعرات هـو الرئيسيات، التي ينتمي إليها الإنسان، لأنها تعيش عمرا ممتدا.

كان العلمـاء تواقـين بوجه خاص نحو مشاهـدة نتائج تجارب الحد من السعـرات علـى قرود (رايزس). وأخيرا، في عام 2009، جـاءت النتائج التـي طال انتظارها. فأظهرت دراسـة أجرتها جامعة ويسكونسن أنه بعد عشرين عاما من الحد من السعرات، عانت القردة التي ألزمت بطعام محدود السعـرات مـن أمراض أقل أيـا كان نوعها: فالسكـري كان أقل حدوثا. وكذلك السرطان وأمراض القلب. وبصفة عامة، كانت تلك القرود تتمتع بصحة أفضل من أبناء عمومتها التي تغذت على الطعام المعتاد.

هناك نظرية ربما فسرت ذلـك: فالطبيعة تمنح الحيوانات (خيارين) اثنين يتعلقـان بأسلـوب استخدامها للطاقة. ففي زمن الوفـرة، تستخدم الطاقة في التكاثر. وأثناء المجاعات، يتوقـف الجسم عن نشاط التكاثر، ليحتفظ بطاقته، محاولاً اجتياز فترة المجاعـة. وفي المملكة الحيوانية، تعد حالة شبه

المجاعة أمرا شائعا. ومن ثم كثيرا ما تلجأ الحيوانات (لخيار) إيقاف نشاط التناسل، فتبطئ من معدل التمثيل الغذائي، وتعيش فترة أطول على أمل أن تأتي أيام أفضل مستقبلاً.

وتتمثل ذروة أبحاث الشيخوخة نوعا ما في الحفاظ على فوائد الحد من السعرات دون التعرض للجانب المعيب منها (أي التضور جوعا). ومن الواضح أن الإنسان يميل بشكل طبيعي نحو زيادة الوزن، لا خسارته. وفي الحقيقة أن الحياة على نظام غذائي محدود السعرات أمر غير مبهج على الإطلاق، فأنت تتغذى على طعام يجعل حتى الناسك يتقيأ. كذلك فإن الحيوانات التي تتغذى على طعام قاسٍ محدود السعرات تصير كسولة وخاملة وبطيئة الحركة وتفقد كل اهتمام لها بالجنس. وما يحفز العلماء في ذلك سعيهم نحو معرفة الجين المتحكم في هذه الآلية، التي يمكننا بواسطتها جني المنافع التي سيحققها الحد من السعرات دون أن نعاني من عيوبه.

وقد تم العثور على مفتاح مهم لحل هذا اللغز عام 1991 على يد الباحث ليونارد بي جوارينتي Leonard P. Guarente وآخرين بمعهد ماساشوستس للتكنولوجيا، الذين كانوا يبحثون عن جين يمكنه إطالة أعمار خلايا الخميرة. واكتشف جوارينتي، وديفيد سينكلير من جامعة هارفارد، وزملاؤهما الجين SIR2، الذي يشارك في تحقيق آثار الحد من السعرات. إن هذا الجين مسؤول عن تحديد الاحتياطيات الموجودة بالخلية من الطاقة. فعندما تنخفض احتياطيات الطاقة، مثلما يحدث أثناء المجاعات، ينشط هذا الجين. وهذا بالضبط ما يمكنك أن تنتظره من جين يتحكم في آثار الحد من السعرات. واكتشفوا أيضا أن جين SIR2 له جين مناظر لدى

الفئران ولـدى البشر، اسمه مجموعة جينـات SIRT، التي تنتج بروتينات تسمـى (سيرتوينات). وبعدها بحثوا عن كيميائيات تنشط السيرتوينات، فاكتشفوا المركب الكيميائي (ريزفيراترول).

وكان هـذا أمرا مدهشـا، لأن العلماء يعتقدون أيضـا أن الريزفيراترول ربما كان مسؤولاً عن فوائد النبيذ الأحمر وربما كان ذلك يفسر (الأحجية الفرنسية). إن المطبخ الفرنسي مشهور بأصنافه الدسمة من الصوص التي ترتفـع فيها نسبة الدهون والزيوت، غير أن أعمار الفرنسيين تبدو طبيعية. وربمـا كان تفسير هذا اللغز أن الفرنسيـين يستهلكون أيضا كميات كبيرة من النبيذ الأحمر الذي يحتوي على الريزفيراترول.

ثـم اكتشف العلمـاء أن منشطـات السيرتوين يمكنهـا أن تحمي الفئران من مجموعة متنوعة مبهرة مـن الأمراض، من بينها سرطان الرئة والقولون والميلانومـا والليمفومـا والنوع الثاني مـن السكـري، وأمراض القلب، ومرض ألزهايمر، حسبما قال سينكلير. فحتى إذا أمكن علاج ولو نسبة ما من تلك الأمراض لدى البشر باستخدام السيرتوينات، لأحدث ذلك ثورة في سائر أرجاء مهنة الطب.

ومؤخـرا، طرحت نظرية تفسـر كل الخصائص المثيرة للإعجاب التي يحظى بهـا الريزفيراترول. فطبقا لما ذكره سينكلير، فـإن الهدف الرئيس للسيرتوين هو منع جينات معينة من أن تنشط. مثلاً، كروموسومات خلية واحـدة، إذا فردت بكامل طولهـا، لبلغ ذلك الطول سـت أقدام (مترين تقريبـا) لتصنـع جزيئا ذا طول فلكـي. وفي أي وقـت، لا توجد ضرورة سـوى لجزء فقط من الجينات المتواجـدة على امتداد هذه الأقدام الستة من

الكروموسومات، أما كل الباقين فيجب أن يظلوا خاملين. وتتقيأ الخلية معظم الجينات عندما لا تكون في حاجة إليها بأن تلف الكروموسوم لفا محكما وتغلفه بالكروماتين، والذي يعمل السيتوين على صيانته.

إلا أنه في بعض الأحيان تحدث تشوهات كارثية لتلك الكروموسومات الرقيقة، مثل حدوث انكسار تام لواحدة من خيوطه. وهنا يبدأ السيتوين العمل من فوره، فيساعد في إصلاح الكروموسوم المنكسر. لكن عندما يترك السيرتوين مواقعه مؤقتا ويذهب لتقديم النجدة، يضطر للتخلي عن وظيفته الأساسية، ألا وهي إسكات الجينات. ومن ثم تنشط الجينات، فتتسبب في فوضى جينية. وهذا الانهيار حسبما يرى سينكلير، واحد من الآليات الرئيسة التي تتسبب في الشيخوخة.

إن صح ذلك، فإن السيرتوين إذن ليس قادرا فقط على إيقاف زحف الشيخوخة وإنما على جعلها تتراجع للخلف. إن التلف الذي يصيب دي إن أيه الخلايا يصعب إصلاحه وإعادة الأمور إلى سابق عهدها. لكن سينكلير يؤمن بأن كثيرا من شيخوختنا سببها السيرتوينات التي تحولت عن مهمتها الأساسية فسمحت للخلايا بالتحلل. وحسب زعمه فإن تحول هذه السيرتوينات عن مسارها يمكن عكس اتجاهه بسهولة.

ينبوع الشباب

غير أن واحدا من النواتج الثانوية لهذا الاكتشاف، والتي لم يكن مرغوبا فيها، ذلك الصخب الإعلامي الذي أشعله. فعلى حين غرة، أذاع برنامجا 60 دقيقة و(أوبرا وينفري شو) نبأ اكتشاف الريزفيراترول، ليصنعا بذلك

هجوما محموما على شبكة الإنترنت، فظهرت شركات توصيل الطلبات للمنازل فجأة بين عشية وضحاها، لتعد الناس بإكسير الحياة. وبدا كما لو كان كل مندوب مبيعات زيت الحية وكل نصاب راغبا في اللحاق بعربة قطار الريزفيراترول.

(سنحت لي الفرصة لاستضافة جواراينتي في أحد اللقاءات، وهو الرجل الذي افتتح هذا الصخب الإعلامي المحموم، وكان ذلك في معمله. كان الرجل حذرا في تصريحاته، مدركا حجم التأثير الإعلامي الذي صنعته النتائج التي توصل إليها وسوء الفهم الذي قد ينشأ عنها. وكان ما أسخطه تحديدا أن الكثير والكثير من مواقع الإنترنت صارت الآن تعلن عن الريزفيراترول باعتباره نوعا من أنواع ينابيع الشباب. وقد أفزعه، على حد تعبيره، أن الناس بدأت تسعى لجني المال اعتمادا على الصيت المفاجئ الذي حصل عليه الريزفيراترول، رغم أن معظم النتائج كانت ما تزال في طور التجريب. غير أنه لم يكن يستبعد احتمال أن يلعب جين SIR2 دورا في حال اكتشاف ينبوع الشباب ذات يوم، بافتراض وجوده حقا. ويقر زميله سينكلير في الحقيقة أنه يتناول كميات كبيرة من الريزفيراترول كل يوم).

إن الاهتمام بأبحاث الشيخوخة بلغ من شدته داخل مجتمع العلم حد قيام كلية طب هارفارد برعاية مؤتمر عام 2009 الذي جذب إليه بعضا من كبار الباحثين في هذا الميدان. وكان من بين الحاضرين العديد ممن خضعوا بشكل شخصي للحد من السعرات. وكان هؤلاء، والذين بدا مظهرهم نحيلاً واهنا، يختبرون فلسفتهم العلمية بالالتزام بقيود غذائية. وكانوا أيضا

أعضاءً في نادي 120، وهم من عزموا على العيش حتى سن المئة والعشرين عاما. وانصب الاهتمام بصفة خاصة على شركة (سيرتريس للدوائيات) التي اشترك في تأسيسها ديفيد سينكلير وكريستوف ويستفال، وهي شركة تخضع حاليا بعضا من بدائل الريزفيراترول للتجارب الإكلينيكية. وقد قال ويستفال بصورة قاطعة: (خلال خمس أو ست أو سبع سنوات، سوف تكون هناك عقاقير تطيل العمر).

إن المواد الكيميائية التي لم يكن لها حتى أي وجود منذ بضع سنوات صارت موضع اهتمام بالغ وهي تخضع للتجارب. إن SRT501 يجري اختباره كعلاج للمايلوما (الورم النخاعي) المتعددة وسرطان القولون. أما جين SRT2104 فيختبر كعلاج للنوع الثاني من السكري. ولا يقتصر الأمر على السيرتوين وحده وإنما صارت مجموعة متنوعة من الجينات والبروتينات والكيماويات الأخرى (من بينها IGF – 1، و TOR، وراباميسين) خاضعة للتحليل المتأني من قبل مجموعات علمية متنوعة.

الزمن وحده كفيل بأن يخبرنا إن كانت تلك التجارب الإكلينيكية ستحقق النجاح أم لا. إن تاريخ الطب مليء بحكايات عن الخداع والاحتيال والدجل فيما يتعلق بعلاج الشيخوخة. غير أن العلم لا الخرافة مبني على بيانات قابلة للتكرار والاختبار والتحقق من صحتها. ومع إعداد المعهد القومي للشيخوخة لبرامج تهدف لاختبار المركبات المختلفة من حيث تأثيرها على الشيخوخة، إذن سوف نرى إن كانت تلك الدراسات المحيرة والمثيرة للجدل التي تتم على الحيوانات سوف تجري على البشر أيضا أم لا.

هل الموت محتم علينا؟

ذات يـوم قـال لي وليـم هازلتايـن William Haseltine أحـد رواد البيوتكنولوجـي: (إن طبيعـة الحيـاة ليسـت في الموت، وإنمـا هي أقرب للخلـود. فجزيء دي إن أيه جـزيء خالد أبدي. لقـد ظهر هذا الجزيء لأول مـرة ربما منذ 3.5 بليون عام مضت. وهـذا الجزيء ذاته، من خلال التكاثـر والنسـخ والتكـرار، هو الموجود اليـوم ... صحيـح أننا نصاب بالإرهـاق، لكننا نتحدث عن التوصـل في المستقبل إلى طرق نستطيع بها تعديـل هذا الأمر. أولاً بإطالة أعمارنا إلى ضعفي طولها الحالي وربما ثلاثة أضعاف. وربما، إذا فهمنا المخ بقدر كافٍ، نتمكن من إطالة أعمار كل من أجسامنـا وعقولنا إلى ما لا نهاية. ولا أظـن أن هذا سيتم من خلال عملية منافية للطبيعة).

ويشـير علمـاء بيولوجيـا التطـور إلى أن الضغـط التطـوري وقع على الحيوانات خـلال سنوات أعمارهـا الإنجابية. وبعد أن يجتـاز حيوان ما سنـوات عمره الإنجابي، قد يصير في واقع الأمر عبئا على الجماعة ومن ثم ربما كان التطور مبرمجا بحيث يتوفى الحيوان في سن الشيخوخة. لهذا ربما كنـا مبرمجين بحيث نموت. غير أنه قد يمكننا إعادة برمجة أنفسنا على الحياة إلى أعمار أطول من ذلك.

حقيقـةً، إذا نظرنا إلى الثدييات مثلاً لوجدنا أنه كلما كبر حجم الحيوان الثديي، قل معدل التمثيل الغذائي لديه، وصار عمره أطول. فالفئران على سبيـل المثال تحرق كميات هائلة من الطعـام إذا قورنت بأوزان أجسامها، ولا تعيشـ إلا أربع سنـوات تقريبا. أما الأفيال فإن معـدل تمثيلها الغذائي

أبطـأ بكثير وتعيش حتى سن السبعين. فـإذا كان التمثيل الغذائي يعني في المقابـل تراكم الأخطـاء، فلعل هذا إذن يتفق مع مفهـوم أنك تعيش عمرا أطـول إذا كان معدل تمثيلك الغذائي أبطأ. (وربما فسر ذلك تعبير (احتراق الشمعـة من طرفيها). لقد قـرأت يوما قصة قصيرة تحكي عن جني عرض علـى رجل تحقيق أي أمنية يطلبها منه. فسـارع الرجل يطلب الحياة حتى يصير عمره ألف عام. فلبى له الجني أمنيته وحوله إلى شجرة).

ويسعـى علماء بيولوجيـا التطور نحو تفسير طول العمـر من زاوية كيف يمكـن لطول العمر أن يفيد نوعا ما مـن الحيوانات يعيش في البرية. وبالنسبة لهـم، يتحدد طول عمر حيوان ما وراثيا لأن هـذا العمر بالتحديد يفيد هذا النـوع على البقاء والازدهـار. فالفئران تعيش عمرا قصـيرا للغاية، بحسب رأيهم لأنهـا تتعرض باستمرار للاصطياد من العديـد من الكائنات المفترسة المتنوعـة وكثيرا ما تتعرض للتجمد حتى الموت في فصـل الشتاء. والفئران التـي تنقل جيناتها إلى الجيل التالي هي تلك التي خلفت وراءها أكبر عدد من الذرية، وليست من عاشـت عمرا أطول. (لو كانت هذه النظرية صحيحة، إذن لا بد أن نتوقع أن الفئران التي يمكنها إلى حد ما الهروب بعيدا عن أعدائها التـي تريد افتراسها هي التي تعيش عمرا أطول. والواقع أن الخفافيش، والتي لها نفس أحجام الجرذان، تعيش أعمارا أطول تقدر بـ 3،5 ضعف عمرها).

غـير أن هناك تشوها في هذه النظرية مصـدره هذه المرة الزواحف. من الواضح، أن هناك زواحف معينة ليس لها طول عمر معلوم. فربما عاشت حتـى للأبد. التماسيـح الأمريكية والعادية تزداد حجمـا أكثر وأكثر بكل بساطة، لكنها تظل محتفظة بنفس شراستها ونشاطها على الدوام. (كثيرا ما

تزعم المراجع العلميــة أن التماسيح الأمريكية لا تتجاوز أعمارها السبعين عاما. لكن ربما كان هذا مرده إلى أن حارس الحديقة توفى في سن السبعين. وهناك مراجــع أكثر أمانة ذكرت ببساطة أن أعمــار هذه المخلوقات تزيد علــى السبعين لكنها لم يسبــق أن قيست أبدا بعنايــة في ظروف معملية). وفي الواقع، أن هذه الحيوانات ليست مخلدة، لأنها تموت بسبب الحوادث والجــوع والمرض ... إلخ. لكنها إذا تركت في حديقة حيوان، فإنها تعمر طويلاً جدا، حتى تبدو وكأنها تكاد تعيش أبدا.

الساعة البيولوجية

هناك دليل آخر محير يأتينا من (تيلوميرات) الخلية، وهي عضيات خليوية تــؤدي وظيفة أشبه (بالساعة البيولوجيــة). التيلوميرات، التي تشبه القطع البلاستيكية المثبتة في أطــراف أربطة الأحذية، توجد أيضا في نهايات كل كروموسوم. وبعد كل دورة تكاثر، تصير أقصر فأقصر. وفي نهاية المطاف، وبعــد ستين عمليــة تكاثر أو نحوهــا (هذا بالنسبة لخلايــا الجلد)، تتحلل التيلومــيرات. وتدخل الخليــة بعد ذلك في طــور الشيخوخة وتكف عن أداء وظائفهــا بطريقة سليمة. إذن التيلومــيرات تشبه الفتيل المتصل بإصبع الديناميــت. فإذا قصر طــول الفتيل بعد كل دورة تكاثــر، فإنه يتلاشى في النهاية ومن ثم تتوقف الخلية عن التكاثر.

ويطلق على هذا حد (هايفليك) Hayflick، وهو فيما يبدو الحد الأقصى لدورات حيــاة خلية معينة. وخلايا السرطــان على سبيل المثال، ليس لهــا حد (هايفليك)، وهي تنتج إنزيما يسمى (تيلوميريز) يمنع التيلوميرات من أن تصير أقصر وأقصر.

من الممكن تصنيع إنزيم تيلوميريز. وعند وضعه على خلايا الجلد، تتكاثر هذه الخلايا فيما يبدو دون حد. فتصير خالدة.

لكـن يوجد خطر هنا، فخلايا السرطـان أيضا خالدة لا تموت، وتنقسم دون حـدود داخل الـورم. في الحقيقـة أن هذا هو السبـب في أن خلايا السرطـان شديدة الفتك، إذ إنهـا تتكاثر بلا حـدود، إلى أن يصير الجسم غـير قادر على أداء وظائفه مرة أخرى. ولهذا يجب تحليل إنزيم التيلوميريز بعنايـة. فأي علاج يستخدم التيلوميريـز في إرجاع الساعة البيولوجية إلى الوراء يجب فحصه للتأكد من أنه لن يتسبب في الإصابة بالسرطان.

خلود زائد شباب

يعد الأمل في إطالة عمـر الإنسان مصدر بهجة للبعض وكابوسا مفزعا للبعضـ الآخر، إذ إننا نعيش في الوقت الحالي انفجارا سكانيا ومجتمعا من المسنين العجزة كفيلاً بإصابة البلاد بالإفلاس.

الحقيقة أن الجمع بين العلاج البيولوجي والميكانيكي والنانوتكنولوجي ربما لا يكتفي بإطالة أعمارنا وحسب وإنما سيحافظ على شبابنا في غضون ذلـك. وقد قال روبرت أيه فرايتاس جونيـور Robert A. Freitas، الذي يطبـق النانو تكنولوجي في الطب: (قد تصير هـذه التدخلات أمرا شائعا بعـد بضعة عقود من الآن. فبالاستعانة بعمليات الفحص الدوري السنوية والفرز والاستبعاد، مع إجراء عمليات إصلاح كبرى أحيانا، يمكن استعادة عمـرك البيولوجي مرة كل عام ليعود إلى ما يقرب من العمر الفسيولوجي الثابـت الـذي تختاره. ومـا زال احتمـال وفاتك في نهايـة الأمر بسبب

الحـوادث وما شابه واردا، لكنك ستعيش عمرا لا يقل عن عشرة أضعاف عمرك المفترض لك على الوضع الحالي).

وفي المستقبـل، لن تصبـح إطالة العمر مسألة احتسـاء جرعة من ينبوع الشبـاب الأسطوري. لكن الأرجح، أنها سـوف تتحول إلى مزيج يجمع بين عدة وسائل:

1. استـزراع أعضاء جديدة كلمـا بليت القديمة أو أصابهـا مرض ما، من خلال هندسة الأنسجة والخلايا الجذعية.
2. تنـاول كوكتيل مـن البروتينات والإنزيمات المصممة مـن أجل الارتقاء بآليـات إصـلاح الخلايا وصيانتهـا، وتنظيم التمثيل الغذائـي، وإعادة ضبط الساعة البيولوجية، وتقليص حجم الأكسدة.
3. الاستعانة بالعلاج الجيني في تعديل الجينات التي ربما كانت مسؤولة عن إبطاء معدل زحف الشيخوخة.
4. المحافظة علـى أسلوب حياة صحـي (ممارسة الرياضـة واتباع التغذية السليمة).
5. استعمـال مستشعـرات نانو في اكتشـاف أمراض كالسرطـان قبل أن تستفحل بعدة سنوات.

التعداد السكاني والطعام والتلوث

غير أن هناك سـؤالاً ملحا وهو: إذا زاد متوسط العمر المتوقع، ألن نعاني عندئذ من زيادة مفرطة في تعداد السكان؟ لا أحد يعلم.

إن تأجيل عملية الشيخوخة يجلب معه ضمنا عدة اعتبارات اجتماعية.

إذا عشنا أعمارا أطول، ألن تزدحم بنا الأرض؟ غير أن البعض يشير إلى أن حجم إطالة العمر قد حدث بالفعل، إذ زاد طول العمر المتوقع من خمسة وأربعين إلى سبعين إلى ثمانين خلال قرن واحد فقط من الزمان. وبدلاً من أن يصنع هذا الأمر انفجارا سكانيا، يزعم البعض أنه صنع العكس. فمع ارتفاع أعمار الناس، زاد اهتمامهم بأعمالهم ووظائفهم فأخروا الإنجاب. وفي الحقيقة، أن تعداد الأوروبيين من أهل البلاد الأصليين يتناقص فعلاً بشكل كبير. إذن لو عاش الناس أعمارا أطول وصاروا أكثر ثراءً، لباعدوا بين مرات الإنجاب فأنجبوا أعدادا أقل من الأبناء. ومع زيادة الأعمار عدة عقود أخرى، سوف يعيد الناس ضبط أطرهم الزمنية بالتالي، ومن ثم يباعدون بين مرات الإنجاب أو يؤجلونه.

ويزعم آخرون أن الناس سوف يرفضون هذه التقنية لأنها غير طبيعية وقد تمثل مخالفة لمعتقداتهم الدينية. الحق أن استطلاعات رأي غير رسمية لعموم الناس بينت أن معظم الناس يعتقدون أن الموت أمر طبيعي تماما ويساعد على أن يجعل للحياة معنى. (غير أن معظم الناس الذين أجريت معهم حوارات في هذه الاستطلاعات من الشباب وحتى مرحلة منتصف العمر. أما إذا ذهبت إلى دار رعاية كبار السن، حيث تجد أناسا ينتظرون آخر أيامهم، ويعيشون في ألم مستمر، وقد أضنتهم الشيخوخة وسنين عمرهم وطرحت عليهم نفس السؤال، فربما حصلت على إجابات مختلفة تماما).

ومثلما قال جريج ستوك Greg Stock من جامعة كاليفورنيا – لوس أنجلوس: (بالتدريج، سوف تفسح معاناتنا بشأن التلاعب في قدر الرب ومخاوفنا من إطالة أعمارنا الطريق لتظهر عبارة جديدة سنرددها ترديدا

جماعيا: متى سأتمكن من ابتلاع تلك الحبة؟).

في عام 2002، ومع أفضل بيانات ديموغرافية تم الحصول عليها، أشارت تقديرات العلماء إلى أن من يعيشون على ظهر الأرض اليوم يمثلون 6 في المائة من كل البشر الذين عاشوا عليها منذ زمن آدم حتى الآن. وهذا لأن تعداد البشر كان دائما ما يتأرجح حول المليون نسمة في معظم فترات التاريخ الإنساني. إن التصارع على الموارد الغذائية حافظ على انخفاض تعداد البشر. فحتى خلال ذروة مجد الإمبراطورية الرومانية قدر تعدادها بحوالي 55 مليون نسمة فقط.

غير أنه خلال الثلاثمائة عام الأخيرة، حدث ارتفاع هائل في تعداد سكان العالم متزامنا مع نهضة في الطب الحديث ومواكبا للثورة الصناعية، التي أحدثت وفرة في الطعام والمؤن. وخلال القرن العشرين، ارتفعت أعداد سكان العالم إلى قمم شامخة لم تبلغها من قبل، فتضاعف عدد سكان العالم خلال الفترة من 1950 إلى 1992: من 2،5 إلى 5،5 بليون نسمة. وهو الآن يقف عند رقم 6،7 بليون نسمة. وكل عام ينضم 79 مليون فرد جديد إلى الأسرة الإنسانية، وهو رقم يفوق تعداد سكان فرنسا.

ونتيجة لذلك، ظهرت العديد من النبوءات باقتراب الساعة، غير أنه حتى الآن تمكنت الإنسانية من الإفلات من تلك الرصاصة. وإذا عدنا بالزمن إلى عام 1798، لوجدنا توماس مالثوس[1] Thomas Malthus يحذرنا مما

(1) توماس مالثوس Thomas Malthus: (1834 – 1766) باحث إنجليزي في الاقتصاد السياسي والديموغرافيا عمل على نشر النظرية الاقتصادية في الإيجار. (المترجم)

يمكـن أن يحـدث عندما يتجاوز تعـداد السكان حجم مواردنـا الغذائية. المجاعات والشغب والتصارع على الطعام وانهيار الحكومات والمجاعات الجماعية يمكـن أن تستتبع ذلك لحين إيجاد توازن جديد بين عدد السكان والمـوارد. ولما كانـت الموارد الغذائية لا تتزايـد إلا بمعدل زمني منتظم، في حين أن الزيادة السكانية تتضاعف بمعدلات فلكية، فإنه يبدو من المحتم أنه عند نقطة زمنية معينة سوف يصل العالم إلى نقطة الانهيار. وقد تنبأ مالثوس وقتها بحدوث مجاعات جماعية بحلول منتصف القرن التاسع عشر.

غـير أنه خـلال القرن التاسع عشر، لم يصل تعـداد البشر سوى للمراحل الأولى مـن التوسـع الهائـل، وبسبب اكتشـاف العالم الجديـد، وتأسيس المستعمرات، والزيـادة في حجم الموارد الغذائية لم تقع الكوارث التي تنبأ بها مالثوس.

وفي الستينيـات مـن القرن العشريـن، ظهر تنبؤ آخـر مالثوسي الطابع، يقـول إن القنبلـة السكانية على وشك الانفجار علـى سطح الأرض، مع انهيـار عالمـي بحلول عـام 2000، وكان التنبؤ مخطئا. فقـد عملت الثورة الخضـراء بنجاح علـى التوسع في إنتـاج الغذاء وتوفير مـوارده. وتوضح البيانـات أن الزيادة في الإمدادات الغذائية فاقـت النمو الذي وقع لتعداد السـكان، ومن ثم هزمـت مؤقتا منطق مالثوس. ومن عـام 1950 إلى عام 1984، زاد حجـم الإنتاج العالمي مـن الحبوب بنسبة زادت على 250 %، وكان السبـب الرئيس وراء ذلك استخدام أسمـدة حديثة واتباع تقنيات زراعية حديثة.

ومن جديد تمكنا من الإفلات من الرصاصة. لكن ارتفاع تعداد السكان

الآن بلغ أقصى مداه، ويقول البعض إننا نقترب من الوصول للحد الأقصى لقدرة كوكب الأرض على إمدادنا بالطعام.

والأمر المنذر بالشر، أن الإنتاج الغذائي بدأ يتوقف عند حجم شبه ثابت، سواء على مستوى إنتاج العالم من الحبوب أو الطعام الذي نجمعه من البحار والمحيطات. وقد حذر كبير علماء الحكومة البريطانية من عاصفة هوجاء من الانفجار السكاني وانخفاض مواردنا من الطعام والطاقة بحلول عام 2030. فينبغي على العالم أن ينتج غذاءً أكثر بنسبة 70 % بحلول عام 2050 من أجل إطعام 2،3 بليون نسمة إضافية، حسبما أوردت منظمة الأغذية والزراعة (الفاو) التابعة للأمم المتحدة، وإلا حلت بنا كارثة.

ربما بخست تلك التنبؤات القدر الفعلي للمشكلة. فمع انضمام مئات الملايين من الصين والهند إلى الطبقة المتوسطة، سوف يصير هؤلاء راغبين أكثر في الاستمتاع بنفس الرفاهية التي يشاهدونها في أفلام هوليوود – مثل امتلاك سيارتين، ومنازل فسيحة بالضواحي، وتناول الهامبرجر والبطاطس المحمرة، إلخ – وقد يضيف ذلك مزيدا من الأعباء على موارد العالم. في حقيقة الأمر، أن لستر براون[1] Lester Brown، وهو واحد من أبرز علماء البيئة في العالم ومؤسس معهد (وورلد ووتش) في واشنطن دي سي، أكد لي أن العالم ربما لا يتمكن من التعامل مع عبء تحقيق أسلوب حياة الطبقة المتوسطة للمئات والمئات من الملايين من البشر.

(1) لستر براون Lester Brown: محلل بيئي أمريكي ومؤسس ورئيس معهد سياسة الأرض، وهي منظمة بحثية لا تهدف للربح مقرها واشنطن دي سي. ألف وشارك في تأليف أكثر من خمسين كتابًا تتحدث عن القضايا البيئية العالمية. (المترجم)

شيء من الأمل لسكان العالم

لكــن مع ذلك ما زال هناك بصيص من الأمل. تحديد النسل، الذي كان ذات يــوم موضوعا يحرم التحــدث فيه، عمل على إيقاف نمو السكان في العالم المتقدم، وهو يشق طريقه في بلدان العالم النامي.

ففــي أوروبــا واليابــان، نشاهد تراجعــا في أعداد الســكان لا انفجارا سكانيــا. إن معــدل المواليد بلــغ عددا متدنيا يتراوح بــين 1،2 و1،4 طفل للأســرة الواحــدة في بعض الــدول الأوروبية، وهو معــدل يقل كثيرا عن مستــوى الإحــلال البالغ 2،1 طفــل. أما اليابــان فتتعرض لضربة ثلاثية الأبعــاد. البعد الأول أن لديها أســرع تعداد سكاني في العالم اقترابا من سن الشيخوخــة. النســاء اليابانيات على سبيل المثال احتفظــن بالرقم القياسي لأكثر من 20 عاما لتمتعهن بأطول الأعمار المتوقعة مقارنةً بأي فئة أخرى. والثــاني أن معدل المواليد في اليابــان في حالة انخفاض. أما الثالث فهو أن الحكومــة تحافظ علــى الانخفاض الشديد لمعــدلات الهجرة. هذه القوى الديموغرافيــة الثلاثــة تصنع الكارثة لكــن بالحركة البطيئــة. وأوروبا تأتي وراءها غير بعيدة.

أحد الدروس المستفادة هنا أن أكبر مانع للحمل في العالم هو الرخاء. ففي الماضــي، كان الفلاحون بلا معاش أو تأمينــات اجتماعية فكانوا يسعون لإنجــاب أكبر عــدد ممكن من الأطفــال كي يعملوا في الحقــول ويرعوهم عنــد الكبر، وفق معادلة بسيطة: كل طفل جديد في الأسرة معناه المزيد من الأيــدي العاملة والمزيد من الدخل والمزيد من الناس الذين يخدمونك عند الكــبر. لكن عندما يدخل أحــد الفلاحين زمام الطبقــة المتوسطة، متمتعا

بكامـل المزايا عند التقاعد وبأسلوب حياة مريح، تنقلب المعادلة رأسا على عقب: كل طفل جديد يقلص الدخل ومستوى المعيشة.

في العـالم الثالث، لديـك المشكلة المضادة. تعداد سـكاني يرتفع سريعا، حيـث نجد معظم السكان دون سن العشرين. وحتى في المناطق التي يتوقع فيهـا أكبر انفجار سـكاني، أي في آسيا وأفريقيا السـوداء، انخفض معدل المواليد لعدة أسباب.

أولهـا، أن لديـك الاتجاه السريع لمجتمع المزارعين نحـو الأخذ بأسباب التحضـر، الذي يواكب ترك الفلاحين لأرضـ أجدادهم ومحاولتهم تجربة حظوظهـم في المدن الكـبرى. في عام 1800، كان تعـداد سكان المدن لا يزيد على 3 % من إجمالي تعداد السكان. وبحلول نهاية القرن العشرين، ارتفـع الرقم إلى 47 %، ويتوقع له بلـوغ ارتفاعات أعلى من ذلك خلال العقـود المقبلـة. إن نفقـات تربية الطفـل في المدينة تقلص بصـورة هائلة من عـدد أطفال الأسرة. فأسعـار الإيجارات والطعـام والنفقات باهظة، ويقـوم العاملون الذين يقطنـون عشوائيات المدن الكـبرى بنفس الحسبة فيستخلصـون أن كل طفل آخر يقلص من مستواهم المعيشي. وثانيها، أنه مـع اتجاه الدول للتصنيع، كما هو الحال في الصين والهند، يؤدي ذلك إلى ظهـور طبقة متوسطة ترغب في عـدد أقل من الأطفـال، مثلما هو الحال في الغرب المتقـدم صناعيا. وثالثها، تعليم النساء، حتى في البلدان الفقيرة كبنجلاديش، خلق طبقة من النساء اللاتـي يرغبن في إنجاب عدد أقل من الأطفال. وفي بنجلاديش وبسبب تنفيذ خطة تعليمية طموح، هبط معدل المواليد من 7 إلى 2،7، حتى دون الاتجاه الهائل نحو الحضر والتصنيع.

مع علمها بوجـود كل تلك العوامل، عملـت الأمم المتحدة باستمرار على مراجعـة أرقامهـا الخاصة بالنمـو المستقبلـي في تعداد السـكان. وما زالت التقديـرات تتباين، غير أن سـكان العالم ربما يصلون إلى رقـم 9 بلايين نسمة بحلول عام 2040. ورغم أن تعداد السكان سوف يواصل ارتفاعه، فإن معدل النمـو سوف يتباطأ في نهاية الأمـر حتى يصل إلى معدل ثابت لا يتغير ونحن نرجو في تفاؤل أن يثبت عند حوالي 11 بليون نسمة بحلول عام 2100.

مـن الطبيعي أننا قد نحسب أن هذا الرقم يتجاوز سعة حمل الكوكب. لكن هـذا يتوقف علـى تعريفنا لسعة حملـه، لأنه ربما تقع ثـورة خضراء أخرى يتم الإعداد لها الآن خلف الكواليس.

من بين الحلول الممكنـة لبعض من تلك المشكلات، البيوتكنولوجي. ففـي أوروبـا، نالت الأطعمـة المهندسة وراثيـا سمعة سيئة قـد تستمر معها لجيـل كامـل. وفي الوقت نفسه قامـت صناعـة البيوتكنولوجي بتسويـق مبيدات أعشاب للمزارعين وكذلـك محاصيل مقاومة لمبيدات الأعشاب. وكان هذا معناه لصناعة البيوتكنولوجي مزيدا من المبيعات، لكـن كان معناه للمستهلـك المزيد من السمـوم في طعامه، وسرعان ما انفجر السوق.

غير أنـه مستقبلاً، قـد تدخل أنواع مـن الحبوب مثـل (الأرز السوبر) الأسواق، وهي محاصيل مهندسة تحديدا بحيث تزدهر زراعتها في البيئات الجافـة والصعبة والقاحلـة. وعلى المستوى الأخلاقـي، سوف يكون من الصعـب معارضـة إدخـال محاصيل آمنـة في مقدورها سـد جوع مئات الملايين من البشر.

إعادة إحياء أشكال حياة انقرضت من الوجود

غير أن طائفة أخرى من العلماء ليست مهتمة فحسب بإطالة عمر الإنسان وتحدي الموت، وإنما تعنى أيضا بإعادة بعث مخلوقات إلى الحياة من الموات.

في فيلم حديقة الديناصورات Jurassic Park يستخلص العلماء حمض دي إن أيه من الديناصورات، ويزرعونه في بيض زواحف، ويعيدون الديناصورات مجددا إلى الحياة. وبرغم أنه لم يعثر إلى الآن على دي إن أيه قابل للاستخدام من الديناصورات، فإن هناك تلميحات مغرية بأن هذا الحلم ليس ببعيد المنال. إذ بحلول نهاية هذا القرن سوف تسكن حدائق حيواناتنا مخلوقات توقفت منذ آلاف السنين عن السير فوق سطح الأرض.

كما ذكرنا من قبل، قام روبرت لانزا بأول خطوة كبرى في هذا الصدد بأن قام باستنساخ حيوان البانتنج، وهو فصيل مهدد بالانقراض، وهو يشعر أنه قد يكون من العار أن ينقرض هذا النوع النادر من الثيران. ولهذا فهو يدرس احتمالية أخرى: خلق حيوان مستنسخ جديد، لكن هذه المرة من الجنس الآخر. في الثدييات، يتحدد جنس الحيوان عن طريق الكروموسومين س و ص. وعن طريق التلاعب في تلك الكروموسومات كان واثقا من أن باستطاعته استنساخ حيوان آخر من هذه الجيفة، لكن هذه المرة ينتمي للجنس الآخر. وبهذه الطريقة، يمكن لجميع حدائق الحيوان في جميع أنحاء العالم الاستمتاع بمشاهدة حيوانات تنتمي لفصائل انقرضت منذ زمن بعيد، وهي تنجب أطفالاً.

جمعتني مائدة عشاء ذات يوم مع ريتشارد دوكينز Richard Dawkins

العالم بجامعة أكسفورد ومؤلف كتاب (الجين الأناني) The Selfish Gene الـذي قطع خطوة إضافية في هذا المضمار. فهو يحلم بأن يأتي يوم نكون فيـه قادرين على إعـادة الحياة إلى أشـكال متنوعة من الحيـاة ليست فقط مهـددة بالانقراض وإنمـا انقرضت بالفعل منذ زمـن بعيد. وهو يذكر في البداية أنه كل سبعة وعشرين شهرا، يتضاعف عدد الجينات التي تتم معرفة تسلسلهـا. ثم أجرى عملية حسابية توصل مـن خلالها إلى أنه في العقود المقبلـة لـن تزيد تكلفة تحديـد التسلسل الكامل لجينـوم أي فرد على 160 دولارا. وهـو يحلم باليوم الذي سيحمل فيه علماء البيولوجيا معهم طاقم أدوات صغـيرا ثم في خلال دقائق يكونون قادريـن على معرفة التسلسل الكامل للجينوم الخاص بأي شكل يصادفونه من أشكال الحياة.

غير أنه يمضي لما هو أبعد من ذلك ويتصور نظريا أنه بحلول عام 2050، سوف نكون قادرين على إنشاء كائن كامل من الجينوم وحده. حيث كتب يقـول: (أؤمن بأنه بحلول عام 2050 سوف نتمكن من قراءة لغة)الحياة). وسـوف نغذي أحد الحاسبات بجينـوم حيوان مجهول فيعيد هذا الحاسب لا بنـاء شكل الحيـوان وهيئته فحسب وإنما تفاصيل العـالم الذي عاش فيه أسلافـه كذلـك، بما فيها أعـداؤه الطبيعيـون أو فرائسـه، والطفيليات أو العوائل التي تعايش معها، وأماكن إقامة أعشاشه بل وحتى آماله ومخاوفه). ويؤمـن دوكنز وهو يستشهد بعمل سيـدني برينر، أنه باستطاعته إعادة بناء جينوم (الحلقة المفقودة) بين الإنسان والقردة.

سـوف يكون هذا بحق نصـرا علميا يشار إليه بالبنـان. إذ بالحكم على الحفريات والأدلـة المتوفرة من أحماض دي إن أيه، وجدنا أنه تفصلنا عن

القردة حوالي 6 ملايين عام.

ولما كان حمض دي إن أيه الخاص بنا يختلف عن ذاك الذي يحمله حيوان الشمبانزي بنسبة 1.5 في المئة فقط، فإنه في المستقبل لا بد أن أحد برامج الكمبيوتر سوف يكون قادرا على تحليل الدي إن أيه الخاص بنا والخاص بالشمبانزي ومن ثم يحسب بالتقريب، بالمعادلات الرياضية، الدي إن أيه الخاص بالجد المشترك لكلينا. وبمجرد إعادة بناء ذلك الجينوم الافتراضي لجدنا المشترك بالحسابات الرياضية، سوف يقدم لنا أحد برامج الكمبيوتر بعد ذلك إعادة بناء بصرية للشكل الذي كان عليه وكذلك مواصفاته. وقد أطلق على ذلك مشروع جينوم لوسي، ولوسي هو الاسم الذي أطلق على الحفرية الشهيرة التي تنتمي لكائن القرد الجنوبي[1] Australopithecus.

بل وصل الأمر به إلى تصور نظري لأنه بمجرد إعادة خلق جينوم الحلقة المفقودة حسابيا عن طريق برنامج حاسب، فربما يصبح من الممكن فعليا خلق الدي إن أيه لهذا الكائن، ثم زرعه في بويضة بشرية، ومن ثم زرع البويضة في رحم امرأة، لتلد لنا في نهاية الأمر جدنا الأول.

برغم أن هذا السيناريو ربما بدا مستبعدا باعتباره منافيا للعقل، فإنه منذ بضع سنوات فقط ليس إلا، حدثت عدة تطورات تشير إلى أنه ليس بذلك الحلم بعيد المنال.

(1) القرد الجنوبي Australopithecus: كائن إنسي منقرض منذ حوالي مليوني عام لعب دورًا مهمًا في تاريخ التطور حسب رأي علماء الآثار والأنثروبولوجي والحفريات ويفترض أنه عاش في شرق أفريقيا. (المترجم)

أولهـا، أن حفنة من الجينات الرئيسة التي تفصلنا عن الشمبانزي يجري حاليا تحليلها بالتفصيل. ومن الجينات المثيرة المرشحة لإجراء ذلك التحليل جـين ASPM، المسـؤول عن التحكم في حجم المـخ. لقد زاد حجم المخ البشـري منذ عدة ملايـين عام مضت، لأسباب غـير مفهومة. فهذا الجين عنـد حدوث طفـرة به، يتسبـب في صغر حجم الدمـاغ، بحيث تكون الجمجمـة صغـيرة ويقل حجـم المـخ بنسبـة 70 %، أي في نفس حجم مخ أسلافنـا القدامى منذ ملايين السنين. والأمـر العجيب أنه من الممكن استخـدام الحاسبات الآلية في تحليل تاريخ ذلـك الجين. وتبين التحليلات أنـه قد حدثت له 15 طفرة خلال الخمسـ إلى الست ملايين عام الماضية، منذ انفصالنا عن جنس الشمبانزي، وهو ما يتطابق زمنيا مع حدوث زيادة في حجـم المخ. ومقارنةً مع أبناء عمومتنا من الرئيسيات، تعرض الإنسان لأسرع معدل تحول في ذلك الجين الرئيس.

بـل إن الأكـثر تشويقا تلك المنطقة من الجينـوم المسماة HAR1، التي لا تحـوي سوى 118 حرفـا. في عـام 2004، اكتُشف أن الفـارق الجوهري بـين الشمبانزي والإنسان يقع في هذه المنطقـة في 18 حرفا منها فقط، أو بالأحرى 18 حمضا نوويا. لقد تفرعت أجناس الشمبانزي والدجاج عن بعضهـا البعض منذ 300 مليون عام مضت، غـير أن أزواجها القاعدية في منطقة HAR1 ليس بينها اختلاف سوى في حرفين اثنين فقط. ومعنى هذا أن منطقـة HAR1 ظلت ثابتة بشكل ملحـوظ طيلة التاريخ التطوري، إلى أن ظهـر الإنسان إلى الوجود. لهذا ربما كانت الجينـات التي جعلتنا بشرا موجودة هناك.

غـير أنـه يوجد تطـور أكثر روعـة من ذلك جعـل اقـتراح دوكنز يبدو ممكـن التنفيذ. لقد صار جينوم أقرب جيراننا مـن الناحية الوراثية، إنسان نياندرثال الذي انقرض منذ زمن بعيد، معروفا تسلسله حاليا. وربما أمكن مـن خلال تحليل الحاسب الآلي لجينومات البشـر والشمبانزي ونياندرثال وباستخدام الرياضة البحتة إعادة بناء جينوم الحلقة المفقودة.

إعادة نياندرثال إلى الحياة

ربما تفـرق السبيـل بالإنسان وكائنـات نياندرثال منذ حـوالي ثلاثمئة ألـف عام مضت. غير أن تلـك المخلوقات انقرضـت وفنيت منذ حوالي ثلاثـين ألف عام في أوروبا. وكان ذلك قبـل وقت طويل إذن من إمكانية استخلاص حمض دي إن أيه القابل للاستخدام من النياندرثال الذي اندثر منذ عهد بعيد.

غـير أنـه في عـام 2009، أعلن أن فريقا يقـوده (سفانتي بابـو) Svante Paabo مـن معهد ماكس بلانك للأنثروبولوجي التطوري في لايبزج أنتج بالفعـل أول نسخة مبدئية من جينوم نياندرثال الكامل، بعد تحليل دي إن أيه من ست كائنات نياندرثال. كان هذا إنجازا تاريخيا بحق. وكان جينوم نياندرثـال كما كان متوقعـا مشابها للجينوم البشـري، فكلاهما يحتوي على 3 بلايين زوج قاعدي، لكنهما مختلفان مع ذلك في نواحٍ رئيسة.

وقـال عـالم الأنثروبولوجـي باستانفـورد (ريتشارد كلايـن) Richard Klein، معلقـا على العمل الذي أنجزه (بابو) ورفاقـه: إن إعادة البناء هذه ربمـا كانت تمثل إجابة عن أسئلة لطالما طرحناها عن سلوك نياندرثال، مثل

ما إذا كان باستطاعته التحدث أم لا. يوجد لدى الإنسان تغيران مميزان في الجين FOXP2، المسؤول جزئيا عن إتاحة نطق آلاف الكلمات. ويوضح تحليل أجري عن كثب أن لدى نياندرثال نفس التغيرين الوراثيين في هذا الجين. إذن يمكننا أن نفهم أن نياندرثال ربما كان قادرا على نطق ألفاظ بطريقة مشابهة لما نفعل.

لما كان نياندرثال هو أقرب قريب وراثي لنا نحن البشر، لذا سوف يخضع لاهتمام مكثف من العلماء. وقد طرح البعض إمكانية إعادة بناء دي إن أيه نياندرثال ذات يوم، ذلك الكائن الذي سار يوما على سطح الأرض.

بل إنه وفق تقديرات (جورج تشيرش) George Church العالم بكلية طب هارفارد، فإن إعادة نياندرثال مرة أخرى إلى الوجود لن تتكلف أكثر من 30 مليون دولار، بل ووصل به الأمر حد تقديم خطة لذلك. إذ يمكن في البداية تقسيم الجينوم البشري الكامل إلى قطع، بحيث تحوي كل قطعة 100 ألف زوج من حمض دي إن أيه ويتم زرع كل قطعة في خلية بكتيرية ثم تعديلها جينيا بحيث يوافق هذا الجينوم جينوم نياندرثال. ثم يعاد بعد ذلك تجميع كل تلك القطع المعدلة من الـ (دي إن أيه) لتصنع دي إن أيه كاملاً للنياندرثال. ويمكن بعد ذلك إعادة برمجة هذه الخلية لإعادتها إلى حالتها الجنينية ومن ثم زرعها في رحم أنثى شمبانزي.

غير أن كلاين من ستانفورد خرج ببعض المخاوف المفهومة عندما طرح سؤالاً قال فيه: (هل ستضعه بعد ذلك في هارفارد أم في حديقة حيوان؟).

كل هذا الحديث عن إعادة بناء نوع آخر انقرض منذ زمن بعيد

كنياندرثال (ما من شك أنه سيطرح مخاوف أخلاقية) حسبما نبه دوكينز. هـل سيكون للنياندرثال حقوق؟ ما الذي يحدث عندما يرغب أو ترغب في التزاوج؟ من المسؤول إذا أصيب أو أصيبت بأذى أو آذيا شخصا آخر؟

إذن إذا كان مـن الممكن إعادة نياندرثـال إلى الوجود مرة أخرى، فهل يتمكـن العلماء في نهاية الأمـر من إنشاء حديقة حيـوان للحيوانات التي انقرضت منذ زمن بعيد، كالماموث مثلاً؟

هل يمكن إعادة الماموث إلى الحياة؟

إن الفكرة ليست بالقدر نفسه من الجنون الذي تبدو به. فالعلماء بالفعل تمكنـوا من معرفة تسلسل قدر كبير من جينـوم الحيوان المنقرض المعروف باسـم (الماموث السيبـيري). فيما مضى، لم يتم استخلاص سوى شظايا دقيقـة من حمض دي إن أيه لحيوان الماموث الـذي كان جسده يكتسي بالصـوف ثـم تجمـد في سيبيريا منـذ عشـرات الآلاف مـن السنين. لقد صنـع (وب ميللر) Webb Miller و(ستيفان سـي. شوستر) .Stephan C Schuster، العالمـان بجامعة ولاية بنسلفانيا، المستحيل: استخلص العالمان 3 بلايين قاعدة من الـ(دي إن أيه) من جيف متجمدة لحيوان الماموث. فيما مضـى، كان الرقم القياسي الذي تحقق بمعرفـة التسلسل الصحيح لحمض دي إن أيـه للأنواع المنقرضة لا يزيد على 13 مليون زوج قاعدي، أي أقل من 1 % من جينوم الحيوان. (أمكن تحقيق هذا الفتح العلمي باستخدام آلة جديـدة لتحدي التسلسل الصحيح، اسمهـا (جهاز تحديد التسلسل عالي الطاقة الإنتاجية)، الـذي يتيح لنا مسح الآلاف من الجينات دفعة واحدة،

بدلاً من مسحها واحدا واحدا). كما استخدمت حيلة أخرى أيضا، وهي معرفة الموقع الذي علينا أن نبحث فيه عن الدي إن أيه العتيق. وقد توصل ميللر وشوستر إلى أن جريب الشعر للماموث الصوفي، وليس الجسم نفسه، هو الذي يحتوي على أفضل دي إن أيه.

والآن ربما أمكننا القول بأن فكرة إحياء حيوان منقرض من جديد ممكنة من الناحية البيولوجية. يقول شوستر: (منذ عام مضى، كان يمكنني القول بأن الفكرة محض خيال علمي). لكن الآن، ومع تمكننا من معرفة قدر كبير من تسلسل جينوم الماموث، لم يعد الأمر بعيد المنال. بل إنه رسم طريقة مبدئية لكيفية القيام بهذا. فوفق تقديراته ربما لم يعد متبقيا الآن سوى 400 ألف تغير في دي إن أيه الفيل الآسيوي يمكنها صنع حيوان به جميع السمات الرئيسة للماموث الصوفي. وربما كان من الممكن من الناحية الجينية تعديل دي إن أيه الفيل بحيث يستوعب تلك التغيرات، ثم زرعه في نواة بويضة أنثى الفيل، ثم زرع البويضة بعد ذلك في رحم أنثى الفيل.

ويتطلع الفريق بالفعل نحو معرفة تسلسل دي إن أيه لحيوان آخر منقرض، وهو الثايلاسين (كلب تسمانيا)، وهو حيوان أسترالي من فصيلة ذوات الجراب، على صلة قرابة لصيقة بشيطان تسمانيا الذي انقرض عام 1936. وهناك أيضا بعض الحديث عن معرفة تسلسل دي إن أيه طائر الدودو. وهناك قول مأثور هو (ميت كالدودو)، لكنه قد يصبح غير ذي معنى إذا تمكن العلماء من استخلاص دي إن أيه قابل للاستخدام من الأنسجة الرخوة وعظام جيف طيور الدودو الموجودة في أكسفورد أو في أماكن أخرى.

حديقة الديناصورات

وهذا يقودنا تلقائيا إلى سؤالنا الأصلي: هل يمكننا إعادة الديناصورات إلى الوجود؟ الإجابة في كلمة، ربما لا. إن حديقة الديناصورات تعتمد على القدرة على استعادة دي إن أيه سليم لشكل من أشكال الحياة انقرض منذ أكثر من 65 مليون عام، وربما كان هذا أمرا مستحيلاً. فبرغم العثور على أنسجة رخوة داخل عظام فخذ حفريات الديناصورات، فإنه إلى الآن لم يتم استخلاص دي إن أيه بهذه الطريقة، فقط بروتينات. وبرغم أن تلك البروتينات أثبتت كيميائيا أن هناك علاقة قرابة وثيقة بين (التيرانوصور ركس) والضفدع والدجاجة، فإن هذا الأمر يبدو بعيدا كل البعد عن القدرة على استعادة جينوم الديناصور من جديد.

إلا أن دوكينز مع ذلك لا يستبعد هذه الاحتمالية، أي القدرة على إجراء مقارنة وراثية بين جينوم أجناس الطيور المتنوعة والزواحف ومن ثم إعادة بناء التسلسل الصحيح لدي إن أيه (الديناصور العام) بطريقة حسابية. ويذكر دوكينز أنه من الممكن حث مناقير الدجاج على إنبات براعم أسنان (وحث الأفاعي على إنبات أرجل لها). ومن ثم، فإن السمات القديمة، التي تلاشت منذ زمن بعيد وطواها النسيان، ربما كانت مختبئة داخل طيات الجينوم.

وهذا لأن علماء الأحياء صاروا مدركين الآن أن الجينات قابلة لإعادة التنشيط ومن ثم يمكن أيضا إخمادها. ومعنى هذا أنه ربما كانت الجينات الحاملة للصفات العتيقة ما زالت موجودة لكنها ببساطة في حالة سبات. وبتشغيل هذه الجينات التي طال سباتها، قد يكون من الممكن إعادة هذه

السمات إلى الحياة من جديد.

مثال لذلك، في الماضي السحيق، كانت أقدام الدجاج ذات غشاء جلدي بين الأصابع. ولم يختفِ الجين المسؤول عن هذه الأغشية وإنما توقف فقط عن أداء وظيفته. وعند إعادة تنشيط هذا الجين، يمكن من حيث المبدأ خلق دجاج له قدم ذات أغشية جلدية (كالبط). وبالمثل، كان جسم الإنسان يوما ما مكسوا بالفراء. لكننا فقدنا فراءنا عندما بدأنا نفرز عرقا، وهي طريقة شديدة الفعالية لتنظيم درجة حرارة الجسم. (لا تملك الكلاب غددا عرقية، ولهذا تبرد أجسامها عن طريق اللهاث). وما زال الجين المسؤول عن فراء الإنسان موجودا لكنه خامد. ومن هنا فإننا بإعادة تشغيل هذا الجين، قد نتمكن من جعل أجساد البشر مكسوة بالفراء. (زعم البعض أن هذا ربما كان هو المسؤول عن أسطورة الرجل الذئب).

إذا افترضنا أن بعض جينات الديناصورات كانت في حقيقة الأمر متوقفة عن النشاط لملايين السنين لكنها ما زالت على قيد الحياة وموجودة في جينوم الطيور، إذن لكان من الممكن إعادة تنشيط تلك الجينات التي طال رقادها وحث الطيور على إظهار صفات الديناصورات. لهذا فإن اقتراح دوكينز وإن كان ضربا من التنبؤ فإنه ليس مستبعدا.

خلق أشكال جديدة من الحياة

ويطرح هذا علينا سؤالاً ختاميا: هل يمكننا خلق حياة وفق أمانينا؟ هل من الممكن ألا نكتفي بخلق الحيوانات التي انقرضت منذ أمد بعيد وأن نخلق أيضا حيوانات لم يكن لها وجود على الإطلاق من قبل؟ مثال لذلك، هل

يمكننـا صنع خنزير له جناحان أو حيوان ورد وصفه في الأساطير القديمة؟ حتـى بحلول نهاية هذا القرن، لن يكـون العلم قادرا على خلق حيوانات حسب الطلب. لكن العلم سوف يقطع شوطا طويلاً في طريق التمكن من إدخال تعديلات على المملكة الحيوانية.

حتـى الآن، كان العامل المقيد لنا هو قدرتنا على تحريك أماكن الجينات. ولا يمكـن تعديل سوى جين واحد في كل مرة بطريقة موثوق في نتيجتها. على سبيل المثال، من الممكن العثور على جين يجعل حيوانات معينة تومض في الظلام. ويمكن عزل هذا الجين، ثم وضعه داخل حيوانات أخرى بحيث تومض في الظلام. والحقيقـة أن هناك أبحاثا تجرى حاليا يمكن من خلالها تعديل الحيوانات الأليفة بإضافة جين واحد في كل تعديل.

غير أن خلق حيوان جديد تماما، مثل الكمير، ذلك الحيوان الخرافي الذي ورد في الأساطير الإغريقية (وهو مخلوق يجمع بين صفات ثلاثة حيوانات مختلفـة)، يتطلب نقل آلاف الجينات. ولخلـق خنازير ذات أجنحة، عليك أن تنقـل مئات الجينات التي تمثل الجنـاح والتأكد من أن جميع العضلات والأوعيـة الدموية متوافقة معا بصورة صحيحـة. وهذا أمر بعيد تماما عن أي شيء يمكن إنجازه اليوم.

غـير أن هناك فتوحـات تمت في هذا الصدد من الممكن لها أن تيسر هذه الاحتماليـة مستقبلاً. لقد دهش علماء الأحياء عندما اكتشفوا أن الجينات التي تصف الهيكل العام للجسم (من الرأس حتى أصابع القدمين) موجودة علـى صورة مرآة تعكـس ترتيبها الـذي تظهر بـه في الكروموسومات. وتسمى هذه جينات HOX، وهي تصف الطريقة التي يتركب بها الجسد.

فعلى ما يبدو أن الطبيعة اتخذت طريقا مختصرا، حيث طابقت بين ترتيب أعضاء الجسم وترتيب الجينات الموجودة على الكروموسومات نفسها. وهذا بدوره، عجل بشكل كبير من سرعة العملية التي يمكن بواسطتها فك شفرة التاريخ التطوري لتلك الجينات.

أضف إلى ذلك، أن هناك جينات رئيسة تتحكم فيما يبدو في خواص جينات أخرى عديدة. فعن طريق التلاعب في حفنة من تلك الجينات الرئيسة، يمكنك التلاعب في خصائص عشرات الجينات الأخرى.

وإذا عدنا بالزمن إلى الوراء لوجدنا أن الطبيعة الأم قررت خلق الهيكل العام للجسم بالطريقة نفسها تقريبا التي يرسم بها المهندس المعماري رسوماته التخطيطية. إن الإطار العام الهندسي للرسم المعماري يكون بنفس ترتيب الإطار العام للمبنى المادي الفعلي. كذلك تكون الرسومات المعمارية مجزأة، بحيث يحتوي كل رسم رئيس على وحدات بناء فرعية.

وإضافة إلى خلق حيوانات مهجنة جديدة تماما عن طريق استغلال خاصية تجزئة الجينوم إلى وحدات، هناك أيضا احتمال تطبيق علم الوراثة على البشر باستخدام التكنولوجيا الحيوية بهدف استعادة شخصيات تاريخية. ويؤمن لانزا بأنه طالما أمكن استخلاص خلية سليمة من شخص توفى منذ عهد بعيد، فسوف يكون ممكنا إعادة هذا الشخص إلى الوجود مرة أخرى. وفي كاتدرائية ويستمنستر آبي، لدينا أجساد محفوظة بعناية لملوك وملكات ماتوا منذ زمن بعيد، وكذلك رفات لشعراء وشخصيات دينية وسياسيين بل وحتى لعلماء مثل إسحق نيوتن. وقد أكد لي لانزا أنه قد يصير ممكنا ذات يوم العثور على دي إن أيه سليم داخل أجسادهم ومن

ثم إعادتهم إلى الوجود من جديد.

في فيلم (صبية من البرازيل) Boys from Brazil تدور القصة حول إعادة هتلر إلى الحياة من جديد. غير أنه لا ينبغي على المرء مع ذلك أن يعتقد بأن الإنسان سوف يتمكن من تكرار عبقرية أو شهرة أي من تلك الشخصيات التاريخية. فكما ذكر أحد علماء الأحياء، إذا أعدت هتلر من جديد، فأغلب الظن أن كل ما ستحصل عليه فنان درجة ثانية (وهي المهنة التي امتهنها هتلر قبل أن يصبح زعيما للحركة النازية).

نمنع الإصابة بأي مرض

قامت فكرة الفيلم التنبؤي (الأشياء الآتية) Things to come على قصة من تأليف إتش. جي. ويلز H. G. Wells تنبأت بمستقبل الحضارة، حيث أطلقت الحرب العالمية الثانية العنان لدورة من المعاناة والبؤس اللذين لا نهاية لهما. وفي الختام اختزلت جميع إنجازات الجنس البشري في أطلال، وسيطرت عصابات من القادة العسكريين على البشر الذين انسحقت أحوالهم وأصابتهم الفاقة. غير أنه في نهاية الفيلم، تبدأ مجموعة من العلماء بعيدي النظر، وقد تسلحوا بأسلحة فائقة القدرات في استعادة النظام من جديد. وأخيرا تنهض الحضارة من جديد من وسط الرماد. وفي أحد مشاهد الفيلم، يتم تعليم طفلة التاريخ الوحشي للقرن العشرين فتعرف أن هناك شيئا اسمه نزلة برد. فتسأل ما هو هذا البرد؟ فيقولون لها إن نزلات البرد كانت أشياء عولجت منذ زمن بعيد.

ربما لا.

ظـل الشفاء من كل الأمراض واحدا مـن أقدم الأهداف التي سعى إليها الإنسـان على مر العصور. غير أنه حتـى عندما يأتي عام 2100، لن يكون العلماء قد تمكنوا بعد من علاج جميع الأمراض، إذ إن الأمراض تحدث بها طفرات تحولية أسرع من قدرتنـا على علاجها، كما أن عددها كبير جدا. إننا ننسى أحيانا أننا نعيش وسط بحر خضم من البكتريا والفيروسات، التي توجد منـذ بلايين السنين وكانت سابقة على وجـود الإنسان على سطح الأرض، وسوف تبقى لبلايين السنين الأخرى بعد أن يزول الإنسان.

كثـير مـن الأمراض مصدرهـا الأصلـي الحيـوان. وهـذه واحدة من الضرائب التي ندفعها جراء تربية الحيوانات الأليفة، وهو أمر بدأ بالتقريب منذ 10 آلاف عام. لهذا يوجد مستودع هائل من الأمراض الكامنة داخل الحيوانـات ربما تفوق قدرة الجنس البشري علـى الصمود. ومن الطبيعي، أن تلك الأمراض لا تصيب بالعدوى سوى حفنة من الأفراد. لكن مع قيام المـدن الكبرى، من الممكن لتلك الأمراض التـي تنتقل بالعدوى أن تنتشر سريعا بين البشر، فتصل إلى كتلة حرجة وتتسبب في أوبئة تجتاح البشر.

مثال لذلك، أن العلماء عندما حللوا التسلسل الجيني لفيروس الأنفلونزا، دهشـوا لاكتشافهم أصله: الطيور. فكثير مـن الطيور يمكنها حمل أنواع مختلفة من فيروس الأنفلونزا دون أن تصاب بأي أعراض. لكن الخنازير بعد ذلك تعمل أحيانا كأوعيـة خلط وراثية، بعد أكلها روث الطيور. وبعدها كثـيرا ما يعيشـ المزارعون بالقرب من كليهما. ويـرى البعض أن هذا هو سبب قـدوم فيروس الأنفلونزا في الغالب من آسيـا، وذلك لأن المزارعين يمارسون التربية الجماعية لأصناف الحيوان المختلفة معا، فيعيشون بالقرب

من كل من البط والخنازير.

وفيروس H1N1 الذي ظهر حديثا ليس سوى أحدث موجة من طفرات أنفلونزا الطيور والخنازير.

ومن بين المشكلات التي نواجهها أن الناس ينتشرون باستمرار ويتوجهون نحو بيئات جديدة، فيقطعون أشجار الغابات، ويبنون الضواحي والمصانع، وخلال ذلك يواجهون أمراضا استوطنت منذ القدم أجساد الحيوانات. ولما كان البشر يواصلون التوسع والانتشار في الأرض، فمعنى ذلك أن علينا أن نتوقع المزيد من المفاجآت التي تأتينا من الغابات.

ومن أمثلة ذلك، أن هناك أدلة وراثية لا بأس بها على أن فيروس نقص المناعة البشري HIV بدأ في صورة فيروس نقص المناعة عند القردة SIV، الذي أصاب القرود في بادئ الأمر ثم انتقل بعدها إلى البشر. وبالمثل أصاب فيروس هانتا الناس في الجنوب الغربي عندما احتلوا أراضي كانت في الأصل مرتعا لقوارض البراري. أما مرض (لايم)، الذي ينتشر بصورة كبيرة بواسطة القراد، فقد غزا ضواحي الشمال الشرقي؛ لأن الناس يبنون مساكنهم الآن بالقرب من الغابات حيث تعيش حشرة القراد. وربما كان فيروس إيبولا قد أصاب قبائل البشر في القدم، لكن مع ظهور السفر بالطائرات انتشر إلى رقعة أكبر من السكان وصارت أنباؤه تتصدر عناوين الصحف. حتى مرض (ليجيونير) ربما كان مرضا قديما ولد داخل المياه الراكدة، غير أن انتشار أجهزة تكييف الهواء ربما كان هو السبب في نشر هذا المرض وانتقاله إلى المسنين فوق سطح سفن الركاب.

ومعنى هذا، أن المفاجآت سوف تتوالى مع هجوم موجات جديدة من

الأمراض الغريبة لتسيطر على عناوين الصحف الرئيسة في المستقبل.

وللأسف، قد يتأخر مجيء العلاج الشافي من تلك الأمراض.

على سبيل المثـال، حتى نزلة البرد العادية لا يوجد لها علاج ناجع حتى الآن. إن الكوكتيل المتنوع من المنتجات الذي تجده في أي صيدلية لا يعالج سوى الأعراض الظاهرية فقط، لكنه لا يقتل الفيروس نفسه. والمشكلة أنه ربما كان هناك 300 نوع مختلف من فيروس (راينو) (الرشح) المسبب لنزلة البرد، وببساطة فإن الأمر باهظ التكلفة، أن نصنع لقاحات لعلاج الأنواع الثلاثمئة كلها.

أما الموقف بالنسبة لفيروس نقص المناعة البشري فهو أكثر سوءا بكثير، إذ ربمـا كانت توجد منه ثلاثمئة سلالة مختلفـة. والحقيقة أن هذا الفيروس تحدث له تحولات جينية من السرعة بحيث أنه حتى لو أمكنك ابتكار لقاح لنـوع معين منه، فإن الفيروس سرعـان ما يتحول إلى نوع جديد. وابتكار لقاح لفيروس HIV أشبه بمحاولة إصابة هدف متحرك.

إذن في الوقـت الذي سنعالج فيه أمراضا عديـدة في المستقبل، قد يظل نفس المرض الذي تمكن من مراوغة علومنا المتقدمة يهاجمنا دون هوادة.

عالم جديد تماما

بحلـول عـام 2100، عندما نتمكن مـن السيطرة على قدرنـا الوراثي، علينـا أن نقـارن بين مصيرنا وبـين (ديستوبيا) التي رسـم معالمها ألدوس هكسلـي Aldous Huxley في روايتـه التنبؤية (عالم جديـد تماما) Brave New World، التي تقع أحداثها عام 2540. لقد تسبب الكتاب في صدمة

وفزع على نطاق عالمي عندما نشر لأول مرة عام 1932.

غير أنه بعد 75 عاما أخرى، تبين أن العديد من تنبؤاته تحقق بالفعل. لقد فضح المجتمع البريطاني عندما كتب عن أطفال الأنابيب، وعندما يتم الفصل بين الخلق والإنجاب، وعندما تصير المخدرات أمرا عاديا وشائعا، غير أننا نعيش اليوم وسط عالم صار فيه الإخصاب المختبري وحبوب منع الحمل أمورا مسلما بها. (أهم تنبؤ تخيله ولم يتحقق بعد هو استنساخ البشر). لقد تخيل عالما طبقيا يستنسخ فيه الأطباء عمدا أجنة بشرية ذات مخاخ تالفة، يشبون عن الطوق ليصيروا خدما للصفوة الحاكمة. وحسب مستوى تلف المخ، يمكن تصعيدهم إلى مرتبة (ألفا)، وهم مثاليون ومقدر لهم أن يتقلدوا السلطة، ثم نزولاً إلى مرتبة (إبسيلون) (حرف E الإغريقي) الذين يزيدون قليلاً على العبيد المتخلفين عقليا. إذن فالتكنولوجيا، بدلاً من تحرير الإنسانية من الفقر والجهل والمرض، صارت كابوسا، يفرض استقرارا مصطنعا وفاسدا على حساب حرية البشر أجمعين.

رغم دقة الرواية في عدة نواح، لم يتنبأ هكسلي مثلاً بالهندسة الوراثية. ولو علم بأمر هذه التقنية، لربما كانت المخاوف انتابته من مشكلة أخرى محتملة: هل سينقسم الجنس البشري إلى شظايا، حيث يتلاعب آباء متقلبو الأهواء وحكومات منحرفة بجينات أبنائنا؟ فالآباء بالفعل يكسون أطفالهم ملابس أجنبية ويجعلونهم يتنافسون في مسابقات سخيفة، فلماذا إذن لا يغيرون جيناتهم بحيث تتفق ونزواتهم؟ الحقيقة أن الآباء ربما كانوا مدفوعين بخاصية التطور لمنح ذريتهم كل ميزة ممكنة، فلماذا إذن لا يتلاعبون بجيناتهم كذلك؟

وكمثال مبدئي لما يمكن أن يسير في اتجاه خاطئ، دعونا نأخذ مثلاً السونار الحقير. فرغم أن الأطباء أدخلوا السونار في براءة ظنا منهم أنه يمثل عونا في حالات الحمل، فإن ذلك أدى إلى وباء هائل تمثل في حالات إجهاض لإناث الأجنة، لا سيما في ريف كل من الصين والهند. ولقد توصلت إحدى الدراسات التي أجريت في بومباي إلى أن 7997 من كل 8000 جنين تم إجهاضه كن من الإناث. وفي كوريا الجنوبية 65 % من جميع الأطفال الذين يكون ترتيبهم الثالث بين الأبناء يكونون ذكورا. وسرعان ما سيصل جيل الأطفال الذين اختار آباؤهم الإجهاض بناءً على جنس الجنين إلى سن الزواج، ولن يجد ملايين منهم إناثا ليتزوجوهن. وهذا بدوره من الممكن أن يتسبب في انفصام هائل في عرى المجتمع. والفلاحون الذين أرادوا ذكورا فقط ليحملوا أسماءهم سوف يكتشفون أنه ليس لديهم أحفاد.

وفي الولايات المتحدة، هناك سوء استخدام واسع النطاق لهرمون النمو البشري (HGH)، الذي يروج له كثيرا كعلاج للشيخوخة. في البداية، كان المقصود من اللجوء لهرمون النمو البشري تصحيح حالات النقص الهرموني لدى الأطفال الذين يعانون من قصر قامة مفرط. وبدلاً من ذلك، تحول هذا الهرمون إلى صناعة ضخمة تتم في الخفاء بناءً على معلومات مشكوك في صحتها تتعلق بالشيخوخة. والواقع أن الإنترنت صنعت جمهورا هائلاً من فئران التجارب البشرية لعلاجات زائفة.

إذن الناس كلما واتتهم الفرصة، فإنهم غالبا ما يسيئون استغلال التكنولوجيا ويمارسون قدرا هائلاً من تعمد الأذى. فما الذي يمكن أن

يحدث إذا وضعوا أيديهم على تقنيات الهندسة الوراثية؟

في أسوأ سيناريو يمكن أن يحدث يمكن للمرء أن يحلم بذلك الكابوس الذي تخيله إتش جي ويلز H. G. Wells في روايته القصيرة من أدب الخيال العلمي الكلاسيكي، (آلة الزمن) Time Machine، عندما انقسم الجنس البشري عام 802701 بعد الميلاد إلى جنسين مختلفين تماما. حيث كتب (بالتدريج، تبينت الحقيقة: أن الإنسان لم يعد جنسا واحدا، وإنما انقسم إلى نوعين حيوانيين منفصلين تماما: أن أطفالي اللطاف المنتمين للطبقة الراقية لم يكونوا النسل الوحيد لجيلي، وإنما كان هناك أيضا ذلك الكائن الليلي الخالي من الصبغة الجلدية الفاحش الذي ومض أمامي، وريثا لكل العصور).

حتى تفهم أي التنويعات في الجنس البشري يمكن وجودها، انظر فقط إلى الكلب الأليف الذي نربيه في المنازل. فبرغم وجود الآلاف من سلالات الكلاب، فإن جميعها ينحدر في الأصل من فصيلة الذئب الرمادي Canis Lupus، الذي استؤنس منذ حوالي 10 آلاف عام في نهاية آخر عصر جليدي. ونتيجة للتزويج الانتقائي من قبل أسيادهم من البشر، صارت الكلاب اليوم ذات أحجام وأشكال شديدة التنوع. هيئة الجسم، والطبع، واللون، والقدرة كلها تغيرت جذريا نتيجة للتناسل الانتقائي.

لما كانت سرعة الشيخوخة لدى الكلاب تفوق سرعتها لدى البشر بما يقرب من سبعة أضعاف، فإن في إمكاننا أن نحسب أن حوالي 1000 جيل من الكلاب وُجِد على ظهر الأرض منذ انفصال جنس الكلب عن جنس الذئب. إذا طبقنا هذا على البشر، فإن التربية المنهجية لسلالة البشر ربما تسببت في تقسيم الجنس

البشـري إلى آلاف السـلالات في 70 ألف عام فقط، برغـم أنهم سينتمون إلى النوع نفسه. لكن مع الهندسة الوراثية، من الممكن منطقيا أن تتسارع خطوات هذه العملية بشكل كبير، بحيث لا تحتاج إلا إلى جيل واحد فقط.

من حسن الحظ توجد أسباب تدعو للاعتقاد بأن تقسيم الجنس البشري تطوريـا لن يحـدث، على الأقل خلال القرن المقبل. ففـي مسألة التطور، عـادةً ما يتمزق النوع الحيواني الواحد إربـا إذا انفصل أفراده جغرافيا إلى شعبين منفصلـين تزاوجيا. فقد حدث هذا على سبيـل المثال في أستراليا، حيـث أدى الانفصـال المـادي للعديد مـن الأنـواع الحيوانيـة إلى تطور الحيوانـات الموجودة هناك إلى أنـواع لا يوجد لها مثيل في أي مكان آخر علـى سطح الأرض، مثل ذوات الجـراب التي منها حيـوان الكنغر. أما مجتمعات البشر، فعلى النقيض من ذلك كثيرة التنقل، ولا يوجد لديها عنق زجاجة تطوري، وهي كثيرة الاختلاط ببعضها البعض.

ومثلمـا قال جريجـوري سـتـوك Gregory Stock بجامعـة كاليفورنيا بلوس أنجلوس UCLA: (التطـور الداروينـي التقليـدي لا يحدث حاليا أي تغيـير تقريبا لـدى البشر وهناك احتمال ضعيـف أن يفعل ذلك خلال المستقبل المنظور. فالمجتمع البشـري شديد الضخامة ومتشابك الأعراق، والضغوط الانتقائية شديدة المحلية، كما أنها عابرة).

هناك أيضا قيود تفرضها قاعدة رجل الكهف.

فكمـا ذكرنا من قبـل، غالبا ما يرفض الناس التطورات التـي تأتي بها التكنولوجيـا (مثـال لذلك المكتب الخـالي من الـورق) إذا تعارضت مع الطبيعـة الإنسانية، التي ظلت ثابتة نسبيا على مدى المئة ألف عام الماضية.

وقـد لا يرغـب الناس في خلق أطفـال حسب المواصفـات يختلفون عن العرف المعهود وينظر إليهم من قبل أقرانهم على أنهم كائنات شاذة. وهذا يقلـل من احتمالات نجاحهم في المجتمع. فجعـل أطفالنا يرتدون ملابس مضحكـة شيء، والتغيير الدائم لصفاتهـم الوراثية شيء مختلف تماما. (في السـوق المفتوحة، ربما كان هناك مكان للجينـات الشاذة، غير أن عددها ضئيـل، إذ إن السوق تكـون مدفوعة بطلب المستهلكـين على السلعة). والأرجـح، أنه بنهاية القرن، سوف تقدم للزوجين مكتبة من الجينات كي ينتقيـا من بينهـا، في الغالب بهدف القضاء علـى الأمراض الوراثية، لكن هـذا لا يمنع أن بعضها سيكون من أجـل تحسين الصفات الوراثية. غير أنه ستكـون هناك ضغوط طفيفة من السـوق لتمويل دراسة الجينات الشاذة؛ لأن الطلب عليها سوف يكون بالغ الضآلة.

الخطر الحقيقي لن يأتي بصورة واضحة من طلب المستهلك وإنما سيكون مصـدره الحكومـات الدكتاتورية التـي ربما ترغب في استغـلال الهندسة الوراثيـة في تحقيق أغراضها الخاصة، مثل استيلاد محاربين أكثر قوة لكنهم في الوقت نفسه أكثر طاعة وإخلاصا.

هنـاك مشكلـة أخـرى ستظهـر في المستقبـل البعيد، عندمـا توجد لنا مستعمـرات فضائيـة فوق أسطح كواكـب أخرى تختلـف في جاذبيتها وكذلـك ظروفهـا المناخية عن تلـك السائـدة على الأرض. وعند هذه النقطـة، التي ربما تأتي خلال القرن القادم، يصبح من الواقعي أن نفكر في هندسـة سلالة جديدة من البشر يمكنها التأقلم مع مجالات جاذبية وظروف مناخية مختلفة. مثال لذلك، ربما صارت سلالة جديدة من البشر قادرة على

استهلاك مقادير مختلفة من الأكسجين، والتكيف مع طول مختلف لساعات اليـوم الواحد، وتتمتع بـوزن جسم مختلف ومعدل تمثيـل غذائي مختلف. غـير أن السفر إلى الفضاء سوف يكون باهظ التكلفة وسيظل كذلك لفترة طويلـة. وبحلول نهاية القرن، ربما أمكننـا إقامة محطة فضائية صغيرة فوق سطح كوكـب المريخ، غير أن الغالبية العظمى مـن الجنس البشري سوف تبقى فوق كوكب الأرض. وطيلة عقود وحتى قرون مقبلة، سوف يظل ارتيـاد الفضـاء مقصورا فقط على رواد الفضـاء، والأثرياء وربما حفنة من الاستعماريين الجسورين.

إذن تقسيم الجنس البشري إلى أنواع مختلفة يفصل بينها الفضاء في جميع أنحاء المجموعـة الشمسية وما وراءها لن يحدث خلال هذا القرن، وربما لـن يحـدث حتى في القرن المقبـل. طيلة المستقبل المنظـور، وما لم تحدث طفرات علمية رهيبة في تكنولوجيا الفضاء، سوف نظل ملتصقين إلى حد بعيد بكوكبنا الأرض.

وأخيرا، هنـاك تهديد آخر يواجهنا قبل بلوغ عـام 2100: وهو أن هذه التكنولوجيـا ربما تتحول عن عمد إلى عدو لنا، في صورة حرب جرثومية تستخدم الجراثيم محددة المواصفات.

الحرب الجرثومية

يعود تاريخ الحرب الجرثومية إلى فترة نزول التوراة. فقد اعتاد المحاربون القدماء على إلقاء الجثـث المصابة بأمراض من فوق أسوار مدن الأعداء أو تسميم آبارهم بجيف الحيوانـات النافقة. وكان من بين الوسائل الأخرى

للقضاء على عدو تقـديم ملابس له تم تلويثها بميكروب الجدري. لكن مع ظهور التكنولوجيا الحديثة، يمكن استيلاد جراثيم بطريقة الهندسة الوراثية في مقدورها محو ملايين البشر من على ظهر الأرض.

في عـام 1972، وقعـت الولايات المتحـدة والاتحـاد السوفييتي السابق معاهـدة تاريخية تحظر استخدام الحرب الجرثوميـة في أغراض هجومية. غـير أن تكنولوجيا الهندسـة الحيوية صارت متقدمـة الآن إلى الحد الذي جعل هذه المعاهدة بلا معنى.

أول شيء، أنه لا يوجـد شيء اسمه تكنولوجيا هجومية وأخرى دفاعية إذا أردنـا الحديث عن أبحاث دي إن أيه. ويمكن استخدام مسألة التلاعب في الجينات لأي من الغرضين.

والأمر الثاني، أنه مع استخدام الهندسة الوراثية، من الممكن خلق أسلحة جرثومية، وهي تلك الجراثيم التي تم تعديل صفاتها عن عمد من أجل زيادة قدراتها القاتلة أو قدرتها على الانتشار في البيئة. لقد كان يعتقد ذات يوم أن الولايات المتحدة وروسيا فقط هما اللتان تمتلكان آخر زجاجات حاوية لميكروب الجدري، وهو أكبر قاتل في تاريخ البشرية. وفي عام 1992، زعم أحد المنشقين عن الاتحاد السوفييتي أن الروس صنعوا سلاحا جرثوميا من ميكـروب الجدري بل وأنتجوا منه بالفعل عشرين طنا. ومع انهيار الاتحاد السوفييتـي، هناك تخوف شديد من أن تأتي يوما ما جماعة إرهابية لتدفع بالأموال من أجل الحصول على سلاح الجدري الجرثومي.

في عـام 2005، نجـح علماء الأحياء في إعـادة إحياء فيروس الأنفلونزا الإسبانيـة الذي ظهر عام 1918 وتسبـب في مصرع أعداد تفوق من قتلوا

في الحـرب العالمية الأولى. وما يثير الإعجـاب حقا، أنهم تمكنوا من إحياء الفيروس عن طريق تحليـل أجروه لجسد امرأة ماتـت ودفنت في الثلاجة السرمديـة بألاسكا، بالإضافة إلى عينـات أخذت من جنود أمريكيين إبان وقوع الجائحة.

ومضـى العلماء بعد ذلك قدمـا في نشر الجينوم الكامـل للفيروس على شبكـة الإنترنت، فجعلوه معلوما للعـالم أجمع. وقد استاء كثير من العلماء حيال هذا التصرف، إذ إنه يمكن ذات يوم حتى لطالب جامعي لديه القدرة على دخـول معمل الجامعة إحيـاء واحد من أكبر الميكروبـات القاتلة في تاريخ البشرية.

علـى المدى القصير، كان نشر خريطة جينوم فيروس الأنفلونزا الإسبانية يمثـل منجما للعلمـاء، الذين أمكنهم حينئذ فحص الجينات لحل لغز طالما حـير ألبابهم: كيف تسببت طفرة تحولية بهـذه الضآلة في مثل هذا الدمار واسـع الانتشار للمجتمـع الإنساني؟ وسرعـان ما عثر علـى الإجابة. إن فيروس الأنفلونزا الإسبانية، على عكس الأنواع الأخرى من الفيروسات، يتسبـب في نشاط زائد لجهاز المناعة بالجسم فيجعلـه يطلق كميات هائلة مـن السوائـل هي التـي تقتل المريض في نهايـة الأمر. فيمكـن القول بأن الإنسان فعليا يغرق في سوائله. وبمجرد إدراك هذه الحقيقة، أمكن مقارنة الجينات التـي تتسبب في هذا التأثـير المميت بجينات فيروس الأنفلونزا H1N1 وغيرهـا مـن الفيروسـات، ولحسن الحظ، لم يكن أيهـا يمتلك هذا الجين القاتل. والأكثر من هذا، أنه صار بإمكان المرء أن يحسب فعليا مدى اقـتراب الفيروس من بلوغ قدرته المنذرة بالخطر، وما زال فيروس أنفلونزا

H1N1 بعيدا عن تحقيق هذه القدرة.

لكـن في الأجل البعيد، هناك ثمن علينا أن نسـدده. ففي كل عام يصير التلاعب في جينات الكائنات الحية أيسر وأيسر. وما زالت التكلفة تواصل انخفاضهـا، كمـا أن المعلومـات متوفـرة على نطـاق واسع علـى شبكة الإنترنت.

وفي غضـون بضعة عقود، يؤمن بعض العلمـاء بأنه سوف يكون متاحا خلق ماكينة تتيح لك صنع أي جين ببساطة بمجرد طبع المكونات المرغوب فيهـا علـى لوحة المفاتيح. فبكتابة الرمـوز أ – ث – س – ج التي يتشكل منهـا الجين، تقـوم الماكينة بصـورة أوتوماتيكيـة بطريقة القص واللصق بتخليق دي إن أيه لصنع هذا الجين. إذا حدث هذا، فإن معناه أن حتى طلبة المدارس الثانوية ربما صار في استطاعتهـم يوما ما إجراء عمليات تلاعب متقدمة في أشكال الحياة.

أحـد السيناريوهـات الأشبـه بالكوابيس هـو الإيدز المحمـول جوا. ففيروسـات البرد، مثـلاً، تمتلك بضعة جينـات تسمح لهـا بالحياة داخل قطـرات الرذاذ دقيقة الحجم، ولهذا يمكن للعدوى أن تنتقل بين الناس عن طريق العطس. وفي الوقت الحالي، ما زال فيروس الإيدز شديد الوهن عند تعرضـه للبيئـة المحيطة. لكن إذا تم زرع جينـات فيروس البرد في فيروس الإيـدز، فإنـه يمكننا أن نتخيل ساعتها أنه سيصير قـادرا على الحياة خارج الجسـم البشري. وهذا من الممكن أن يتسبب في قدرة فيروس الإيدز على الانتشـار مثلـه مثل فيروس الـبرد، ومن ثم يصيب قطاعـا هائلاً من البشر بالعدوى. مـن المعروف أيضا أن الفيروسـات والبكتريا يتبادلان الجينات

فيما بينهما، ولهذا أيضا هناك احتمال أن يتمكن فيروسا الإيدز والبرد من تبادل الجينات فيما بينهما بطريقة طبيعية، إلا أن هذا الاحتمال أضعف.

وفي المستقبل، ربما تتمكن جماعة إرهابية أو إحدى الدول من استخدام سلاح الإيدز. الأمر الوحيد الذي يمنعهم من إطلاق سراحه أنهم هم أيضا من الممكن أن يصيبهم أذاه لو أن الفيروس انتشر في البيئة.

لقد صار هذا التهديد أمرا واقعا بعد أحداث الحادي عشر من سبتمبر المأساوية مباشرةً. فقد أرسل شخص مجهول الهوية طرودا بريدية بها مسحوق أبيض يحتوي على جراثيم الأنثراكس (الجمرة الخبيثة) إلى سياسيين مشاهير في جميع أنحاء البلاد. وبالتحليل المجهري الدقيق للمسحوق الأبيض تبين أن جراثيم الجمرة الخبيثة تحولت إلى سلاح جرثومي يحقق أعلى نسبة من الوفيات والدمار. وعلى حين غرة تملك البلاد بأسرها فزع هائل من أن تتمكن جماعة إرهابية من الحصول على أسلحة بيولوجية متقدمة. وبرغم وجود الجمرة الخبيثة داخل التربة وفي جميع أنحاء بيئتنا، فإنه ليس في مقدور سوى شخص يملك تدريبا متقدما ونوايا جنونية تنقية الجمرة الخبيثة وتحويلها إلى سلاح بيولوجي وأن ينجح في هذا العمل.

وحتى بعد القيام بأكبر مطاردة في تاريخ الولايات المتحدة، لم يعثر على الجاني أبدا، حتى يومنا هذا (رغم أن المشتبه به الرئيس أقدم على الانتحار مؤخرا). والنقطة التي نود أن نثيرها هنا أنه حتى لو كان هناك شخص بمفرده ولديه بعض التدريب البيولوجي المتقدم لأمكنه أن يروع أمة بأسرها.

هناك عامل مقيد كبح جماح الحرب الجرثومية، وهو ببساطة المصلحة الشخصية. فخلال الحرب العالمية الأولى، كانت فعالية الغاز السام في ميدان المعركة متضاربة. كانت ظروف الرياح غالبا يصعب التنبؤ بها، لهذا كان من الممكن للغاز أن يهب عائدا نحو القوات التي أطلقته. فقيمته الحربية مصدرها الرئيس إدخال الرعب في قلوب الأعداء، لا دحره وهزيمته. ولا توجد معركة واحدة حاسمة حسم فيها النصر باستخدام الغاز السام وحده. وحتى أثناء ذروة الحرب الباردة، كان كلا الجانبين على علم بأن الغاز السام والأسلحة البيولوجية قد تكون لها آثار يصعب التنبؤ بها في ساحات المعارك وأنها من الممكن بسهولة أن تتصاعد وتيرتها إلى أن تتحول إلى مواجهة نووية.

جميع المزاعم التي وردت في هذا الفصل، كما رأينا، تضمنت التلاعب بالجينات والبروتينات والجزيئات. من الطبيعي إذن أن يُثار التساؤل التالي: ما مبلغ قدرتنا إذن على التلاعب في كل ذرة على حدة؟

الفصل الرابع

تكنولوجيا النانو كل شيء من لا شيء

«إن مبادئ الفيزياء – حسبما أرى – لا تتعارض مع إمكانية التلاعب بالأشياء ذرة بذرة»

- ريتشارد فينمان[1]، الحائز على جائزة نوبل

«لقد منحتنا تكنولوجيا النانو أدوات ستمكننا من اللعب بصندوق ألعاب الطبيعة التي لا نهاية لها؛ من ذرات وجزيئات. إن كل شيء من الذرات والجزيئات، ويبدو أن احتمالات إيجاد أشياء جديدة لا حدود لها الآن»

- هورست شتورمر[2]، الحائز على جائزة نوبل

«إن دور الشيء متناهي الصغر لدور غاية في الضخامة»

- لويس باستير[3]

(1) ريتشارد فينمان Richard Feynman: فيزيائي أمريكي شهير. قام بتطوير نظرية الكم الكهروديناميكي، وتنبأ مبكرًا بعصر تكنولوجيا النانو (تقنية الأجسام النانوية التي تكون أبعادها في حدود واحد على مليار من المتر). كان من ضمن الفريق الذي صنع القنبلة الذرية. نال جائزة نوبل في الفيزياء عام 1965. (المترجم)

(2) هورست شتورمر Horst Stormer: عالم فيزيائي ألماني. حاز على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1998 بالمشاركة مع العالمين روبرت لافلين ودانيل تسوي عن اكتشافهم تأثير هول الكمي. ولد بمدينة فرانكفورت بألمانيا، ودرس بجامعة فرانكفورت، ثم أجرى أبحاثه في معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا. (المترجم)

(3) لويس باستير Louis Pasteur: عالم أحياء دقيقة وكيميائي فرنسي. معروف لدى العامة بتجاربه التي أثبتت أن الكائنات الدقيقة هي المسؤولة عن الأمراض، وعن اللقاحات، وبصفة خاصة اللقاح ضد داء الكلب، وله أيضًا اكتشاف عظيم في الكيمياء بخصوص تناسق الجزيئات في المادة. يعتبر مبتكر عملية البسترة في الحليب، وهي عملية تسخين الحليب لقتل الجراثيم والميكروبات الموجودة فيه، ثم تبريده وحفظه باردًا. (المترجم)

إن استخـدم الأدوات ببراعـة لهـو الإنجـاز الـذي يتوج رؤوس البشر ويميزهم عن الحيوانات. ووفق الأساطير الإغريقية والرومانية، بدأت هذه المسألـة باستيـلاء (بروميثيوس) Prometheus – بدافـع شفقته على حال البشـر – على هدية ثمينـة، وهي النار، من أتون (فولـكان) Vulcan (إله المعـادن والنار عند الرومان). غير أن هذه السرقة أغضبت الآلهة. ولما أراد (زيوس) Zeus معاقبة البشرية، ابتكر حيلة بارعة. لقد طلب من (فولكان) أن يصنـع صندوقا وامـرأة جميلة من المعدن؛ فصنـع فولكان هذا التمثال المسمـى (بانـدورا) Pandora، ثـم استخدم سحـره ليبعث فيهـا الحياة، وأمرها ألا تفتح الصندوق مهما حدث. لكنها بدافع من الفضول خالفت أمـره ذات يوم وفتحت الصندوق، فأطلقـت بذلك جميع رياح الفوضى والبؤس والشقاء التي اجتاحت العالم، ولم يتبق في الصندوق سوى الأمل.

وهكذا، خرجت من أتون (فولكان) السماوي أحلام البشر ومعاناتهم. واليـوم، أصبحنا نصمـم آلات ثورية حديثة تعـد الأروع على الإطلاق، وهـي مكونة من ذرات منفردة. لكن هل ستطلق تلك الأدوات سراح نار التنوير والمعرفة أم رياح الفوضى والشقاء؟

عـبر تاريـخ الإنسانية كله، كان إتقـان استخـدام الأدوات هو ما حدد مصائرنـا. فعندما أتقن الإنسان صنع القوس والسهم منذ آلاف السنين، صرنا قادرين على إطلاق المقذوفات لمسافات أبعد كثيرا مما تستطيع أيدينا، فزاد ذلـك من كفاءة صيدنـا، وزاد بالتالي من مواردنـا الغذائية. وعندما ابتكـر علم المعادن منذ حوالي سبعة آلاف عام، صرنا قادرين على استبدال الأكـواخ المصنوعـة من الطـين والقش ببنايـات هائلة ترتفـع عن سطح

الأرض ارتفاعات شاهقة. وعلى الفور، بدأت الإمبراطوريات تنهض من بين الأحراش والفيافي وقد شُيدت بأدوات صُنعت من المعادن.

والآن، نحن على وشك إتقان استخدام نمط مختلف تماما من الأدوات، وهو أقوى بكثير من أي شيء شهدناه من قبل. هذه المرة، سوف نصبح قادرين على التحكم في الذرات نفسها التي خُلق منها كل شيء. وخلال هذا القرن، ربما نمتلك أهم أداة تخيلها بشر على مر العصور؛ تكنولوجيا النانو[1] nanotechnology التي ستتيح لنا التحكم في كل ذرة على نحو منفرد. وقد يكون هذا بمثابة الثورة الصناعية الثانية، إذ إن التصنيع الجزيئي يخلق موادا جديدة لا يمكننا اليوم سوى أن نحلم بها فقط، فهي مواد فائقة القوة وخفة الوزن إلى حد هائل، وذات خواص كهربية ومغناطيسية مذهلة.

لقد صرح ريتشارد سمولي Richard Smalley الحائز على جائزة نوبل قائلا: (أعظم حلم لتكنولوجيا النانو أن تصبح قادرا على أن تبني بالذرات وكأنك تشيد بناية سكنية عادية). بينما قال فيليب كيوكس Philip Kuekes من شركة هيوليت باكارد Hewlett – Packard: (في نهاية المطاف، لا يقتصر الهدف على تصنيع أجهزة كمبيوتر في حجم ذرات

(1) تكنولوجيا النانو، أو تقنية النانو، أو النانو تكنولوجي nanotechnology: العلم الذي يهتم بدراسة معالجة المادة على المقياس الذري والجُزيئي. وهي تقنية تهتم بابتكار وسائل جديدة تقاس أبعادها بالنانومتر؛ وهو جزء من الألف من المكرومتر، أي جزء من المليون من المليمتر. وعادة تتعامل هذه التقنية مع قياسات بين 0.1 إلى 100 نانومتر، أي تتعامل مع تجمعات ذرية تتراوح بين خمس ذرات وألف ذرة، وهي أبعاد أقل كثيرا من أبعاد البكتريا والخلية الحية. وحتى الآن، لا تختص هذه التقنية بعلم الأحياء، بل تهتم بخواص المواد، وتتنوع مجالاتها بشكل واسع من أشباه الموصلات إلى طرق حديثة تمامًا معتمدة على التجمع الذاتي الجزيئي. لكن هذا التحديد بالقياس يقابله اتساع في طبيعة المواد المستخدمة، فهذه التقنية تتعامل مع أي ظواهر أو بنايات على مستوى النانو الصغير. (المترجم)

الغبـار وحسب، وإنما ستكون الفكرة صنع أجهزة كمبيوتر بسيطة بحجم البكتريا. وحينها، يمكنـك دمج شيء بنفس قوة الجهاز الموجود الآن على سطح مكتبك داخل ذرة غبار).

والحقيقة أن هذا لم يعد مجرد شطط من خيال وأوهام جامحة لأناس حالمين متفائلـين. إن الحكومة الأمريكية تأخذه على محمل الجد. ففي عام 2009، وبسبـب الإمكانات الجبارة لتكنولوجيا النانو التي من الممكن تطبيقها في مجالات الطب والصناعة والطـيران والفضاء والتجارة، خصصت المبادرة القوميـة لتكنولوجيا النانـو National Nanotechnology Initiative نحو 1.5 مليـار دولار للأبحاث في هذا المجال. وينص تقرير تكنولوجيا النانو الـذي رفعته المؤسسـة الوطنية للعلـوم National Science Foundation، الحكوميـة الأمريكية، على أن (تكنولوجيا النانو لديها القدرة على تحسين الأداء البشـري والارتقاء بـه، وعلى إحداث تطوير مستـدام للمواد والماء والطاقة والغذاء، وحمايتنا من البكتريا والفيروسات المجهولة...).

وفي نهايـة المطاف، قـد يكون الاقتصـاد العالمي ومصـير الأمم مرهونا بهـذا. فبحلول عـام 2020، أو بعد ذلك بقليل، سـوف يبدأ (قانون مور) Moore›s law في التداعـي، وربما انهار في النهاية. وقد يلقي هذا باقتصاد العالم في حالة من الفوضى العارمة ما لم يعثر علماء الفيزياء على بديل ملائم للترانزستورات المصنوعة من السليكـون لتشغيل أجهزة الحاسوب. وربما يظهر حل هذه المشكلة على يد تكنولوجيا النانو.

كذلك ربما تتمكن تكنولوجيا النانو، بحلول نهاية هذا القرن، من صنع آلـة ما كان لإنسـان أن يحلم بأن يتمكن البشر من صنعها؛ آلة يمكنها خلق

أي شيء من لا شيء تقريبا.

دنيا الكم

كان أول مـن لفت الأنظار إلى ذلك المجال الجديد في علم الفيزياء العالم الحائز على جائزة نوبل ريتشـارد فينمان Richard Feynman الذي طرح سـؤالا بسيطا على نحو خادع: إلى أي مدى يمكن أن نجعل الآلات أصغر حجما؟ وبالطبـع لم يكن هذا سؤالاً أكاديميا. وقـد ظلت أجهزة الحاسب تصغـر في الحجـم بالتدريج، مغيرة بذلك وجه الصناعـة، وبهذا صار من الواضح أن الإجابة عن هـذا السؤال يمكن أن تكون ذات تأثير هائل على المجتمع وعلى الاقتصاد.

وفي كلمته التنبؤية التي ألقاها عام 1959 أمام الجمعية الفيزيائية الأمريكية American Physical Society، بعنـوان (هنـاك متسع رحب عند القاع) There›s Plenty of Room at the Bottom، قـال فينمـان: (مـن المثير أنه قـد يكون من الممكن – مـن حيث المبدأ – (حسبما أظـن) لعالم الفيزياء أن يركب أي مادة كيميائيـة يكتبها كيميائي. أعط الأوامر، وسوف يقوم الفيزيائـي بالتصنيع. كيف هـذا؟ ضع الذرات حيـث يريدها الكيميائي، وبهـذا تصنع المادة). واختتم فينمان حديثه بأنـه من الممكن تصنيع آلات كل منهـا يتكون من ذرة واحدة، وإن كانت قوانين الفيزياء الحديثة سوف تجعل هذا الأمر صعبا، لكن ليس مستحيلا على أية حال.

لذا، قد يعتمد اقتصاد العـالم ومصير الأمم، في نهاية المطاف، على المبادئ الغريبـة غير المنطقية التي تقـوم عليها نظرية الكم. ومن الطبيعي أننا نظن أن قوانـين الفيزياء تظل كمـا هي كلما هبطنا إلى مقاييـس أصغر حجما، لكن

هـذا ليس صحيحا. ولعلنا نتذكر في بعض الأفلام، مثل فيلم (عزيزتي، لقد جعلـت الأطفـال ينكمشـون) Honey، I shrunk the kids وفيلم (الرجل الخـارق المنكمش) The Incredible shrinking man، مـن إنتـاج ديزني Disney، كيـف سيطر علينا انطبـاع خاطئ بأن الناس الذين تم تصغيرهم سـوف يخضعون لقوانين الفيزيـاء ذاتها التي نخضع نحـن لها. ومن أمثلة ذلـك أنه في أحد مشاهد فيلم ديزني يمتطي أبطالنا المنكمشون ظهر نملة أثناء هبوب عاصفة مطيرة. وتسقط قطرات المطر على الأرض فتصنع مستنقعات متناهيـة الصغر من الوحل، تماما مثلما يحدث في عالمنا الطبيعي. غير أنه قد تكـون قطرات المطر، في واقع الأمر، أكبر حجمـا من النمل. وهكذا، فإنه عندما تواجه نملة ما قطرة مطر، سوف تشاهد نصف كرة هائل من الماء. ولا ينهار ذلك النصف كرة من الماء لأن التوتر السطحي يؤدي دور شبكة تحافظ علـى تماسك قطرة المـاء. وفي عالمنا، يكون هذا التوتـر السطحي للماء بالغ الصغـر، ولهذا لا نلاحظه. لكن بمقياس نملة، يعـد التوتر السطحي ضخما نسبيا، ولهذا يكون المطر على هيئة قطيرات تشبه حبات السبحة.

(عـلاوة علـى ذلـك، إذا حاولت أن تجعـل حجم النملـة أكبر، بحيث صـارت في حجم منزل مثلاً، فإنك ستواجـه مشكلة أخرى: إن سيقانها سوف تنكسر. فمع زيادة حجم النملة، يزداد وزنها بمعدل أسرع بكثير من قـوة سيقانها. فإذا زاد حجم نملة مـا 10 أضعاف، صارت كتلتها – ومن ثم وزنها – أثقل بمقدار: $10 \times 10 \times 10 = 1000$ مرة. غير أن قوتها هذه لا تتناسب مع سمك عضلاتها التي لا تزداد قوتها إلا بمقدار: $10 \times 10 = 100$ مـرة فقط. ومن هنا، فإن النملة العملاقة تصـير أضعف نسبيا بمقدار

عشـر مرات من النملة العادية. وهـذا معناه أيضا أن (كينج كونج) بدلاً من أن يثير الفزع في مدينة نيويورك – كما يحدث في الفيلم – سوف يسقط منهارا إذا هو حاول تسلق مبنى الإمباير ستيت).

وقد ذكر فينمان أن هناك قوى أخرى تهيمن بدورها على النطاق الذري، مثـل الرابطة الهيدروجينية وقوى فان دير فالس[1] van der Waals forces التي تحدثها القوى الكهربية بالغة الصغر الموجودة بين الذرات والجزيئات. ويبدو أن كثيرا من خصائص المواد الفيزيائية تتحدد عن طريق تلك القوى.

(حتـى يمكننا تخيل هذا، تأمل المشكلـة البسيطة التي تجعلنا نرى الكثير مـن الأخاديد في الطـرق السريعة بمنطقة الشمـال الشرقي. ففي كل فصل شتـاء، يتسرب الماء إلى الشقوق الدقيقـة الموجودة بالأسفلت، ويتمدد الماء عنـد تجمـده، مما يجعـل الأسفلت يتفتق محدثـا أخاديد. لكـن من المنافي للمنطق أن نظن أن الماء يتمـدد عندما يتجمد، فالماء يتمدد بسبب الروابط الهيدروجينيـة. وجـزيء الماء يتخذ شـكل حرف V، حيـث تكون ذرة الأكسجـين عند قاعدته. ويحمل هـذا الجزيء شحنة سالبـة ضعيفة عند قاعدتـه وشحنـة موجبة عند قمتـه. ومن ثـم، عندما نقـوم بتجميد الماء وتتراكم جزيئاته فوق بعضها، تتمدد هذه الجزيئات لتصنع الشبكة المنتظمة المعهودة من الثلج التي تكـون فيها فراغات هائلة بين الجزيئات وبعضها. وتنتظـم جزيئات المـاء في أشكال سداسيـة الأضلاع. ولهـذا يتمدد الماء

(1) قـوى فـان دير فالس van der Waals forces: قوى التأثيرات المتبادلة بين جزيئـات المادة الواحدة المتعادلة كهربيا مع بعضهـا بعضًا، التـي تنتج من تجاذب نوى الذرات في جـزيء معين مع إلكترونات التكافؤ في جـزيء مجاور. وتوجد هذه القوى عادة في جزئيات المركبات التساهمية غير القطبية. (المترجم)

عند تجمده لازديـاد حجم الفراغات بين الذرات المكونة للشكل سداسي الأضلاع. وهذا أيضا هـو السبب وراء وجود ستة أسطح لرقاقات الجليد المتساقطة، وهو ما يفسر كذلك مسألة طفو الثلج فوق الماء، مع أنه بالبديهة من المفترض أن يغوص لأسفل).

اختراق الجدران

عـلاوة علـى التوتـر السطحـي، والروابـط الهيدروجينيـة وقوى فان ديـر فالس، هناك أيضا تأثـيرات الكم العجيبة علـى النطاق الذري. وفي الأحوال العادية، لا يمكننـا أن نشاهد قوى الكم أثناء عملها خلال حياتنا اليوميـة، غـير أنها موجودة في كل مكان. ومـن الأمثلة على ذلك، أننا لا نستطيـع النفـاذ من خلال الجـدران، مع أنها تتكون مـن ذرات معروف أنهـا في معظمها خاوية. فبين النواة الواقعـة في مركز كل ذرة وبين أغلفة الإلكترونـات، لا يوجد سـوى فراغ. ولو أننا تخيلنـا أن الذرة في حجم ملعـب كرة قـدم مثلاً، لكان ذلك الملعب خاويا تقريبـا، إذ إن النواة يماثل حجمها حجم حبة رمل وسط هذا الملعب.

(أحيانـا نثـير دهشـة طلابنا بتجربـة توضيحيـة بسيطـة. فنأخذ عداد جايجـر Geiger counter[1] ونضعـه أمـام أحد الطلاب، ثـم نضع قرصا

(1) عـداد جايجـر Geiger counter: أحد أدوات اكتشاف الإشعاعـات المؤيّنة، مثل أشعة جاما والأشعة السينية وكذلك الإلكترونـات السريعة ومنهـا أنواع لقياس أشعة ألفـا. ويسهل استخدامه في في كل مكان، حيـث هو عبارة عن مكشاف حسّاس في صـورة اسطوانة طولهـا نحو 15 سنتيمتر متصلة بجهـاز إلكتروني يشبه الراديو الصغـير بواسطة كبل، ويسهل حملهما. (المترجم)

ذا نشـاط إشعاعي غير ضار وراء ظهـره. ويجفل الطالب عندما تمر بعض الجسيمـات مـن خلال جسـده، فتقوم باستثـارة عـداد جايجر وتحريك مؤشره، كما لو كان جسد الطالب شبه خاوٍ، وهو كذلك بالفعل).

لكن إذا كنا عبارة عن خواء تقريبا، لماذا إذن لا يمكننا النفاذ عبر الجدران؟ في فيلـم (الشبح) Ghost، تتعرض شخصية باتريـك سوايز للقتل على يد أحد أعدائه فيتحول إلى شبح. وكان يصاب بخيبة الأمل في كل مرة يحاول فيها لمس خطيبته السابقة التي تلعب دورها ديمي مور. وتمر يداه من خلال المادة العاديـة، ليكتشف أنه ليس مكونا من مـادة وأنه يسبح بسهولة عبر الأجسام الصلبة. وفي أحـد مشاهد الفيلم، يدخل رأسه داخل عربة مترو أنفـاق وهي تتحرك. ويسـرع القطار سيره وقد انحشـرت رأسه بداخله، غير أنـه لا يشعر بأي شـيء. (لا يشرح الفيلم سبب عـدم جذب الجاذبية الأرضيـة له عبر الأرض حتى يسقط نحو مركـز الأرض. فالأشباح، فيما يبدو، يمكنها المرور عبر أي شيء فيما عدا الأرض).

إذن لمـاذا لا يمكننـا النفـاذ عبر الأجسـام الصلبة مثلما تفعـل الأشباح؟ إن الإجابـة تكمـن في ظاهرة كمية عجيبـة نص عليها مبـدأ الاستبعاد[1] exclusion principle الـذي وضعـه (بـاولي) Pauli، وهـي أنـه لا يمكن لإلكترونين اثنـين أن يتواجدا في الحالة الكمية ذاتها. ومن ثم، فإنه عندما يقـترب إلكترونان شبه متطابقـين من بعضهما جدا، يتنافـران. وهذا هو

(1) مبـدأ الاستبعـاد exclusion principle: مبدأ فيزيائي صاغه عالم الفيزياء النمسـاوي باولي Pauli عام 1925، ضمن نظرية ميكانيكا الكم. (المترجم)

السبب الذي يجعل الأشياء تبدو صلبة، في حين أن صلابتها تلك محض وهم. فالواقع أن المادة من حيث المبدأ خاوية في الأساس.

إننا عندما نجلس على مقعد، نظن أننا ملامسون له، والواقع أننا نحلق فوقه، أو نطفو فوقه على بعد أقل من نانو متر، مدفوعين عنه بتنافر القوى الكهربية وقوى الكم. ويعني هذا أننا متى (لامسنا) شيئا، فإننا في الواقع لا نلامسه ملامسة مباشرة على الإطلاق، لكن تفصلنا عنه تلك القوى الذرية بالغة الصغر. (ويعني هذا أيضا أننا لو تمكنا، بشكل أو بآخر، من تحييد مبدأ الاستبعاد، فإننا ربما نكون قادرين على المرور عبر الجدران. لكن لا أحد يعلم كيف يمكن تحقيق ذلك).

إن نظرية الكم لا تقضي فقط بمنع الذرات من الاصطدام ببعضها بعضا، ونفاذها عبر بعضها بعضا، وإنما تربط بينها من خلال جمعها معا في جزيئات. تخيل لبرهة أن الذرة تشبه مجموعة شمسية بالغة الصغر، حيث تدور الكواكب فيها حول الشمس. والآن، إذا اصطدم نظامان شمسيان مثل هذين ببعضهما، فإن كواكب كل منهما ستصطدم ببعضها بعضا أو تطير في جميع الاتجاهات، مسببة انهيار المجموعة الشمسية. إن المجموعات الشمسية لا تظل مستقرة مطلقا عند اصطدامها ببعضها، لذا فمن البدهي أن الذرات ستنهار عند اصطدامها ببعضها بعضا.

أما في الواقع، فعندما تقترب ذرتان من بعضهما بمسافة بالغة الصغر، فإنهما إما تبتعدان عن بعضهما أو تتحدان لتصنعا جزيئا مستقرا. والسبب الذي يُمكن الذرات من تكوين جزيئات مستقرة أن الإلكترونات تقبل أن تتقاسمها ذرتان. وفي الأحوال الطبيعية، تبدو لنا فكرة اقتسام أحد

الإلكترونـات بين ذرتين شيئا منافيا للمنطق؛ إنهـا فكرة مستحيلة إذا كان الإلكـترون يخضع لقوانين نيوتن البدهيـة. لكن بسبب مبدأ عدم التأكد[1] uncertainty principle لهايزنبرج[2] Heisenberg، فإنك لا تعلم على وجه الدقة أين موقع الإلكترون بالضبط. وبدلاً من ذلك، فإن الإلكترون موجود بصورة غير واضحة في موضع ما بين الذرتين، وهو ما يربط بينهما.

وبعبارة أخرى، إذا أبطلت مفعـول نظرية الكم، فإن الجزيئات تتهاوى عنـد اصطدامها ببعضها بعضا، وسوف تـذوب وتتحلل لتتحول إلى غاز مكـون من جسيمات. لذا، فإن نظرية الكم تفسـر لنا السبب الذي يُمكن الذرات من الاتحاد معا لتكوين مادة صلبة، بدلاً من أن تتحلل.

(وهـذا أيضا هـو السبب الذي يمنع وجود عوالم داخل عـوالم. فبعض الناس يتخيلون أن مجموعتنا الشمسية، أو مجرتنا، ربما كانت عبارة عن ذرة داخل كون عملاق لشخصـ آخر. وقد كان هذا في واقع الأمر هو المشهد الأخير في فيلم (رجال يرتدون اللون الأسود) Men in Black، حيث تبين أن الكون المعلوم لنا بالكامل ليس سوى مجرد ذرة في لعبة كائن غريب. لكن، وفقا لقوانين الفيزياء، هذا الأمر مستحيل، إذ إن قوانين الفيزياء تتغير عند انتقالنا من نطاق إلى نطاق. فالقواعد التي تحكم الذرات تختلف تماما عن القواعد الحاكمة للمجرات).

(1) مبـدأ عدم التأكـد أو مبدأ الريبة uncertainty principle: واحد من أهم المبـادئ في نظرية الكم، صاغه العالم الألماني هايزنبرج عام 1925. وينص هذا المبدأ على أنه لا يمكن تحديد خاصيتين مقاستين من خواص جملة كمومية إلا ضمن حدود معينة من الدقة، أي أن تحديد إحدى الخاصيتين بدقة كبيرة (ذات عدم تأكد ضئيل) يستتبعه عدم تأكد كبير في قياس الخاصية الأخرى. ويشيع تطبيق هذا المبدأ بكثرة على خاصيتي تحديد الموضع والسرعة لجسيم أولي. (المترجم)

(2) فرنر كارل هيزنبرج Werner Heisenberg: فيزيائي ألماني حائز على جائزة نوبل عام 1932. اكتشف أحد أهم مبادئ الفيزياء الحديثة، وهو مبدأ عدم التأكد. من مؤلفاته: (الجزء والكل)، (الفلسفة والفيزياء)، (الطبيعة في الفيزياء). (المترجم)

ومن بين المبادئ المحيرة للعقل التي تضمها نظرية الكم أنه:

لا يمكنك أن تعرف على نحو الدقة سرعة وموقع أي جسيم، فهذا الأمر غامض دوما.

يمكـن للجسيمات، بمعنى أو بآخـر، أن تتواجد في مكانين في آن واحد على هيئة أخلاط من حالات مختلفة. وعلى سبيل المثال، يمكن للجسيمات التي تدور في حركة مغزلية أن تكون أخلاطا من جسيمات تدور محاورها لأعلى ولأسفل في آن واحد.

يمكنك أن تختفي، ثم تعاود الظهور في مكان آخر.

إن جميع العبارات السابقة تبدو سخيفة. ويذكر أن أينشتاين قال ذات مرة: (كلمـا زادت نظرية الكم نجاحا، بدت أكثر سخافـة). ولا أحد يعلم من أين جاءت تلك القوانين الشاذة؛ إنها ببساطة مسلمات، من دون تفسير. وهناك أمـر واحد فقط يؤيد نظرية الكم، وهو أنها صحيحة. لقد قيست دقتها حتى جزء من عشرة مليارات، مما يجعلها أنجح نظرية فيزيائية على مر العصور.

والسبـب في أننـا لا نرى تلك الظواهـر المعجزة في حياتنـا اليومية أننا مكونـون من تريليونات الـذرات، وأن تلك الظواهر، بشـكل أو بآخر، تعادل بعضها.

تحريك ذرات منفردة

كان ريتشـارد فينمان يحلم بذلك اليوم الـذي يتمكن فيه الفيزيائي من تصنيـع أي جزيء، ذرة بذرة. وقـد كان هذا الحلم يبدو مستحيلا في عام 1959، لكن جزءا منه صار الآن حقيقة واقعة.

ولقـد أتيحت لي فرصـة أن أشهد ذلك عن قرب، عندمـا قمت بزيارة لمركز أبحاث آي بي إم أليمدن IBM Almaden Research Center في سان جوزيـه بولاية كاليفورنيا. فهناك شاهـدت آلة رائعة، وهي المجهر النفقي الماسح scanning tunneling microscope الذي يتيح للعلماء مشاهدة كل ذرة علـى حدة والتلاعب بها. وقد اخترع هـذا الجهاز جيرد بينيج Gerd Binning وهينريتش رورر Heinrich Rohrer مـن آي بـي إم، ونالا عليه جائزة نوبل عام 1986. (أذكر أنني عندما كنت طفلا، كان معلمي يخبرني بأنني لـن أكون قادرا أبدا على مشاهدة الذرات. فهي أصغر من أن يمكننا رؤيتها على حد قوله. وفي ذلك الوقت، كنت قد قررت بالفعل أن أصبح عالم ذرة عندما أكبر. فصدمت بعد أن أدركت أنني من الممكن أن أقضي ما تبقى من عمري في دراسة شيء لن أكون قادرا على رؤيته رأي العين. لكن اليـوم، لم يعد في إمكاننـا مشاهدة الذرات وحسب، وإنمـا صار بإمكاننا أيضا اللعب بها، مستخدمين الملاقيط الذرية).

والمجهر النفقـي الماسح هذا ليس مجهرا، في واقع الأمر، على الإطلاق. إنـه أشبه بفونوجراف عتيق. فهناك إبـرة دقيقة (ذات طرف لا يزيد قطره عـن قطـر ذرة واحدة) تمر ببطء فـوق المادة التي يتم تحليلهـا، فيسري تيار كهربـي ضعيـف من الإبرة، عـبر المـادة، إلى قاعدة الجهـاز. وأثناء مرور الإبرة فوق الجسم، يتغير التيار الكهربي بدرجة طفيفة في كل مرة يمر فيها فـوق إحدى الذرات. وبعد عدة مـرات، تطبع الآلة الشكل المذهل للذرة نفسهـا. وباستخدام إبرة مطابقة لهـا في الشكل، يصبح المجهر بعد ذلك قادرا ليس فقط على تسجيل تلك الذرات وإنما على تحريكها أيضا. وبهذه

الطريقة، يمكن للمرء أن يتهجى الأحرف، مثل الأحرف الأولى آي بي إم، وفي الحقيقة يمكنه تصميم آلات بدائية مصنعة من ذرات.

(هناك ابتكار آخر ظهر حديثا، ألا وهو: مجهر القوة الذرية atomic force microscope الذي يمكنه أن يقدم لنا صورا مذهلة ثلاثية الأبعاد لمصفوفات من الذرات. ويستعين هذا المجهر أيضا بإبرة ذات سن بالغ الصغر لكنه يطلق شعاعا من الليزر. وأثناء مرورها فوق المادة المطلوب دراستها، تهتز الإبرة، ويتم تسجيل هذه الحركة بواسطة صورة شعاع الليزر).

لقد اكتشفت أن تحريك الذرات المنفردة أمر غاية في البساطة، عندما جلست أمام شاشة كمبيوتر أنظر إلى مجموعة من الكرات البيضاء، كل منها تشبه كرة بنج بونج قطرها حوالي بوصة واحدة. وفي الواقع، كانت كل كرة عبارة عن ذرة واحدة. ثم وضعت المؤشر فوق إحدى الذرات وحركتها إلى موضع آخر، ثم ضغطت على أحد الأزرار الذي قام بعد ذلك بتنشيط الإبرة كي تحرك الذرة. وقد أعاد المجهر مسح المادة، وتغيرت الشاشة لتبين أن الكرة قد انتقلت إلى الموضع الذي أردت نقلها إليه بكل دقة.

ولم تستغرق العملية برمتها أكثر من دقيقة واحدة لنقل كل ذرة إلى أي موضع أردت أن أنقلها إليه. وفي الواقع، اكتشفت أنه صار بإمكاني بالفعل، في غضون ثلاثين دقيقة تقريبا، تهجي بعض الحروف على الشاشة المصنوعة من ذرات منفردة. وخلال ساعة واحدة، تمكنت من صنع أشكال أكثر تعقيدا تضم عشر ذرات أو نحو ذلك.

وكان علي أن أتعافى من الصدمة التي انتابتني بعدما تبين لي أنني بالفعل قد قمت بتحريك ذرات منفردة من مواضعها، وهو أمر كان يعد مستحيلا في يوم من الأيام.

الميمز والجسيمات النانوية

على الرغم من أن تكنولوجيا النانو ما تزال في مرحلة الطفولة المبكرة، فإنها خلقت مع ذلك صناعة تجارية واعدة في مجال الطلاء الكيميائي. فعن طريق رش طبقة رقيقة من المواد الكيميائية، لا يتجاوز سمكها بضعة جزيئات، فوق أحد المنتجات التجارية، يمكن للمرء أن يجعله أكثر مقاومة للصدأ أو أن يغير من خصائصه البصرية. ومن التطبيقات التجارية الأخرى اليوم أيضا الملابس المقاومة للبقع، وشاشات الحاسوب المحسنة، وأدوات قطع المعادن التي صارت أقوى من ذي قبل، والطلاء المقاوم للخدش. وخلال السنوات المقبلة، سوف يباع المزيد والمزيد من المنتجات التجارية المبتكرة التي تطلى بطلاء ميكروني يحسن من أدائها.

إن تكنولوجيا النانو ما تزال، عموما، علما حديث السن للغاية. غير أن أحد جوانب هذه التكنولوجيا بدأ الآن بالفعل في التأثير على حياة البشر جميعا، وأثمر عن صناعة عالمية تبلغ قيمتها مبلغا هائلا قدره 40 مليار دولار – وهي صناعة النظم الميكروكهروميكانيكية microelectromechanical systems (المعروفة اختصارا بـ (الميمز)[1] MEMS) – وتضم كل شيء بدءا من خراطيش أحبار الطباعة النفاثة، ومستشعرات وسائد الأمان الهوائية المستخدمة في السيارات، وشاشات عرض الجايروسكوبات

(1) الميمز MEMS: اختصار لمصطلح microelectromechanical systems أو (النظم الكهروميكانيكية). وتتكون هذه النظم من مكونات يتراوح حجمها بين 1 و 100 ميكرومتر. في حين تتراوح أجهزة الميمز عمومًا في حجمها بين 20 ميكرومترا (20 جزءًا من المليون من المتر) وبين ملم. وعادة ما تتألف من وحدة مركزية لمعالجة البيانات والمعالجات الدقيقة والعديد من المكونات التي تكون وظيفتها التفاعل مع الخارج، مثل المتحسسات المايكروية. (المترجم)

المستخدمة في السيارات والطائرات. والميمز عبارة عن أجهزة دقيقة الحجم تبلغ من الصغر حدا ييسر تركيبها فوق طرف إبرة. وهي تصنع باستخدام تكنولوجيا الحفر etching المستخدمة في صناعة أجهزة الحاسب ذاتها. فبدلاً من حفر الترانزستورات، يقوم المهندسون بحفر المكونات الميكانيكية الدقيقة، ليصنعوا بذلك أجزاءً ميكانيكية بالغة الصغر تحتاج إلى مجهر كي تراها.

وقد صنع العلماء نسخة ذرية من العداد الصيني، ذلك الجهاز الآسيوي المحترم المستخدم في إجراء الحسابات وتعليم الحساب، الذي يتكون من عدة أعمدة رأسية من الأسلاك التي تحتوي على حبات خرز خشبية. ففي عام 2000، صنع علماء معمل أبحاث آي بي إم بزيورخ نسخة ذرية الحجم من ذلك العداد بواسطة ذرات منفردة باستخدام مجهر ماسح. وبدلاً من حبات الخرز الخشبية التي تتحرك لأعلى ولأسفل على طول الأسلاك العمودية، استخدم العداد الذري كرات بوكي، وهي عبارة عن ذرات كربونية مرتبة بحيث تشكل جزيئا على شكل كرة قدم، قطرها أصغر خمسة آلاف مرة من سمك شعرة الإنسان.

وفي كورنيل Cornell، وصل الأمر بالعلماء إلى صنع جيتار ذري الحجم؛ له ستة أوتار، كل وتر منها عرضه لا يزيد عن 100 ذرة فقط. وإذا وضعت تلك الجيتارات بجوار بعضها بحيث تتلامس أطرافها، لأمكن وضع عشرين منها داخل شعرة إنسان. وبالطبع، فإن الجيتار حقيقي، وأوتاره حقيقية يمكن العزف عليها (إلا أن تردد نغمة الجيتار الذري عالٍ للغاية بحيث لا يمكن للأذن البشرية أن تسمعها).

لكـن أكـثر التطبيقـات العمليـة انتشـارا لهـذه التكنولوجيـا تمـت في مجـال وسـادات الأمـان الهوائيـة التـي تحتوي علـى مقاييـس سرعة ميكروكهروميكانيكيـة دقيقة يمكنها استشعار الفرملـة المفاجئة للسيارة. ويتكـون مقياس السرعـة الميكروكهروميكانيكي من كـرة مجهرية الحجم متصلة بزنبرك أو رافعة. وعندما تضغط دواسة الفرامل بقوة، يقوم الإبطاء المفاجـئ للسرعة بهـز الكرة بعنف، فتتسبب هـذه الحركة في صنع شحنة كهربية بالغة الصغر. وهذه الشحنة تستثير بعد ذلك انفجارا كيميائيا يطلق كميات كبيرة من غاز النيتروجين خلال 25/1 من الثانية. وقد أنقذت هذه التقنية بالفعل أرواح آلاف البشر.

المستقبل القريب
(من الوقت الحاضر حتى عام 2030)

ماكينات نانوية داخل أجسامنا

في المستقبل القريب، سيكون علينا أن نتوقع ظهور أنواع جديدة من أجهزة النانو التي قد تحدث ثورة في مجال الطب، مثل الماكينات النانوية التي تسير مع مجرى الدم. ولعلنا نتذكر فيلم (رحلة عجيبة) Fantastic Voyage الذي تم فيه تصغير طاقم من العلماء مع سفينتهم إلى حجم خلية دم حمراء، ليخوضوا رحلة عبر مجرى الدم ومخ أحد المرضى، فيواجهون سلسلة من الأخطار المروعة داخل الجسم. إن أحد أهداف تكنولوجيا النانو هو خلق صيادين جزيئيين يقتربون جدا من خلايا السرطان ويدمرونها وحدها، تاركين الخلايا الطبيعية سليمة. ولطالما حلم كُتّاب الخيال العلمي بمركبة جزيئية تسبح داخل الدم وتبحث بشكل دائب عن خلايا السرطان وتدمرها. غير أن النقاد اعتبروا هذا الأمر ذات يوم ضربا من المستحيل، أو حلم يقظة لكتاب الخيال.

لكن جزءا من ذلك الحلم يتحقق اليوم. ففي عام 1992، ابتكر جيروم شينتاج Jerome Schentag من جامعة بافالو University at Buffalo حبة دواء ذكية – تحدثنا عنها في موضع سابق – عبارة عن أداة دقيقة الحجم، في حجم الحبة التي تبتلعها، يمكن تتبعها إلكترونيا. ويمكن بعد ذلك إصدار التوجيهات إليها، بحيث تقوم بإيصال العقاقير إلى الموضع الصحيح.

وقـد تم صنع حبات ذكية تحتوي على كاميـرات تليفزيونية لتصوير أعضاء الجسـم من الداخل حيث تهبط إلى المعدة والأمعاء. ومن الممكن استخدام المغناطيسات في توجيهها. وبهـذه الطريقة، يمكن للجهاز القيام بالبحث عن الأورام tumors والسلائل المخاطية polyps. وفي المستقبل، قد يكون مـن الممكن إجراء جراحة صغرى عبر تلك الحبات الذكية، واستئصال أية عيوب، وأخذ عينات من الأنسجة من الداخل دون الحاجة لشق الجلد.

وهنـاك جهاز أصغر بكثير من هذا، وهو جسيـم النانو nanoparticle. وهذا الجهاز عبارة عـن جزيء يمكنه إيصال العقاقير المقاومة للسرطان إلى هدفهـا المحدد، وهو ما يمكن أن يحدث ثورة في علاج السرطان. ويمكن مقارنة تلك الجسيمات النانويـة بالقنبلة الذكية الجزيئية المصممة لتصطدم بهدف محدد وهي محملة بشحنة كيميائية متفجرة، فتقلص بشكل كبير من الأضرار الجانبيـة التي قد تحدث. ففي حين تصيب القنبلة الغبية كل شيء، بمـا في ذلك الخلايا السليمة، فـإن القنبلة الذكية انتقائيـة لا تصيب سوى الخلايا السرطانية دون غيرها.

ولا شـك أن أي شخص تعرض من قبل للآثـار الجانبية المروعة للعلاج الكيمـاوي سوف يتفهم القدرة الهائلة لجسيمات النانو تلك على الإقلال مـن معانـاة الإنسان. إن العـلاج الكيماوي يعمل عن طريـق غسل سائر الجسـد دون تمييز بسموم فتاكة، فيقتل خلايا السرطـان بكفاءة تزيد قليلا عـن كفاءته في التعامل مع الخلايا السليمـة. وغالبا تكون الأضرار الجانبية الناتجـة عن العلاج الكيماوي واسعة الانتشار. أما الآثار الجانبية – ومنها الشعور بالغثيان، وسقوط الشعر، والشعور بالوهن... إلخ – فإنها تكون

من الشدة لدرجـة أن بعض مرضى السرطان يفضلون الموت على تعريض أنفسهم لهذا العذاب.

وقـد تغـير جسيمات النانـو كل ذلـك. فالعقاقير، مثـل عقاقير العلاج الكيمـاوي، سوف توضع داخل جـزيء مصنوع على شكل كبسولة. ثم يسمح بعـد ذلك لجسيم النانو بالدوران مع مجرى الـدم، إلى أن يعثر على مقصده المحدد، وهناك يطلق العقاقير التي يحملها.

وأساس تلـك الجسيمات النانوية يكمن في حجمهـا الذي يتراوح بين 10 و100 نانومـتر، وهذا حجم كبير للغاية يجعلها غير قادرة على اختراق خلية الدم. وبهذا ترتد جسيمات النانو من سطح خلايا الدم السليمة دون أن تلحق بها أذى. لكن خلايـا السرطان أمرها مختلف، فجدرانها الخلوية معرجة وبها مسام كبيرة غير منتظمة. وبذلك تتمكن جسيمات النانو من الدخـول بحرية إلى خلايا السرطان وإيصـال عقاقيرها، مع ترك الأنسجة السليمـة دون أن يمسها سـوء. وبهذا لا يحتاج الأطبـاء إلى أنظمة توجيه معقـدة من أجل قيادة جسيمـات النانو نحو هدفهـا؛ إنها سوف تتجمع بطريقة طبيعية في أنواع محددة من الأورام السرطانية.

وتكمـن الروعـة هنا في عـدم الحاجة لاستخـدام أساليب معقـدة، أو تنطـوي على خطورة، قد تكون لها آثار جانبية. فتلك الجسيمات النانوية تتمتـع ببساطة بالحجـم الملائم، فهي من الكبر بحيـث لا يمكنها مهاجمة الخلايا الطبيعية، لكنهـا ذات حجم مناسب يمكنها من النفاذ داخل خلايا السرطان.

وهنـاك مثـال آخـر يتمثل في الجسيمـات النانويـة التي صنعهـا علماء

مؤسسة (بايند للعلوم الحيوية) Bind Biosciences بجامعة كامبريدج في ماساتشوستس. وتلك الجسيمات النانوية مصنوعة من أحماض يمكنها الاحتفاظ بالعقاقير داخل شبكة جزيئية (حمض البولي لاكتيك وحمض كوبولي لاكتيك/حمض الجليكوليك)، وهو ما يصنع شحنة متفجرة من الجسيم النانوي. وتكون منظومة التوجيه لجسيم النانو عبارة عن ببتيدات تغلف الجسيم وتلتحم تحديدا بالخلية المستهدفة.

والأمر الرائع بحق في هذا العمل أن تلك الجسيمات النانوية تتشكل بذاتها، دون حاجة إلى مصانع معقدة أو منشآت تصنيع كيماوي. فتُخلط الكيماويات المتنوعة معا ببطء، بالترتيب المناسب، في ظل ظروف شديدة الانضباط ودرجات عالية من التحكم، فتقوم جسيمات النانو بتجميع نفسها بنفسها.

يقول أوميد فاروقهزاد Omid Farokhzad الذي يعمل في بايند، وهو فيزيائي بكلية طب هارفارد Harvard Medical School: (نظرا لأن التجميع الذاتي لا يحتاج إلى خطوات كيميائية متعددة معقدة، تصنع الجسيمات بسهولة شديدة... ويمكننا صناعتها على نطاق الكيلوجرامات، وهو أمر لم يسبقنا إليه أحد من قبل). وقد برهنت تلك الجسيمات النانوية بالفعل على قيمتها بوصفها علاجا ضد أورام سرطان البروستاتا والثدي والرئة لدى الفئران. وباستخدام صبغات ملونة، يمكن للمرء أن يتبين أن تلك الجسيمات النانوية تتجمع في العضو المستهدف، مطلقة شحنتها المتفجرة بالأسلوب المطلوب. وسوف تبدأ التجارب الإكلينيكية على مرضى من البشر في غضون بضع سنوات.

القضاء على خلايا السرطان

لا تكتفي جسيمات النانو بالبحث عن خلايا السرطان وإيصال الكيماويات إليها لقتلها، وإنما قد تكون قادرة بالفعل على قتلها في الحال. والقاعدة التي يقوم عليها هذا الأمر بسيطة للغاية، إذ يمكن لتلك الجسيمات أن تمتص الضوء بتردد معين. وبتسليط شعاع من الليزر عليها، ترتفع درجة حرارة تلك الجسيمات، أو تهتز، فتدمر أي خلية سرطانية مجاورة بتمزيق جدرانها الخلوية. فالأساس هنا إذن هو جعل تلك الجسيمات النانوية تصل لأقرب ما يمكن من الخلايا السرطانية.

وقد طورت عدة مجموعات علمية بالفعل نماذج مبدئية من ذلك الابتكار. فالعلماء في معمل أرجون القومي Argonne National Laboratory وجامعة شيكاغو University of Chicago قاموا بتخليق جسيمات نانوية من ثاني أكسيد التيتانيوم (وهو مادة كيميائية تستخدم عادةً في صنع الكريمات الواقية من أشعة الشمس). وقد اكتشفت هذه المجموعة أن باستطاعتهم لحام تلك الجسيمات بجسم مضاد Antibody يقوم بالبحث بطريقة طبيعية عن خلايا سرطانية معينة تسمى خلايا الجلايوبلاستوما متعددة الأشكال (GBM glioblastoma multiforme) (الجلايوبلاستوما ورم أرومي دبقي). وبهذا يتم حمل تلك الجسيمات النانوية، على ذلك الجسم المضاد، إلى خلايا السرطان. وبعدها، يتم إشعال ضوء أبيض متوهج لمدة خمس دقائق، فيقوم بتسخين الخلايا السرطانية، ومن ثم قتلها. وقد بينت الدراسات أن 80 في المئة من الخلايا السرطانية قد تم تدميرها بهذه الطريقة.

كذلك ابتكر هؤلاء العلماء أسلوبا آخر لقتل خلايا السرطان. فقد صنعوا أقراصا ممغنطة بالغة الصغر يمكنها أن تهتز بعنف. وبمجرد توجيه تلك الأقراص نحو خلايا السرطان، يمكن إمرار مجال مغناطيسي خارجي صغير فوقها، مما يجعلها تهتز فتمزق جدران خلايا السرطان. وفي الاختبارات التي أجريت في هذا الشأن، تم قتل 90 في المئة من خلايا السرطان بعد مرور عشر دقائق فقط من بدء الاهتزاز.

ولم تأت تلك النتيجة بالمصادفة. فالعلماء في جامعة كاليفورنيا بسانتا كروز University of California at Santa Cruz ابتكروا نظاما مشابها يستخدم جسيمات النانو المصنوعة من الذهب، التي لا يزيد قطرها عن 20 إلى 70 نانومترا، ولا يزيد سمك أي منها عن بضع ذرات، المرتبة على هيئة كرة. وقد استخدم العلماء ببتيدا معينا معروف أنه ينجذب بشكل خاص لخلايا سرطان الجلد. وقد جُعِل هذا الببتيد يلتحم بجسيمات النانو الذهبية التي حملت بعد ذلك نحو خلايا سرطان جلد لدى فئران تجارب. وبإضاءة شعاع من أشعة الليزر تحت الحمراء، تمكنت تلك الجسيمات الذهبية من تدمير خلايا الأورام عن طريق تسخينها لدرجة حرارة مرتفعة. وفي هذا الصدد، يقول جين زانج Jin Zhang، أحد الباحثين في هذا المجال: (الأمر في الأساس أشبه بوضع خلية السرطان في ماء ساخن، ثم غليها حتى الموت. وكلما ارتفعت درجة الحرارة التي تولدها كرات النانو المعدنية، كان ذلك أفضل).

إذن في المستقبل، سوف تتمكن تكنولوجيا النانو من اكتشاف مستعمرات السرطان قبل فترة تتراوح بين سنوات وعقود من تحولها إلى

أورام. وسيكـون من الممكن استخـدام جسيمات النانـو التي تسري مع مجـرى الدم في تدمـير تلك الخلايا. وستستغـل العلوم الأساسيـة التي يتم وضع مبادئها في وقتنا الحالي في هذا الأمر.

سيارات نانوية في دمائنا

هناك خطـوة تتجاوز ابتكار الجسيـم النانو، تتمثـل في السيارة النانو، وهي عبارة عـن جهاز يمكن بالفعل توجيهه أثناء سيره داخل الجسم. ففي حين يسمـح لجسيم النانو بالسريان في حرية مع مجرى الدم، ستكون تلك السيـارات النانو تشبه ذكور النحل التي تتحـرك بالريموت كنترول والتي يمكن توجيهها وقيادتها.

وقـد قـام جيمـس تـور James Tour وزمـلاؤه بجامعة رايـس Rice University بصنع تلك السيـارة النانو. لكن بدلاً من صنع عجلات لها، جعلت لها أربع كـرات بوكي. ومن بين الأهداف المستقبلية لهذا البحث تصميم سيارة جزيئية يمكنها دفع روبوت بالغ الضآلة في جميع أنحاء مجرى الـدم، ليقضي علـى خلايا السرطان كلما صادفهـا في طريقه، أو لتوصيل عقاقير تنقذ حياة الإنسان إلى مواضع معينة بالجسم بدقة بالغة.

غـير أن هناك مشكلة واحدة في السيارة الجزيئية، ألا وهي: عدم وجود محرك لهـا. لقد صنع العلماء ماكينات جزيئية أكـثر تعقيدا من ذلك، لكن صنـع مصدر طاقة جزيئي ظـل واحدا من أحجار العـثرة الرئيسة. وعلى أيـة حال، فـإن الطبيعة قد وفرت الحـل لهذه المشكلـة باستخدام جزيء أدينوزيـن ثلاثـي الفوسفـات (adenosine triphosphate (ATP باعتباره

مصـدرا للطاقة. وطاقة الأدينوزيـن ثلاثي الفوسفات هي التي تجعل الحياة ممكنة، فهي تغذي حركاتنـا العضلية في كل ثانية من حياتنا. وهذه الطاقة الموجـودة في الأدينوزين ثلاثي الفوسفـات مختزنة داخل رابطة ذرية تربط بين ذراته. لكن إيجاد بديل اصطناعي كان أمرا بالغ الصعوبة.

وقـد عثر توماس مالـوك Thomas Mallouk وأيوسمان سن Ayusman Sen من جامعة ولايـة بنسلفانيـا Pennsylvania State University على حـل محتمل لهذه المشكلة. فقـد صنعا سيارة نانو يمكنهـا بالفعل التحرك بسرعة عشرات الميكرونـات في الثانية، وهي سرعة معظم أنواع البكتريا. (صنعا في البداية قضيبا نانويا مصنوعا من الذهب والبلاتين في حجم خلية بكتيريـة واحدة، ثم وضعا هـذا القضيب في خليط من المـاء وبيروكسيد الهيدروجـين، مما صنع تفاعلا كيميائيـا عند كل من طرفي القضيب جعل البروتونـات تتحـرك من أحد طـرفي القضيب نحو الطـرف الآخر. ولما كانت البروتونات تندفع عكس اتجاه الشحنات الكهربية لجزيء الماء، فقد تسبـب هذا في دفع القضيب النانوي للأمام. ويستمر القضيب في الحركة للأمام طالما ظل بيروكسيد الهيدروجين في الماء).

وتوجيه تلك القضبان النانوية ممكن أيضا باستخدام خاصية المغناطيسية. فقد زرع العلماء أقراصا مـن النيكل داخل تلك القضبان النانوية، بحيث صارت تعمل كإبر البوصلة. وبتحريك مغناطيس الثلاجة العادي بالقرب من تلك القضبان، يمكن توجيهها في أي اتجاه.

وهنـاك طريقة أخرى لتوجيه آلة جزيئية، وهي استخدام كشاف إضاءة. فالضوء يمكنه تقسيم الجزيئـات إلى أيونات موجبة وأخرى سالبة. وينتشر

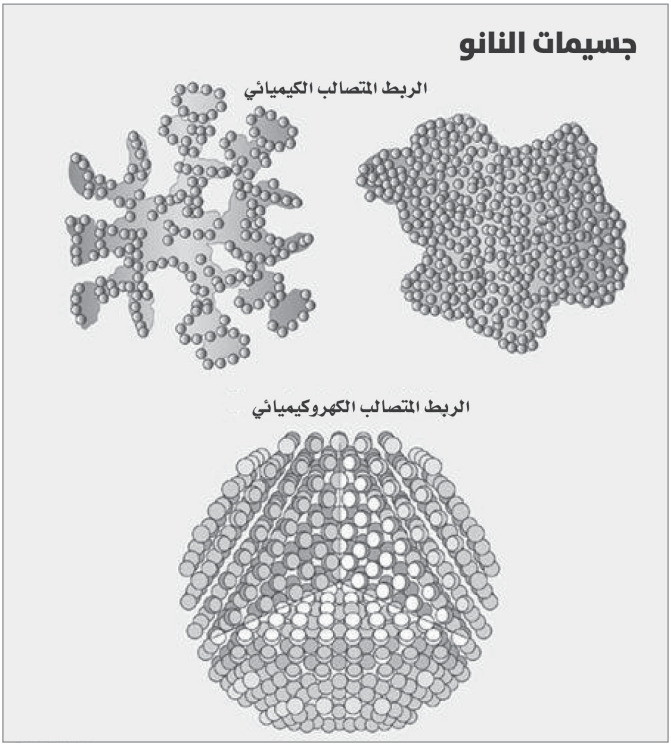
هـذان النوعان مـن الأيونات خلال الوسـط بسرعات متفاوتـة، وهو ما يخلق مجالا كهربيا. وبعد ذلـك، يتم جذب الآلات الجزيئية بواسطة تلك المجالات الكهربية. وهكذا، يمكـن توجيه الآلات الجزيئية في اتجاه معين بتسليط وميض الضوء.

لقـد حضرت بيانا عمليا لهذا عند زيارتي لمعمل سيلفان مارتل Sylvain Martel في بوليتكنيـك مونتريـال Polytechnic Montreal في كنـدا. وكانـت فكرته تعتمـد على استغلال ذيول البكتريـا العادية في دفع سفينة ضئيلة الحجم للأمام مع مجرى الدم. وحتى الآن، يعجز العلماء عن تصنيع محرك بحجم الذرة، مثل ذلك الموجود في ذيول البكتريا. لذا تساءل مارتل في نفسـه: إذا كانت تكنولوجيا النانو قد عجـزت عن صنع تلك الذيول بالغة الصغر، فلماذا لا نستغل ذيول البكتريا الحية؟

وقد قام مارتل في البداية بصنـع رقاقة كمبيوتر أصغر حجما من النقطة التـي تنتهي بها هذه الجملـة. ثم استنبت مزرعة مـن البكتريا. وتمكن من وضـع حوالي ثمانٍ من تلك البكتريا خلف السفينة، بحيث صارت تعمل وكأنهـا محرك دفـع لتدفع الرقاقة للأمـام. ولما كانت تلـك البكتريا تتمتع بخاصيـة مغناطيسية طفيفة، فقد تمكن مارتل من استعمال قطع مغناطيس خارجية في توجيهها إلى أي مكان يشاء.

وقد أتيحت لي فرصة أن أوجه تلك الرقاقات المدفوعة بالبكتريا بنفسي. فكنـت أنظر في المجهـر، وأمكنني أن أشاهد رقاقـة كمبيوتر بالغة الضآلة وهـي تدفـع بواسطـة عدة خلايـا بكتيريـة. وعندما ضغطـت على أحد الأزرار، بدأ مغناطيس يعمل، فتحركت الرقاقة إلى اليمين. وعندما تركت

الـزر، توقفت الرقاقة عـن السير، ثم أخـذت تتحرك بصـورة عشوائية. وبهـذه الطريقة، أمكنني بالفعل توجيه حركة الرقاقة. وأثناء قيامي بذلك، أدركـت أنه ذات يوم قـد يصبح الطبيب قادرا على الضغط على زر مماثل، لكن هذه المرة من أجل توجيه روبوت نانو عبر أوردة المريض.



سوف تسري روبوتات جزيئية في مجرى دمائنا، لتتعرف على خلايا السرطان ومسببات الأمراض وتقضي عليها، ويمكنها أن تصنع ثورة في عالم الطب.

ويمكـن للمرء أن يتخيل مستقبلا تحل فيه الماكينات الجزيئية محل الجراحة تماما، حيث تتحرك تلك الماكينات عبر مجرى الدم، توجهها قطع مغناطيس، نحو العضو المريض، حيث تطلق عقاقير دوائية أو تجري جراحة. ومن شأن هـذا أن يجعل شق الجلد بالمشرط أمرا من الماضي. أو يمكن للمغناطيس أن يوجه تلك الماكينات النانوية نحو القلب من أجل إزالة انسداد الشرايين.

رقاقات من الحمض النووي

كما ذكرنا في الفصل الثالث، سوف نملك في المستقبل أجهزة استشعار بالغـة الصغر، داخل ملابسنا وأجسامنا وحماماتنا، تقوم باستمرار بمراقبة صحتنـا، واكتشـاف الأمراض قبـل أن تصبح خطرا يتهددنـا بسنوات. وأساس هـذا الأمر يتمثـل في رقاقة الحمض النـووي (دي إن ايه DNA) التـي تبشرنا بوجود (معمل كامل علـى رقاقة صغيرة). ومثل الترايكوردر tricorder الذي رأيناه في فيلم (رحلة النجوم) Star Trek، سوف تعطينا تلك المستشعرات الدقيقة تحليلا طبيا في خلال دقائق.

ومعلـوم أن المسح الطبي الذي يجرى اليوم من أجل اكتشاف السرطان عملية مضنيـة باهظة التكلفة تستغرق وقتا طويلاً، كثيرا ما يصل لأسابيع. وهـذا الأمر يحـد بشدة من عدد تحليلات السرطان التـي يمكن إجراؤها. لكـن تكنولوجيا الحاسـوب تعمل على تغيير كل ذلـك. فالعلماء توصلوا بالفعـل إلى تصنيـع أجهزة يمكنها بسرعة وبتكلفـة زهيدة اكتشاف مرض السرطـان، عـن طريق البحث عـن دلالات حيويـة معينـة تنتجها خلايا السرطان.

وباستخدام التكنولوجيا ذاتها المستخدمة في الحفر على رقاقات الحاسوب، يمكن الحفر على رقاقة كمبيوتر توجد عليها مواضع مجهرية يمكنها اكتشاف سلاسل محددة للحمض النووي أو الخلايا السرطانية.

وباستخدام تقنية حفر الترانزستور، تزرع شظايا من الحمض النووي داخل الرقاقة. وعند تمرير سوائل فوق الرقاقة، يمكن لتلك الشظايا من الحمض أن تلتحم بسلاسل جينية محددة. وبعدها، يمكن للمرء بسرعة، باستخدام شعاع ليزر، مسح الموضع بالكامل والتعرف على الجينات. وبهذه الطريقة، أصبح من غير الضروري قراءة الجينات الوراثية واحدا تلو الآخر، مثلما كان يحدث من قبل، وإنما يمكن إجراء مسح كامل لها بالآلاف في لمح البصر.

وقد أنتجت شركة (أفيميتركس) Affymetrix في عام 1997 أول رقاقة حمض نووي على المستوى التجاري يمكنها سريعا تحليل 50000 تسلسل للحمض النووي. وبحلول عام 2000، صار هناك 400000 مسبار للحمض النووي متوفرة مقابل بضعة آلاف من الدولارات. وفي عام 2002، انخفضت الأسعار إلى 200 دولار يمكن للمرء أن يشتري بها رقاقات أكثر قوة. وما تزال الأسعار في انحدار نتيجة لقانون مور، حتى صارت لا تزيد على حفنة قليلة من الدولارات.

وقد صرحت شانا كيلي Shana Kelley، الأستاذ بكلية طب جامعة تورنتو University of Toronto، قائلة: (اليوم، يحتاج الأمر إلى غرفة مليئة بأجهزة الحاسوب من أجل تقييم عينة إكلينيكية من المؤشرات الحيوية الدالة على الإصابة بالسرطان، كما لا تتوافر النتائج سريعا. لكن فريقنا

البحثـي تمكن من قياس الجزيئات الحيويـة على رقاقـة إلكترونية بحجم طـرف الإصبع). وتحلم كيلي كذلك باليوم الذي سوف يتقلص فيه حجم كل معـدات تحليل هذه الرقاقة ليصير أقـرب إلى حجم الهاتف المحمول. وهذا المعمل المحمول على رقاقة سوف يعني أن باستطاعتنا تقليص حجم المعمـل الكيماوي الموجود في مستشفى أو جامعة إلى حجم رقاقة واحدة يمكننا استعمالها داخل حماماتنا.

ومـن ناحيتهـم، صنـع الأطبـاء بمستشفـى ماساتشوستـس العـام Massachusetts General Hospital رقاقتهـم الحيويـة الخاصة، المصممة حسـب طلبهم، التي تزيد قدرتها 100 ضعـف عن أي من تلك الموجودة بالأسواق في وقتنا الراهن. ومعلوم أن خلايا الأورام التي تسري في مجرى الـدم تبلغ نسبتهـا أقل من خلية واحدة في كل مليـون خلية داخل دمائنا، لكـن تلك الخلايا السرطانيـة تقتلنا في نهاية المطـاف إذا تكاثرت. وهذه الرقاقـة الحيوية الجديـدة تملك من الحساسيـة ما يجعلهـا تكتشف الخلية السرطانيـة الواحدة مـن بين مليار خلية تسري في دمائنـا. ونتيجة لذلك، ثبـت أن هذه الرقاقة تكتشف خلايا سرطان الرئة والبروستاتا والبنكرياس والثـدي والقولون والمستقيـم، عن طريق تحليل عينة صغـيرة من الدم في حجم ملعقة الشاي.

وتنحت تقنيـة الحفر القياسية رقاقات تحتوي علـى 78000 وتد مجهري (طـول الواحـد منها 100 ميكـرون). وتحت المجهـر الإلكتروني، تكون أشبـه بغابة مـن الأوتاد المستديـرة. كل وتد مغلف بجسـم مضاد لجزيء التصـاق الخلية الطلائية EpCAM الذي يوجد في العديد من أنواع الخلايا

السرطانيــة، لكنه غــير موجود في الخلايا العادية. وجــزيء التصاق الخلية الطلائية هذا مهم جدا بالنسبــة لخلايا السرطان من أجل الاتصال ببعضها بعضــا حتــى تصنع ورما. فــإذا تم إمرار الــدم عبر الرقاقــة، تلتصق الخلايا السرطانية السارية في الدم بالأوتاد المستديرة. وفي التجارب الإكلينيكية، نجحــت الرقاقة في اكتشاف حالات السرطــان لدى 115 من إجمالي 116 مريضا.

ولا ريــب أن تكاثر أعداد تلــك المعامل المحمولة علــى رقاقات سوف يؤثــر أيضا تأثيرا جذريا على تكلفة تشخيص المرض. ففي الوقت الحاضر، قــد تبلغ تكلفة أخذ عينة من أنسجة مريض، أو إجراء تحليل كيميائي، عدة مئــات من الدولارات، كما أنها قد تستغرق بضعة أسابيع لإتمامها. أما في المستقبــل، فربما لا تزيد التكلفة عن بضعــة بنسات، ولا يستغرق إجراؤها أكــثر من بضع دقائــق. وهذا من الممكن أن يحدث ثــورة في إتاحة فرص إجــراء تشخيصــات مرض السرطــان. ففي كل مرة سننظف فيهــا أسناننا بالفرشاة، سيكون من الممكن في هذه الأثناء إجراء فحص دقيق للعديد من الأمراض، من بينها السرطان.

وقــد صنــع لــيروي هــود Leroy Hood وزمــلاؤه بجامعــة واشنطــن University of Washington رقاقة عرضها حوالي أربعة سنتيمترات يمكنها إجراء تحليل يكشف عن وجود بروتينات معينة باستخدام قطرة دم واحدة. ومن المعــروف أن البروتينات هي لبنات بناء الحيــاة، فعضلاتنا وجلودنا، وكذا الشعر والهرمونــات والإنزيمات، جميعها مصنوعة من البروتينات. واكتشــاف البروتينات الناتجة عن أمراض كالسرطان من الممكن أن يؤدي

إلى إيجاد منظومة إنذار مبكر للجسم. وفي الوقت الحاضر، لا تزيد تكلفة الرقاقة عن عشرة سنتات، ويمكنها التعرف على بروتين محدد خلال عشر دقائق، وبهذا تكون أكثر كفاءة بمقدار عدة ملايين من المرات من النظام السابق. ويحلم هود باليوم الذي تصير فيه هذه الرقاقة قادرة على إجراء تحليل سريع لمئات الآلاف من أنواع البروتين، فتنبهنا بذلك إلى طائفة واسعة من الأمراض قبل سنوات من تطورها إلى مرحلة الخطر.

الأنابيب النانوية الكربونية

هناك مؤشر مسبق ينبئ بقدرات تكنولوجيا النانو، ألا وهو: الأنابيب النانوية الكربونية[1] carbon nanotubes. وهذه الأنابيب، من حيث المبدأ، أقوى من الفولاذ، كما يمكنها أيضا توصيل الكهرباء، لذا فإن أجهزة الحاسوب المصنوعة من الكربون صارت أمرا ممكنا. لكن رغم قوتها الهائلة، فإن هناك مشكلة واحدة تعوقها، ألا وهي: أنها يجب أن تكون في صورتها النقية، وأطول ألياف الكربون النقية لا يزيد طولها عن بضعة سنتيمترات. لكن ذات يوم، قد تُصنع أجهزة الحاسوب بأكملها من الأنابيب النانوية الكربونية، ومن غيرها من التركيبات الجزيئية.

وتصنع كل واحدة من الأنابيب النانوية الكربونية من ذرات كربون

(1) الأنابيب النانوية الكربونية carbon nanotubes: متأصلات كربونية ذات تركيبات نانوية أسطوانية الشكل. ولتلك الجزيئات الكربونية سمات جديدة تجعلها مفيدةً في العديد من التطبيقات في مجال النانو تكنولوجي والإلكترونيات والبصريات، بالإضافة إلى العديد من المجالات الأخرى ذات الصلة بعلم المواد. كذلك هناك مجموعة أخرى من الاستخدامات المتوقعة لها في مجالات الهندسة المعمارية. كما أنه قد يكون لها بعض الاستخدامات في بناء الدروع الواقية للبدن، حيث إنها تُظْهِر قوةً استثنائية، وخصائص كهربائية فريدة، كما أنها تعمل كموصلات جيدة للحرارة. (المترجم)

ملتحمة بحيث تصنع أنبوبا. تخيل سلك عشة الدجاج، حيث كل موضع اتصال فيه عبارة عن ذرة كربون. والآن، قم بلف سلك عشة الدجاج على شكل أنبوب، وسوف يصبح لديك الشكل الهندسي لأنبوب نانوي كربوني. وتتكون هذه الأنابيب في كل مرة يتكون فيها السناج العادي، لكن العلماء لم يدركوا من قبل أن ذرات الكربون يمكنها الالتحام معا بمثل هذه الطريقة المبتكرة.

وتعود الخصائص شبه الإعجازية التي تتصف بها الأنابيب النانوية الكربونية إلى تركيبها الذري. فعادةً، عندما تحلل قطعة صلبة من المادة، كالصخر أو الخشب، فأنت في واقع الأمر تحلل خليطا هائلا مؤلفا من العديد من التركيبات المتداخلة معا. ومن السهل صنع كسور دقيقة داخل هذا الخليط، وهو الأمر الذي يجعله سهل الكسر. إذن، قوة المادة تعتمد على الشوائب الموجودة في تركيبها الجزيئي. فمثلاً، الجرافيت مصنوع من الكربون النقي، لكنه شديد الليونة لأنه مصنوع من طبقات يمكنها الانزلاق فوق بعضها بعضا. وكل طبقة تتكون من ذرات كربون، كل منها متحد مع ثلاث ذرات كربون أخرى.

والماس أيضا مصنوع من كربون نقي، لكنه أقوى معدن موجود في الطبيعة. وذلك أن ذرات الكربون الموجودة في الماس مرتبة في تركيب بلوري محكم ومتداخل، ليمنحه صلابة غير عادية. وبالمثل، تعود الخصائص المذهلة التي تتمتع بها الأنابيب النانوية الكربونية إلى تركيبها الذري المنتظم.

وقد شقت الأنابيب النانوية الكربونية طريقها بالفعل نحو دنيا الصناعة.

فبسبب خاصية التوصيل التي تتمتع بها، يمكن استخدامها في صنع كابلات لنقل مقادير هائلة من الطاقة الكهربائية. وبسبب قوتها، يمكن استخدامها في صنع مواد أكثر صلابة من (الكيفلار) Kevlar.

ولعل أهم استخدام للكربون هو ذلك الذي سيكون في مجال صناعة أجهزة الحاسوب. فالكربون واحد من عدة مرشحين لخلافة السليكون الذي يعد الأساس الذي قامت عليه تكنولوجيا الحاسوب. وربما توقف مستقبل الاقتصاد العالمي في نهاية المطاف على هذا السؤال: ما الذي سيحل محل السليكون؟

عصر ما بعد السليكون

كما ذكرنا سابقا، لا يمكن لقانون مور، وهو واحد من الأسس التي قامت عليها ثورة المعلومات، أن يدوم إلى الأبد. ويمكننا القول: إن مستقبل اقتصاد العالم ومصير الأمم قد يعتمد في نهاية الأمر على الأمة التي ستطور بديلا مناسبا للسليكون.

لكن، (متى سينهار قانون مور؟) إن هذا السؤال ما يزال يثير الرجفة في أوصال الاقتصاد العالمي. وقد سُئل جوردون مور نفسه عام 2007 عما لو كان يعتقد أن ذلك القانون الشهير الذي أطلق عليه اسمه يمكن أن يظل صحيحا للأبد أم لا. فكان رده: بالطبع لا، ثم تنبأ بأنه سينتهي خلال عشرة إلى خمسة عشر عاما.

وقد توافق هذا التقدير المبدئي مع تقدير سابق قام به باولو جارجيني Paolo Gargini، وهو المسؤول عن جميع الأبحاث الخارجية بشركة إنتل

Intel. ولما كانت شركة إنتل هي التي تحدد إيقاع صناعة أشباه الموصلات بأكملها، فإن كل كلمة يتفوه بها جارجيني تصبح موضع تحليل متأنٍ. ففي المؤتمر السنوي لأشباه الموصلات (سيميكون ويست) Semicon West الذي عقد عام 2004، قال جارجيني: (نرى أنه يمكننا الاستمرار في الاعتماد على قانون مور خلال الخمسة عشر إلى العشرين عاما المقبلة على الأقل).

وكانت الثورة الراهنة في مجال أجهزة الحاسوب المعتمدة على السليكون مدفوعة بحقيقة واحدة جوهرية، ألا وهي: قدرة الأشعة فوق البنفسجية على حفر ترانزستورات أصغر وأصغر فوق سطح رقاقة من السليكون. واليوم، يمكن أن تحمل رقاقة البنتيوم عدة مئات من الملايين من الترانزستورات فوق شريحة غاية في الرقة في حجم طرف الإصبع. ولما كان الطول الموجي للأشعة فوق البنفسجية يمكن أن يكون صغيرا، بحيث لا يتجاوز 10 نانومترات، فمن الممكن استخدام تقنيات الحفر في نحت مكونات لا يتجاوز عرض الواحد منها ثلاثين ذرة فحسب. غير أن هذه العملية لا يمكن أن تستمر إلى الأبد. فعاجلا أو آجلا، سوف تنهار المسألة لعدة أسباب.

السبب الأول؛ إن الحرارة المتولدة من الرقاقات القوية سوف تتسبب في النهاية في انصهارها. وكان أحد الحلول الساذجة أن نجعل الرقاقات مكومة فوق بعضها بعضا، فنصنع رقاقة مكعبة الشكل. وهذا من شأنه أن يزيد من قدرة المعالجة للرقاقة لكن على حساب توليد المزيد من الحرارة. بل إن الحرارة المتولدة من الرقاقات المكعبة تكون من الشدة بحيث يمكنك

أن تقلي بيضة فوق سطحها. والمشكلة بسيطة: لا توجد مساحة سطح كافية فوق الرقاقة المكعبة تسمح بتبريدها. وبصفة عامة، إذا قمت بتمرير ماء بارد أو هواء فوق الرقاقة الساخنة، فإن التأثير المبرد يكون أكبر إذا كان هناك مزيد من الاتصال السطحي بالرقاقة. لكن إذا كانت الرقاقة مكعبة، فإن مساحة السطح عندئذ لا تكون كافية. على سبيل المثال، إذا أمكن مضاعفة حجم رقاقة مكعبة، فإن الحرارة التي ستولدها تتضاعف بمقدار ثماني مرات (لأن المكعب يحتوي على مكونات كهربية أكثر بمقدار ثماني مرات)، لكن مساحة سطحها لا تزيد إلا بمقدار أربعة أضعاف فقط. ويعني هذا أن الحرارة المتولدة في الرقاقة المكعبة سترتفع بمعدل أسرع من القدرة على تبريدها. وكلما كبر حجم الرقاقة المكعبة، كان تبريدها أكثر صعوبة. وهكذا، فإن الرقاقات المكعبة لن تقدم سوى حل جزئي مؤقت للمشكلة.

وقد اقترح البعض أن نستعين ببساطة بأشعة إكس (الأشعة السينية) كبديل للأشعة فوق البنفسجية في حفر الدوائر. وهذا الأمر من الممكن أن ينجح من حيث المبدأ، لأن أشعة إكس يمكن أن يكون طولها الموجي أصغر 100 مرة من الطول الموجي للأشعة فوق البنفسجية. لكن هناك عيبا مقابل ذلك. فمع الانتقال من استخدام الأشعة فوق البنفسجية إلى أشعة إكس، تزيد في الوقت نفسه طاقة الشعاع بمقدار 100 ضعف أو نحو ذلك. وهذا معناه أن الحفر بهذه الطريقة ربما يدمر الشريحة الرقيقة التي تحاول أن تحفر فوقها. ويمكن تشبيه الحفر باستخدام هذه الأشعة بمحاولة فنان استخدام موقد لحام في صنع منحوتة رقيقة. ومن ثم، فإن الحفر بأشعة إكس يجب

أن يتم بأقصى درجات التحكم، لذا فإنه ليس سوى حل قصير الأجل.

ثانيا؛ هناك مشكلة جذرية تفرضها نظرية الكم، ألا وهي: قاعدة انعدام اليقين التي تنص على أنه لا يمكنك أن تعلم على وجه اليقين موقع وسرعة أي ذرة أو جسيم. ورقاقة البنتيوم اليوم قد تكون عليها طبقة سمكها حوالي ثلاثين ذرة تقريبا. وبحلول عام 2020، من الممكن أن يبلغ عرض هذه الطبقة خمس ذرات، وبذلك لا يكون موضع الإلكترون بها مؤكدا، فيبدأ في التسرب في جميع أجزاء الطبقة، مما يتسبب في ماس كهربي. ومن ثم، فإن هناك حدا تفرضه نظرية الكم على مدى صغر الحجم الذي يمكن أن يصل إليه ترانزستور مصنوع من السليكون.

وكما ذكرت من قبل، كنت ذات مرة واحدا من المحاضرين الأساسيين في مؤتمر كبير حضره 3000 من كبار مهندسي شركة مايكروسوفت Microsoft في مقر الشركة الرئيس في سياتل، حيث سلطت الضوء على مشكلة التباطؤ الذي يعتري قانون مور. وأكد لي هؤلاء المهندسون الذين يعدون صفوة المتخصصين في البرمجة أنهم بدءوا الآن يأخذون هذه المشكلة بجدية شديدة، وصارت المعالجة الموازية واحدة من أهم الحلول التي يفكرون فيها لزيادة قدرة أجهزة الحاسب على المعالجة. وأيسر سبيل لحل هذه المشكلة أن نوصل سلسلة من الرقاقات على التوازي بحيث تتم تجزئة مشكلة الحاسوب إلى أجزاء يعاد تجميعها بعد ذلك في نهاية الأمر.

والمعالجة الموازية واحدة من أسس كيفية عمل المخ. فلو أننا أجرينا مسحا بالرنين المغناطيسي للمخ أثناء التفكير، فسنجد مناطق مختلفة من المخ تضيء معا في آن واحد، بما يعني أن المخ يجزئ المهمة إلى قطع صغيرة،

ويعالـج كل واحـدة منها على حـدة في الوقت عينه. ويفسـر لنا هذا لماذا يمكـن للعصبونات (الخلايا العصبيـة التي تنقل الرسائـل الكهربية بإيقاع شديـد البطء بدرجة مضنية يبلـغ 200 ميل في الساعة) أن تتفوق في أدائها علـى جهاز كمبيوتر جبار، مع أن الرسائـل تنتقل داخل الحاسوب بسرعة تقـترب من سرعـة الضوء. فما يفتقـر إليه مخنا من حيـث السرعة، يعوضه وأكثر بكثير بـأداء مليارات العمليات الحسابيـة الصغيرة في آن واحد، ثم يقوم بجمعها معا بعد ذلك.

وتتمثـل صعوبة إجـراء معالجة موازيـة في أن كل مشكلة يجب تجزئتها إلى أجـزاء متعـددة. ثم تتم بعد ذلـك معالجة بواسطة رقاقـات مختلفة، ثم يعاد تجميـع المشكلة في النهاية. وقد يكون تنسيق تلـك التجزئة أمرا بالغ التعقيد، وهو يعتمد تحديدا على كل مشكلة على حدة، مما يجعل التوصل إلى إجراء عام أمـرا بالغ الصعوبة. والمخ البشري يقوم بذلك دون أن يبذل أدنى جهـد، وقد احتاجت الطبيعة لملايين السنين لحـل هذه المشكلة. أما مهندسو البرمجة فلم يكن أمامهم سوى عقد من السنين أو نحو ذلك.

الترانزستورات الذرية

أحد البدائل المحتملة لرقاقات السليكون تلك الترانزستورات المصنوعة من الذرات المنفردة. فإذا كان سبـب إخفاق ترانزستورات السليكون أن الأسـلاك والطبقـات في الرقاقـة تتضاءل في الحجم وصـولا إلى مستوى الذرة، فلماذا إذن لا نبدأ من جديد ونبني حساباتنا على الذرات؟

وإحدى طرق تحقيق هذا استخدام الترانزستورات الجزيئية. فالترانزستور

عبارة عـن مفتاح غلق وفتح يسمـح لك بالسيطرة علـى سريان الكهرباء في الأسـلاك. ومن الممكن استبدال ترانزستـور السليكون بجزيء واحد مصنـوع من مواد كيميائيـة مثل روتاكسين وبنزنثيـول. فعندما تتاح لك رؤيـة جـزيء بنزنثيول، سوف تجده أشبه بأنبـوب طويل ذي (مقبض) أو صمـام، مصنوع من ذرات عنـد منتصفه. وفي الأحـوال العادية، تكون للكهربـاء حرية السريان عبر الأنبوب، مما يجعلـه موصلا جيدا للكهرباء. لكن من الممكن أيضا إدارة (المقبض)، وهو ما يمنع سريان الكهرباء. وبهذه الطريقـة، يـؤدي الجزيء بأكملـه وظيفة مفتاح يمكنـه التحكم في سريان الكهربـاء. ففي أحد الوضعين، يسمح المقبض بسريان الكهرباء، وهو ما يعـبر عن الرقم (1). فإذا أدير المقبض، فـإن الكهرباء تتوقف عن السريان، وهـو ما يعبر عـن الرقم (صفر). وهكـذا، يمكن إرسـال الرسائل الرقمية باستخدام الجزيئات.

والترانزستورات الجزيئية موجـودة بالفعل. فقد أعلنت مؤسسات عدة أنهـا صنعت ترانزستورات مخلقة مـن جزيئات منفردة. لكن قبل أن تصير تلـك الترانزستورات قابلة للتداول تجاريا، يجب أن يكون المرء قادرا على تشغيلها بطريقة صحيحة وإنتاجها بكميات تجارية.

ويأتي أحد المرشحـين الواعدين لأداء دور الترانزستور الجزيئي من مادة تسمـى الجرافين Graphene، وهي مـادة تم عزلها لأول مرة من الجرافيت عام 2004 على يد كل من أندريه جيم Andre Geim وكوستيا نوفوسيلوف Kostya Novoselov، من جامعة مانشستر University of Manchester، اللـذان فازا بجائـزة نوبل عن هذا العمل. وتشبه تلـك المادة طبقة واحدة

مـن الجرافيت. وعلى عكس الأنابيب النانويـة الكربونية، التي هي عبارة عـن صحائف مـن ذرات الكربون ملتفة على هيئة أنابيـب طويلة رفيعة، فـإن الجرافين عبارة عن صحيفة واحدة من الكربون، لا يزيد سمكها عن سمـك ذرة واحدة. كذلك تمثل الجرافـين حالة جديدة للمادة، لذا انقسم العلمـاء على أنفسهم فيما يتعلق بخصائصهـا المميزة، بما فيها القدرة على التوصيـل الكهربي. وقد علق نوفوسيلوف على ذلـك قائلا: (من وجهة النظـر الفيزيائيـة، الجرافين هـو منجم الذهـب. ويمكن أن نظـل ندرسه لعصـور). (الجرافين أيضا أقـوى مادة تم اختبارها في تاريـخ العلوم. فإذا وضعت فيلا فوق قلم رصاص، ووازنت القلم الرصاص فوق صحيفة من الجرافين، فإن الجرافين لن يتمزق).

وقـد استخدمـت مجموعـة الباحثـين بقيـادة نوفوسيلـوف تقنيـات عاديـة تستخـدم في صناعة أجهـزة الحاسـوب لنحت بعض مـن أصغر الترانزستورات التي صنعت عبر العصور. ويمكن لإشعاعات الإلكترونات الدقيقـة أن تنحت قنـوات غاية في الصغر داخل الجرافـين، فتصنع بذلك أصغـر ترانزستورات في العالم؛ سمكها ذرة واحدة وعرضها عشر ذرات. (في الوقـت الراهن، يبلغ حجم أصغـر الترانزستورات الجزيئية حوالي 30 نانومـترا. أما أصغـر ترانزستورات صنعها نوفوسيلـوف فحجمها أصغر ثلاثين مرة من ذلك).

وهـذه الترانزستـورات المصنوعـة من الجرافـين بالغة الصغـر، فهي في الواقـع ربما كانت تمثل الحـد الأدنى لحجم الترانزستـورات الجزيئية. ولو صغـرت عن ذلك، لسـاد مبدأ انعدام اليقين، وتسربـت الإلكترونات من

الترانزستور، مما يدمر خصائصه. يقول نوفوسيلوف: (إنها تقريبا أصغر ما يمكن الوصول إليه).

ورغم وجود عدد من المرشحين الواعدين للقيام بدور الترانزستورات الجزيئية، فإن المشكلة الحقيقية تبدو في الظاهر أكثر بساطة: كيف تقوم بتوصيلها ببعضها وتجميعها في منتج قابل للتسويق التجاري. إذ إن صنع ترانزستور جزيئي واحد لا يكفي. ومن المشهور عن الترانزستورات الجزيئية أنه من الصعب التعامل معها، لأنها من الممكن أن تكون أقل سمكا بآلاف المرات من شعرة رأس الإنسان. ومن ثم، فإن التفكير في إنتاجها على نطاق تجاري يمثل كابوسا حقيقيا. ففي الوقت الراهن، لم تتوفر حتى الآن التقنية اللازمة لذلك.

وعلى سبيل المثال، الجرافين مادة حديثة لا يعرف العلماء كيف ينتجون منها كميات كبيرة. فليس باستطاعة العلماء أن ينتجوا سوى حوالي 0،1 ملليمتر من الجرافين النقي، وهي كمية غاية في الضآلة لا تفي بالاستخدامات التجارية. وهناك أمل وحيد، وهو أن يتمكن الإنسان من العثور على عملية إنتاجية تقوم بتجميع الترانزستور الجزيئي ذاتيا. ونحن نجد في الطبيعة أحيانا مجموعات من الجزيئات تتكثف في نمط دقيق، كما لو كان ذلك بفعل السحر. لكن حتى الآن لم يتمكن أحد من إعادة تخليق هذا السحر من جديد.

حاسبات الكم

أكثر المقترحات طموحا استخدام حاسبات الكم التي تقوم بالفعل بالحساب باستخدام الذرات المنفردة نفسها. ويزعم البعض أن حاسبات

الكـم هـي أجهـزة الحاسب النهائيـة، حيـث إن الذرة أصغـر وحدة من وحدات المادة يمكن للإنسان أن يحسب باستخدامها.

فالـذرة تشبـه النحلة الـدوارة التي يلهو بهـا الأطفـال. وفي الأحوال العادية، يمكنك تخزين معلومات في صورة رقمية فوق النحلات الدوارة، بتخصيص العـدد (صفر) إذا كانت النحلة تدور لأعلى، أو (1) إذا كانت تـدور لأسفل. فإذا عكسـت اتجاه دوران النحلة، فإنـك بذلك تكون قد حولت الصفر إلى واحد وأجريت عملية حسابية.

لكن في عالم الكم العجيب، تدور الذرة بشكل أو بآخر لأعلى ولأسفل في آن واحـد. (ففـي دنيا الكم، يعد أمرا عاديـا أن تتواجد في عدة أماكن في آن واحد). وبالتـالي، فإن ذرة ما تحتوي على معلومات أكثر بكثير من صفر أو واحد. إن في استطاعتها وصف مزيج من أرقام الصفر والواحد. إذن، حاسبات الكم تستعمل (الكيوبت)[1] qubit بدلاً من (البت)[2] bit. وعلى سبيل المثال، من الممكن أن تدور لأعلى بنسبة 25 % ولأسفل بنسبة 75 %. وبهـذه الطريقة، يمكن للذرة الدوارة اختزان معلومات أكثر بكثير من البت الواحد.

إن حاسبات الكم تملك من القدرات الهائلة ما جعل وكالة الاستخبارات المركزيـة الأمريكية تبحث استخـدام قدراتها الهائلة في فـك الشفرات.

(1) الكيوبت qubit: البت الكمي. (المترجم)

(2) البت bit: في عالم الحاسوب، يتم تخزين المعلومات ومعالجتها على شكل بتات bits؛ وبذلك يكون البت أصغر وحدة حاملة أو ناقلة لمعلومة أو لمعنى معين. وفي أجهزة الحاسب والمعالجات الرقمية، البت عبارة عن نبضة كهربائية، إما موجبة أو سالبة، يرمز لها بأحد الرقمين الثنائيين: 1 أو 0. (المترجم)

فعندمـا تحاول الاستخبارات الأمريكية فك شفرة ما لبلد آخر، تبحث عن مفتاح هذه الشفرة. وقـد ابتكرت الأمم طرقا عبقرية لإنشاء مفاتيح تشفر بها رسائلها. فعلى سبيل المثـال، قد يكون المفتاح مبنيا على إيجاد المعامل المشترك لرقم كبير. ولعله من السهل إيجاد المعامل المشترك للرقم 21 مثلاً، فهو حاصل ضرب 7 في 3. والآن، نفترض أن لديك رقما صحيحا مكونا مـن 100 عدد، وطلبت مـن حاسب رقمي إعادة كتابتـه باعتباره حاصل ضرب رقمين صحيحين آخرين. قد يحتاج الحاسوب الرقمي إلى دهر من الزمـن كي يحلل هذا الرقم إلى معاملاتـه الأساسية. لكن الحاسب الكمي يملـك من القدرة الهائلة ما يجعله قادرا على فـك أي شفرة دون عناء. إن أداء الحاسـب الكمي يتفـوق بسرعة على الحاسب العـادي في إنجاز تلك المهام العويصة.

إن الحاسبـات الكميـة ليست خيالا علميا، بل إنهـا موجودة في الواقع اليوم. وقـد أتيحت لي الفرصة كي أرى الحاسـب الكمي بنفسي، عندما قمـت بزيـارة معمـل سـث لويـد Seth Lloyd في معهـد ماساشوستس للتكنولوجيـا، وهو واحـد من الرواد في هذا المجـال. ويمتلئ هذا المعمل بأجهـزة الحاسب، ومضخات تفريـغ الهواء، وأجهـزة الاستشعار، لكن محـور تجربته جهاز يشبه جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي العادي، إلا أنه أصغـر بكثير. وهذا الجهاز، مثله مثل جهـاز الرنين المغناطيسي، به ملفان هائلا الحجم من الأسلاك يصنعان مجالا مغناطيسيا متناسقا في الحيز الواقع بينهما. وداخل هـذا المجال المغناطيسي المتناسق، يقـوم لويد بوضع عينة مـن مادته. وتنتظم الذرات داخل هذه العينة على نسق واحد، مثل النحلة

الدوارة. فإذا أشارت الذرة لأعلى كان هذا مقابلا للصفر، وإذا أشارت لأسفل كان هذا معناه (واحد). ثم يبث نبضة كهرومغناطيسية في العينة، مما يغير من ترتيب الذرات، حيث ينقلب بعضها. وهكذا يتحول الواحد إلى صفر. وبهذه الطريقة، يكون الجهاز قد أجرى عملية حسابية.

لماذا إذن لا نجد حاسبات الكم فوق مكاتبنا، لتحل لنا ألغاز الكون؟ لقد اعترف لي لويد بأن المشكلة الحقيقية التي أثبطت الهمة عن إجراء الأبحاث في مجال حاسبات الكم تتمثل في الاضطرابات الوافدة من العالم الخارجي التي تدمر الخصائص الهشة لتلك الذرات.

فعندما تكون الذرات (متماسكة)، تتوافق ذبذباتها مع بعضها بعضا، لكن يمكن لأصغر الاضطرابات الوافدة من العالم الخارجي حجما أن تدمر هذا التوازن الدقيق، وتجعل الذرات (تتفكك). وبذلك تكف هذه الذارت عن التذبذب بشكل موحد معا. نعم، إن مجرد مرور الأشعة الكونية، أو هدير شاحنة خارج المعمل، كفيل بأن يدمر التوحد الدوراني المغزلي الدقيق لتلك الذرات، فيدمر بالتالي العملية الحسابية.

ولا شك أن مشكلة عدم التماسك أصعب عائق يقف في وجه تصنيع حاسبات الكم. ومن ثم، فإن أي شخص يمكنه حل مشكلة عدم التماسك الذري لن يفوز وحسب بجائزة نوبل، وإنما سيصير أيضا أغنى رجل على وجه الأرض.

وكما يمكنك أن تتصور، فإن صنع حاسبات الكم من الذرات المفردة المتماسكة يعد عملية مضنية للغاية، لأن تلك الذرات سريعا ما تفقد تماسكها وتخرج عن إطار اتساقها وتناغمها معا. وحتى الآن، كانت أعقد عملية

حسابيــة تم إجراؤها بواسطة حاسب من حاسبات الكم هي 3 × 5 = 15. ورغم أن هذا لا يبدو إنجازا كبيرا، فعلينا أن نتذكر أن هذه العملية الحسابية أجريت على ذرات منفردة.

أضــف إلى ذلك أن هناك أمرا آخــر معقدا وعجيبا مصدره نظرية الكم، ويقوم هو الآخر على قاعدة انعدام اليقين. فجميع الحسابات التي أجريت علــى حواسب الكم غير مؤكدة، لذا لابد مــن إعادة التجربة عدة مرات. إذن 2 + 2 = 4، أحيانــا على الأقــل. وإذا أعدت إجراء حسبة 2 + 2 عدة مــرات، فإن الإجابة النهائية تكون عبارة عــن متوسط لعدة نتائج يساوي الرقم 4. ومن ثم، فإن الحساب نفسه يصير غامضا على حاسب كمي.

ولا أحــد يعلم متــى يمكن حل هــذه المشكلة المرتبطة بعــدم التماسك. بيــد أن فينت ســيرف Vint Cerf، وهو أحــد المصممــين الأوائل لشبكة الإنترنــت، يتنبأ بأنه (بحلول عــام 2050، سوف نعــثر بالتأكيد على سبل لتحقيق حساب كمي يعمل في درجة حرارة الجو العادية).

وتجــدر الإشارة أيضا إلى أن هناك احتمــالات كبيرة جدا أن يستكشف العلمــاء مجموعــة متباينة مــن تصميمــات الحاسبات. وتضــم بعض تلك التصميمات المتنافسة ما يلي:

- الحاسبــات البصريــة optical computers: تقوم هــذه الحاسبات بإجراء العمليــات الحسابية اعتمادا على أشعة الضوء، بــدلاً من الإلكترونات. ولمــا كانت أشعة الضوء يمكنها المرور عــبر بعضها بعضا، فإن الحاسبات البصريــة تتميز بقدرتها على أن تكون مكعبة، مــن دون أسلاك. وأشعة الليــزر أيضــا يمكن صنعهــا باستخدام تقنيــات الطباعــة الحجرية، مثل

الترانزستورات العادية، لذا مـن الممكن نظريا حشد ملايين أشعة الليزر على رقاقة صغيرة.

- حاسبـات النقاط الكميـة quantum dot computers: يمكن حفر أشباه الموصـلات المستخدمـة في صنـع الرقائق الإلكترونيـة في صورة نقاط صغـيرة جـدا تشتمل على مجموعات مـن 100 ذرة تقريبـا. وعند هذه النقطـة، يمكن أن تبدأ تلك الذرات في الاهتـزاز معا بتناسق وانسجام. وفي عـام 2009، تم صنع أصغر نقطـة كمية في العالم من إلكترون واحد فقط. وقد أثبتت تلك النقاط الكمية[1] quantum dots قيمتها وجدارتها عنـد استخدامها في الصمامات الثنائية المشعـة للضوء وشاشات أجهزة الحاسوب. وفي المستقبل، إذا أمكن ترتيب تلك النقاط الكمية على نحو ملائم، فقد يمكنها الوصول إلى صنع كمبيوتر كمي.
- حاسبـات الحمض النـووي DNA computers: في عام 1994، تم صنع أول جهـاز كمبيوتـر مصنوع من جزيئات الحمض النووي في جامعة جنـوب كاليفورنيـا University of Southern California. ولما كانت جدائـل الحمض النـووي تشفـر المعلومات علـى الأحماض الأمينية التـي تمثلهـا الحـروف (A، T، C، G)، بدلاً من الواحـد والصفر، فإنه يمكـن اعتبار الحمض النووي بمثابة شريط كمبيوتـر عادي، فيما عدا أنه

(1) النقـاط الكميـة quantum dots، أو الذرات الصناعيـة Artificial Atoms كما يطلق عليها بعض الباحثين: إحدى جسيمات النانو الصناعية، وهي عبارة عن بلورات تتخذ أشكالاً مختلفة قد تكون كروية أو مكعبة أو بيضاوية، ويتم صنعها عـادة من أشبـاه الموصلات. وتتراوح أبعـاد النقطة الكمية بين 1 نانومـتر وبين 6 نانومترات، وتتألف مـن آلاف الذرات. (المترجم)

يستطيع تخزين معلومات أكـثر. وبالطريقة ذاتها التي يمكن بها التعامل مع عدد رقمـي كبير، وإعادة ترتيبه بواسطة الحاسبـات الآلية، فإن المرء يستطيـع أيضا أداء عمليات مناظرة عـن طريق مزج أنابيب من السوائل التـي تحتـوي على الحمضـ النووي الـذي يمكن قص جدائلـه وربطها بطـرق عديدة. ورغـم أن العملية تتسم بالبطء، فهنـاك عدة تريليونات مـن جزيئات الحمضـ النووي التي تعمل معا في وقـت واحد، بما يتيح لحاسبـات الحمض النووي حل عمليـات حسابية معينة بكفاءة أكبر من كفـاءة حاسب رقمي. لكن في حين أن الحاسـب الرقمي ملائم ومريح للغايـة ويمكن وضعه داخـل هاتفك المحمول، نجـد حاسبات الحمض النـووي أكثر صعوبة، إذ تحتاج لمزج أنابيب سوائل تحتوي على الحمض النووي.

منتصف القرن (من 2030 إلى 2070)

التحول الشكلي

في فيلم (المدمر 2: يوم الحساب) Terminator 2: Judgment Day، يتعرض البطل أرنولد شوارزنيجر Arnold Schwarzenegger لهجوم من قبل روبوت متطور آت من المستقبل، اسمه (تي – 1000)، مصنوع من المعدن السائل. ويستطيع هذا الإنسان الآلي، الذي يشبه كتلة مرتعشة من الزئبق، تغيير شكله وشق طريقه مراوغا أي عقبة تواجهه. فيمكنه التسلل من أصغر شق أمامه، وتصميم أسلحة مميتة بإعادة تشكيل يديه وقدميه. ثم فجأة، يعيد تشكيل نفسه ليعود إلى هيئته الأصلية، ليواصل هياجه الإجرامي القاتل. وقد بدا (تي – 1000) وكأنه لا يوقفه شيء على الإطلاق، فهو آلة القتل المثالية.

وبالطبع، كل هذا كان من نسج الخيال العلمي. فتكنولوجيا اليوم لا تسمح لك بتحويل جسم صلب بمجرد إرادتك. غير أنه بحلول منتصف هذا القرن قد يصبح شكل من هذه التقنية المحولة للأشكال أمرا عاديا. وفي الحقيقة، تعد شركة إنتل إحدى الشركات الرئيسة التي تقود مسيرة هذه التقنية.

ومن المفارقات أنه بحلول عام 2050 سوف تصبح ثمار تكنولوجيا النانو في كل مكان، لكنها ستكون مختفية عن الأنظار. فكل المنتجات تقريبا سوف يتم تحسينها وتطويرها عبر تقنيات التصنيع الجزيئي. وهكذا،

ستصبح ذات قوة خارقة ومقاومة وموصلة للكهرباء والحرارة ومرنة. كما ستمنحنا تكنولوجيا النانو أيضا أجهزة استشعار تقدم لنا على الدوام الحماية والمعونة. تلك الأجهزة التي ستتوزع في البيئة مختفية عن الأنظار تحت سطح وعينا. نعم، سوف نسير في الشارع ويبدو كل شيء أمامنا كما هو، ولهذا لن نعرف أبدا كيف غيرت تكنولوجيا النانو العالم من حولنا.

غير أن هناك عاقبة واحدة لاستخدام تكنولوجيا النانو ستبدو واضحة لنا.

ولعل الروبوت القاتل (تي – 1000) الذي ظهر في فيلم المدمر أكثر الأمثلة مأساوية على شيء من هذا المضمار يسمى المادة القابلة للبرمجة التي قد تسمح لنا ذات يوم بتغيير شكل ولون جسم ما، والهيئة المادية له، بضغطة زر. وعلى المستوى البدائي، حتى لافتات النيون تعد شكلا من أشكال المادة القابلة للبرمجة، إذ يمكنك بضغطة على زر المصباح بث الكهرباء في أرجاء أنبوب غاز. فتثير الكهرباء ذرات الغاز، التي تعود بعد ذلك من جديد لحالتها العادية، مطلقة ضوءا أثناء ذلك. وهناك نوع أكثر تعقيدا من هذا، ألا وهو: شاشات الكريستال السائل Liquid Crystal Display (التي تشتهر بالاختصار (إل سي دي) LCD)، الموجودة في كل مكان الآن. وتحتوي الشاشة الـ(إل سي دي) على كريستال سائل يصبح معتما عند إيصال تيار كهربائي ضعيف إليه. وهكذا، بتنظيم التيار الكهربي الساري فيه، يمكن للمرء خلق ألوان وأشكال على الشاشة بضغطة زر أيضا.

ويبدو أن العلماء في إنتل أكثر طموحا بكثير. إنهم يتخيلون استخدام

مـادة قابلة للبرمجـة في إحداث تغيـير فعلي في شكل جسـم صلب، تماما مثـل أفلام الخيال العلمي. والفكرة بسيطة: صنع رقاقة كمبيوتر على هيئة حبـة رمل صغـيرة. وتسمح لك حبات الرمل الذكية تلـك بتغيير الشحنة الكهربائيـة الاستاتيكيـة الموجـودة على سطحها، بحيـث تتجاذب هذه الحبـات وتتنافر مع بعضها بعضا. وبمجموعـة معينة من الشحنات، يمكن لتلـك الحبات أن تنتظم في صف لتصنـع ترتيبا معينا. ودوما يمكنك إعادة برمجة تلك الحبات بحيث تتغـير شحناتها الكهربية، لتعيد في الحال تنظيم نفسهـا مشكلة ترتيبـا مختلفا تماما. ويطلق على تلـك الحبات اسم (كاتوم catoms وهو اسم مختصر لمصطلح claytronic atoms)، وذلك لأنها قادرة علـى التشكل كالصلصال علـى هيئات متنوعة مـن الأجسام بمجرد تغير شحناتهـا، تماما مثل الـذرات. (المادة القابلة للبرمجـة توجد صفات كثيرة مشتركة تجمع بينها وبين الروبوتات القابلة للتشكل التي رأيناها في الفصل الثـاني. غير أنـه في حين تحتوي الروبوتـات القابلة للتشـكل على قوالب ذكية، حجم الواحـد منها حوالي بوصتين، يمكنها إعـادة ترتيب ذواتها، تقلصـ المـادة القابلة للبرمجة حجـم تلك القوالب إلى ما يقـل عن المليمتر ودون ذلك).

ومن بـين المروجين لهـذه التقنية جيسـون كامبـل Jason Campbell، وهـو أحد كبار الباحثين في إنتل. يقول كامبـل: (خذ مثلاً جهاز الهاتف المحمول. فهاتفـي المحمول أكبر من أن يمكنني وضعه في جيبي بسهولة، بينما تجده شديد الصغـر بالنسبة لحجم أصابعي. ويصير الأمر أسوأ عندما أحـاول مشاهدة الأفـلام أو كتابة بريدي الإلكـتروني. لكن لو كان لدي

200 إلى 300 ملليلتر من الكاتوم، لأمكنني أن أجعله يتخذ شكل الجهاز الذي أحتاجه في أي لحظة). إذن في لحظة ما لدي هاتف محمول في يدي، وفي اللحظة التالية يتشكل إلى شيء آخر. وبهذه الطريقة، لا أكون مضطرا لحمل الكثير من المعدات الإلكترونية معي.

وقد صنعت إنتل بالفعل، في معاملها، مصفوفة من الكاتومات التي يبلغ حجمها حوالي بوصة واحدة. ويشبه الكاتوم مكعبا به ما لا يعد ولا يحصى من الأقطاب الكهربية الدقيقة التي تتوزع بالتساوي على سطوحها. وما يجعل الكاتوم متفردا أن باستطاعتك تغيير الشحنة الكهربية الموجودة على كل واحد من أقطابه، وبهذا تتحد الكاتومات مع بعضها بعضا في اتجاهات متباينة. فبإحدى مجموعات الشحنات، قد تتجمع تلك المكعبات لتصنع مكعبا كبيرا. وإذا غيرت الشحنات على كل قطب من أقطاب المكعب، فإن الكاتومات تتفكك، ثم سرعان ما تتجمع من جديد لترتب نفسها في هيئة مختلفة تماما، لتصبح قاربا مثلاً.

وتكمن الفكرة في تقليص حجم كل كاتوم إلى حجم حبة الرمل، أو حتى أصغر من ذلك. وإذا حدث ذات يوم أن أتاحت لنا تقنيات الحفر على السليكون خلق كاتومات صغيرة للغاية في حجم خلية الجسم، فلعلنا نتمكن من تغيير أشكالنا بصورة واقعية من شكل لآخر، بمجرد الضغط على زر. يقول جاستن راتنر Justin Rattner، أحد المسئولين الكبار في إنتل: (في توقيت ما خلال الأربعين عاما المقبلة، سوف يصبح هذا الأمر تكنولوجيا عادية منتشرة). ومن بين التطبيقات المباشرة التي يمكن تحقيقها تلك التي تخدم مصممي السيارات ومهندسي الطيران والفنانين

والمهندسين المعماريين، وأي شخص عليه أن يصمم نماذج ثلاثية الأبعاد لمشاريعه، ثم يطلب منه بصورة مستمرة إدخال التعديلات عليها. فمثلاً، لو كان لدى أحدهم قالب لموديل سيارة (سيدان) ذات أربعة أبواب، يمكن لذلك الشخص أن يجذب الموديل بالفأرة، ثم يمطه، فيتحول شكله فجأة إلى طراز (هاتشباك). ثم يضغط القالب قليلا مرة أخرى، فيحوله إلى سيارة رياضية. وهذا يفوق بكثير صلصال التشكيل المعروف، الذي لا توجد له ذاكرة ولا ذكاء. أما المادة القابلة للبرمجة فإنها تملك ذكاءً وتستطيع تذكر الأشكال السابقة، والتأقلم مع الأفكار الجديدة، والاستجابة لرغبات المصممين. وبمجرد الانتهاء من القالب، يمكن إرسال التصميم بالبريد الإلكتروني إلى الآلاف من المصممين الآخرين، الذين يمكنهم بعد ذلك صنع نسخ مطابقة له.

وقد يكون لذلك تأثير هائل على المنتجات الاستهلاكية. فلعب الأطفال، على سبيل المثال، من الممكن برمجتها بحيث تغير شكلها بإضافة تعليمات برمجية جديدة. وهكذا، لن يحتاج المرء، في عيد الميلاد، سوى لتحميل البرنامج الخاص باللعبة الجديدة، وإعادة برمجة اللعبة القديمة، فتظهر لعبة جديدة تماما. وربما احتفل الأطفال بعيد الميلاد لا بفتح الهدايا أسفل شجرة الكريسماس، وإنما بتحميل برنامج للعبتهم المفضلة أرسله إليهم بابا نويل بالبريد الإلكتروني. وستصبح الكاتومات التي ستصنع منها أحدث ألعاب السنة أهم شيء في الأسواق. ويعني هذا أن مجموعة كبيرة من السلع الاستهلاكية ربما تختزل في نهاية الأمر لتصبح برامج كمبيوتر ترسل عن طريق شبكة الإنترنت. فبدلاً من تأجير شاحنة لنقل قطع أثاث جديدة أو

أجهزة منزلية، قد يكون كل ما عليك أن تحمل برنامجا من شبكة الإنترنت، فتعيد تدوير سلعك القديمة. ولن يعود تجديد المنازل والشقق عبئا كما كان من قبل مع المادة القابلة للبرمجة. ففي مطبخك، سوف يكون تغيير البلاط والمناضد والأجهزة الكهربائية والدواليب أمرا لا يحتاج منك لأكثر من ضغطة زر.

أضف إلى ذلك أن هذا من الممكن أن يخفض نفقات التخلص من النفايات. فلن تكون مضطرا للتخلص من العديد من الأشياء غير المرغوب فيها، طالما أنه يمكنك ببساطة إعادة برمجتها. فإذا تعطل جهاز منزلي، أو انكسرت قطعة أثاث، فكل ما عليك عمله أن تعيد برمجتها فتصبح جديدة مرة أخرى.

ورغم الوعد الهائل المنتظر لهذه التقنية، فهناك أيضا مشاكل عديدة تواجه فريق إنتل. إحداها تتمثل في كيفية قيادة أوركسترا حركات كل تلك الملايين من الكاتومات. وسوف تكون هناك مشاكل متعلقة بعرض نطاق البث bandwidth، عندما نحاول رفع كل تلك المعلومات إلى المادة القابلة للبرمجة. غير أن هناك أيضا طرقا مختصرة يمكن للمرء أن يسلكها.

ففي أفلام الخيال العلمي، على سبيل المثال، من الشائع أن نشاهد (التحول)، بمعنى أن يتحول شخص ما فجأة إلى وحش. وقد كانت هذه العملية عادةً ما تكون شاقة بالغة التعقيد إذا أردنا أن نصنعها في أحد الأفلام، لكنها من الممكن الآن أن تتم بسهولة من خلال الحاسوب: أولاً، يتم تحديد متجهات معينة تميز النقاط الرئيسة المختلفة بالوجه، مثل الأنف والعينين، لكل من الإنسان والوحش. وفي كل مرة يتحرك فيها

هذا المتجـه، يتغير الوجه بالتدريج. ثم تبرمج أجهـزة الحاسوب بعد ذلك لتحريـك تلك المتجهات من وجه إلى الآخر، ومن ثم تغير ببطء الوجه من صورة إلى أخرى. وبالطريقـة ذاتها، قد يكون من الممكن استعمال طرق مختصرة لتحويل جسم ثلاثي الأبعاد من شكل إلى آخر.

وهنـاك مشكلـة أخرى تتمثـل في أن قـوى الكهربـاء الاستاتيكية بين الكاتومـات واهنـة، عند مقارنتهـا بالقوى الصلبة بين الـذرات وبعضها التـي تجعل المواد الصلبة متماسكة. وكما رأينا من قبل، فإن قوى الكم من الممكن أن تكون عظيمة القـدرة، فهي المسئولة عن خواص الصلابة التي تميز المعـادن، وعن خصائص المرونة التي تميـز البلاستيك. وسوف تصبح مسألة استبدال قوى الكم تلك بنظيرتها من قوى الكهرباء الاستاتيكية من أجل ضمان ثبات المادة قضية مهمة في المستقبل.

وقـد أتيحـت لي فرصة أن أشاهـد على الطبيعة تلـك التطورات المهمة والمتلاحقـة في مسألة المادة القابلة للبرمجة، عندما اصطحبت طاقم تصوير قنـاة ساينس العلميـة Science Channel لزيارة سيـث جولدشتاين Seth Goldstein بجامعـة كارنيجـي ميلون. ففـي معمله، يمكنـك أن تشاهد أكواما هائلة من المكعبات المتناثرة بأحجام متباينة هنا وهناك فوق منضدة، وكل منهـا يحوي رقاقات بداخلـه. وقد رأيت اثنين مـن تلك المكعبات ملتصقـين ببعضهما بعضا بقـوة بواسطة قوى كهربائيـة، وطلب مني أن أحـاول فصلهما عـن بعضهما بيـدي. والمدهش أني لم أتمكـن من ذلك. لقد اكتشفـت أن القوى الكهربائية التي تربط بـين هذين المكعبين كانت بالغـة القوة. وبعد ذلك، أوضح لي جولدشتاين أن تلك القوى الكهربائية

مـن الممكـن أن تكون أعظم من هذا لو أننا صغرنـا أحجام المكعبات. ثم اصطحبنـي إلى معمـل آخر، حيـث أراني كيف يمكـن تصغير حجم تلك الكاتومـات. فعـن طريق استخـدام ذات التقنيـات المستخدمة في نحت ملايين الترانزستورات فوق شرائـح السليكون الرقيقة، تمكن جولدشتاين من نحت كاتومات مجهرية الحجم؛ لا يزيد عرض الواحدة منها عن بضعة ملليمترات. والحقيقة أنها كانت من الصغر بحيث اضطررت لرؤيتها تحت المجهر حتى أتمكن من مشاهدتها بوضوح. وهو يأمل أن يتمكن في نهاية المطـاف، عن طريق التحكم في قواها الكهربائية، من جعلها تنتظم في أي شكل بضغطـة زر، بصورة أشبه بالساحر الذي يضرب بعصاه فيسحر أي شيء يريده.

ولقـد طرحت عليه سؤالا خاصـا بالطريقة التي سيعطـي بها تعليمات تفصيليـة لمليارات ومليارات الكاتومات، بحيث يمكن فجأة تحويل ثلاجة مثـلاً إلى موقد. وقلت لـه إن الأمر أشبه بكابوس في مجـال البرمجة. إلا أنه أجابني بأنـه ليس من الضروري إعطاء تعليمـات مفصلة لكل كاتوم على حـدة. فـكل كاتوم عليه فقـط أن يعرف أي جار عليـه أن يلتصق به. فإذا تلقـى كل كاتوم تعليمات بالالتحام بمجموعة صغيرة فقط من الكاتومات المجاورة، فـإن الكاتومات تعيد ترتيب نفسها بصـورة أقرب للسحر في تركيـب معقد (على نحو يشبه كثـيرا احتياج الخلايا العصبية لطفل رضيع لمعرفة كيف تلتصق بالخلايا العصبية المجاورة لها أثناء نمو المخ).

فإذا افترضنا أن مشكلة البرمجة وثبات المادة ممكنة الحل، فمع نهاية القرن سوف تصبح هناك إمكانية لإنشاء بنايات كاملة، بل ومدن، بمجرد ضغطة

زر. فالمرء لا يحتاج حينئذ سوى لتحديد موقع البنايات، وحفر الأساسات، ثم ترك تريليونات الكاتومات تنشئ مدنا كاملة في الصحاري أو الغابات.

غـير أن هؤلاء المهندسين العاملين بإنتل يحلمون بذلك اليوم الذي يمكن فيـه للكاتومـات أن تأخذ هيئة بشريـة. يقول راتـنر: (ولم لا؟ إنه أمر مثير للتفكير والتأمل). (وبعدها ربما يتحول الروبوت (تي – 1000) إلى حقيقة واقعة).

المستقبل البعيد (من 2070 إلى 2100)

الكأس المقدسة: الناسخ

بحلول عام 2100، يحلم مناصرو تكنولوجيا النانو بظهور آلة أكثر قدرة بكثير من كل ما سبق، ألا وهي: (المُجمِّع الجزيئي) أو (الناسخ) replicator، القادر على خلق أي شيء. وربما يتكون هذا الناسخ من ماكينة بحجم غسالة الأطباق. وسوف تضع أنت المادة الخام الأساسية داخل الماكينة، ثم تضغط على أحد الأزرار. وعندئذ ستقترب تريليونات من النانوبوتات[1] nanobots من تلك المادة الخام. وكل واحد من هذه النانوبوتات مبرمج لفصلها عن بعضها جزيئا جزيئا، ثم إعادة تجميعها من جديد لصنع منتج مختلف تماما. وسوف تكون هذه الماكينة حينئذ قادرة على صنع أي شيء. وسيكون جهاز النسخ بمثابة قمة في الإنجاز في كل من الهندسة والعلوم معا، وذروة ثمرة نضالنا منذ التقطنا أول آلة بأيدينا في تلك العصور الغابرة التي سبقت تدوين التاريخ.

وإحدى مشكلات تلك الآلة الناسخة هي ذلك الرقم الفلكي من الذرات التي يتعين إعادة ترتيبها لتنسخ لنا شيئا ما. فالجسم البشري، على سبيل المثال، يضم ما يزيد عن 50 تريليون خلية، وما يزيد عن 10^{26} ذرة. وهذا رقم مهول يحتاج إلى مساحة ذاكرة هائلة لمجرد تخزين مواقع كل

(1) النانوبوت Nanobot: روبوت ذو أبعاد بحجم النانو، ويكون إما ميكانيكيًا وإما كهروميكانيكيًا. (المترجم)

تلك الذرات.

لكن ثمة طريقة للتغلب على هذه المشكلة، ألا وهي: صنع (نانوبوت)، وهو روبوت جزيئي ما يزال في مرحلة الافتراض التخيلي. ولهذه النانوبوتات عدة خصائص أساسية. أولا؛ بإمكانها استنساخ ذواتها. وإذا كان بإمكانها أن تتكاثر ولو لمرة واحدة، فإن هذا معناه أنها من حيث المبدأ قادرة على صنع عدد لا نهائي من النسخ من أنفسها. إذن، فالحيلة التي نحتاج إليها هي صنع أول نانوبوت منها فحسب. ثانيا؛ هذه النانوبوتات قادرة على التعرف على الجزيئات وتقطيعها عند نقاط محددة بدقة. ثالثا؛ باتباع كود أو شفرة رئيسة، تصبح قادرة على إعادة تجميع تلك الذرات وفق ترتيب مختلف لكل منها. ومن ثم، فمهمة إعادة ترتيب 10^{26} ذرة من الممكن اختزالها إلى صنع هذا العدد من النانوبوت، كل منها مصمم من أجل التعامل مع ذرة واحدة على حدة. وبهذه الطريقة، لم يعد ذلك العدد الفلكي من ذرات الجسد يمثل عقبة كئودا. بيد أن المشكلة الحقيقية تكمن في صنع أول واحد من تلك النانوبوتات الأسطورية، ثم تركها تتكاثر من تلقاء نفسها.

وينقسم المجتمع العلمي على نفسه بشأن ما إذا كان حلم مصنع النانو مكتمل التكوين أمرا ممكنا من الناحية الفيزيائية أم لا. فهناك قلة من العلماء، من أمثال إريك دركسلر Eric Drexler (واحد من رواد تكنولوجيا النانو، ومؤلف كتاب (محركات الخلق) The Engines of Creation)، تتصور مستقبلا تصنع فيه جميع المنتجات على نطاق جزيئي، فتخلق وفرة من السلع لا يمكننا في زمننا الحاضر سوى أن نحلم بها فقط. وحينها سوف

ينقلب كل جانب من جوانب المجتمع رأسا على عقب عندما تُخلق ماكينة يمكنها أن تخلق أي شيء تتمناه. في حين ينتقد علماء آخرون هذه الفكرة.

فالعالم الراحل الحائز على جائزة نوبل ريتشارد سمولي Richard Smalley، على سبيل المثال، أثار مشكلة (الأصابع اللزجة) و)الأصابع السمينة) في مقال نشرته مجلة ساينتفك أمريكان Scientific American عام 2001. وكان سؤاله المحوري: هل يمكن بناء نانوبوت جزيئي يملك من الذكاء ما يكفي لجعله يعيد ترتيب الجزيئات بإرادته؟ وكانت إجابته عن هذا السؤال بالنفي.

وقد تفجر الجدل عندما اختلف سمولي مع دركسلر في سلسلة من الخطابات المتبادلة بينهما التي نشرت تباعا على صفحات مجلة كيميكال آند إنجنيرينج نيوز Chemical & Engineering News بين عامي 2003 و2004. وما تزال أصداء هذا الجدل تتردد حتى يومنا هذا. وكان طرح سمولي أن أصابع الماكينة الجزيئية لن تكون قادرة على أداء تلك المهمة الدقيقة لسببين:

السبب الأول أن تلك (الأصابع) سوف تواجه قوى جاذبة بالغة الصغر ستجعلها تلتصق بجزيئات أخرى. والذرات بدورها تتلاصق ببعضها بعضا، ومن أسباب ذلك وجود تلك القوى الكهربية بالغة الصغر، كقوى فان دير فالس، التي توجد بين إلكتروناتها. هب مثلاً أنك حاولت إصلاح ساعة وقد غطيت أطراف الملاقيط التي تستخدمها بعسل النحل. لا شك أن محاولة تجميع أي شيء يماثل دقة أجزاء الساعة الداخلية ستكون أمرا مستحيلاً. والآن، تخيل شيئا أكثر تعقيدا بكثير من الساعة، كجزيء

يلتصق دوما بأصابعك.

والسبب الثاني أن تلك الأصابع قد تكون شديدة (السمنة)، بحيث لا يمكنها التعامل مع الذرات. تصور مثلاً محاولة إصلاح تلك الساعة وأنت ترتدي قفازات قطنية سميكة. ولما كانت (الأصابع) هنا قد صنع كل واحد منها من ذرات، مثلها مثل الأشياء التي تتعامل معها، فإنها ببساطة قد تكون شديدة السمك بحيث لا يمكنها أداء العمليات الدقيقة المنوطة بها.

وقد استخلص سمولي في النهاية أنه (مثلما لا يمكنك أن تجعل فتى وفتاة يقعان في الغرام بمجرد دفع أحدهما تجاه الآخر، فإنه لا يمكنك كذلك أن تجعل عمليات كيميائية دقيقة تجري حسب رغبتك بين شيئين جزيئيين بمجرد حركة ميكانيكية بسيطة.. فالكيمياء، كالحب، أكثر تعقيدا من ذلك).

ويصل هذا الجدل إلى لب مسألة ما إذا كانت آلة النسخ سوف تتمكن يوما ما من إشعال ثورة في المجتمع، أم أنها ستعامل في البداية بفضول ثم يُلقى بها في النهاية في سلة مهملات التكنولوجيا. وكما رأينا، فإن قوانين الفيزياء في عالمنا لا تترجم بسهولة إلى فيزياء النانو. فالظواهر التي يمكننا تجاهلها، مثل قوى فان دير فالس والتوتر السطحي وقاعدة انعدام اليقين وقاعدة الاستبعاد لباولي وغير ذلك، تصبح هي المهيمنة على عالم النانو.

ولكي نحسن تقدير تلك المشكلة، تخيل أن الذرة بحجم بلية، وأن لديك حمام سباحة مليئا بتلك الذرات بدلاً من الماء. إذا سقطت في هذا الحمام، فإن هذا يختلف تماما عن السقوط في حمام سباحة ممتلئ بالماء.

فهـذا البلي سوف يظل يهتز ويصطدم بك مـن جميع الاتجاهات، بسبب الحركـة البراونيـة[1] Brownian motion. ومحاولة السباحة في هذا الحمام سوف تكون أمرا مستحيلا، لأنها ستكون أشبه بمحاولة السباحة في حمام مـن العسل الأسود. ففي كل مرة تحاول فيها جذب واحدة من هذا البلي، تجدهـا إما تروغ بعيـدا عنك، أو تلتصق بأصابعـك، نتيجة لوجود خليط معقد من القوى.

وفي النهايـة، اتفق العالمان على ألا يتفقـا. وعلى الرغم من أن سمولي لم يتمكـن من توجيه ضربة قاضيـة للناسخ الجزيئي، فـإن العديد من الأمور صـارت واضحة بعد أن انقشع الغبار. أولا، بات واضحا أن كليهما اتفقا علـى أن الفكرة الساذجة المتمثلة في نانوبوت مسلح بملاقيط جزيئية تقص وتلصـق الجزيئات معا لابد مـن تعديلها. فهناك قوى كـم جديدة سوف تهيمن على المستوى الذري.

ثانيـا، رغـم أن هذا الناسـخ، أو المصنع العام، مـا زال إلى اليوم يعد من قبيـل الخيال العلمي، فإن هنـاك نسخة منه بالفعـل. فالطبيعة، على سبيل المثال، يمكنهـا أن تأخذ الهامبرجر والخضر وتحولهـا إلى طفل وليد خلال تسعـة أشهر فحسب. وهذه العملية تتم بواسطة جزيئات الحمض النووي

(1) الحركـة البراونية Brownian motion: الحركة العشوائية لجزيئات ميكرونية في سائل. ويُنسب اكتشاف هذه الحركة إلى عـالم النباتـات الأسكتلندي روبرت براون عام 1827، إثر دراسته لجزيئات رحيق الأزهار. فقد لاحظ عندما وضع هذه الجزيئـات في المـاء أنها في حركة عشوائية متواصلة، فتساءل عن سبب هـذه الحركة.. أهي ناتجة عن كون الجزيئات كائنات حيـة؟ وللتأكد من هـذه الفرضية، قام براون بتكرار التجربـة نفسها مستخدما هذه المرة جزيئـات معدنية ميكرونية. ومن جديـد، شاهـد حركة شديدة التشابه مع ملاحظاته السابقة. وقد أثبتت هـذه التجارب أن الحركة البراونية غير ناتجة عن قوة حيوية. ذكر ألبرت أينشتاين، في واحدة من مقالاته الشهيرة، أن أصلها فيزيائي. (المترجم)

(التـي تحمل شفرة تكوين الطفـل) التي توجه عمـل الريبوسومات (التي تقص وتلصـق الجزيئات حسب ترتيبها الصحيـح) باستخدام البروتينات والأحماض الأمينية الموجودة في الطعام.

ثالثـا، قد ينجـح المجمع الجزيئـي، لكن بنسخـة أكثر تعقيـدا. فمثلاً، حسبما أوضح سمولي، وضع ذرتين إلى جوار بعضهما لا يضمن حدوث تفاعـل بينهما. لكـن كثيرا ما تتحايل الطبيعة على هـذه المشكلة بتوظيف طـرف ثالث، وهو إنزيم في محلول مائي، لتيسير حدوث تفاعل كيماوي. وقـد أوضح سمـولي أن العديد من المواد الكيميائيـة الموجودة في صناعة الحاسبـات والإلكترونيات لا يمكـن إذابتها في الماء. غـير أن دركسلر رد زاعما أنه ليست كل التفاعلات الكيميائية تحتاج إلى ماء أو إنزيمات.

أحـد الاحتمالات، مثـلاً، يطلق عليه اسم التجميـع الذاتي، أو أسلوب مـن القـاع إلى القمة. منذ القـدم، اعتاد البشر على أسلـوب من القمة إلى القاع في البناء. فباستخدام أدوات كالمطرقة والمنشار، يبدأ الشخص بقطع الأخشـاب ثم جمع قطـع الأخشاب سويا لصنـع تكوينات أكبر حجما، كالمنـازل مثلاً، وفق تصميم معين. وعليـك أن توجه هذه العملية بحرص من أعلى في كل خطوة.

لكـن في أسلوب مـن القـاع إلى القمة، تتجمـع الأشياء معـا من تلقاء نفسهـا. ففي الطبيعة، على سبيل المثال، تتبلـور رقاقات الثلج الجميلة من تلقـاء نفسها كلية أثناء العاصفة الرعدية. وتعيد تريليونات الذرات ترتيب نفسهـا لصنع أشـكال جديدة. فلا أحـد يقوم بتصميـم كل رقاقة جليد. وهذا كثـيرا ما يحدث في النظم الحيوية أيضـا. فالريبوسومات البكتيرية،

وهـي نظم جزيئية معقدة تحتوي علـى الأقل على خمسة وخمسين جزيئا بروتينيا متنوعا، علاوة على العديد من جزيئات الحمض الريبي النووي[1] ribonucleic acid (المعروف اختصارا بـ (آر إن إيه) RNA)، يمكنها تجميع ذاتها من تلقاء نفسها في أنبوب اختبار.

ويستخدم التجميع الذاتي أيضا في صناعة أشباه الموصلات. فالمكونات المستخدمة في الترانزستورات أحيانا تقوم بتجميع ذاتها بنفسها. وبتطبيق تقنيات وعمليات معقدة متنوعة بترتيب دقيق (مثل التبريد السريع، والتبلر، والبلمرة، وترسيب البخار، والتجميد.. إلخ)، يمكن للمرء إنتاج مكونات حاسب آلي ذات قيمة تجارية. وكما شهدنا من قبل، يمكن إنتاج نوع معين من جسيمات النانو التي تستخدم ضد خلايا السرطان بهذه الطريقة.

غـير أن معظـم الأشياء لا تخلـق نفسها بنفسها. فبصفـة عامة، لم تُظهِر سوى نسبة ضئيلة من مواد النانو القدرة على تجميع ذواتها بطريقة سليمة. ولا يمكنـك أن تصنـع طلبية ماكينة نانـو تستخدم التجميـع الذاتي مثلما تطلـب صنفا من قائمة طعام مثـلاً. وهكذا، فإن التقدم في صنع ماكينات النانو بهذه الطريقة سوف يكون ثابتا، لكنه سيكون بطيئا.

وباختصـار، فإن أجهزة التجميع الجزيئـي لا تخرق أي قانون فيزيائي،

(1) الحمض الريبي النووي ribonucleic acid (اختصارًا آر إن إيه أو رنا RNA): عبارة عن بوليمر حمضي نووي مؤلف مـن ارتباط تكافؤي لمجموعة مـن النيكليوتيدات. وتتميز نيكليوتيدات الرنا عن نيكليوتيدات الدنا بأنها تحوي حلقة ريبوز كمـا تضم يوراسيل، في حـين تحوي نيكليوتيدات الدنا ريبـوزًا منقوص الأكسجين وثايمين. ويتـم تخليق الحمض النووي الريبـي عن طريق عمليـة النسخ الوراثية اعتمادًا على بنية المورثات في الدنا بوساطـة إنزيمات تدعى رنا بوليميراز، ثم تجرى عليها تعديلات أخرى بوساطة إنزيمات أخرى. وتعمل الرنا كقالب لترجمة الجينات إلى بروتينات، وأيضا كناقل للأحماض الأمينية إلى الريبوسومات لتشكيل البروتينات. (المترجم)

لكـن بناءها سوف يكـون غاية في الصعوبـة. نعـم، النانوبوتات ليست موجـودة الآن، ولن تكون موجودة في المستقبل القريب، لكن إذا حدث وظهـر أول نانوبـوت بنجاح، فإن هـذا قد يغير شـكل المجتمع الإنساني الذي نعرفه.

صنع جهاز النسخ

مـا الشكل الذي يمكن أن تكون عليه آلة النسخ تلك؟ لا أحد يعلم على وجـه التحديد، إذ إن زمنا يـتراوح بين عقود وقرن يفصلنا عن بناء واحدة فعـلاً، لكن أصبح لدي تصـور للشكل الذي قد يكون عليه الناسخ عندما خضعت ذات يوم لفحص رأسي (فعلاً لا مجازا). فمن أجل برنامج خاص بقنـاة ساينس العلميـة، صنعوا نسخـة واقعية ثلاثية الأبعـاد لوجهي من البلاستك، عن طريق مسح وجهي أفقيا بواسطة شعاع ليزر. وأثناء ارتداد الشعاع من فوق بشرتـي، تم تسجيل هذا الانعكاس بواسطة مستشعر قام بتغذية الحاسـب ببيانات صورتي. وبعدها، مـر الشعاع مرة أخرى فوق وجهـي، لكنـه هذه المـرة كان أبطأ قليـلا. وفي النهاية، قـام بعمل مسح لوجهـي بالكامـل، مقسما إياه إلى عـدة شرائح أفقية. وبالنظـر إلى شاشة جهاز كمبيوتر، أمكنني رؤية صـورة ثلاثية الأبعاد بارزة لسطح وجهي، بدقة ربما تقارب عُشر المليمتر، تتكون من تلك الشرائح الأفقية.

بعـد ذلك، تمت تغذية جهاز ضخم – في حجم الثلاجة تقريبا – بتلك المعلومـات، وكان هذا الجهاز قـادرا على صنع صـورة بلاستيكية ثلاثية الأبعاد لأي شيء تقريبا. وللجهاز فوهة رشاش دقيقة الحجم تتحرك أفقيا،

وتمر عدة مـرات. وفي كل مرور لها، ترش مقـدارا ضئيلا من البلاستيك المنصهـر، فتنسخ صورة بالليزر لشكل وجهي الأصلي. وبعد حوالي عشر دقائـق والعديد من دورات المرور، خـرج القالب من هذه الماكينة، حاملاً صورة مشابهة تماما لوجهي.

إن التطبيقـات التجارية لهذه التقنيـة هائلة، إذ يمكنك صنع نسخ واقعية مـن أي جسم ثلاثي الأبعـاد، مثل الأجزاء المعقدة لـلآلات، خلال بضع دقائـق. إلا أنه باستطاعة المرء أن يتخيل جهازا، يظهر بعد فترة تتراوح بين عـدة عقود وقرن من الآن، يكون قادرا على خلق نسخة ثلاثية الأبعاد من جسم حقيقي، حتى أصغر مستوياته الخلوية والذرية.

وعنـد المستوى التالي، من الممكن استخدام هذا الماسح ثلاثي الأبعاد في خلـق الأعضاء الحية للجسم البشـري. وقد ابتكر العلماء، في جامعة ويك فوريسـت Wake Forest University، بالفعل طريقة جديدة لصنع نسيج قلب حي، باستخدام طابعة تنفث الحبر. وكان عليهم أولاً أن يكتبوا بعناية برنامـج كمبيوتر يقوم برش متتابع لخلايـا القلب الحية مع كل مرة يمر فيها الرشاش عليها. ولهذا الغرض يستخدمون طابعة عادية تنفث الحبر، غير أن خرطوشتها مملوءة بخليـط من السائل الذي يحتوي على خلايا القلب الحيـة. وبهذه الطريقـة، تصبح لديهم السيطرة علـى الموضع الدقيق لكل خلية حسب إحداثياته ثلاثية الأبعاد. وبعد عدة مرات من مرور الرشاش، يمكنهم بالفعل خلق طبقات من نسيج القلب.

وهناك أداة أخرى يمكنها تسجيل موقع كل ذرة في جسمك، ألا وهي: جهاز التصويـر بالرنين المغناطيسي MRI. وكما لاحظنا من قبل، فإن دقة

المسح بالرنين المغناطيسي تبلغ حوالي عُشر المليمتر. ومعنى هذا أن كل بِكسل في صورة المسح الحساس للرنين المغناطيسي قد تحتوي على آلاف الخلايا. لكن إذا فحصت المبدأ الفيزيائي الذي بنيت عليه فكرة الرنين المغناطيسي، لوجدت أن دقة الصورة مرتبطة بتناسق المجال المغناطيسي داخل الماكينة. وهكذا، فعن طريق جعل المجال المغناطيسي أكثر اتساقا، يمكن الوصول إلى ما هو دون العُشر ملليمتر.

ويتخيل العلماء الآن بالفعل ماكينة على نمط جهاز الرنين المغناطيسي ذات دقة تبلغ حجم الخلية، بل حتى أصغر من ذلك، أي يمكنها الوصول إلى أحجام الجزيئات والذرات.

وباختصار، لا يمثل الناسخ خرقا لقوانين الفيزياء، لكنه سيكون من الصعب عليه أن يخلق شيئا بطريقة التجميع الذاتي. وبحلول أواخر هذا القرن، عندما يتقن الإنسان تقنيات التجميع الذاتي إتقانا تاما، سوف يمكننا التفكير في شأن التطبيقات التجارية للأجهزة الناسخة.

سناج رمادي

أعرب بعض الناس عن تحفظاتهم بشأن تكنولوجيا النانو. ومن بين هؤلاء بيل جوي Bill Joy، أحد مؤسسي شركة صن مايكروسيستمز Sun Microsystems، الذي كتب يقول إن المسألة مسألة وقت قبل أن تتوحش تلك التكنولوجيا، لتفترس جميع المعادن الموجودة على الأرض، ثم تبصق بدلاً منها (سناجا رماديا). كذلك عارض الأمير تشارلز ولي عهد إنجلترا تكنولوجيا النانو وسيناريو السناج الرمادي.

ويكمـن الخطـر في الخاصيـة الأساسية لتلـك النانوبوتـات، ألا وهي: استطاعتهـا استنساخ نفسها. فهي مثل الفيروس، لا يمكن استدعاؤها بعد إطـلاق سراحها في البيئة. ومن ثم، يمكـن لها أن تتكاثر بشراهة، وتسيطر على البيئة وتدمر كوكب الأرض في نهاية المطاف.

واعتقـادي الشخصـي أن هناك عقـودا عدة، وربما قرونـا، تفصلنا عن مرحلـة نضج هذه التكنولوجيا بالدرجة الكافيـة التي تجعلنا نصنع الجهاز الناسخ، لذا فإن المخاوف من مسألة السناج الرمادي سابقة لأوانها. ومع مـرور عشرات السنين، سوف تتاح لنـا فسحة كبيرة من الوقت تسمح لنا أن نصمـم وسائل وقاية ضد النانوبوتات حتـى لا تتوحش. فمثلاً، يمكن تصميم نظام تعطيل، بحيث تصبح جميع النانوبوتات عديمة الفائدة بمجرد الضغط على زر الفزع. أو يمكن تصنيع (روبوتات قاتلة) مصممة خصيصا للبحث عن النانوبوتات وتدميرها، إن هي خرجت عن نطاق سيطرتنا.

وهنـاك أسلوب آخر للتعامل مع هذا الأمـر، ألا وهو: دراسة (الطبيعة) صاحبـة الخبرة الممتـدة لمليـارات السنـين في التعامل مع هـذه المشكلة. إن عالمنـا ملـيء بأشكال الحيـاة الجزيئية التـي تستنسخ ذاتهـا، والمسماة بالفيروسـات والبكتريا، والتي يمكنهـا أن تنقسم وتتكاثر حتى تخرج عن نطـاق السيطرة، بل وأن تطرأ عليها طفرات كذلك. والحقيقة أن أجسامنا أيضا صنعت (نانوبوتات) خاصة بها، وهي الأجسام المضادة وخلايا الدم البيضـاء داخل جهاز مناعتنا التي تبحث عن تلك الأشكال الحيوية الغريبة وتدمرها. ومن المؤكد أن هذا النظام غير مثالي تماما، لكنه يقدم لنا نموذجا للتعامل مع مشكلة خروج النانوبوتات عن نطاق السيطرة.

الأثر الاجتماعي لأجهزة النسخ

في أحـد البرامج الخاصة لحسـاب قناة بي بـي سي/ديسكفري /BBC Discovery Channel، استضفـت ذات مرة جويل جارو Joel Garreau، مؤلف كتاب (ثورة جذريـة) Radical Revolution، الذي قال: (إذا قدر لجهـاز المجمع الذاتـي أن يظهر إلى الوجود يوما مـا، فسوف تكون تلك واحدةً مـن اللحظات الفارقة العظيمة في التاريـخ! حينها، نتحدث فعلا عن تغيير العالم إلى شيء لم نعرفه من قبل).

هنـاك قول مأثـور ينصحنا بأن نكـون حذرين في أمانينـا، فقد تتحول إلى حقيقـة ذات يوم. والكأس المقدسة لتكنولوجيـا النانو تتمثل في خلق المجمع الجزيئي، أو الجهاز الناسخ، لكنه بمجرد ابتكاره من الممكن أن يغير الأساس نفسه الذي يقوم عليه المجتمع عينـه. فجميع الفلسفات والنظم الاجتماعية مبنية، في نهاية المطاف، على مسألتي: الندرة والفقر. وطوال مسـيرة التاريخ الإنساني، كانت تلك هي الفكـرة الأساسية التي تدور في أرجـاء المجتمع، وتشكل ثقافاتنا وفلسفاتنا وأديانا. ففي بعض الديانات، ينظـر إلى الوفرة باعتبارها مكافأة ربانية، والفقر ليس إلا عقابا من الخالق. وعلى النقيض، تقـوم البوذية على الطبيعة العالميـة للمعاناة وكيفية تكيفنا معهـا. وفي المسيحية، يقول العهـد الجديد: (إن مرور جمل من ثقب إبرة أيسر من أن يدخل غني إلى ملكوت الله).

إن توزيع الثروة يحدد أيضا المجتمع نفسه. فالنظام الإقطاعي يقوم على المحافظـة على الـثروة في أيدي حفنة من الأرستقراطيـين، مقابل أن يظل الفلاحون على فقرهم. أما الرأسمالية فتقوم على فكرة أن يكافأ ذوو الهمة

والنشاط من المنتجين على كدهم بـأن يفتتحوا شركات، فيصبحوا أثرياء. لكـن إذا تمكن الكسولون غير المنتجين من اكتسـاب ما يريدون الحصول عليـه مجانا، بضغطة زر، فإن الرأسماليـة تقوض من أساسها. وهكذا، فإن جهـاز النسـخ قد يقلب الأوضـاع كلها رأسا على عقـب، وفي مقدمتها العلاقات الإنسانيـة. وقد تتلاشى الفوارق بين الأغنيـاء والفقراء، ومعها فكرة المنزلة الاجتماعية والنفوذ السياسي.

ولقد تمت مناقشة هذا اللغز في إحدى حلقات مسلسل (رحلة النجوم) Star Trek، بعنـوان (الجيـل القـادم) The Next Generation. ففي هذه الحلقـة، عُثِر على إحدى كبسولات الفضاء التي تعـود إلى القرن العشرين سابحـة في الفضـاء الخارجي. وداخـل الكبسولـة كانت هنـاك أجسام مجمـدة لأناس عانوا من أمراض مستعصية تعود إلى تلك الحقبة البدائية من الزمـن. وقد جمدت هذه الأجسام على أمل إعـادة الحياة إليها مستقبلا. وسرعان ما يعالج أطباء سفينة الفضاء إنتربرايز هؤلاء الأفراد من أمراضهم، ويعيـدوا إليهم الحياة من جديد. ويندهش هؤلاء الناس سعداء الحظ من أن مغامرتهم قد أثمرت، غير أن واحدا منهم كان رأسماليا داهية. فكان أول ما سأل عنه: في أي زمن نحن؟ وعندما علم أنه في القرن الرابع والعشرين، سرعـان ما أدرك أن استثماراته لابد أنها تساوي ثروة الآن. لذا طلب على الفور الاتصال بمسؤول البنك الذي يتعامل معه على كوكب الأرض. غير أن طاقم إنتربرايـز يصاب بالدهشة، متسائلاً: أمـوال؟ استثمارات؟ هذه الأشيـاء لم يعد لها وجود في المستقبل. ففي القرن الرابع والعشرين، كل ما عليك هو أن تطلب فتجاب.

وهـذا يثير أيضا مسألـة البحث عن المجتمـع المثالي أو المدينـة الفاضلة (يوتوبيـا)، وهي كلمـة صيغت في رواية من تأليف سـير توماس مور Sir Thomas More عام 1516 بعنـوان (يوتوبيا) Utopia. فلما أفزعته المعاناة والظروف السيئة التي كان يراها من حوله، تخيل مور فردوسا على جزيرة خياليـة بالمحيط الأطلنطـي. وفي القرن التاسع عشر، ظهـرت العديد من الحـركات الاجتماعية في أوروبا التي تبحث عن أشكال متباينة من المدينة الفاضلـة. وقد وجـد العديد منها ملاذه في الفـرار إلى الولايات المتحدة، حيث نرى أدلة على مستعمراتهم حتى يومنا هذا.

ويبـدو أنـه من هذه الناحية يمكـن لجهاز النسخ أن يمنحنـا مدينة فاضلة كانـت ذات يـوم خيالا في أذهان حالمـي القرن التاسع عشـر. فإذا كانت تجـارب اليوتوبيـا السابقة قـد أخفقت بسبـب الندرة، ممـا أدى لانعدام المسـاواة، ثم الشحناء، وأخـيرا الانهيار. فربما تتمكـن أجهزة النسخ من حل هـذه المشكلة، وعندها تكون المدينة الفاضلـة أمرا في متناول أيدينا. فتزدهر الفنون والموسيقـى والشعر، ويكون الناس أحرارا في التنقيب عن أكثر أحلامهم ورغباتهم جموحا.

لكن من ناحيـة أخرى، قد يؤدي عدم وجود عامـل محفز، وهو الندرة والمـال، إلى الانغماس في الملذات، فيتحلل المجتمع الذي سيغرق إلى أحط مستوياته. فحفنة قليلة للغاية من الناس ستناضل من أجل كتابة الشعر مثلاً، وهي تلك التي تحمل بين جوانحها دوافع قوية لذلك. أما الباقون، حسبما يزعم النقاد، فسوف يصبحون كسالى لا يصلحون لعمل أي شيء.

بيد أنه حتى التعريفات التـي يستخدمها المنادون بفكرة المدينة الفاضلة

تستدعي الريبة. فالشعار الذي يردده دعاة الاشتراكية مثلاً هو: (خذ من كل فرد حسب قدرته، وأعط كل فرد حسب إسهامه). أما شعار الشيوعية، وهي أعلى مراتب الاشتراكية، فهو: (الكل يعطي حسب قدرته، والكل ينال حسب حاجته).

والواقع أنه لو كانت أجهزة النسخ ممكنة، فإن الشعار الذي سيتردد يصبح ببساطة: (الكل ينال حسب رغبته).

وتجدر الإشارة إلى أن هناك أسلوبا ثالثا لبحث هذه المسألة. فوفق قاعدة رجل الكهف، لم تتغير السمات الشخصية الأساسية للبشر كثيرا خلال المئة ألف عام الماضية. ففي ذلك التاريخ السحيق، لم يكن هناك ما يعرف بالوظيفة. ويقول علماء الأنثروبولوجي إن المجتمعات البدائية كانت شيوعية إلى حد كبير؛ تتقاسم السلع والمعاناة بالتساوي. ولم تكن الإيقاعات اليومية محكومة بوظيفة وأجر، إذ لم يكن أي من هذين الاثنين موجودا وقتئذ.

والحقيقة أن الناس وقتها لم يتحولوا إلى كسالى، لأسباب عدة. أولا، إنهم كانوا سيتضورون جوعا حتى الموت لو حدث ذلك. فأولئك الذين لا يؤدون نصيبهم من العمل كانوا ببساطة يطردون من القبيلة، وسرعان ما يهلكون بعدها. ثانيا، إن الناس صاروا يتباهون بعملهم، بل ويجدون في المهام التي يؤدونها معنى وقيمة. ثالثا، كانت هناك ضغوط اجتماعية هائلة على الفرد لكي يظل عضوا منتجا في المجتمع. فالأفراد المنتجون صار في إمكانهم أن يتزوجوا حتى ينقلوا صفاتهم الوراثية للجيل التالي، أما جينات الكسالى فعادة كانت تموت معهم.

لكن لماذا يعيش الناس حياة إنتاجية عند ابتكار أجهزة النسخ التي ستجعل كل فـرد قادرا على الحصول على أي شيء يريده؟ إن أجهزة النسخ سوف تضمـن ألا يتضور أي إنسان جوعا. لكن معظـم الناس سوف يستمرون في العمـل، على الأرجـح، لأنهم فخورون بمهاراتهـم ويجدون معنى لما يقومون به من عمل. أما مسألة الضغوط الاجتماعية فسيكون من الصعب الحفـاظ عليها دون انتهاك للحريات الشخصيـة. ومن المحتمل أن يكون هناك تحول رئيسي في التعليم نحو تغيير مواقف الناس تجاه العمل والمكافأة عليه، بدلاً من هذه الضغوط، بحيث لا يساء استغلال جهاز النسخ.

ولمـا كان التقـدم سيصير بطيئا، لحسـن الحظ، وجهاز النسـخ يبعد عنا قرنـا من الزمان، فإنه ما يـزال أمام المجتمع متسع من الوقت لكي يتجادل بشـأن مزايا وتطبيقات تلك التقنية والتكيف مع واقع جديد حتى لا ينهار المجتمع.

وأغلـب الظـن أن أول أجهـزة النسخ سـوف تكون باهظـة التكلفة. وحسبما يقول خبير الروبوتيكس بمعهد ماساشوستس للتكنولوجيا رودني بروووكس Rodney Brooks: (سوف تزدهر تكنولوجيا النانو، على نحو يشبه كثيرا ازدهار الطباعة الضوئية photolithography؛ في ظروف باهظة التكلفة، خاضعة للسيطرة، وليس باعتبارها تكنولوجيا للتسويق العام). ولن تمثل مشكلة السلع المجانية غير المحدودة مشكلة كبيرة. فنظرا لتعقيد تلـك الماكينات، قد يستغرق الأمر عقـودا كثيرة بعد صنع أول جهاز منها حتى تنخفض تكلفة إنتاجها.

وقد دار حوار شائق ذات يوم بيني وبين جاميز كاشيو Jamais Cascio،

وهـو من رواد المستقبليـين وصاحب تاريخ طويل مـن التأملات الفكرية حـول الخطوط العريضة للمستقبـل. وأولاً، قال لي إنه متشكك في نظرية (التفـرد) التي تحدثنا عنهـا في الفصل الثاني، مؤكـدا أن الطبيعة الإنسانية والقـوى الديناميكية الاجتماعية شديدة التداخل والتعقيد ولا يمكن التنبؤ بهـا، وبالتالي لا يمكـن وضعها في قالب نظري بسيـط ومرتب. لكنه في الوقت نفسه أقر بأن التطورات غير العادية في تكنولوجيا النانو قد تخلق، في نهايـة المطاف، مجتمعـا يتمتع بوفرة مفرطـة في السلع، لاسيما في ظل وجـود أجهزة النسـخ والروبوتات. لذا سألته: كيـف سيتصرف المجتمع عندمـا تصبـح السلع شبه مجانيـة، وعندما يصبح المجتمـع أخيرا من الثراء بحيث لا تعود هناك ضرورة للعمل؟

قال لي إن هناك أمريـن سيحدثان. أولاً، إنه يظن أنه ستكون هناك ثروة كافيـة تضمن حدا أدنى كريما من الدخل للجميع، حتى إذا لم يعملوا. لهذا ربمـا توجد حينئذ نسبة من الناس الذين سيتكاسلون للأبد. وتوقع كاشيو أن تظهر شبكـة أمان دائمة للمجتمع. وقد يكون هذا أمرا غير مستحب، لكنـه لا مفر منـه، لاسيما إذا كانـت أجهزة النسـخ والروبوتات تلبي لنا جميـع احتياجاتنا المادية. ثانيا، سيتم تعويض هذا، حسب ظنه، عن طريق ثـورة في روح الاستثمار والمشاريع. فبعـد أن يتحرر الإنسان من الخوف مـن الانغماس في الفقر والخراب، سيصبح لدى الكثير من رجال الصناعة مزيـد من المبـادرة والرغبة في خوض العديد مـن المخاطر لخلق صناعات جديدة وفرص جديدة للآخرين. كما توقع أيضا نهضة جديدة للمجتمع، بعد تحرر روح الإبداع من الخوف من الإفلاس.

وفي مجـال عملي، علم الفيزياء، أرى أن معظمنا يرتبط بالفيزياء ليس من أجل المال، وإنما من أجل متعة الاكتشاف والابتكار. فكثيرا ما تغاضينا عن قبول وظائف أخـرى يسيل لها اللعاب في ميادين أخرى لأننا نسعى وراء حلمنا، لا وراء الدولار. والفنانون والمفكرون الذين أعرفهم يشعرون هم أيضـا بالشعور ذاته؛ إن هدفهم ليس حشد المـال لتكوين أضخم حساب بنكـي يمكنهم جمعـه، وإنما أن يكونـوا مبدعين وأن يرتقـوا بنبل الروح الإنسانية.

أمـا عن رأيي الشخصي، فإذا صـار المجتمع عام 2100 من الثراء بحيث أصبحنا محاصرين بالثروة المادية، فإنني أشعر أن المجتمع قد يتفاعل بأسلوب مماثل. بالطبع سوف تشكل نسبة من الناس طبقة دائمة ممن يرفضون العمل ببساطـة. لكـن هناك فئة أخرى قد تتحرر من عراقيـل الفقر وتسعى وراء تحقيق إنجازات علمية وفنية خلاقة. وبالنسبة لهؤلاء، سوف تكون البهجة الغامرة التـي يشعرون بها لكونهم مبدعين ومبتكريـن وفنانين أهم بكثير من إغراء العالم المادي. بيد أن الغالبية سوف تظل تعمل وسوف تظل نافعة لمجـرد أن هذا جزء من إرثهـا الجيني، وأعني بهذا قانـون إنسان الكهف الموجود بداخلنا.

وعلـى أية حال، هنـاك مشكلة واحـدة لا يمكن حتى لأجهـزة النسخ حلهـا، ألا وهي: مشكلة الطاقـة. إن كل هذه التقنيات الإعجازية بحاجة لمقادير هائلة من الطاقة لدفعها للأمام. فمن أين ستأتي كل تلك الطاقة؟

الفصل الخامس

مستقبل الطاقة.. طاقة من النجوم

«لم ينته العصر الحجري بسبب نفاد الأحجار؛ لكن عصر النفط سوف ينتهي قبل وقت طويل من نفاد النفط من العالم»

- جيمس كانتون[1]

«في تقديري، يقف (الاندماج) على قدم المساواة في الأهمية مع هبة اكتشاف النار قديما في عصور ما قبل التاريخ»

- بن بوفا[2]

كانت النجـوم مصدر الطاقة للآلهة. فعندمـا كان (أبولو) (إله الشمس عنـد الإغريق) يجـوب السماء في عربـة تجرها خيول تنفث النـار، أضاء السماء والأرض بالطاقة اللانهائية للشمس. ولم تكن هناك قوة تنافس قوته سوى قوة زيوس (كبـير الآلهة) نفسه. وذات مرة، عندما توسلت الأميرة (سيميلـي) – وهـي إحدى عشيقـات زيوس الكثيرات مـن البشر – أن تـراه في صورته الحقيقيـة، أجابها لذلك كارهـا (إذ كان قد وعدها بتلبية أي مطلـب لها)؛ وكانت النتيجة أن أحرقها انفجار الطاقة الكونية الهائلة

(1) جيمـس كانتـون James Canton: كاتب ومؤلف مستقبلي شهير، وعالم اجتماع. ظـل منشغلا طوال ثلاثين عامًا يتنبأ ببصيرة نافذة بالميول الأساسية التي شكلت عالمنا اليوم. وهو مؤلف لعدة روايات حققت نجاحًا كبيرًا. (المترجم)

(2) بن بوفا Ben Bova: كاتب ومحرر خيال علمي أمريكي شهير، حاصل على العديد من الجوائز عن أعماله في مجلة (أنالوج ساينس فيكشن) Analog Science Fiction. (المترجم)

الذي حدث وحولها إلى هشيم.

وفي هـذا القرن من الزمان، سوف نستغل قوة النجوم باعتبارها مصادر الطاقة للآلهة. وعلى المدى القصير، يعني هذا دخول عصر الطاقة الشمسية/الهيدروجينيـة التي ستحل محل الوقود الأحفوري. لكنه على المدى البعيد يعني استغلال طاقة الاندماج النـووي، بل واستغلال الطاقة الشمسية من الفضـاء الخارجي. ويمكن لخطوات متقدمة أخرى في الفيزياء أن تؤدي بنا إلى عصر المغناطيسية الذي ستسبح فيه السيارات والقطارات وحتى ألواح التزلـج في الهواء علـى وسادة مغناطيسية. ويمكـن أن ينخفض استهلاكنا للطاقة بشدة، إذ إن كل الطاقة المستخدمة في السيارات والقطارات تقريبا تُستهلك في التغلب على احتكاك الطريق.

هل هي نهاية عصر النفط؟

يقترن عالمنا اليوم على نحو كامل بالوقود الأحفوري، في صورة: نفط، وغاز طبيعي، وفحم. فالعالم كله مجتمعا يستهلك نحو 14 تريليون وات من الطاقـة؛ تأتـي نسبة 33 في المائة منها من النفـط، و25 في المائة من الفحم، و20 في المائـة من الغاز، و7 في المائـة من المفاعلات النووية، و15 في المائة مـن الكتلة البيولوجية والطاقة الكهربائية المائية، ونسبة زهيدة لا تزيد عن 0.5 في المائة من النظام الشمسي ومصادر الطاقة المتجددة.

ومن دون الوقود الأحفوري سوف يتوقف اقتصاد العالم توقفا مباغتا.

وقـد كان إم. كينج هوبرت M. King Hubbert، أحد مهندسي البترول في شركـة شيـل أويل Shell Oil، واحـدا ممن تنبئوا بوضـوح بنهاية عصر

النفـط. ففي عـام 1956، ألقى هوبـرت خطابا واسع الأثر أمـام المؤسسة الأمريكية للبترول American Petroleum Institute، ملقيا بنبوءة مزعجة استهـزأ بها زملاؤه في جميع أنحاء العـالم في ذلك الوقت. وكانت نبوءته تلـك أن احتياطيات النفط لدى الولايات المتحـدة تُستنزف بسرعة كبيرة إلى حد أنه سرعان ما ستكون أمريكا قد استخرجت 50 في المائة من النفط من باطـن الأرض، وهو ما سيبـدأ حقبة من التدهـور المستمر غير القابل للإصـلاح في وقت ما بين عامي 1965 و1971. لقد رأى أن إجمالي كمية النفط في الولايات المتحدة يمكن تمثيله في صورة منحنى جرسي، وأننا كنا في ذلـك الوقت بالقرب من قمة هذا المنحنـى. ومن ثم، تنبأ أنه منذ ذلك الوقـت فصاعدا لن تزيد الأمور إلا تدهورا. وكان هذا يعني زيادة صعوبة استخـراج النفط وتكريره، وأن يحدث ما لا يتصـوره أحد؛ وهو أن تبدأ الولايات المتحدة في استيراد النفط.

وفي ذلك الوقت، بدت نبوءة هوبرت طائشة هوجاء، بل حتى مستغربة وغـير مسؤولة، إذ كانت الولايات المتحدة مستمرة في ضخ كميات هائلة مـن النفط مـن ولاية تكساس وغيرهـا من الأماكن في هـذه البلاد. لكن مهندسـي البترول توقفوا الآن عن السخرية من تلك النبوءة؛ فلقد أصابت نبـوءة هوبرت كبـد الحقيقة. وبحلـول عـام 1970، وصل إنتـاج النفط الأمريكي ذروة قدرها 10.2 مليون برميل يوميا، ثم بدأ في الهبوط، ولم يعد لسابـق عهده بعدها قط. واليوم، أصبحـت الولايات المتحدة تستورد 59 في المائة من النفط الذي تستخدمه. ولو أنك قارنت رسما بيانيا لتقديرات هوبـرت التي وضعها منذ عقود خلت من الزمان برسم آخر لإنتاج النفط

الفعلي للولايات المتحدة حتى عام 2005، فستجد أن المنحنيين يكادان يكونان متطابقين.

والسؤال الجوهري الذي يواجه مهندسي البترول الآن: هل وصلنا لذروة منحنى هوبرت فيما يتعلق باحتياطيات النفط العالمية؟ فقد تنبأ هوبرت أيضا في ذلك الوقت، عام 1956، بأن إنتاج النفط العالمي سيصل إلى الذروة خلال خمسين عاما. ومن المحتمل أن يكون على حق كذلك في هذا الأمر. تُرى عندما يتذكر أبناؤنا تلك الحقبة من الزمان، هل سينظرون للوقود الأحفوري بالطريقة ذاتها التي ننظر بها نحن اليوم لزيت الحوت؛ أي باعتباره مجرد أثر باق من الماضي البعيد؟

لقد ألقيت العديد من المحاضرات في المملكة العربية السعودية وفي جميع أنحاء الشرق الأوسط، متحدثا عن العلم والطاقة والمستقبل. ومن المعلوم أن المملكة العربية السعودية تمتلك 267 مليار برميل من النفط، لذا فإن هذا البلد يبدو كأنه يعوم على بحيرة ضخمة من النفط الخام تحت الأرض. وعند التنقل عبر أنحاء المملكة العربية السعودية ودول الخليج العربي، أرى إهدارا هائلا للطاقة؛ إذ تتفجر ينابيع ضخمة من الماء صانعة بركا وبحيرات صناعية هائلة في وسط الصحراء. بل إن في دُبي منحدر تزلج جليدي مغلقا يحتوي على آلاف الأطنان من الجليد الصناعي، في تحدٍ مطلق للحر القائظ المهيمن بالخارج على البيئة الطبيعية.

غير أن وزراء النفط يشعرون الآن بالقلق. فوراء كل الخطابات البلاغية التي تتحدث عن (احتياطيات النفط المؤكدة) التي من المفترض أن تُطمئننا أن لدينا وفرة من النفط تكفينا لعقود وعقود تالية، هناك إدراك أن العديد من

تلـك الأرقام النفطية الرسمية ما هي إلا شكل مُضلل من الادعاء الكاذب. إن (احتياطيـات النفط المؤكدة) تبدو موثوقة وحاسمة على نحو مُطمئن، إلى أن تدرك أن أرقام الاحتياطيات غالبا ما تكون من صنع التفكير المتمني المتفائل لوزراء النفط المحليين والضغط السياسي الذي يمارس عليهم.

ومـن خلال التحـدث مع خبراء الطاقـة، استطعت أن ألاحـظ ما يشبه الإجمـاع على أننـا: إما وصلنا بالفعل لذروة منحنـى هوبرت فيما يتعلق بإنتـاج النفط العالمي، وإما أننا على بعـد عقد واحد من بلوغ تلك النقطة المصيريـة الحاسمة. ويعني هذا أننـا في المستقبل القريب قد ندخل فترة من الانحدار غير القابل للإصلاح.

لـن ينفد النفط المتـاح للبشرية علـى نحو مطلق بالطبـع؛ فهناك حقول نفـط تُكتشف كل يوم، لكـن تكاليف استخراج وتكريـر النفط الموجود في تلـك الحقول سترتفع بالتدريج بسرعة هائلة. فكندا، على سبيل المثال، تمتلـك حقولا ضخمة من الرمال المشبعة بالقـار، وهي كافية لتزويد العالم باحتياجاتـه من النفط لعقود تالية، غير أن تكلفة استخراج النفط وتكريره منها باهظة. والأرجـح أن الولايات المتحدة تمتلك احتياطيات من الفحم تكفي لمـدة 300 سنة، لكن هناك قيودا قانونية علـى استخراجها، كما أن تنقيتها من كل الملوثات الصلبة والغازية أمر عسير وهائل التكلفة.

علاوة على ذلك، يستمر النفـط في الظهور في مناطق مضطربة سياسيا مـن العالم، مما يسهم في عدم الاستقرار الخارجي. وعند تمثيل أسعار النفط على رسم بياني عبر العقود، سنجد أنها أشبه بقطار ملاهٍ آخذ في الارتفاع والانخفاض على نحو حاد مفاجئ؛ إذ وصلت الأسعار إلى ذروتها بقيمة

مدهشة بلغت 140 دولارا للبرميل عام 2008 (وأكثر من 4 دولارات للجالون في محطات الوقود)، ثم تراجعت بحدة بسبب الأزمة الاقتصادية العالمية. ورغم التقلبات الجامحة بسبب الاضطرابات السياسية، والتوقعات الاقتصادية، والشائعات وما إلى ذلك، فهناك شيء واحد واضح تماما، وهو أن متوسط سعر النفط سيواصل الارتفاع على المدى البعيد.

وسوف يكون لهذا آثاره العميقة على الاقتصاد العالمي. فالنهضة السريعة للحضارة الحديثة خلال القرن العشرين كان وقودها شيئين: النفط زهيد السعر، و(قانون مور) Moore›s law. ومع ارتفاع أسعار الطاقة، يزداد الضغط على إمدادات الغذاء في العالم، وتقل فرص السيطرة على التلوث والحد منه. وكما قال الروائي جيري بورنيلي Jerry Pournelle، فإن (الغذاء والتلوث ليسا مشكلتين رئيستين: إنهما مشكلتا طاقة. فإذا استطعنا توليد طاقة كافية، فسوف نتمكن من إنتاج أي قدر نريده من الغذاء – إذا اقتضت الحاجة – بواسطة الوسائل العالية الكثافة الإنتاجية، كالزراعة في الماء[1] hydroponics والصوب الزجاجية greenhouses. وكذلك الحال مع مشكلة التلوث؛ فلو أننا استطعنا توليد طاقة كافية، لأمكننا تحويل المواد الملوثة إلى منتجات طيعة ومفيدة. وإذا اقتضى الأمر، يمكننا تحليلها إلى عناصرها الأساسية).

(1) الزراعة في الماء hydroponics: الزراعة من دون تربة. وتزرع النباتات من خلالها في سائل مكون من ماء ومحلول مغذ (سائل يحتوي على المواد الغذائية الأساسية التي يحتاجها النبات). ويتميز هذا النظام بأنه لا يحتاج للتربة والسماد وغيرها، بل يعتمد بشكل أساسي على المحلول. ويتميز أيضا بإنتاج محاصيل بكميات أكبر في فترة أوجز. أما سلبياته فتتمثل في ارتفاع تكلفته. (المترجم)

كمـا أننا نواجـه مشكلة أخـرى، ألا وهي: انبثاق الطبقـة الوسطى في الصـين والهند، وهو أحد التغـيرات الديموغرافية الكبرى في حقبة ما بعد الحـرب؛ ما فرض ضغطا هائلا على أسعار النفط والسلع الأخرى. فعندما يرى هؤلاء شطائـر هامبرجر ماكدونالدز ومرآب السيـارات المنزلية التي تتسـع لسيارتين في أفلام هوليـوود، فإنهم أيضا يرغبـون في عيش الحلم الأمريكي المتمثل في استهلاك الطاقة بإسراف.

المستقبل القريب
(من الوقت الحاضر حتى عام 2030)

الاقتصاد الشمسي/الهيدروجيني

في هذا الصدد، يبدو التاريخ كأنه يعيد نفسه. ففي أوائل القرن العشرين، تراهن كل من هنري فورد Henry Ford وتوماس إديسون Thomas Edison، وهما اثنان ظلا أصدقاء لفترة طويلة جدا، على نوع المصدر الذي يمكن أن يزود البشر بالطاقة في المستقبل. فراهن فورد على أن النفط سيحل محل الفحم، وأن محركات الاحتراق الداخلي ستحل محل المحركات البخارية. وراهن إديسون على السيارة الكهربائية. وكان هذا رهانا محسوما تركت نتيجته أثرا عميقا في تاريخ العالم. وقد بدا لبعض الوقت أن إديسون سيربح الرهان، إذ كان الحصول على زيت الحوت لا يتأتى إلا بصعوبة بالغة. غير أن الاكتشاف السريع لحقول النفط الرخيص في الشرق الأوسط وغيره من الأماكن حول العالم سرعان ما حول الدفة ليفوز فورد بالرهان. ولم يعد العالم لسابق عهده منذ ذلك الوقت قط. ولم تستطع البطاريات الكهربائية مجاراة النجاح المدوي للبنزين (حتى في يومنا هذا، يحتوي البنزين على ما يقرب من أربعين ضعف الطاقة التي تولدها البطاريات، مقابل الثمن نفسه).

لكن الدفة الآن تتحول مرة أخرى ببطء. ولعل إديسون سيكون الفائز في النهاية، بعد مرور قرن من الزمان على هذا الرهان.

والسـؤال الذي يُطـرح في أروقة الحكومة والصناعـة: ما الذي سيحل محل النفط؟ والواقع أنه ليست هناك إجابة واضحة عن هذا السؤال. فعلى المـدى القريب، ما من بديل فوري للوقود الأحفوري. والمرجح بشدة أنه سيكون هناك مزيج من مصادر الطاقة، دون أن يهيمن أحدها على البقية.

غـير أن خليفة النفط المتوقع والمبشر أكثر من غـيره هو الطاقة الشمسية/الهيدروجينية (معتمدة على تقنيات متجددة، مثل: طاقة الشمس، وطاقة الرياح، والطاقة الكهربائية المائية، والهيدروجين).

وفي الوقـت الحالي، تبلغ تكلفـة الكهرباء المولدة مـن الخلايا الشمسية عـدة أضعـاف ثمـن الكهرباء المولـدة من الفحـم. إلا أن تكلفـة الطاقة الشمسية/الهيدروجينية آخذة في الانخفاض باستمرار بسبب الابتكارات التكنولوجيـة الثابتة والمستمرة، في حين تواصل تكلفة الوقود الأحفوري ارتفاعها البطـيء. وهناك تقديرات بأن المنحنيـين سيتقاطعان في غضون عشر سنوات أو خمس عشرة سنة من الآن. وحينها ستتكفل قوى السوق بالباقي.

طاقة الرياح

علـى المدى القصير، ستحقق مصادر الطاقة المتجددة، مثل طاقة الرياح، نصـرا كبيرا. فعلى نطاق عالمي، زاد حجـم توليد الطاقة من الرياح من 17 مليـار وات عـام 2000 إلى 121 مليار وات عام 2008. نعم، لقد أصبحت طاقـة الرياح – التي اعتُبرت في وقت من الأوقات عنصرا ضئيل القيمة – ذات أهمية متزايدة. فقد أدت التطورات الحديثة في تكنولوجيا توربينات

الريـاح إلى زيادة كفاءة وإنتاجيـة حقول توليد الطاقة من الرياح، التي تعد أحد أسرع القطاعات نموا في سوق الطاقة.

إن حقول توليد الطاقة من الرياح اليوم تختلف كثيرا عن طواحين الهواء القديمة التـي كانت تزود المزارع والمطاحن بالطاقة في القرن التاسع عشر. فيمكن لمولد واحد للطاقة من الرياح أن ينتج 5 ميجاوات من الطاقة النظيفة الآمنة، وهو قدر من الطاقة يكفي احتياجات قرية صغيرة. ويتكون توربين الرياح من مجموعة شفرات مصقولة عملاقة، يبلغ طول الواحدة منها 100 قدم، وهي تدور بـلا أدنى احتكاك تقريبا. وتولد توربينات الرياح الطاقة الكهربائيـة بنفس طريقة مولدات السدود المائيـة الكهربائية والدراجات الهوائيـة. فالحركـة الدائرية تديـر مغناطيسا داخل ملـف؛ فيدفع المجال المغناطيسـي الدوار الإلكترونـات[1] electrons داخل الملـف مولدا تيارا مـن الطاقة الكهربائيـة. ويمكن لحقل واحد كبير من حقـول توليد الطاقة بالريـاح، يتكون مـن 100 طاحونة رياح، أن يولـد 500 ميجاوات، وهو قـدر معقول بالمقارنة بما قيمته 1000 ميجاوات يولدها مصنع واحد لحرق الفحم أو لتوليد الطاقة النووية.

وعلـى مـدار العقـود القليلـة الماضيـة، كانـت أوروبا رائـدة العالم في تكنولوجيا توليد الطاقة بواسطة الرياح. لكن الولايات المتحدة الأمريكية تفوقـت مؤخرا في هذا المجال. ففي عام 2009، أنتجت الولايات المتحدة

(1) الإلكترون (electron): رمزه: (e) جسيم دون ذري كروي الشكل تقريبًا، مكون للذرة ويحمل شحنة كهربائية سالبة. ولم يكـن من المعروف بأن لديها مكونات أو جسيمات أصغر، لذا فقد اعتبرت بأنها جسيمات أولية. فالإلكترون لديه كتلة تعادل تقريبا 1/1836 من كتلة البروتون. (المترجم)

28 مليار وات باستخدام هذه الطاقة. وقد ساهمت ولاية تكساس وحدها بـ8 مليارات وات منها، وهناك حقول أخرى تحت الإنشاء يمكنها توليد مليار وات أخرى، والمزيد منها ما يزال في مرحلة التطوير. وإذا سارت الأمور كما هو مخطط لها، فسوف تنتج تكساس 50 مليار وات من الطاقة الكهربائية المتولدة عن طاقة الرياح، وهو قدر أكثر من كاف لتلبية احتياجات سكان الولاية البالغ عددهم 24 مليون نسمة.

وسوف تتفوق الصين قريبا على الولايات المتحدة في توليد الطاقة من الرياح؛ فبرنامجها لتوليد الطاقة بواسطة الرياح سينشئ ستة حقول رياح بقدرة توليد تبلغ 127 مليار وات.

ورغم أن طاقة الرياح تبدو جذابة على نحو متزايد، ولا شك أنها ستنمو في المستقبل، فإنها لا تستطيع تزويد العالم بالجزء الأكبر من الطاقة التي يحتاجها. وفي أفضل الأحوال، ستكون طاقة الرياح جزءا مكملا ضمن مزيج أكبر من مصادر الطاقة. ذلك أن توليد الطاقة من الرياح أمر يواجه العديد من المشاكل؛ فالطاقة التي تولدها الرياح طاقة متقطعة لا يمكن توليدها إلا عندما تهب الرياح، ولا يمكن توليدها سوى في بضع مناطق أساسية حول العالم. كما أن حقول توليد تلك الطاقة لابد أن تكون قريبة من المدن بسبب الخسائر الناتجة عن نقل الكهرباء، وهو ما يزيد من تحجيم فائدتها.

الطاقة الشمسية

تنبع جميع أنواع الطاقة في الأساس من الشمس. فحتى النفط والفحم يمكن اعتبارهما – من أحد الوجوه – صورة من ضوء الشمس المكثف،

إذ يمثلان الطاقة التي امتلكتها النباتات والحيوانات منذ ملايين السنين. ونتيجة لذلك، فإن قدر الطاقة المستمدة من ضوء الشمس المكثف الذي يحتوي عليه جالون واحد من البنزين أكبر بكثير من الطاقة التي يمكننا تخزينها في بطارية كهربائية. وكانت تلك هي المشكلة الكبرى التي واجهت توماس إديسون في القرن الماضي، وهي المشكلة ذاتها التي نواجهها اليوم.

وتعمل الخلايا الشمسية عن طريق تحويل ضوء الشمس مباشرة إلى كهرباء. (شرح أينشتاين Einstein هذه العملية عام 1905. فعندما يصطدم جسيم من الضوء، أو فوتون[1] photon، بجسم معدني فإنه يزيح إلكترونا، وبهذا ينشئ تيارا كهربائيا).

غير أن الخلايا الشمسية لا تتسم بالكفاءة. فحتى بعد عقود من الجهد الشاق الذي بذله المهندسون والعلماء، فإن كفاءة الخلايا الشمسية تتأرجح حول نسبة 15 في المائة. لذا فقد اتخذت الأبحاث اتجاهين؛ الاتجاه الأول: زيادة كفاءة الخلايا الشمسية، وتلك مشكلة فنية في غاية الصعوبة. والاتجاه الآخر: تقليل تكلفة تصنيع وتركيب وإنشاء محطات الخلايا الشمسية.

وعلى سبيل المثال، قد يمكننا تلبية الاحتياجات الكهربائية للولايات المتحدة الأمريكية كلها عن طريق تغطية ولاية أريزونا كاملة بالخلايا الشمسية، وهو أمر غير عملي صعب التنفيذ. بيد أن حقوق ملكية أجزاء

(1) الفوتون photon: الجسيم الأولي المسؤول عن الظواهر الكهرومغناطيسية، والوحدة الأساسية للضوء وجميع أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي الأخرى. ويحمل الفوتون موجات كل أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي. ويتسم الفوتون بأنه معدوم كتلة السكون، ومعدوم الشحنة الكهربائية، بالإضافة لكونه ينتقل في الفراغ بسرعة الضوء. (المترجم)

كبـيرة من الصحراء الكبرى أصبحت فجأة موضوعا جدليا مثيرا. وقد بدأ المستثمـرون بالفعل في إنشاء محطات شمسية ضخمـة في الصحراء لتلبية احتياجات المستهلكين الأوروبيين.

وفي المـدن، قد نستطيـع تقليل تكلفة الطاقـة الشمسيـة بتغطية أسطح البيـوت والمباني بالخلايا الشمسيـة. وسيكون لهذا العديد من المزايا، ومن بينهـا تجنب الخسائـر التي تحدث أثناء نقل الطاقة مـن محطة مركزية لتوليد الطاقة. ولا شك أن المشكلة الحقيقية تكمن في إمكانية تخفيض النفقات. فعمليـة حسابية بسيطة ستبين لنا الحاجة لاستغلال كل دولار بفعالية لكي تحقق تلك المشاريع أرباحا.

ورغـم أن الطاقـة الشمسية لم ترتـق بعد إلى تحقيق ما هـو مأمول منها، فـإن الاضطراب الحـالي في أسعار النفط استحث الجهـود من أجل طرح الطاقة الشمسية في الأسواق أخيرا. وربما تتغير الأحوال؛ فالأرقام القياسية تتحطم كل بضعة أشهر قليلة، وإنتاج الفولتية الشمسية يزداد بنسبة 45 في المائة سنويا، أي أنه يكاد يتضاعف كل عامين. وعلى مستوى العالم أجمع، وصل مقدار الطاقة الكهربائية المتولدة من الضوء الآن إلى 15 مليار وات. (نما هذا المقدار بقيمة 5.6 مليارات وات في عام 2008 وحده).

وقـد أعلنت شركة (فلوريدا بـاور أند لايت) Florida Power & Light لإنتـاج الطاقـة والضوء، عام 2008، عـن مشروع لبناء أكـبر محطة للطاقة الشمسيـة في الولايات المتحدة. ففازت بهذا التعاقـد شركة (صان باور) SunPower التـي تخطط لتوليد 25 ميجاوات من الطاقة. (صاحب الرقم القياسـي في الولايات المتحدة الأمريكية قاعـدة نيليز للقوات الجوية، في

نيفادا، التي تمتلك محطة تولد 15 ميجاوات من الطاقة الشمسية).

كما ستنشئ شركة (برايت سورس) BrightSource محطة (إيفانباه) Ivanpah الشمسية التي تتكون من ثلاثة مصانع شمسية حرارية ستقام في جنوب كاليفورنيا، وستولد 440 ميجاوات من الطاقة. وفي مشروع مشترك مع شركة (باسيفيك جاس أند إلكتريك) Pacific Gas and Electric، تخطط شركة برايت سورس لبناء محطة بطاقة 1.3 مليار وات في صحراء موهافي Mojave Desert.

وفي عام 2009، أعلنت شركة (فيرست سولار) First Solar، وهي كبرى شركات العالم في تصنيع الخلايا الشمسية، أنها ستبني أكبر محطة للطاقة الشمسية في العالم شمال سور الصين العظيم مباشرة. ويتصور العقد الممتد لعشر سنوات – والذي ما يزال التفاوض على بنوده وتفاصيله مستمرا – بناء مجمع مصانع عملاق للطاقة الشمسية، يضم 27 مليون شراع رقيق من الألواح الشمسية التي ستولد 2 مليار وات من الطاقة؛ أي ما يعادل طاقة مصنعين من مصانع حرق الفحم، وهو ما سينتج طاقة كافية لتزويد 3 ملايين منزل باحتياجاتها من الطاقة. وسيتم بناء المحطة – التي ستغطي مساحة خمسة وعشرين ميلا مربعا – في قلب منغوليا، وهي في واقع الأمر مجرد جزء من مشروع أكبر كثيرا لتوليد الطاقة. ويقول المسئولون الصينيون إن الطاقة الشمسية مجرد عنصر واحد من عناصر هذا المشروع الذي سيوفر في النهاية 12 مليار وات من خلال طاقة الرياح، والطاقة الشمسية، والكتلة البيولوجية، والكهرباء المائية.

وسوف يتكشف لنا مع مرور الوقت ما إذا كانت تلك المشاريع الطموحة

ستتغلب في النهاية على تحدي الفحوص البيئية والتكاليف الزائدة أم لا. بيد أن الثابت أن الاقتصاديات الشمسية تتعرض تدريجيا لتغيرات هائلة؛ ذلك أن شركات الطاقة الشمسية أصبحت تنظر لهذا النوع من الطاقة جديا باعتباره منافسا للوقود الأحفوري.

السيارة الكهربائية

لما كانت السيارات، والشاحنات، والقطارات، والطائرات تستهلك نحو نصف إنتاج العالم من النفط، فهناك استفادة كبيرة يمكن أن تترتب على إصلاح هذا القطاع الاقتصادي. وهناك الآن سباق لمعرفة من الذي سيهيمن على مستقبل المركبات الأوتوماتيكية، بينما تمر الأمم بالتحول التاريخي من الوقود الأحفوري إلى الكهرباء. وهناك مراحل عديدة لهذا التحول: المرحلة الأولى هي مرحلة السيارة الهجين، وهي موجودة بالفعل في الأسواق، وتستخدم مزيجا من الكهرباء المستمدة من البطاريات والبنزين. ويستخدم هذا التصميم محرك احتراق داخلي صغيرا لحل المشكلات القديمة للبطاريات (فمن الصعب صنع بطارية يمكنها العمل لمسافات طويلة بالإضافة إلى توفير تسارع فوري).

غير أن مرحلة الهجين مجرد خطوة أولى. فالسيارة الهجين المزودة بالكهرباء تحتوي على بطارية قوية بما يكفي لتسيير السيارة بالطاقة الكهربائية مسافة أول خمسين ميلا أو نحو ذلك، قبل أن يصبح من الضروري أن تتحول السيارة إلى محركها الذي يعمل بالبنزين. وحيث إن معظم الناس يقومون بتنقلاتهم من وإلى العمل، ومن أجل التسوق، في

إطـار خمسين ميلا، فهذا يعني أن تلك السيارات تعمل بالكهرباء وحدها خلال هذا الوقت.

وتعـد سيـارة (شيفـي فولـت) Chevy Volt، من إنتـاج شركة (جنرال موتـورز) General Motors، أحـد الإسهامات الرئيسـة في سباق تصنيع المركبات الهجين المزودة بالكهرباء. وتعمل هذه السيارة في نطاق 40 ميلا باستخـدام بطارية ليثيوم – أيون، ونطاق 300 ميل باستخدام محرك البنزين الصغير.

وهنـاك أيضا سيارة (تيسـلا رودسـتر) Tesla Roadster التي لا تحتوي على محـرك بنزين على الإطلاق. وقد صنعت هـذه السيارة شركة (تيسلا موتورز) Tesla Motors، وهي إحدى شركات وادي السليكون، والشركة الوحيـدة في أمريكا الشمالية التي تبيع السيـارات الكهربائية بالكامل في سلسلـة إنتـاج متوالية. والسيارة (رودستر) تلك هي سيـارة رياضية أنيقة يمكنهـا منافسة أي سيارة تعمل بالبنزين على نحو يهدم فكرة أن بطاريات الليثيوم – أيون الكهربائية لا يمكنها منافسة المحركات التي تعمل بالبنزين.

ولقـد واتتني فرصة قيـادة سيارة (تيسلا) ذات مقعديـن، مملوكة لجون هيندريكس John Hendricks، مؤسس شركة (ديسكفري كوميونيكشنز) Discovery Communications، وهـي الشركـة الأم لقنـاة (ديسكفـري تشانيـل) Discovery Channel. وعندما جلست في مقعد القيادة، حثني السيـد هيندريكـس على ضغـط دواسة الوقـود بكل قوتـي لاختبار قوة سيارتـه. وعملا بنصيحتـه، اعتصرت دواسة الوقود حتـى النهاية؛ وعلى الفـور شعرت بقوة الاندفاع المفاجئ للطاقـة، وغاص جسدي في المقعد

عندمـا وصلت لسرعة 60 ميلا في الساعة خلال 3.9 ثوانٍ فقط. وعندها، تيقنـت أن سمـاع مهندس يتحدث متباهيا عـن أداء السيارات التي تعمل بالكهرباء بالكامل شـيء، وتجربة السيارة وضغط دواسة الوقود والشعور بقوة أدائها بنفسك شيء آخر مختلف تماما.

وقد أجـبر التسويق الناجح للسيارة (تيسلا) شركات السيارات الكبرى المهيمنـة علـى سوق السيارات علـى محاولة اللحاق بالركـب، بعد عقود طويلة مـن ازدراء السيارة الكهربائية. ويحكـى أن روبرت لوتز Robert Lutz، عندما كان نائب رئيس شركة جنرال موتورز، قال: (كل العباقرة هنا في جنرال موتورز ظلوا يقولون إن تكنولوجيا الليثيوم – أيون أمامها عشر سنوات لتتطور بفعالية، ووافقتنا تويوتا الرأي. وفجأة، ظهرت تيسلا! لذا قلـت: ‹كيف حدث أن شركة ناشئة صغيرة في كاليفورنيا، يديرها أفراد لا يعرفون شيئا عن مجال السيارات، تستطيع فعل هذا ولا نستطيع نحن؟).

وتحـاول شركـة (نيسـان موتـورز) Nissan Motors طـرح السيـارة الكهربائية بالكامل في الأسـواق للمستهلكين العاديين. وتسمى سيارتها (ليـف) Leaf، وهي ذات نطاق يصل إلى 100 ميـل، وسرعة قصوى تبلغ تسعين ميلا في الساعة.

وبعـد السيارة التي تعمل بالكهرباء بالكامل، هناك سيارة أخرى سوف تظهر في النهاية في صالات العرض، وهي سيارة خلية الوقود[1] fuel cell

(1) سيارة خلية الوقود (fuel cell car): سيارة تعمل بمحرك هيدروجيني، تستخدم خلية وقود لتوليد الكهرباء لتزويد محركها الكهربائي بالطاقة. (المترجم)

car التـي تسمى أحيانا بسيـارة المستقبل. ففي يونيو عـام 2008، أعلنت شركة (هونـدا موتـور كومبـاني) Honda Motor Company أول ظهور لأول سيـارة تعمل بخلية الوقود تكون متاحـة تجاريا، وهي السيارة (إف سي إكسـ كلاريتي) FCX Clarity. وهذه السيارة تعمل على نطاق 240 ميلا، وذات سرعة قصوى تبلغ 100 ميل في الساعة، ولها جميع خصائص سيـارات السيـدان القياسيـة ذات الأبـواب الأربعـة. ولأنهـا تستخدم الهيدروجـين فقط كوقود، فإنها لا تحتـاج للبنزين أو للشحن الكهربائي. لكـن نظرا لأن البنية الأساسية للهيدروجين لا وجود لها بعد، فإنها متاحة للإيجار في الولايات المتحدة في جنوب كاليفورنيا فقط. كما تعلن هوندا أيضـا عن نسخة رياضية مـن سيارتها التي تعمل بخليـة الوقود، واسمها (إف سي سبورت) FC Sport.

وبعـد ذلك أعلنت شركة جـنرال موتورز عـام 2009، عقب نجاتها من الإفلاسـ بعد طـرد إدارتها القديمـة، أن سيـارة خلية الوقـود التي تعمل علـى تصنيعها، وهي السيارة (شيفـي إكوينوكس) Chevy Equinox، قد تجاوزت نقطـة المليون ميل فيما يتعلق بالاختبـارات. وعلى مدار الأشهر الخمسـ والعشريـن الماضية، كان 5000 شخص يختـبرون 100 سيارة من سيـارات خلية الوقـود تلك. وتحاول ديترويت (مدينـة صناعة السيارات الأمريكيـة)، التـي أصبحت عاجزة بشكل مزمن عـن ملاحقة اليابان في إنتاج تكنولوجيا السيارات الصغيرة وأنواع السيارات الهجين، أن تحظى بموطئ قدم في المستقبل.

وظاهريا، تبدو سيارة خلية الوقود السيارة المثالية؛ فهي تعمل عن طريق

مـزج الهيدروجـين والأكسجين معا، وهو المزج الـذي يتحول بعد ذلك إلى طاقـة كهربائية، ويتولد الماء كنفاية لهذه العملية. ولا تولد هذه السيارة أدنـى قدر من الدخان. وسيكون من الغريب أن تنظر إلى أنبوب العادم في سيارة تعمل بخلية الوقود. وهكذا، بدلا من أن تختنق بسبب أدخنة العادم السامة المنبعثة من الخلف، فإن كل ما ستراه سيكون عبارة عن قطرات من الماء بلا لون ولا رائحة.

يقـول مايك سكوابل، أحد الذين اختبروا قيـادة السيارة (إكوينوكس) لمدة عشر سنوات: (عندما تضع يدك فوق أنبوب العادم لن تجد شيئا يخرج منه سوى الماء. وقد كان ذلك بالفعل شعورا رائعا).

ولا تعتـبر تكنولوجيا خلية الوقود تكنولوجيا جديدة؛ فمبادئها الرئيسة معروفـة منـذ وقـت بعيد مضـى، وتحديـدا ترجـع إلى عـام 1839. وقد استخدمـت وكالة الفضـاء الأمريكية ناسا NASA خلايـا الوقود لتزويد معداتها في الفضاء بالوقود طوال عقود. والجديد في الأمر هو عزم مصنعي السيارات على زيادة الإنتاج وتقليل النفقات.

وهنـاك مشكلـة أخـرى تواجـه سيـارة خلية الوقـود، وهـي المشكلة نفسهـا التي أزعجـت هنري فورد أثنـاء تسويق (الموديل تـي) Model T مـن سياراته. لقـد زعم المنتقدون أن البنزين خطـير، وأن الناس سيقضون نحبهـم في حوادث سيارات مفزعة، ويحترقون وهم أحياء عند التصادم. كما سيكون من الضـروري وجود محطة للتزود بالبنزين في جميع الأحياء السكنيـة تقريبـا. وفي كل هذه النقاط، كان المنتقـدون على حق؛ فالناس يموتون بالآلاف بالفعل كل عام في حوادث سيارات رهيبة، كما أننا نرى

محطات البنزين في كل مكان. غير أن الفوائد والراحة التي تجلبها السيارات عظيمة إلى حد أن الناس يتجاهلون تلك الحقائق.

والآن، تظهر الاعتراضات ذاتها على سيارات خلية الوقود. فالوقود الهيدروجيني متطاير وقابل للانفجار، ومن الضروري بناء محطات الهيدروجين كل بضعة مجمعات سكنية. والأرجح أن المنتقدين على حق في هذا أيضا. لكن بمجرد إنشاء البنية الأساسية للهيدروجين، سيجد الناس أن سيارات خلايا الوقود التي لا تسبب التلوث مريحة ومفيدة لدرجة ستجعلهم يتجاهلون تلك الحقائق. واليوم، هناك فقط سبعون محطة للتزود بالوقود لسيارات خلية الوقود في الولايات المتحدة بأكملها. ولما كان نطاق سير سيارات خلية الوقود هو حوالي 170 ميلا لكل مرة يمتلئ فيها الخزان بالوقود، فهذا يعني أنه يجب عليك مراقبة مؤشر الوقود بعناية أثناء القيادة. لكن هذا الأمر سيتغير بالتدريج، خاصة إذا بدأ سعر هذا الوقود في الانخفاض مع كثافة الإنتاج والتطورات التكنولوجية.

بيد أن المشكلة الرئيسة في السيارة الكهربائية أن البطارية الكهربائية لا تولد الطاقة من العدم؛ فعليك شحن البطارية بالطاقة في المقام الأول، وتلك الطاقة عادة ما تأتي من مصنع لحرق الفحم. لذا فرغم أن السيارة الكهربائية لا تسبب التلوث، فإن مصدر طاقتها الأساسي هو الوقود الأحفوري!

والهيدروجين ليس منتجا مستقلا للطاقة، وإنما هو حامل للطاقة؛ فلابد من إيجاد غاز الهيدروجين أولا. وعلى سبيل المثال، لابد من استخدام الكهرباء لفصل الماء إلى هيدروجين وأكسجين. لذا فرغم أن السيارات

الكهربائية وسيارات خلية الطاقة تبشرنا بمستقبل خال من الدخان، تظل مشكلة أن الطاقة التي تستخدمها تلك السيارات تأتي في معظمها من حرق الفحم! وفي النهاية، نصطدم بالقانون الأول للديناميكا الحرارية الذي ينص على: المادة أو الطاقة لا تفنى، ولا تُستحدث من عدم. ويبدو أنه لا يمكنك الحصول على شيء ما دون مقابل!

ويعني هذا أننا أثناء التحول من البنزين إلى الكهرباء سنكون بحاجة إلى استبدال شكل جديد تماما من الطاقة بمصانع حرق الفحم.

الانشطار النووي

أحد احتمالات خلق الطاقة، بدلا من مجرد نقلها، هو انشطار ذرات اليورانيوم. وميزة ذلك أن الطاقة النووية لا تنتج كميات غزيرة من الغازات المتسببة في ظاهرة الدفيئة، كالتي تنتجها مصانع حرق الفحم والنفط. غير أن مشكلات فنية وسياسية قيدت استخدام الطاقة النووية لعقود من الزمن. فقد بدأ إنشاء آخر محطة للطاقة النووية في الولايات المتحدة عام 1977، قبل الحادث المأساوي الذي وقع في جزيرة ثري مايل آيلاند عام 1979، والذي أعاق المستقبل التجاري للطاقة النووية. ثم جاء حادث الانفجار المدمر لمفاعل (تشيرنوبل) Chernobyl عام 1986 ليغلق الباب تماما أمام الطاقة النووية لفترة من الزمن. وقد جفت منابع الطاقة النووية في الولايات المتحدة وأوروبا، ولم تبق على قيد الحياة في فرنسا واليابان وروسيا إلا بفضل الإعانات السخية من الحكومة.

ومشكلة الطاقة النووية أنه عندما تنشطر ذرة اليورانيوم، تنتج كمية هائلة

من المخلفات النووية ذات النشاط الإشعاعي الذي يستمر لآلاف السنين، بل لعشرات الملايين من السنين. فمفاعل تقليدي بقدرة 1000 ميجاوات ينتج نحو ثلاثين طنا من النفاية النووية عالية المستوى بعد عام واحد على تشغيله. وتكون تلك النفاية شديدة النشاط الإشعاعي لدرجة أنها تتوهج في الظلام فعليا، ولابد من تخزينها في برك تبريد خاصة. ومع وجود نحو 100 مفاعل نووي تجاري في الولايات المتحدة، فإنه يتم إنتاج آلاف الأطنان من المخلفات النووية ذات المستوى الإشعاعي العالي كل عام.

وتلك المخلفات النووية تتسبب في المشكلات لسببين: أولا، أنها تظل ساخنة حتى بعد إيقاف عمل المفاعل. وإذا حدث أن توقف ماء التبريد بالمصادفة لأي سبب، كما حدث في جزيرة ثري مايل، فإن قلب المفاعل يبدأ في الانصهار. وإذا حدث اتصال بين المعدن المنصهر وبين الماء، فإنه يمكن أن يتسبب في انفجار بخاري قادر على نسف المفاعل، قاذفا أطنانا من الحطام عالي المستوى الإشعاعي في الهواء. وفي حالة وقوع حادث نووي من الفئة 9، وهو الأسوأ على الإطلاق، سيكون لابد من عملية إخلاء فوري لملايين من الناس بعيدا عن المفاعل لمسافة تتراوح بين 10 إلى 50 ميلا. وقد قدرت إحدى الدراسات الحكومية أن وقوع حادث في مفاعل كمفاعل (إنديان بوينت) Indian Point مثلا، الذي يقع على بعد 24 ميلا فحسب شمال مدينة نيويورك، يُتصور أنه سيتسبب في خسائر في الممتلكات تقدر بمئات المليارات من الدولارات. وفي حادث جزيرة (ثري مايل)، نجا المفاعل قبل دقائق من كارثة كبرى كانت ستؤدي لشلل القطاع الشمالي الشرقي من البلاد. وأمكن تجنب الكارثة بصعوبة عندما

استطاع العاملون إعادة إدخال مياه التبريد إلى نواة المفاعل قبل ثلاثين دقيقة فقط من وصول القلب إلى نقطة انصهار ثاني أكسيد اليورانيوم.

وفي مفاعل تشيرنوبل، خارج مدينة كييف الروسية، كان الموقف أسوأ بكثير؛ فقد عطل العاملون آلية الأمان (قضبان التحكم) يدويا. فحدثت موجة اندفاع صغير للطاقة أخرجت المفاعل بأكمله عن نطاق السيطرة. وعندما اصطدمت المياه الباردة فجأة بالمعدن المنصهر، أدت لانفجار بخاري نسف سقف المفاعل بالكامل، وأطلق جزءا كبيرا من قبل المفاعل في الهواء. وفي النهاية، قضى العديد من العاملين الذين أرسلوا للسيطرة على الحادث نحبهم على نحو بشع جراء الحروق الإشعاعية. ومع اشتعال نيران المفاعل وخروجها عن السيطرة، كان لابد في النهاية من استدعاء القوة الجوية الروسية. وبالفعل، تم إرسال طائرات مروحية ذات دروع خاصة لرش الماء المعالج بالبورات على المفاعل المشتعل. وأخيرا، كان لابد من إحاطة قلب المفاعل بالخرسانة الصلبة. وحتى يومنا هذا، ما زال قلب المفاعل مضطربا ومستمرا في توليد الحرارة والإشعاع.

وبالإضافة إلى مشكلات الانصهارات والانفجارات، هناك أيضا مشكلة التخلص من النفاية. أين ستوضع؟ على نحو محرج، ما من إجابة عن هذا السؤال بعد مرور خمسين عاما على بداية العصر النووي. وفي الماضي، كانت هناك مجموعة من الأخطاء المكلفة فيما يتعلق بالتخلص الدائم من النفاية النووية. فقد تم بشكل أساسي التخلص من بعض النفاية ببساطة عن طريق إلقائها في المحيط من قبل الولايات المتحدة وروسيا، أو عن طريق دفنها في حفر غير عميقة. وفي جبال الأورال، انفجر أحد

مستودعات نفاية البلوتونيوم على نحو كارثي عام 1957، مما تتطلب عملية إخلاء شامل وتسبب في أضرار إشعاعية غطت مساحة قدرها 400 ميل مربع بين سفيردلوفسك وتشليابينسك.

وقد حاولت الولايات المتحدة في السبعينات من القرن العشرين دفن النفاية النووية عالية المستوى في ليونس بولاية كانساس في مناجم الملح. لكن فيما بعد، اكتُشف أن مناجم الملح غير قابلة للاستخدام، لأنها كانت مليئة بالعديد من الفتحات التي حفرها المنقبون عن النفط والغاز. فأجبرت الولايات المتحدة على إغلاق موقع ليونس، وكان هذا فشلا محرجا.

وعلى مدار الخمس والعشرين عاما التالية، أنفقت الولايات المتحدة 9 مليارات دولار في دراسة وبناء مركز التخلص من النفاية النووية العملاق، في جبل (يوكا) في نيفادا، قبل أن يلغي الرئيس باراك أوباما Barack Obama المشروع عام 2009. ولقد شهد الجيولوجيون بأن موقع جبل يوكا قد يكون غير قادر على احتواء النفاية النووية لمدة عشرة ألاف عام. وهكذا، لن يتم افتتاح موقع جبل يوكا مطلقا، وهو ما سيترك المشغلين التجاريين لمصانع الطاقة النووية دون منشأة دائمة لتخزين النفاية.

وفي وقتنا الراهن، يبدو مستقبل الطاقة النووية غير واضح. ويظل وول ستريت فزعا من استثمار عدة مليارات من الدولارات في كل محطة جديدة للطاقة النووية. غير أن مجال الطاقة النووية يزعم أن أحدث أجيال المحطات النووية أكثر أمانا عما سبق. وفي غضون ذلك، تبقي وزارة الطاقة الأمريكية خياراتها مفتوحة فيما يتعلق بالطاقة النووية.

الانتشار النووي

يبدو أنه مع القوة الهائلة يأتي الخطر الهائل. وفي الميثولوجيا الإسكندنافية، على سبيل المثال، عبد الفايكنج ملك الآلهة (أودين) Odin الذي حكم مقر الآلهة بالحكمة والعدل. وقد ترأس أوديـن مجموعة من الآلهة، منهم الإله البطـل (ثور) Thor الـذي كان نبله وبسالته هما الصفتـان الأكثر قيمة في أي محـارب. لكن كان هنـاك أيضا الإله (لوكـي) Loki، إله الأذى، الذي أكلته نار الغيرة والكراهية، والذي كان دائم الكيد والمكر، بارعا في الغش والخـداع. وقد تآمر لوكي، في النهايـة، مع العمالقة لإشعال شرارة المعركة الأخيرة بين الظلام والنور، وهي المعركة التي تشهد الدمار الشامل للآلهة.

والمشكلـة اليـوم أن الغـيرة والكراهية بـين الأمم يمكـن أن تشعل شرارة الدمـار النووي الشامل. ولقد بين لنا التاريخ أنـه عندما تتقن إحدى الأمم التكنولوجيـا التجاريـة للطاقة النوويـة، يمكنها -إذا كانـت لديها الرغبة والإرادة السياسية – أن تتحول إلى صنع الأسلحة النووية. ويكمن الخطر في أن تكنولوجيـا الأسلحـة النووية سـوف تنتشر وتصـل إلى بعض أكثر مناطق العالم اضطرابا.

وخـلال الحرب العالميـة الثانية، امتلكـت الأمم العظمى فقـط في العالم المـوارد والمعرفة الفنيـة والقدرة على صنع قنبلة ذريـة. لكن في المستقبل، يمكـن أن ينخفض معيار الانضمام للنادي النـووي بشدة مع انهيار أسعار تخصيب اليورانيوم الناتج عن ظهور تقنيات حديثة. وهذا هو الخطر الذي نواجهه؛ فالتقنيات الأحدث والأرخص سعرا يمكن أن تضع القنبلة الذرية بين أيدٍ مضطربة.

إن أساس صنع القنبلة الذرية امتلاك كميات كبيرة من اليورانيوم الخام، ومن ثم تنقيته. ويعني هذا فصل اليورانيوم 238 (الذي يشكل نسبة 99.3 في المائة من اليورانيوم الموجود في الطبيعة) عن اليورانيوم 235 المناسب لصنع القنبلة الذرية (موجود بنسبة 0.7 في المائة فقط). وهذان النظيران متماثلان كيميائيا، لذا فإن الطريقة الوحيدة لفصلهما عن بعضهما على نحو موثوق هي استغلال حقيقة أن اليورانيوم 235 يقل وزنه عن وزن نظيره بنسبة 1 في المائة تقريبا.

وخلال الحرب العالمية الثانية، كانت الوسيلة الوحيدة المتاحة لفصل نظيري اليورانيوم عن بعضهما تتمثل في عملية الانتشار الغازي الشاقة العسيرة: إذ يتم تحويل اليورانيوم إلى غاز (سادس فلوريد اليورانيوم)، ثم ينقل عبر مئات الأميال من الأنابيب والأغشية، ليفوز بالسباق في نهاية تلك الرحلة الطويلة اليورانيوم 235 الأسرع (أي الأخف وزنا)، تاركا اليورانيوم 238 الأثقل وزنا يأتي في المؤخرة. وبعد استخلاص الغاز المحتوي على اليورانيوم 235، تتكرر العملية إلى أن يرتفع مستوى تخصيب اليورانيوم 235 من 0.7 في المائة إلى 90 في المائة، وهو اليورانيوم الصالح لصنع القنبلة الذرية. غير أن دفع اليورانيوم الغازي كان أمرا يتطلب كميات هائلة من الكهرباء. وخلال الحرب، كانت نسبة كبيرة من إجمالي إمدادات الكهرباء للولايات المتحدة تتحول إلى معمل أوك ريدج الوطني Oak Ridge National Laboratory لهذا الغرض تحديدا. وكان مبنى التخصيب هائل الضخامة، إذ احتل مساحة 2 مليون قدم مربع، وضم 12000 عامل.

وبعد الحرب، كانت القوتان العظميان – الولايات المتحدة الأمريكية والاتحاد السوفيتي – وحدهما من يستطيع تكديس مخازن ضخمة بالأسلحة النووية (وصلت إلى 30000)، لأنهما أتقنتا فن الانتشار الغازي. لكن اليوم، صارت نسبة 33 في المائة فقط من اليورانيوم المخصب في العالم هي التي تأتي من الانتشار الغازي.

وتستخدم منشآت التخصيب من الجيل الثاني تكنولوجيا أكثر تعقيدا وأزهد ثمنا، وهي: أجهزة الطرد المركزية فائقة السرعة التي صنعت تحولا جذريا في السياسة العالمية. ويمكن لأجهزة الطرد المركزية تدوير كبسولة تحتوي على اليورانيوم بسرعات تصل إلى 100000 دورة في الدقيقة. ويعمل هذا الدوران السريع على إبراز فارق الـ 1 في المائة في الكتلة بين اليورانيوم 235 واليورانيوم 238. وفي النهاية، يغوص اليورانيوم 238 في القاع، ويمكن استخلاص اليورانيوم 235 من أعلى الأنبوب، بعد دورات كثيرة.

وتتسم أجهزة الطرد المركزي فائقة السرعة بأنها أكثر كفاءة بحوالي خمسين مرة من الانتشار الغازي فيما يتعلق بالطاقة. وتتم الآن تنقية نحو 54 في المائة من اليورانيوم في العالم بهذه الطريقة.

وفي ظل وجود تكنولوجيا أجهزة الطرد المركزي، يتطلب الأمر عمل 1000 جهاز طرد مركزي فقط على نحو مستمر لمدة عام واحد لإنتاج كمية من اليورانيوم المخصب تكفي لصنع قنبلة نووية. ومن الممكن سرقة تكنولوجيا أجهزة الطرد المركزي بسهولة. ففي واحد من أسوأ الانتهاكات للأمان النووي عبر التاريخ، استطاع مهندس نووي مغمور

اسمه عبـد القدير خان سرقة مخططات أجهـزة الطرد المركزي ومكونات القنبلة الذرية، وبيعها مقابل المال. ففي عام 1975، أثناء عمله في أمستردام لحساب الشركـة الأوروبية لتخصيب اليورانيـوم (يورينكو) URENCO التي أسستها بريطانيـا وألمانيا الغربية وهولندا لتزويد المفاعلات الأوروبية باليورانيوم، سرق المخططات السريـة، وقدمها للحكومة الباكستانية التي كرمته كبطل قومي. ويشتبه أيضا في أنه باع تلك المعلومات السرية للرئيس العراقي صدام حسين وحكومات إيران وكوريا الشمالية وليبيا.

وباستخـدام تلـك التكنولوجيـا المسروقـة، استطاعـت باكستـان بناء مستودع صغير للأسلحة النووية التي بدأت في اختبارها عام 1998. وكاد التنافـس النووي الـذي أعقب ذلك بين باكستان والهنـد، اللتان فجرت كل منهمـا مجموعة من القنابل الذرية، أن يـؤدي بالدولتين المتنافستين إلى مواجهة نووية.

ومن المعروف أن إيران –ربمـا بسبب التكنولوجيا التي اشترتها من عبد القديـر خان – قد سرعت عجلة برنامجها النووي، إذ صنعت 8000 جهاز طرد مركزي بحلول عـام 2010، وهي تنوي صنع 30000 جهاز إضافي. ويـؤدي هذا إلى الضغط على دول الشرق الأوسط لامتلاك القنابل النووية بدورها، مما يعمق الاضطراب وعدم الاستقرار في المنطقة.

والسبـب الثاني الذي قد يـؤدي إلى تغيير السياسـات في القرن الحادي والعشريـن هو ظهور جيل جديد من أجيـال تكنولوجيا التخصيب؛ وهو تخصيـب اليورانيوم بالليزر. والأرجح أن هذه التكنولوجيا أرخص حتى من تكنولوجيا أجهزة الطرد المركزي.

فلـو أنك فحصت أغلفـة إلكترونات هذيـن النظيرين مـن اليورانيوم، فستجدهـا متماثلة بوضوح، لأن نواتيهما لهمـا الشحنة نفسها. لكن إذا قمت بتحليل معادلات أغلفة الإلكترونات بعناية شديدة، ستجد أن هناك فارقا دقيقا في الطاقة بين أغلفـة الإلكترونات لليورانيوم 235 واليورانيوم 238. وعـن طريق إضاءة شعاع ليزر فائـق الدقة، يمكن طرد الإلكترونات من غلاف نواة اليورانيوم 235، دون غلاف نواة اليورانيوم 238. وبمجرد تأيـين ذرات اليورانيوم 235، يمكن فصلها بسهولـة عن ذرات اليورانيوم 238 بواسطة مجال إلكتروني.

والواقـع أن الاختـلاف في الطاقـة بين النظيريـن ضئيـل للغاية لدرجة أن العديـد من الـدول حاولت الاستفادة من هـذه الحقيقة وفشلت. ففي الثمانينـات والتسعينات مـن القرن العشرين، حاولـت الولايات المتحدة وفرنسـا وبريطانيا وألمانيـا وجنوب أفريقيا واليابان إتقـان استخدام تلك التكنولوجيـا الصعبـة دون أدنى نجـاح. وفي الولايـات المتحدة وحدها، ضمت محاولة واحدة 500 عالم وتكلفت ملياري دولار.

وفي عـام 2006، أعلن علماء أستراليون أنهـم لم يحلوا المشكلة فحسب وإنمـا ينـوون استغلال ذلك تجاريـا أيضا . ولمـا كانت نسبـة 30 في المائة مـن تكلفة وقـود اليورانيـوم نابعة مـن عمليـة التخصيب، فـإن الشركة الأستراليـة (سايلكس) Silex تعتقـد أنه قد تكون هناك سوق رائجة لتلك التكنولوجيا. بل إن سايلكـس وقعت عقدا مع جنرال إلكتريك General Electric لبدء عملية المتاجرة. وتأمل الشركتان في النهاية في إنتاج ما يصل إلى ثلـث يورانيـوم العالم باستخدام هـذه التكنولوجيـا. وفي عام 2008،

أعلنت شركة (هيتاشي) للطاقة النووية Hitachi Nuclear Energy، التابعة لجنرال إلكتريك، عن خططها لبناء أول محطة لتخصيب اليورانيوم بالليزر في ويلمينجتون بولاية نورث كارولينا بحلول عام 2012. وسوف تحتل المحطة مساحة 200 فدان على موقع تبلغ مساحته 1600 فدان.

وبالنسبة لمجال الطاقة النووية، يعد هذا خبرا سارا، لأنه سيقلل من تكلفة تخصيب اليورانيوم خلال السنوات القليلة القادمة. إلا أن آخرين يشعرون بالقلق، لأن المسألة مسألة وقت فحسب قبل أن تنتشر تلك التكنولوجيا في مناطق غير مستقرة من العالم. وبعبارة أخرى، فإن لدينا فرصة لتوقيع معاهدات لمنع وتنظيم تدفق اليورانيوم المخصب. وما لم نحكم السيطرة على هذه التكنولوجيا، فسوف تستمر القنبلة النووية في الانتشار والتكاثر، وربما حتى تصل إلى أيدي مجموعات إرهابية.

لقد كان الراحل ثيودور تايلور Theodore Taylor، الذي حظي بميزة نادرة هي تصميم بعض أكبر وأصغر الرؤوس النووية لحساب وزارة الدفاع الأمريكية (البنتاجون) Pentagon، أحد معارفي. وكان أحد تصاميمه مدفع دافي كروكيت Davy Crockett الذي يزن خمسين رطلا فحسب، لكنه قادر على قذف العدو بقنبلة ذرية صغيرة. وكان تايلور نصيرا متحمسا للقنابل النووية، عمل على مشروع (أوريون) Orion الذي كان يفترض أن يستخدم القنابل النووية في دفع سفينة فضاء إلى النجوم القريبة. وقد اعتمدت حسابات تايلور على أن الطاقة الناتجة عن إلقاء القنابل النووية على نحو متتالي من مؤخرة سفينة الفضاء سوف تدفعها لتصل إلى ما يقرب من سرعة الضوء.

وعندمـا سألته ذات مرة لماذا هجر تصميم القنابل النووية وتحول للعمل علـى الطاقـة الشمسية، أسـر إلي بالإجابة قائلا إنه يـرى كابوسا متكررا. لقـد شعـر أن عمله على تصميـم الأسلحة النووية سيـؤدي في النهاية إلى شيء واحد؛ وهو: إنتـاج رؤوس نووية من الجيل الثالث (كانت الرؤوس النوويـة من الجيل الأول، التي صنعت في الخمسينات من القرن العشرين، ضخمـة ومن الصعب حملها إلى أهدافها. أمـا الرؤوس النووية من الجيل الثاني، التي صنعت في السبعينـات، فكانت صغيرة ومدمجة ويمكن وضع عشرة منها علـى رأس صاروخ واحد. بينما الجيل الثالث من تلك القنابل جيل مصمم خصيصا للعمل في بيئات مختلفة، كالغابات والصحراء وحتى الفضـاء الخارجـي). وإحدى قنابل الجيل الثالث تلـك قنبلة نووية صغيرة للغاية إلى حد أن إرهابيا يمكنه وضعها في حقيبة واستخدامها لتدمير مدينة كاملة. وقد أفزعته ولازمته لبقية حياته فكرة أن الجهد الذي بذله في حياته كلها يمكن أن يستغل في يوم من الأيام من قبل إرهابي.

منتصف القرن (من 2030 إلى 2070)

الاحتباس الحراري

بحلول منتصف القرن الحادي والعشرين، سيكون الأثر الكامل لاقتصاد الوقود الأحفوري قد وصل لأقصى درجاته: الاحتباس الحراري. وهناك جدل قائم حاليا حول ارتفاع درجة حرارة الأرض. فعلى مدار القرن الماضي، ارتفعت درجة حرارة الأرض بمقدار 1.3 درجة فهرنهايت، وهذا المعدل آخذ في التسارع. والإشارات الدالة على هذا الارتفاع أوضح من أن تخطئها عين في كل مكان ننظر فيه:

قلت سماكة الجليد في القطب الشمالي بنسبة مذهلة بلغت 50 في المائة خلال الخمسين عاما الماضية فقط. ودرجة حرارة جزء كبير من هذا الجليد أقل من نقطة التجمد بقدر ضئيل، وهو يطفو على الماء. وهكذا، فإنه في حقيقة الأمر شديد الحساسية لأدنى تغيرات في درجة حرارة المحيطات، وبهذا يعمل كأنه نظام إنذار مبكر. واليوم، تختفي أجزاء من كتل الجليد الموجودة في القطب الشمالي خلال أشهر الصيف، وقد تختفي تماما خلال هذه الأشهر بحلول عام 2015 القريب جدا. وقد تتلاشى كتل الجليد القطبية نهائيا بحلول نهاية هذا القرن، مسببة الاضطراب في طقس العالم عن طريق تغيير تدفق المحيطات والتيارات الهوائية في جميع أنحاء الكوكب.

تقلصت منحدرات جرينلاند الجليدية بمقدار أربعة وعشرين ميلا مربعا

عام 2007. وقفز هذا الرقم ليصل إلى واحد وسبعين ميلا عام 2008. (ولو ذاب كل الجليد الموجود في جرينلاند، بطريقة ما أو بأخرى، فإن مستوى سطح البحر سيرتفع بمقدار عشرين قدما في جميع أنحاء العالم).

كميات هائلة من جليد القطب الجنوبي، الذي كان مستقرا طوال عشرات الألوف من السنين، تنفصل عن بعضها بالتدريج. ففي عام 2000، انفصل جزء بحجم ولاية كونيكتيكت، وهو يحتوي على 4200 ميل مربع من الجليد. وفي عام 2002، انفصلت قطعة من الجليد بحجم جزيرة (رود آيلاند). (ولو ذاب كل جليد القطب الجنوبي، فسوف يرتفع مستوى سطح البحر بنحو 180 قدما في جميع أنحاء العالم).

مقابل كل قدم رأسي من ارتفاع مستوى الماء في المحيطات، يكون هناك تمدد أفقي بقيمة نحو 100 قدم. وقد ارتفع مستوى سطح البحر بالفعل بقيمة 8 بوصات خلال القرن الماضي، وكان السبب الرئيس في هذا الارتفاع تمدد مياه البحار مع زيادة حرارتها. ووفقا لتقديرات الأمم المتحدة، فإن مستوى سطح البحر يمكن أن يرتفع بقيمة تتراوح بين 7 إلى 23 بوصة بحلول عام 2100. وذكر بعض العلماء أن تقرير الأمم المتحدة كان متحفظا للغاية في تفسير البيانات المتوفرة. فوفقا لعلماء في (معهد دراسات القطب الشمالي وجبال الألب Institute of Arctic and Albine Research التابع لجامعة كولورادو University of Colorado، فإن مستوى سطح البحر يمكن أن يرتفع بمقدار يتراوح بين 3 إلى 6 أقدام بحلول عام 2100. وهكذا، فإن خريطة الخط الساحلي للأرض سوف تتغير بالتدريج.

بـدأ تسجيل درجات الحرارة على نحو موثوق في نهايات القرن الثامن عشـر، وكانـت الأعـوام 1995 و2005 و2010 بـين أكثر الأعـوام التي تم تسجيلهـا حرارة علـى الإطلاق، وكان العقد الممتد مـن 2000 إلى 2009 العقد الأكثر حرارة أيضا. وبالمثل، فإن مستويات غاز ثاني أكسيد الكربون ترتفع بشدة؛ فقد وصلت لأعلى مستوياتها خلال 100000 سنة.

مـع زيادة درجة حـرارة الأرض، تبـدأ الأمراض الاستوائيـة بالتدريج في الهجرة نحـو الشمال. وربما كان الانتشار الأخـير لفيروس حمى غرب النيل الـذي يحمله البعوض نذيرا بأشياء أخرى قادمة. ويشعر مسؤولو الأمم المتحدة بقلق شديد تجاه انتشـار الملاريا باتجاه الشمال. فعادة ما يموت بيض العديد من الحشرات الضارة كل فصل شتاء عندما تتجمد التربة. لكن مع قصر مدة الشتاء، سيعني هذا انتشار الحشرات الخطيرة نحو الشمال على نحو يصعب إيقافه.

ثاني أكسيد الكربون: غاز الدفيئة

وفقـا للهيئة الحكوميـة الدولية المعنية بتغير المنـاخ Intergovernmental Panel on Climate Change التابعـة للأمم المتحـدة، استنتج العلماء بنسبة ثقـة قدرهـا 90 في المائة أن الاحتباس الحراري ناتج عـن الأنشطة البشرية، خاصـة إنتاج غاز ثـاني أكسيد الكربون من خلال حـرق الفحم والنفط. فأشعـة الشمس تمر بسهولة عبر غاز ثاني أكسيد الكربون، لكن مع تسبب ضوء الشمس في تسخين سطـح الأرض، فإنه يصنع الأشعة تحت الحمراء التـي لا تستطيع المرور بالسهولة نفسهـا في الاتجاه العكسي عبر غاز ثاني أكسيـد الكربون. وهكـذا، لا تتمكن طاقة أشعة الشمـس من العودة إلى

الفضاء وتُحبس في الأرض.

ولعلنا نرى أيضا أثرا مشابها يحدث في الصوب الزجاجية أو السيارات؛ فضوء الشمس يسخن الهواء، ويمنع الزجاج هذا الهواء من الخروج.

وقد زادت كمية غاز ثاني أكسيد الكربون المتولدة على نحو هائل ومنذر بالخطر، خاصة خلال القرن الماضي. فقبل عصر الثورة الصناعية، كان محتوى الهواء من ثاني أكسيد الكربون 270 جزءا لكل مليون جزء. واليوم، ارتفع هذا الرقم بشدة ليصل إلى 387 جزءا لكل مليون جزء. (في عام 1900، استهلك العالم 150 مليون برميل من النفط. وفي عام 2000، قفز هذا الرقم ليصل إلى 28 مليار برميل؛ أي زيادة بمقدار 185 ضعفا. وفي عام 2008، أطلق في الهواء 9.4 مليار طن من ثاني أكسيد الكربون نتيجة إحراق الوقود الأحفوري وإزالة الأشجار أيضا. وما أعيد تدويره منها في المحيطات والتربة والحياة النباتية كان 5 مليارات طن فقط. وستظل الكمية المتبقية في الهواء لعقود تالية، متسببة في زيادة درجة حرارة الأرض).

زيارة إلى أيسلندا

إن زيادة درجة حرارة الأرض ليست مجرد حظ عاثر، وهو ما ندركه عند تحليل جوهر الجليد. فعن طريق الحفر بعمق في الجليد العتيق للقطب الشمالي، استطاع العلماء استخراج فقاعات هوائية عمرها آلاف السنين. وعن طريق تحليل الهواء الموجود في تلك الفقاعات كيميائيا، يستطيع العلماء إعادة تشكيل درجة الحرارة ومحتوى ثاني أكسيد الكربون للطقس الذي كان موجودا منذ أكثر من 600000 سنة. وقريبا، سيتمكنون من

تحديد أحوال الطقس التي كانت سائدة منذ مليون سنة.

ولقد واتتني فرصة رؤية هذا مباشرةً. فقد ألقيت محاضرة ذات مرة في ريكيافيك، عاصمة أيسلندا، وحظيت بشرف زيارة جامعة أيسلندا، حيث يتم تحليل جوهر الجليد. وجدير بالذكر أنه عندما تحط طائرتك في ريكيافيك، يكون كل ما تراه في البداية هو الثلج والصخور المسننة التي تشبه المشهد البارد الكئيب لسطح القمر. ورغم أن المنطقة قاحلة ووعرة، فإنها تجعل من القطب الشمالي المكان الأمثل لتحليل مناخ الأرض قبل مئات الألوف من السنين.

وعندما زرت معمل الجامعة، المحفوظ في درجة حرارة التجمد، كان عليَّ المرور عبر أبواب ثلاجات سميكة. وبمجرد أن صرت بالداخل، أمكنني رؤية أرفف عديدة تحتوي أنابيب معدنية طويلة، قطر كل واحدة منها نحو بوصة ونصف البوصة وطولها يصل لحوالي عشرة أقدام. وكان كل أنبوب أجوف غائصا بعمق في كتلة من الجليد. ومع اختراق الأنبوب للجليد، فإنه يجمع العينات من قطع جليد تساقطت منذ آلاف السنين. وعندما تمت إزالة الأنابيب، كنت أستطيع فحص محتويات جليد كل واحدة منها بعناية. في البداية، كان كل ما أمكنني رؤيته عمود طويل من الثلج الأبيض. لكن عند تدقيق الفحص، استطعت أن أرى أن الثلج يحتوي على أشرطة مكونة من خيوط دقيقة ذات ألوان مختلفة.

ولقد كان على العلماء استخدام مجموعة متنوعة من الأساليب لتحديد تاريخها. فبعض طبقات الجليد كانت تحتوي على علامات تشير إلى أحداث مهمة، مثل سواد منبعث من انفجار بركاني. ولما كانت تواريخ

تلك الانفجارات البركانية معروفة بقدر كبير من الدقة، أصبح من الممكن استخدام تلك التواريخ لتعيين عمر الطبقات الجليدية.

وبعد ذلك، تم تقسيم لب كتل الجليد إلى شرائح متنوعة حتى يمكن دراستها. وعندما أمعنت النظر في واحدة من الشرائح تحت المجهر، رأيت فقاعات مجهرية دقيقة؛ واقشعر جسدي عندما أدركت أنني أرى فقاعات هوائية تكونت منذ عشرات الآلاف من السنين، من قبل حتى أن تظهر الحضارة الإنسانية.

ولعله من السهل قياس محتوى ثاني أكسيد الكربون دخل كل فقاعة، لكن حساب درجة حرارة الجو عند ترسب الجليد لأول مرة أكثر صعوبة. (لفعل هذا، يقوم العلماء بتحليل الماء الموجود في الفقاعة؛ فجزيئات الماء يمكن أن تحتوي على نظائر مختلفة. ومع انخفاض درجات الحرارة، تتكثف نظائر الماء الأثقل بسرعة أكبر من جزيئات الماء العادية. وهكذا، عن طريق قياس كمية النظائر الأثقل، يمكن حساب درجة الحرارة التي تكثفت عندها جزيئات الماء).

وأخيرا، بعد تحليل محتويات الآلاف من قطع الجليد بمشقة، توصل هؤلاء العلماء إلى بعض الاستنتاجات المهمة. لقد وجدوا أن درجات الحرارة ومستويات ثاني أكسيد الكربون تذبذبت على نحو متواز، وكأنهما قطارا ملاهٍ يتحركان متزامنين عبر عدة آلاف من السنين. فعندما يرتفع أو ينخفض منحنى أحدهما، يتبعه الآخر في الارتفاع أو الانخفاض.

والأكثر أهمية أنهم اكتشفوا حدوث ارتفاع مفاجئ في درجات الحرارة ومحتوى ثاني أكسيد الكربون خلال القرن الأخير وحده. وهذا أمر غير مألوف على الإطلاق، لأن معظم التذبذبات تحدث عادة ببطء عبر

آلاف السنين. إذن، فهذا الارتفاع غير المعتاد ليس جزءا من عملية تذبذب درجات الحرارة الطبيعية، حسب زعم العلماء، وإنما هو مؤشر مباشر على النشاط البشري.

وهناك طرق أخرى تُظهر أن هذا الارتفاع المفاجئ راجع إلى النشاط البشري، وليس إلى دورات طبيعية. فقد أصبحت عمليات المحاكاة بواسطة الكمبيوتر متطورة للغاية، حتى إننا نستطيع محاكاة درجة حرارة الأرض في ظل وجود النشاط البشري وفي غيابه. فمن دون حضارة تنتج ثاني أكسيد الكربون، وجدنا أن منحنى درجات الحرارة ثابت نسبيا. وعندما أضفنا النشاط البشري، أمكننا أن نرى أنه لابد من وجود ارتفاع مفاجئ في كل من درجة الحرارة ومستويات ثاني أكسيد الكربون. وكان الارتفاع المتوقع في عملية المحاكاة مطابقا تماما للارتفاع الفعلي.

وأخيرا، يمكننا قياس كمية ضوء الشمس التي تهبط على كل قدم مربع من سطح الأرض. ويستطيع العلماء أيضا حساب كمية الحرارة التي تنعكس عن سطح الأرض إلى الفضاء الخارجي. ونحن نتوقع عادةً أن تكون هاتان الكميتان متساويتين؛ أي أن تساوي المدخلات المخرجات. لكننا في الواقع نجد صافي كمية الطاقة التي تسخن الأرض حاليا. ومن ثم، عندما نحسب كمية الطاقة التي يولدها النشاط البشري على الأرض، نجد تطابقا تاما. وبالتالي، فإن النشاط البشري هو ما يسبب ارتفاع درجة الحرارة حاليا على سطح الأرض.

ومع الأسف، حتى إذا توقفنا فجأة عن إنتاج ثاني أكسيد الكربون، فإن كمية الغاز التي أطلقت في الجو بالفعل كافية لاستمرار الاحتباس الحراري لعقود

تالية. ونتيجة لذلك، فإن الموقف قد يصبح مفزعا مع حلول منتصف القرن.

لقد رسم العلماء صورا لما ستبدو عليه مدننا الساحلية في منتصف القرن وما بعده، إذا استمرت مستويات سطح البحر في الارتفاع: قد تختفي المدن الساحلية تماما. وقد تدعو الحاجة لإخلاء أجزاء كبيرة من مانهاتن، ويبتلع الماء شارع وول ستريت. وسيكون على الحكومات أن تقرر أي من عواصمها ومدنها الكبرى يستحق الإنقاذ وأيها لا أمل له. ويمكن إنقاذ بعض المدن من خلال مزيج من الحواجز والبوابات المائية المعقدة. وقد يحكم على مجموعة أخرى من المدن بأنه لا أمل لها، فتترك لتختفي تحت أمواج المحيط؛ مما سيخلق هجرات جماعية للناس. ولما كانت معظم المراكز التجارية المكتظة بالسكان في العالم كله مجاورة للبحار والمحيطات، فقد يترتب على هذا أثر مدمر على اقتصاد العالم.

وحتى إذا أمكن إنقاذ بعض المدن، يظل الخطر قائما من أن تؤدي عواصف هائلة إلى غمر تلك المدن بأمواج عاتية تدمر بنيتها الأساسية. على سبيل المثال، غمرت موجة ضخمة مانهاتن في عام 1992، وعطلت منظومة القطارات ومترو الأنفاق المتجهة إلى نيوجيرسي. ومع غرق وسائل النقل والمواصلات، تتوقف عجلة الاقتصاد.

غرق بنجلاديش وفيتنام

حدد تقرير للهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، التابعة للأمم المتحدة، ثلاثة مواقع معرضة لكارثة محتملة: بنجلاديش، ودلتا ميكونج في فيتنام، ودلتا النيل في مصر.

وتعد بنجلاديش صاحبة الموقف الأسوأ؛ فهي بلد تهاجمها العواصف بانتظام حتى من دون مشكلة الاحتباس الحراري، ومعظم أجزاء البلاد منبسطة وتقع عند مستوى سطح البحر. وعلى الرغم من أنها حققت مكاسب اقتصادية كبيرة خلال العقود القليلة الماضية، فإنها تظل واحدة من أفقر دول الأرض، ومن بين أعلى الدول من حيث الكثافة السكانية (يصل تعداد السكان في بنجلاديش إلى 161 مليون نسمة، وهو رقم قريب من تعداد سكان روسيا، غير أن مساحة أراضيها تقدر بنحو 120/1 من مساحة روسيا). وسوف يغرق نحو 50 في المائة من مساحة الأرض في بنجلاديش إلى الأبد، إذا ارتفع مستوى سطح البحر بقيمة ثلاثة أقدام. هذا وتقع الكوارث الطبيعية هناك على نحو شبه سنوي. لكن في سبتمبر 1998، شهد العالم بفزع معاينة لما قد يصبح في وقت من الأوقات أمرا شائعا، حيث غمر فيضان هائل ثلثي البلاد بالماء، وشُرِدَ 30 مليون شخص ما بين عشية وضحاها، ولقي 1000 شخص مصرعهم، ودُمرت 6000 ميل من الطرق. وكانت تلك إحدى أسوأ الكوارث الطبيعية في التاريخ الحديث.

وتعد فيتنام دولة أخرى يمكن أن يدمرها ارتفاع مستوى سطح البحر، ففيها دلتا ميكونج المعرضة لخطر شديد. وبحلول منتصف هذا القرن، يمكن أن يواجه هذا البلد الذي يسكنه 87 مليون نسمة انهيارا لمعظم مساحته الزراعية؛ فنصف أرز فيتنام يزرع في دلتا ميكونج، التي يعيش عليها 17 مليون نسمة، والتي سوف يغرق جزء كبير منها حال ارتفاع مستوى سطح البحر. ووفقا لتقارير البنك الدولي، فإن 11 في المائة من

إجمـالي السكان سيشـردون إذا ارتفع مستوى سطـح البحر بمقدار ثلاثة أقدام بحلـول منتصف القرن. وستُغمر دلتا ميكـونج أيضا بالماء المالح، مما سيدمـر إلى الأبد التربة الخصبة للمنطقـة. ولو شُرد الملايين من منازلهم في فيتنـام، فسيندفع كثيرون منهم لاجئين إلى مدينة هو تشي منه؛ غير أن ربع هذه المدينة نفسها ستغرقه المياه أيضا.

وقد طلب (البنتاجون)، في عام 2003، إجراء دراسة بهذا الصدد. فقامت مؤسسـة (جلوبال بيزنس نتـوورك) Global business Network بإعداد تلك الدراسـة التي أوضحت أنه في حالة وقوع أسوأ سيناريو محتمل، فإن الفوضـى يمكن أن تعم العالم بسبب الاحتباس الحراري. فمع عبور ملايين اللاجئين للحدود بين الدول، يمكن أن تفقد الحكومات سيطرتها وتنهار؛ وبذلـك قد تنهـار الدول وتغـرق في كابوس السلب والنهـب وأعمال الشغـب والفوضـى الشاملة. وفي هذا الموقـف الميؤوس منه، حين تواجه الدول احتمال تدفق ملايين اللاجئين اليائسين إلى أراضيها، فإنها قد تلجأ لاستخدام الأسلحة النووية.

يقول التقرير: (تصور نشـوب مصادمات بين باكستان والهند والصين –وجميعهـا مسلحة بالأسلحة النوويـة – عند الحدود بسبب اللاجئين، واستغـلال الأنهار المشتركـة، والأراضي الصالحة للزراعـة). وقد أسرَّ إليَّ بيـتر شوارتـز Peter Schwartz، مؤسس شركة جلوبـال بيزنس نتوورك، أحد المشاركـين الرئيسيين في الدراسة التي أجراهـا البنتاجون، بتفاصيل هذا السيناريو. فقال لي إن أكبر نقطة ساخنة ستكون هي الحدود بين الهند وبنجلاديش. ففـي حالة وقوع أزمة كبرى في بنجلاديش، يمكن أن ينزح

مـا يصـل إلى 160 مليون شخص عـن بيوتهم، وهو ما سيبـدأ واحدة من أعظم الهجرات في تاريـخ البشرية. ويمكن أن تزيد حدة التوتر بسرعة مع انهيار الحدود، وعجز الحكومات المحلية، واندلا ع أعمال شغب جماعية. ويرى شوارتز أن البلدين يمكن أن يلجأ للأسلحة النووية كملاذ أخير.

وفي حالـة حدوث هـذا السيناريو الأسوأ المحتمل، يمكـن أن نجد أن أثر ظاهرة الدفيئـة يزداد ويعزز نفسه. فعلى سبيل المثال، قد يؤدي ذوبان سهل (التنـدرة) Tundra في القطب الشمالي إلى إطـلاق ملايين الأطنان من غاز الميثان من النباتات المتحللة. وتجدر الإشارة إلى أن منطقة التندرة تغطي نحو 9 ملايـين ميـل مربع من الأرض في نصف الكرة الشمـالي، وتحتوي على نباتـات متجمدة منـذ العصر الجليدي الأخير الذي مـر عليه آلاف السنين. وتحتوي هذه المنطقـة على كميات من ثاني أكسيد الكربون والميثان أكبر مما يحتويه الغلاف الجوي؛ ويشكل هذا خطرا هائلا على طقس العالم. وعلاوة على ذلك، فإن غاز الميثان أخطر وأشد فتكا بكثير من ثاني أكسيد الكربون. ورغـم أنه لا يبقى في الغلاف الجوي الفترة ذاتهـا، فإنه يسبب أضرارا أكبر بكثـير. ويمكن لإطلاق كل هـذه الكمية من غاز الميثان مـن منطقة التندرة المتجمـدة أن يتسبب في زيادة درجات الحرارة بسرعة، مما سيؤدي لإطلاق المزيد من الميثان، وهو ما سيصنع دورة خبيثة من الاحتباس الحراري.

حلول تقنية

الموقف جد خطير، لكننا لم نصل بعد لنقطة اللاعودة؛ فمشكلة التحكم في الغـازات المتسببة في ظاهرة الدفيئـة اقتصادية وسياسية إلى حد كبير في

الواقـع، وليسـت مشكلة تقنية. فإنتـاج غاز ثاني أكسيـد الكربون يقترن بالنشـاط الاقتصادي؛ وبالتالي فإنه يقترن بالثروة. وعلى سبيل المثال، تنتج الولايات المتحدة وحدها قرابة 25 في المائة من إجمالي إنتاج العالم من غاز ثـاني أكسيد الكربون. ويُعزى هذا إلى امتـلاك الولايات المتحدة نحو 25 في المائـة من النشاط الاقتصادي العالمي. وفي عـام 2009، تفوقت الصين علـى الولايات المتحـدة في توليد غـازات الدفيئة، بسبـب النمو المتفجر لاقتصادهـا في الأساس. وهذا هـو السبب الرئيـس في الممانعة الشديدة لدول العالم في التعامل مع ظاهرة الاحتباس الحراري؛ فهذا يعوق الازدهار والنشاط الاقتصادي.

وقـد تم وضع مخططـات عديدة للتعامـل مع تلك الأزمـة العالمية، لكن في نهايـة الأمـر قد لا يكون العـلاج السريع كافيا. فلن يحـل المشكلة إلا تحول كبير في طريقة استهلاكنا للطاقة. وقد أيّد علماء جادون اتخاذ بعض الإجـراءات التقنيـة، لكن أيا من تلـك الإجراءات لم يحـظ بقبول واسع. وتشتمل مقترحات العلماء على ما يلي:

- إطـلاق الملوثات في طبقـات الجو العليـا: ينص أحـد المقترحات على إرسـال الصواريـخ إلى طبقـات الجو العليـا لتطلق الملوثـات، مثل ثاني أكسيد الكبريت، هناك لتعكس ضوء الشمس إلى الفضاء، بحيث يؤدي هذا لتبريد الأرض. وفي الحقيقة، أيد العالم بول كروتزن Paul Crutzen، الحائز على جائزة نوبل، إطلاق الملوثات في الفضاء كوسيلة لتوفير سبيل أخـير للبشرية يوقـف ظاهرة الاحتباس الحراري. وتعـود جذور هذه الفكـرة إلى عام 1991، عندما راقب العلمـاء باهتمام الانفجار البركاني

الضخم لجبل (بيناتوبو) في الفلبين، الذي أطلق 10 مليارات طن متري من الغبار والطمي في طبقات الجو العليا. فتسبب هذا الانفجار البركاني في إعتام السماء، وانخفاض متوسط درجات الحرارة على سطح الكرة الأرضية كلها بمقدار درجة واحدة على مقياس فهرنهايت، كما جعل بالإمكان حساب كم الملوثات اللازمة لتقليل درجات الحرارة في العالم. ومع أن هذا الاقتراح في غاية الجدية، فإن بعض منتقديه يشككون في قدرته على حل المشكلة وحده. والحقيقة أننا لا نعرف الكثير عن قدر ضخامة كمية الملوثات التي يمكن لها أن تؤثر على درجات الحرارة في العالم. وربما كانت الفوائد قصيرة العمر، أو كانت الآثار الجانبية غير المقصودة أسوأ من المشكلة الأصلية نفسها. فمثلا، كان هناك انخفاض مفاجئ في معدل هطول الأمطار عالميا بعد انفجار بركان جبل بيناتوبو. فإذا وقع خطأ ما في التجربة، فإنه قد يؤدي أيضا لجدب كبير في أنحاء العالم. وتشير تقديرات التكلفة لحاجتنا إلى 100 مليون دولار لإجراء الاختبارات الميدانية الأولية. ولما كان أثر غبار الكبريت مؤقتا، فسيتكلف الأمر 8 مليارات دولار سنويا على أقل تقدير لحقن كميات كبيرة من ذلك الغبار في طبقات الغلاف الجوي العليا بانتظام.

- إنشاء مزارع للطحالب: ينادي مقترح آخر بإلقاء الكيماويات المكونة في الأساس من الحديد في المحيطات. وستتسبب تلك المغذيات المعدنية في نمو الطحالب بوفرة في المحيطات، وهو ما سيزيد بدوره من كمية غاز ثاني أكسيد الكربون التي تمتصها الطحالب. لكن بعد أن أعلنت شركة (بلانكتوس) Planktos، وهي شركة تتخذ من ولاية كاليفورنيا مقرا

لها، أنها ستبـدأ في جهد من جانب واحد لتسميد جزء من شمال المحيط الأطلسي بالحديد –على أمل إحداث تكاثر متعمد لبراعم العوالق البحرية بحيث تمتصـ غاز ثاني أكسيد الكربون من الهـواء بعد ذلك – أصدرت البلدان الملتزمة بميثاق لندن London Convention –الذي ينظم عملية إلقاء المخلفات في البحار – ما يسمى (بيان انزعاج) من هذه المحاولة. وكذلك دعت إحدى مجموعات الأمم المتحدة إلى إيقاف مثل هذه التجارب مؤقتا. وانتهت تلك التجربة عندما نفد التمويل من شركة بلانكتوس.

- عـزل الكربون: هناك مقترح ثالـث يقضي بعزل الكربـون، وهي عملية يتـم بواسطتها تسييل ثاني أكسيد الكربون المنبعث من محطات الطاقة التي تعمـل بإحراق الفحم، ثم فصله عن البيئة، ربما بدفنه تحت سطح الأرض. ورغم أن هذا المقترح قد يفلح من حيث المبدأ، فإن العملية باهظة التكلفة، ولا يمكنهـا التخلص من ثاني أكسيد الكربون الذي أطلق بالفعل في الجو. وفي عـام 2009، كان المهندسـون يراقبون بعنايـة أول اختبار كبير لحبس الكربـون، إذ تم تعديـل محطة الطاقة الضخمة (ماونتيـنر) Mountaineer، التي شُيدت عام 1980 في ويست فيرجينيا، لعزل ثاني أكسيد الكربون عن البيئة، ممـا جعلها أول محطة في الولايات المتحـدة لتوليد الكهرباء وحرق الفحم تجرب عملية العزل. وكان من المخطط أن يتم حقن الغاز المسال على بعـد 7800 قدم تحت سطح الأرض، في طبقة مـن الدولوميت في النهاية، على أن يشـكل الغاز كتلة بارتفاع ثلاثـين إلى أربعين قدما وبطول مئات الياردات. هـذا وتخطط الشركة المالكة للمحطة، وهـي شركة (أمريكان إلكتريـك باور) American Electric Power، لحقن 100000 طن من ثاني

أكسيد الكربون سنويا لمدة سنتين إلى خمس سنوات. ويمثل هذا الكم 1.5 في المائة فقط من الانبعاثات السنوية للمحطة، لكن يمكن لهذا النظام في النهاية أن يستوعب ما يصل إلى 90 في المائة. وتبلغ قيمة التكاليف المبدئية نحو 73 مليون دولار. بيد أنه إذا نجح الأمر، فمن الممكن تعميم هذا النموذج بسرعة في مواقع أخرى، مثل أربعة مصانع قريبة عملاقة لحرق الفحم تولد 6 مليارات وات من الطاقة (وهو قدر هائل من الطاقة منح تلك المنطقة اسم (وادي الميجاوات) Megawatt Valley). لكن تبقى هناك علامات استفهام كبيرة بشأن عملية عزل الكربون: فليس واضحا ما إذا كان ثاني أكسيد الكربون سيرتحل من موضعه في النهاية، أو ما إذا كان الغاز سيمتزج بالماء، ربما ليشكل حمضا كربونيا قد يسمم المياه الجوفية. غير أنه إذا حقق المشروع النجاح، فمن الممكن جدا أن يشكل جزءا من مزيج من التقنيات التي تستخدم في التعامل مع ظاهرة الاحتباس الحراري.

- الهندسة الوراثية: يوصي اقتراح آخر باستخدام الهندسة الوراثية لإيجاد أشكال من الحياة يمكنها امتصاص كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون. ومن أبرز المؤيدين المتحمسين لهذا الأسلوب جيه. كريج فينتر J. Craig Venter الذي حقق الشهرة والثروة من خلال ريادته في ابتكار تقنيات عالية السرعة أدت إلى ترتيب الجينوم البشري[1] human genome بنجاح قبل سنوات من الجدول الزمني المحدد لذلك. يقول

(1) الجينوم البشري human genome: كامل المادة الوراثية المكونة من الحمض الريبي النووي منزوع الأكسجين الذي يعرف اختصارًا باسم دي إن أيه (DNA). ويحتوي الجينوم البشري على ما بين20 – 25 ألف جين (المورثات) موجودة في نواة الخلية، مرتبة على هيئة ثلاثة وعشرين زوجًا من الكروموسومات (الصبغيات). (المترجم)

فينتر: (إننا ننظـر للجينوم باعتباره برنامج الخلية، أو حتى نظام التشغيل الخاص بهـا). ويهدف فينتر إلى إعادة كتابة هـذا البرنامج بحيث يمكن تعديـل الجراثيـم جينيـا، أو حتى تشكيلها مـن العدم تقريبـا، ليمكنها امتصاص ثاني أكسيـد الكربون من مصانع حـرق الفحم، وتحويله إلى مـواد مفيدة، كغاز طبيعـي مثلا. ويضيف فينتر: (هنـاك بالفعل آلاف، وربما ملايين، من الكائنات الحية التي تعرف كيف تفعل هذا على سطح كوكبنـا). وتكمن البراعة في تعديل تلك الجراثيـم بحيث يمكنها زيادة إنتاجهـا والازدهار في مصنع لحـرق الفحم. يقول فينتر بتفـاؤل: (إننا نعتقـد أن هـذا المجال يحظـى بإمكانيات هائلة تمكنه مـن القيام مكان الصناعات البتروكيماوية، ربما في غضون عقد واحد من الزمن).

ويؤيـد فريمـان ديسـون Freeman Dyson، وهـو عالم فيزيـاء بجامعة برينستـون Princeton، شـكلا آخر مـن أشكال الهندسـة الوراثية؛ وهو خلق نوع من الأشجار المهندسة وراثيا يكون نهما لامتصاص ثاني أكسيد الكربـون. ويزعـم فريمـان أن تريليونا من هـذه الأشجار ربمـا كان كافيا للتحكـم في ثاني أكسيد الكربـون في الجو. وفي ورقتـه البحثية يتساءل: (هـل يمكننا السيطرة على ثاني أكسيد الكربون في الجو؟). ويجيب مؤيدا إنشاء ما أسماه (بنك الكربون) من (أشجار سريعة النمو) لتنظيم مستويات ثاني أكسيد الكربون.

لكن، كما هي الحال مع أي خطة لاستخدام الهندسة الوراثية على نطاق واسـع، لابد أن نحذر الآثار الجانبية؛ فنحـن لا نستطيع التخلص من أحد أشـكال الحياة بالطريقة ذاتها التي نتخلص بها من سيارة معيوبة. فبمجرد

إطـلاق أحد أشكال الحياة المهندسة وراثيـا في البيئة، قد يكون لذلك آثار غـير مقصودة علـى أشكال أخرى من الحياة، خاصـة إذا كان سيحل محل نوع محلي من النباتات، ويخل بتوازن سلسلة الغذاء.

ومـن المحزن أنه كان هناك عـدم اهتمام واضح من جانـب السياسيين بتمويـل أي من تلك الخطط والمقترحات. لكـن في يوم من الأيام، سوف تصبح ظاهـرة الاحتباس الحراري مؤلمة ومؤذيـة إلى حد يجد السياسيون أنفسهم معه مجبرين على تنفيذ إحداها.

وسـوف تكون العقود القليلة القادمة الفـترة الحرجة الحاسمة. فبحلول منتصـف القرن، سنكون قد دخلنا عصـر الهيدروجين، حيث سيؤدي بنا مزيـج الاندماج النـووي والطاقة الشمسية ومصـادر الطاقة المتجددة إلى اقتصـاد أقل اعتمادا بكثير على استهلاك الوقود الأحفوري. وسوف يوفر لنـا مزيج قوى السوق والتطورات في تكنولوجيا الهيدروجين حلا طويل الأجـل لمشكلة الاحتباس الحـراري في العالم. ومن ثـم، ففترة الخطر هي الفترة الحالية؛ أي قبل قيام الاقتصاد المعتمد على الهيدروجين. فعلى المدى القصـير، سيظل الوقود الأحفوري أرخـص وسيلة لتوليد الطاقة؛ وبالتالي سيظل الاحتباس الحراري مصدرا للخطر لعقود تالية من الزمان.

طاقة الاندماج النووي

بحلول منتصف القرن، سيظهر خيار جديد من شأنه تغيير قواعد اللعبة، وهو: الاندماج النووي. وآنذاك، سيكون هذا الخيار الحل الأكثر صلاحية للتطبيـق بين جميع الحلـول التقنية، وربمـا وفر لنا حلا دائمـا للمشكلة.

ففـي حين تعتمد طاقة الانشطار النووي على شطـر ذرة اليورانيوم، على نحو يولد الطاقـة (ويخلِّف كمية ضخمة من النفاية النووية)، تعتمد طاقة الاندماج على دمج ذرات الهيدروجين بواسطة حرارة هائلة، وهو ما ينتج طاقة أعظم بكثير جدا (بأدنى قدر من النفاية).

وعلـى نقيض طاقـة الانشطار، تحـرر طاقة الاندمـاج الطاقـة النووية للشمس. فمصدر الطاقة لهذا الكون كامن بعمق داخل ذرة الهيدروجين. نعـم، فطاقة الاندمـاج النووي هي ما يضيء الشمـس والسماء، وهي سر النجـوم. وأيا كان من يستطيـع ترويض طاقة الاندمـاج النووي بنجاح، سيحرر طاقة هائلة دائمة لا تنضب. ويأتي وقود مصانع الاندماج النووي تلك من مياه البحر العادية. ويطلق الاندماج النووي طاقة أكبر من البنزين بمقدار 10 ملايين ضعف؛ فزجاجة سعتها 8 أوقيات من الماء تساوي محتوى الطاقة لـ 500000 برميل من البترول.

إن الاندمـاج (وليـس الانشطار) النـووي لهو طريقـة الطبيعة المفضلة في تزويـد الكون بالطاقـة. فعند تشكل النجوم، تنضغـط كرة غازية غنية بالهيدروجـين تدريجيـا بفعل الجاذبية، إلى أن تبـدأ حرارتها في الارتفاع إلى درجـات هائلـة. وعندما يصل الغـاز إلى حوالي 50 مليـون درجة أو نحـو ذلك (وهي درجة متغيرة حسب الظروف المحددة لكل كتلة غاز)، تنسحـق نويـات الهيدروجين داخل الغاز مـع بعضها بعضـا حتى تصل لحالـة الاندماج التي يتشكل عندها الهيليوم. وخلال تلك العملية، تتحرر كميـات هائلة من الطاقة تتسبـب في اشتعال الغاز. (وعلى نحو أكثر دقة، لابد أن يلبي الانضغاط شيئا يسمى (معيار لاوسون) Lawson›s criterion

الذي ينص على ضـرورة ضغط غاز هيدروجيني ذي كثافة معينة، بدرجة حرارة معينة، ولفترة زمنية معينة. فإذا تم الوفاء بتلك الشروط الثلاثة المتعلقة بالكثافـة، ودرجة الحرارة، والوقت، يصبح لدينـا تفاعل اندماجي، سواء كان قنبلة هيدروجينية، أو ميلاد نجم، أو اندماجا نوويا في مفاعل نووي).

لذا فإن هذا هو الأساس: تسخين وضغط غاز الهيدروجين إلى أن تندمج الأنوية، مطلقة كميات رهيبة من الطاقة.

غـير أن محاولات سابقـة لتسخير تلـك الطاقة الكونية بـاءت بالفشل. ذلـك أن تسخين غاز الهيدروجين لتصـل حرارته إلى عشرات الملايين من الدرجات، وتندمج من ثم البروتونات[1] protons، مشكلة غاز الهيليوم، مطلقة كميات هائلة من الطاقة، لهو مهمة عسيرة إلى حد هائل.

علاوة على ذلك، فإن جمهور الناس متشكك في تلك الادعاءات، لأن العلماء يزعمون كل عشرين عامـا أن تسخير طاقة الاندماج النووي صار علـى بعد عشرين عاما. لكن بعـد عقود من المزاعم المفرطـة في التفاؤل، أصبـح علماء الفيزياء مقتنعين على نحو متزايد بأن طاقة الاندماج النووي صارت أخيرا قاب قوسين أو أدنى، ربما في وقت ليس أبعد من عام 2030. وفي لحظـة ما في منتصف القرن، قد نـرى مصانع طاقة الاندماج النووي منتشرة في الريف.

وبالطبـع فـإن جمهور العامـة محق في التشـكك في إمكانيـة استغلال

(1) البروتـون proton: جسيم كان يظن في بادئ الأمر أنـه جسيم أولي (لا يتكون من جسيمات أصغر)، لكن تبين فيما بعد خطـأ هـذا الزعم. وهو من مكونات الذرة، لـه شحنة كهربية موجبة تعـادل تمامًا الشحنة التي يحملهـا الإلكترون، إلا أن الإلكترون شحنته سالبة. وكتلته ضعف كتلة الإلكترون. (المترجم)

طاقة الاندماج النووي، لأنه كانت هناك العديد من الحيل، والخدع، والإخفاقات في الماضي. ففي عام 1951، عندما كانت الولايات المتحدة والاتحاد السوفيتي، في خضم جنون الحرب الباردة، تسعيان على نحو محموم لتصنيع أول قنبلة هيدروجينية، أعلن الرئيس الأرجنتيني خوان بيرون Juan Peron، بجلبة شديدة وتغطية إعلامية مكثفة، أن علماء بلاده حققوا تقدما كبيرا في السيطرة على طاقة الشمس. وقد حقق الخبر انتشارا واسعا، وبدا أنه لا يصدق، لكنه وصل إلى صفحة غلاف نيويورك تايمز New York Times. وأخذ بيرون يتباهى بأن الأرجنتين حققت تقدما علميا كبيرا فشلت في تحقيقه القوتين العظميين. وكان عالم يتحدث الألمانية، اسمه رونالد ريشتر Ronald Richter، قد أقنع بيرون بتمويل (الثيرموترون) thermotron الذي اخترعه، والذي يبشر بتوليد طاقة غير محدودة، ومجد خالد للأرجنتين.

وقد أعلن مجتمع العلماء الأمريكيين، الذي كان ما يزال يكافح مع الاندماج النووي في سباقه المحموم مع روسيا لإنتاج القنبلة الهيدروجينية، أن الادعاء الأرجنتيني سخيف وغير منطقي. ولقد قال العالم الذري رالف لاب Ralf Lapp بهذا الصدد: (إنني أعرف تلك المادة الأخرى التي يستخدمها الأرجنتينيون؛ إنها الهراء).

وسرعان ما أطلقت الصحافة على الإعلان الأرجنتيني اسم (قنبلة الهراء). وعندما سُئل العالم الذري ديفيد ليلينثال David Lilienthal عما إذا كانت هناك (أدنى فرصة) أن يكون الأرجنتينيون محقين، صاح مجيبا: (ولا أدنى فرصة).

وفي مواجهة الضغوط الشديدة، أصر بيرون على موقفه ببساطة، مشيرا إلى أن القوتين العظميين حانقتان، لأن الأرجنتين سبقتهما. ثم حانت لحظة الحقيقة أخيرا في العام التالي، عندما زار مندوبو بيرون معمل ريشتر الذي تصرف بتوتر وغرابة بعدما تعرض للضغط. فحينما وصل المفتشون، نسف باب المعمل باستخدام خزانات من الأكسجين، ثم كتب على ورقة كلمتي: (الطاقة الذرية). وقد طلب أن يتم حقن البارود في المفاعل؛ وكان الرأي النهائي أنه شخص مجنون على الأرجح. وعندما وضع المفتشون قطعة من الراديوم إلى جوار (عدادات الإشعاع) في معمل ريشتر، لم يحدث أي شيء، لذا كان من الواضح أن معداته وأجهزته زائفة؛ وقد ألقي القبض عليه فيما بعد.

غير أن الحالة الأكثر شهرة كانت حالة ستانلي بونز Stanley Pons ومارتن فليشمان Martin Fleischmann؛ وهما عالما كيمياء يحظيان بالاحترام من جامعة يوتاه University of Utah زعما، في عام 1989، أنهما أتقنا ما أسمياه (الاندماج البارد)؛ وهو ما يعني الاندماج في درجة حرارة الغرفة. وقد زعم العالمان أنهما وضعا في الماء عنصر البالاديوم الذي تسبب بعد ذلك، بطريقة سحرية ما، في ضغط ذرات الهيدروجين إلى أن اندمجت لتشكل الهيليوم، على نحو أطلق طاقة هائلة فوق سطح منضدة.

ولقد كانت صدمة العالم فورية. فوضعت جميع صحف العالم تقريبا هذا الخبر في صدر صفحاتها الأولى. وبين عشية وضحاها، أصبح الصحفيون يتحدثون عن نهاية أزمة الطاقة، وقرب بداية عصر جديد من الطاقة غير المحدودة. وأصيبت وسائل الإعلام العالمية بالجنون في تغطية الحدث.

وسرعـان ما اعتمدت ولاية يوتاه مبلغ 5 ملايين دولار لإنشاء معهد وطني للاندمـاج البـارد National Institute for Cold Fusion. وحتى شركات صناعـة السيـارات اليابانيـة بدأت في التـبرع بملايين الـدولارات لدعم الأبحاث في هذا المجال الجديـد. وإجمالا، بدأت متابعة فكرة الاندماج البارد تظهر وكأنها نوع من العبادات.

وعلـى خلاف ريشـتر، كان بونز وفليشمان عالمـين محترمين في أوساط العلمـاء سرهما أن يشركا الآخريـن في نتائجهما؛ فقـد عرضا أجهزتهما ومعلوماتهما ليراها العالم كله.

لكـن الأمور تعقدت بعد ذلك. فلما كانـت الأجهزة في غاية البساطة، حاولـت مجموعات مـن العلماء في جميع أنحاء العالم تكـرار تلك النتائج المذهلة. ومع الأسف، فشلت معظم تلك المجموعات في إنتاج أي عملية إطـلاق للطاقة؛ وهـو ما أعلن نهاية فكرة الاندماج البـارد. بيد أن القصة ظلـت حية بسبب ظهور مزاعـم متفرقة بأن مجموعـات معينة استطاعت تكرار التجربة بنجاح.

وأخيرا، أدلى مجتمع العلماء برأيه في المسألة. فقد قاموا بتحليل معادلات بونـز وفليشمـان، ووجدوها ناقصـة. أولا، لأنـه إذا كانـت مزاعمهما صحيحة، لـكان وابل محرق من النيوترونـات[1] neutrons قد انبعث من كـوب الماء، وقتل بونز وفليشمان (ففـي تفاعل اندماجي تقليدي، ترتطم

(1) النيوتـرون neutron: جسيم تحت ذري، كان يظن أنه جسيـم أولي (لا يتكون من جسيمات أصغر)، لكن تبين فيما بعد خطـأ هذا الزعم. وهـو موجود في أنوية الذرات، كما يمكـن أن يوجد خارجها، حيث يدعى بالنيوتـرون الحر. ولأنه غير مشحون، كان من الصعب اكتشافه أو التحكم به؛ مما أدى لتأخر اكتشافه. (المترجم)

نواتـا هيدروجين ببعضهمـا، وتندمجان، مولدتين الطاقـة، ونواة هيليوم، ونيوترونا). لذا فإن حقيقة أن بونز وفليشمان ما زالا على قيد الحياة تعني أن التجربـة لم تنجـح. فلو أن تجاربهمـا أنتجت اندماجا بـاردا، لكانا قد ماتـا بسبب حروق الإشعاع. ثانيا، من المحتمل جـدا أن بونز وفليشمان قـد صنعا تفاعلا كيميائيا وليس تفاعـلا نوويا حراريا. وأخيرا، حسب ما استنتـج العلماء، فإن عنصر البالاديوم لا يمكنه ربط ذرتين من الهيدروجين بالقرب الكافي لجعل الهيدروجين يندمج ويتحول إلى هيليوم. ولكان هذا يشكل انتهاكا لقوانين نظرية الكم.

وعامة، لم ينتـه الجدل حول ذلك الأمر حتى يومنا هذا. فما زالت هناك دعـاوى عارضة بـين الحين والآخر بـأن أحدهم حقق الاندمـاج البارد. وتكمـن المشكلة في أن لم يستطع صنع الاندمـاج البارد على نحو متعمد وموثـوق. وعلـى أي حال يبقى السـؤال: ما جدوى صنـع محرك سيارة إذا كان سيعمـل فقط بين الحـين والآخر؟ إن العلم يقوم علـى نتائج قابلة للتكرار، والاختبار، ويمكن محاكاتها بنجاح في كل مرة.

الاندماج الحار

لا شـك أن فوائد ومزايا طاقة الاندماج النـووي هائلة وعظيمة إلى حد جعل الكثير من العلماء يهتمون بشدة بندائها المغوي.

وعلـى سبيل المثال، يولد الاندماج النـووي قدرا أدنى من التلوث؛ فهو نظيف نسبيا، وهو وسيلة الطبيعة في تزويد الكون بالطاقة. فأحد المنتجات الثانوية للاندمـاج النووي غاز الهيليوم، وهـو في الواقع ذو قيمة تجارية.

وهنـاك مكون آخر، هـو حديد حجرة الاندماج ذو النشـاط الإشعاعي، الذي ينبغي دفنه في النهاية، وهو ينطوي على خطر معتدل لا يستمر سوى لبضعـة عقود قليلة. وإجمالا، فـإن محطة اندماج نووي ستنتج كما ضئيلا من النفايـة النووية، مقارنة بمحطة نووية تعمـل بانشطار اليورانيوم (هذه الأخيرة تنتج ثلاثين طنا من النفاية النووية عالية مستوى الخطورة كل عام، وتظل خطيرة لآلاف إلى ملايين السنين).

كمـا أن مصانـع الاندماج النووي لا يمكن أن تتعرض لانهيار كارثي. بخـلاف مصانع انشطار اليورانيوم التي تكون دوما عرضة لهذا الانهيار، لأنهـا تحتوي على أطنان من المخلفـات النووية عالية مستوى الخطورة في قلبها. وتولّد تلك المخلفات، حتى بعد إيقاف التشغيل، كميات هائلة من الحـرارة يمكنها أن تصهر الحديد الصلب، وتصل إلى المياه الجوفية، متسببة في انفجـار بخـاري، وفي كابوس حـادث (متلازمة الصـين)[1] China Syndrome.

إن مصانـع الاندمـاج النووي أكـثر أمانا في ذاتها. بـل إن الحديث عن انصهـار مفاعل اندماج نووي يشكل تناقضا في المفاهيم والمصطلحات لا محل له. فمثلا، إذا تم إغلاق المجال المغناطيسي لمفاعل اندماج نووي، فإن البلازما الساخنة ستصطدم بجدران الغرفة، وتتوقف عملية الاندماج على الفور. وهكذا، فإن مصانع الاندماج النووي، بدلا من أن تتعرض لتفاعل

(1) متلازمـة الصـين China Syndrome: اسم فيلم أمريكـي، بطولة: جين فوندا وجاك ليمون، يتنـاول احتمال انفجار مفاعل نووي على نحو يصل تأثيره إلى الجانب المقابل من الأرض (عن طريق شق حفرة عبر باطن الأرض). (المترجم)

متسلسل سريع، توقف نفسها تلقائيا في حال وقوع حادث.

يقـول فاروق نجم عبـادي Farrokh Najmabadi، مديـر مركز أبحاث الطاقـة Center for Energy Research بجامعة كاليفورنيا في سان دييجو University of California at San Diego: (حتى إذا دمرت المحطة، فإن مستوى الإشعاع على مسافة كيلومتر واحد خارج سياج المحطة سيكون ضئيلا للغاية إلى حد لا يتوجب معه إجراء عملية إخلاء لسكان المنطقة).

وعلـى الرغم من أن طاقة الاندماج النـووي، على نطاق تجاري، تتمتع بـكل هذه المزايا المدهشة، فإن هناك معلومة صغيرة ناقصة مفادها أن هذه الطاقة غير موجودة. فليس هناك أحد قد تمكن بعد من إنشاء محطة اندماج نووي قيد التشغيل.

إلا أن الفيزيائيـين متفائلون بحذر. يقول ديفيد إي. بالدوين .David E Baldwin، مـن مؤسسة (جـنرال أتومكـس) General Atomics، الذي يشـرف على واحد مـن أكبر مفاعـلات الاندماج النـووي في الولايات المتحـدة: (منذ عقـد من الزمان، تشـكك بعض العلمـاء في إمكانية إتمام الاندماج النووي بنجاح. ويبقى السـؤال: هل سيكون عمليا من الناحية الاقتصادية، أم لا؟).

منشأة الإشعال الوطنية: الاندماج بالليزر

يمكـن أن يتغير كل هـذا بصورة جذرية خلال السنـوات القليلة المقبلة. فهناك العديد من الطرق التي يتم تجربتها على نحو متزامن. وبعد عقود من البدايات الخاطئة، أصبح علماء الفيزياء مقتنعين بأنهم سيحققون الاندماج

النووي في نهاية الأمر. ففي فرنسا، يوجد المفاعل النووي الحراري الدولي التجريبي International Thermonuclear Experimental Reactor (المعروف اختصارا باسم (أيتر) ITER)، والذي تدعمه عدة دول أوروبية، بالإضافة إلى الولايات المتحدة واليابان وغيرهما من الدول. وفي الولايات المتحدة، هناك منشأة الإشعال الوطنية National Ignition Facility (واختصارا NIF).

ولقد واتتني فرصة زيارة آلة الاندماج بالليزر المستخدمة في (منشأة الإشعال الوطنية) (NIF)، وكان منظرها هائلا. وبسبب ارتباطه الوثيق بالقنابل الهيدروجينية، فإن مفاعل منشأة الإشعال الوطنية يقع في معمل (لورنس ليفرمور الوطني) Lawrence Livermore National Laboratory الذي يصمم فيه الجيش الصواريخ الحربية الهيدروجينية. وكان لابد لي من عبور العديد من مستويات الأمان، لأتمكن في النهاية من الدخول.

وعندما وصلت للمفاعل، كانت التجربة مهيبة بحق. فرغم أنني معتاد على رؤية أجهزة الليزر في معامل الجامعات (في الحقيقة، يقع واحد من أكبر معامل الليزر في ولاية نيويورك تحت مكتبي مباشرة، في جامعة مدينة نيويورك City University of New York)، فإن رؤية منشأة الإشعال الوطنية (NIF) كانت مبهرة. فالجهاز موضوع في مبنى مكون من عشرة طوابق بحجم ثلاثة ملاعب كرة، ويطلق 192 شعاع ليزر ضخما لأسفل عبر نفق طويل. إنها أكبر منظومة ليزر في العالم أجمع، إذ يولد طاقة أكبر بستين ضعفا من أي جهاز سبقه.

وبعد إطلاق أشعة الليزر تلك، عبر ذلك النفق الطويل، تصطدم في

النهايـة بنسق مـن المرايا يعمل علـى تركيز كل شعاع علـى هدف ضئيل بحجم رأس الدبوس، يتكون من الدوتيريوم والترتيوم (وهما نظيران من نظائـر الهيدروجين). وهكذا، على نحو مدهش، يتم تركيز 500 تريليون وات من طاقة الليزر على حبة صغيرة لا تكاد تُرى بالعين المجردة، مما يرفع درجـة حرارتها إلى 100 مليون درجة، وهـي درجة أكثر حرارة بكثير من درجة حرارة قلـب الشمس (تعادل تلك الطاقـة الرهيبة مخرجات نصف مليـون محطـة للطاقة النووية في لحظـة وجيزة). وسرعان مـا يتبخر سطح تلـك الحبة الصغيرة، وهو ما يطلـق موجة صدمة تهدم الحبة، وتطلق طاقة الاندماج.

وتجـدر الإشـارة إلى أن التجربـة اكتملت عام 2009، وهـي الآن تحت الاختبار. وإذا سـارت الأمور على خير ما يرام، قد يكون هذا أول جهاز يولد طاقة بقدر ما يستهلكها. وعلى الرغم من أن هذا الجهاز ليس مصمما لتوليـد الطاقـة الكهربائية على نطاق تجاري، فإنـه مصمم ليبرهن على أن أشعة الليزر يمكن تركيزها لتسخين المواد الغنية بالهيدروجين، وتوليد طاقة صافية منها.

ولقـد تحدثت مع أحـد مديري منشـأة الإشعال الوطنيـة، وهو إدوارد موسيس Edward Moses، بشأن آمالـه وأحلامه لهذا المشروع. وأول ما لفـت نظري في هذا العالم الذي يرتدي خـوذة غليظة أنه كان أشبه بعمال البناء منه بعالم فيزياء من الطراز الأول مسئول عن أكبر معمل ليزر في العالم أجمع. وقد اعترف لي إدوارد أنه كانت هناك العديد من البدايات الخاطئة في الماضي، وأنـه يعتقد أن هذا الجهاز هو البداية الحقيقية الصحيحة؛ فقد

كان هو وأفـراد فريقه على وشك تحقيق إنجاز مهم سيجد طريقه إلى كتب التاريخ بـلا شك، وهو اقتباس قدر من طاقـة الشمس على الأرض لأول مرة على نحو سلمي. والحقيقة أنه عند التحدث مع مثل هذا العالم، يدرك المرء كيف تبقـى مشاريع مثل مشروع منشأة الإشعال الوطنية (NIF) حية بفضـل حماس وطاقة المؤمنين الحقيقيين بها. ذلك الحماس الذي رأيته في عينـي إدوارد وهـو يخبرني أنه ينتظر اليوم الـذي يستطيع فيه دعوة رئيس الولايات المتحدة لزيارة معمله لإعلان الحدث التاريخي.

والملفت أن بداية مشروع منشأة الإشعال الوطنية كانت سيئة (بل إن أشياء غريبة قد حدثت؛ كإرغام المدير المساعد السابق للجهاز إي. مايكل كامبل E. Michael Campbell علـى الاستقالة في عام 1999، عندما اكتُشف أنه كـذب بشأن حصوله على درجة الدكتوراه من جامعة برينستون). ثم بدأ تاريخ الانتهاء، المحـدد له عام 2003، في التراجع. وتضاعفت التكاليف، إذ قفـزت من مليار دولار إلى 4 مليـارات دولار. وأخيرا، انتهى المشروع في مارس 2009، بعد تأخير مدته ست سنوات كاملة.

وصدق من قـال إن (الشر يكمن في التفاصيل). ففي الاندماج بالليزر، علـى سبيل المثال، يجب علـى أشعة الليزر البالغ عددهـا 192 أن تصطدم بسطـح حبة ضئيلة بأكبر قدر ممكن من الدقـة، بحيث تتفجر الحبة داخليا علـى نحو متوازن. ولابد أن تصطدم الأشعة بهذا الهدف الصغير بفاصل زمني بينها وبين بعضهـا لا يتجاوز 30 من تريليون جزء من الثانية. وأدنى قـدر من عدم الاتساق بين أشعة الليزر، أو من انحراف الحبة، سوف يعني أن حرارتها سترتفع على نحو غير متسق، مما يؤدي إلى انفجارها للخارج

من أحد الجوانب، بدلا من الانفجار للداخل على نحو دائري.

وإذا كانت الحبة غير منتظمة بمقدار 50 نانومترا (أو حوالي 150 ذرة)، فلن يمكنها كذلك الانفجار داخليا على نحو متساوٍ. (يشبه هذا محاولة إلقاء كرة بيسبول في نطاق منطقة الضرب من مسافة 350 ميلا). وهكذا، يتضح أن انتظام أشعة الليزر واستواء الحبة هما المشكلتان الرئيستان اللتان تواجهان الاندماج بالليزر.

وبالإضافة إلى منشأة الإشعال الوطنية (NIF)، يدعم الاتحاد الأوروبي نسخة خاصة به من الاندماج النووي. وسوف يتم بناء المفاعل التابع للاتحاد الأوروبي في مبنى أبحاث طاقة الليزر عالية القدرة High Power Laser Energy Research Facility (المعروف اختصارا باسم (هايبر) HiPER). وهو مفاعل أصغر حجما، لكن ربما كان أكثر كفاءة من منشأة الإشعال الوطنية الأمريكية، إذ سيبدأ إنشاء مبنى أبحاث طاقة الليزر عالية القدرة (هايبر) عام 2011.

وعموما، تتعلق آمال كثيرين على منشأة الإشعال الوطنية (NIF). لكن حتى إذا لم يفلح الاندماج بالليزر على النحو المتوقع له، فهناك مقترح آخر، بل وأكثر تطورا، لصنع الاندماج المتحكم فيه؛ وهو: وضع الشمس في زجاجة.

(أيتر): الاندماج النووي في مجال مغناطيسي

تصميم آخر يتم استشماره في فرنسا – في (المفاعل النووي الحراري الدولي التجريبي) International Thermonuclear Experimental Reactor، المعروف اختصارا باسم (أيتر) (ITER) – يستخدم المجالات

المغناطيسية لاحتواء غـاز الهيدروجين الساخن. وبدلا من استخدام أشعة الليـزر لهدم حبـة صغيرة من مـادة غنية بالهيدروجـين، يستخدم مفاعل (أيـتر) مجالا مغناطيسيا لضغط غاز الهيدروجين ببطء. ويبدو الجهاز شديد الشبـه بكعكة مجوفـة عملاقة مصنوعة مـن الصلب، محاطـة كليا بملفات مغناطيسية. وهذا المجال المغناطيسي يحافظ على وجود غاز الهيدروجين داخـل الغرفة التي تأخذ شـكل الكعكة، ويمنعه من التسرب. ومن ثم، يتم تمريـر تيار كهربائي قوي عبر الغـاز ليسخنه. فيتسبـب مزيج ضغط الغاز بواسطـة المجال المغناطيسـي وتمرير التيار الكهربائي مـن خلاله في زيادة درجة حرارته إلى عدة ملايين من الدرجات.

جديـر بالذكر أن فكرة استخدام (زجاجـة مغناطيسية) لصنع الاندماج ليست بالفكرة الجديدة؛ فهي ترجع إلى خمسينات القرن العشرين في واقع الأمر. لكن لماذا استغرق الأمر كل هذا الوقت، بكل هذه التأخيرات، لنشر طاقة الاندماج على نطاق تجاري؟

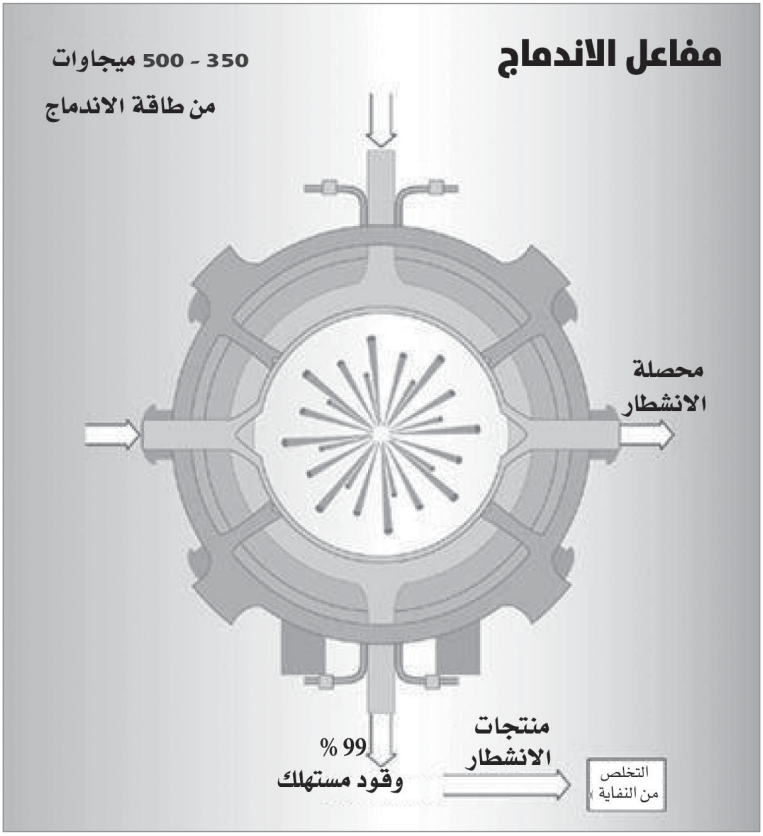
إن المشكلـة تكمن في أن المجـال المغناطيسي لابد أن يكون شديد الدقة، بحيث يتم ضغط الغاز على نحو متساوٍ، دون أن ينتفخ أو يصبح غير منتظم. فكـر في أن تأخذ بالونا، وتحاول ضغطه بيديـك، بحيث يضغط على نحو متساوٍ دون أن ينفجر. ستجد أن البالون ينبعج للخارج من الفجوات الواقعة بين يديك، ممـا يجعل الضغط الموحد شبه مستحيل. لذا فإن المشكلة تكمن في عدم الاستقرار، وهي ليست مشكلة فيزيائية وإنما مشكلة هندسية.

قـد يبدو هـذا غريبا عندمـا نعلم أن النجـوم تضغط غـاز الهيدروجين بسهولـة، صانعـة تريليونات النجـوم التي نراها في كوننـا. فالطبيعة إذن

تخلق النجوم في السماء بلا جهد يذكر! فلماذا لا نستطيع فعل ذلك على الأرض؟ إن الإجابة عن هذا السؤال تدل على فارق بسيط، لكنه عميق، بين الجاذبية والكهرومغناطيسية.

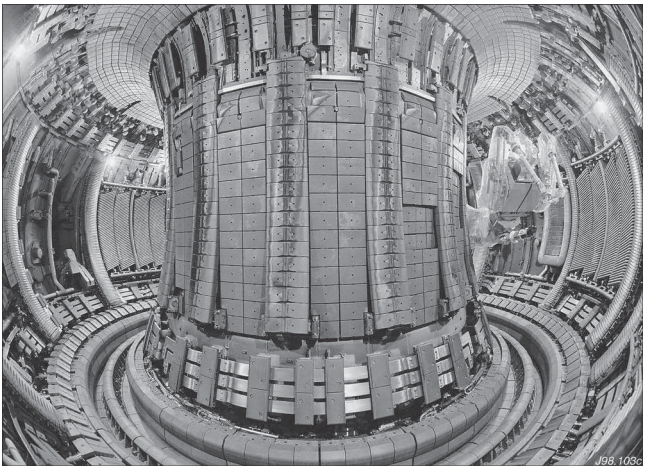
فالجاذبية –كما يوضحها نيوتن– جاذبة على نحو صارم؛ لذا فإن جذب غاز الهيدروجين في النجوم يؤدي لضغطه في صورة كرة مستوية تماما (وهذا هو السبب الذي يجعل النجوم والكواكب تأخذ الشكل الكروي، وليس المكعب أو المثلث). لكن الشحنات الكهربائية تأتي في صورتين: موجبة وسالبة. فلو قمنا بتجميع كرة من الشحنات السالبة، فإنها ستدفع بعضها بعضا، وتتشتت في كل الاتجاهات. أما إذا وضعنا شحنات موجبة وسالبة معا، فسنحصل على ما يسمى (قطب مزدوج)، بمجموعة معقدة من خطوط المجال الكهربائي تشبه شبكة العنكبوت. وبالمثل، فإن المجالات المغناطيسية تشكل قطبا مزدوجا؛ لذا فإن ضغط الغاز الساخن على نحو متساوٍ داخل غرفة على شكل كعكة مجوفة، مهمة في غاية الصعوبة. وفي الواقع، يتطلب الأمر جهاز كمبيوتر فائقا لرسم المجالات المغناطيسية والكهربائية المنبعثة من ترتيب بسيط للإلكترونات.

ويتلخص الأمر في: الجاذبية تجذب، ويمكنها أن تضغط الغاز على نحو متساوٍ في صورة كرة. فيمكن للنجوم أن تتشكل بسهولة، لكن الكهرومغناطيسية جاذبة طاردة في الوقت نفسه؛ لذا فإن الغازات تنبعج للخارج بطرق معقدة عندما يتم ضغطها، مما يجعل الاندماج المتحكم فيه أمرا فائق الصعوبة. وتلك هي المشكلة الأساسية التي عاندت الفيزيائيين طوال خمسين عاما.



حتى الآن. فالفيزيائيون يزعمـون حاليا أن مفاعل (أيتر) استطاع أخيرا فك عُقد مشكلة الاستقرار بواسطة العزل المغناطيسي.

إن جهـاز (أيـتر) أحد أكبر المشاريـع العلمية الدولية التـي أقيمت حتى الآن. ويتكـون قلـب الجهاز من غرفـة معدنية على شـكل كعكة، ويزن بكاملـه 23000 طن، وهـو وزن يتجاوز كثيرا وزن بـرج إيفل الذي يزن 7300 طن فقط.



نوعان من الاندماج. على يسار الصورة، تقوم أشعة الليزر بضغط حبة من مواد غنية بالهيدروجين. وعلى اليمين، تقوم المجالات المغناطيسية بضغط غاز يحتوي على الهيدروجين. وبحلول منتصف القرن، قد يستمد العالم طاقته من الاندماج النووي.

ومكونـات المفاعل ثقيلة للغاية إلى حد أنه كان لابد من إجراء تعديلات خاصـة على الطرق التي ستنقل عليها. وستقوم قافلة كبيرة من الشاحنات بنقـل المكونـات التي يـزن أثقلها 900 طـن، ويبلغ أطولها ارتفـاع أربعة طوابـق. وسيكون مبنى مفاعل (أيـتر) نفسه بارتفاع تسعـة عشر طابقا، وسيقـام على منصة عملاقة بحجـم ستين ملعب كرة قدم. ومن المتوقع أن تصـل تكلفته إلى 10 مليارات يورو، وهي تكلفـة سيتحملها سبعة أعضاء مشتركـين في المشروع (الاتحاد الأوروبـي، والولايات المتحدة، والصين، والهند، واليابان، وكوريا، وروسيا).

وعندما يبدأ المفاعل في العمل أخيرا، سيقوم بتسخين غاز الهيدروجين إلى 270 مليون درجة بمقياس فهرنهايت، وهي درجة تفوق كثيرا الـ 27 مليون درجة الموجودة في قلب الشمس. وإذا سارت الأمور كما ينبغي، فسوف يولد المفاعل 500 ميجاوات من الطاقة، وهو قدر يبلغ عشرة أضعاف الطاقة المستخدمة في تشغيله (الرقم القياسي الحالي لطاقة الاندماج هو 16 ميجاوات، وهو الرقم الذي حققه المفاعل الأوروبي المسمى (جيت) JET – وهو اختصار لـ(الحلقة الأوروبية المشتركة) Joint European Torus – القائم في مركز (كالهام ساينس سنتر) Culham Science Center، في أكسفوردشاير بالمملكة المتحدة). وقد أصبح الموعد المحدد للوصول إلى نقطة التعادل للمشروع، بعد بعض التأخيرات، هو عام 2019.

وعلي أي حال، ما زال مفاعل (أيتر) مجرد مشروع علمي حتى الآن؛ فهو ليس مصمما لإنتاج الطاقة على نطاق تجاري. غير أن الفيزيائيين يضعون الآن بالفعل أساس الخطوة التالية، إذ يأخذون طاقة الاندماج إلى الأسواق التجارية. وقد اقترح فاروق نجم عبادي، الذي يقود مجموعة عمل تدرس التصميمات التجارية لمصانع الاندماج، بناء جهاز أصغر من مفاعل (أيتر)، أسماه (آريس – أت) (ARIES – AT)، ينتج مليار وات بسعر 5 سنتات تقريبا لكل كيلووات في الساعة، مما يجعله قادرا على منافسة الوقود الأحفوري. لكن نجم عبادي، شديد التفاؤل بشأن طاقة الاندماج، يعترف بأن طاقة الاندماج لن تكون جاهزة للاستخدام التجاري واسع النطاق قبل منتصف القرن.

وهناك تصميم تجاري آخر؛ هو مفاعل الاندماج (ديمو) (DEMO). وفي حين تم تصميم مفاعل (أيتر) لإنتاج 500 ميجاوات لمدة 500 ثانية كحد أدنى، فإن مفاعل (ديمو) سيتم تصميمه لتوليد الطاقة على نحو مستمر. كما يضيف مفاعل (ديمو) خطوة إضافية يفتقر إليها (أيتر). فعندما يحدث الاندماج، يتكون نيوترونا إضافيا، وسرعان ما يهرب هذا النيوترون من الغرفة. غير أنه من الممكن إحاطة الغرفة بغلاف خارجي خاص، يسمى الغطاء، مصمم خصيصا لامتصاص طاقة هذا النيوترون. ومن ثم، ترتفع درجة حرارة هذا الغطاء. وفي ظل وجود أنابيب تحمل الماء داخل الغطاء، فإن هذا الماء يغلي بفعل ارتفاع درجة الحرارة، ويندفع البخار الناتج عن ذلك نحو شفرات مولد توربيني يولد الكهرباء.

وإذا سارت الأمور على ما يرام، فسيبدأ مفاعل (ديمو) في العمل عام 2033. وسوف يكون أكبر بنسبة 15 في المائة من مفاعل (أيتر). وسوف يولد طاقة أكبر من التي يستهلكها بمقدار خمس وعشرين مرة. وإجمالا، من المتوقع أن يولد المفاعل مليارى وات من الطاقة، مما يجعله مشابها لمحطة توليد طاقة تقليدية. وإذا نجح مفاعل (ديمو)، فمن الممكن أن يؤدي إلى نشر هذه التكنولوجيا تجاريا بسرعة.

لكن تظل هناك العديد من الشكوك. فقد حظي مفاعل (أيتر) بالفعل على الأموال اللازمة لبنائه. ولما كان مفاعل (ديمو) ما يزال في مراحل التخطيط، فمن المتوقع أن تكون هناك تأخيرات.

هذا ويعتقد علماء الاندماج أنهم قد تجاوزوا الأزمة أخيرا. فبعد عقود من المبالغات والإخفاقات، باتوا يعتقدون أن الاندماج النووي أصبح في

متناول الأيـدي. فهناك تصميمان وليس واحدا (منشأة الإشعال الوطنية، ومفاعل – أيتر) يمكن في النهاية أن يؤديا إلى وجود الكهرباء المتولدة من الاندماج في غرف معيشتنا. لكن، حيث إن أيا من منشأة الإشعال الوطنية أو مفاعـل (أيتر) لم يولد بعـد طاقة الاندماج على نطـاق تجاري، فسيظل هنـاك مجال لما هو غير متوقع، مثل: الاندمـاج البارد، والاندماج الفقاعي bubble fusion.

الاندماج البارد

ولمـا كانـت المخاطر عظيمة، كان مـن المهم أيضا أن نقـر بإمكانية حل المشكلـة من اتجاه مختلف تماما، وغير متوقع على الإطلاق. ولأن الاندماج عمليـة محددة على نحو دقيق، قُدمت العديد من العروض التي تخرج عن الاتجـاه التقليدي السائد للتمويل واسع النطـاق، لكنها عروض بها بعض المزايا. وبعض هذه العروض قد تؤدي يوما إلى تحقيق الاندماج البارد.

ولعلنـا نتذكر ذلك المشهد الختامي من فيلم (العودة إلى المستقبل) Back to the Future، حيـث كنا نـرى دوك بـراون Doc Brown –ذلك العالم المجنـون – يكافح للحصول على الوقود لآلة الزمن التي اخترعها. وبدلا مـن تزويد آلتـه بالبنزين، فإنه يبحـث في صناديق القمامة عـن قشر الموز والنفاية، ثـم يضع كل شيء داخل وعاء صغير أسماه (مستر فيوجن) Mr. Fusion.

تُـرى، بعـد مئة عام من الآن، هـل سيتمكن تصميم ثـوري من تقليص أجهـزة ضخمة بحجم ملعب كـرة قدم لتصبح بحجم آلـة صنع القهوة،

كما رأينا في الفيلم؟

يسمى أحد الاحتمالات الجدية لتحقيق الاندماج البارد (الضيائية الصوتية)[1] sonoluminescence، وهي ظاهرة تستخدم الانهيار المفاجئ للفقاعات لإطلاق درجات حرارة هائلة. ويسمى هذا أحيانا (الاندماج الصوتي) sonic fusion، أو (الاندماج الفقاعي) bubble fusion. وقد كانت تلك الظاهرة الغريبة معروفة منذ عقود، إذ تعود إلى عام 1934، عندما كان العلماء في جامعة كولونيا University of Cologne يجرون تجاربهم على الموجات الصوتية الفائقة والتصوير الفوتوغرافي، على أمل زيادة سرعة عملية التطوير. وقد لاحظوا وجود نقاط صغيرة في الفيلم صنعتها ومضات من الضوء تم توليدها عبر الموجات الصوتية التي صنعت فقاعات في السائل. وفيما بعد، لاحظ النازيون أن الفقاعات المنبعثة من مراوح الدفع كثيرا ما تتوهج على نحو يدل على تولد درجات حرارة مرتفعة بطريقة ما داخل الفقاعات.

وبعد ذلك، اتضح أن تلك الفقاعات كانت تسطع متألقة، لأنها تنهار على نحو متساوٍ يضغط معه الهواء الموجود داخلها لتصل حرارته إلى درجات مرتفعة للغاية. وكما رأينا سابقا، فإن الاندماج الساخن يشوبه الضغط غير المتساوي للهيدروجين، إما لأن أشعة الليزر التي تصيب حبيبة الوقود لا تكون موزعة بالتساوي، وإما لأن الغاز لا يتعرض للضغط

(1) الضيائية الصوتية sonoluminescence: ظاهرة انبعاث ومضات ضوئية من فقاعات غازية تنهار وسط سائل تحت تأثير الموجات الصوتية. وهي تثير اهتمام الفيزيائيين، لأن هذا يحدث مع تركيز عالٍ للطاقة لفترة وجيزة من الزمن، ويمكن أن تتحقق من خلالها بداية انصهار نووي حراري. (المترجم)

بالتساوي. ومع انكماش الفقاعة، تكون حركة الجزيئات سريعة للغاية بحيث يصبح ضغط الهواء داخل الفقاعة على جدرانها موحدا. ومن حيث المبدأ، إذا استطعنا جعل الفقاعة تنهار في مثل هذه الظروف المثالية، يمكننا صنع الاندماج.

والحقيقة أن تجارب (الضوئية الصوتية) قد استطاعت توليد حرارة مرتفعة وصلت إلى عشرات الآلاف من الدرجات. وباستخدام الغازات الخاملة، يمكننا زيادة كثافة الضوء المنبعث من تلك الفقاعات. لكن يبقى الجدل مستمرا حول ما إذا كانت هذه التجارب يمكنها أن تولد درجات حرارة عالية بما يكفي لإحداث اندماج نووي. وينبع هذا الجدل من أعمال روسي تاليرخان Rusi Taleyarkhan الذي كان يعمل سابقا في معمل أوك ريدج الوطني Oak Ridge National Laboratory، والذي زعم في عام 2002 أنه تمكن من صنع اندماج نووي بجهاز الاندماج الصوتي الخاص به. لقد زعم أنه اكتشف وجود نيوترونات منبعثة من تجربته، وهي علامة مؤكدة على حدوث اندماج نووي. لكن بعد سنوات من العمل والجهد، فشل باحثون آخرون في تكرار تجربته، وتم رفض هذه النتيجة، على الأقل في الوقت الراهن.

غير أن هناك بطاقة رابحة أخرى؛ هي جهاز الاندماج الذي اخترعه فيلو فارنسوورث Philo Farnsworth المشارك المغبون حقه في اختراع جهاز التليفزيون. فعندما كان فارنسوورث طفلا، راودته في البداية فكرة جهاز التليفزيون عن طريق التفكير في الطريقة التي يحرث بها الفلاح حقوله، صفا وراء صف. بل إنه وضع مخططا لتفاصيل النموذج الأولي

وهــو في الرابعة عشرة من عمره، فـكان أول من حول هذه الفكرة لجهاز إلكتروني بالكامل قادر على التقـاط الصور المتحركة على الشاشة. لكن، مع الأســف، لم يستطع الاستفــادة من اختراعه البــارز، وغرق في معارك مطولة ومزعجة للحصول على براءة الاختراع. بل إن معاركه القانونية من أجــل براءة الاختراع أدت به إلى الجنون، فسلــم نفسه طواعية إلى مصحة للمجانــين. وتعرضــت جهوده الرائــدة في اختراع التليفزيــون للتجاهل والإغفال إلى حد كبير.

وفي مرحلــة لاحقة من حياته، وجه فارنســوورث انتباهه إلى ما يسمى (الدامــج) fusor، وهو جهاز صغير يمكنه في الواقع توليد النيوترونات من خــلال الاندماج. ويتكون الجهاز من جسمــين كرويين كبيرين، أحدهما داخل الآخر، وكلاهما مصنوع من شبكة من الأسلاك. الشبكة الخارجية مشحونــة بشحنة موجبة، بينما الداخليــة مشحونة بشحنة سالبة، لذا فإن الشبكــة الخارجية تنفر البروتونات التي يتــم حقنها عبرها في حين تجذبها الشبكة الداخلية. ومن ثم، ترتطــم البروتونات بحبيبة غنية بالهيدروجين موضوعة في المنتصف، مما يولد الاندماج ومعه فيض من النيوترونات.

وهذا التصميم في غاية البساطة إلى حد أنه حتى طلبة المدارس استطاعوا فعل ما لم يستطع ريشتر وفليشمان فعله، وهو: توليد النيوترونات بنجاح. غــير أنه من غير المحتمل أن ينتج ذلك الجهاز طاقة قابلة للاستخدام؛ فعدد البروتونــات التي يتم تسريعها صغير للغاية، وبالتالي فإن الطاقة المتولدة من الجهاز ضئيلة للغاية.

وفي الواقع، من الممكن أيضــا إحداث الاندماج البارد باستخدام مُحطم

ذرات atom smasher أو مُسرع جسيمات[1] particle accelerator قياسي. ومُحطم الذرات هذا أكثر تعقيدا من الدامج، ويمكن استخدامه في تسريع البروتونات ليمكنها الارتطام بهدف غني بالهيدروجين وإحداث الاندماج. لكن مرة أخرى، يكون عدد البروتونات المندمجة صغيرا للغاية إلى حد يجعله أداة غير عملية. وهكذا، فإن الدامج ومحطم الذرات يمكنهما إحداث الاندماج، لكنهما ببساطة يفتقران للكفاءة إلى حد كبير، وأشعتهما أضعف من أن تولد طاقة يمكن استخدامها.

وفي ضوء المخاطر الهائلة، لا شك أن علماء ومهندسين مغامرين آخرين سيجربون حظهم في تحويل أدواتهم الغريبة المخترعة في القبو إلى الاختراع الهائل التالي في تاريخ البشرية.

(1) مُسرع، أو معجل، الجسيمات particle accelerator: جهاز يستخدم المجالات الكهربائية لتعجيل جسيمات الشحنات الكهربائية إلى سرعات عالية. وتستخدم أجهزة التليفزيون المبنية على أنبوب الأشعة المهبطية معجل سرعة بسيط. ويشار إلى المعجلات المستخدمة كمصادمات للجسيمات بمحطمات الذرة (atom smashers). (المترجم)

المستقبل البعيد (من 2070 إلى 2100)

عصر المغناطيسية

كان القـرن الماضي يوصف بأنـه عصر الكهرباء. فلمـا كان من السهل جـدا التعامل مـع الإلكترونات، أدى هـذا لإتاحة تقنيـات جديدة كليا، وجعل أشياء مثل الراديو، والتليفزيون، وأجهزة الكمبيوتر، وأشعة الليزر، والتصويـر بالرنـين المغناطيسي، وغيرهـا من الأشياء، ممكنـة. وفي وقت مـا من هذا القـرن الجديد، من المرجـح أن الفيزيائيين سيجـدون كأسهم المقدسـة التي طال البحث عنها: الموصلات الفائقة superconductors في درجـة حرارة الغرفة. وسوف يؤذن هذا ببداية عصر جديد كليا، هو عصر المغناطيسية.

تخيـل أنك تركب سيارة مغناطيسية تحلق فـوق الأرض، وتسير بسرعة عدة مئات من الأميال في الساعة، ولا تكاد تستهلك أي نوع من الوقود. تخيل القطـارات، بل تخيل الناس أنفسهم ينتقلـون في الهواء ويسبحون على المغناطيسية.

إننا ننسـى أن معظم البنزين الـذي نستخدمـه في سياراتنا يستهلك في التغلب علـى الاحتكاك. فمن حيث المبدأ، لا يكاد الأمر يتطلب أي طاقة للانتقـال من سان فرانسيسكو في غرب أمريـكا إلى نيويورك في الشرق. والسبـب الوحيد الـذي يجعل هذه الرحلة تستهلـك بنزينا تكلفته مئات الدولارات هو ضـرورة التغلب على احتكاك عجـلات السيارة بالطريق

واحتكاك الهواء. لكن إذا أمكن بطريقة ما تغطية الطريق من سان فرانسيسكو إلى نيويورك بطبقة من الجليد، يصبح بالإمكان قطع معظم الطريق ببساطة بلا تكلفة تقريبا. وبالمثل، يمكن لمسبار فضاء أن يحلق إلى ما بعد كوكب بلوتو ببضعة لترات من الوقود فقط، لأنه ينتقل عبر فراغ الفضاء. وبالطريقة ذاتها، سوف تطفو السيارة المغناطيسية فوق سطح الأرض، ولن تحتاج ببساطة سوى أن تنفخ فيها لتبدأ في الحركة.

وأساس هذه التقنية الموصلات الفائقة[1] superconductors. وقد عرفنا، منذ عام 1911، أن الزئبق عند تبريده إلى أربع درجات (كلفنية) فوق الصفر المطلق يفقد كل مقاومته الكهربية. ويعني هذا أن أسلاك التوصيل الفائق لا تفقد أي قدر من الطاقة على الإطلاق، لأنها لا تحتوي على أي مقاومة (هذا لأن الإلكترونات التي تتحرك عبر الأسلاك تفقد جزءا من طاقتها مع اصطدامها بالذرات. لكن عند حرارة تقترب من الصفر المطلق، تكاد تلك الذرات تسكن تماما، وبذلك تستطيع الإلكترونات الانسلال عبرها بسهولة دون فقد للطاقة).

(1) الموصلات الفائقة superconductors: التوصيل الفائق ظاهرة تحدث في بعض المواد عند تبريدها إلى درجات حرارة منخفضة جدًا تقترب من الصفر المطلق (صفر كلفن)، حيث تسمح الموصلات الفائقة بمرور الكهرباء خلالها دون أي مقاومة كهربية تقريبا. وعادة، تنخفض المقاومة الكهربية للموصلات المعدنية تدريجيًا مع انخفاض درجة الحرارة، وفي حالة الموصلات العادية، كالنحاس أو الفضة، فإن الشوائب الموجودة فيها تعاكس الوصول إلى حد أدنى من المقاومة في درجات الحرارة المنخفضة. ولذلك فعند الاقتراب إلى درجة حرارة تقارب درجة الصفر المطلق، فإن عينة من النحاس مثلا لا يمكن أن تصل لدرجة ممانعة (مقاومة) تساوي الصفر. أما في حالة الموصلات الفائقة، فإن الممانعة تنخفض على نحو مفاجئ إلى الصفر، عندما يتم تبريد المادة إلى درجة حرارة أقل من الدرجة الحرجة لهذه المادة. ومن ثم، ففي حالة التوصيل المطلق يمكن لتيار كهربائي يمر في حلقة من مادة فائقة التوصيل أن يستمر في السريان إلى وقت غير محدود، دون وجود مصدر للطاقة، بعد إعطاء الدفعة الأولى. وتحدث حالة التوصيل الفائق في تشكيلة واسعة من المواد، كالقصدير والألومنيوم والسيراميك، وبعض أشباه الموصلات. بيد أنه لا يمكن صنع موصلات فائقة من المعادن النبيلة، كالذهب والفضة. (المترجم)

وتلك الموصلات الفائقة ذات خصائص غريبة ورائعة في الوقت نفسه، لكـن أحد عيوبها الخطيرة ضرورة تبريدهـا إلى ما يقرب من الصفر المطلق باستخدام الهيدروجين السائل، وهو باهظ الثمن.

لـذا، شعر علمـاء الفيزيـاء بالصدمة عـام 1986 عندمـا تم الإعلان عن اكتشاف نـوع جديد من الموصلات الفائقة لا يحتاج للتبريد إلى درجات الحـرارة شديـدة الانخفاض تلك. فعلـى عكس المواد السابقـة، كالزئبق أو الرصاص، بـدت تلك الموصـلات الجديدة (وهـي السيراميك الذي كان يُعتقـد فيما سبق أنه غير مرشح ليكون موصـلا فائقا) فائقة التوصيل للكهربـاء في درجة حرارة 92 درجـة (كلفنية) فوق الصفـر المطلق. لقد أصبـح السيراميك –على نحو محرج – موصلا فائقا للكهرباء عند درجة حرارة كان يُعتقد نظريا أنها مستحيلة.

وحتى الآن، وصل الرقم القياسي العالمي لهذه الموصلات الفائقة الجديدة المصنوعـة من السيراميك إلى 138 درجـة (كلفنية) فوق الصفر المطلق (أو – 211 درجـة فهرنهايت). ويعد هذا الأمر مهما، لأن النيتروجين السائل (ضئيـل التكلفـة) يتشـكل عند درجـة 77 درجة كلفنيـة (– 321 درجة فهرنهايت)، وبالتالي يمكن استخدامه في تبريد الموصلات الفائقة المصنوعة من السيراميك. وتلك الحقيقة وحدها خفضت بشدة تكاليف الموصلات الفائقة. وهكذا، أصبـح لتلك الموصلات الفائقة الجديدة تطبيقات عملية مباشرة.

غير أن الموصلات الفائقـة المصنوعة من السيراميك بالكاد أثارت شهية علمـاء الفيزيـاء. إنها خطوة كبـيرة في الاتجاه الصحيـح، لكنها تظل غير

كافيـة. فأولا، على الرغم من أن النيتروجين السائل رخيص نسبيا، ما زال من الضروري امتـلاك بعض معدات التبريد لتبريـد النيتروجين. ثانيا، من الصعـب صنع أسلاك من السيراميك. ثالثا، ما زال الفيزيائيون حائرين في طبيعـة مادة السيراميك تلـك. فبعد عقود عديدة علـى اكتشافها، ما زال الفيزيائيون غـير واثقين تماما من طريقة عملها. ويبدو أن نظرية الكم لمادة السيراميـك أكثر تعقيدا مـن أن يتم حلها في الوقت الراهـن، لذا لا يكاد أحـد يعرف سر قابليتهـا لأن تصبح موصلات فائقة. وفي ظل عدم وجود أدنـى فكرة لدى علماء الفيزياء عن هـذا، لابد أن هناك جائزة نوبل تنتظر الشخص المغامر الـذي يمكنه تفسير تلك الموصلات الفائقة التي تعمل في درجات حرارة مرتفعة نسبيا.

غـير أن كل عـالم فيزيـاء يعلم الأثر الهائـل الذي سيحدثـه موصل فائق يعمـل في درجة حرارة الغرفة. إن هذا يمكن أن يؤدي لبداية ثورة صناعية جديـدة. فالموصلات الفائقة التي تعمـل في درجة حرارة الغرفة لن تحتاج لأي معـدات تبريد، ومن ثم فإنها تستطيع إيجاد مجالات مغناطيسية دائمة ذات طاقة رهيبة.

وعلـى سبيل المثال، إذا كانت الكهربـاء تتدفق داخل دائرة من النحاس، فـإن طاقتها تتشتت خلال جزء مـن الثانية بسبب مقاومـة السلك. إلا أن التجارب أثبتت أن الكهرباء داخل دائرة كهربية مصنوعة من مادة للتوصيل الفائـق يمكن أن تظـل ثابتة لسنوات. بل إن الأدلـة التجريبية تشير إلى فترة ممتـدة إلى 100000 سنة، وتؤكد بعض النظريات أن الحد الأقصى لمثل هذا التيار الكهربائي الساري في موصل فائق قد تصل إلى عمر الكون نفسه.

وعلى أقل تقدير، فإن مثل هـذه الموصلات الفائقة يمكنها تقليل التبديد الـذي نجده في الكابلات الكهربائية عالية الفولتيـة، وبالتالي تقليل تكلفة الكهربـاء. ومن المعلـوم أن أحد الأسباب التي تحتـم وجود محطات توليد الكهربـاء على مقربة كبيرة من المدن، الخسائر التي تحدث في خطوط نقل الكهربـاء. وهذا السبب نفسـه الذي يجعل محطات الطاقـة النووية قريبة جـدا من المدن، بكل مـا ينطوي عليه ذلك من مخاطـر صحية كبيرة. كما أنه السبـب ذاته الذي يعوق وضع المحطات التـي تعمل بطاقة الرياح في المناطق التي توجد بها أعتى الرياح.

تجـدر الإشارة إلى أن نسبة الكهرباء المهدرة أثناء النقل يمكن أن تصل إلى 30 في المائـة من الكهرباء المولدة بواسطة محطـة كهربائية. وبالطبع، يمكن للأسـلاك فائقة التوصيل التي تعمل في درجة حرارة الغرفة العادية أن تغير كل هذا، ممـا سيوفر قدرا هائلا من تكاليف الكهربـاء، ويقلل التلوث إلى حـد كبـير. فضلا عن أنـه يمكن أن يكون لـه أثر عميق أيضـا على ظاهرة الاحتباس الحراري. فلمـا كان إنتاج العالم من غاز ثـاني أكسيد الكربون مرتبطـا بشدة باستهـلاك الطاقة، ولما كان القدر الأعظـم من تلك الطاقة يضيـع في التغلـب على الاحتكاك، فـإن عصر المغناطيسيـة يمكن أن يقلل استهلاك الطاقة وإنتاج غاز ثاني أكسيد الكربون على نحو دائم.

السيارة المغناطيسية والقطار المغناطيسي

من دون أي مدخلات إضافية من الطاقة، يمكن للموصلات الفائقة التي تعمل في درجة حـرارة الغرفة إنتاج مغناطيسيات عملاقة قادرة على رفع

القطارات والسيارات لتحلق فوق سطح الأرض.

ويمكـن إجـراء توضيح بسيـط لهذه الطاقـة في أي معمـل. وقد قمت بهـذا بنفسـي مرات عديـدة في قناة (بي بي سي – تـي في) BBC – TV و(قنـاة العلوم) Science Channel. فمن الممكـن أن تطلب قطعة صغيرة من مادة السيراميك فائقة التوصيـل من شركة توريدات علمية؛ وستكون قطعـة رمادية صلبة من السيراميك حجمها بوصة واحدة. ثم يمكنك شراء بعض النيتروجين السائل من إحدى شركات منتجات الألبان. والآن، ضع قطعة السيراميـك في طبق بلاستيكي، ثم صـب النيتروجين السائل برفق فوقها، ولاحظ أن النيتروجين سيبدأ في الغليان بشدة عندما يقع على قطعة السيراميك. وهنـا، عليك أن تنتظر إلى أن يتوقف النيتروجين عن الغليان، ثـم قم بوضع مغناطيسا صغيرا فوق قطعة السيراميك. على نحو سحري، سيطفـو المغناطيـس في الهـواء. وإذا نقرت المغناطيس بطـرف إصبعك، فسيبـدأ في الـدوران من تلقاء نفسه. وفي ذلك الطبـق الصغير، ربما كنت تنظر لمستقبل الانتقال حول العالم.

إن السبـب وراء طفـو المغناطيـس في الهـواء بسيـط، فخطـوط القوة المغناطيسيـة لا يمكنها اختراق موصـل فائق، وتلك هي (ظاهرة ميسنر)[1] Meissner effect (عندمـا يتـم تسليـط مجـال مغناطيسـي علـى موصل فائـق، يتكون تيار كهربائي صغير على السطح يلغـي أثر المجال، وهكذا يُطـرد المجال المغناطيسي بعيدا عن الموصل الفائـق). لذا فإنه عندما تضع

(1) ظاهرة ميسنر Meissner effect: ظاهرة طرد جسم ذي موصلية فائقة من قبل مجال مغناطيسي. (المترجم)

المغناطيس فوق قطعة السيراميك، تنحني خطوط المجال مبتعدة، لأنها لا تستطيع المرور عبر السيراميك. ويؤدي هذا الصنع (وسادة) من خطوط المجال المغناطيسي، المضغوطة جميعا معا، تدفع المغناطيس بعيدا عن قطعة السيراميك، متسببة في جعله يطفو.

وقد تؤدي بنا الموصلات الفائقة في درجة حرارة الغرفة إلى عصر المغناطيسات العملاقة. وكما رأينا، فقد ثبت أن أجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي magnetic resonance imaging (واختصارا MRI) مفيدة للغاية، لكنها تتطلب مجالات مغناطيسية كبيرة. وسوف تتيح الموصلات الفائقة في درجة حرارة الغرفة للعلماء صنع مجالات مغناطيسية عملاقة بثمن زهيد. وهو ما سيؤدي إلى تصغير حجم أجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي في المستقبل. وقد أصبح من الممكن بالفعل – باستخدام مجالات مغناطيسية مختلفة الحجم – صنع أجهزة تصوير بالرنين المغناطيسي طولها حوالي قدم واحد. وبواسطة الموصلات الفائقة في درجة حرارة الغرفة، قد يصبح ممكنا تصغير حجمها لتصبح بحجم أزرار صغيرة.

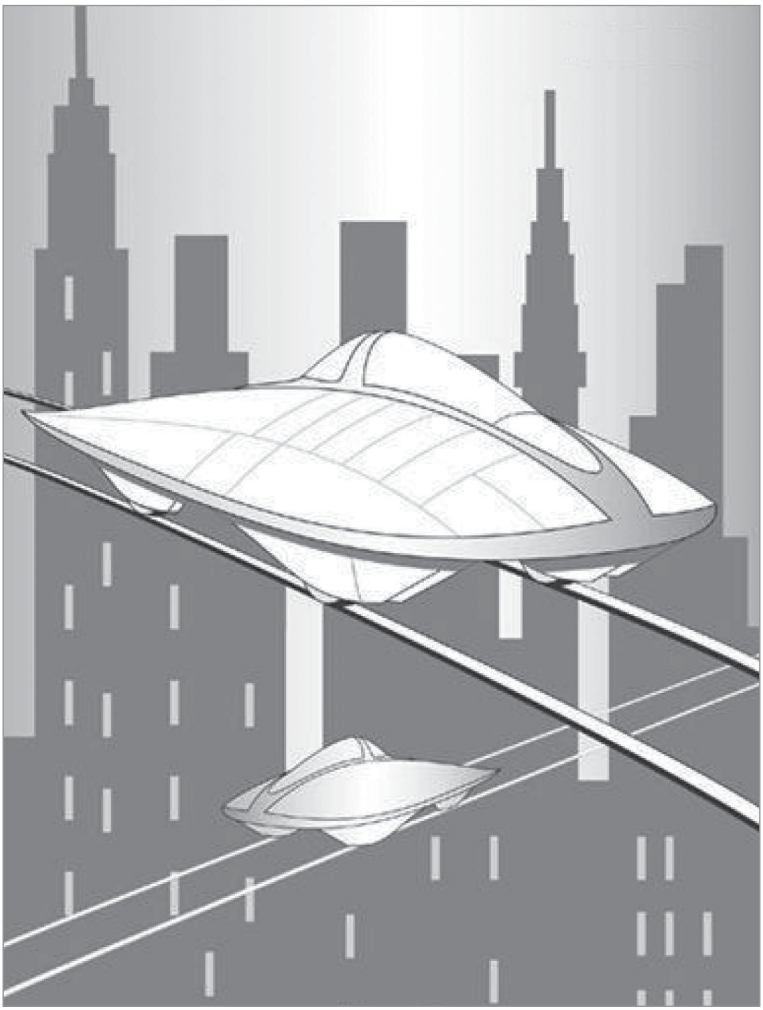
ولعلنا نذكر ظهور مايكل جيه. فوكس، في الجزء الثالث من سلسلة (العودة إلى المستقبل)، في أحد المشاهد وهو يركب لوح تزلج يطفو في الهواء. لتتدفق على المتاجر، بعد عرض الفيلم لأول مرة، طلبات من الأطفال لشراء اللوح الطائر. لكن تلك الألواح الطائرة بكل أسف لا وجود لها حتى الآن، غير أنها قد تصبح متوفرة بفضل الموصلات الفائقة في درجة حرارة الغرفة.

القطارات والسيارات المغناطيسية المعلقة

أحد التطبيقات البسيطة للموصلات الفائقة في درجة حرارة الغرفة هو تحديث مجال النقل، بتطوير سيارات وقطارات معلقة فوق سطح الأرض تتحرك من دون مقاومة أو احتكاك.

تخيل نفسك تركب سيارة تستخدم الموصلات الفائقة في درجة حرارة الغرفة؛ ستكون الطرق مصنوعة من الموصلات الفائقة بدلا من الأسفلت. والسيارة نفسها إما ستحتوي على مغناطيس دائم وإما ستولد مجالا مغناطيسيا من خلال موصل فائق خاص بها. سوف تحلق السيارة في الهواء، وحتى الهواء المضغوط سيكون كافيا لجعلها تتحرك. وبمجرد أن تتحرك، يمكنها أن تستمر في التحليق إلى الأبد تقريبا إذا ظل الطريق ممتدا أمامها. وستكون هناك حاجة فقط لمحرك كهربي أو دفعة من الهواء المضغوط للتغلب على مقاومة الهواء التي ستكون العائق الوحيد الذي تواجهه تلك السيارة.

جدير بالذكر أنه حتى من دون الموصلات الفائقة التي تعمل في درجة حرارة الغرفة، أنتجت العديد من الدول قطارات مغناطيسية معلقة تحلق فوق مجموعة من خطوط السكك الحديدية التي تحتوي على مغناطيسات. فلما كانت الأقطاب الشمالية للمغناطيسات تتنافر مع نظائرها من الأقطاب الشمالية، فقد تم ترتيب المغناطيسات بحيث يحتوي قاع القطار على مغناطيسات تسمح لها بالطفو فوق قضبان السكة الحديدية مباشرة.



قد توفر لنا الموصلات الفائقة في درجة حرارة الغرفة في يوم من الأيام سيارات وقطارات طائرة، وقد تطفو تلك السيارات والقطارات فوق سكك حديدية مغناطيسية أو أرض مرصوفة بالموصلات الفائقة، من دون احتكاك.

وتعد ألمانيا واليابان والصين الدول الرائدة في هذه التقنية. وقد حققت القطارات المغناطيسية المعلقة بعض الأرقام القياسية العالمية. وكان أول قطار مغناطيسي معلق يعمل على نطاق تجاري هو القطار المكوكي منخفض السرعة الذي كان يعمل بين مطار بيرمينجهام الدولي ومحطة بيرمينجهام الدولية للسكك الحديدية عام 1984. وكانت أعلى سرعة مسجلة لقطار مغناطيسي معلق هي 361 ميلا في الساعة، وقد سُجلت في اليابان بواسطة القطار (إم إل إكس 01) MLX01 عام 2003. (يمكن للطائرات النفاثة أن تطير بسرعات أكبر جزئيا، لأن مقاومة الهواء في الارتفاعات الكبيرة تكون أقل. ولما كانت القطارات المغناطيسية المعلقة تطير في الهواء، فإن معظم الطاقة التي تفقدها تكون بسبب الاحتكاك بهذا الهواء. غير أنه إذا كان القطار المعلق يعمل في غرفة مفرغة من الهواء، فإنه يستطيع السفر بسرعة تصل إلى 4000 ميل في الساعة). ومع الأسف، فإن التكلفة الاقتصادية العالية للقطارات المغناطيسية المعلقة قد منعتها من الانتشار في جميع أنحاء العالم. لكن يمكن للموصلات الفائقة في درجة حرارة الغرفة أن تغير كل هذا، ويمكن أن تؤدي كذلك إلى إعادة إحياء منظومة السكك الحديدية في الولايات المتحدة على نحو يقلل من انبعاث غازات الدفيئة. فهناك تقديرات تقول إن نسبة 2 في المائة من غازات الدفيئة تنبعث من المحركات النفاثة، وهكذا فإن القطارات المغناطيسية ستقلل انبعاث تلك الغازات بالنسبة ذاتها.

طاقة من السماء

بحلول نهاية القرن، سوف ينفتح أمامنا احتمال آخر لإنتاج الطاقة،

وهو: الطاقة المستمدة من الفضاء التي تسمى (الطاقة الشمسية الفضائية)[1] space solar power (وتعرف اختصارا بـ SSP). وتعتمد هذه الطاقة على إرسال مئات الأقمار الصناعية الفضائية إلى مدارات فضائية حول الأرض، بحيث تقوم بتجميع أشعة الشمس، ثم ترسل تلك الطاقة المجمعة إلى الأرض في صورة موجات متناهية الصغر. وسوف توضع تلك الأقمار على بعد 22000 ميل من الأرض في مدارات موازية لخط الاستواء، على أن تدور في هذه المدارات بسرعة مساوية لسرعة دوران الأرض. ولما كان ضوء الشمس الموجود في الفضاء يفوق الضوء الذي يصل إلى الأرض بثمانية أضعاف، فلا غرابة في أن يعد هذا الاحتمال واعدا مبشرا.

وفي الوقت الراهن، تعد التكلفة الحجر العثرة الرئيسة أمام الاستفادة من الطاقة الشمسية الفضائية، وتحديدا تكلفة إطلاق تلك الأقمار الفضائية التي ستجمع طاقة الشمس. فليس هناك شيء في قوانين الفيزياء يمنع تجميع الطاقة مباشرة من الشمس، لكن المشكلة هندسية اقتصادية بامتياز. بيد أنه مع حلول نهاية القرن، قد تؤدي وسائل جديدة لتقليل تكلفة السفر في الفضاء إلى جعل تلك الأقمار الفضائية في متناول أيدينا، كما سنوضح في الفصل السادس.

هذا وكان أول اقتراح جدي لتجميع الطاقة الشمسية الفضائية قد تم تقديمه عام 1968، عندما اقترح بيتر جلاسر Peter Glaser، رئيس الجمعية

(1) الطاقة الشمسية الفضائية space solar power: تحويل الطاقة الشمسية المكتسبة في الفضاء إلى أي نوع آخر من الطاقة (الكهربائية أساسًا)، بوضع أقمار صناعية ضخمة في مدارات في الفضاء، تكون عبارة عن أجسام عملاقة قابلة للتمدد، وتتكون من ألواح وهوائيات قادرة على تجميع أشعة الشمس لتحويلها إلى طاقة كهربائية. (المترجم)

الدولية للطاقة الشمسيــة International Solar Energy Society، إرسال أقمار صناعية بحجم مدينة حديثة إلى الفضاء لتبث الطاقة إلى الأرض. وفي عــام 1979، درس علماء وكالة الفضاء الأمريكيــة (ناسا) اقتراحه بإمعان، وقــدروا أن تكلفة مشروع كهذا ستصل إلى عدة مليارات من الدولارات، وهو الأمر الذي وأد الفكرة في مهدها.

لكن (ناسا)، بسبب التحسينات المستمرة في تقنيات الفضاء، استمرت في تمويــل دراسات مصغرة حول الطاقة الشمسية الفضائية منذ عام 1995 حتى عــام 2003. ويؤكد مؤيــدو الطاقــة الشمسية الفضائيــة أنها مسألة وقــت فحسب قبــل أن تصبح واقعا ملموســا بفضل تطــور التكنولوجيا والاقتصاديــات. يقول مارتن هوفــرت Martin Hoffert، الذي كان فيما سبق أحــد علماء الفيزيــاء في جامعة نيويــورك New York University: (توفــر الطاقة الشمسية مصدرا مستمــرا بحق للكهرباء على نطاق عالمي، ومن دون انبعاثات ضارة).

وبصفة عامة، هناك مشكلات هائلة تواجه مثل هذا المشروع الطموح، وهي مشكلات واقعية حينا وتخيلية حينا آخر. فبعض الناس يخشون هذا المشروع، لأن الطاقة المرسلة إلينا من الفضاء قد تصيب عن غير قصد منطقة مأهولــة بالسكان، متسببة بذلك في سقوط أعداد هائلة من الضحايا. غير أن هــذا الخوف مبالغ فيه. فلو قمنا بحساب الإشعاع الفعلي الذي يضرب الأرضــ من الفضاء لوجدنا أنــه أقل من أن يسبــب أي مخاطر على صحة البشر. ومن ثم، فإن تصور قمر صناعي فضائي شرير يرسل أشعة الموت إلى الأرض ليشوي مدنا بكاملها هو تصور يليق بأحد كوابيس أفلام هوليوود

أكثر مما يتصل بالواقع.

وقد حسب كاتب الخيال العلمي بن بوفا Ben Bova، من خلال مقال له في صحيفة واشنطن بوست Washington Post عام 2009، الحسابات الاقتصادية لصنع قمر فضائي للطاقة الشمسية. وقدّر أن كل قمر سيولد ما يتراوح بين 5 إلى 10 جيجاوات من الطاقة، وهو قدر أكبر بكثير من أي محطة تقليدية لحرق الفحم، بتكلفة ثمانية إلى عشرة سنتات لكل كيلووات في الساعة، مما يجعله قادرا على المنافسة. وسيكون كل قمر عملاقا – بعرض ميل تقريبا – وسيتكلف مليار دولار، وهي تقريبا نفس تكلفة تشييد محطة طاقة نووية.

ولبدء استخدام هذه التقنية، طلب من الإدارة الحالية إنشاء مشروع توضيحي، بإطلاق قمر صناعي يمكنه توليد 10 إلى 100 ميجاوات. ومن المفترض أن يصبح إطلاق القمر ممكنا مع نهاية الفترة الثانية من رئاسة الرئيس أوباما، إذا بدأ التخطيط الآن.

وهناك مبادرة كبرى أعلنتها الحكومة اليابانية تحاكي تلك التصريحات. ففي عام 2009، أعلن وزير التجارة الياباني خطة لدراسة جدوى منظومة أقمار طاقة فضائية. وسوف تنضم شركة ميتسوبيشي إلكتريك Mitsubishi Electric وشركات يابانية أخرى لبرنامج بقيمة 10 مليارات دولار لإطلاق محطة طاقة شمسية في الفضاء من شأنها أن تولد مليار وات من الطاقة. وسوف تكون المحطة ضخمة، إذ ستكون مساحتها نحو 1.5 ميل مربع، ومغطاة بالخلايا الشمسية.

يقول كينسوكي كانيكيو Kensuke Kanekiyo من معهد اقتصادات

الطاقــة Institute of Energy Economics، وهو مؤسسة بحثية حكومية: (يبدو هذا وكأنه فيلم خيال علمي كرتوني، لكن توليد الطاقة الشمسية في الفضاء قد يكون مصدر طاقة بديل مهم في القرن القادم مع اختفاء الوقود الأحفوري).

وفي ضــوء الحجــم الهائل لهــذا المشــروع الطموح، تتلمســ الحكومة اليابانيــة خطواتهــا بحــذر. ففــي البداية، ســوف تقضي مجموعــة بحثية السنوات الأربع التالية في دراسة الجدوى العلمية والاقتصادية للمشروع. وإذا أعطت تلك المجموعة الضوء الأخضر، ستقوم وزارة التجارة اليابانية و(وكالة استكشاف الفضاء) Aerospace Exploration Agency اليابانية بتفيذ مخطط لإطلاق قمر صغير عام 2015 لاختبار عملية إرسال الطاقة إلى الأرض من الفضاء الخارجي.

ولن تكون المشكلــة الكبرى على الأرجح علمية، وإنمــا اقتصادية. لقد حذر هيروشي يوشيــدا Hiroshi Yoshida من شركة (إكسكاليبر كيه كيه) Excalibur KK، وهــي شركــة استشارات فضائية مقرهــا طوكيو، قائلا: (لابد من تخفيض تلك النفقات إلى واحد من مئة من التقديرات الحالية). ومــن المشكلات المؤرقة كذلك أن هذه الأقمــار على بعد 22000 ميل في الفضاء الخارجي، وهــي مسافة أبعد كثيرا من الأقمار الصناعية التي تدور في مدارات قريبة من الأرض على بعد 300 ميل فقط، لذا فإن مقدار الطاقة المهدرة في عملية النقل قد يكون ضخما.

بيــد أن المشكلة الرئيسة تكمــن في تكلفة الصواريخ الدافعة، وذلك هو عنــق الزجاجة نفســه الذي أحبط خطــط العودة إلى القمــر واستكشاف

المريخ.

وما لم تتقلص تكاليف إطلاق الصواريخ على نحو كبير، فسوف تؤول الحال بتلك الخطط إلى موت هادئ.

وعلى نحو متفائل، يمكن القول إن الخطة اليابانية يمكن أن تبدأ العمل بنجاح بحلول منتصف القرن. لكن، في ضوء مشكلات الصواريخ الدافعة، فإن الأرجح أن الخطة ستتأخر حتى نهاية القرن، عندما تؤدي أجيال جديدة من الصواريخ إلى تقليل التكلفة. وإذا كانت المشكلة الرئيسة التي تواجه الأقمار الشمسية هي التكلفة، يصبح السؤال المهم هو: هل يمكننا تقليل تكلفة السفر إلى الفضاء بحيث يمكننا ذات يوم أن نصل إلى النجوم؟

الفصل السادس

مستقبل رحلات الفضاء إلى النجوم

«لقد جلسنا طويلاً على شواطئ المحيط الكوني. وها قد أصبحنا أخيرا مستعدين للإبحار نحو النجوم»

- كارل ساجان[1]

كانت آلهة الأساطير تجوب الساحات السماوية لـ (جبل أوليمبوس) Mount Olympus على متن عربات حربية قوية. وكانت آلهة الإسكندنافيين تبحر عبر البحار الكونية إلى موطن الآلهة في (أسجارد) Asgard على متن سفن قوية للفايكينج.

وبالمثل، بحلول عام 2100، ستكون الإنسانية على عتبة عصر جديد في استكشاف الفضاء: عصر الوصول إلى النجوم. ستصبح نجوم الليل – التي تبدو قريبة جذابة غير أنها أبعد ما تكون – بؤرة تركيز علماء الصواريخ بحلول نهاية القرن.

بيد أن الطريق إلى بناء سفن فضائية سوف يكون وعرا مليئا بالصعاب. إن البشرية تشبه شخصا تمتد ذراعاه المبسوطتان نحو النجوم، لكن قدميه تغوصان في الوحل. فمن ناحية، سوف يشهد هذا القرن عصرا جديدا لاستكشاف الفضاء آليا عندما نرسل الأقمار الصناعية لتحديد الكواكب

(1) كارل ساجان Carl Sagan: فلكي أمريكي من أبرز المساهمين في تبسيط علوم الفلك والفيزياء الفلكية وغيرها من العلوم الطبيعية. وكان له دور رائد في تعزيز البحث عن المخلوقات الذكية خارج الكرة الأرضية. (المترجم)

الشبيهــة بالأرض في الفضاء، ونستكشف أقمار المشتري، بل حتى عندما نلتقط صورا مصغرة للانفجار العظيم نفسه. غير أن الاستكشاف البشري للفضاء الخارجي – الذي فتن عدة أجيال من الحالمين وأصحاب التخيلات – سيكون مصدرا لبعض الإحباط.

المستقبل القريب
(من الوقت الحاضر حتى عام 2030)

كواكب خارج المجموعة الشمسية

كان أحد الإنجازات الأكثر إبهارا لبرنامج الفضاء هو الاستكشاف الآلي للفضاء الخارجي الذي وسع آفاق الإنسانية على نحو كبير.

وسوف يأتي في المقام الأول بين المهام الآلية البحث عن كواكب شبيهة بكوكب الأرض في الفضاء يمكنها أن تؤوي البشر، وتلك هي الكأس المقدسة لعلم الفضاء. وحتى هذه اللحظة، اكتشفت التلسكوبات الموجودة على الأرض نحو 500 كوكب تسبح في أفلاك حول منظومات نجمية بعيدة، ويتم اكتشاف كواكب جديدة بمعدل كوكب واحد كل أسبوع أو أسبوعين. غير أن مصدر الإحباط الكبير هو أن أجهزتنا ومعداتنا لا يمكنها اكتشاف كواكب سوى تلك التي يساوي حجمها حجم المشتري في منظومتنا الشمسية والتي لا يمكنها استيعاب الحياة التي نعرفها.

وللعثور على الكواكب، يبحث علماء الفلك عن رعشات دقيقة للغاية في مسار النجوم. ويمكن تشبيه تلك المنظومات الشمسية الفضائية بدمبل Dumbbell مكون من كرتين دوارتين مرتبطتين بقضيب من الحديد، إذ تدور إحداهما حول الأخرى؛ وتمثل إحداهما النجم، الذي يكون مرئيا بوضوح بواسطة التلسكوب، وتمثل الأخرى كوكبا بحجم المشتري، ويكون أكثر إعتاما بنحو مليار مرة. ومع دوران النجم والكوكب المماثل

للمشتري في الحجم حول مركز الدمبل، يمكن للتلسكوبات بوضوح رصد ارتعاش ضوء النجم. ولقد أفلحت تلك الطريقة في تحديد مواقع مئات كرات الغاز العملاقة في الفضاء، ولكنها أكثر بدائية من أن تكتشف وجود كواكب ضئيلة شبيهة بالأرض.

وقد تم رصد أصغر كوكب أمكن اكتشافه بواسطة التلسكوبات الأرضية عام 2010، وهو كوكب يتراوح حجمه بين 3 و4 أضعاف حجم الأرض. واللافت للنظر أن هذه (الأرض العملاقة) هي أول كوكب يقع في المنطقة القابلة لنشأة الحياة بالنسبة لشمسه؛ أي على البعد المناسب من تلك الشمس الذي يتيح وجود ماء سائل على سطحه.

لكن هذا الوضع تغير كله مع إطلاق تلسكوب مهمة كيبلر[1] Kepler Mission عام 2009 والقمر الصناعي كوروت COROT عام 2006. ويبحث مسبارا الفضاء هذان عن تذبذبات ضئيلة في أضواء النجوم تحدث عندما يعبر كوكب صغير أمام النجم الذي يدور حوله، حاجبا ضوئه بقدر ضئيل للغاية. وعن طريق مسح الآلاف من النجوم بعناية بحثا عن تلك التذبذبات الصغيرة، ربما استطاع مسبارا الفضاء اكتشاف مئات الكواكب الشبيهة بالأرض. وبمجرد اكتشاف تلك الكواكب، يمكن تحليلها بسرعة لمعرفة ما إذا كانت تحتوي على الماء الجاري الذي ربما كان السلعة الأكثر

(1) مهمة كيبلر Kepler Mission: مهمة فضائية لوكالة الفضاء الأمريكية (ناسا)، إذ تم إرسال مسبار إلى الفضاء لاستكشاف ما إذا كانت هناك حياة في مجرة درب التبانة. وقد سُميَّ المسبار كيبلر على اسم العالم الفلكي يوهانز كيبلر، وهو عبارة عن تلسكوب فضائي سوف يصل إلى مدار حول الشمس لمراقبة ورصد مساحات من الكون يُعتقد أنها تحتوي على ما يقرب من 100 ألف نجم شبيه بالشمس. (المترجم)

قيمــة في الكون كله. فالماء السائل هو المذيــب الكوني والبوتقة التي صنع فيها أول حمض نووي. وإذا اكتشف وجود محيطات من المياه على سطح تلك الكواكب، فيمكن أن يغير هذا من فهمنا للحياة في الكون كله.

يقــول الصحفيون في بحثهم عن فضيحة: (اتبع المال)، ولكن الفلكيون في بحثهم عن الحياة في الفضاء يقولون: (اتبع الماء).

وســوف يتــم استبدال أقمــار أكثر حساسيــة بقمر كيبلــر، ومنها القمر المسمــى (الباحث الأرضي عن الكواكــب) Terrestrial Planet Finder. وعلى الرغم من أن موعد إطلاق هذا المسبار قد تأجل مرات عديدة، فإنه يظل المرشح الأفضل لتطوير وتوسيع أهداف تلسكوب كيبلر.

وســوف يستخدم (الباحــث الأرضي عن الكواكــب) عدسات أفضل كثيرا بهــدف العثور على الكواكب الشبيهة بالأرض في الفضاء. فأولا، سيحتــوي المسبار على مــرآة أكبر بأربع مــرات وأكــثر حساسية بمئة مرة من مــرآة (تلسكوب الفضاء هابــل) Hubble Space Telescope. وثانيا، سيحتــوي على مجســات تعمل بالأشعة تحــت الحمراء ويمكنهــا إضعاف الإشعــاع الكثيف المنبعث مــن النجوم مليون مــرة، وبذلك تكشف عن وجــود أي كوكب معتــم ربما كان يدور في فلكها (وهــي تفعل ذلك عن طريــق أخذ موجتين مــن أشعة النجم، ثم دمجهما معــا بعناية بحيث تبطل إحداهما الأخرى، على نحو يستبعد الوجود غير المرغوب فيه للنجم).

لــذا ستكــون لدينا في المستقبــل القريب موسوعة تضــم عدة آلاف من الكواكــب، وستكون بضعــة مئات منها مشابهة للغايــة لكوكب الأرض في الحجــم والتكوين. وهذا بدوره سيُحدث مزيــدا من الاهتمام بإرسال

مسبـار، يوما ما، إلى تلك الكواكـب البعيدة. وسوف تكون هناك جهود مكثفة لمعرفة ما إذا كانت الكواكب الشبيهة بالأرض تحتوي على محيطات من الميـاه، وما إذا كانت هناك أي انبعاثات لاسلكية صادرة عن مخلوقات عاقلة.

قمر يوروبا: خارج نطاق جولديلوكس

هنـاك أيضا هدف مغرٍ آخر لاستكشافاتنا داخل نظامنا الشمسي نفسه، ألا وهـو: قمر يوروبا[1] Europa. فعلى مـدار عقود، كان يُعتقد أن الحياة في النظـام الشمسي لا يمكـن أن تتواجد إلا في نطـاق (جولديلوكس)[2] Goldilocks zone حـول الشمس، حيث لا تكـون الكواكب ساخنة أو بـاردة أكثر ممـا ينبغي لدعم الحيـاة على سطحها. وينعـم كوكب الأرض بوجـود الماء السائل على سطحه لأنه يدور على بعد مناسب من الشمس. فالمـاء السائـل سيغلي على كوكب مثل عطـارد – لقربه من الشمس أكثر ممـا ينبغـي – وسوف يتجمد علـى كوكب مثل المشـتري، لأنه بعيد جدا عـن الشمس. ولما كان الماء السائل هو على الأرجح السائل الذي تكونت فيـه الأحماض النووية والبروتينات منذ البدايـة، فقد ساد الاعتقاد لوقت طويل أن الحيـاة في المجموعة الشمسية لا يمكن أن تتواجد إلا على سطح

(1) قمـر أوروبـا Europa: سادس أقرب قمر للمشتري، ورابع أقماره من حيث الحجم. وقد اكتشف في 7 يناير 1610 على يد جاليليو جاليلي. ويمتاز هذا القمر بنواة حديدية صلبة، وهناك الكثير من الفرضيات التي تشير إلى وجود محيط بعمق 100 كلم من المياه المالحة القابعة تحت قشرة من الجليد القاسي نتيجة برودة سطح هذا القمر. (المترجم)

(2) نطاق جولديلوكس Goldilocks zone: النطاق المناسب الذي يمكن أن تتواجد داخله كواكب تدعم وجود الحياة على سطحها؛ حيث لا تكون قريبة جدًا من شموسها ولا بعيدة جدًا عنها، ويمكن العثور فيها على الماء في حالته السائلة. (المترجم)

الأرض، وربما المريخ.

إلا أن علمـاء الفلـك كانـوا مخطئـين. فبعـد أن أبحرت سفينـة الفضاء (فويـاجـير) Voyager إلى ما وراء أقمار المشـتري، أصبح واضحا أن هناك مكانا آخر يمكن أن تزدهر فيه الحياة، ويقع هذا المكان تحت الغطاء الجليدي لأقمـار المشتري. وسرعان ما جذب القمـر (يوروبا) Europa، وهو أحد أقمار المشتري اكتشفه جاليليـو Galileo عام 1610، انتباه الفلكيين. ومع أن سطـح القمر يوروبـا مكتسٍ بالجليد على نحو دائـم، فهناك تحت هذا الجليد محيط من الماء السائل. ولما كان المحيط على القمر يوروبا أعمق كثيرا مـن محيطات الأرض، فإن الحجم الإجمالي لمحيـط يوروبا يُقدر بضعفي حجم محيطات الأرض.

لقـد كانت المعرفة بوجود مصـدر لطاقة وفيرة داخـل النظام الشمسي بخـلاف الشمس بمثابة صدمة. فتحت الجليد الذي يكسو سطحه، تعمل قوى مد وجذر على تسخين سطح القمر على نحو متواصل. فمع دوران يوروبـا السريع في مداره حول المشتري، تـؤدي الجاذبية الهائلة للكوكب الضخم للضغط على القمر في اتجاهات مختلفة، مما يولد الاحتكاك في قلب القمر على عمق كبير، فيولِّد هذا الاحتكاك حرارة تؤدي بدورها إلى إذابة الجليد وصنع محيط مستقر من الماء السائل.

ويعنـي هذا الاكتشاف أنه ربمـا كانت أقمار الكواكـب الغازية البعيدة العملاقـة أكثر إثارة للاهتمام من الكواكب ذاتها. (والأرجح أن هذا كان أحد الأسبـاب التي جعلت المخرج جيمس كامـيرون James Cameron يختـار أحد أقمـار كوكب بحجـم المشتري ليكون موقـع أحداث فيلمه

(أفاتار) Avatar عام 2009). وقد تزدهر الحياة – التي كان يُعتقد في وقت مـن الأوقات أنها نادرة الوجود في الكون – في ظلمة الفضاء على سطح أقمار كواكب غازية عملاقة بعيدة. وهكذا، تضاعف فجأة عدد الأماكن التي يحتمل أن تزدهر فيها الحياة أضعافا كثيرة.

ونتيجة لهـذا الاكتشاف المهم، تحدد مبدئيا إطلاق مسبار يحمل الاسم (مهمة نظام المشتري لدراسة يوروبا) Europa Jupiter System Mission (واختصارا EJSM) عام 2020. وقد صُمم هذا المسبار للدوران حول القمر يوروبا، وربمـا الهبوط فوقه. وفيما وراء هذا، يحلـم العلماء باستكشاف القمر يوروبا عن طريق إرسال معدات أكثر تطورا. لقد درس العلماء عدة طـرق متنوعة للبحـث عن الحياة تحت الجليد. وأحـد الاحتمالات لذلك (مهمة شق جليـد يوروبـا) Europa Ice Clipper Mission التي ستسقط أجسامـا كروية علـى السطح الجليـدي للقمر. وبعد ذلـك، سيتم تحليل سحابة الحطام الناتجة عـن الاصطدام بعناية بواسطة سفينة فضائية ستحلق عبرهـا. وهناك برنامج أكثر طموحا من هذا يقضي بوضع غواصة آلية يتم التحكم فيها عن بعد تحت الجليد.

وقد زاد الاهتمام بالقمر يوروبا أيضا من خلال معدات متطورة جديدة تعمـل تحت المحيـط هنا على سطح الأرض. فحتـى السبعينات من القرن العشريـن، ظن معظم العلماء أن الشمس مصدر الطاقة الوحيد الذي يمكنه أن يجعل الحياة ممكنة. لكن في عام 1977، عثرت الغواصة (ألفين) Alvin على أدلة حول وجود أشكال جديدة من الحياة تزدهر في أماكن لم يتصورها

أحد من قبل. فعند استكشافها لجزر (صدع جالاباجوس)[1] Galapagos rift، وجدت الغواصة ديدانا أنبوبية عملاقة، ومحارا، وقشريات، وأسماكا صدفيـة، وأشـكالا أخرى مـن الحياة تستخـدم طاقة الحـرارة المنبعثة من الفوهـات البركانية لتبقـى حية. وأينما وجدت الطاقـة، قد توجد الحياة؛ وقد وفـرت تلك الفوهات البركانية الموجودة تحـت سطح البحر مصدرا جديـدا للطاقة في الظلمة الحالكة لأعمـاق البحر. بل إن بعض العلماء في واقـع الأمر اقترحوا أن الحمض النووي الأول في الحياة لم يتشكل في بركة مائية على شواطئ بحار الأرض، وإنما في أعماق البحار بالقرب من فوهة بـركان. فقـد عُثر على بعض أكـثر أشكال الحمض النـووي بدائية (وربما أكثرهـا قدمـا) في قاع المحيط. وإذا كان الأمر كذلـك، فربما كان بمقدور الفوهـات البركانية على سطح القمر يوروبا أن توفر الطاقة اللازمة لإنتاج شيء شبيه بالحمض النووي.

ولا يسعنا سوى التفكر في أشكال الحياة المحتملة التي يمكن أن تتشكل تحـت جليد يوروبا. ولو وجدت مثل هـذه الأشكال من الحياة، فالأرجح أنهـا ستكون مخلوقات عائمة تستخدم السونـار – بدلاً من الضوء – في الإبحـار، لذا فإن نظرتها للكون سيكـون سقفها هو العيش تحت (سماء) من الجليد.

(1) صـدع جالاباجوس Galapagos rift: صـدع يضم مجموعة من الجـزر تقع شرق المحيط الهادي عنـد خط الاستواء. (المترجم)

قمر الفضاء (ليزا): ما قبل الانفجار الكبير

هنـاك قمر فضـاء آخر يمكنـه أن يصنع ثـورة في المعرفـة العلمية، وهو (الهوائـي الفضائـي لمقياس التداخـل الليـزري) Laser Interferometer Space Antenna (ويعرف اختصارا باسم (ليزا) LISA)، وكذلك خلفاؤه من بعده. وتلك الأقمار الاستكشافية قد تكون قادرة على تحقيق المستحيل المتمثل في: معرفة ما حدث قبل الانفجار الكبير.

لقـد استطعنا مؤخرا قياس المعدل الذي تتحـرك به المجرات مبتعدة عنا (وهـذا بفضل ما يعـرف باسم (تأثـير دوبلـر)[1] Doppler shift، حيث ينحـرف الضوء إذا كان النجم يتحرك مقتربا منـا أو مبتعدا عنا). ويعطينا هـذا معدل تمدد الكون. ومن ثم، يمكننـا (تشغيل شريط الفيديو عكسيا)، وحساب الوقت الذي وقع فيه الانفجار الأصلي. ويشبه هذا كثيرا الطريقة التـي يمكننا بها تحليل الأطلال الملتهبـة المنبعثة من انفجار ما لتحديد وقت حـدوث هذا الانفجار. وهكـذا، استطعنا أن نحـدد أن الانفجار الكبير وقـع منذ نحـو 13.7 مليار سنة مضـت. غير أن المحبـط في الأمر أن قمر الفضاء الحالي المعروف باسم (مسبار ويلكينسون لقياس اختلاف موجات الراديـو)[2] Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (ويعـرف

(1) تأثـير دوبلـر Doppler shift أو Doppler effect: تغير ظاهري للتردد أو الطول الموجي للأمواج عندما تُرصد من قبـل مراقب متحـرك بالنسبة للمصدر الموجي. ويدعى هذا التأثير بتأثير دوبلر نسبـة إلى دوبلر الذي اكتشف هذه الظاهرة. ويُفترض ثبـات المشاهد حتى يستطيع رصـد التغير في الطول الموجي للموجـات القادمة إليه من المصـدر، وعلى أساسها يستطيع تحديد ما إذا كان الجسم مقتربا أم مبتعدا. (المترجم)

(2) مسبـار ويلكينسون لقياس اختلاف موجـات الراديـو Wilkinson Microwave Anisotropy Probe: مركبة فضائية عبارة عن مرصد دوار مصمم لقياس الأشعة التي خلفت بداية الكون. وقد استطاع رسم خريطة إشعاع بدرجة غير مسبوقة من التفصيل والدقة. (المترجم)

اختصارا باسم WMAP) لا يستطيع الوصول لأكثر من 400000 سنة بعد وقوع الانفجار الأصلي. لذا فإن أقمارنا الصناعية يمكنها أن تخبرنا فقط بأنه كان هناك انفجار، لكنها لا تستطيع أن تخبرنا أسباب حدوث الانفجار، وطبيعة الشيء الذي انفجر.

لهذا السبب يثير مسبار الفضاء (ليزا) كثيرا من الحماس؛ فهو يقوم بقياس نوع جديد تماما من الإشعاع، وهو: أمواج الجاذبية منذ لحظة الانفجار الكبير نفسه.

وفي كل مرة يتم فيها استخدام شكل جديد من أشكال الإشعاع، يؤدي هذا لتغيير رؤيتنا للعالم. فعندما استخدم جاليليو التلسكوبات البصرية لرسم خريطة للكواكب والنجوم، فتحت تلك التلسكوبات الباب أمام علم الفلك. وعندما أتقنا استخدام تلسكوبات موجات الراديو عقب نهاية الحرب العالمية الثانية مباشرة، تكشّف أمامنا عالم من استكشاف النجوم والثقوب السوداء. والآن، يمكن للجيل الثالث من التلسكوبات – الذي يمكنه اكتشاف أمواج الجاذبية – أن يفتح أمامنا أفقا أكثر إبهارا، وعالما من الثقوب السوداء المتصادمة، وأبعادا أعلى، بل وحتى أكوانا متعددة.

وقد تم تحديد تاريخ إطلاق المسبار (ليزا) مبدئيا ليكون في وقت ما بين عامي 2018 و2020. ويتكون هذا المسبار من ثلاثة أقمار صناعية ستشكل معا مثلثا هائل الحجم بطول 3 ملايين ميل، ويربط بينها ثلاثة أشعة ليزرية. وسيكون هذا المسبار أكبر جهاز فضائي يوضع في مدار حول الأرض على الإطلاق. وسوف تتسبب أي موجة جاذبية للانفجار الكبير ما تزال تتردد عبر الكون في هز الأقمار قليلا. وهذا الاضطراب سيغير أشعة الليزر، وسوف تسجل المستشعرات تردد وسمات الاهتزاز. وبهذه الطريقة،

سـوف يتمكن العلماء من الوصول إلى نطاق يبلـغ جزءا من تريليون جزء من الثانية بعد حدوث الانفجار الكبير (وفقا لأينشتاين، الوقت في الفضاء يشبـه نسيجا يمكن ثنيه ومطه. ولو أن هناك اضطرابا كبيرا، كتصادم ثقبين أسودين أو الانفجار الكبـير نفسه، فيمكن أن تتشكل تموجات تنتقل عبر هـذا النسيج. وتلك التموجـات، أو أمواج الجاذبيـة، ستكون أصغر من أن يمكـن اكتشافها بواسطة أجهزة تقليدية، ولكـن المسبار (ليزا) حسّاس وضخم بما يكفي لاكتشاف الترددات التي تسببها موجات الجاذبية تلك).

ولن يكون المسبار (ليزا) قادرا فقط على اكتشاف إشعاع الثقوب السوداء المتصادمة، بل إنه قد يتمكن أيضا من النظر في حقبة ما قبل الانفجار الكبير، وهو الأمر الذي كان يُعتقد في وقت من الأوقات أنه مستحيل.

أمـا في وقتنـا الحـالي، فهناك العديـد من النظريـات عن حقبـة ما قبل الانفجـار الكبـير، وهي نظريـات نابعة من (نظريـة الأوتـار)[1] String Theory، وهي مجال تخصصـي. ووفقا لأحد السيناريوهات، يفترض أن كوننـا عبارة عـن فقاعة ضخمة من نـوع ما مستمـرة في التمدد. ونحن نعيش على سطـح تلك الفقاعة العملاقة (عالقون على سطح الفقاعة كما يلتصق الذباب بالأوراق اللاصقـة). ويتواجد كوننا الفقاعي داخل محيط مـن الأكوان الفقاعيـة الأخرى التي تشـكل أكوانا عديـدة، كحمام من

(1) نظريـة الأوتـار String Theory: مجموعة من الأفكار الحديثة حول تركيب الكـون تستند إلى معادلات رياضية معقدة. وتنص هـذه الأفكار على أن الأشياء أو المادة مكونة من أوتار حلقية مفتوحة وأخرى مغلقة متناهية في الصغر لا سمك لها، وأن الوحـدة البنائية الأساسية للدقائق العنصرية، من إلكترونات وبروتونات ونيترونات وكواركات، عبارة عن أوتار حلقية مـن الطاقة تجعلها في حالة من عدم الاستقرار الدائم، وأن هذه الأوتار تتذبذب وتتحدد وفقها طبيعة وخصائص الجسيمات الأكبر منها مثل البروتون والنيوترون والإلكترون. (المترجم)

الفقاعـات. وأحيانا، قد تتصادم تلك الفقاعـات (لتعطينا ما يعرف باسم (نظريـة الاصطـدام أو الارتطام الكبـير) big splat theory)، وقد تندمج في فقاعـات أصغر ثم تتمدد وتتسع (لتعطينا ما يسمى (التضخم الأبدي) eternal inflation). وكل من هـذه النظريات لما قبل الانفجار الكبير يتنبأ بالكيفية التي ينبغي أن يطلق بها الكون إشعاعات الجاذبية بعد لحظات من الانفجار الأول. ويمكن للمسبار (ليزا) بعد ذلك أن يقيس إشعاع الجاذبية المنبعث بعـد وقوع الانفجار الكبـير، ويقارنه بالتنبـؤات العديدة لنظرية الأوتـار. وبهذه الطريقة، قد يكـون المسبار (ليزا) قادرا علـى استبعاد أو احتواء بعض هذه النظريات.

ولكـن حتى إذا لم يكـن المسبار (ليـزا) حساسا بما يكفي لإنجـاز تلك المهمة الدقيقـة، فربمـا كان الجيل التالي مـن أجهزة الكشف التالية لمسبـار (ليزا) (مثل مسبار (مراقب الانفجار الكبير) Big Bang Observer) قادرا على إنجاز المهمة.

وإذا حققـت مستكشفـات الفضاء تلـك النجاح، فإنهـا قد تجيب عن السـؤال الذي استعصى على التفسير لقرون مـن الزمن، وهو: ما المصدر الأصلـي لميلاد الكون؟ لذا، فعلى المدى القريب، قد يكون كشف النقاب عن منشأ الانفجار الكبير احتمالاً مميزا.

المهام البشرية إلى الفضاء

في حـين ستستمر المهام الآلية في فتح آفاق جديدة لاستكشاف الفضاء، فإن المهـام التي يُرسل فيها البشر ستواجه عقبـات أكبر كثيرا. ويرجع هذا إلى أن المهام الآلية، مقارنة بالمهام البشرية، قليلة التكلفة ومتعددة المهام، إذ

يمكنها استكشاف بيئات خطيرة، ولا تتطلب دعما باهظ التكلفة للحياة، والأكثر أهمية أنه لا ضرورة ماسة لعودتها إلى الأرض سالمة.

في عام 1969، بدا وكأن رواد الفضاء تم وضعهم لاستكشاف النظام الشمسي. كان نيل أرمسترونج Neil Armstrong وباز ألدرين Buzz Aldrin قد سارا للتو على سطح القمر، وكان الناس يحلمون بالفعل بالوصول إلى المريخ وأبعد منه. بدا الأمر وكأننا على عتبة الوصول إلى النجوم. كان عصر جديد للبشرية ينبلج.

ثم انهار الحلم

وكما كتب مؤلف الخيال العلمي إيزاك أسيموف Isaac Asimov[1]، فقد أحرزنا هدفا، وأخذنا كرتنا وذهبنا إلى بيوتنا. واليوم، وضعت سلسلة صواريخ الدفع (ساتورن) Saturn القديمة هامدةً في المتاحف أو صدأة في مقالب النفاية. وسُمح لجيل كامل من كبار علماء الصواريخ بالتفرق والتبعثر، وتشتت القوة الدافعة لسباق الفضاء ببطء. واليوم، لا يمكننا العثور على مرجع للمشية الشهيرة على سطح القمر سوى في كتب التاريخ المهملة.

ماذا حدث إذن؟ الكثير من الأمور، منها حرب فيتنام وفضيحة ووترجيت وغير ذلك. ولكن كل شيء يتلخص في الأساس في كلمة واحدة فقط: التكلفة.

(1) إيزاك أسيموف Isaac Asimov: مؤلف أمريكي، روسي المولد، من أصول يهودية. اشتهر بتأليف روايات الخيال العلمي التي لاقت نجاحًا وانتشارًا كبيرين. وقد تركت مؤلفاته أثرًا كبيرًا في سينما الخيال العلمي. (المترجم)

إننـا ننسـى أحيانا أن السفـر إلى الفضاء مكلف، بل باهـظ التكلفة. إن تكلفـة وضـع رطل واحد من أي شـيء فقط في مدار قريـب من الأرض تصـل إلى 10000 دولار. تخيل وزن جون جلين[1] John Glenn بالكامل مـن الذهب ليمكنك فهم تكلفة السفر إلى الفضاء. أما الوصول إلى المريخ فسيكلـف نحو مليـون دولار لكل رطـل (وهو ما يعـادل وزن الإنسان كاملا من الماس).

غـير أن كل هذا طغـت عليه الإثـارة والدراما المصاحبـة للمنافسة بين الأمريكيـين والروس. وحجبت الأعمال الفضائيـة المدهشة التي قام بها رواد فضـاء شجعـان التكلفة الحقيقيـة لرحلات الفضاء عـن الرؤية، لأن الأمم كانـت مستعدة لدفع الغالي والنفيس إذا كان فخرها الوطني عرضة للخطـر. ولكن يبدو أنه حتى القوى العظمى في العالم لا يمكنها الاستمرار في تحمل تلك التكاليف لعقود طويلة.

ومما يدعو للأسف أنه مر أكثر من 300 عام منذ كتب سير إسحاق نيوتن قوانين الحركة أول مرة، ومع ذلك فإننا لا نزال عاجزين أمام عملية حسابية بسيطة. فمن أجل قذف عنصر ما إلى مدار قريب من الأرض، علينا إرساله بسرعة 18000 ميل في الساعة. ولإرساله إلى أعماق الفضاء، ليتجاوز مجال الجاذبيـة الأرضية، علينا دفعه بسرعة 25000 ميـل في الساعة (وللوصول إلى هـذا الرقم السحـري، 25000 ميل في الساعة، علينـا استخدام قانون الحركـة الثالث لنيوتن: لكل فعـل رد فعل مساو له في المقـدار ومضاد له

(1) جون جلين John Glenn: أول أمريكي يدور حول الأرض في عام 1962. (المترجم)

في الاتجـاه. ويعني هـذا أن الصاروخ يمكنه الانطلاق للأمـام بسرعة لأنه يقذف للخارج غازات ساخنة في الاتجاه المضاد، بالطريقة ذاتها التي يطير بهـا بالون في أنحاء الحجـرة عندما تنفخه ثم تفلت فوهتـه لينطلق الهواء منـه). وهكذا، فإن الانتقال من قوانين نيوتن إلى حساب تكلفة السفر إلى الفضاء هو خطوة بسيطة. فليس هناك قانون هندسي أو فيزيائي يعوقنا عن استكشاف النظام الشمسي؛ إنها مسألة تكلفة فحسب.

والأسوأ من هذا أن الصاروخ يجب أن يحمل الوقود الذي ينطلق به، مما يزيـد وزنه أكثر. وتتغلب الطائرات على هذه المشكلة جزئيا لأنها تستطيع التزود بالأكسجين من الهواء الخارجي، ومن ثم تحرقه في محركاتها. ولكن نظـرا لعدم وجود هواء في الفضاء، كان لابد للصواريخ أن تحمل خزانات الأكسجين والهيدروجين المطلوبة.

وليـس هذا هو السبب فقـط وراء ارتفاع تكلفة السفر إلى الفضاء، وإنما هـو أيضا السبب وراء عدم وجـود حقائب نفاثة وسيـارات طائرة. وقد أضفـى كُتّاب الخيـال العلمي (وهم ليسـوا علماء حقيقيـين) البهاء على اليـوم الذي سنضـع فيه على ظهورنا حقائب نفاثة ونطـير بها إلى العمل، أو ننطلـق يوم العطلة الأسبوعية في رحلة طائـرة على متن سيارتنا العائلية الطائـرة. وقد شعر كثير من الناس بخيبة الأمـل في هؤلاء المستقبليين لأن تلـك التنبـؤات لم تتحقق أبـدا (ولهـذا السبب نرى موجة مـن المقالات والكتـب التي تحمل عناوين متشائمة مثـل (أين حقيبتي الطائرة؟). ولكن حسبـة سريعة توضح لنا السبـب. إن الحقائب النفاثة موجودة بالفعل، بل إن النازيـين استخدموها لفترة قصيرة خلال الحـرب العالمية الثانية. ولكن

بروكسيد الهيدروجين، وهو الوقود الشائع المستخدم في الحقائب النفاثة، سرعان ما ينفد، لذا فإن الرحلة التقليدية باستخدام الحقيبة النفاثة لا تستمر سوى لدقائق معدودة. كما أن السيارات الطائرة التي تستخدم مراوح كمراوح طائرات الهليكوبتر تستهلك قدرا هائلا من الوقود، مما يجعلها باهظة التكلفة للمسافر العادي في ضواحي المدن.

إلغاء برنامج العودة إلى القمر

إن مستقبل الاستكشاف البشري للفضاء في حالة اضطراب حاليا بسبب التكلفة الهائلة لرحلات الفضاء. وقد عرض الرئيس الأمريكي السابق جورج دابليو. بوش خطة واضحة طموحة لبرنامج الفضاء: أولا، أن يحال مكوك الفضاء للتقاعد عام 2010، ليحل محله عام 2015 نظام صاروخي جديد يسمى (الكوكبة) Constellation. ثانيا، أن يعود روّاد الفضاء إلى القمر بحلول عام 2020، ليقيموا هناك في نهاية الأمر قاعدة دائمة يرتادها ويديرها البشر. ثالثا، أن يمهد هذا الطريق لإرسال بعثة بشرية إلى المريخ.

بيد أن اقتصادات السفر إلى الفضاء تغيرت على نحو كبير منذ ذلك الوقت، وبصفة خاصة لأن الأزمة الاقتصادية العالمية جففت مصادر تمويل المهام الفضائية المستقبلية. وقد توصل تقرير لجنة أوجستين Augustine Commission، المرفوع إلى الرئيس باراك أوباما عام 2009، إلى أن الخطة سالفة الذكر غير قابلة للتنفيذ في ضوء مستويات الاعتمادات المالية الحالية. وفي عام 2010، صادق الرئيس أوباما على نتائج لجنة أوجستين، ملغيا مكوك الفضاء وبديله الذي كان سيضع أساس عودة البشر إلى القمر.

وعلى المدى القريب، بدون وجود الصواريخ اللازمة لإرسال رواد الفضاء إلى الفضـاء، ستكون وكالة الفضاء الأمريكية (ناسا) مرغمة على الاعتماد على الروس. وفي الوقت الراهـن، يمثل هذا فرصة للشركات الخاصة لبناء الصواريـخ اللازمة للاستمرار في برنامـج الفضاء المعتمد على البشر. وفي تناقض حاد مع الماضي، لن تعود (ناسا) هي مـن يبني الصواريخ لبرنامج الفضـاء البشري. هـذا ويقول مؤيدو تلك الخطة إنهـا ستبدأ عصرا جديدا للسفـر في الفضـاء، عندما تتـولى الشـركات الخاصة الأمـر. بينما يقول المنتقدون إن هذه الخطة ستحط من شأن (ناسا) لتصبح (وكالة بلا غاية).

الهبوط على أحد الكويكبات

وضـع تقرير أوجستين ما يسمى بـ (المسار المرن)، وهو مسار يضم عدة أهداف معتدلة لا تتطلب قدرا كبيرا جدا من وقود الصواريخ؛ مثل السفر إلى أحـد الكويكبات القريبة التي يتصادف مرورها بالقرب منا، أو السفر إلى قمـري المريخ. وأوضح التقريـر أن كويكبا كهذا قد لا يكون موجودا علـى خرائطنا السماوية بعـد؛ وربما كان كويكبا هائمـا في الفضاء يمكن اكتشافه في المستقبل القريب.

وتكمن المشكلة، وفقا لما جاء في تقرير أوجستين، في أن وقود الصاروخ الـلازم للهبوط على سطـح أحد قمري المريخ والعودة منـه، أو من المريخ نفسه بصفة خاصة، سيكون باهظ التكلفة على نحو مانع. ولكن لما كانت الكويكبـات الصغيرة وقمرا المريخ ذات مجـالات جاذبية منخفضة للغاية، فـإن تلك الرحلات لـن تحتاج لكميات كبيرة جدا مـن الوقود. كما ذكر

تقريـر أوجستين أيضا إمكانية زيارة نقـاط (لاجرانج) Lagrange points، وهي مواضـع في الفضاء الخارجي تلغي عندها جاذبيـة الأرض وجاذبية القمـر بعضهمـا بعضا (وقد تؤدي هـذه النقاط دور مقلـب نفاية كوني، حيـث تتجمـع فيه الأنقاض القديمة مـن النظام الشمسي القـديم، لذا فإن بوسع رواد الفضاء عند زيارتها أن يجدوا صخورا مثيرة للاهتمام تعود إلى وقت تكوين النظام الأرضي القمري).

ومـن المؤكـد أن الهبوط على أحد الكويكبـات الصغيرة سيكون مهمة منخفضة التكلفة لأن الكويكبات الصغيرة لها مجال جاذبية ضعيف للغاية (وهـذا أيضا هو السبب وراء كون الكويكبات ذات أشكال غير منتظمة، وليست دائريـة الشكل. ففي هذا الكون، الأجسام الضخمة –كالنجوم، والكواكـب، والأقمار – جميعها مستديرة لأن جاذبيتها تعمل على نحو متسـاوٍ. وعلى هذا، فإن أي شـذوذ في شكل كوكب ما يتلاشى تدريجيا مع ضغط الجاذبية على غلافها الخارجي. غير أن مجال جاذبية الكويكبات الصغـيرة ضعيف جـدا بحيث لا يستطيع ضغـط الكويكب ليتخذ شكلا دائريا منتظما).

ولـن تشكل زيـارة كويكـب (أبوفيـس)[1] Apophis عبئـا ثقيلاً على ميزانيـة وكالة ناسـا لأن الكويكب سيقترب من الأرض على أي حال،

(1) نيـزك أو كويكـب أبوفيـس Apophis: نيزك اكتُشف عـام 2004 بطول 250 متر، مكون من الحديـد، يزن 20 مليون طـن، ويتبـع مسارا قريبًا من مسـار الأرض الذي يلتقي به مرتين في دورته. وقد توصلـت (ناسا) في حزيران 2006 إلى أن عبـور هذا النيـزك على مسافة 32 ألف كيلومتر عام 2029 ميلادي سيجعله عرضـةً لجاذبية الأرض، مما سيؤدّي إلى جذب مساره صوبها، ما جعل (ناسا) تعلن أن الاصطدام مؤكد خلال المئة عامٍ المقبلة، وأغلب الحسابات تنبأت أن عام 2036 هو الاحتمال الأقوى. (المترجم)

ولكن الهبوط على سطح الكويكب قد يمثل مشكلة. فلما كان للكويكب الصغير مجال جاذبية ضعيف، فإن الهبوط سيكون أقرب لدخول رصيف ميناء منه للهبوط على كويكب بالمعنى المألوف. كما أن الكويكب يدور على نحو غير منتظم على الأرجح، لذا لابد من إجراء حسابات وقياسات دقيقة قبل الهبوط. وسيكون من المثير للاهتمام إجراء اختبارات لنرى مدى صلابة الكويكب. ويعتقد البعض أن الكويكبات قد تكون عبارة عن مجموعة من الصخور المتماسكة معا على نحو غير محكم بفعل مجال جاذبية ضعيف. بينما يعتقد آخرون أنه قد يكون صلبا ومتماسكا. ولا شك أن تحديد مدى تماسك كويكب ما هو أمر قد يكون مهما في يوم من الأيام، إذا اضطررنا لاستخدام أسلحة نووية لتدمير أحدها، فالكويكبات قد تتفكك إلى قطع كبيرة عديدة، بدلاً من أن تتحول إلى مسحوق ناعم. وإذا حدث هذا، فإن خطر تلك القطع الكبيرة قد يكون أعظم من التهديد الأصلي نفسه. وقد يكون وكز الكويكب ودفعه بعيدا عن مسار الارتطام بالأرض قبل أن يقترب منها فكرة أفضل من محاولة تدميره.

الهبوط على أحد قمري المريخ

مع أن تقرير أوجستين لم يدعم عملية إرسال مهمة بشرية إلى المريخ، فإن أحد الاحتمالات المثيرة للاهتمام هو إرسال رواد فضاء لزيارة قمري المريخ؛ فوبوس Phobos وديموس Deimos. وهذان القمران أصغر كثيرا جدا من قمر الأرض، وبالتالي فإن مجالي جاذبيتهما ضئيلان للغاية. وهناك العديد من المزايا للهبوط على قمري المريخ، فضلا عن ميزة توفير التكلفة.

1. يمكن استخدام هذين القمرين كمحطتين فضائيتين، فهما سيوفران وسيلة سهلة لتحليل كوكب المريخ من الفضاء دون زيارته.

2. يمكن للقمرين في نهاية الأمر أن يوفرا طريقة سهلة للوصول إلى المريخ. فالقمر فوبوس يقع على بعد أقل من 6000 ميل من مركز المريخ، لذا فمن الممكن القيام برحلة سريعة إلى الكوكب الأحمر (المريخ) في غضون ساعات معدودة.

3. الأرجح أن هذين القمرين سيضمان كهوفا يمكن استخدامها كقاعدة ثابتة يديرها البشر للحماية من النيازك والإشعاع. والقمر فوبوس تحديدا يضم فوهة البركان الضخمة المعروفة باسم (ستيكني) Stickney على جانبه، وهو ما يشير إلى أن القمر تعرض لضربة نيزك ضخم وكاد يتبعثر في الفضاء. غير أن جاذبية القمر أعادت تجميع أجزاء القمر وتشكيله ببطء من جديد. والأرجح أن هناك وفرة من الكهوف والفجوات الباقية عن هذا التصادم القديم.

العودة إلى القمر

ذكر تقرير لجنة أوجستين أيضا برنامجا يُعرف باسم (القمر أولا)، حيث يجب العودة إلى القمر، ولكن فقط إذا توفر المزيد من التمويل؛ 30 مليار دولار على الأقل على مدار عشر سنوات. ولما كان هذا أمرا مستبعدا، فإن برنامج العودة إلى القمر، في واقع الأمر، تم إلغاؤه، على الأقل على مدار السنوات المقبلة.

وكانت مهمة القمر الملغاة تحمل اسم (برنامج الكوكبة) Constellation

Program، وتتكـون مـن عدة مكونـات كـبرى. أولا، كان هناك صاروخ الدفـع (آريـس) Ares، وهـو أول صاروخ دفـع أمريكي كبـير منذ تخزين صاروخ ساتـورن Saturn القديم في السبعينات مـن القرن العشرين. وفوق هذا الصاروخ توجد كبسولـة (أوريون) Orion التي يمكنها حمل ستة رواد فضـاء إلى المحطـة الفضائية، أو أربعة رواد فضـاء إلى القمر. ثم هناك مركبة الهبوط (ألتاير) Altair التي كان من المفترض أن تهبط فعليا على سطح القمر.

وكان مكـوك الفضاء القديم، حيث كان الصـاروخ المكوكي موضوعا على جانب صاروخ الدفع، يشتمل على عدد من عيوب التصميم، ومنها أن الصـاروخ كان يتساقـط منه أجزاء من الفـوم. وكان لذلك آثار كارثية على مكوك الفضاء (كولومبيا) Columbia الذي تحطم عند إعادة الدخول عام 2003، مما تسبب في مقتل سبعة رواد فضاء شجعان؛ وذلك لأن قطعة مـن الفوم ارتطمت من صاروخ الدفع بالمكوك وصنعت فجوة في جناحه أثنـاء الإقلاع. وعند إعادة دخوله إلى الأرض، اخترقت الغازات الساخنة هيكل المكوك، فقتلـت جميع من كانوا بداخله وتسببت في تحطمه. وفي صاروخ (الكوكبة)، كانت تلك المشكلة ستنتهي تماما، مع وضع كبسولة الطاقم فوق صاروخ الدفع مباشرة.

وقد أطلقت الصحافة على برنامج (الكوكبة) اسم (برنامج أبولو القائم علـى المنشطـات) لأنه بدا شديـد الشبه ببرنامـج الصواريـخ القمرية في سبعينات القرن العشرين. وكان مقدرا أن يبلغ طول صاروخ الدفع (آريس 1) 325 قدمـا، وهو طول يضاهي طـول الصاروخ (ساتورن 5) الذي بلغ طوله 363 قدما. وكان من المفترض أن يحمل آريس 1 الكبسولة (أوريون)

إلى الفضـاء، لتحل محل مكوك الفضـاء القديم. ولكن كان من المفترض أن تستخـدم وكالة الفضـاء ناسا الصاروخ (آريس 5)، الـذي بلغ طوله 381 قدمـا وكان قـادرا على حمل 207 أطنان إلى الفضـاء، لنقل أي شيء ثقيل الوزن. وبذا كان الصاروخ (آريس 5) سيصبح العمود الفقري لأي مهمة تُرسل إلى القمر أو إلى المريخ. (ورغم أن صواريخ آريس قد أُلغيت، فهناك حديث عن إنقاذ بعض من مكوناتها من أجل مهام مستقبلية).

قاعدة قمرية دائمة

علـى الرغم من أن الرئيس أوباما ألغـى برنامج الكوكبة، فإنه ترك عدة خيارات مفتوحة. والآن، يتم دراسة استخدام كبسولة أوريون، وهي التي كان مـن المفترض أن تعيـد رواد الفضاء مرة أخـرى إلى القمر، كحجرة هـروب لمحطة الفضاء الدولية. وفي لحظة مـا في المستقبل، عندما يستعيد الاقتصاد عافيته، قد ترغب إدارة أخرى في الاهتمام بالعودة إلى القمر مرة أخرى، بما في ذلك إنشاء قاعدة قمرية.

وتواجه مهمة تأسيس وجود دائم على سطح القمر العديد من العقبات. والعقبـة الأولى هي النيـازك المجهرية الصغيرة جـدا. فبسبب عدم وجود هـواء علـى القمر، كثيرا مـا تصطدم بـه الصخور من الفضـاء الخارجي. ويمكننـا رؤية هـذا بالنظر إلى وجهه الذي ترك اصطـدام النيازك به ندوبا عديدة يرجع عمر بعضها إلى مليارات السنين.

ولقد ألقيت نظرة شخصية على هذا الخطر عندما كنت طالبا بالدراسات العليا في جامعـة كاليفورنيا في بيركلي. وكانـت صخور القمر التي تمت

إعادتهـا من الفضاء في بدايـة السبعينات من القـرن العشرين تبث شعورا بالإثـارة في الأوسـاط العلمية. وقـد دُعيت إلى معمـل كان يقوم بتحليل صخرة من صخور القمر باستخدام ميكروسكوب. وبدت الصخرة التي رأيتهـا عادية، إذ إن صخـور القمر تبدو شديدة الشبـه بصخور الأرض، ولكـن تحت عدسة الميكروسكوب تلقيت صدمـة هائلة. لقد رأيت ثقوبا نيزكية صغيرة في الصخرة، وبداخلها ثقوب أصغر. وكانت تلك الثقوب المتداخلـة بعضهـا بعضا شيئا لم أره مـن قبل قط. وسرعان مـا أدركت أنه دون وجـود غلاف جوي، فـإن أصغر ذرة تـراب ميكروسكوبية ترتطم بالإنسـان بسرعة 40000 ميل في الساعة يمكـن أن تقتله بسهولة، أو على الأقل تخترق حلتـه الفضائية (ويدرك العلماء الضـرر الهائل الذي تصنعه تلـك النيـازك المجهرية لأنهـم يستطيعون محـاكاة صدماتها، فقـد أشأوا مواسـير مدافع ضخمة في معاملهم يمكنهـا إطلاق قذائف معدنية لدراسة تلك الاصطدامات النيزكية).

وأحد الحلول الممكنة هو بناء قاعدة قمرية تحت الأرض. فبسبب النشاط الـبركاني القديم للقمر، هناك احتمال أن يجد رواد الفضاء قناة للحمم تمتد عميقـا داخل قلب القمر (وقنوات الحمم البركانية تصنعها تدفقات الحمم القديمة التي تنحت هياكل وقنوات وأنفاقا شبيهة بالكهوف تحت الأرض). وفي عـام 2009، عثر العلماء علـى قناة حمم بحجم ناطحة سحاب تقريبا يمكنها أن تحتضن قاعدة دائمة للبشر على سطح القمر.

ويمكن لهذا الكهف الطبيعي أن يوفر حماية رخيصة التكلفة لرواد الفضاء مـن الأشعة الكونيـة والتوهجات الشمسية. ومعلـوم أن مجرد القيام برحلة

عبر القارة الأمريكية من نيويورك إلى لوس أنجليس يعرض المرء لواحد ميللي ريم[1] مـن الإشعاع كل ساعة (وهو ما يعادل التصوير الإشعاعي للأسنان). وبالنسبـة لرواد الفضـاء الذين سيتواجـدون على سطح القمـر، قد يكون الإشعـاع مكثفـا للغاية إلى حد قـد يحتاجون معه للعيشـ في قواعد تحت الأرض. فمن دون غلاف جوي، سوف يتسبب فيض مميت من التوهجات الشمسيـة والأشعة الكونية في تعرُّض رواد الفضـاء لخطر شديد مباشر، مما ينتج عنه الشيخوخة المبكرة، وربما حتى الإصابة بالسرطان.

وكذلك يمثـل انعدام الوزن مشكلة، خاصـة بالنسبة للمهام الطويلة في الفضـاء. وقد واتتني فرصة زيارة مركـز التدريب التابع لناسا في كليفلاند بولايـة أوهايو، حيث تتم هناك اختبـارات مكثفة على رواد الفضاء. وفي أحـد الاختبارات التي شهدتهـا، كان الشخص الخاضـع للاختبار معلقا بسرج بحيث يكون جسده موازيا للأرض. وبعد ذلك، بدء في العدو على جهاز جري في وضع رأسي. وعن طريق العدو على هذا الجهاز، يستطيع علماء ناسا محاكاة انعدام الوزن أثناء اختبار قدرة الفرد على التحمل.

وعندما تحدثت إلى الأطباء في (ناسا)، علمت أن انعدام الوزن أكثر ضررا بالصحـة مما كنت أظن قبل ذلك. فقـد أوضح لي أحد الأطباء أنه بعد عدة عقود من تعريض رواد الفضاء الأمريكيين والروس لانعدام الوزن لفترات مطولـة، أدرك العلمـاء الآن أن الجسـد يتعرض لتغـيرات كبيرة: يحدث ضمور للعضلات، والعظام، والجهاز القلبي الوعائي. إن أجسادنا نشأت

(1) ميللي ريم millirem: وحدة لقياس الإشعاع. (المترجم)

وتطورت على مدار ملايين السنين وهي تعيش في مجال جاذبية الأرض؛ وعندما توضع في مجال جاذبية أضعف لفترات طويلة من الوقت، ترتبك وتختل جميع عملياتنا الحيوية بشدة.

وقد كان رواد الفضاء الروس الذين يقضون نحو عام في الفضاء في غاية الضعف عندما يعودون إلى الأرض لدرجة أنهم بالكاد يستطيعون الزحف. فحتى لو أنهم كانوا يمارسون الرياضة يوميا في الفضاء، فإن عضلاتهم تضمر، وعظامهم تفقد الكالسيوم، وتصاب أجهزتهم القلبية الوعائية بالضعف والوهن. ويستغرق بعض رواد الفضاء شهورا ليتعافوا من هذه الأضرار التي قد يكون بعضها دائما. إن رحلة إلى المريخ، وهي رحلة قد تستغرق عامين، يمكن أن تستنزف قوة رواد الفضاء بحيث لا يستطيعون أداء مهمتهم عندما يصلون إلى هناك. (ويتمثل أحد الحلول لتلك المشكلة في جعل مركبة الفضاء تدور، مما سيصنع بداخلها جاذبية صناعية. وهذا هو السبب نفسه الذي يجعلك قادرا على تدوير دلو من الماء فوق رأسك دون أن ينسكب منه الماء. غير أن هذا أمر باهظ التكلفة على نحو يجعل تنفيذه مستحيلاً بسبب المعدات الثقيلة اللازمة لتدوير المركبة. فكل رطل من الوزن الزائد يضيف 10000 دولار إلى تكلفة المهمة).

ماء على القمر

كان أحد العوامل التي غيّرت قواعد اللعبة اكتشاف وجود جليد قديم على القمر، يرجح أنه من بقايا اصطدامات مذنبات قديمة به. وفي عام 2009، ارتطم مسبار ناسا المعروف باسم (قمر مراقبة واستشعار الفوهة القمرية)

lunar crater observation and sensing satellite (المعروف اختصارا باسم (لكروس) LCROSS) وصاروخ الدفع (سينتور) Centaur الخاص به بمنطقة القطب الجنوبي للقمر. وكان ارتطام المسبار والصاروخ جميعا بالقمر بسرعة 5600 ميل في الساعة، مما خلف سحابة بارتفاع ميل تقريبا، وحفرة بعرض 60 قدما تقريبا. ورغم أن مشاهدي التليفزيون شعروا بخيبة الأمل لأن ارتطام المسبار (لكروس) لم يصنع انفجارا هائلا كما كان متوقعا، فقد قدم لنا هذا الانفجار ثروة من البيانات العلمية. إذ عثر على قرابة 24 جالونا من الماء داخل سحابة الركام. وبعد ذلك، صرح العلماء تصريحا صادما عام 2010 قالوا فيه: إن نسبة 5 في المئة من الركام كانت تحتوي على الماء. وهكذا، فقد كان القمر فعليا أكثر رطوبة من أجزاء من الصحراء الكبرى.

وقد يكون هذا مهما لأنه ربما يعني أن رواد الفضاء في المستقبل يمكنهم حصد تراكمات الجليد الموجود تحت الأرض لاستخدامها كوقود للصواريخ (عن طريق استخلاص الهيدروجين الموجود في الماء)، وفي التنفس (عن طريق استخلاص الأكسجين)، وفي الحماية (لأن الماء يمكنه امتصاص الإشعاعات)، وفي الشرب (بعد تنقيته). وهكذا، فإن هذا الاكتشاف يمكن أن يخفض ميزانية أي مهمة إلى القمر بقيمة مئات الملايين من الدولارات.

كما يعني هذا الاكتشاف أنه ربما يكون بإمكان رواد الفضاء العيش بعيدا عن الأرض، وجني الثلج والمعادن على سطح القمر لإنشاء قاعدة دائمة وتزويدها باحتياجاتها.

منتصف القرن (من 2030 إلى 2070)

مهمة إلى المريخ

عندما زار الرئيس أوباما فلوريدا عام 2010 لإعلان إلغاء برنامج القمر، عرض احتمال إرسال مهمة إلى المريخ كبديل. وقد أيد تمويل صاروخ دفع ثقيل غير محدد بعد يمكنه في يوم من الأيام إرسال رواد الفضاء إلى أعماق الفضاء وما وراء القمر. وقال حالما إنه قد يرى ذلك اليوم – ربما في منتصف الثلاثينات من القرن الحالي – الذي يمشي فيه رواد الفضاء على سطح المريخ. وكان بعض رواد الفضاء، مثل باز ألدرين، مؤيدين ومتحمسين لخطة الرئيس أوباما لأنها سوف تتجاهل القمر. لقد أخبرني ألدرين ذات مرة أن الولايات المتحدة قد ذهبت من قبل إلى القمر، ومن ثم فإن المغامرة الحقيقية تكمن في الوصول إلى المريخ.

وتجدر الإشارة إلى أنه من بين جميع كواكب المجموعة الشمسية وحده المريخ الذي يبدو شبيها بالأرض.بما يكفي لإيواء بعض أشكال الحياة (الأرجح أن كوكب عطارد، الذي تحرق الشمس سطحه، أكثر عدائية من أن يؤوي الحياة التي نعرفها. والكواكب الغازية العملاقة – المشتري، زُحل، أورانوس، ونبتون – أكثر برودة من أن تدعم الحياة. وكوكب الزهرة هو توأم للأرض، غير أن ظاهرة شبيهة بالدفيئة صنعت منه حفرة من حفر الجحيم، حيث ترتفع درجات الحرارة على سطحه إلى 900 درجة فهرنهايت، وغلافه الجوي المكون في أغلبه من ثاني أكسيد الكربون أكثر

كثافـة من غلاف الأرض بمائة مرة، والأمطـار التي تسقط عليه عبارة عن حمضـ الكبريتيك. فلو سار إنسـان على سطح الزهـرة، سوف يختنق، ويسحق حتى الموت، وتحترق جثته بفعل الحرارة وتتحلل بواسطة حمض الكبريتيك).

من ناحيـة أخرى، كان المريخ في وقت من الأوقـات كوكبا رطبا، مثل الأرضـ، وكانت به محيطات وأنهار اختفـت منذ وقت طويل جدا. وهو اليـوم صحراء متجمـدة خاوية من الحياة. وربما ازدهـر شكل من أشكال الحيـاة الميكروبية على سطحه منـذ مليارات السنين، أو ربما كانت لا تزال تعيش تحت الأرض في ينابيع دافئة.

وبمجرد أن تلتزم الولايات المتحـدة التزاما راسخا بالوصول إلى المريخ، فقد يتطلب الأمر منها ما بين عشرين وثلاثين سنة أخرى لإنجاز تلك المهمة. ويبـدو أن الوصول إلى المريخ سيكـون أصعب كثيرا جدا من الوصول إلى القمـر. فعلـى عكس القمر، يمثـل المريخ قفزة كميـة في الصعوبة. فالأمر يتطلـب ثلاثة أيام فقط للوصـول إلى القمر، في حين يتطلب من ستة أشهر إلى سنة كاملة للوصول إلى المريخ.

وفي يوليـو عام 2009، أجـرت (ناسا) دراسة بسيطة علـى كيفية القيام برحلـة واقعية إلى المريـخ. فوجدت أنه سوف يستغـرق رواد الفضاء ستة أشهـر أو أكثر للوصول إليه، ثم يقضون ثمانية عشر شهرا على سطحه، ثم يقضون ستة أشهر أخرى في رحلة العودة.

وإجمالا، سوف يتطلب الأمر إرسال حوالي 1.5 مليون رطل من المعدات إلى المريـخ، وهو قدر أكبر من المطلوب لإنشاء محطة الفضاء التي ستتكلف

100 مليـار دولار. ومن أجل الاقتصاد في كميات الغـذاء والماء، سيكون على رواد الفضاء تنقية فضلاتهم ثم استخدامها في تسميد النباتات خلال الرحلة وأثناء التواجد على سطح المريخ. ففي ظل عدم وجود هواء أو تربة صالحـة أو ماء، لابد من جلب كل هذا من الأرض. وسيكون العيش بعيدا عـن الأرض مستحيلاً لأنه ليس هناك أكسجـين أو ماء سائل أو حيوانات أو نباتات على سطح المريخ. ويكاد الغلاف الجوي للمريخ يكون من ثاني أكسيـد الكربون علـى نحو خالص، مع ضغط جـوي يساوي 1 في المائة فقـط من الضغط الجوي للأرض. وسيؤدي وجود أي شق في حلة الفضاء إلى انخفاض الضغط بسرعة كبيرة، ومن ثم الموت.

وسـوف تكون المهمة معقدة للغاية بحيث تحتـاج إلى تقسيمها إلى عدة خطـوات. فلما كان حمل الوقود اللازم لرحلة العـودة إلى الأرض باهظ التكلفـة، فمن الممكن إرسال صـاروخ منفصل إلى المريـخ مسبقا يحمل الوقـود الذي سيتم استخدامـه في إعادة تزويد مركبـة الفضاء التي تحمل رواد الفضـاء بالوقـود (وإذا أمكـن استخلاص ما يكفـي من الأكسجين والهيدروجـين مـن الجليـد الموجـود علـى سطـح المريخ، فمـن الممكن استخدامهما أيضا كوقود).

وبمجـرد الوصول إلى المريخ، قد يستغرق رواد الفضاء أسابيع عديدة في التكيف على العيش علـى سطح كوكب آخر. فمع أن دورة الليل والنهار علـى سطح المريـخ متماثلة تقريبا مـع دورتهما على الأرضـ (اليوم على المريخ يسـاوي 24.6 ساعة أرضية)، فإن السنـة هناك تكاد تكون ضعف السنة على الأرض. ودرجة الحرارة على المريخ لا تتعدى أبدا درجة حرارة

انصهـار الجليد، والعواصـف الترابية عاتية، والرمـال ذات كثافة مشابهة لمساحيـق التجميل، ومن الشائع أن تهب عواصف ترابية تغطي الكوكب بكامله.

هل يمكن تغيير بيئة المريخ؟

بافتراضـ أن رواد الفضاء زاروا المريخ بحلـول منتصف القرن وأنشأوا قاعدة مريخية بدائية علـى سطحه، سيكون هناك احتمال أن يدرس رواد الفضاء إمكانية تغيير بيئة المريخ، بمعنى تحويل سطح القمر لجعله أكثر قابلية لاستضافـة الحيـاة. وسوف يبدأ هـذا في وقت متأخر مـن القرن الحادي والعشريـن علـى أحسن تقديـر، والأرجـح أن يبدأ في بدايـة القرن الثاني والعشرين.

وقد درس العلماء العديد من الطرق التي يمكن بها تغيير بيئة المريخ. وربما كانـت أكثر الطرق بساطة حقن الغلاف الجـوي للكوكب بغاز الميثان أو غيره من الغازات المتسببة في ظاهرة الدفيئة. فلما كان غاز الميثان أكبر قدرة مـن ثاني أكسيد الكربون في التسبب في ظاهـرة الدفيئة، فقد يتمكن هذا الغاز من حبس ضـوء الشمس وزيادة درجة حرارة سطح المريخ إلى أعلى من نقطة انصهار الجليد. وبالإضافة إلى غاز الميثان، تمت دراسة عدة غازات أخـرى من الغازات المسئولة عن التسبب في ظاهرة الدفيئة لإجراء تجارب التغيير المحتملة لبيئة الكوكب، مثل الأمونيا والكلوروفلوروكربونات.

وبمجرد أن تبدأ درجة الحرارة في الارتفاع، قد تبدأ طبقة الجليد الموجودة تحـت الأرض في الذوبـان، لأول مرة منذ مليارات السنـين. ومع ذوبان

طبقة الجليـد الدائمة تلك، سوف تبدأ الأنهـار في الامتلاء بالماء. وأخيرا، قـد تتشكل البحيرات وحتى المحيطات مـرة أخرى على سطح المريخ مع زيادة كثافة الغلاف الجوي. وسوف يؤدي هذا لإطلاق المزيد من غاز ثاني أكسيد الكربون، وتبدأ دورة تغذية عكسية إيجابية.

لقـد اكتُشف عام 2009 أن غاز الميثان يهرب على نحو طبيعي من سطح المريـخ. وما يـزال مصدر هذا الغاز يمثل لغزا. فعلـى الأرض، يأتي معظم غـاز الميثان مـن تحلل المواد العضوية. ولكن على المريـخ، قد يكون الميثان منتجـا ثانويا لبعض العمليات الجيولوجية. وإذا استطعنا تعيين مصدر غاز الميثان على سطح المريخ، فقد يصبح من الممكن زيادة إنتاجه، ومن ثم تغيير الطقس على سطح الكوكب.

وأحـد الاحتمالات الأخـرى هو التسبب في انحـراف مذنب ليدخل جو المريـخ. فإذا استطعنـا اعتراض مذنب بعيد عـن الكوكب بما يكفي، فـإن مجرد وكـزة صغيرة بواسطة صاروخ، أو تصادم مـع مسبار، أو حتى سحبـه بواسطة جاذبية سفينـة فضاء، قد تكون كافيـة لجعله ينحرف عن مسـاره. والمذنبـات تتشكل أساسا مـن الماء المثلج، وهي تمـر مسرعة عبر نظامنا الشمسي على نحو منتظم (يتشكل المذنب هالي[1] Halley مثلا من نـواة – تشبه حبة الفول السوداني – بعرض عشرين ميلا تقريبا، وتتكون مـن الثلج والصخور في الأساس). ومع اقتراب المذنب تدريجيا من سطح

(1) مذنـب هـالي Halley: أحد أشهر المذنبات المعروفة، اكتشفه العالم الفلكي البريطاني إدموند هالي سنة 1986، وهو مذنب يزور الأرض مرة كل 76 سنة تقريبا. (المترجم)

المريـخ، سوف يواجه مقاومة الغـلاف الجوي، مما سيتسبب في تفتته ببطء وإطلاق الماء الذي يحتوي عليه في الغلاف الجوي في صورة بخار.

وإذا لم تكـن المذنبـات متاحة، فقـد يكون من الممكـن أيضا جعل أحد الأقمار الثلجية للمشتري، أو ربما أحد الكويكبات التي تحتوي على الجليد – مثـل كويكب سيريـس[1] Ceres الذي يُعتقد أن نسبة المـاء فيه تبلغ 20 في المئـة – تنحرف (وسيكون جعل تلـك الأقمار والكويكبات تنحرف أمـرا في غاية الصعوبـة لأنها عادة ما تدور في مـدارات ثابتة). وبدلاً من جعـل مذنب أو قمر أو كويكب يتفتت ببطء في مداره حول المريخ مطلقا بخـارا مائيا، هناك خيار آخر هو جعلها تصطدم اصطداما محكوما بالقمم الثلجيـة على سطح المريخ. وتتكون المناطـق القطبية على سطح المريخ من غـاز ثاني أكسيـد الكربون المتجمـد الذي يختفي خـلال أشهر الصيف، والجليـد الذي يشكل الجزء الدائم من القمـم الجليدية. فإذا ارتطم المذنب أو القمـر أو الكويكب بالقمـم الجليدية، فيمكن أن ينتج عن هذا التصادم قدر هائل من الحرارة يبخر الجليد الجاف. وحيث إن ثاني أكسيد الكربون هـو أحد الغازات المتسببة في ظاهرة الدفيئـة، فهذا من شأنه أن يزيد كثافة الغـلاف الجوي ويساعد في تسريع عمليـة الاحتباس الحراري على سطح المريخ. وقـد يؤدي أيضا لإيجاد دورة تغذية عكسيـة إيجابية. وكلما زاد ثاني أكسيد الكربون المنبعث من القمم الجليدية، زاد دفء الكوكب، وهو

(1) كويكب سيريس Ceres: أوّل ما اكتشف من الكويكبات سنة 1801 على يد العالم الإيطالي بيازي. ويعدّ أكبر الكويكبات، ويبلغ قطره 1000 كيلو متر تقريبا. (المترجم)

ما سيؤدي بدوره إلى إطلاق المزيد من غاز ثاني أكسيد الكربون.

وهناك اقتراح آخر يقضي بقصف القمم الجليدية بالقنابل النووية مباشرة. وموطن الضعف في هذا الاقتراح أن الماء السائل الناتج عن ذلك قد يحتوي دقائق نشطة إشعاعيا. أو يمكن أن نحاول إنشاء مفاعل اندماج يمكنه صهر القمم الجليدية القطبية. وتستخدم محطات الاندماج النووي الماء كوقود أساسي لها، وهناك الكثير من الماء المتجمد على سطح المريخ.

وبمجرد أن ترتفع درجة حرارة المريخ إلى درجة حرارة ذوبان الثلج، قد تتشكل بحيرات مائية، ويمكن نقل أنواع معينة من الطحالب التي تزدهر على الأرض في القطب الجنوبي إلى المريخ. وتلك الطحالب يمكن أن تحيا في جو المريخ المكون من 95 في المائة من ثاني أكسيد الكربون. كما يمكن تعديل تلك الطحالب وراثيا لتعظيم قدرتها على النمو على سطح المريخ. وتلك البحيرات المليئة بالطحالب يمكن أن تسرع عملية تغيير بيئة المريخ بعدة طرق. أولا، يمكنها تحويل غاز ثاني أكسيد الكربون إلى أكسجين. ثانيا، سوف تجعل لون سطح المريخ داكنا بحيث يمتص الكوكب المزيد من حرارة الشمس. ثالثا، لما كانت تلك الطحالب تنمو بنفسها دون أي دعم من البيئة الخارجية، فمن الممكن أن تكون وسيلة زهيدة التكلفة نسبيا لتغيير بيئة الكوكب. رابعا، يمكن حصد الطحالب وتناولها كطعام. وأخيرا، سوف تؤدي بحيرات الطحالب تلك إلى إيجاد تربة ومواد مغذية قد تكون مناسبة لزراعة النباتات التي ستسرع بدورها عملية إنتاج الأكسجين.

وقد درس العلماء أيضا إمكانية بناء أقمار صناعية شمسية تحيط بالكوكب وتعكس ضوء الشمس عليه. وتلك الأقمار الشمسية ذاتها قد تتمكن من

تسخـين سطح المريخ إلى أعلى من درجة التجمد. وبمجرد أن يحدث هذا وتبدأ طبقة الجليد الدائمة في الانصهار، سيستمر الكوكب من تلقاء نفسه في زيادة درجة حرارته على نحو طبيعي.

هل هناك جدوى اقتصادية؟

لا يجـب أن نتوهـم أننـا سنحقق استفـادة اقتصادية فوريـة مباشرة عن طريق استيطـان القمر والمريـخ. فعندما أبحر كريستوفـر كولومبوس إلى العالم الجديد عام 1492، فتح الباب أمام كنز اقتصادي تاريخي غير متوقع. وسرعـان ما كان الغزاة يرسلون كميات ضخمـة من الذهب الذي سلبوه مـن سكان أمريكا الأصليين، وسرعان مـا راح المستوطنون يرسلون مواد خامـا ومحاصيل ذات قيمة كبـيرة إلى العالم القديم. وقـد تم تعويض تكلفة إرسـال البعثات الاستكشافية إلى العـالم الجديد أضعافا مضاعفة من خلال الثروات الخرافية التي تم جنيها.

ولكـن إقامـة المستوطنات على سطح القمر أو المريـخ أمر مختلف تماما، فليس هناك هواء أو ماء سائل أو تربة خصبة، لذا سيكون لزاما علينا جلب كل شـيء من الأرض بواسطة مركبـات صاروخية، وهو أمر مكلف على نحو يتعذر معه إنجازه.

علاوة علـى ذلك، ليست هناك قيمة عسكرية كبـيرة لاستيطان القمر، علـى المدى القريب على الأقـل. ويرجع هذا إلى أن السفـر إلى القمر من الأرض يستغـرق في المتوسط ثلاثة أيـام، والعكس صحيـح. ولكن من الممكـن خوض حرب نووية في غضون تسعـين دقيقة بواسطة الصواريخ

البالستيــة العابرة للقارات. ولــن يكون وضع أسلحــة فضائية على سطح القمــر مجديا لأن تلك الأسلحة لن تستطيع دخول المعركة على الأرض في الوقت المناسب لكي تحدث فارقا في نتيجة الحرب. لذا، فإن وزارة الدفاع الأمريكية (البنتاجون) لم تُقدِم على تمويل أي برامج عسكرية لتزويد القمر بالأسلحة.

ويعني هــذا أننا إذا بدأنا عمليات تنجيم واسعة النطاق في عوالم أخرى، فسيكــون هــذا لصالح المستوطنــات الفضائية، وليــس في صالح الأرض مباشــرة. فسوف يستخــرج المستوطنون المعادن والأمــلاح لاستخدامهم (الشخصــي) فقط لأن نقلها إلى الأرض سيكون باهظ التكلفة. وستصبح عمليــات التنجيم في حزام الكويكبات اقتصاديــة فقط عندما تكون لدينا مستوطنــات قادرة على دعــم نفسها ويمكنها استخدام تلــك المواد الخام بنفسها، وهو ما لن يحدث حتى وقت متأخر من هذا القرن، أو بعد ذلك على الأرجح.

السياحة الفضائية

ولكــن متى يستطيــع المواطن المدني العادي الذهــاب إلى الفضاء؟ بعض الحالمين، مثل الراحل جيرارد أونيل Gerard O›Neill من جامعة برينستون Princeton University، حلمــوا بإنشــاء مستوطنة فضائية تضم وحدات معيشــة، ومصانــع لتنقيــة الماء، ووحدات لإعــادة تدوير الهــواء، وما إلى ذلــك، من أجل حل مشكلة زيادة التلــوث على الأرض. ولكن في القرن الحــادي والعشرين، تبدو فكــرة أن المستوطنات الفضائية يمكن أن تخفف

مشكلة التلوث فكرة مبالغ فيها على أحسن تقدير. فبالنسبة لغالبية الجنس البشري، ستظل الأرض موطننا الوحيد لقرن كامل قادم على الأقل.

غير أن هناك طريقة واحدة يستطيع بها الفرد العادي الذهاب إلى الفضاء بشكل واقعي، ألا وهي: أن يذهب بوصفه سائحا. ويعتقد بعض أصحاب الشركات الذين ينتقدون البيروقراطية والإسراف الشديد لوكالة الفضاء ناسا أنهم يستطيعون تقليل تكلفة السفر إلى الفضاء باستخدام قوى السوق. وقد فاز بيرت روتان Burt Rutan ومستثمروه بجائزة (أنساري إكس برايز)[1] Ansari X Prize، وقيمتها 10 ملايين دولار، في الرابع من أكتوبر عام 2004. وذلك بسبب إطلاق سفينة الفضاء التي تحمل اسم (سبيس شيب وان) SpaceShipOne مرتين خلال أسبوعين لمسافة أكبر من 62 ميلا فوق سطح الأرض. وتعد سفينة الفضاء تلك أول مركبة فضاء صاروخية تكمل بنجاح مشروعا تجاريا ممولاً بشكل مستقل وتنطلق بالفعل في الفضاء. وبلغت تكاليف تطوير وبناء المركبة نحو 25 مليون دولار. وقد ساهم الملياردير بول آلين Paul Allen، أحد مؤسسي شركة مايكروسوفت Microsoft، في تمويل المشروع.

والآن، ومع مركبة الفضاء (سبيس شيب تو) SpaceShipTwo، يتوقع روتان بدء الاختبارات لجعل الرحلات الفضائية التجارية واقعا حقيقيا. وقد أسس الملياردير ريتشارد برانسون Richard Branson من شركة

(1) أنساري إكس برايز Ansari X Prize: مسابقة فضائية تقدم فيها مؤسسة إكس برايز X Prize Foundation جائزة بقيمة 10 ملايين دولار لأول مؤسسة غير حكومية تطلق في الفضاء مركبة فضاء بقيادة بشرية مرتين خلال أسبوعين. (المترجم)

الخطـوط الجوية فيرجـين أتلانتيك Virgin Atlantic شركـة باسم فيرجين جالاكتيـك Virgin Galactic بميناء فضائي في نيو مكسيكو. وهناك قائمة طويلـة من الأشخاص المستعديـن لإنفـاق 200000 دولار لتحقيق حلم الطـيران في الفضاء. وقد طلبت شركة فيرجـين جالاكتيك، التي ستكون أول شركة كبرى تعرض رحلات طيران فضائية على نطاق تجاري، خمسة صواريـخ من طراز (سبيس شيب تو) فعليا. وإذا نجحت المبادرة، فإن هذا قد يقلل من تكاليف السفر إلى الفضاء إلى العُشر.

وتستخـدم مركبـة الفضـاء (سبيس شيب تـو) طرقا عديـدة لتخفيض النفقـات. فبـدلا من صواريخ الدفـع الضخمة المستخدمـة لنقل الحمولة إلى الفضاء، يضع روتان مركبتـه الفضائية فوق قمة طائرة، وبذلك تكون محمولة على متن طائرة عادية. وبهذه الطريقة، تستخدم المركبة الأكسجين الموجـود في الجو للوصول إلى ارتفاعات عالية. وبعد ذلك، وعلى ارتفاع نحـو 10 أميال فـوق سطح الأرض، تنفصل المركبـة الفضائية عن الطائرة وتشغل محركاتها الصاروخية. ومع أن مركبة الفضاء تلك لا تستطيع اتخاذ مدار لها حول الأرض، فإنها تحتوي على وقود كافٍ للوصول إلى ارتفاع يبلـغ 70 ميلا تقريبـا فوق سطح الأرض، وفوق الجـزء الأكبر من الغلاف الجـوي. وهكذا، يستطيع المسافرون علـى متنها رؤية لون السماء يتحول إلى الأرجواني ثـم الأسود. ومحركات تلك المركبة قوية بما يكفي للوصول إلى ثلاثـة أضعاف سرعـة الصوت (2200 ميل في الساعـة تقريبا). وتلك السرعـة غير كافية بالطبع لوضع صاروخ في مدار حول الأرض (فالسرعة المطلوبـة لذلك هي 18000 ميل في الساعة)، ولكنها سرعة كافية للوصول

إلى حافة الغلاف الجوي وعتبة الفضاء الخارجي. وفي المستقبل القريب، ربما تصبح تكلفة رحلة في الفضاء الخارجي مساوية لتكلفة رحلة سفاري في أفريقيا.

(غير أن المرء سيحتاج لدفع مبلغ أكبر كثيرا جدا للدوران دورة كاملة حول الأرض في رحلة على متن محطة فضائية. وقد سألت ذات مرة الملياردير تشارلز سيموني Charles Simonyi من شركة مايكروسوفت كم كلفه الأمر ليحصل على تذكرة إلى محطة الفضاء. وكانت تقارير إعلامية قد قدرت التكلفة بـ 20 مليون دولار. لكنه رفض تحديد التكلفة بدقة، وأخبرني أن التقارير الإعلامية لم تبتعد كثيرا عن الرقم الصحيح. ولقد قضى وقتا ممتعا في الفضاء لدرجة أنه فعل ذلك مرتين. لذا، فإن السفر إلى الفضاء، حتى في المستقبل القريب، سيظل عالما مقصورا على الأثرياء فقط).

غير أن السياحة الفضائية حصلت على دعم جيد في سبتمبر من عام 2010، عندما أعلنت شركة بوينج Boeing Corporation أنها ستدخل المجال هي الأخرى بتنظيم رحلات تجارية للسياح من المخطط أن تبدأ في وقت قريب بحلول عام 2015. وسوف يدعم هذا قرار الرئيس أوباما إحالة برنامج رحلات الفضاء البشرية إلى الشركات الخاصة. وتدعو خطة شركة بوينج لإجراء عمليات الانطلاق إلى المحطة الفضائية الدولية International Space Station من قاعدة كيب كانافيرال Cape Canaveral في فلوريدا، على أن تضم كل رحلة أربعة من أفراد الطاقم، وهو ما سيترك ثلاثة مقاعد خالية للسياح الفضائيين. غير أن شركة بوينج

كانت صارمة فيما يتعلق بتمويل الرحلات الخاصة إلى الفضاء، فسيكون على دافعي الضرائب سداد معظم قيمة الفاتورة. يقول جون إلبون John Elbon، وهو مدير برامج ضمن الفريق التجاري لبوينج: (هذه سوق غامضة. فلو اضطررنا لفعل هذا باستثمارات بوينج وحدها وكانت هناك عوامل مخاطرة كامنة، فلن نستطيع إغلاق ملف تقديرات التكاليف والإيرادات المستقبلية المتوقعة).

بطاقات رابحة

لقد أعاقت التكلفة الهائلة للسفر في الفضاء التقدم التجاري والعلمي معا، لذا فإننا بحاجة لتصميم ثوري جديد. وبحلول منتصف القرن، سيتقن العلماء والمهندسون تقنيات جديدة لصواريخ الدفع من أجل تقليل تكلفة السفر إلى الفضاء.

ولقد حدد عالم الفيزياء فريمان ديسون Freeman Dyson بعض التقنيات التجريبية التي يمكن في يوم من الأيام أن تفتح السماء أمام الأفراد العاديين. وهذه التقنيات المقترحة جميعها عالية مستوى المخاطرة، ولكنها يمكن أن تقلل التكلفة بشكل هائل. والتقنية الأولى هي محرك الدفع الليزري laser propulsion engine الذي يطلق شعاع ليزر عالي القدرة على قاع الصاروخ، مما يتسبب في انفجار صغير تؤدي الموجة التصادمية الناتجة عنه لإطلاق الصاروخ لأعلى. ويؤدي تيار مستمر من الانفجارات الليزرية السريعة إلى تبخر الماء على نحو يدفع بالصاروخ إلى الفضاء. وتكمن الميزة الكبرى لنظام الدفع الليزري في أن الطاقة اللازمة تستمد من نظام

موجود على الأرض. وهكذا، لا يحمل الصاروخ أي وقود على الإطلاق (الصواريخ الكيميائية، على النقيض من ذلك، تهدر قدرا كبيرا من طاقتها في رفع وزن وقودها إلى الفضاء).

وقد ثبت بالفعل نجاح تقنية جهاز الدفع الليزري، وتم تنفيذ أول اختبار ناجح لأحد النماذج عام 1997. وقد صمم ليك مايرابو Leik Myrabo من معهد رينسيلار بوليتكنيك Rensselaer Polytechnic Institute في نيويورك نموذجا أوليا قابلا للتشغيل من هذا الصاروخ، وهو يسميه (نموذج تكنولوجيا المركبات الخفيفة). وكان أحد التصميمات المبكرة يبلغ قطره ست بوصات ووزنه أوقيتين. فقد ولّدت 10 كيلو وات من الليزر سلسلة من الانفجارات الليزرية عند قاع الصاروخ، وصنعت صوتا شبيها بصوت المدفع الرشاش عندما دفعت طلقات الليزر الصاروخ بمعدل تسارع يعادل ضعف معدل تسارع الجاذبية الأرضية. لقد استطاع بناء صواريخ خفيفة ارتفعت لأكثر من 100 قدم في الهواء (وهذا يضاهي الصواريخ القديمة التي تعمل بالوقود السائل والتي اخترعها روبرت جودارد Robert Goddard في ثلاثينات القرن العشرين).

ويحلم ديسون باليوم الذي تستطيع فيه أجهزة الدفع الليزري نقل حمولات ثقيلة إلى مدار الأرض مقابل 5 دولارات فقط لكل رطل، وهو الحلم الذي سيكون تحقيقه بمثابة ثورة حقيقية في مجال السفر إلى الفضاء. ويتخيل ديسون جهاز ليزر عملاقا بقدرة 1000 ميجاوات يمكنه دفع صاروخ وزنه طنين إلى مداره حول الأرض (وهذا القدر من الطاقة يساوي الطاقة التي تولدها محطات الطاقة النووية التقليدية). ويتكون

الصـاروخ مـن الحمولة، وخزان ماء في القاع يسـرب الماء ببطء عبر مسام صغـيرة للغاية. وتـزن كل من الحمولة وخـزان الماء طنا واحـدا. وعندما يضرب شعاع الليزر قاع الصـاروخ، يتبخر الماء على الفور منشئا مجموعة متتابعـة من موجات التصادم التي تدفع الصاروخ نحو الفضاء. ويكتسب الصاروخ معـدل تسارع يساوي ثلاثة أضعاف الجاذبية الأرضية ويتحرر من قبضة الجاذبية الأرضية في غضون ست دقائق.

ولأن الصـاروخ لا يحمـل أي وقود، فليس هنـاك خطر وقوع انفجار كارثـي به. يذكـر أن الصواريـخ الكيميائية، حتى بعـد خمسين عاما من دخـول عصـر الفضاء، لا تـزال تعاني من معـدل فشل بنسبـة 1 في المئة. وتلـك الإخفاقات عادة ما تكـون هائلة، حيث يصنع وقـود الأكسجين والهيدروجين المتطاير كرات نـار وحطاما متساقطا يغطي موقع الإطلاق كلـه. في حين أن هذا النظام، على النقيض، بسيط وآمن ويمكن استخدامه على نحو متكرر بوقت توقف قصير للغاية، وباستخدام الماء والليزر فقط.

عـلاوة على ذلك، فـإن النظام سيغطـي نفقاته بنفسـه في نهاية الأمر. فإذا استطـاع النظام إطلاق نصف مليون طائرة فضائيـة سنويا، فإن تلك الرحـلات يمكن بسهولـة أن تغطي تكاليـف التشغيـل وكذلك تكاليف التطويـر. إلا أن ديسون يدرك أن هـذا الحلم لن يتحقق قبل عقود عديدة. والبحوث الرئيسة على أجهـزة الليزر تلك تتطلب تمويلاً يتجاوز كثيرا ما قد يكون متاحـا للجامعات. وما لم تحظ البحوث بدعم الحكومة أو شركة كبرى، فإن جهاز الدفع الليزري لن يرى النور أبدا.

وهنا يمكـن أن تكون جائزة (إكس برايز) مفيدة. وقد تحدثت ذات مرة

مع بيتر دياماندیس Peter Diamandis الذي ابتكر هذه الجائزة عام 1996، وكان يـدرك تماما قيـود الصواريخ الكيميائية. بل إنـه اعترف لي أنه حتى المركبـة (سبيس شيب تو) واجهـت مشكلة كون الصواريـخ الكيميائية وسيلـة باهظة التكلفة للفـرار من قبضة الجاذبية الأرضيـة. ونتيجة لذلك فـإن جائزة (إكس برايز) مستقبلية ستُمنـح للشخص الذي يستطيع إنشاء صـاروخ يندفع بواسطة شعاع من الطاقة (ولكن بدلاً من استخدام شعاع ليزر، سوف يستخدم مصدرا مشابها للطاقة الكهرومغناطيسية، أي شعاع موجات فائقة الصغر). وقد تكـون شهرة جائزة إكس برايز وإغراء الفوز بجائـزة قيمتها عدة ملايين من الـدولارات كافيين لإثـارة اهتمام رجال الأعمال المغامرين والمخترعـين لابتكار صواريخ غير كيميائية، كصاروخ الموجات فائقة الصغر.

وهناك تصميمات صاروخية تجريبية أخرى، ولكنها تنطوي على مخاطر مختلفة. وأحد الاحتمالات المطروحة هو ما يسمى (مدفع الغاز) gas gun الـذي يطلق قذائف من مدفع كبير شبيـه إلى حد ما بالصاروخ الذي نجده في رواية جولز فيرني Jules Verne التي تحمل اسم (من الأرض إلى القمر) From the Earth to the Moon. غـير أن صاروخ فيرني ما كان ليطير أبدا لأن البارود لا يمكنه بأي حال إطلاق قذيفة بسرعة 25000 ميل في الساعة، وهي العجلة المطلوبة للخروج من قبضة الجاذبية الأرضية. وعلى النقيض، فـإن مدفـع الغاز يستخـدم غازا عـالي الضغط في أنبـوب طويل لإطلاق القذائـف بسرعات عالية. وقد طور الراحل أبراهام هيرتزبيرج Abraham Hertzberg في جامعـة واشنطـن University of Washington في سياتل

نموذجا أوليا لمدفع قطره أربع بوصات وطوله ثلاثين قدما. والغاز الموجود داخل المدفع هـو خليط من الميثان والهواء المضغـوط إلى خمسة وعشرين ضعف الضغط الجـوي. وعند اشتعال الغاز، تندفـع الحمولة للأمام بفعل الانفجـار بمعدل تسارع يساوي 30000 قـوة الجاذبية، وهو تسارع يمكن أن يدمر معظم الأشياء المعدنية.

وأثبـت هيرتزبيرج أن مدفع الغاز يمكن أن يعمل بنجاح. ولكن لإطلاق حمولـة ثقيلـة إلى الفضاء الخارجـي، لابد أن يكون الأنبـوب أكبر كثيرا، بطـول حوالي 750 قدما، ولابـد أن يستخدم غـازات مختلفة عبر مساره. ويجـب استخدام ما يصل إلى خمس مراحـل مختلفة مع استخدام غازات مختلفة لدفع الحمولة للهروب من مجال الجاذبية الأرضية.

وقد تكون تكلفـة عمليات الإطلاق بواسطة مدفـع الغاز أقل حتى من تكلفة جهـاز الدفع الليزري. ولكن هناك خطـورة بالغة في إطلاق البشر بهـذه الطريقـة، ووحدها الحمـولات الصلبة التي يمكنهـا احتمال معدل التسارع الهائل هي التي سيتم إطلاقها.

وهناك تصميـم تجريبي ثالث يسمى (سلينجاتـرون) slingatron، وهو يقوم بتدوير الحمولة في دائرة ثم يقذف بها في الهواء، وكأنه كرة مربوطة بخيط.

وقد صمم ديريك تيدمان Derek Tidman نموذجا أوليا، إذ صنع نموذجا مصغـرا يمكنه قذف عنصر بسرعة تصل إلى 300 قدم في الثانية خلال بضع ثـوانٍ. ويتكون السلينجاترون مـن أنبوب على شكل حبـة فول سوداني بقطر ثلاثة أقـدام. وفتحة الأنبوب نفسها قطرهـا بوصة واحدة وتحتوي

علـى كرة صغيرة مـن الصلب. ومع دوران الكرة حـول الأنبوب، تعمل محركات صغيرة على دفع الكرة لتتحرك بسرعة متزايدة.

ويجب أن يكون السلينجاترون الحقيقي الذي يمكنه تدوير حمولة ثقيلة وقذفهـا في الفضاء الخارجي أكبر بكثير جدا من ذلك، بقطر يبلغ مئات أو آلاف الأقـدام، ويجب أن يكون قادرا على ضـخ الطاقة إلى الكرة إلى أن تصـل لسرعة 7 أميال في الثانية. وسوف تنفصـل الكرة عن الجهاز بمعدل تسـارع يبلغ 1000 ضعف عجلة الجاذبية الأرضية، وهي سرعة كافية أيضا لتدمـير معظم المواد الصلبـة. وهناك العديد من المسائـل الفنية التي يجب حلها، وأهمها مسألة الاحتكاك بين الكرة والأنبوب التي ينبغي أن تكون في أدنى المستويات.

وسـوف تحتاج جميـع هذه التصميمـات الثلاثة لعقود مـن الزمن ليتم صنعهـا بإتقان، ولكـن لن يحدث هذا إلا إذا تم توفـير الاعتمادات المالية اللازمة من جانب الحكومة أو الشركات الخاصة. وبخلاف ذلك، ستظل تلك النماذج الأولية مجرد مخططات غير قابلة للتنفيذ.

المستقبل البعيد (من 2070 إلى 2100)

مصعد الفضاء

بحلـول نهاية هـذا القرن، قد تتمكـن تكنولوجيا النانو مـن جعل مصعد الفضاء space elevator الخرافي ممكنا. وكما في حكاية جاك وساق الفاصوليا العملاقة، قد يمكننا في وقت من الأوقات أن نتسلق وصولا إلى السحاب وما بعده. سوف ندخل مصعدا، ونضغط على زر الصعود، ومن ثم نصعد لأعلى عـبر أنبوب نانوي كربوني carbon nanotube طوله آلاف الأميال. ويمكن أن يؤدي هذا إلى قلب اقتصادات السفر إلى الفضاء رأسا على عقب.

في عـام 1895، ألهم بناء برج إيفـل Eiffel Tower عالم الفيزياء الروسي كونستانتـين تسيولكوفسكـي Konstantin Tsiolkovsky، إذ كان أطول بنـاء من نوعـه في العالم برمته. فقد طرح العالم نفسـه سؤالاً بسيطا مفاده: لم لا يمكننـا بناء بـرج إيفل يوصلنا إلى الفضـاء الخارجي؟ ووفق حساباته، إذا كان هـذا البرج طويلاً بما يكفي، فإنه لـن يسقط أبدا، إذ ستبقيه قوانين الفيزياء قائما؛ وأسماه (البرج السماوي).

فكـر في كرة مربوطة بخيط. عندما تمسك الخيط وتدور الكرة، تكون قوة الطـرد المركزية كافية لمنع الكرة من السقوط. وبالمثل، إذا كان كابل ما طويلا بما يكفـي، فإن قوة الطرد المركـزي سوف تمنعه من السقـوط على الأرض. سيكون دوران الأرض كافيا لإبقاء الحبل في السماء. وبمجرد مد هذا الكابل إلى السماء، يمكن لأي شاحنة يتم تركيبها على الحبل أن تصعد إلى الفضاء.

ونظريا، تبدو تلك الحيلة ناجحة، ولكن مع الأسف عند استخدام قوانين

الحركة التي وضعها نيوتن لحساب مدى الشد في الكابل، سنجدها أكبر من قوة الشد التي يمكن أن يحتملها الصلب: سوف ينقطع الكابل على نحو يجعل فكرة مصعد الفضاء مستحيلة.

وعلى مر العقود، تم إحياء فكرة مصعد الفضاء على فترات منتظمة، ثم تم رفضها في كل مرة للسبب ذاته. وفي عام 1957، اقترح العالم الروسي يوري أرتسوتانوف Yuri Artsutanov تعديلاً على الفكرة يتمثل في أن يتم بناء مصعد الفضاء من أعلى إلى أسفل، بدلا من بنائه من أسفل إلى أعلى؛ ويعني هذا أن يتم إرسال سفينة فضاء أولا إلى مدار حول الأرض، ثم يهبط منها كابل إلى الأرض ويتم إرساؤه عليها. كما أن مؤلفي الخيال العلمي نشروا فكرة مصعد الفضاء في روايات مثل رواية آرثر سي. كلارك Arthur C. Clarke المنشورة عام 1979 بعنوان (ينابيع الجنة) The Fountains of Paradise، ورواية روبرت هينلين Robert Heinlein عام 1982 بعنوان (فريدا) Frida.

وقد ساعدت الأنابيب النانوية الكربونية في إحياء الفكرة من جديد. فتلك الأنابيب النانوية، كما رأينا من قبل، تتسم بقدرة أكبر من أي مادة أخرى على تحمل الشد. إنها أقوى من الصلب، وهي قوية بما يكفي لتحمل الشد اللازم لبناء مصعد الفضاء.

غير أن المشكلة تكمن في صنع كابل أنبوب نانوي كربوني خالص بطول 50000 ميل. وهذا يمثل عقبة كبيرة لأن العلماء لم يتمكنوا حتى الآن من صنع كابل من الأنابيب النانوية الكربونية الخالصة سوى بطول بلغ بضعة سنتيمترات قليلة. ومن الممكن دمج مليارات من جدائل الأنابيب النانوية الكربونية لصنع ألواح وكابلات، ولكن ألياف الأنابيب النانوية الكربونية تلك ليست نقية،

فهـي ألياف تم ضغطها ونسجها معا. ويكمن التحدي في صنع أنبوب نانوي كربوني توجد كل ذرة من الكربون فيه في موضعها الصحيح.

قد يؤدي مصعد الفضاء الممتد إلى السماء ذات يوم إلى تقليل تكاليف السفر إلى الفضاء بشكل هائل. وقد تكون تقنية النانو تكنولوجي الأساس الذي يعتمد عليه بناء هذا المصعد.

وفي عـام 2009، أعلن العلماء في جامعـة رايس Rice University أنهم أحـرزوا تقدما كبيرا. إن الألياف التي استخدموها ليست نقية وإنما مركبة (أي أنهـا ليست مناسبة لصنـع مصعد الفضاء)، لكـن طريقتهم بارعة بما يكفـي لصنع أنابيب نانوية كربونية بأي طـول. لقد اكتشفوا – بالتجربة والخطـأ – أن تلك الأنابيـب النانوية الكربونية يمكـن تذويبها في محلول مـن حمض الكلوروسلفونيك، ثم تفريغها من صنبور شبيه بالدش. وهذه الطريقة يمكن أن تنتج ألياف أنابيب نانوية كربونية بسمك 50 ميكروميترا وبطول مئات الأمتار.

وسيكـون أحـد الاستخدامـات التجاريـة لتلك الألياف هو خطوط الطاقـة الكهربائية لأن الأنابيب النانويـة الكربونية توصل الكهرباء أفضل مـن النحاس، وهي أخف وزنا وأقل عرضـة للتلف. يقول ماتيو باسكالي Matteo Pasquali، أستـاذ الهندسة بجامعة رايـس: (نحتاج لصنع أطنان مـن تلك الأنابيـب، إذا أردنا استخدامها كخطوط لنقـل الطاقة، وما من سبيل لتحقيق هذا الآن. إننا نحتاج لمعجزة).

ورغـم أن هذه الكابلات ليست نقية بما يكفي لتكون أهلا للاستخدام في صنـع مصعد الفضاء، فإن هـذه الدراسة تومئ إلى اليوم الذي ستتمكن فيه مـن صنع جدائل نقية من الأنابيب النانويـة الكربونية القوية بما يكفي لرفعنا إلى الفضاء.

وبافتراضـ أننا تمكنا في المستقبل من صنـع جدائل من الأنابيب النانوية الكربونيـة، فستظل هناك مشكلات عملية. فمثلا، سوف يمتد الكابل إلى ما هو أبعد كثيرا من مدار معظم الأقمار الصناعية، وهو ما يعني أن مدارات

تلك الأقمار – بعد عدة دورات حول الأرض – سوف تتقاطع أخيرا مع مصعد الفضاء، مما سيسبب التصادم. ولما كانت الأقمار الصناعية تتحرك بسرعة 18000 ميل في الساعة، فإن التصادم قد يكون كارثيا. ويعني هذا أنه ينبغي تزويد المصعد بصواريخ خاصة لتحريك الكابل بعيدا عن مسار الأقمار الصناعية.

وتكمن مشكلة أخرى في مظاهر الطقس الهائج، كالأعاصير والبرق والعواصف والرياح القوية. فلابد أن يكون مصعد الفضاء مثبتا بالأرض، ربما على متن حاملة طائرات أو منصة بترول في المحيط الهادي، ولكن يجب أيضا أن يكون مرنا لتجنب تلفه بفعل قوى الطبيعة العاتية.

ولابد أيضا من وجود زر استغاثة أو مخرج نجاة في حال انقطاع الكابل. فإذا تسبب أي شيء في انقطاع الكابل، لابد أن تتمكن شاحنة المصعد من الانزلاق أو الهبوط بمظلة إلى سطح الأرض بأمان لإنقاذ المسافرين.

ولتشجيع الأبحاث في مجال مصاعد الفضاء، رعت ناسا عدة مسابقات. إذ يتم منح جوائز بقيمة إجمالية تبلغ مليوني دولار من خلال برنامج (ألعاب مصاعد الفضاء) Space Elevator Games التابع لناسا. ووفقا للقواعد التي وضعتها (ناسا)، فإنه يتعين على المتسابقين صنع جهاز لا يزيد وزنه على 50 كيلوجراما، ويمكنه الصعود على حبل بسرعة 2 متر في الثانية لمسافة 1 كيلومتر للفوز في (تحدي قوة الأشعة) Beam Power Challenge. وما يجعل هذا التحدي في غاية الصعوبة أن الجهاز يجب أن يعمل من دون وقود أو بطاريات أو كابل كهربائي، إذ لابد أن يستمد الجهاز طاقته في صورة أشعة قادمة من الخارج.

وقد حظيت بفرصة رؤية حماس وطاقة المهندسين الذين يعملون على بناء مصعد الفضاء، ويحلمون بالفوز بالجائزة، بنفسي. فقد ركبت الطائرة إلى سياتل لمقابلة مهندسين شبان مغامرين ضمن مجموعة تسمى (محرك الليزر) LaserMotive. لقد سمعوا عن الدعوة المغرية لمسابقة (ناسا)، وبدءوا في إنشاء نماذج أولية قد تؤدي ذات يوم لبناء وتنشيط مصعد الفضاء.

دخلت إلى مخزن كبير استأجروه لاختبار أفكارهم فيه. وفي أحد جوانب المخزن، رأيت جهاز ليزر قويا قادرا على إطلاق شعاع مكثف من الطاقة. وفي الجانب الآخر من المخزن، رأيت مصعد الفضاء الذي بنوه. لقد كان عبارة عن صندوق بعرض ثلاثة أقدام تقريبا، وبه مرآة كبيرة. والمفترض أن يرتطم شعاع الليزر بالمرآة، ومن ثم ينعكس على مجموعة من الخلايا الشمسية التي ستعمل على تحويل طاقة الليزر إلى كهرباء؛ وسيؤدي هذا لتشغيل محرك، ومن ثم تبدأ السيارة المصعدية في الارتفاع تدريجيا على كابل قصير. وبهذه الطريقة، لن تكون هناك حاجة لكابلات كهربائية تتدلى من مصعد الفضاء لتوفير الطاقة التي يحتاجها. وكل المطلوب إطلاق أشعة الليزر على المصعد من الأرض، وحينها سيرتفع المصعد على السلك من تلقاء نفسه.

وقد كانت أشعة الليزر في غاية القوة، لذا كان علينا جميعا أن نضع نظارات وقاية خاصة لحماية أعيننا. وتطلب الأمر جولات تجريبية عديدة، ولكنهم تمكنوا أخيرا من إطلاق شعاع الليزر وجعل الجهاز يتسلق صاعدا على الكابل. وهكذا، تم حل إحدى صعوبات مصعد الفضاء، على الأقل نظريا.

وفي البداية، كانت المهمة في غاية الصعوبة لدرجة أن أحدا لم يفز بالجائزة. ولكن في عام 2009، استحق فريق (محرك الليزر) الجائزة. وقد جرت المسابقة في قاعدة إداوردز للقوات الجوية Edwards Air Force Base في صحراء موهافي بولاية كاليفورنيا. حيث عبرت طائرة مروحية فوق الصحراء وهي تحمل كابلاً طويلاً، واستطاع الفريق جعل المصعد يرتفع على الكابل أربع مرات خلال يومين، وكان أفضل وقت تحقق هو 3 دقائق و48 ثانية. وهكذا، فإن جميع الجهود الشاقة التي رأيت هؤلاء المهندسين الشبان وهم يبذلونها قد أتت ثمارها في النهاية.

مركبات تصل إلى النجوم

بحلول نهاية القرن، وبرغم العقبات الحالية في تمويل مهام الفضاء البشرية، سيقيم العلماء قواعد على سطح المريخ، وربما على حزام الكويكبات. وبعد ذلك، سيسلطون بصرهم على أحد النجوم. ومع أن إرسال مسبار نجمي أمر أبعد بكثير جدا من قدراتنا في الوقت الحالي، ففي غضون 100 عام قد يصبح واقعا.

ويكمن التحدي الأول في العثور على نظام دفع جديد. فبالنسبة لصاروخ كيميائي تقليدي من تلك التي نعرفها اليوم، سوف يتطلب الأمر 70000 سنة للوصول إلى أقرب نجم. فعلى سبيل المثال، حققت مركبات الفضاء (فوياجير) التي أطلقت عام 1977 رقما قياسيا عالميا للأشياء التي تم إرسالها إلى الفضاء السحيق. لقد قطعت تلك المركبات حاليا 10 مليارات ميل في الفضاء، ولكن هذا جزء صغير جدا من المسافة إلى النجوم.

وقد تم اقتراح العديد من التصميمات وأنظمة الدفع لإنشاء مركبة قادرة على الوصول إلى النجوم، ومنها:

- الشراع الشمسي
- الصاروخ النووي
- صاروخ الاندماج النفاث
- سفن النانو

لقد واتتني فرصة مقابلة أحد الحالمين بالشراع الشمسي، عندما زرت محطة (بلام بروك ستيشن) Plum Brook Station في كليفلاند بولاية أوهايو. وهناك، بنى المهندسون أكبر غرفة مفرغة من الهواء لاختبار الأقمار الصناعية الفضائية. وكانت تلك الغرفة كبيرة بحق؛ فهي بعرض 100 قدم وطول 122 قدما، وهي ضخمة بما يكفي لاحتواء مباني سكنية متعددة الطوابق، وكبيرة بما يكفي لاختبار أجزاء من الأقمار والصواريخ في فراغ شبيه بفراغ الفضاء. وعندما دخلت الغرفة، جفلت لضخامة المشروع. بيد أنني شعرت بالتميز لأنني أسير في الغرفة عينها التي تم فيها اختبار العديد من الأقمار والمستكشفات والصواريخ الأمريكية.

وهناك، التقيت واحدا من المتحمسين الرواد للشراع الشمسي، وهو عالم من وكالة (ناسا) يدعى ليس جونسون Les Johnson. وقد أخبرني أنه منذ كان طفلا يقرأ روايات الخيال العلمي حلم بصنع صواريخ يمكنها الوصول إلى النجوم. بل إن جونسون هو نفسه من كتب المرجع الأساسي حول الأشرعة الشمسية. وعلى الرغم من أنه يعتقد إمكانية بناء تلك الأشرعة في غضون بضعة عقود قليلة، فإنه استسلم لحقيقة أنه لا يمكن

بنـاء مركبة يمكنها الوصول فعليا إلى النجوم إلا بعد وقت طويل من وفاته. وكحال البنائـين الذين بنوا الكاتدرائيات الكـبرى في العصور الوسطى، يـدرك جونسون أن الأمر قـد يتطلب عمر عدة أجيال مـن البشر قبل بناء مركبة يمكنها الوصول إلى النجوم.

ويستفيـد الشراع الشمسي من حقيقة أنه رغم أن الضوء لا كتلة له، فإن لـه كمية تحرك وقوة دفع، وبالتالي فمن الممكن أن يمارس الضغط. ومع أن ضغـط الضـوء المنبعث من الشمس في غاية الضآلـة، وأقل من أن نشعر به على أجسادنا، فإنه كاف لدفع سفينة نجمية إذا كان شراعها كبيرا بما يكفي، وإذا انتظرنا لوقت طويل بما يكفي (قوة ضوء الشمس في الفضاء أكبر منها على الأرض بثماني مرات).

وقد أخبرني جونسون أن هدفه إنشاء شراع شمسي عملاق مصنوع من البلاستيك الرقيق للغاية، ولكنه مرن وقوي. وسيكون عرض الشراع عدة أميـال، وسيتم بناؤه في الفضاء الخارجـي. وبمجرد تجميع الشراع، سوف يـدور ببطء حـول الشمس مكتسبا المزيـد والمزيد من القـوة الدافعة أثناء تحركـه. وبعد عدة سنوات من الدوران حـول الشمس، سوف يقلع على نحـو حلزوني خارج النظام الشمسي نحو النجوم. وأخبرني جونسون أن مثـل هذا الشراع الشمسي يمكنه إرسال مسبار بسرعة تصل إلى عُشر سرعة الضوء، وربما أمكنه الوصول إلى أقرب نجم خلال أربعمائة عام.

ومن أجل تقليل الوقت اللازم للوصول إلى النجوم، بحث جونسون عدة وسائل لإضافة المزيد من قوة الدفع للشراع الشمسي. وأحد الاحتمالات وضـع بطارية ضخمة لأشعة الليـزر على سطح القمر، بحيث ترتطم تلك

الأشعة بالشراع وتعطيه قوة دفع إضافية أثناء إبحاره نحو النجوم.

وإحدى المشكلات التي تواجه مركبة فضائية موجهة بواسطة شراع شمسي تتمثل في صعوبة توقف الشراع، وعكس اتجاهه للعودة، لأن الضوء الذي يدفعها يتحرك نحو الخارج انطلاقا من الشمس. وأحد الحلول المقترحة عكس اتجاه الشراع واستخدام ضغط ضوء النجم المستهدف الوصول إليه في إبطاء المركبة. وهناك حل آخر، ألا وهو: الإبحار حول النجم المستهدف باستخدام جاذبيته لصنع أثر يشبه أثر المقلاع من أجل رحلة العودة. وهناك حل ثالث يتمثل في الهبوط على أحد الأقمار القريبة من النجم، ووضع بطاريات ليزر، ثم الإقلاع في رحلة العودة بمساعدة ضوء النجم وأشعة الليزر التي سيتم إطلاقها من ذلك القمر.

ورغم أحلام جونسون الطموحة والبعيدة، فإنه يدرك أن الواقع أقل من ذلك بكثير. ففي عام 1993، أطلق الروس عاكس (ميلار) Mylar بعرض ستين قدما في الفضاء من المحطة الفضائية (مير) Mir، ولكن هذا كان فقط من أجل استعراض عملية الإطلاق. وفشلت محاولة ثانية. وفي عام 2004، أطلق اليابانيون بنجاح نموذجين لشراعين شمسيين، ولكن مرة أخرى كان هذا فقط بهدف اختبار عملية الإطلاق، وليس الدفع. وفي عام 2005، كانت هناك محاولة طموحة من جانب (مجتمع الكواكب) Planetary Society، و(استوديوهات كوزموس) Cosmos Studios، والأكاديمية الروسية للعلوم Russian Academy of Science، لإطلاق شراع شمسي حقيقي يسمى (كوزموس 1) Cosmos 1. وبالفعل تم إطلاق الشراع من على متن غواصة روسية. غير أن الصاروخ (فولنا) Volna فشل في

الإطـلاق وفي الوصول إلى مداره. وفي عـام 2008، حاول فريق من ناسا إطلاق شراع شمسي باسم (نانو سيل – دي) NanoSail – D، ولكنه فُقد عندما فشل إطلاق الصاروخ (فالكون 1) Falcon 1.

ولكـن أخـيرا، في شهـر مايـو 2010، أطلقت وكالـة الفضـاء اليابانية Japan Aerospace Exploration Agency المركبـة الفضائية (أيكاروس) IKAROS، وهـي أول مركبة فضاء تستخدم تكنولوجيا الشراع الشمسي في الفضاء. وتضم هذه المركبة شراعا مربع الشكل طول قطره 20 مترا (60 قدمـا)، وتستخدم دفع الشراع الشمسي للانطلاق في طريقها إلى كوكب الزهـرة. ويأمل اليابانيون في النهاية في إرسـال مركبة أخرى إلى المشتري باستخدام دفع الشراع الشمسي.

الصاروخ النووي

درس العلماء أيضـا استخدام الطاقة النووية في إطـلاق مركبة فضائية. فبدايـة مـن عـام 1953، بـدأت هيئـة الطاقـة الذريـة Atomic Energy Commission تبحـث بجديـة إمكانية حمل الصواريـخ لمفاعلات ذرية، بدايـة من المشروع المعروف باسم (مشـروع روفر) Project Rover. وفي الخمسينـات والستينات، انتهت تجارب الصواريـخ النووية بالفشل؛ لقد كانـت تلك الصواريخ غير مستقرة وأكثر تعقيدا من أن يمكن التعامل معها علـى نحو سليم. كمـا أننا نستطيع أن نوضح بسهولـة أن مفاعل انشطار نووي عاديا لا يمكنه ببساطة توليد طاقة كافية لإطلاق مركبة فضائية نحو النجـوم. فمفاعل طاقة نووية عادي ينتج نحو مليار وات من الطاقة، وهو

قدر غير كافٍ لبلوغ النجوم.

ولكن في الخمسينات، اقترح العلماء استخدام قنابل ذرية وهيدروجينية، وليس مفاعلات، لإطلاق مركبة فضائية تصل إلى النجوم. فاقترح (مشروع أوريون) Orion Project، على سبيل المثال، دفع الصاروخ بواسطة سلسلة متتابعة من موجات الانفجار النووي الناتجة عن مجموعة كبيرة من القنابل الذرية، إذ ستقوم المركبة الفضائية بإسقاط مجموعة متتابعة من القنابل الذرية من قاعها، مما سيصنع سلسلة من التفجيرات القوية من أشعة إكس. وسوف تؤدي موجات التصادم الناتجة عن ذلك إلى دفع المركبة للأمام.

وفي عام 1959، قدر علماء الفيزياء في مؤسسة (جنرال أتوميكس) General Atomics أن نسخة متطورة من صاروخ أوريون سيكون وزنها 8 ملايين طن، وقطرها 400 متر، وتحتاج إلى 1000 قنبلة هيدروجينية لتزويدها بالطاقة.

وكان أحد المؤيدين المتحمسين لمشروع أوريون عالم الفيزياء فريمان ديسون الذي يقول: (بالنسبة لي، يعني صاروخ أوريون فتح النظام الشمسي كله أمام الحياة؛ وهذا من شأنه أن يغير مجرى التاريخ). كما أنه سيكون وسيلة مناسبة للتخلص من القنابل الذرية الموجودة على الأرض، وهو ما يؤكده ديسون بقوله: (في رحلة واحدة، سوف نتخلص من 2000 قنبلة).

غير أن ما أنهى مشروع أوريون تماما معاهدة حظر التجارب النووية Nuclear Test Ban Treaty التي أبرمت في عام 1963، والتي حظرت اختبار الأسلحة النووية فوق الأرض. ومن دون إجراء اختبارات، لم يكن بوسع علماء الفيزياء تعديل وتحسين تصميم الصاروخ أوريون؛ وأُجهضت الفكرة.

صاروخ الاندماج النفاث

وهنـاك اقتراح آخر للصاروخ النووي قدمه عـام 1960 روبرت دابليو. بوسـارد Robert W. Bussard. فقـد تخيل أداة اندمـاج مشابهة لمحرك نفاث عـادي. ومعروف أن هذا المحرك يقوم بإدخـال الهواء من الأمام، ثم يدمجـه مع وقوده داخليـا. وعن طريـق إشعال مزيج الهـواء والوقود، يحدث انفجار كيميائي يخلـق دفعا قويا. وقد تخيل بوسارد تطبيق نفس المبـدأ الرئيـس على محرك اندماجـي. فبدلا من إدخال الهـواء، فإن محرك الاندمـاج النفاث سيمتص غـاز الهيدروجين الموجـود في كل مكان في الفضاء الكوني. وسيتم ضغط غاز الهيدروجين وتسخينه بواسطة مجالات كهربائيـة ومغناطيسيـة إلى أن تندمـج ذرات الهيدروجـين وتتحـول إلى هيليـوم، مطلقة كميات هائلة مـن الطاقة أثناء ذلك. وسـوف يصنع هذا انفجـارا يصنع بدوره دفعـة قوية جدا. ولما كان هنـاك مخزون لا ينفد من الهيدروجـين في أعماق الفضاء، فإن صاروخ الاندماج النفاث من الجائز أن يستمر في الانطلاق إلى ما لا نهاية.

إن تصاميم صاروخ الاندماج النفاث تشبه مخروط الآيس كريم. وتقوم غرفة الاختـزان بحبس غاز الهيدروجـين الذي يتم إرسالـه إلى المحرك، حيث يتم تسخينـه ودمجه مع ذرات هيدروجين أخرى. ووفقـا لحسابات بوسارد، فإنه إذا استطاع محرك نفاث وزنه 1000 طن الحفاظ على معدل تسارع مربع قدره 32 قدما في الثانية (أو ما يوازي قوة الجاذبية التي نشعر بها على الأرض)، فإنه سيقترب من 77 في المئة من سرعة الضوء خلال عام واحد فقط. ولما كان محرك الاندمـاج النفاث يمكنه الانطلاق إلى ما لا نهايـة، فبوسعه –نظريا– مغادرة

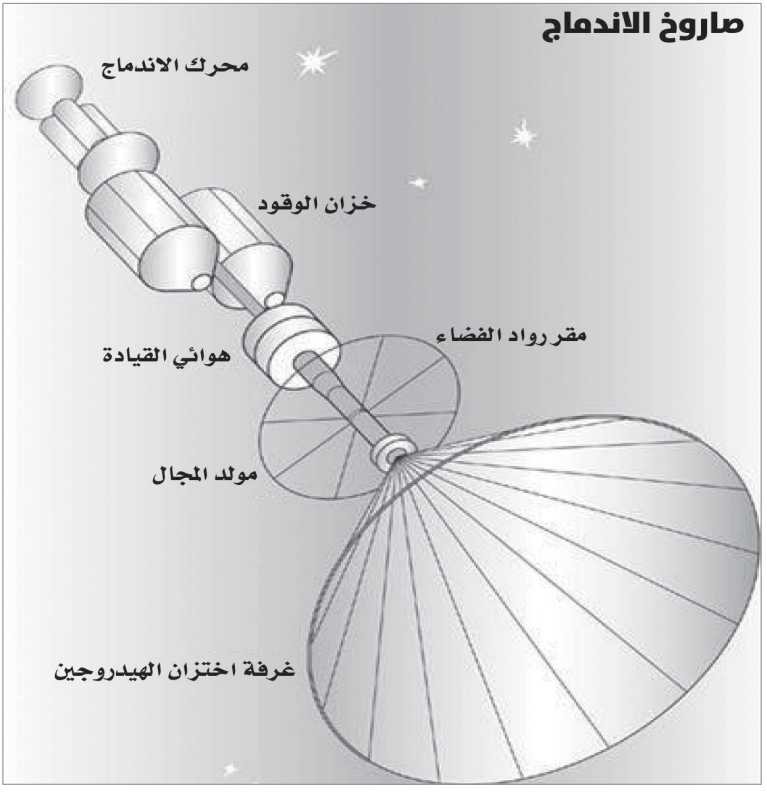
مجرتنا والوصول إلى مجرة أندروميدا – على بعد مليوني سنة ضوئية من الأرض – في غضون 23 سنة فقط بحساب رواد الفضاء الموجودين داخل المركبة الصاروخية (فكما هو وارد في نظرية النسبية لأينشتاين، فإن الزمن يتباطأ في الصواريخ المنطلقة بسرعة كبيرة. ومن ثم، يمكن أن يمر على الأرض مليوني سنة، دون أن يزيد عمر رواد الفضاء داخل المركبة عن 23 سنة فقط).

وهناك العديد من المشكلات التي تواجه محرك الاندماج النفاث. أولا، لما كانت البروتونات في الأساس هي التي تتواجد في الفضاء، فلابد أن يحرق محرك الاندماج وقودا هيدروجينيا نقيا، وهذا النوع لا يولد الكثير جدا من الطاقة (هناك العديد من الطرق لدمج الهيدروجين. والطريقة المفضلة على الأرض هي دمج النظيرين الدوتيريوم والترتيوم اللذان يولدان قدرا كبيرا من الطاقة. ولكن في الفضاء الخارجي، يوجد الهيدروجين كبروتون منفرد، لذا فإن المحركات النفاثة لا يمكنها سوى دمج البروتونات بالبروتونات، وهو ما لا يولد القدر نفسه من الطاقة الذي يولده دمج الدوتيريوم والترتيوم). غير أن بوسارد أوضح أنه إذا قمنا بتعديل مزيج الوقود بإضافة بعض الكربون، فإن هذا الكربون سيعمل كمادة محفزة لتوليد كميات هائلة من الطاقة، كافية لانطلاق مركبة فضائية.

ثانيا، لابد أن تكون حجرة حبس الهيدروجين ضخمة للغاية – باتساع 160 كيلومترا تقريبا – لكي تستطيع اختزان قدر كاف من الهيدروجين، لذا سيكون ضروريا تجميعها في الفضاء الخارجي.

وهناك مشكلة أخرى ما زالت تبحث عن حل. ففي عام 1985، أوضح المهندسان روبرت زوبرين Robert Zubrin ودانا أندروز Dana Andrews أن

الاحتكاك الذي سيواجه صاروخ الاندماج النفاث سيكون كبيرا جدا لدرجة تعوقـه عن التسارع إلى ما يقرب من سرعة الضـوء. وهذا الاحتكاك ناتج عن المقاومـة التي ستواجهها مركبة الفضاء عندمـا تنطلق في الفضاء وسط ذرات الهيدروجين. غير أن حسابات هذين المهندسين تعتمد بشدة على افتراضات معينة قد لا تنطبق على التصميمات المستقبلية لصواريخ الاندماج النفاثة.



نظرا لأن محرك الاندماج النفاث يستمد الهيدروجين من الفضاء الخارجي، فإنه يستطيع – نظريا – الانطلاق في الفضاء إلى ما لا نهاية.

وفي الوقت الراهن، وإلى أن نمتلك فهما أفضل لعملية الاندماج (ولآثار الاحتكاك بالأيونات في الفضاء)، ما يزال الجدل مستمرا حول محركات الاندماج النفاث. ولكن إذا أمكن حل تلك المشكلات الهندسية، فإن صاروخ الاندماج النفاث سيكون حتما احتمالا جديا.

صواريخ المادة المضادة

أحد الاحتمالات المميزة الأخرى استخدام أعظم مصدر طاقة في الكون على الإطلاق – المادة المضادة antimatter – لتزويد سفينة الفضاء بالطاقة. والمادة المضادة هي عكس المادة، وبشحنة معاكسة؛ فمثلا، الإلكترون له شحنة سالبة، لكن إلكترون المادة المضادة (البوزيترون) له شحنة موجبة. كما أن المادة المضادة تفنى عند اختلاطها بالمادة العادية. وفي واقع الأمر، فإن مقدار ملعقة صغيرة من المادة المضادة يحتوي على طاقة كافية لتدمير منطقة نيويورك الحضرية بالكامل.

والمادة المضادة قوية لدرجة أن دان براون Dan Brown (مؤلف روايات الخيال العلمي الأمريكي) جعل الأشرار في روايته (ملائكة وشياطين) Angels and Demons يصنعون قنبلة لنسف الفاتيكان باستخدام قدر من المادة المضادة مسروق من (المعمل الأوروبي لأبحاث الجسيمات) CERN الموجود خارج جنيف في سويسرا. وعلى عكس القنبلة الهيدروجينية التي تقدر كفاءتها بنسبة 1 في المئة فقط، فإن قنبلة المادة المضادة ستكون ذات كفاءة تبلغ 100 في المئة؛ إذ ستحول المادة إلى طاقة من خلال معادلة أينشتاين: $E=mc_2$ (حيث E هي الطاقة المنطلقة، وm هي الكتلة، وc هي سرعة الضوء).

ومن حيث المبـدأ، تمثل المادة المضادة الوقـود الصاروخي المثالي لسفينة فضاء. ويقـدر جيرالد سميث Gerald Smith من جامعـة ولاية بنسلفانيا Pennsylvania State University أن 4 مليجرامات فقط من المادة المضادة يمكن أن توصلنا إلى المريخ، وربما وصلتنا مئة جرام منها إلى النجوم القريبة. فالمـادة المضادة تطلق طاقـة أكبر مليار مرة من وقـود الصواريخ. وسوف يبـدو المحرك الذي يعمـل بوقود المادة المضادة شديـد البساطة. فما علينا إلا أن نضـخ تيارا ثابتا مـن جسيمات المادة المضـادة في غرفة الصاروخ، لتختلـط هناك بالمادة العادية متسببـة في حدوث انفجار رهيب. ومن ثم، يتم إخراج الغاز المتفجر من أحد جانبي الغرفة مولدا قوة دفع هائلة.

لكننـا ما نزال بعيدين عـن تحقيق هذا الحلم. فحتـى الآن، استطاع علماء الفيزيـاء إيجـاد إلكترونـات مضادة وبروتونـات مضـادة، وكذلك ذرات هيدروجـين مضادة، حيث تـدور الإلكترونات المضادة حـول البروتونات المضادة. وقد حدث هذا في المعمل الأوروبي لأبحاث الجسيمات CERN، وحدث أيضا في (معمل فيرمي) Fermi National Accelerator Laboratory (فيرمي لاب) Fermilab خارج شيكاغو، في محطم الذرات التابع له المعروف باسم (تيفاترون) Tevatron، وهو ثاني أكبر محطم ذرات أو مسرع جسيمات في العـالم (ولا يفوقه سوى مسرع الجسيمـات Large Hadron Collider أو مصـادم الهدرونات الكبير في المعمـل الأوروبي لأبحاث الجسيمات). لقد قـام الفيزيائيون في كلا المعملـين بجعل شعاع من الجسيمـات عالية الطاقة يصطـدم بهـدف، مخلفـا وابلا من الحطـام والأنقاض التـي اشتملت على بروتونـات مضادة. ثم تم استخدام مغناطيسات عملاقة لفصل المادة المضادة

عن المادة العادية. وبعد ذلك، تم إبطاء سرعة تلك البروتونات المضادة وجعل الإلكترونات المضادة تختلط بها لخلق ذرات هيدروجين مضادة.

وأحد العلماء الذين فكروا طويلا وبعمق في الفوائد العملية للمادة المضادة هو ديف ماكجينيس Dave McGinnis، وهو عالم فيزياء في معمل (فيرمي لاب). وقد شرح لي ماكجينيس أثناء وقوفنا إلى جوار محطم الذرات (تيفاترون) الاقتصادات المفزعة للمادة المضادة، وأكد لي أن الطريقة الوحيدة المعروفة لإنتاج كميات ثابتة من المادة المضادة هي استخدام محطم ذرات مثل جهاز (تيفاترون)؛ وتلك الأجهزة باهظة الثمن إلى أبعد حد وتولد كميات ضئيلة للغاية من المادة المضادة. فعلى سبيل المثال، ولّد محطم ذرات المعمل الأوروبي لأبحاث الجسيمات CERN في عام 2004 عدة أجزاء من تريليون جزء من الجرام من المادة المضادة بتكلفة 20 مليون دولار. ووفقا لمعدل الإنتاج هذا، سوف يفلس اقتصاد الأرض كلها وينهار لإنتاج كمية كافية لتزويد مركبة فضاء بالطاقة. لقد أكد لي أن المحركات التي تعمل بالمادة المضادة ليست مفهوما بعيد الاحتمال؛ إنها مما يندرج تحت قوانين الفيزياء بلا شك، غير أن تكلفة محرك كهذا ستقف مانعا أمام صنع واحد في المستقبل القريب.

وأحد الأسباب التي تجعل المادة المضادة هائلة التكلفة إلى هذا الحد أن محطمات الذرات اللازمة لإنتاجها باهظة الثمن. غير أن محطمات الذرات هذه عبارة عن أجهزة لكل الأغراض، مصممة أساسا لإنتاج جسيمات مدهشة أصغر من الذرة، وليس لإنتاج جسيمات المادة المضادة. إنها أدوات بحثية، وليست أجهزة تجارية. ومن المحتمل أن تكون هناك إمكانية

لتخفيض النفقات بشدة إذا صمم أحدهم نوعا جديدا من محطمات الذرات تحديدا لإنتاج كميات وفيرة من المادة المضادة. وبعد ذلك، وعن طريق إنتاج تلك الأجهزة الجديدة بكثافة، قد يصبح من الممكن إنتاج كميات كبيرة من المادة المضادة. ويعتقد هارولد جيريش Harold Gerrish من وكالة (ناسا) أن تكلفة إنتاج المادة المضادة قد تنخفض في نهاية الأمر لتصل إلى 5000 دولار لكل ميكروجرام[1].

ويكمن أحد الحلول الأخرى في العثور على حجر نيزكي من المادة المضادة في الفضاء الخارجي؛ إن العثور على شيء كهذا كفيل بتوفير طاقة كافية لتزويد سفينة فضاء بالطاقة التي تحتاجها. وفي الواقع، تم إطلاق القمر الصناعي الأوروبي (باميلا) PAMELA (وهو اختصار لعبارة Payload for Antimatter Matter Exploration and Light – Nuclei Astrophysics) عام 2006 خصيصا من أجل البحث عن مادة مضادة موجودة على نحو طبيعي في الفضاء الخارجي.

وإذا وُجِدَت كميات كبيرة من المادة المضادة في الفضاء، يمكن للمرء أن يتصور استخدام شبكات كهرومغناطيسية ضخمة لتجميعها.

لذا فعلى الرغم من أن الصواريخ الفضائية التي تنطلق بوقود من المادة المضادة تقع في حدود قوانين الفيزياء بكل تأكيد، فقد يستغرق الأمر حتى نهاية القرن لخفض التكلفة. ولكن إذا أمكن تحقيق هذا، فسوف تصبح صواريخ المادة المضادة مرشحة بقوة من الجميع لبناء سفن الفضاء التي تصل إلى النجوم.

(1) ميكروجرام microgram: وحدة قياس تساوي واحدًا على مليون من الجرام. (المترجم)

سفن النانو

عندما تبهرنا المؤثرات الخاصة التي نراها في سلسلة أفلام (حرب النجوم) Star Wars، أو (رحلة النجوم) Star Trek، نتخيل على الفور سفينة فضاء مستقبلية ضخمة مدججة بأحدث الأجهزة وأكثرها تطورا. ولكن هناك احتمالا آخر يكمن في استخدام تقنية النانو لصنع سفن فضاء صغيرة الحجم، ربما لا يزيد حجمها على حجم أنبوب صغير، أو إبرة، أو حتى أصغر من ذلك. إن لدينا تصورا مسبقا يقضي بأن سفينة الفضاء لابد أن تكون ضخمة، كسفينة (إنتربرايز) في سلسلة (رحلة النجوم)، وقادرة على إعاشة طاقم كبير من رواد الفضاء. غير أن الوظائف الأساسية لسفينة الفضاء يمكن إنجازها بواسطة سفن صغيرة مصنوعة من تكنولوجيا النانو، بحيث يمكن إطلاق أعداد ضخمة – ربما تصل لملايين – من سفن النانو الصغيرة إلى النجوم القريبة، إذ لن يصل منها إلى غايته سوى عدد ضئيل. وبمجرد أن تصل تلك السفن إلى قمر قريب من أحد النجوم، يمكنها إنشاء مصنع لتصنيع نسخ غير محدودة من تلك السفن.

ويتصور فينت سيرف[1] Vint Cerf – أحد المبتكرين الأصليين لشبكة الإنترنت – سفنا نانوية صغيرة الحجم لا يمكنها فقط استكشاف النظام الشمسي وإنما يمكنها في نهاية الأمر استكشاف النجوم البعيدة نفسها. يقول سيرف: (سوف يكون استكشاف النظام الشمسي أكثر فعالية من

(1) فينت سيرف Vint Cerf: عالم كمبيوتر أمريكي شهير، يطلق عليه اسم (أبو الإنترنت) لإسهاماته في تطوير شبكة الإنترنت. (المترجم)

خلال إنشاء أجهزة صغيرة، لكنهـا قوية، على نطاق النانو، يمكنها السفر بسهولة والوصـول إلى سطح الكواكب والأقمـار القريبة منا، وإلى تحت السطـح، وإلى الغلاف الجوي لتلك الكواكـب والأقمار... ويمكن للمرء حتى أن يستنتج تلك الإمكانيات لاستكشاف الفضاء البعيد).

في الطبيعـة، تنتـج الثدييات عددا محدودا من الذريـة، وتحرص على أن تعيشـ كل ذريتها. أما الحشرات، فإنها تنتـج أعدادا هائلة من الذرية، ولا يعيش مـن تلك الذرية سوى نسبـة ضئيلة. ويمكن لكلتـا الإستراتيجيتين أن تبقـي النـوع حيا لملايين السنـين. وبالمثل، فإنه بدلاً مـن إرسال سفينة فضاء واحدة كبيرة باهظة التكلفة إلى النجوم، يمكننا إرسال ملايين السفن الفضائية الصغيرة قليلة التكلفة التي لا تتطلب سوى أقل القليل من الوقود.

فمن المنطقـي استمداد هذا المفهوم من إستراتيجيـة ناجحة للغاية قائمة في الطبيعـة، وهي ظاهرة الأعداد الكبـيرة. فالطيور والنحل، وغيرها من الحيوانـات الطائـرة، تطـير في أسراب أو حشـود. ولا شـك أن الأعداد الكبـيرة لا توفـر الأمان فحسـب، وإنما يعمـل الحشد أيضا كنظـام إنذار مبكر. فإذا حدث اضطراب خطـير في أحد أجزاء الحشد، بسبب هجوم مفترس مثـلاً، يتم نقل الرسالة بسرعـة إلى باقي الحشد. كمـا أن الحشود الكبـيرة تتسم بالكفاءة العالية جدا فيما يتعلق بالطاقة. فعندما تطير الطيور بتشكيـل الرقم (7) الشهير، يقل كم الطاقة المطلوب للطيران عما يحتاجه كل طائر منفردا.

ويصف العلماء الحشد بأنه (كيان حي واحد فائق)، كيان يبدو أنه يتمتع بـذكاء خاص به، ومستقل عن قدرات أي فرد واحد به. فالنملة الواحدة،

علـى سبيل المثال، لديها جهاز عصبي في غاية البساطة ومخ ضئيل للغاية، ولكن جماعات النمل معا يمكنها صنع كثيبات معقدة جدا. ويأمل العلماء في تطبيـق بعض هذه الدروس المستفادة من الطبيعـة في تصميم مجموعة كبيرة من الآلات التي يمكنها في يوم من الأيام أن تقطع الرحلة إلى كواكب ونجوم أخرى بعيدة.

ويشبـه هذا الفكرة الافتراضيـة حول ذرات الغبار الذكيـة التي تبحثها وزارة الدفـاع الأمريكية (البنتاجون): مليـارات الجسيمات التي يتم بثها في الهـواء، كل واحدة منهـا تحتوي على مستشعرات دقيقـة للغاية للقيام بعمليـات الاستطـلاع. وكل واحد مـن هذه المستشعـرات ليس متطورا أو ذكيـا جـدا، لكن بمقدورهـا وهي مجتمعـة سويا جمـع وإرسال جبال مـن المعلومات. وقـد مولت وكالـة أبحـاث المشاريع المتقدمـة الدفاعية Defense Advanced Research Projects Agency (المعروفة اختصارا بـ DARPA)، التابعة لوزارة الدفاع الأمريكية، هذا البحث من أجل إمكانية استخدامه في تطبيقات عسكرية محتملة، كمراقبة مواقع الأعداء في ميدان المعـارك. وفي عامي 2007 و2009، أنتجت القـوات الجوية أوراق مواقع تشـرح فيها بالتفصيل خطط العقـود المقبلة، وتوضـح كل شيء بداية من النسخ المتطـورة من برنامـج (المفترس) Predator (الـذي تكلف القطعة الواحدة منه اليوم 4.5 ملايين مـن الدولارات) حتى أسراب المستشعرات الصغـيرة التـي لا يزيد حجمها عـن حجم حشرة صغـيرة، والتي لا تكاد تكلف شيئا.

كما أن العلماء مهتمون بهذه الفكرة. وقد يرغبون في نشر الغبار الذكي

من أجل مراقبة فورية لآلاف المواقع خلال الأعاصير، والعواصف الرعدية، والانفجارات البركانية، والزلازل، والفيضانات، وحرائق الغابات، وغيرها من الظواهر الطبيعية. ففي فيلم (الإعصار) Twister، على سبيل المثال، رأينا مجموعة من مطاردي الأعاصير الشجعان يخاطرون بحياتهم لوضع مجسات حول أحد الأعاصير. وليس هذا من الكفاءة. فبدلاً من قيام مجموعة من العلماء بوضع بضعة مجسات خلال انفجار بركاني أو إعصار لقياس درجة الحرارة والرطوبة وسرعة الرياح، يمكن للغبار الذكي أن يمدنا ببيانات من آلاف المواقع المختلفة في وقت واحد بطول مئات الأميال. وعند تغذية أجهزة الكمبيوتر بتلك البيانات، يمكنها أن تعطينا معلومات آنية حول مراحل تطور إعصار أو بركان ما بصورة ثلاثية الأبعاد. وقد تأسست بالفعل شركات تجارية لتسويق تلك المجسات والمستشعرات الصغيرة التي لا يزيد حجم بعضها على رأس دبوس.

وهناك ميزة أخرى لسفن النانو، ألا وهي: كونها لا تحتاج سوى لقدر ضئيل للغاية من الوقود لإرسالها إلى الفضاء. وبدلاً من استخدام صواريخ دفع عملاقة لا يمكنها تجاوز سرعة الـ 25000 ميل في الساعة، سيكون من السهل نسبيا إرسال عناصر صغيرة إلى الفضاء بسرعات هائلة أعلى بكثير. وفي الواقع، من السهل إرسال جسيمات دون ذرية بسرعة تقارب سرعة الضوء باستخدام المجالات الكهربائية العادية. وتلك الجسيمات النانوية تحمل شحنة كهربائية صغيرة، ويمكن بسهولة تعجيلها بواسطة المجالات الكهربائية.

وبدلاً من استخدام موارد هائلة لإرسال مسبار إلى قمر أو كوكب آخر،

فـإن مسبارا صغيرا واحدا ربما يكون قـادرا على استنساخ نفسه، ومن ثم بناء مصنع كامل أو حتى قاعدة قمرية. وحينئذ، يمكن لتلك المستكشفات القادرة على استنساخ نفسها الانطلاق لاستكشاف عوالم أخرى (وتكمن المشكلة في صنع أول مسبار نانوي صغير قادر على استنساخ نفسه، وهو أمر ربما لن يتحقق إلا في المستقبل البعيد).

وقد تعاملـت وكالة الفضـاء الأمريكية (ناسا) في عـام 1980 مع فكرة المستكشفات الآليـة ذات القدرة على استنساخ نفسها بجدية للدعوة إلى إجراء دراسة خاصة تسمى (الأتمتـة المتقدمة لمهمات الفضاء) Advanced Automation for Space Missions، وهي دراسة أجريت في جامعة سانتا كلارا University of Santa Clara وقامـت ببحـث احتمـالات عديدة. وكان أحد الاحتمالات التي بحثها علماء (ناسا) إرسال روبوتات صغيرة قادرة على استنساخ نفسهـا إلى القمر. وهناك، يقوم الروبوت باستخدام التربة لصنع نسخ لا حصر لها من نفسه.

وكان الجـزء الأكبر من التقرير الناتج عن تلـك الدراسة مكرسا لتفاصيل إقامـة مصنع كيميائي لمعالجة صخور القمـر (الطبقة السطحية). فيمكن، مثـلاً، أن يهبط الروبوت على سطح القمر، ويفكك نفسه، ثم يعيد تجميع أجزائه على نحو مختلف لصنع مصنع جديد، فيما يشبه كثيرا لعبة الروبوت المتحول. فقد يقـوم الروبوت، على سبيل المثال، بصنع مرايا ضخمة على شـكل قطع مكافئ لتكثيف ضوء الشمس، ثـم يبدأ بصهر صخور الطبقة السطحية. وبعد ذلك، يستخدم حمض فلوريد الهيدروجين السائل للبدء في معالجـة الطبقة السطحية للقمـر لاستخراج المعـادن والفلزات القابلة

للاستخـدام. ويمكن بعد ذلك تركيب المعـادن لبناء القاعدة القمرية. وفي النهاية، يقوم الروبوت ببناء مصنع صغير لإعادة إنتاج نسخ من نفسه.

وبنـاءً على هـذا التقرير، بـدأ معهـد الأفـكار المتقدمـة Institute for Advanced Concepts التابـع لوكالة (ناسا) في عام 2002 بتمويل مجموعة مـن المشاريـع القائمة على تلـك الروبوتات ذات القدرة علـى استنساخ ذاتهـا. ويعـد ماسون بيـك Mason Peck مـن جامعة كورنيـل Cornell University واحدا من العلماء الذين تعاملوا بجدية مع فكرة سفن الفضاء المكونة من رقائق صغيرة.

وقـد حظيت بفرصة زيـارة بيك في معملـه الذي يمكنـك أن ترى فيه منضدة العمل الخاصة بـه مكتظة بمكونات ربما تؤول بها الحال في النهاية وقد أرسلـت إلى مدار في الفضاء. وإلى جوار الحجرة التي توجد بها تلك المنضـدة، توجد حجرة صغيرة نظيفـة ذات جدران مكسوة بالبلاستيك، يتم فيها تجميع مكونات دقيقة لأقمار صناعية.

ويمتلك بيك رؤية لاستكشاف الفضاء مختلفة تماما عن تلك التي تعرضها لنا أفلام هوليوود. فهو يتصور رقاقة صغيرة جدا –حجمها سنتيمتر واحد ووزنهـا جـرام واحد – يمكن تعجيلها إلى ما يـتراوح بين 1 و10 في المائة مـن سرعـة الضوء. وهـو يستغل أثر المقـلاع الذي تستخدمـه (ناسا) في قذف سفن الفضاء وتوصيلها إلى سرعات هائلة. وتشتمل تلك الحيلة التي تستغـل الجاذبية الأرضية على إطلاق سفينـة فضاء حول كوكب ما، تماما كمـا تنطلق الصخور بواسطة المقلاع، وبهذه الطريقة يتم استغلال جاذبية الكوكب في زيادة سرعة سفينة الفضاء.

ولكـن بدلاً من الجاذبية، يرغب بيك في استخـدام القوى المغناطيسية. وفكرته هي إرسال سفينة فضاء عبارة عن رقاقة صغيرة لتدور حول المجال المغناطيسـي للمشتري الذي يفوق مجال الأرض قـوة بمقدار 20000 مرة. ويخطـط بيك لتعجيل مركبته الفضائية النانوية، بواسطة القوة المغناطيسية المستخدمة في قـذف الجسيمات دون الذريـة، إلى تريليونات الإلكترون فولـت[1] electron volt التي يتم الوصول إليها في محطمات الذرات على الأرض.

وقـد عرضـ عليَّ بيك عينـة لرقاقة ظن أنـه يمكن في يوم مـن الأيام أن تُقذف لتدور حول المشتري. وكانت عبارة عن مربع صغير جدا – أصغر مـن طـرف الإصبع – مكتـظ بالدوائـر الكهربائية. وإجمـالاً، ستكون سفينتـه الفضائيـة بسيطة؛ على أحـد جانبي الرقاقة توجـد خلية شمسية لتوفير الطاقة اللازمة للاتصـال، وعلى الجانب الآخر يوجد جهاز إرسال لاسلكـي وكاميرا ومستشعرات أخرى. ولا يوجد محرك لهذه الأداة لأنها تُدفع فقط بواسطة المجـال المغناطيسي لكوكب المشتري (تم إغلاق معهد الأفكار المتقدمة التابع لناسا –وهو الذي كان يمول هذا الاقتراح وغيره من الاقتراحـات المبدعة لبرنامج الفضاء منذ عـام 1998 – على نحو مؤسف عام 2007 بسبب تخفيضات في الميزانية).

وهكذا، فـإن رؤية بيك لسفينـة الفضاء تختلف كثيرا جـدا عن الرؤية التقليديـة التي نجدها في روايات وأفلام الخيال العلمي، حيث تنطلق سفن

(1) إلكترون فولت electron volt: وحدة من وحدات قياس الطاقة. (المترجم)

فضـاء ضخمة في الفضاء بقيادة طاقم مـن رواد الفضاء الشجعان. فإذا تم وضـع قاعدة على أحد كواكب المشتري، علـى سبيل المثال، يمكن عندئذ إطـلاق أعـداد هائلة مـن تلك الرقائـق الصغيرة في مـدارات حول ذلك الكوكـب العمـلاق. وإذا تم بناء بطارية من مدافع الليـزر على سطح هذا القمـر، يمكن حينئذ تعجيل تلك الرقائق عن طريق ضربها بضوء الليزر، مما سيزيد سرعتها إلى أن تصل إلى جزء من سرعة الضوء.

ومـن ثم، طرحـت عليه سـؤالاً بسيطا مفاده: هل يمكنـك تصغير تلك الرقائق إلى حجـم الجُزيء باستخدام تكنولوجيـا النانو؟ حينها، بدلا من استخـدام المجالات المغناطيسية لكوكب المشـتري لتعجيل تلك الرقائق، يمكـن استخدام محطمات ذرات موجودة على سطح قمر الأرض لإطلاق مستكشفات بحجم الجُزيء بسرعـة تقارب سرعة الضوء. وقد اتفق بيك معي على أن هذا سيكون احتمالاً واقعيا، لكنه لم يبحث التفاصيل بعد.

لذا أخرجنـا ورقة، وبدأنا معا في كتابة معـادلات هذا الاحتمال (هكذا نتفاعـل نحـن – العلمـاء الباحثين – مـع بعضنا بعضـا؛ أي بالرجوع إلى السبـورة أو ورقة لحل مشكلة ما بكتابة المعادلات). فكتبنا معادلات قانون قـوى لورنتس[1] Lorentz force التي يستخدمها بيـك في تعجيل رقائقه الدقيقة حول المشتري، ولكننا بعد ذلك قمنا بتصغير الرقائق لتصبح بحجم الجزيئات، ووضعناها داخل محطم ذرات افتراضي مشابه لمسرع الجسيمات

(1) قانـون قوى لورنتس Lorentz force: يعرف أيضًا باسم (قانون القـوى الكهرومغناطيسية)، وهو قانون فيزيائي ينص علـى أن المجـال المغناطيسي الناشئ عن التيار الكهربائي ليس سوى مجال ناشئ عن الشحنات المتحركة، ولهذا يزول المجال المغناطيسي بتوقف الشحنات عن الحركة (انقطاع التيار). (المترجم)

(LHC) الموجود في المعمل الأوروبي لأبحاث الجسيمات. وسرعان ما رأينا أن المعادلات تسمح بتسارع مثل هذه السفن الفضائية النانوية إلى ما يقارب سرعة الضوء، باستخدام محطم ذرات تقليدي لا أكثر فوق سطح القمر. فلأننا استطعنا تقليص حجم سفينة الفضاء من شريحة صغيرة إلى حجم الجُزيء، أمكننا تقليص حجم المسرع المطلوب من حجم المشتري إلى محطم ذرات تقليدي عادي. وبدا لنا أن تلك الفكرة تمثل احتمالاً واقعيا بحق.

ولكن بعد تحليل المعادلات، اتفق كلانا على أن المشكلة الوحيدة تكمن في مدى ثبات واستقرار تلك السفن الفضائية النانوية الدقيقة. فهل سيؤدي التسارع في نهاية الأمر إلى تمزيق تلك الجُزيئات؟ بلا شك سوف تتعرض الجُزيئات لقوى طرد مركزي هائلة أثناء تعجيلها إلى سرعة تقترب من سرعة الضوء، تماما ككرة تدور حول خيط. كما أنها ستكون مشحونة كهربائيا، لذا فإنه حتى القوى الكهربائية يمكن أن تمزقها. وقد انتهى كلانا إلى أن سفن النانو تمثل احتمالاً ممكنا بالتأكيد، ولكن الأمر قد يستغرق عقودا من البحث المستمر لتقليص حجم رقائق بيك إلى حجم الجُزيئات، وتعزيز قوتها حتى لا تنهار عند تعجيلها إلى سرعة مقاربة لسرعة الضوء.

وهكذا، فإن حلم ماسون بيك هو إرسال سرب من الرقائق إلى أقرب نجم، على أمل أن يتمكن بعض تلك الرقائق فعليا من قطع تلك المسافة في الفضاء. لكن ما الذي ستفعله عندما تصل؟

هنا يبرز إلى الصورة عمل العالم بي زانج Pei Zhang من جامعة كارنيجي ميلون Carnegie Mellon University في وادي السليكون Silicon Valley. لقد قام بصنع أسطول من الطائرات المروحية الصغيرة التي قد

ينتهي بها المطاف في يوم من الأيام على سطح كوكب آخر. وقد عرض عليَّ بفخر أسطوله الذي تشبه طائراته طائرات هليكوبتر لعبة. ولكن المظاهر خداعة. ففي منتصف كل طائرة رأيت شريحة مكتظة بدوائر معقدة. وبضغطة زر واحدة، أطلق زانج أربع طائرات صغيرة في الهواء، طارت في جميع الجهات وأرسلت المعلومات. وسرعان ما وجدت نفسي محاطا بسرب من الطائرات الصغيرة.

وقد أخبرني زانج أن هدف سرب الطائرات الصغيرة هذا هو تقديم المساعدات الضرورية في حالات الطوارئ، كالحرائق والانفجارات، عن طريق القيام بالاستطلاع والمراقبة. وفي نهاية المطاف، يمكن تزويد تلك الطائرات بكاميرات تليفزيونية ومستشعرات يمكنها تحديد درجة الحرارة، والضغط، واتجاه الريح، وما إلى ذلك؛ وهي معلومات قد يتضح أنها حاسمة في حالات الطوارئ. ويمكن إطلاق الآلاف من تلك الطائرات الصغيرة فوق ميدان معركة، أو حريق، أو حتى فوق منطقة تقع خارج كوكب الأرض. كما أن تلك الطائرات تتواصل مع بعضها البعض أيضا. فإذا ما اصطدمت إحداها بعقبة ما، فإنها تبث المعلومة لاسلكيا إلى باقي سرب الطائرات.

وهكذا، فإن إحدى الرؤى للسفر إلى الفضاء قد تتلخص في إطلاق آلاف من الرقائق رخيصة الثمن التي تستعمل لمرة واحدة من ابتكار أناس من أمثال ماسون بيك نحو أقرب نجم من شمسنا بسرعة تقارب سرعة الضوء. وبمجرد أن تصل حفنة من تلك الرقائق إلى وجهتها، تخرج منها أجنحة وشفرات تسمح لها بالطيران فوق الأرض الغريبة، تماما كما يفعل أسطول الطائرات الصغيرة الذي بناه بي زانج. ومن ثم، ترسل تلك الآلات المعلومات التي

تكتشفهـا إلى الأرض. وبمجرد العثور علـى كواكب واعدة صالحة للحياة، ينطلـق جيل ثانٍ من الأسراب كثيرة الأعداد لإنشاء المصانع على سطح تلك الكواكـب، لتقوم تلك المصانع بصنع نسخ إضافيـة من تلك الأسراب التي تطير بدورها إلى النجم التالي. ومن ثم، تستمر العملية إلى ما لا نهاية.

هل سنهجر الأرض؟

بحلول عام 2100، مـن المحتمل أن نكون قد أرسلنا بعض رواد الفضاء إلى كوكب المريخ وحزام الكويكبـات، واستكشفنا قمر المشتري، وبدأنا الخطوات الأولى لإرسال مسبار نحو النجوم.

ولكن ماذا عن البشرية؟ هل ستكون لدينا مستعمرات فضائية لتخفيف عدد سـكان العالم عن طريق العثور على موطن جديد للبشر في الفضاء الخارجي؟ هل سيبدأ الجنس البشري في الرحيل عن الأرض بحلول عام 2100؟

كلا. ففـي ضـوء التكلفة، حتى بحلول عـام 2100 وما بعده، لن يكون أغلب البشر قد استقلوا سفينـة فضائية لزيارة الكواكب الأخرى. ومع أن بعض رواد الفضاء سيكونون قد أقاموا قواعد أمامية صغيرة بين الكواكب، فسيظل أغلب البشر عالقين على سطح الأرض.

وفي ضوء حقيقة أن الأرض ستظل موطن البشر لقرون قادمة من الزمن، فـإن هذا يثير تسـاؤلاً آخر مفاده: كيف ستتطور الحضـارة البشرية ذاتها؟ وكيف سيؤثر العلم في نمط حياتنا ووظائفنا ومجتمعنا؟ لا ريب أن العلم هو محرك الرفاهية والازدهار. وعليـه، فالسؤال الذي يطرح نفسه هو: كيف يمكن للعلم أن يعيد تشكيل الحضارة والثروة في المستقبل؟

الفصل السابع

مستقبل الثروة ... الرابحون والخاسرون

«التكنولوجيا والأيديولوجيا تهزان أسس الرأسمالية في القرن الحادي والعشرين. التكنولوجيا تجعل من المهارات والمعرفة المصادرَ الوحيدة للميزة الإستراتيجية الدائمة»

- ليستر ثورو[1]

في الأساطير القديمة، اعتمد صعود الإمبراطوريات العظيمة وأفولها على قوة الجيوش وبراعتها ودهائها. وكان الجنرالات العظماء في الإمبراطورية الرومانيـة القديمة يتعبدون في معبد الإله (مارس) Mars، إله الحرب، قبيل الحملات العسكرية الحاسمة. وشجعت البطولات الأسطورية للإله (ثور) Thor شعـوب الفايكينـج على خوض معـارك بطولية عظيمـة. كما بنى القدماء معابد وتماثيـل ضخمة تبجيلا للآلهة وتخليدًا لذكرى انتصاراتهم في معاركهم ضد أعدائهم.

لكننا نكتشف قصة مختلفـة تمامًا عن هذه الرؤية الأسطورية عندما نقوم بتحليل الصعود والانحدار الفعلي للحضارات العظمى.

لو كنت مخلوقًا غريبًا قادمًا من المريخ مثلاً لزيارة كوكب الأرض في عام 1500، وشاهـدت كل هـذه الحضارات العظيمة، فأيهـا كنت ستظن أنها ستسود العالم في نهاية المطاف؟ لكن الإجابة ستكون سهلة عليك في ذلك

(1) ليستر ثورو Lester Thurow: عميـد سابـق لكليـة إدارة سلـون Sloan School of Management بمعهـد ماساتشوستس للتكنولوجيا MIT، ومؤلف للعديد من الكتب في مجال الاقتصاد. (المترجم)

الزمن؛ فأي حضارة بشرية لذلك سوى الحضارة الأوروبية.

ففي الشرق الأقصى، كنت سترى الحضارة الصينية العظيمة، التي دامت طـوال ألف عام كاملة. وسترى القائمة الطويلة للاختراعات التي ابتكرها الصينيـون التي لا نظير لها: مـن ورق الكتابة، وآلات الطباعة، والبارود، والبوصلـة، وغير ذلك كثير. فعلماء تلك الحضارة هم الأفضل على سطح الكوكب، وحكومتها موحدة، وأرضها يسودها السلام.

وفي جنوب أوروبـا، حيث توجد الإمبراطوريـة العثمانية، التي كانت قـاب قوسين أو أدنى من اكتساح أوروبا وسحقها. وقد وضعت الحضارة الإسلامية العظيمة علم الجبر، وأنتجت تطويرات وتحسينات في البصريات، والفيزيـاء، ووضعت أسماء للنجوم؛ وازدهـرت فيها الفنون والعلوم، ولم تواجـه جيوشها العظيمـة أي مقاومة ذات بال، وكانـت مدينة إسطنبول آنذاك أحد المراكز الكبرى في العالم لتدريس العلوم.

ثم إنك كنت ستجد الدول الأوروبية البائسة المثيرة للشفقة، التي كانت ضحية عذاب التعصب الديني، ومحاكمات الساحرات، ومحاكم التفتيش. فقـد أصبحت أوروبا الغربية، التي ظلت في انحدار شديد ومستمر طوال ألـف عام كاملة منذ انهيار الإمبراطوريـة الرومانية، متخلفةً للغاية إلى حد أنهـا أصبحت مستـوردًا خالصًـا للتكنولوجيا. كانت تلـك الفترة بمثابة ثقـب أسود من القرون الوسطى، حيث اختفت معظم علوم الإمبراطورية الرومانيـة ومعارفها منذ زمـن طويل، وحلت محلها مبـادئ دينية خانقة. وغالبًا ما كانت المعارضة أو المخالفة تُقابل بالتعذيب أو بالتنكيل أو ما هو أسوأ. وعلاوة على ذلك، كانت المدن الأوروبية المستقلة بوصفها دولًا في

حالة حرب دائمة مع بعضها بعضًا.

فماذا حدث إذن؟

دخلت كل من الإمبراطوريتين الصينية والعثمانية العظيمتين فترة ركود واضمحلال تكنولوجي دامت 500 عام، في الوقت الذي بدأت فيه أوروبا قبولا واعتناقًا غير مسبوق للعلوم والتكنولوجيا.

فبداية من عام 1405، أمر الإمبراطور الصيني (يونجل)[1] Yongle بتجهيز أسطول حربي هائل، وهو أكبر أسطول شهده العالم على الإطلاق، لاستكشاف العالم. (كانت سفن (كولومبوس) Columbus الثلاث الضئيلة توضع بكل بساطة على سطح واحدة فقط من تلك السفن العملاقة في ذلك الأسطول الضخم). وأُطلِقت سبعُ حملات كبرى، كل واحدة منها أكبر من سابقتها. وأبحر هذا الأسطول حول سواحل جنوب شرق آسيا ووصل إلى أفريقيا – مدغشقر – بل ربما تجاوزها. وجلب الأسطول معه في رحلة العودة ثروة هائلة من البضائع، والأطعمة، والحيوانات الغريبة من أقصى بقاع الأرض. وهناك نقوش قديمة رائعة على الخشب لزرافات أفريقية يتم عرضها في حديقة حيوان أسرة مينج.

غير أن أباطرة الصين أصيبوا بخيبة الأمل أيضًا. لكن، أهذا كل ما هنالك؟ أين إذن الجيوش العظمى التي يمكن أن تنافس الصينيين؟ هل الأطعمة والحيوانات الغريبة هي كل ما يمكن للعالم الخارجي تقديمه للصين؟ وعندما فقد الصينيون اهتمامهم بباقي العالم، وأدى ترك أباطرة الصين المتأخرين

(1) الإمبراطور يونجل Yongle emperor: الإمبراطور الثالث للصين من أسرة مينج Ming. (المترجم)

لأسطولهم العظيم إلى تدهوره، واحتراقه في نهاية الأمر. وتدريجيا عزلت الصين نفسها عن العالم الخارجي، وأصابها الجمود والركود في حين اندفع باقي العالم للأمام قدمًا.

وترسخ موقف مشابه لهذا لدى الإمبراطورية العثمانية أيضًا، فبعد أن فتحوا معظم أجزاء العالم المعروف لهم، تحول العثمانيون إلى شؤونهم الداخلية وإلى التعصب الديني، وعاشوا قرونًا من الركود. ويذكر أن ماهاتير محمد Mahathir Mohamad، رئيس وزراء ماليزيا السابق، قال: (بدأت الحضارة الإسلامية العظيمة في الانحدار عندما فسر علماء المسلمين طلب العلم، المأمور به في القرآن، على أنه العلم الشرعي وحده دون غيره، وأن العلوم الأخرى غير إسلامية. ونتيجة لذلك، تخلى المسلمون عن دراسة العلوم، والرياضيات، والطب، وغيرها مما يسمى (العلوم الدنيوية). وبدلاً من ذلك، أهدروا وقتًا طويلا في الجدل حول التعاليم والتأويلات الإسلامية، والفقه الإسلامي والسلوكيات الإسلامية، وهو ما أدى إلى انقسام (الأمة) وظهور عدد لا حصر له من الطوائف والمذاهب).

وفي أوروبا، كانت هناك بدايات لصحوة كبرى. فقد جلبت التجارة للقارة أفكارًا جديدة ثورية، وعجلت طابعة جوتنبرج من وتيرة التقدم. وأخذت سلطة الكنيسة تتقلص بعد ألف عام من السيطرة المطلقة، كما أخذت الجامعات – ولو ببطء – في تحويل انتباهها بعيدًا عن تأويل الفقرات الغامضة من الإنجيل نحو تطبيق فيزياء نيوتن وكيمياء دالتون وغيرهما. ويضيف المؤرخ بول كنيدي Paul Kennedy، من جامعة يال

Yale University، عاملا آخر أسهم في النهضة السريعة لأوروبا وهو حالة الحرب الدائمة بين القوى الأوروبية شبه المتكافئة، والتي لم تستطع أي منها قط الهيمنة على القارة بأسرها. فالملوك، ممن هم في حالة حرب دائمة مع بعضهم بعضًا، قاموا بتمويل العلوم والهندسة لتوسيع طموحاتهم الإقليمية. ولم يكن العلم مجرد ممارسة أكاديمية وإنما كان وسيلة لصنع أسلحة جديدة وإيجاد سبل جديدة لتحقيق الثروة.

وسرعان ما أدت نهضة العلوم والتكنولوجيا في أوروبا إلى البدء في إضعاف قوة الصين والإمبراطورية العثمانية. وتداعت الحضارة الإسلامية، التي ازدهرت طوال قرون باعتبارها بوابة التجارة بين الشرق والغرب، وذلك عندما اكتشف البحارة الأوروبيون طرقًا تجارية أخرى إلى العالم الجديد وإلى الشرق؛ لاسيما طريق رأس الرجاء الصالح حول قارة أفريقيا، والذي يتجنب المرور بمنطقة الشرق الأوسط كلها. ووجدت الصين نفسها تُقسم بفعل السفن الحربية الأوروبية المزودة بالمدافع، والتي استفادت – على نحو مثير للسخرية – من اختراعين صينيين أساسيين هما البارود والبوصلة.

لقد أصبحت الإجابة عن سؤال (ماذا حدث؟) واضحة إذن، فما حدث إنما هو صعود العلم والتكنولوجيا، وهما محركا الرخاء والازدهار. ويمكن للمرء بالطبع أن يتجاهل العلم والتكنولوجيا، لكن ذلك سيجعله عرضة للمخاطر بلا أدنى شك. فالعالم لن يقف جامدًا في مكانه لأنك تقرأ نصًا مقدسًا؛ وإذا لم تتفوق أنت في أحدث ما جاء به العلم والتكنولوجيا الحديثة، فإن منافسيك سيفعلون.

التفوق في استخدام القوى الأربع

لكن كيف تمكنت أوروبا فجأة – وهي الحصان الأسود مجهول القدرات في السباق – من تجاوز الصين والعالم الإسلامي بعد قرون من الجهل؟ إن هناك عوامل اجتماعية وتكنولوجية أسهمت في صنع هذا الانقلاب الكبير.

عند تحليل تاريخ البشرية بعد عام 1500، ندرك أن أوروبا كانت مستعدة لتحقيق التطور الكبير التالي لتلك الفترة، وذلك مع انهيار النظام الإقطاعي وظهور طبقة التجار، وهبوب رياح عصر النهضة النابضة بالحياة. غير أن الفيزيائيين ينظرون إلى هذا التحول الهائل من خلال عدسات القوى الأربع الأساسية التي تحكم العالم. وهي القوى الجوهرية التي يمكنها تفسير كل شيء حولنا، بدءًا من الآلات والصواريخ والقنابل، وصولا إلى النجوم والكون نفسه. ربما أسهم تغير النزعات الاجتماعية في تجهيز الساحة لهذا التحول، لكن التفوق في استغلال تلك القوى في أوروبا هو ما دفعها في نهاية المطاف إلى أن تكون على قمة القوى العالمية.

القوة الأولى هي قوة الجاذبية، التي تبقينا ثابتين على الأرض، وتمنع الشمس من الانفجار، وتبقي النظام الشمسي متماسكًا. والقوة الثانية هي الكهرومغناطيسية، التي تضيء مدننا، وتمد مولداتنا وآلاتنا بالطاقة، وتشغل أشعة الليزر وأجهزة الحاسب. أما القوتان الثالثة والرابعة فهما القوى النووية الضعيفة والقوية، التي تحافظ على تماسك نوى الذرات، وتضيء النجوم في السماء، وتصنع الاشتعال النووي في مركز شمسنا. وقد تعرفت أوروبا بوضوح على تلك القوى الأربع جميعًا.

وكلمـا حقق الفيزيائيـون فهمًا أفضل لإحدى تلـك القوى، أدى ذلك إلى تغـير التاريـخ البشري، وكانت أوروبا في وضـع مثالي لاستغلال تلك المعـارف الجديدة. فعندما شاهد إسحاق نيوتـن[1] Isaac Newton تفاحة تسقـط وحدق في القمر، سـأل نفسه سؤالا غير مسار التاريخ البشري إلى الأبد: إذا كانت التفاحة تسقط، فهل يسقط القمر أيضًا؟ وفي ومضة إلهام لامعـة تلقاها وهـو في الثالثة والعشرين من عمـره، أدرك نيوتن أن القوى التي تجـذب التفاحة هي نفسها القوى التي تصل إلى الكواكب والمذنبات في السمـاء. وأتـاح له ذلك تطبيق علم الرياضيـات الجديد الذي كان قد ابتكره للتو، وهو حساب التفاضل والتكامل؛ لتحديد مسارات الكواكب والأقمـار، ولحل شفرة إشارات السمـاء لأول مرة في تاريخ البشرية. وفي عام 1687، نشر نيوتن تحفته (المبادئ) Principia، والذي يَعدُّه البعض أهم كتاب علمي كتبه بشر على مر العصور، ويصنف ضمن أكثر الكتب تأثيرًا على امتداد التاريخ البشري كله.

لكن الأهم من ذلك كله أن نيوتن قدم لنا طريقة تفكير جديدة، ووسيلة يمكن للمرء بواسطتها حساب حركة الأجسام المتحركة من خلال القوى. وهكذا تحررنا من عبودية التفكير في الأرواح والشياطين والأشباح؛ وبدلاً من ذلك أصبحنا ندرك أن الأشياء تتحرك بسبب قوى معروفة يمكن قياسها

(1) إسحـاق نيوتن Isaac Newton: فيزيائي إنجليزي، وعالم رياضيات، وعالم فلك، وفيلسوف في علم الطبيعة، وكيميائي، وعـالم باللاهوت، وهو واحـد من أعظم الأشخاص تأثـيرًا في تاريخ البشرية. وهو واضع أساس معظـم نظريات الميكانيكا الكلاسيكيـة؛ فهـو واضع قوانين الجاذبية العامة، وقوانين الحركة الثلاثة التي سيطرت على النظرة العلمية للعالم المادي طوال القـرون الثلاثة التالية. أما نظريته الخاصة بالجاذبية فأزالت الشكوك المتبقية التي ثارت حول نظرية مركزية الشمس، مما أدى إلى ظهور الثورة العلمية، وله العديد من الإنجازات التي لا يتسع المقام لذكرها هنا. (المترجم)

واستغلالها أيضًا. وأدى هـذا إلى ظهور نظريات الميكانيكا لنيوتن، والتي يستطيع العلماء بواسطتها توقع سلوك الماكينات بدقة؛ وهو ما مهد بدوره الطريق لاختراع المحرك البخاري والقاطرة البخارية. وأصبح من الممكن تحليـل الديناميكيات العسيرة للماكينات البخارية المعقدة بطريقة منهجية؛ موضعًا موضعًـا، ورافعة رافعة، وذلك باستخـدام قوانين نيوتن. وهكذا أسهـم وصف نيوتن للجاذبية في تمهيد الطريـق لقيام (الثورة الصناعية)[1] Industrial Revolution في أوروبا.

وبعد ذلـك، في القرن التاسع عشـر، وفي أوروبا أيضًـا، استغل مايكل فـارادي Michael Faraday وجيمـس كلـيرك ماكسويـل James Clerk Maxwell وغيرهما القوة العظمى الثانية وهي، الكهرومغناطيسية، والتي بشرت بعصر الثورة الكبرى التالية. فعندما قام توماس إديسون[2] Thomas Edison ببنـاء المولـدات في محطة بيرل ستريـت Pearl Street Station في أدنـى مانهاتـن، وزود أول شارع على وجه الأرض بالطاقة الكهربائية؛ فتح الباب أمام تزويد الكوكب كله بتلك الطاقة. واليوم تمكنا، من الفضاء الخارجـي، أن نرى كوكب الأرض في الليـل، حيث نرى قارات بأكملها مضـاءة بالكهرباء. فـإذا حدق أي كائـن فضائي في الأرض مـن الفضاء

(1) الثـورة الصناعيـة Industrial Revolution: وفيهـا انتشار استخدام الماكينات بدلا من العمـل اليدوي، فقد شهدت بلـدان أوروبا الغربية خـلال القرن الثامن عشر نهضة علمية شاملة قامت على أكتـاف العلوم فتنوعت الأبحاث والتجارب لتشمـل مختلف فروع العلم ولتـؤدي إلى اختراعات واكتشافات مهمة كانت السبب المباشـر في قيام الثورة الصناعية خلال القرن التاسع عشر. وكان لهذه الثورة أثر بالغ على الحياة الاقتصادية والاجتماعية والسياسية في أوروبا وخارجها. (المترجم)

(2) توماس إديسون Thomas Edison: مخترع أمريكي عبقري، من بين اختراعاتـه؛ مسجلات الاقتراع والبارق الطابع والهاتـف الناقل الفحمـي والميكرفون والفونوغـراف، وأعظم اختراعاته علـى الإطلاق المصبـاح الكهربائي، وقد سجل إديسون باسمه أكثر من ألف اختراع. (المترجم)

الخارجي، فسيدرك على الفور أن سكان الأرض برعوا في استخدام تسخير الكهرومغناطيسية. كما أننا نُدرك مدى أهمية الكهرباء ومدى اعتمادنا عليها في حال انقطاعها. ففي لحظة واحدة، نعود فجأة إلى أكثر من مائة عام في الماضي، دون بطاقات ائتمانية، أو أجهزة كمبيوتر، أو أضواء، أو مصاعد، أو أجهزة راديو، أو تليفزيون، أو إنترنت، أو محركات... إلخ.

وأخيرًا، فإن قوة الطاقة النووية، التي برع الأوروبيون في تسخيرها أيضًا، تُغيِّر الآن كل شيء حولنا. ولم نعد قادرين فحسب على كشف أسرار السماء والفضاء، عن طريق اكتشاف مصدر الطاقة الذي يضيء النجوم، وإنما أصبحنا قادرين كذلك على كشف الفضاء الداخلي، باستخدام تلك المعرفة في الطب من خلال التصوير بالرنين المغناطيسي MRI Magnetic Resonance Imaging، والتصوير المقطعي المحوري بالحاسب CAT Computerized Axial Tomography، والتصوير المقطعي بالانبعاث البوزيتروني PET Positron Emission Tomography؛ والعلاج بالإشعاع Radiation Therapy؛ والطب النووي Nuclear Medicine. ولما كانت القوى النووية تتحكم في الطاقة الهائلة الكامنة داخل الذرة، فإنه يمكن للقوى النووية في نهاية المطاف أن تحدد مصير البشرية، وما إذا كنا سنزدهر من خلال استغلال الطاقة غير المحدودة للاندماج النووي أو سيقضى علينا في جحيم نووي.

المستقبل القريب
(من الوقت الحاضر حتى عام 2030)

أربع مراحل للتكنولوجيا

دفع مزيج الظروف الاجتماعية المتغيرة والبراعة في استغلال القوى الأربع أوروبا إلى صدارة الأمم، لكن التقنيات التكنولوجية ديناميكية ومتغيرة طوال الوقت، فهي تولد وتتطور، وتبزغ وتأفل. وسيكون من المفيد، لكي نرى كيف ستتغير تقنيات معينة في المستقبل القريب، أن نرى كيف تذعن التقنيات لقوانين معينة من قوانين التطور.

عادة ما تتطور التقنيات الجماعية عبر أربع مراحل رئيسة، ويمكننا رؤية هذا في تطور ورق الكتابة، والماء الجاري، والكهرباء، وأجهزة الحاسب. ففي المرحلة الأولى، تكون منتجات التكنولوجيا نفيسة للغاية ولذا تتم حراستها بحذر وعناية. لقد كان ورق الكتابة الذي ابتكره المصريون في صورة أوراق البردي وتبعهم الصينيون في استخدامه بعد ذلك منذ آلاف السنين؛ نفيسًا جدًا لدرجة أن لفافة واحدة من ورق البردي كان يقوم على حراستها أعداد كبيرة من الكهنة. وقد ساعدت تلك التقنية البسيطة على قيام الحضارات القديمة وتطورها.

ودخل الورق المرحلة الثانية من مراحل التطور نحو عام 1450، عندما اخترع جوتنبرج نوعًا قابلا للحركة من ورق الطباعة. وهو ما جعل (الدفاتر الشخصية) أمرًا ممكنًا، ومن ثم تمكن الشخص الواحد من امتلاك

كتـاب يحتوي معـارف تضمها مئـات اللفافات. فقبل زمـن جوتنبرج، لم يكـن في أوروبا كلهـا سوى 30000 كتاب فقـط. وبحلول عام 1500، أصبح هناك 9 ملايين كتاب، وهي كتب عملت على تأجيج الثورة الفكرية وتحفيز النهضة.

وفي حوالي عام 1930، وصل الورق إلى المرحلة الثالثة، عندما انخفضت تكلفته إلى بنس واحد للصفحة. وهو ما جعل امتلاك مكتبة شخصية أمرًا ممكنًـا، حيث يمكن لشخص واحد امتلاك مئـات الكتب، وأصبح الورق حينهـا سلعة عادية تمامًا تباع بالطن، وأصبح موجودًا في كل مكان وليس في مـكان بعينـه. والآن أصبحنا في المرحلة الرابعة، حيـث أصبح الورق كالموضـة؛ فنحـن جميعًا نزيـن عالمنا بـالأوراق الملونة بجميـع الألوان، والأشكال، والأحجام. ويعد الورق أكبر مصدر للنفاية الحضرية المتمدنة، وهكـذا تطور الورق من كونه سلعة تحرس وتصان عن كثب إلى أن أصبح مجرد نفاية.

الأمـر عينه ينطبق على الماء الجاري، ففـي العصور القديمة، وفي المرحلة الأولى، كان المـاء نفيسًـا للغاية لدرجـة أن قرية كاملة كانـت تتقاسم بئرًا واحـدًا. ودام الحال كذلـك لآلاف السنين، حتى بدايـة القرن العشرين، عندما ظهرت أنابيب السباكة الشخصية وبدأ استخدامها تدريجيًا، ودخلنا بذلك المرحلة الثانية. وبعد الحرب العالمية الثانية، دخل الماء الجاري المرحلة الثالثة وأصبـح زهيد الثمن ومتوافرًا بسهولـة للطبقة الوسطى الآخذة في الاتساع. واليـوم أصبح الماء الجاري في مرحلته الرابعة، كالموضة، إذ نراه في أشـكال وأحجام وتطبيقات لا حصر لها، فنحـن نزين عالمنا بالماء؛ في

صورة نافورة أو فسقية[1] أو عرض مائي.

وكذلك مرت الكهرباء بتلك المراحل الأربع نفسها. فبفضل العمل الرائد لتوماس إديسون وغيره من المبدعين، كان المصنع الكامل يعمل بمصباح إضاءة واحد ومحرك كهربائي واحد في المرحلة الأولى. وبعد الحرب العالمية الثانية، دخلنا المرحلة الثانية مع ظهور مصباح الإضاءة الشخصي والمحرك الشخصي. واليوم اختفت الكهرباء؛ فهي في كل مكان وليست في مكان محدد، حتى أن كلمة (كهرباء) electricity نفسها كادت تختفي من اللغة الإنجليزية. وفي أعياد الميلاد والاحتفالات، أصبحنا نستخدم مئات المصابيح الوامضة لتزيين بيوتنا. كما أننا نفترض أن الكهرباء مختفية داخل الجدران، وموجودة في كل مكان. وأخذت الكهرباء شكل الموضة، فهي تضيء مسارح برودواي وتزين عالمنا أيضًا.

وفي المرحلة الرابعة، تحولت الكهرباء والماء الجاري إلى منافع عامة؛ فهما زهيدا السعر للغاية ونحن نستهلك كثيرًا جدًا منهما، لدرجة أننا نقيس بالمتر مقادير الكهرباء والماء التي تسري في بيوتنا.

وتتبع أجهزة الحاسب النمط ذاته. فالشركات التي فهمت هذا الأمر ظلت في السوق وازدهرت؛ أما الشركات التي لم تفهمه فكادت تصل إلى حد الإفلاس. وهيمنت شركة آي بي إم IBM على المرحلة الأولى لصناعة الحاسب من خلال أجهزة الحاسب العملاقة في الخمسينيات من القرن

(1) الفَسْقِيَّةُ: حوضٌ من الرُّخام ونحوه مستدير غالبًا، تمجُّ الماءَ فيه نافورة، ويكون في القصور والحدائق والميادين. والجمع: فَسَاقِيّ. (المترجم)

العشريـن. وكان جهاز الحاسب العملاق الواحد باهـظ الثمن إلى حد أن 100 عـالم ومهندس كانوا يتشاركـون في جهاز واحد. غير أن إدارة شركة آي بي إم فشلت في فهم قانون مور وتقديره، ولذا كادت الشركة أن تفلس عندما دخلنا المرحلة الثانية في الثمانينيات من القرن العشرين، لاسيما بعد ظهور أجهزة الحاسب الشخصية.

لكن شـركات تصنيع أجهزة الحاسب الشخصية تكاسلت وترهلت هي الأخرى، فقد تخيل القائمون علـى تلك الشركات عالمًا بأجهزة كمبيوتر مستقلـة منعزلة فوق كل مكتـب حتى فوجئ هؤلاء ببـدء المرحلة الثالثة، وهـي مرحلة أجهزة الحاسب المتصلة ببعضهـا بعضًا عبر شبكة الإنترنت، والتـي يستطيع من خلالهـا أي شخص أن يتفاعل مـع الملايين من أجهزة الحاسـب الأخرى. واليوم أصبح المكان الوحيـد الذي يمكنك أن تجد فيه جهاز كمبيوتر منعزلا غير قادر على الاتصال بأجهزة أخرى هو المتحف.

وهكـذا يتلخص مستقبـل أجهزة الحاسب في أن تدخـل في النهاية إلى المرحلة الرابعة، حيث تختفي وتظهر من جديد في صورة موضة. وسوف نزيـن عالمنا حينئـذ بأجهزة الحاسب. أما كلمة (حاسـب آلي (computer نفسها فسوف تختفي تدريجيًا من اللغة الإنجليزية. وفي المستقبل، سيصبح أكـبر مكون للنفايـة المدنية هو رقائـق الحاسب وليس الـورق. فمستقبل أجهزة الحاسب إذن أن تختفي وأن تصبح منفعة عامة، وأن تباع كما تباع الكهربـاء والماء، ولسوف تختفي شرائـح الحاسب الآلي تدريجيًا في وقت تتم فيه عمليات الحساب والمعالجة (في الفضاء الإلكتروني).

وهكـذا فإن تطور أجهـزة الحاسب ليس سرًا أو لغـزًا غامضًا؛ فهو يتبع

المسار المعـروف نفسه والمألوف تمامًا والذي سلكـه أسلافه، كالكهرباء، والماء الجاري، والورق.

غير أن أجهـزة الحاسب وشبكة الإنترنت ما يـزالان يتطوران إلى الآن. وقد سُئل عـالم الاقتصاد جون ستيل جوردون John Steele Gordon عما إذا كانـت هذه الثورة قد انتهت أم لا؛ فأجـاب: (كلا بالطبع، ستمر مائة عام قبـل أن تنتهي كليًا، تمامًا مثل المحرك البخاري. أما فيما يتعلق بشبكة الإنترنت فما نزال عند النقطة التي كان الناس عندها في زمن بناء السكك الحديدية عام 1850، إنها البداية فحسب).

ولابـد هنـا أن نشـير إلى أن التقنيـات لا تصـل جميعهـا إلى المرحلتين الثالثـة والرابعـة. فخذ مثلاً القاطـرات، حيث دخل النقـل الآلي المرحلة الأولى في بدايـات القـرن التاسـع عشر مـع ظهور القاطـرات التي تعمل بطاقـة البخار، وكان على كل مائة شخص أن يتشاركوا حينئذ في قاطرة واحـدة. ثم دخلنـا المرحلة الثانية مـع ظهور (القاطـرة الشخصية)، التي تشتهـر باسم آخر هو (السيارة)، وذلك في بدايـة القرن العشرين. غير أن القاطـرة والسيـارة (وكلاهما في الأساس عبارة عـن صندوق يمشي على قضبـان أو على عجلات) لم تتغـيرا كثيرًا خلال العقـود الماضية. ويكمن التغـير فقط في بعض التحسينات التـي تم إدخالها عليهما، مثل المحركات الأكـثر قدرة والأكثر كفاءة والذكاء الإضافي. وهكذا فإن التقنيات التي لا تستطيع دخول المرحلـة الثالثة والرابعة سيتم تحسينهـا؛ فسيتم على سبيل المثال تدعيمهـا بالرقائق والشرائح لتصبح أكثر ذكاءً. فبعض هذه التقنيات إذن تتطـور حتى تصـل إلى المرحلة الرابعة كالكهربـاء، وأجهزة الحاسب

الآلي، والـورق، والماء الجاري؛ في حين تتوقف تقنيات أخرى عند مرحلة وسطى، لكنها تستمر في التطور عن طريق إدخال تحسينات إضافية عليها كالرقائق الذكية والكفاءة المتزايدة.

لماذا الفقاعات والانهيارات؟

أمـا اليوم، وفي أعقاب الأزمـة الاقتصادية العالمية عام 2008، فإنه يمكننا سماع بعض الأصوات التي تقول إن كل هذا التقدم كان وهمًا، وإن علينا العـودة إلى زمن البساطة، وإنه لابد من وجود عيب جوهري في المنظومة كلها.

وعندمـا نلقـي نظرة فاحصـة على تاريـخ البشرية، يسهـل علينا تحديد الأحداث غـير المتوقعة، بما فيها من تضخمات فقاعية هائلة واصطدامات مروعة تبـدو كأنها ظهرت فجأة من العدم. فهي تبـدو عشوائية، ونتيجةً ثانويـة لتقلب القـدر والحماقة الإنسانيـة. وقد كتب المؤرخـون وعلماء الاقتصـاد بغزارة عن الأزمة الاقتصادية لعـام 2008 في محاولة لفهمها عن طريـق فحص مجموعة متنوعة مـن الأسباب كالطبيعـة البشرية، والجشع، والفساد، وغياب التنظيم، وضعف الرؤية المستقبلية، وما إلى ذلك.

غـير أن لي طريقة مختلفـة في رؤية الأزمـة الاقتصادية العالميـة، إذ أراها مـن خلال عدسـة العلم. فعلـى المدى الطويـل، ظل العلم محـرك الرخاء والازدهار. وقد ذكـرت (موسوعة أكسفورد للتاريـخ الاقتصادي) The Oxford Encyclopedia of Economic History – على سبيـل المثـال – دراسـات (تعزو نسبة 90 في المائـة من نمو الدخل في إنجلترا والولايات

المتحدة بعد عـام 1780 إلى الإبداع التكنولوجي، وليس فقط إلى تكديس رأس المال).

ولسـوف نرجع ألف عـام إلى الماضي المظلم دون العلـم، لكن العلم لا يأتـي منتظمًا؛ إنما يأتي في شكل موجات. فعادة ما يتسبب ابتكار فريد لا يتكـرر إلا كل مائة عام (المحرك البخاري مثلاً، أو المصباح الكهربائي، أو الترانزستور) في بدء شـلال منهمر من الابتكارات الثانوية التي تصنع بعد ذلك مـا يشبه انهيارًا جليديًا هائلا من الإبداعـات والتطور والتقدم. ولما كان لتلـك الموجات المقادير الهائلة من الثروة، فلابد إذن أن ينعكس ذلك على الاقتصاد.

تمثلت الموجة الكبرى الأولى في طاقة البخار، التي أدت في نهاية المطاف إلى ابتـكار القاطرات. وغذَّت طاقة البخـار الثورة الصناعية التي كان من شأنهـا أن قلبت المجتمع رأسًا على عقب، كمـا أنها حققت ثروة خرافية أيضًـا. لكن الثروة في النظام الاقتصادي الرأسمالي لا تكون راكدة جامدة أبـدًا؛ فلابد أن يتم توجيهها إلى مكان ما. أما الرأسماليون فلا يكفون عن البحث عن الفرصة التاليـة، وغالبًا ما يحولون تلك الثروة لاستثمارها في مشاريع أكثر خيالا ومخاطرة وقد يحصدون أحيانًا نتائج كارثية.

وفي بدايات القرن التاسع عشر، ذهب قدر كبير من الثروة الضخمة التي ولدتها طاقة البخار والثورة الصناعية إلى أسهم القاطرات في بورصة لندن London Stock Exchange. وفي الحقيقـة أن فقاعة قد بدأت في التكون، وظهرت أعداد كبيرة من شركة القاطرات في بورصة لندن. كتبت فيرجينيا بوسـترل Virginia Postrel، وهي كاتبة متخصصـة في مجال الأعمال في

صحيفة نيويورك تايمز New York Times، تقول: (منذ قرن مضى، كانت قيمة شركات السكك الحديدية تساوي نصف قيمة الأوراق المالية المدرجة في بورصة نيويورك). ولما كانت القاطرات في طور الطفولة المبكرة حينئذ، فلم يكن ممكنًا أن تستمر تلك الفقاعة، فانفجرت أخيرًا، وأدت للانهيار الذي حدث عام 1850، وكان أحد الانهيارات العظمى في تاريخ الرأسمالية. وتبع هذا الانهيار الكبير مجموعة من الانهيارات الصغرى التي ظلت تحدث كل عقد من الزمن تقريبًا، والتي تسببت فيها الثروة المفرطة المتولدة عن الثورة الصناعية.

وهنا مفارقة مفادها أن نقطة الذروة في عمر السكك الحديدية كانت في ثمانينيات وتسعينيات القرن التاسع عشر؛ ومن ثم فإن انهيار عام 1850 كان ناتجًا عن حمى تخيلية بالإضافة إلى الثروة التي صنعها العلم، غير أن عملية بناء السكك الحديدية في العالم أجمع كانت أمامها عقود كثيرة جدًا لتصل إلى النضج.

كتب توماس فريدمان Thomas Friedman يقول: (في القرن التاسع عشر، ازدهرت صناعة السكك الحديد في أمريكا، في شكل فقاعة ثم ما لبثت أن انهارت.. وحتى عندما انفجرت الفقاعة، فقد ترك هذا أمريكا ببنية أساسية من السكك الحديدية جعلت السفر والشحن عبر جميع أنحاء القارة الأمريكية أكثر سهولة وأقل تكلفة بكثير).

وبدلاً من أن يتعلم الرأسماليون الدرس، بدأت تلك الدورة في التكرر بعد ذلك مباشرة، وانتشرت موجة ثانية كبرى من التقنية، وكانت بقيادة ثورة الكهرباء والسيارات لإديسون وفورد. وأدت إضاءة المصانع والمنازل

بالكهرباء، وكذلك انتشار سيارة الموديل تي Model T، مرة أخرى إلى صنع ثروة هائلة. وكما هي الحال دائمًا، كان لابد من توجيه الثروة الفائضة في اتجاه ما. لكن الثروة في هذه المرة ذهبت إلى سوق الأوراق المالية الأمريكية U.S. Stock Exchange، في صورة فقاعة من أسهم المنافع والسيارات. لقد تجاهل الناس درس الانهيار الكبير لعام 1850، فقد حدث ذلك في ماض غابر منذ ثمانين عامًا. وفي الفترة بين عام 1900 وعام 1825، بلغ عدد شركات السيارات الناشئة 3000 شركة، وهو أمر لم تكن السوق تستطيع تحمله ببساطة. ولم يكن من الممكن أن تستمر تلك الفقاعة مرة أخرى، ولهذا السبب ولأسباب أخرى، انفجرت الفقاعة عام 1929، وتسببت فيما يعرف باسم (الكساد الكبير)[1] Great Depression.

وتكمن المفارقة هنا في أن رصف الطرق وإضاءة أمريكا وأوروبا بالكهرباء أمران لم يحدثا إلا بعد حدوث الانهيار، خلال الخمسينيات والستينيات.

وحديثًا، جاءت ثالث موجة كبرى من موجات العلوم، وذلك مع ظهور التكنولوجيا المتطورة في صورة أجهزة الحاسب، وأشعة الليزر، والأقمار الصناعية، وشبكة الإنترنت، والإلكترونيات. وكان لابد من توجيه الثروة الفائضة المتولدة عن التكنولوجيا المتطورة إلى مكان ما. وذهبت

(1) الكساد الكبير Great Depression: أزمة اقتصادية كبرى بدأت عام 1929 واستمرت حتى بداية الأربعينيات، وتعتبر أكبر وأشهر الأزمات الاقتصادية في القرن العشرين وهي مثال لما يمكن أن يحدث في القرن الحادي والعشرين. بدأت الأزمة في أمريكا، ويذكر المؤرخون أنها بدأت مع انهيار البورصة الأمريكية. وكان تأثير الأزمة مدمراً على كل الدول تقريباً؛ الفقيرة منها والغنية، وانخفضت التجارة العالمية ما بين النصف والثلثين، كما انخفض متوسط دخل الفرد وعائدات الضرائب كذلك. (المترجم)

الـثروة هذه المرة إلى العقارات، على نحو خلـق فقاعة هائلة. ومع الزيادة الرهيبـة في قيمة العقارات، بدأ الناس في الاقتراض بضمان قيمة منازلهم، مستخدمـين تلك المنازل كحصالات ادخار، وهو ما أسرع بوتيرة تضخم الفقاعـة. وعزز رؤساء البنوك منعدمو الضمير تلك الفقاعة عن طريق منح الرهون العقارية بوفرة وغزارة وكأنها ماء زهيد السعر. وتجاهل الناس مرة أخـرى درس انهياري عام 1850 و1929، اللذين حدثا منذ 80 و160 عامًا مضـت. وفي النهاية، لم يمكن استمرار تلك الفقاعـة، وحدث انهيار عام 2008 ومن ثم الأزمة الاقتصادية العالمية.

كتـب توماس فريدمان يقـول: (لقد شهـدت بدايات القـرن الحادي والعشرين ازدهارًا وفقاعة، ويشهد الآن فشلا في الخدمات المالية. لكن ما أخشاه حقًا هو أن يكون المتبقي من كل هذا إنما هو مجموعة من التجمعات السكنيـة الخاوية في فلوريـدا والتي ما كان ينبغي قـط بناؤها في الأصل، بالإضافـة إلى بعض الطائرات النفاثـة المستعملة التـي لا يستطيع الأثرياء تحمل تكاليفها بعد الآن، وعقود اشتقاقات لا يفهمها أحد).

وعلـى الرغم من كل السخافة والحماقة التـي صاحبت الانهيار الحالي، فـإن المفارقة المضحكة تكمن في أن ربـط العالم بالشبكات سوف يحدث فعليًـا بعـد الانهيار الاقتصادي لعـام 2008. وهكذا فإننـا لم نصل بعد إلى نقطة الذروة لثورة التكنولوجيا.

ويـؤدي بنا هذا إلى سـؤال مفاده: ما الموجة الرابعـة؟ لا يمكن لأحد أن يجـزم بالإجابة عن هذا السؤال، فقد تكون تلك الموجة مزيجًا من الذكاء الاصطناعـي، وتكنولوجيا النانو، والاتصالات عن بعـد، والتكنولوجيا

الحيوية. وكما هي حال الدورات السابقة، فقد يستغرق الأمر ثمانين عامًا أخرى لكي تصنع تلك التقنيات موجة مد من الثروة الهائلة الفائضة. وإننا نأمـل ألا يتجاهل الناس في حوالي عـام 2090 الدرس المستفاد من الأعوام الثمانين السابقة.

منتصف القرن (من 2030 إلى 2070)

الرابحون والخاسرون: الوظائف

مع تطور التقنيات، تحدث تغيرات حادة ومفاجئة في الاقتصاد وتؤدي في بعض الأحيان إلى تفككات اجتماعية. وهناك في أي ثورة فائزون وخاسرون؛ وسوف يصبح هذا الأمر أكثر وضوحًا بحلول منتصف القرن. فلم يعد لدينا حدّادون ولا صُنَّاع عربات ومركبات في كل قرية كما كان الحال قديمًا. وعلاوة على ذلك، فإننا لا نأسى لاختفاء العديد من تلك المهن. لكن السؤال الآن؛ ما المهن التي ستزدهر بحلول منتصف القرن؟ وكيف ستغير ثورة التكنولوجيا الطريقة التي نعمل بها؟

يمكننا إذن أن نحدد الإجابة جزئيًا عن طريق طرح سؤال بسيط مفاده؛ ماذا عن حدود الروبوتات؟ وكما رأينا من قبل، فهناك حجرا عثرة على الأقل تقفان في طريق الذكاء الاصطناعي وهما: التعرف على الأنماط والمنطق السليم. ومن ثم فإن المهن والأعمال التي ستظل باقية في المستقبل إنما هي، في الأساس، تلك التي لا تستطيع الروبوتات القيام بها؛ أي الأعمال التي تتطلب وجود هاتين القدرتين.

من بين عمال الوظائف اليدوية، سيكون الخاسرون هم العمال الذين يؤدون مهام روتينية متكررة (مثل عمال خطوط الإنتاج في مصانع السيارات)؛ لأن الروبوتات تتفوق في هذا المجال. وإن أجهزة الحاسب لتعطي وهمًا زائفًا بأنها تمتلك ذكاءً خاصًا بها، لكن هذا مرجعه أنها

تستطيع أداء عمليات الجمع بسرعة أكبر منا – نحن البشر – ملايين المرات. إننا ننسى أن أجهزة الحاسب إنما هي مجرد آلات حاسبة معقدة متطورة وليست أكثر، وأن الأعمال النمطية المتكررة هي الأعمال التي تبرع فيها. ولهذا السبب كان بعض عمال خطوط تجميع شركات السيارات بين أول من عانوا من ثورة الحاسب الآلي، وهو ما يعني أن أي وظيفة من وظائف المصانع يمكن تقليصها إلى مجموعة من الحركات المتكررة؛ سوف تختفي في النهاية.

والمدهش أن هناك فئة كبيرة من عمال الوظائف اليدوية ستتجاوز ثورة الحاسوب بل ستزدهر أيضًا، فسوف يكون الرابحون هم أولئك الذين يؤدون أعمالا غير متكررة تتطلب مهارة في التعرف على الأنماط. وسوف تكون هناك وظائف في المستقبل لجامعي القمامة، ولضباط الشرطة، ولعمال البناء، وللبستانيين، وللسمكرية. فمن الواجب على جامعي القمامة مثلاً، لكي يستطيعوا جمع القمامة الموجودة في المنازل والشقق، أن يتعرفوا على أكياس القمامة، وأن يضعوها في الشاحنة، وأن يخرجوها منها عند مقلب النفاية، فضلًا عن أن كل قطعة من القمامة تتطلب طريقة مختلفة للتخلص منها. أما بالنسبة لعمال البناء، فتتطلب كل مهمة أدوات مختلفة، ومخططات، وتوجيهات. فليس هناك موقعا بناء متماثلان وليس هناك مهمتان متطابقتين. ويحتاج ضباط الشرطة كذلك لتحليل مجموعة متنوعة من الجرائم في مواقف مختلفة؛ كما أن عليهم فهم دوافع وأساليب المجرمين، وهو أمر يتجاوز كثيرًا قدرات أي جهاز كمبيوتر. وبالمثل فإن كل حديقة أو حوض مختلفة عن غيرها من الحدائق والأحواض، وتتطلب

مهارات وأدوات مختلفة من قبل البستاني، وكذلك والسمكري.

ومـن بين موظفي المكاتب، سيكون الخاسرون هم أولئك الذين يقومون بأعمـال الوساطـة وعمليـات الجـرد والعـد. وهو مـا يعنـي أن الوكلاء والسماسـرة والصرافـين والمحاسبـين الذين يعملـون في المستويات الدنيا سيخرجـون مـن العمل بأعداد كبيرة مـع اختفاء الوظائـف التي يقومون بهـا. وتسمى تلك الوظائـف (احتكاك الرأسمالية)، فالمـرء يستطيع الآن فعليًـا شراء تذكرة طائرة عن طريق استعراض شبكة الويب بحثًا عن أفضل الأسعار، متجاهلا وكيل السفريات.

أصـدرت شركة ميريل لينشـ[1] Merrill Lynch، على سبيل المثال، بيانًا شهـيرًا ذكرت فيه أنها لن تلجأ أبـدًا لتداول الأسهم على شبكة الإنترنت، وأنها ستظـل دائمًا تمارس عملية التداول بالطريقـة التقليدية. وقال جون ستيفنـز John Steffens، رئيس قسم العمولات في الشركة: (ينبغي اعتبار نموذج الاستثمار القائـم على مبدأ (افعلها بنفسك)، والمعتمد على تداول الأسهم عبر الإنترنت، تهديدًا خطيرًا للحياة المالية لأمريكا). ولذا كان من المهـين للشركة أن أرغمتها قـوى السوق على التداول عبر شبكة الإنترنت عام 1999. وكتب تشارلز جاسبارينو Charles Gasparino، من شبكة زد دي نت ZDNet الإخبارية، يقول: (نادرًا ما حدث في التاريخ أن أُرغمت

(1) ميريـل لينشـ Merrill Lynch: شركـة خدمات تمويلية عالمية، تقـوم من خلال شبكة شركاتهـا التابعة والحليفة بتقديم خدمـات عديدة مثل: خدمات سوق رأس المـال والاستثمار والاستشارات وإدارة الـثروة وإدارة الأصول والتأمين البنكي بالإضافـة إلى خدمات مالية أخرى. وتعد الشركة أكبر شركة سمسـرة في العالم؛ إذ يبلغ مجموع أصول عملائها 2.2 تريليون دولار. وقد استحوذ بنك أمريكا على الشركة العملاقة في صفقة تمت عام 2008 في خضم الأزمة الاقتصادية العالمية، ومن ثم لم تعد الشركة كيانًا مستقلا قائمًا بذاته منذ يناير 2009. (المترجم)

الشركـة الرائـدة في مجال ما علـى إجراء تغيير شامل مفاجـئ ما بين عشية وضحاها تقريبًا، أو على تبني نموذج أعمال جديد عليها تمامًا).

ويعنـي هذا أيضًا أن يتم تقليص الهيـكل الهرمي الإداري للشركة، فلما كان المسؤولون في أعلى المناصب يمكنهم التفاعل مباشرة مع قوة المبيعات ومندوبي الشركة في الميدان، فإن الحاجة للوسطاء والسماسرة لتنفيذ الأوامر الصادرة مـن الإدارة العليا تصبح أقل. وفي الحقيقة، أن تلك التخفيضات قد تمت في الوظائف عندما دخلـت أجهزة الحاسب الشخصية لأول مرة إلى مكاتب الشركات.

كيف سينجـو الوسطاء والسماسـرة في المستقبـل إذن؟ سيكون عليهم إضافـة المزيد من القيمة إلى عملهم وتقديم السلعة الوحيدة التي لا تستطيع الآلات تقديمها وهي: المنطق السليم.

ففي المستقبل، على سبيل المثال، سوف تكون قادرًا على شراء منزل على شبكـة الإنترنت من خـلال ساعة يدك أو عدسة الاتصـال. لكن ذلك لن يحـدث، فلن يشتري أحد منزلا بهذه الطريقة؛ لأن شراء منزل يُعَدُّ إحدى المعامـلات المالية الأكثر أهميـة التي يقوم بها الإنسـان في حياته. وللقيام بعملية شـراء مهمة كشراء منزل، يحتاج المـرء للتحدث مع شخص بشري يمكنه إخبـاره بمكان المدارس الجيدة، وأين تقـل معدلات الجريمة، وكيف يعمـل نظام الصرف الصحي.. إلخ. ومن أجل هذا، يحتاج المرء للتحدث إلى سمسار بارع له وزنه.

وبالمثـل، فإن سماسرة الأسهم الأدنى مستـوى سيفقدون أعمالهم بسبب التـداول على شبكة الإنترنت، لكن سماسـرة الأسهم الذين يقدمون نصائح

استثمـار عاقلـة وحكيمة ستكون هنـاك حاجة دائمة إليهـم. وسوف تظل وظائف السمسرة آخـذة في التقلص والتراجع ما لم يقدم السماسرة خدمات ذات قيمـة مضافة، مثل آراء أفضـل محللي الأسـواق والاقتصاديين والمعرفة الخبيرة للسماسـرة المخضرمين. ففي عصر يتسبب فيه التداول الإلكتروني في تخفيض تكلفة تداول الأسهم بشكل هائل، لن ينجح سماسرة الأسهم إلا إذا استطاعوا أيضًا تسويق صفاتهم غير الملموسة، كالخبرة والمعرفة والتحليلات.

وهكـذا فإن الفائزيـن من بين موظفي المكاتـب سيكونون هؤلاء الذين يستطيعـون تقديم منطق سليـم مفيد، ويعني هـذا الموظفين المشاركين في العمليات الإبداعية مثل: الأعمال الفنية، والتمثيل، وسرد النكات، وكتابة البرامـج، والقيادة، والتحليـل، والعلوم، والإبداع؛ وهـي الصفات التي (تجعلنا بشرًا).

وسيحتفـظ العاملون في مجـال الفنون بوظائفهـم؛ لأن شبكة الإنترنت ذات شهيـة نهمة للفنون الإبداعية. فعلى الرغم من أجهزة الحاسب بارعة في محـاكاة الفنون وتقليدهـا ومساعدة الفنانين في تحسينهـا، فإنها بائسة في استحـداث أشكال جديدة من الفنون. إن صنع فنون تُلهم وتأسر وتثير المشاعر وتبعـث القشعريرة في النفوس لتفوق كثـيرًا جدًا قدرات أجهزة الحاسب؛ ذلك أن كل تلك الصفات تتطلب منطقًا سليمًا.

وسوف يحتفظ كتاب الروايـات وكتاب السيناريو وكتاب المسرحيات بأعمالهم أيضًا؛ لأن عليهم توصيل المشاهد الواقعية، والصراعات البشرية، والانتصـارات والهزائم الإنسانية. كما أن محـاكاة الطبيعة الإنسانية، التي تتطلـب فهمًا للدوافع والنوايا، أمر يفـوق بكثير قدرات أجهزة الحاسب.

فأجهزة الحاسب لا تجيد تحديد ما يجعلنا نبكي أو نضحك؛ فهي نفسها لا تستطيع البكاء أو الضحك، أو حتى فهم ما هو مضحك أو ما هو مبكٍ.

وسوف يحتفظ الأشخاص المنخرطون في العلاقات الإنسانية، مثل المحامين، بوظائفهم.

فعلى الرغم من أن المحامي الآلي يمكنه الإجابة عن الأسئلة البدائية البسيطة فيما يتعلق بالقانون، فإن القانون نفسه دائم التغير، بناءً على المعايير والأعراف الاجتماعية المتغيرة. ويتلخص جوهر تفسير القانون في الحكم – في الأساس – على القيمة، وهو ما تعجز عنه أجهزة الحاسب. فلو كان القانون صارمًا وفاصلاً وذا تأويلات واضحة لا لبس فيها، لما كانت هناك حاجة للمحاكم أو للقضاة أو لهيئات المحلفين. إن الروبوت لا يستطيع أن يحل محل هيئة المحلفين؛ لأن هيئات المحلفين غالبًا ما تمثل عادات مجموعة محددة من الناس وأعرافها، وتتغير تلك العادات والأعراف دائمًا مع الوقت. وقد كان هذا الأمر أشد ما يكون وضوحًا عندما اضطر قاضي المحكمة العليا بوتر ستيوارت Potter Stewart ذات مرة لتعريف معنى الإباحية؛ حيث فشل في تعريفها، لكنه ختم بقوله: (إنني أعرفها عندما أراها).

علاوة على ذلك، فإن الأرجح أن استبدال الروبوتات بالنظام القضائي لن يكون قانونيًا؛ لأن قوانيننا الأمريكية حافظت على قدسية مبدأ أساس مفاده أن تتشكل هيئات المحلفين من نظراء لنا. ولما كان من المستحيل أن تكون الروبوتات نظراء لنا، فلن يكون قانونيًا أن تحل محل نظامنا القضائي.

قد تبدو القوانين – ظاهريًا – بارعة ومحددة جيدًا، وذات صياغة دقيقة وصارمة ومسميات وتعريفات تبدو ملغزة وعسيرة، لكن هذا

مجرد مظهر فحسب؛ لأن تأويلات تلك التعريفات دائمة التغير. فدستور الولايات المتحدة، على سبيل المثال، يبدو كأنه وثيقة دقيقة للغاية، غير أن المحكمة العليا دائمًا ما تكون منقسمة حول أسئلة مثيرة للجدل بشأنه؛ وهي مستمرة دائمًا في إعادة تأويل كل كلمة وعبارة في الدستور. ويمكن رؤية الطبيعة المتغيرة للقيم البشرية بسهولة بمجرد مراجعة التاريخ، فقد قضت المحكمة العليا الأمريكية عام 1857 – على سبيل المثال – بأن العبيد لا يمكن أبدًا أن يصبحوا مواطنين في الولايات المتحدة، وهو الأمر الذي تطلب حربًا أهلية وموتًا لآلاف البشر لأجل إسقاط هذا القرار.

وستظل القدرة على القيادة سلعة ذات قدر وقيمة عالية في المستقبل كذلك. فالقيادة تتضمن – ولو بشكل جزئي – جمعَ كل المعلومات، ووجهات النظر، والآراء المتاحة ثم اختيار الأنسب منها، بما يتفق مع أهداف معينة. وربما أصبحت القيادة أمرًا في غاية التعقيد؛ لأنها تتطلب إلهام العاملين البشريين ممن لديهم نقاط قوة ونقاط ضعف خاصة بهم، وتوجيههم، وإرشادهم وفقًا لها. وتتطلب جميع تلك العوامل فهمًا متطورًا للطبيعة الإنسانية، ولقوى السوق، وما إلى ذلك مما يفوق بكثير جدًّا قدرات أي جهاز كمبيوتر.

مستقبل الترفيه

يعني هذا أيضًا أن صناعات بأكملها، مثل صناعة التسلية والترفيه، سوف تتعرض لتغيير عميق. فعلى سبيل المثال، كانت صناعة الموسيقى منذ زمن سحيق تعتمد على موسيقيين أفراد يتنقلون من مدينة إلى أخرى،

ويظهرون بأشخاصهم. وكان العاملون في هذا المجال في حالة تنقل دائم؛ يقيمون حفلا في إحدى البلدات ثم ينتقلون إلى البلدة التالية. لقد كانت حياتهم صعبة بالفعل، والمقابل المادي ضعيفًا. وقد تغير هذا النمط العتيق عندما اخترع توماس إديسون جهاز الفونوغراف، وغير للأبد الطريقة التي نستمع بها للموسيقى. وفجأة، أصبح المطرب قادرًا على إنتاج تسجيلات تباع بالملايين، وتحقيق إيرادات على نطاق لم يكن يمكن تصوره فيما مضى. وخلال جيل واحد، أصبح مطربو الروك الأثرياء الجُدُد في المجتمع. بل إن نجوم موسيقى الروك، وهم الذين ما كانوا ليصبحوا في جيل آخر إلا نادلين بسطاء في المطاعم، صاروا الرموز المبجلة في أوساط الشباب.

لكن صناعة الموسيقى تجاهلت -للأسف- نبوءات العلماء باليوم الذي سيتم فيه تبادل ملفات الموسيقى ببساطة عبر شبكة الإنترنت، مثل البريد الإلكتروني. وبدلاً من أن تضع هذه الصناعة أساسًا لكيفية كسب المال عن طريق البيع عبر الشبكة، حاولت مقاضاة الشركات الناشئة التي تقدم ملفات الموسيقى بتكلفة أقل بكثير من تكلفة الأسطوانات المدمجة. وكان هذا أشبه بمحاولة دحر أمواج المحيط. ولعل هذا الإهمال هو سبب الاضطراب الحالي في صناعة الموسيقى.

(غير أن الأمر الطيب في ذلك أن المطربين المجهولين يمكنهم الآن الصعود إلى القمة من دون الحاجة لمواجهة الرقابة الفعلية لشركات الموسيقى الكبرى التي كانت في الماضي هي من يحدد من سيكون نجم الروك القادم. لذا فإن كبار الموسيقيين سيتم اختيارهم في المستقبل بصورة أكثر ديمقراطية، من

خلال قوى سوقيــة وتقنية تتيح المشاركة للجميع، وليس بواسطة المديرين التنفيذيين في شركات الموسيقى).

وتواجــه الصحف أيضًا معضلة مشابهة. ففــي الوضع التقليدي المعتاد، يمكن للصحف أن تعتمد على تدفق ثابت من العوائد من خلال الإعلانات، خاصــة في قسم الإعلانــات المبوبة. ولم يكن تدفق العوائــد يأتي في المقام الأول من شراء الصحيفــة أو الدورية نفسها، وإنما من إيرادات الإعلانات التي تحتويها صفحاتها. لكن الآن أصبح بمقدورنا تحميل أخبار اليوم مجانًا، ونشــر الإعلانات على مستوى الأمة عبر مجموعة مــن مواقع الإعلانات. ونتيجة لذلك، يتقلص حجم وتوزيع الصحف في جميع أنحاء البلاد.

لكــن يبدو أن هذه العملية ستتوقف عند هــذا الحد. فهناك جلبة شديدة علــى شبكــة الإنترنت، إذ يخطب مدعــو القدرة على التنبــؤ، والمصابون بجنون العظمــة، في جماهيرهم في محاولة لطرح أفكار غريبة، إلى حد أن الناس في النهاية سيقدرون سلعة أخرى جديدة، وهي: الحكمة. والحقائق العشوائية بالطبع لا ترتبــط بالحكمة. لذا سيسأم الناس في المستقبل تبجح المدونين المجانين وصخبهم، ويبحثون عن مواقع محترمة توفر سلعة الحكمة نادرة الوجود.

وكما قال عــالم الاقتصاد هاميش ماكــراي Hamish McRae: (عمليًا، الجــزء الأعظم من تلــك (المعلومــات) مجرد نفايــة؛ إنها المكافــئ الثقافي لمصطلح البريد التافه). ويزعــم ماكراي أن: (حسن التقدير سيظل يحظى بتقديــر كبير: فالمحللــون الماليون الناجحون مثلاً هــم، كمجموعة، أعلى الباحثين أجرًا في العالم كله).

المصفوفة

لكن ماذا عن ممثلي هوليوود؟ تُرى سيجد الممثلون أنفسهم في صفوف العاطلين عن العمل، بدلاً من كونهم مشاهير شباك التذاكر وحديث المجتمع؟ مؤخرًا، كان هناك تقدم كبير في محاكاة أجهزة الحاسب للجسد البشري، بحيث تبدو شبه حقيقية. فالشخصيات المتحركة المصنوعة بواسطة الحاسب لها الآن سمات ثلاثية الأبعاد وظلال. فهل سيصبح الممثلون والممثلات موضة مهجورة إذن في وقت قريب؟

ليس على الأرجح. فهناك مشكلات جوهرية تواجه محاولة محاكاة الوجه البشري بواسطة الحاسب. لقد طور البشر في الماضي السحيق قدرة مذهلة عجيبة على تمييز وجوه غيرهم من البشر لأن بقاءنا على قيد الحياة كان يعتمد على هذا. فقد كان على البشر أن يحددوا في لمح البصر ما إذا كان شخص ما صديقًا أم عدوًا. وفي غضون ثوان، كان عليهم أن يحددوا بسرعة عمر الشخص، وجنسه، ومدى قوته، وشعوره نحونا. وهؤلاء الذين لم يتمكنوا من فعل هذا ببساطة لم يتمكنوا من النجاة والبقاء على قيد الحياة لتوريث جيناتهم للأجيال التالية. ومن هنا، فإن المخ البشري يكرس قدرًا هائلاً من قدرته على المعالجة في قراءة وجوه الناس. وفي الحقيقة، عبر فترات طويلة جدًا من تاريخ تطورهم، كان البشر يتواصلون – قبل أن يتعلموا التحدث – من خلال الإيماءات ولغة الجسد، وكان جزء كبير من قدرة مخنا مكرسًا لاكتشاف إشارات الوجه. ولا شك أن أجهزة الحاسب التي تواجه صعوبة بالغة في التعرف على الأشياء البسيطة من حولها، تواجه صعوبة أكبر كثيرًا في إعادة تشكيل وجه بشري واقعي.

فحتى الأطفال يعرفون على الفور ما إذا كان الوجه الذي يرونه على شاشة السينما أو التليفزيون وجهًا بشريًا حقيقيًا أو محاكاة مصنوعة بأجهزة الحاسب (وبالطبع يعود هذا إلى أسلوب رجل الكهف. ولو أننا خُيرنا بين مشاهدة فيلم حركة واقعي يقوم ببطولته الممثل المفضل لدينا وبين مشاهدة فيلم حركة كرتوني، فإننا لا زلنا نفضل الخيار الأول).

وعلى النقيض، نجد أن محاكاة الجسد البشري بواسطة الحاسب أسهل كثيرًا. فعندما تخلق هوليوود تلك الوحوش الواقعية والأشكال الخيالية في أفلامها، فإنها تستخدم طريقًا مختصرًا، إذ يرتدي أحد الممثلين حلة ضيقة جدًا تحتوي على مستشعرات عند مفاصلها. وعندما يتحرك الممثل أو يرقص، ترسل هذه المستشعرات إشارات إلى جهاز كمبيوتر يقوم بعد ذلك بخلق شكل متحرك يؤدي تلك الحركات نفسها بالضبط، كما حدث في فيلم (آفاتار) Avatar.

وقد تحدثت ذات يوم في مؤتمر برعاية معمل ليفرمور الوطني Livermore National Laboratory، حيث يتم تصميم الأسلحة النووية، وعلى العشاء كنت جالسًا إلى جوار شخص من العاملين في فيلم (المصفوفة) The Matrix. وقد اعترف لي بأن القائمين على الفيلم اضطروا لاستخدام قدر هائل من الوقت في العمل على أجهزة الحاسب لصنع المؤثرات الخاصة المبهرة التي احتواها الفيلم. وقال لي إن أحد أصعب مشاهد الفيلم اقتضى منهم بناء مدينة خيالية كاملة أثناء مرور طائرة هليكوبتر من فوقها. وأضاف أنه مع ما يكفي من وقت العمل على الحاسب، أمكن إنشاء تلك المدينة الخيالية. لكنه أقر بأن محاكاة وجه بشري واقعي كان أمرًا

يتجاوز قدراته. وهـذا لأنه عندما يصطدم شعاع من الضوء بوجه بشري، فإنـه يتشتت في جميع الاتجاهات؛ ولابد من تعقب كل جسيم من الضوء بواسطة الحاسب. وهكذا، فإن كل نقطة ذرة من جلد الوجه البشري لابد مـن وصفها بواسطة دالـة رياضية معقدة للغاية، وهـو صداع حقيقي في رأس أي مبرمج كمبيوتر.

وأتذكـر أني علقـت على ذلك بقـولي إن هذا يشبه إلى حـد كبير فيزياء الطاقـة العالية، وهي مجـال تخصصي. ففي أجهزة تحطيـم الذرات، نقوم بصنـع شعاع قوي من البروتونات التي تصطدم بهدف ما، مخلفةً وابلا من المخلفـات التي تتبعـثر في كل الاتجاهات. ومن ثم نستخـدم دالة رياضية (تسمى دالة عامل التشغيل) تصف حالة كل جسيم.

وقـد سألته شبه مـازح حول ما إذا كان هناك علاقـة بين الوجه البشري وبين فيزياء الطاقة العاليةً؟ فأجابني بالإيجاب. فأجهزة الحاسب التي تقوم بالمحـاكاة تستخدم الأسلوب عينـه الذي تستخدمه فيزيـاء الطاقة العالية لخلـق الوجوه التـي نراها في أفلام السينما! والواقع أننـي لم أدرك أبدًا من قبل أن الصيغة الملغزة التي نستخدمها نحن علماء الفيزياء النظرية يمكن في يـوم من الأيام أن تحـل مشكلة محاكاة الوجه البشري. وعلى أي حال، فإن حقيقـة قدرتنا نحن البشر على التعرف علـى الوجه البشري تشبه الطريقة التي نستخدمها نحن الفيزيائيون في تحليل الجسيمات دون الذرية.

المستقبل البعيد (من 2070 إلى 2100)

مدى تأثر الرأسمالية

تلـك التقنيات الجديدة التـي ناقشناها في هذا الكتـاب في غاية القوة، حيـث إنها بحلـول نهاية القرن سـوف تؤثر على الرأسماليـة نفسها. إن قواعـد العرض والطلب هي ذاتها لم تتغير، لكن بزوغ العلم والتكنولوجيا غـير مفهـوم الرأسمالية الذي وضعـه آدم سميـث[1] Adam Smith بعدة طـرق مختلفـة، بداية من الطريقة التـي يتم توزيع البضائع بهـا وصولاً إلى طبيعـة الثروة نفسها. وفيما يلي بعض أهم الطرق المباشرة التي تأثرت بها الرأسمالية:

الرأسمالية المثالية

تعتمـد الرأسماليـة عند آدم سميث علـى قوانين العرض والطلب: تستقر الأسعار عندما يكون المعروض من أي سلعة متفقًا مع الطلب عليها. فإذا كانت سلعـة ما غير متوفرة والطلب عليها زائد، فإن سعرها يرتفع. غير أن المستهلك والمنتج لديهما فهم جزئي غـير مكتمل لقانون العرض والطلب، وبالتالي فإن الأسعار يمكن أن تتفاوت بشدة من مكان إلى آخر. لذا فإن الرأسمالية عند آدم

(1) آدم سميـث Adam Smith: فيلسـوف أسكتلنـدي، رائد في الاقتصاد السياسي، وهو مؤلـف لعدة كتب، منها (نظرية المشاعر الأخلاقية) و(ثروة الأمم). وهذا الكتاب الأخير عادة ما يعتبر من أعظم ما أبدع وأول عمل يتناول الاقتصاد الحديث. ويعتبر آدم سميث على نطاق واسع أبو الاقتصاد الحديث. (المترجم)

سميث لم تكن مثالية. بيد أن هذا سيتغير بالتدريج في المستقبل.

وتصبح (الرأسمالية المثالية) ممكنة عندما تكون لدى المنتج والمستهلك معرفة تامة بالسوق، وبالتالي تتحدد الأسعار على نحو مثالي. وفي المستقبل، سوف يستعرض المستهلكون – على سبيل المثال – شبكة الإنترنت عبر عدسات اتصالهم، ويحظون بمعرفة كاملة بجميع الأسعار المقارنة. ويستطيع المرء الآن بالفعل البحث على الإنترنت لمعرفة أفضل أسعار تذاكر الطيران. وسوف ينطبق هذا في النهاية على جميع المنتجات التي تباع في العالم. وعندها، سوف يعرف المستهلكون كل شيء عن المنتجات، من خلال عدسات، أو شاشات حائطية، أو أجهزة الهاتف المحمول. فإذا دخلت متجر بقالة مثلاً، سوف تستعرض المنتجات المتنوعة المعروضة. ومن خلال الاتصال بشبكة الإنترنت عبر عدسة الاتصال الخاصة بك، ستحدد على الفور ما إذا كان المنتج الذي تراه معروضًا يمثل صفقة رابحة أم لا. وسوف تنتقل الميزة إلى المستهلكين لأنهم سيعرفون على الفور كل شيء عن المنتج؛ تاريخه، وسجل أدائه، وسعره بالنسبة لمنتجات أخرى، ونقاط قوته وضعفه.

وسوف تكون لدى المنتج أيضًا حيلاً خفية، كاستخدام عملية التنقيب عن البيانات بغرض فهم رغبات واحتياجات المستهلكين، ومسح شبكة الإنترنت لمعرفة أسعار السلع. وهذا من شأنه أن يزيل الكثير من الغموض والحاجة للتخمين في عملية تحديد الأسعار. لكن في الأساس، المستهلك هو صاحب الميزة، وهو من سيتمكن فورًا من اكتساب معرفة مقارنة لأي منتج، وهو من سيطلب أرخص الأسعار. وعلى المنتج بعد ذلك أن يستجيب للمطالب دائمة التغير للمستهلكين.

من الإنتاج واسع النطاق إلى التخصيص الفردي واسع النطاق

في المنظومة الحالية، يتم إنتاج السلع على نطاق واسع. ويشتهر عن هنري فورد أنه قال ذات مرة إن المستهلك يمكنه الحصول على السيارة موديل تي بأي لون يريد، طالما كان هو اللون الأسود. وأدى الإنتاج واسع النطاق إلى تخفيض الأسعار بشدة، وحل محل النظام القديم عديم الكفاءة القائم على البضائع المصنوعة يدويًا. وسوف تغير ثورة الحاسب كل هذا الأمر.

فاليوم، إذا رأى عميل ما ثوبًا بشكل ولون مثاليين بالنسبة له لكن مقاسه لا يناسبه، لا تتم صفقة البيع. لكن في المستقبل، سوف يتم تخزين قياساتنا ثلاثية الأبعاد بدقة في بطاقاتنا الائتمانية أو محفظاتنا. فإذا كان مقاس ثوب أو لباس من أي نوع لا يناسبنا، فسيمكنك إرسال بريد إلكتروني بقياساتك إلى المصنع ليقوم بإنتاج الثوب الذي تريده بالمقاس الذي تريده بشكل فوري. في المستقبل، سوف يناسبك أي شيء.

إن عملية التخصيص الفردي اليوم أمر غير عملي لأنه من المكلف جدًا صنع منتج جديد لعميل واحد فقط. لكن عندما يكون الجميع متصلين بشبكة الإنترنت، بما في ذلك المصنع، حينها يمكن صنع المنتجات المخصصة بنفس سعر العناصر التي تنتج على نطاق واسع.

التقنية الجماعية كمنفعة عامة

عندما تصبح التقنيات واسعة الانتشار، مثل الكهرباء والماء الجاري، تتحول في نهاية المطاف إلى منافع عامة. ومع تسبب الرأسمالية في تخفيض الأسعار وزيادة المنافسة، سوف تباع تلك التقنيات كمنافع عامة؛ أي أننا

لــن نبالي من أين تأتي، وسوف ندفع مقابلها فقط عندما نحتاجها. والأمر ذاته ينطبق على عمليــة الحوسبة. فسوف تكتسب (الحوسبة السحابية)[1] cloud computing، وهــي التــي تعتمــد بشــدة على شبكــة الإنترنت في إجراء معظم العمليات الحسابية، الشعبيــة والانتشار بالتدريج. والحوسبة السحابيــة تنخفض بعملية الحوسبة إلى مجرد منفعــة؛ أي شيء ندفع مقابله فقط عندما نحتاجه، ولا نفكر فيه عندما لا نحتاج إليه.

ويختلف هذا عن الموقف الــذي نجده اليوم، حيث يقوم معظمنا بعملية الكتابــة على الحاسب، أو معالجة الكلمات، أو الرسم على جهاز كمبيوتر سطحــي أو محمــول، ثم نتصــل بشبكة الإنترنت عندمــا نريد البحث عن المعلومات. ففي المستقبل، سوف يمكننا تدريجيًا التخلي عن الحاسب كليًا، والوصول لجميع المعلومات التي نريدها على شبكة الإنترنت مباشرة، ومن ثــم ندفع فقط مقابل الوقت الــذي قضيناه. وهكذا، تصبح الحوسبة منفعة تقاس بالكم، مثل الماء والكهرباء. سوف نعيش في عالم تتسم فيه أجهزتنا، وأثاثنا، وملابسنا، وما إلى ذلك بالذكاء، وسوف نتحدث إلى تلك الأشياء عندما نحتاج إلى خدمات معينة. فشاشات الإنترنت ستكون مختفية في كل مكان، وستظهر لوحات المفاتيح متى احتجنا إليها. ولسوف تحل الوظيفة نفسها محــل كيان الحاسب. وهكذا، وعلى نحــو يدعو للسخرية، سوف تتسبب ثورة الحاسب في جعل أجهزة الحاسب تختفي في السحاب.

(1) الحوسبة السحابية cloud computing: مصطلح يشير إلى نصوص المصادر الحاسبية المتوفرة تحت الطلب عبر الشبكة؛ ومن ثم يمكن مقارنتها بمصدر للكهرباء أو الغاز مثلاً. ويتم فيها توفير الخدمات للمستخدمين في صيغةٍ سلسةٍ مستساغة ليتم فهمها بسهولة ويسر، من دون حاجتهم إلى معرفة كيفية توفير مثل تلك الخدمات. (المترجم)

استهداف العملاء

تاريخيًا، كانت الشركات تبث إعلاناتها عبر صفحات الجرائد، والراديو، والتليفزيون... إلخ، من دون أدنى فكرة في الغالب عن الأثر الذي تحدثه تلك الإعلانات. وكانت لا تستطيع بعد ذلك حساب مدى فعالية الحملة الإعلانية إلا من خلال زيادة حجم المبيعات. لكن في المستقبل، سوف تعرف الشركات فورًا عدد الأشخاص الذين قاموا بتحميل أو استعراض منتجاتها. فلو تمت استضافتك في موقع راديو يتم بثه على شبكة الإنترنت مثلاً، فمن السهل أن تعرف بالضبط كم عدد الناس الذين استمعوا إليك. وسوف يتيح هذا للشركات توجيه الجماهير لمواصفات مخصصة.

(غير أن هذا يثير مسألة أخرى، وهي: مسألة الخصوصية التي تتسم بالحساسية، والتي ستكون إحدى أكبر القضايا إثارة للجدل في المستقبل. ففي الماضي، كانت هناك مخاوف من أن يؤدي عصر الحاسب لظهور فكرة (الأخ الأكبر) Big Brother. وفي رواية جورج أورويل[1] George Orwell التي تحمل عنوان (1984)، يسيطر نظام شمولي على كوكب الأرض كله، متسببًا في مستقبل شيطاني ينتشر فيه الجواسيس في كل مكان، وتقمع كل الحريات، وتأخذ الحياة شكل سلسلة لا نهاية لها من الإهانات والمذلة. وعند مرحلة معينة، ربما كانت شبكة الإنترنت قد تطورت لتصبح آلة تجسس متغلغلة ومنتشرة في كل مكان. غير أنه في عام 1989،

(1) جورج أورويل George Orwell: كاتب وروائي بريطاني. وهذا الاسم هو الاسم المستعار له الذي اشتهر به. وقد تأثر منذ طفولته بكتابات جورج برنارد شو وسومرست موم، وقرأ أعمال إتش. جي. ويلز. وتعد روايته (1984) من أشهر أعماله وأكثرها أهمية. (المترجم)

وبعـد تفكك الكتلة الشيوعية، فتحت مؤسسـة العلوم الوطنية National Science Foundation الشبكـة، وحولتها مـن أداة عسكرية في الأساس إلى أداة تربـط بين الجامعات، بـل والكيانات التجاريـة، وهو ما أدى في النهاية إلى انتشار الشبكـة في كل مكان خلال التسعينات. واليوم، لم تعد فكـرة (الأخ الأكبر) واردة. والواقع أن المشكلة الحقيقية جاءت من (الأخ الأصغـر)؛ أي من المجرمـين الفضوليين المتطفلـين، والصحف الصفراء، وحتـى مـن الشركات التـي تستخدم عمليـة البحث عن البيانـات لمعرفة تفضيلاتنـا الشخصية. وكما سنناقشـ في الفصل التالي، فإن تلك مشكلة لـن تختفي، وإنمـا ستتطور مع الوقت. ومن المرجح جـدًا أن تكون هناك لعبـة قط وفأر مستمـرة بين مطوري البرامج الذيـن يكتبون برامج لحماية خصوصيتنا وأولئك الذين يكتبون البرامج لانتهاك تلك الخصوصية).

من الرأسمالية السلعية إلى الرأسمالية الفكرية

حتـى الآن، تساءلنـا فقط عن الطريقة التي تغير بهـا التكنولوجيا طريقة عمـل الرأسماليـة. لكـن مـع كل الاضطراب الـذي تخلقـه ابتكارات التكنولوجيـا المتطورة، مـاذا سيكون الأثر الذي سيتركـه هذا على طبيعة الرأسماليـة نفسهـا؟ يمكـن تلخيص كل الاضطراب الـذي تصنعه تلك الثـورة التكنولوجية في مفهوم واحد: التحـول من الرأسمالية السلعية إلى الرأسمالية الفكرية.

كانـت الثروة أيام آدم سميـث تقاس وفقًا للسلع. وقـد تذبذبت أسعار هـذه السلـع، لكنها كانت تنخفضـ عادة على نحو ثابـت طوال الـ 150

عامًا الماضية. واليوم، يمكنك أن تتناول إفطارًا لم يكن ملك إنجلترا يستطيع تناولـه منذ 100 عام مضت. والأطعمة الغريبة الآتية من جميع أنحاء العالم تباع الآن على نحـو عادي في المتاجر. ويرجع انخفاض أسعار السلع إلى عدة عوامل متنوعة، مثل الإنتاج واسع النطاق بشكل أفضل، والشحن في الحاويات، والتواصل، والمنافسة.

(على سبيل المثال، يواجه طلاب المدارس الثانوية صعوبة في فهم السبب الذي جعل كولومبوس يخاطـر بحياته لإيجاد طريق تجاري أقصر للتوابل القادمة من الشرق. إنهم يتساءلون: لماذا لم يذهب ببساطة إلى متجر البقالة ويشـتري بعضـ التوابل؟ والجواب بسيـط أيضًا: إن التوابـل والأعشاب كانت، في زمـن كولومبوس، باهظة الثمن. ويرجـع ذلك إلى أنها كانت تستطيـع التغطيـة على مذاق الطعام الفاسـد، إذ لم تكن هناك ثلاجات في تلك الأيام. وأحيانًا، حتى الملوك والأباطرة كانوا يضطرون لتناول الطعام الفاسـد على العشاء. كذلك لم تكـن هناك سيارات تبريد، أو حاويات، أو سفن لحمل التوابل عـبر المحيطات. ومن ثم، فقد كانت تلك السلع عالية القيمـة إلى حد جعل كولومبوس يغامـر بحياته للحصول عليها، رغم أنها تباع بأسعار زهيدة اليوم).

وما يحـل محل الرأسمالية السلعية الآن هو الرأسمالية الفكرية. ويشتمل رأس المـال الثقافي تحديـدًا على ما لا تستطيـع آلات الروبـوت والذكاء الاصطناعي تقديمه، وهو: التعرف على الأنماط والمنطق السليم.

وكما قـال ليسـتر ثـورو Lester Thurow مـن معهـد ماساتشوستس للتكنولوجيا ذات مـرة: (اليوم، المعرفة والمهارات هـي المصادر الوحيدة

للميزة المقارنـة.. إن وادي السليكون والطريقة 128 في أمريكا يحتفظان بمكانتهمـا ببساطـة لأن فيهمـا تكمن قوة المـخ. فليس هنـاك شيء آخر يساندهما).

لكن لماذا يهز هذا التحول التاريخي أساس الرأسمالية؟ ببساطة شديدة، المـخ البشـري لا يمكن إنتاجـه على نطـاق واسع. ففي حين يمكـن إنتاج الأجهـزة والمعدات علـى نطاق واسع وبيعها بالطن، فـإن المخ البشري لا يمكن إنتاجه بهذه الصورة، بمعنى أن المنطق السليم سيكون العملة الرابحة في المستقبل. وعلى عكس الحال مع السلع، لابد من تعزيز ورعاية وتثقيف البشـر من أجل خلق رأسمال ثقافي، وهـو أمر يستغرق عقودًا من الجهود الفردية.

وكمـا يقـول ثورو: (مع خـروج جميـع العوامل الأخرى مـن معادلة التنافسية، أصبحت المعرفة المصدر الوحيد للميزة التنافسية المستمرة لأمد طويل).

علـى سبيل المثـال، سوف تصبح البرامج أكثر أهميـة بكثير من المعدات والأجهزة. إذ ستباع رقائق الحاسب بكميات كبيرة مع استمرار الانخفاض الحاد في أسعارها، لكن البرامج لابد من إنتاجها بالطريقة التقليدية القديمة؛ أي بواسطة إنسان يعمل بالورقة والقلم، ويجلس هادئًا في مقعده. فمثلاً، الملفـات المخزنة على جهاز الحاسـب المحمول الخاص بك، وهي التي قد تحتوي على خطط ومخطوطـات وبيانات قيمة، قد تساوي مئات الآلاف من الدولارات، لكن الحاسب المحمول نفسه لا يساوي سوى بضع مئات من الـدولارات. وبالطبع، يمكن نسخ البرامج الموجودة بسهولة وإنتاجها

علـى نطاق واسع، لكن لا يمكن ذلك فيما يتعلق بإنشاء برامج جديدة؛ إن هذا يتطلب فكرًا بشريًا.

ووفقًـا لعالم الاقتصاد البريطاني هاميش ماكـراي، فإنه: (في عام 1991، أصبحـت بريطانيا أول بلد في العالم تحقـق مكاسب من الصادرات الخفية (الخدمات) أكبر من مكاسبها من الصادرات الملموسة الواضحة).

وفي حين انخفض بشدة نصيب الاقتصاد الأمريكي القائم على التصنيع علـى مـر العقود، فـإن إيـرادات القطاع الـذي يشتمل علـى الرأسمالية الفكرية (أفـلام هوليوود، وصناعة الموسيقى، وألعـاب الفيديو، وأجهزة الحاسـب، والاتصالات عن بعد.. إلخ) ارتفعت بشدة. وهذا التحول من الرأسماليـة السلعية إلى الرأسمالية الفكرية تحـول تدريجي، بدأ في القرن السابـق، لكنه يتسارع مـع كل عقد يمر. فقد كتب ثـورو، عالم الاقتصاد في معهـد ماساتشوستس للتكنولوجيا، يقول: (بعد علاج التضخم العام، انخفضـت أسعـار الموارد الطبيعيـة بنسبة تكاد تصـل إلى 60 في المئة منذ منتصف السبعينات حتى منتصف التسعينات من القرن العشرين).

وبعضـ الدول تفهـم هذا. تأمل مثلاً الدرس الـذي تعطيه لنا اليابان في حقبـة ما بعد الحرب العالمية الثانية. فهـي لا تمتلك موارد طبيعية ضخمة، ومـع ذلك فإن اقتصادها يقـف بين أكبر الاقتصـادات في العالم. وثروتها اليـوم هي تعبير عـن اجتهاد ومثابرة ووحـدة شعبها، وليـس عن الموارد الطبيعية الموجودة في أرضها.

بيـد أن العديـد من الـدول لا تدرك تلـك الحقيقة الجوهريـة، ولا تعد مواطنيهـا للمستقبل، وتعتمد بـدلاً من ذلك على السلـع بشكل رئيس.

ويعني هذا أن الأمم الغنية بالموارد الطبيعية لكنها لا تفهم هذا المبدأ، قد تغرق في مستنقع الفقر في المستقبل.

ماذا عن الفجوة الرقمية؟

بعض الأصوات تشجب ثورة المعلومات، وتقول إنه سيكون هناك صدع آخذ في الاتساع بين (الأغنياء رقميًا) و(الفقراء رقميًا)؛ أي بين هؤلاء الذين يمكنهم الاستفادة من قوة الحاسب وأولئك الذين لا يمكنهم ذلك. وتلك الثورة، حسب زعمهم، سوف توسع الانشقاقات الاجتماعية، وتفتح الباب أمام تفاوتات وتباينات جديدة في الثروة يمكن أن تمزق نسيج المجتمع.

لكن تلك صورة محدودة للمشكلة الحقيقية. فمع تضاعف قوة أجهزة الحاسب كل ثمانية عشر شهرًا، أصبح بمقدور الأطفال الفقراء أيضًا استخدام تلك الأجهزة. وقد شجع ضغط النظراء والأسعار الزهيدة استخدام الأطفال الفقراء لأجهزة الحاسب وشبكة الإنترنت. وفي إحدى التجارب، تم منح تمويل لشراء جهاز محمول لكل فصل دراسي. ورغم النوايا الحسنة للمشروع، كانت النظرة المنتشرة هي أنه قد فشل. أولا، لأن الحاسب المحمول عادة ما كان يوضع في ركن الفصل من دون استخدام، غالبًا لأن المعلم لم يكن يعرف كيف يستخدمه. وثانيًا، لأن معظم الطلاب كانوا متصلين بأصدقائهم بالفعل عبر الشبكة، متجاهلين ببساطة ذلك الجهاز الموجود في فصولهم.

والواقع أن المشكلة الحقيقية ليست إمكانية الوصول، وإنما هي

الوظائف. فسوق العمل يمر بمرحلة تغيير تاريخي، والدول التي ستتمكن من النمو والازدهار في المستقبل هي التي تستغل هذه الحقيقة.

وبالنسبة للدول النامية، فإن إحدى الاستراتيجيات هي استخدام السلع لبناء أساس سليم، ومن ثم استخدام هذا الأساس كنقطة انطلاق لصنع التحول نحو الرأسمالية الفكرية. والصين، على سبيل المثال، كانت تتبنى بنجاح تلك العملية المكونة من خطوتين: فالصينيون يبنون آلاف المصانع التي تنتج البضائع للسوق العالمية، لكنهم يستخدمون الأرباح المتولدة في إنشاء قطاع خدمات قائم على الرأسمالية الفكرية. وفي الولايات المتحدة، نجد أن نسبة 50 في المئة من طلاب الدكتوراه في الفيزياء مولودين خارج البلاد (ويرجع ذلك إلى حد كبير إلى أن الولايات المتحدة لا تنتج بذاتها ما يكفي من الطلاب المؤهلين). ومن بين طلاب الدكتوراه الأجانب أولئك، تأتي الأغلبية من الصين والهند. وقد عاد بعض هؤلاء إلى أوطانهم لإنشاء صناعات جديدة بالكلية.

وظائف المستوى الأول

ستكون وظائف المستوى الأول إحدى ضحايا هذا التحول. وقد قدم كل قرن من الزمان تقنيات جديدة صنعت رضوضًا موجعة في اقتصاد وحياة الناس. على سبيل المثال، كانت نسبة 65 في المئة من قوة العمل الأمريكية في عام 1850 تعمل في المزارع. واليوم، نجد 2.4 في المئة فقط يعملون في تلك المزارع. وسوف ينطبق الأمر نفسه على هذا القرن أيضًا.

والثابت تاريخيًا أنه تدفقت موجات جديدة من المهاجرين في القرن

التاسع عشر إلى الولايات المتحدة التي كان اقتصادها ينمو بسرعة كافية لاستيعابهم. ففي نيويورك مثلاً، استطاع المهاجرون العثور على وظائف في صناعة الملابس أو تصنيع المصابيح الكهربائية. وبغض النظر عن مستوى التعلم، فإن أي عامل كان مستعدًا لأداء عمل شريف استطاع العثور على وظيفة في اقتصاد آخذ في النمو والتوسع. لقد كان الأمر شبيهًا بسير متحرك ينقل المهاجرين من أحياء الفقراء في أوروبا، ويلقي بهم وسط الطبقة الوسطى الأمريكية المزدهرة.

يقول عالم الاقتصاد جيمس جرانت James Grant: (إن الهجرة الطويلة للأيادي والعقول من المزارع إلى المصانع والمكاتب والفصول لهي نمو للإنتاجية... والتقدم التكنولوجي هو الحصن الحامي للاقتصاد الحديث. ومرة أخرى، كان هذا صحيحًا طوال معظم فترات الـ 200 عام السابقة).

واليوم، اختفى الكثير من وظائف المستوى الأول تلك. وعلاوة على ذلك، تغيرت طبيعة الاقتصاد نفسها. فقامت العديد من الشركات التي تبحث عن عمالة أرخص بتصدير العديد من وظائف المستوى الأول البسيطة إلى دول أجنبية. واختفت وظيفة عامل المصنع القديمة منذ زمن بعيد.

غير أن هناك الكثير مما يدعو للسخرية في هذا الأمر. فطوال سنوات، طالب العديد من الناس بتكافؤ الفرص في ساحة العمل، من دون محاباة أو تمييز. لكن إذا كان بالإمكان تصدير الوظائف بضغطة زر واحدة، فإن ساحة العمل الآن تتسع لتضم الصين والهند. لذا فإن وظائف المستوى الأول التي كانت تلعب دور وسيلة الانتقال إلى الطبقة الوسطى يمكن الآن

تصديرهـا إلى أماكـن أخرى. وهذا أمر مفيد للعمـال خارج البلاد لأنهم يستطيعون الاستفادة من ساحـة عمل ذات فرص متكافئة، لكنه يمكن أن يتسبب في تفريغ المدن الداخلية في الولايات المتحدة.

كمـا أن المستهلك أيضًا يستفيد من هـذا، فالمنتجات والخدمات تصبح أرخص سعـرًا، وتزيد كفاءة الإنتاج والتوزيع عندمـا تكون هناك منافسة عالميـة. ولا شك أن محاولة دعم المشاريع القديمة المهجورة والعاملين الذين يحصلـون على أجور أكثر مما يستحقون تخلـق حالة من الرضا والخمول وعـدم الكفاءة. كما أن دعم الصناعات الضعيفـة الفاشلة لا يؤدي سوى لتأجيل ما هو محتوم، وتأجيل ألم الانهيار، وهو في الواقع يزيد الأمور سوءًا.

وهنـاك أمر آخر مثير للسخرية. فالعديد مـن الوظائف عالية الأجر التي تتطلـب مهارة في قطاع الخدمات لا تجد مـن يشغلها بسبب نقص أعداد المرشحين المؤهلين لها. فغالبًا لا يتمكن نظام التعليم من توفير العدد الكافي مـن الموظفين البارعين الأكفاء، لذا تضطر الشركات للتكيف مع قوة عمل أقـل معرفة وتعليمًا مما هو مطلوب. إن الشركات تتسول لإيجاد الموظفين الأكفـاء الذيـن لا يخرجهم النظـام التعليمي. فحتى في حـالات الكساد الاقتصادي، تكون هناك وظائف شاغرة بسبب نقص العمالة الماهرة.

لكـن هناك شيئا واحدا واضحا. ففي اقتصـاد ما بعد الصناعة، اختفت العديـد من وظائف عمال المصانع إلى الأبـد. وقد تسلى علماء الاقتصاد، علـى مر السنين، باللهو مع فكرة (إعادة تحويـل أمريكا إلى بلد صناعي)، إلى أن أدركـوا أنه ليـس في الإمكان إعادة الزمن إلى الـوراء. لقد تحولت الولايـات المتحـدة وأوروبا بالفعل من بلدان صناعيـة في المقام الأول إلى

اقتصـاد الخدمـات منذ عقود مضت، ولا يمكن التراجـع عن هذا التحول التاريخي. لقد انتهى عصر الهيمنة الصناعية إلى الأبد.

وبـدلاً من ذلك، لابد من بذل الجهود لإعادة التوجيه وإعادة الاستثمار في القطاعـات التـي تعظم حجـم الرأسماليـة الفكريـة. وستكون تلك إحدى أصعب المهام على الحكومات في القرن الحادي والعشرين، خاصة أنهـا ليس لها حلـول سريعة أو سهلة. فمن ناحية، يعنـي هذا تعديلاً كبيرًا للنظـام التعليمـي، لكي يمكن إعـادة تدريب العاملـين، ولكي لا يتخرج طلاب المدارس الثانوية ليجـدوا أنفسهم ينضمون إلى صفوف العاطلين. إن الرأسماليـة الفكريـة لا تعني أن الوظائف ستكـون متاحة فقط لمبرمجي الحاسـب والعلماء، وإنما لنطاق واسع مـن الأنشطة التي تتطلب الإبداع، والابتـكار، والقيـادة، والتحليل، والقدرات الفنيـة؛ أي: المنطق السليم. فلابـد من تعليـم وتدريب قوة العمـل لكي تتمكن مـن مواجهة تحديات القـرن الحادي والعشرين، وليس تجنب تلـك التحديات. وبصفة خاصة، لابد من تعديل مناهج العلوم، وإعادة تدريب المعلمين ليصبحوا على صلة وثيقة بمجتمـع المستقبل التكنولوجي. (من المحـزن أن البعض في أمريكا ما يزال يردد القول المأثور: (القادرون يفعلون، وغير القادرين يُعلمون).

وكمـا قال ليستر ثورو، مـن معهد ماساتشوستـس للتكنولوجيا، ذات مرة: (النجاح أو الفشل يعتمد على ما إذا كانت الدولة تحقق تحولاً ناجحًا نحو صناعات القدرات العقلية المستقبلية التي يصنعها الإنسان، ولا يعتمد على حجم أي قطاع اقتصادي معين).

ويعني هذا إيجـاد موجة جديدة من أصحـاب المشاريع المبدعين الذين

يخلقون صناعات جديدة وثروة جديدة من تلك الابتكارات التكنولوجية. ويجب إطلاق طاقة وحيوية هؤلاء الناس، كما يجب السماح لهم بدفع قيادات جديدة إلى السوق.

الرابحون والخاسرون: الأمم

مع الأسف، لا تسلك العديد من الدول هذا المسار، وبدلاً من ذلك تعتمد حصريًا على الرأسمالية السلعية. لكن لما كانت أسعار السلع، عمومًا، تنخفض طوال السنوات الـ 150 الماضية، فإن اقتصادات تلك الدول ستنكمش مع الوقت في نهاية الأمر، وستتخلف عن باقي دول العالم.

غير أن تلك العملية ليست حتمية. تأمل مثلاً نموذجي ألمانيا واليابان عام 1945، عندما كان البلدان يكادان يتضوران جوعًا، وكانت مدنهما مدمرة، وحكومتيهما منهارتين. وخلال فترة جيل واحد، تمكن البلدان من التقدم إلى قمة الاقتصاد العالمي. وانظر كذلك إلى الصين اليوم، ومعدل نمو اقتصادها المنطلق بسرعة تصل إلى ما يتراوح بين 8 و10 في المئة، على نحو يناقض 500 عام من الانحدار الاقتصادي. فالصين، وهي التي كانت في يوم من الأيام موضع سخرية واسعة باعتبارها (رجل آسيا المريض)، ستنضم في غضون سنوات من ظهور جيل آخر إلى صفوف الدول المتقدمة.

إن ما يميز تلك المجتمعات الثلاثة أن كلا منها متماسك كأمة واحدة، وأن مواطنيها يعملون بكد واجتهاد، وأنها صنعت منتجات يسارع العالم

كلـه إلى شرائها. لقد ركزت تلك الأمم علـى التعليم، وعلى توحيد بلادها وشعوبها، وعلى نمو اقتصاداتها.

لـذا كتـب الصحفي عـالم الاقتصاد البريطـاني ماكراي يقـول: (لم تعد محركات النمو القديمة – الأراضي، ورأس المال، والموارد الطبيعية – تهم كثـيرًا. فقد تضاءلت قيمة الأراضي لأن زيـادة المحاصيل الزراعية وفرت إمكانية إنتاج الغذاء في العالم الصناعي بوفرة تفوق احتياجاته. ولم يعد رأس المـال مهمًا لأنه متاح على نحو يكاد يكون غير محدود من خلال الأسواق العالمية للمشاريع المولدة للدخل.. تلك الأصول الكمية، وهي التي كانت في المعتاد تجعل الدول غنية، تحل محلها الآن مجموعة من الخصائص النوعية التـي تتلخص في الجـودة، والتنظيم، والتحفز، والانضبـاط الذاتي للناس الذيـن يتسمون بها. ويمكننـا التأكد من هذا عن طريـق النظر في الطريقة التـي تزيد بها أهمية المهارات البشريـة في التصنيع، وفي خدمات القطاع الخاص، وفي القطاع العام).

غـير أنه ليست جميع الـدول تتبع هذا المسار. فبعض الدول يحكمها زعمـاء ضعفاء فاقدو الأهليـة، ويسودها الانقسام ثقافيًـا وعرقيًا إلى حد يصل إلى العجز، ولا تنتج منتجات تحتاجها باقي دول العالم. وبدلاً من أن يستثمر حكام تلك الدول في التعليم، فإنهم يستثمرون في جيوش ضخمة وأسلحـة كثيفة لإرهـاب شعوبهم والحفـاظ على امتيازاتهـم. وبدلاً من الاستثمار في البنية الأساسية لتعجيل التحول الصناعي لبلدانهم، يمارسون الفسـاد والاستئثـار بالسلطـة لأنفسهـم، وبذلك يجعلـون حكوماتهم حكومـات فاسدة همها جباية الضرائب مـن المواطنين، وليس حكومات

تعتمد على أصحاب الكفاءة والمقدرة.

ومن المحزن أن تلك الحكومات الفاسدة بددت معظم المساعدات التي يقدمها لها الغرب، على ضآلتها. ويذكر آلفين Alvin وهيدي توفلر Heidi Toffler أنه بين عامي 1950 و2000، قدمت الدول الغنية أكثر من تريليون دولار من المساعدات للدول الفقيرة. لكنهما يقولان أيضًا: (قال لنا البنك الدولي إن نحو 2.8 مليار إنسان – أي قرابة نصف سكان العالم – ما زالوا يعيشون على ما يساوي دولارين أو أقل يوميًا. ومن بين هؤلاء، هناك 1.1 مليار إنسان يعيشون في فقر مدقع أو فقر مطلق على أقل من دولار واحد يوميًا).

ومن المؤكد أن الدول المتقدمة يمكنها فعل الكثير من أجل تخفيف محنة الدول النامية، بدلاً من مجرد التحدث عن المشكلة. لكن بعد القول والفعل، لابد أن تنبع المسؤولية الأساسية عن التنمية في نهاية المطاف من قيادة حكيمة تبرز وسط تلك الدول النامية نفسها. وأساس المسألة القول المأثور القديم: (إذا أعطيتني سمكة، فستطعمني ليوم واحد؛ وإذا علمتني الصيد، فستطعمني إلى الأبد). ويعني هذا أنه بدلاً من تقديم المساعدات للدول النامية، يجب أن يكون التركيز على التعليم ومساعدة تلك الدول على تنمية صناعات جديدة لتتمكن من تحقيق الاكتفاء الذاتي.

الاستفادة من العلم

قد تتمكن الدول النامية من الاستفادة من ثورة المعلومات. بل إنها تستطيع، من حيث المبدأ، تجاوز الدول المتقدمة في العديد من المجالات. ففي العالم المتقدم، كان على شركات الهاتف –مثلاً – أن تمد الأسلاك

إلى كل منـزل أو مزرعة بتكلفة كبيرة جدًا. لكن الدول النامية لا تحتاج لمد خطـوط الهاتف في جميع أنحاء البـلاد لأن تكنولوجيا الهاتف المحمول يمكنها التفوق في المناطق الريفية، من دون حاجة لطرق أو بنية أساسية.

كمـا أن الدول الناميـة تتمتع بميزة أنهـا ليست بحاجة لإعـادة تأسيس بنيتها الأساسية القديمة المتهالكة. فمثلاً، تجاوز عمر شبكة مترو الأنفاق في نيويورك ولندن القرن، وكلتاهما قديمة جدًا وبحاجة ماسة لعمليات ترميم وإصلاح ضخمة. واليـوم، ستكون تكلفة ترميم وتجديد هاتين الشبكتين المتهالكتـين أعلى مـن تكلفة بنائهمـا الأصلية. وقد تقـرر إحدى الدول النامية إنشاء شبكة مترو أنفـاق جديدة رائعة باستخدام أحدث التقنيات، مستفيدة بذلك من التحسينات الهائلة التي أدخلت على المعادن وأساليب التشييـد والتقنية. وقد تكون تكلفة إنشاء شبكة مـترو أنفاق جديدة تمامًا أقل كثيرًا من تكلفة الشبكات التي تم إنشاؤها منذ قرن مضى.

وقد استطاعت الصين، مثلاً، الاستفادة من جميع الأخطاء التي ارتُكبت في الغرب عند بناء المدن الجديدة من أساسها. ونتيجة لذلك، يتم بناء بكين وشانغهـاي بجزء يسير من التكلفة الأصلية لبنـاء مدينة كبرى في الغرب. واليوم، تبني بكين واحدة من أكـبر شبكات مترو الأنفاق وأكثرها حداثة في العـالم، مستفيدة مـن كل تقنية الحاسب التي ابتكرهـا الغرب من أجل خدمة أعداد متزايدة بشكل هائل من سكان الحضر.

وتعـد شبكة الإنترنت وسيلة أخرى يمكـن أن تستخدمها الدول النامية لتسلك طريقًا مختصرًا نحـو المستقبل، متجاوزةً كل الأخطاء التي ارتكبها الغـرب، خاصة في مجال العلوم. ففي الماضـي، كان يتعين على العلماء في

الـدول النامية الاعتماد على نظام بريدي بدائي لاستلام الدوريات العلمية التـي كانت تصل عادة بعد شهـور –أو حتى عام – من تاريخ النشر، هذا إن وصلت أصلا. وكانت تلك الدوريات باهظة الثمن شديدة التخصص، لذا لم تكن تتحمل تكلفتها سوى المكتبات الكبرى فقط. وكان التعاون مع عالم من الغرب أمرًا شبه مستحيل. فلابد أن تكون ثريًا، أو شديد الطموح، لكـي تحظى بموقع في جامعـة غربية لتعمل في ظل إرشاد عالم غربي شهير. والآن، أصبح بوسع أقل العلماء شهرة الحصول على الأبحاث العلمية بعد أقل من ثانية من نشرها على شبكة الإنترنت، من أي مكان في العالم، وبلا مقابل. وعـبر شبكة الإنترنت أيضًا من الممكن التعـاون مع علماء غربيين ليس هناك سابق معرفة بهم.

المستقبل ملك لمن يريده

أبـواب المستقبـل مفتوحة علـى مصراعيهـا. وكما ذكرنا، فـإن وادي السليكـون يمكن أن يتحـول إلى المنطقة التالية التي تضـم صناعات عتيقة مهجـورة في العقـود التالية، مع انتهاء عصـر السليكون وانتقـال الشعلة إلى المبتكـر التالي. فأي الـدول ستقود المستقبل؟ في أيـام الحرب الباردة، كانت القوى العظمى في العالم هي تلك الدول التي يمكنها استخدام التأثير العسكري في أنحاء العالم. غير أن تفكك الاتحاد السوفيتي وانهياره أوضح أن الـدول التـي ستنهض وتتقـدم إلى القمة ستكون هي الـدول التي تبني اقتصاداتها، وهو ما يعتمد بدوره على تنمية ورعاية العلوم والتكنولوجيا.

مـا الدول التـي ستؤول لها الريـادة في المستقبل إذن؟ إنهـا الدول التي

ستـدرك جيدًا تلك الحقيقة. فعلى سبيل المثال، حافظت الولايات المتحدة علـى هيمنتها في العلـوم والتكنولوجيا رغم حقيقـة أن طلاب الولايات المتحـدة غالبًا ما يأتون في المرتبة الأخيرة عندمـا يتعلق الأمر بمواد دراسية أساسيـة مثـل العلـوم والرياضيات. فقد بينـت نتائج اختبـار المهارة عام 1991، على سبيل المثال، أن الطلاب في سن الثالثة عشر عامًا في الولايات المتحـدة يأتون في المركز الخامس عشـر في الرياضيات والمركز الرابع عشر في العلـوم، أي قبل الطـلاب الأردنيين مباشرة، وهم الذيـن كان ترتيبهم الثامـن عشر في كلتا المادتين. وتؤكد الاختبـارات التي أجريت سنويًا منذ ذلـك الحين تلك الأرقام المحزنـة. (ولابد هنا أيضًا من الإشارة إلى أن هذا التصنيف يكاد يتطابق مع عدد أيام الدراسة السنوية. فمتوسط أيام الدراسة في الصين التي جاءت في المركز الأول بلغ 251 يومًا، في حين كان متوسط عدد أيام الدراسة سنويًا في الولايات المتحدة 178 يومًا دراسيًا فقط).

ويبـدو كأنه في الأمر لغز، فرغم هذا التدني في التصنيف، فإن الولايات المتحـدة تؤدي باستمـرار على نحو جيد دوليًا في العلـوم والتكنولوجيا. لكـن العجب يزول عندما ندرك أن قدرًا كبيرًا من علوم الولايات المتحدة يأتـي من الخارج، في صورة (هجرة العقول). إن الولايات المتحدة تمتلك سلاحًا سريًا، وهو: تأشيرة تسمى (إتش وان بي فيزا) H1B visa، وتعرف باسم تأشـيرة العبقرية. فإذا أمكنك أن تبرهن علـى امتلاكك لمواهب، أو ثروات، أو معرفة علمية فريدة، يمكنك الخروج من صف الانتظار الطويل والحصول مباشرة على تلك التأشيرة. وقد ظل هذا مصدرًا لتجديد وإعلاء المرتبـة العلمية الأمريكية. فوادي السليكون، على سبيل المثال، يضم قرابة

50 في المئة من الأجانب المهاجرين، كثيرون منهم قادمون من تايوان والهند. وعلى مستوى الولايات المتحدة بأسرها، نجد أن 50 في المئة من طلاب الدكتوراه في الفيزياء من المهاجرين الذين ولدوا خارج الولايات المتحدة. وفي الجامعة التي أعمل بها، وهي جامعة مدينة نيويورك City University of New York، يقترب هذا الرقم من 100 في المئة من المهاجرين الأجانب.

وقد حاول بعض أعضاء الكونجرس إلغاء تلك التأشيرة لأنها – بزعمهم – تقصي الأمريكيين عن بعض الوظائف، لكن هؤلاء لا يفهمون الدور الحقيقي الذي تلعبه تلك التأشيرة الخاصة. فعادة لا يكون هناك أمريكيون مؤهلون للحصول على وظائف أعلى المستويات في وادي السليكون، وهي التي كثيرًا ما رأينا أنها تكون شاغرة نتيجة لذلك. وقد كانت تلك الحقيقة واضحة في ذهن المستشار الألماني السابق جيرهارد شرودر Gerhard Schroeder عندما حاول تمرير قانون هجرة مشابه لتأشيرة إتش وان بي في ألمانيا، لكن محاولته باءت بالفشل بسبب أولئك الذين زعموا أن هذا سيؤدي إلى حرمان الألمان المولودين في ألمانيا من الوظائف. ومرة أخرى، فشل المنتقدون في ألمانيا أيضًا في استيعاب فكرة أنه غالبًا ما لا يكون هناك ألمان مؤهلون لشغل تلك الوظائف رفيعة المستوى التي تظل شاغرة نتيجة لذلك. إن هؤلاء المهاجرين الحاصلين على تلك التأشيرة الخاصة لا يسلبون غيرهم الوظائف، وإنما ينشؤون مجالات عمل جديدة تمامًا.

غير أن تأشيرة إتش وان بي ليست أكثر من إجراء مؤقت. فالولايات

المتحدة لا يسعها الاستمـرار في الاعتماد على العلماء الأجانب الذين بدأ الكثير منهم في العودة إلى الصين والهند مع تحسن اقتصاد البلدين. لذا فإن استراتيجية هجـرة العقول غير قابلة للاستمـرار. ويعني هذا أن الولايات المتحدة ستضطر في نهاية المطاف لتعديل نظامها التعليمي العتيق المتصلب. ففي الوقت الراهن، يتدفق طلاب المدارس الثانوية سيئو الإعداد على سوق العمل والجامعات، صانعين بذلك ورطة خطيرة. وتتحسر الشركات دائمًا عندما تكتشف حقيقـة أنه كان عليها أن تقضي عامًا في تدريب موظفيها المعينـين حديثًـا لتأهيلهم للقيام بالعمل على أفضـل وجه. وتأن الجامعات تحـت وطأة عبء الحاجة لوضـع مستويات جديدة مـن المناهج العلاجية لسد خلل نظام التعليم السيئ في المدارس الثانوية.

ومـن حسن الحـظ أن الجامعات والشركات في أمريـكا تقوم في النهاية بعمـل جدير بالثنـاء يتمثل في إصلاح الخلل الـذي يصنعه نظام التعليم في المدارس الثانويـة، لكن هـذا بمثابة إهـدار للوقت والموهبـة. فلكي تظل الولايـات المتحدة قـادرة على المنافسة في المستقبـل، لابد أن تكون هناك تغييرات جوهرية في نظام التعليم في المرحلة الابتدائية والثانوية.

وإحقاقًـا للحق، فإن الولايـات المتحدة ما زالت تمتلـك ميزات مهمة. فقـد كنت ذات مرة في حفـل في متحف التاريخ الطبيعـي Museum of Natural History في نيويورك، وهناك التقيت رجل أعمال بلجيكي يعمل في مجال التكنولوجيا الحيوية. فسألته عن سبب رحيله عن بلاده، في ضوء امتـلاك بلجيكا صناعة قوية متطورة في مجـال التكنولوجيا الحيوية. فقال لي إن الوضـع في أوروبـا غالبًا لا يتيح للمرء فرصـة ثانية. فلما كان الناس

يعرفـون من أنت، ومن هي عائلتك، فـإن ارتكاب خطأ ما كفيل بالقضاء عليـك. فأخطاؤك تتبعك أينما كنت. وأضاف: أما في الولايات المتحدة، فيمكنـك أن تجدد نفسك، ولا يبالي الناس من كانوا أسلافك، وإنما يبالون فقط بما يمكنك تقديمه لهم الآن، اليوم. وفي النهاية، أكد أن هذا أمر مريح، وهو أحد الأسباب التي تجعل العلماء الأوروبيين ينتقلون إلى أمريكا.

درس من سنغافورة

في الغـرب، هناك تعبير يقول: (العجلة التي تصـدر صريرًا هي التي يتم تشحيمهـا). لكن في الشرق، هناك تعبـير آخر يقول: (المسمار الذي يبرز رأسه يضرب بالمطرقة). وهـذان التعبيران متناقضان إلى أبعد حد، لكنهما يشيران إلى بعض السمات الأساسية للفكر الغربي والشرقي.

في آسيـا، غالبًـا ما يحقـق الطلاب درجـات في الامتحانـات تتجاوز كثـيرًا درجـات نظرائهم في الغرب. غـير أن القدر الأكبر مـن التعليم في آسيا قائم على التعلم من الكتب وحفظ المعلومات عن ظهر قلب، وهو ما يوصـل الطلاب إلى مستوى معين لا يمكنهم تجـاوزه. فمن أجل الوصول إلى مستويـات أعلـى في العلـوم والتكنولوجيا، لابد من توفـر الإبداع، والابتـكار، والخيال، وهـي أشياء لا تعززها نظم التعليـم في الشرق. لذا، فعلـى الرغم من أن الصين يمكنها في نهايـة المطاف أن تلحق بالغرب فيما يتعلـق بإنتاج نسخ رخيصة من منتجـات ابتكرت أصلا في الغرب، فإنها ستظـل متأخرة لعقـود عن الغرب في العملية الإبداعيـة وابتكار منتجات جديدة واستراتيجيات جديدة.

لقـد ألقيت كلمة ذات مرة في مؤتمر في المملكة العربية السعودية، وكان أحـد المتحدثين الرئيسـين الآخرين لي كوان يـو Lee Kuan Yew، رئيس وزراء سنغافـورة لفترة طويلة امتدت من عـام 1959 إلى عام 1990. وهذا الرجـل بمثابة نجم لامع في أوسـاط الدول النامية لأنـه أسهم في قيام دولة سنغافورة الحديثة، وهي التـي تصنف ضمن أكثر الدول تقدمًا في العلوم. وفي الواقـع، فإن سنغافورة هـي خامس أغنى دول العـالم، وفقًا لحساب إجمالي الناتج المحلي لكل فرد. وقد أصغى الجمهور بكل انتباه لسماع كل كلمة ينطقها هذا الرمز الأسطوري.

وفي كلمتـه، استغـرق رئيس الـوزراء السابق في سـرد ذكرياته المبكرة بعـد انتهاء الحرب، وهي الأيـام التي كان ينظر فيهـا لسنغافورة على أنها مينـاء منعزل يشتهـر في الأساس بأنشطة القرصنـة والتهريب، وبالبحارة المخموريـن، وغيرهـا من الأنشطـة البغيضة. غير أن مجموعـة من زملائه حلمـوا بمجيء اليوم الـذي يتحول فيه هذا الميناء البحـري الصغير لينافس الغـرب. ورغـم أن سنغافورة لا تمتلك مـوارد طبيعيـة ذات أهمية، فإنها كانـت تمتلك مـوردا آخر هو الأعظـم: شعبها الـذي كان يعمل باجتهاد ويتمتع بمهارة معقولة. ولقد بـدأت مجموعته رحلة استثنائية، حين حولوا تلك الأمة الخاملة المنعزلة إلى محطة توليد علمية متطورة في غضون سنوات جيـل واحد. وربما كانت تلـك واحدة من حـالات الهندسة الاجتماعية الأكثر تشويقًا على مر التاريخ.

نعم، لقـد بدأ لي كوان يو وحزبه عملية منهجيـة لتجديد الأمة بأسرها، بالتركيـز علـى العلم والتعليـم، خاصة في مجـال صناعـات التكنولوجيا

المتقدمة. وفي غضون بضعة عقود فحسب، امتلكت سنغافورة مجموعة كبيرة من الفنيين أصحاب التعليم العالي، وهو ما مكن الدولة من أن تصبح إحدى الدول الرائدة في تصدير الإلكترونيات، والكيماويات، والمعدات البيوكيماوية. وفي عام 2006، أنتجت سنغافورة نسبة وصلت إلى 10 في المئة من إجمالي إنتاج العالم من رقائق المعادن المستخدمة في صنع أجهزة الحاسب.

وقد أقر لي كوان يو بأنه كانت هناك عدة مشكلات تعترض طريق تحديث بلاده. فمن أجل فرض النظام الاجتماعي، كان لابد من تطبيق قوانين صارمة تحظر كل شيء، بداية من البصق في الشارع (وهي جريمة يعاقب عليها القانون بالجلد) حتى تجارة المخدرات (التي يُعاقب عليها بالإعدام). لكن يو لاحظ شيئًا مهمًا آخر. لقد اكتشف أن كبار العلماء متحمسون لزيارة سنغافورة، غير أن قليلا منهم يبقون فيها. وفيما بعد، اكتشف أحد أسباب ذلك: لم تكن هناك عناصر متعة وجذب ثقافية تجعلهم يبقون في سنغافورة. وهكذا برزت في ذهنه الفكرة التالية: تعزيز المزايا الثقافية الثانوية للدولة الحديثة بشكل مقصود (حفلات الباليه، وفرق الأوركسترا السيمفونية، وما إلى ذلك). وذلك لكي يغرس كبار العلماء جذورًا لهم في سنغافورة. وخلال وقت قصير للغاية، كانت المنظمات والأحداث الاجتماعية تنشأ وتقام في جميع أنحاء البلاد لإغراء صفوة العلماء وجعلهم يستقرون فيها.

ولاحقا، أدرك يو أيضا أن الأطفال السنغافوريين يكررون على نحو عميا ني الكلمات التي يلقيها عليهم معلموهم، بدلاً من أن يفحصوا

المعارف التقليدية ويراجعوها ويبتكروا أفكارا جديدة. لقد أدرك أن الشرق سيظل يتبع الغرب إلى الأبد طالما كان علماؤه لا يستطيعون شيئًا سوى تقليد الآخرين. لذا بدأ ثورة في التعليم، فكان ينتقي الطلاب المبدعين، ويتيح لهم حرية السعي وراء تحقيق أحلامهم بقدر ما يستطيعون. فعندما أدرك أن طلابًا مثل بل جيتس Bill Gates أو ستيف جوبز Steve Jobs سيقهرون بواسطة النظام التعليمي الخانق في سنغافورة، طلب من معلمي المدارس التعرف بطريقة منهجية على عباقرة المستقبل الذين يستطيعون تجديد وإحياء اقتصاد البلاد بواسطة خيالهم العلمي.

إن الدرس السنغافوري قد لا يصلح لجميع الدول، فسنغافورة دولة صغيرة بحجم مدينة تستطيع فيها مجموعة صغيرة من الحالمين أصحاب الرؤى ممارسة عملية بناء الدولة بشكل منظم وفي ظل رقابة وسيطرة. كما أن أحدًا لا يريد أن يتعرض للجلد بسبب البصق في الشارع. غير أن هذا النموذج يبين ما يمكن للأمم عمله إذا كانت ترغب في القفز بصورة منهجية مدروسة إلى مقدمة عصر ثورة المعلومات.

تحدي المستقبل

قضيت بعض الوقت ذات مرة في معهد الدراسات المتقدمة Institute for Advanced Study التابع لجامعة برنستون Princeton University، وتناولت الغداء مع عالم الفيزياء فريمان ديسون Freeman Dyson. وفي أثناء ذلك، بدأ ديسون يحكي ذكريات حياته المهنية الطويلة في العلوم، ثم ذكر لي حقيقة مزعجة. فقبل الحرب العالمية الثانية، عندما كان طالبًا

شابًا بالجامعة في المملكـة المتحدة، وجد أن ألمع العقول البريطانية يديرون ظهورهم للعلوم، مثل الفيزياء والكيمياء، ويفضلون عليها الأعمال المربحة في مجال المال والبنوك. وفي حين كان الجيل السابق يصنع الثروة في صورة مصانـع كهربائية وكيماويـة، ويبتكر آلات كهربائيـة ميكانيكية جديدة، أصبح الجيل التالي منغمسًا في الاستمتاع بالتدليك وإدارة أموال الآخرين. وقد تألم فريمـان لرؤية تلك العلامة على انحـدار الإمبراطورية البريطانية. ومـا كان لإنجلترا أن تحافظ على مكانتها كقوة عالمية عظمى بينما قاعدتها العلمية تنهار وتتفكك.

ثم قال لي شيئًا جذب انتباهي بشدة.

إنه يرى الأمر ذاته يتكـرر لثاني مرة في حياته. فأصحاب أفضل العقول في جامعة برنستون مثلاً لم يعودوا يعالجون المشكلات العسيرة في الفيزياء والرياضيـات، وإنما انجذبوا إلى أعمال كالاستثمـارات البنكية. وفي هذه المـرة أيضًا، من وجهة نظره، قد تكـون تلك علامة على الانحدار، حيث لا يستطيـع روّاد المجتمع الاستمرار في دعـم الابتكارات والتقنيات التي جعلت مجتمعهم مجتمعًا عظيمًا.

وهذا هو التحدي الذي نواجهه في المستقبل.

الفصل الثامن

مستقبل البشرية الحضارة الكوكبية

«إن هؤلاء الذين يحيون هذه الأيام يحيون وسط ما يمكن اعتباره القرون الثلاثة أو الأربعة الأكثر استثنائية في التاريخ البشري»

- جوليان سيمون[1]

(بلا رؤية، يجمح الشعب)

- مثل

عاشت الآلهة، في الميثولوجيا، في السماء الرائعة المقدسة، في سمو عن الشؤون التافهة للبشر الفانين. عاشت الآلهة الإغريقية بمرح وسرور في النطاق المقدس لجبل الأوليمبوس، فيما كانت الآلهة الإسكندنافية التي قاتلت من أجل الشرف والمجد الأبدي تحتفل بتناول الطعام في قاعات الولائم المقدسة مع أرواح المقاتلين الذين سقطوا في القتال. لكن إذا كان قدرنا هو امتلاك قوى الآلهة بحلول نهاية القرن، فما الشكل الذي ستبدو عليه حضارتنا عام 2100؟ وإلى أين سيؤدي كل ذلك الإبداع التكنولوجي بحضارتنا البشرية؟

(1) جوليان سيمون Julian Simon: كان أستاذًا لإدارة الأعمال في جامعة مريلاند وزميل معهد كاتو في وقت وفاته. كتب سيمون العديد من الكتب والمقالات في مجال الاقتصاد، وركز على كيفية الاستفادة من الموارد الطبيعية والنمو السكاني المستمر. (المترجم)

إن جميع الثورات التكنولوجية الواردة في هذا الكتاب لتؤدي إلى نقطة واحدة هي: قيام حضـارة كوكبية، وربما كان هذا التحول هو الأعظم في تاريـخ البشريـة. وفي الحقيقة أن هـؤلاء الذين يعيشون اليـوم هم أكثر من ساروا على سطح هذا الكوكب أهمية؛ لأنهم هم من سيحددون ما إذا كنا سنحقـق هذا الهدف أو ننحدر إلى حالة مـن الفوضى. ولعل هناك 5000 جيل من أجيال البشر ممن عاشوا على سطح كوكب الأرض منذ أول ظهور للبشر في أفريقيا منذ نحو مئة ألف عام مضت، ومن هذه الأجيال كذلك، الأجيـال التي تعيش في هذا القـرن؛ لعلها جميعًا هي التـي ستقرر مصير البشرية في نهاية المطاف.

وما لم تقع كارثة طبيعيـة أو حماقة مأساوية مفجعة، فإننا سندخل حتمًا تلـك المرحلة من تاريخنا الجمعي، ويمكننـا أن نلحظ هذا بأكبر قدر ممكن من الوضوح عند تحليل تاريخ الطاقة.

تصنيف الحضارات

عندما يكتب المؤرخون المحترفون التاريخ، فإنهم ينظرون إليه من خلال عدسـات التجربة الإنسانية والحماقـة والطيش، أي من خلال مآثر الملوك والملكات، وبزوغ الحركات الاجتماعية، وتوالد الأفكار. وعلى النقيض، فإن الفيزيائيين ينظرون إلى التاريخ من منظور مختلف تمامًا.

يصنـف الفيزيائيون الأشياء – بما في ذلك الحضارات الإنسانية – من خلال مقدار الطاقـة المستهلكة، لكننا عند تطبيق هـذا المبدأ على التاريخ الإنسـاني، نلحظ أنه عـبر آلاف لا حصر لها من السنين، كانت طاقة البشر

مقتصرة على خُمس قدرة الحصان، وهي قوة أيدينا العارية، ومن ثم عشنا حيـاة ترحال في قبائل صغـيرة متجولة تهيم بحثًا عن الطعام في بيئة قاسية عدائية. ولعصور طويلـة، لم يكن هناك فارق كبير بين البشر والذئاب. ولم تكن هناك سجلات مكتوبة، وإنما مجرد حكايات تروى من جيل إلى جيل حـول نيران مخيمات منعزلة. كانت الحياة قصيرة ووحشية، تتراوح ما بين ثمانية عشر عامًا إلى عشرين عامًا. وكان إجمالي ثروة الإنسان يتكون فقط ممـا يمكنه حمله على ظهره والتنقل بـه؛ وكان الإنسان آنذاك يعيش معظم فـترة حياته وهو يشعر بألم الجـوع المزعج. وبعد موته، لم يكن يترك أي أثر يدل على أنه عاش فوق سطح هذا الكوكب.

لكن منذ مئة ألف عام مضت، وقع حدث مدهش أطلق شعلة الحضارة؛ حيـث انتهى العصر الجليدي. فلأسباب لا ندركها حتى الآن، انتهت فترة تجمد دامت لآلاف السنين، ومهد هـذا الطريق لظهور الزراعة، وسرعان ما روض البشر الخيول والثيران، مما زاد من قدرتنا إلى قدرة واحد حصان. وحينها أصبح الإنسان الواحد يمتلك الطاقة اللازمة لزرع مساحات تصل إلى عـدة أفدنة من الأرضـ الزراعية، وهو ما ولد طاقة فائضة كانت كافية لإعالـة تعداد سكان آخذ في النمو بسرعة. ومع ترويض الحيوانات، لم يعد البشر يعتمدون في طعامهم فقط على صيد الحيوانات، وبدأت أولى القرى والمدن المستقرة في الظهور داخل الغابات والسهول.

ووولـدت الثروة الزائدة الناتجة عن الثورة الزراعية طرقًا جديدة ومبتكرة للحفاظ علـى تلك الثروة وزيادتها، وابتكرت الكتابة والحساب لإحصاء تلك الثروة، وظهرت الحاجـة للتقويمات لتعقب الأوقات المناسبة للزراعة

والحصـاد، وكانت هناك حاجة للكتبة والمحاسبـين لمراقبة تلك الوفرة في الـثروة وحساب الضرائب المستحقة عليهـا. وأدت تلك الثروة الزائدة في نهايـة المطاف إلى ظهـور الجيوش الجرارة، والممالـك، والإمبراطوريات، والعبودية، والحضارات القديمة عمومًا.

وحدثت الثورة التالية منذ نحو 300 عام مضت، مع حلول عصر الثورة الصناعية، ففجـأة أصبحت الثروة التي يستطيع الفرد جمعها غير مقتصرة فقط على ناتج عمل يديه وحيواناته وإنما نتاج آلات يمكنها صنع ثروة هائلة من خلال الإنتاج الضخم واسع النطاق.

استطاعت المحـركات البخارية تشغيل آلات وقاطـرات قوية، ومن ثم أمكن صنع الثروة بواسطة المصانع، والطواحين، والمناجم، وليس الحقول فقـط. وتدفق الفلاحـون – الذين فروا من المجاعـات الدورية وأعياهم العمل الشاق الذي يقسم الظهور في الحقول – على المدن وشكلوا طبقة عمالـة صناعيـة. واختفى الحـدادون وصُنَّاع المركبـات في النهاية وحل محلهم عمال خطـوط الإنتاج في مصانع السيـارات. ومع اختراع ماكينة الاحـتراق الداخلي، أصبح بمقدور المرء حينها السيطرة على طاقة تساوي قـدرة مئات الأحصنة. وأخذت فترة الحيـاة المتوقعة للبشر تزيد، فوصلت إلى سن التاسعة والأربعين في الولايات المتحدة بحلول عام 1900.

وأخيرًا، أصبحنا وسط الموجة الثالثة، حيث تتولد الثروة من المعلومات. إن ثـروة الأمم تقاس الآن بالإلكترونـات التي تجوب العـالم عبر كابلات الألياف البصرية والأقمار الصناعية، لتظهـر في نهاية الأمر على شاشات الكمبيوتر في وول ستريت وغيرها من عواصم المال. لقد أصبحت العلوم،

والتجـارة، والتسلية تنتقل بسرعة الضـوء لتعطينا معلومات لا حدود لها، في أي زمان وأي مكان.

حضارات النمط الأول، والثاني، والثالث

كيـف ستستمر تلك الزيادة الهائلـة في الطاقة خلال القرون والألفيات التالية مـن الزمن؟ فعندما يحاول الفيزيائيون تحليـل الحضارات، يقومون بتصنيفهـا بنـاءً علـى الطاقة التـي تستهلكهـا، وكان أول مـن طرح هذا التصنيف عام 1964 هو عالم الفيزياء الفلكي الروسي نيكولاي كارداشيف Nikolai Kadashev، الـذي كان مهتمًا باستكشاف السماء في الليل بحثًا عن إشارات مرسلة من حضارات متقدمة في الفضاء.

لم يكن نيكولاي راضيًا عن شيء غامض وضبابي وغير محدد كهذا الذي يسمـى (حضارة فضائية)، ولـذا قدم لنا معيارًا كميًـا لتوجيه عمل علماء الفضاء. لقد أدرك أن تلك الحضارة الفضائية قد تختلف بناءً على ثقافتها، ومجتمعهـا، وبيئتها، وما إلى ذلـك عن حضارتنا، غير أن هناك شيئًا واحدًا يجـب على الجميع الخضوع له: قوانين الفيزيـاء. أما على سطح الأرض، فهناك شيء واحد يمكننا ملاحظته وقياسه ويمكن أن يصنف الحضارات إلى فئات مختلفة، ألا وهو استهلاك الطاقة.

لـذا اقترح نيكـولاي ثلاثة أنمـاط نظريـة: حضارة النمـط الأول وهي حضارة كوكبية تستهلك ضوء الشمس الذي يسقط على كوكبها، أو نحو 10^{17} وات من الطاقة. وحضارة النمط الثاني وهي حضارة نجمية، تستهلك كل الطاقـة التي تبعث بها شمسها، أو 10^{27} وات. وحضارة النمط الثالث

وهي حضارة مجرية، تستهلك طاقة مليارات النجوم، أو نحو 10^{37} وات.

تكمن ميزة هذا التصنيف في أننا نستطيع قياس كمية الطاقة التي يستهلكها كل نمط من أنماط الحضارة بدلا من استخدام تعميمات غامضة جامحة. ولما كنا نعرف ناتج الطاقة لتلك العناصر السماوية، صار بإمكاننا وضع حدود علمية رقمية لكل منها أثناء بحثنا في السماء.

ويفصل بين كل نمطين 10 مليارات ضعف؛ فحضارة النمط الثالث تستهلك طاقة أكثر بـ 10 مليارات مرة أضعاف مقدار الطاقة التي تستهلكها حضارة النمط الثاني (لأن هناك حوالي 10 مليارات نجم أو أكثر في المجرة الواحدة)، وحضارة النمط الثاني بدورها تستهلك الطاقة بمقدار 10 مليارات مرة أضعاف الطاقة التي تستهلكها حضارة النمط الأول.

ووفقًا لهذا التصنيف، فإن حضارتنا الحالية تنتمي إلى النمط صفر. فنحن لا نقع في أي موضع على هذا المعيار؛ لأننا نستمد طاقتنا من النباتات الميتة، أي من النفط والفحم. (حاول كارل ساجان، عن طريق تعميم هذا التصنيف، أن يقدم تقديرًا أكثر دقة لتصنيف البشر على هذا المقياس الكوني. وأظهرت حساباته أننا في واقع الأمر حضارة من النمط 0.7).

وعلى هذا المعيار، يمكننا أيضًا تصنيف الحضارات المتنوعة التي نراها في روايات وأفلام الخيال العلمي، وستكون حضارة النمط الأول حينئذ هي حضارة باك روجرز أو فلاش جورودون، حيث تم تطوير مصادر طاقة للكوكب بأكمله. إنهما حضارتان تستطيعان التحكم في جميع مصادر الطاقة الكوكبية، ولذا فإنهما قد تتمكنان من السيطرة على المناخ أو تغييره بإرادتهما، أو تسخير طاقة إعصار ما، أو بناء مدن في المحيطات. ورغم

أنهما تجوبان الفضاء في صواريخ، فإن مخرجات طاقتهما تظل إلى حد كبير مقتصرة على كوكبيهما.

وقد تضم حضارة النمط الثاني حضارة (اتحاد الكواكب) في فيلم (رحلة النجوم) Star Trek، وهي حضارة استطاعت استيطان نحو 100 نجم قريب. وتستطيع تكنولوجيا تلك الحضارة بصعوبة تسخير إجمالي ناتج طاقة نجم ما.

ويمكن اعتبار حضارة (الإمبراطورية) في ملحمة (حرب النجوم) Star Wars، أو حتى حضارة (البورج) في سلسلة (رحلة النجوم)؛ حضارتين من النمط الثالث، فكلتاهما استطاعت استيطان أجزاء كبيرة من المجرة، وتطويق مليارات المنظومات النجمية، كما أنهما تستطيعان التجول في الفضاء المجري كما تشاءان.

(مع أن مقياس كارداشيف يعتمد على الكواكب، والنجوم، والمجرات في تصنيفه لكن من الواجب هنا أن نشير إلى احتمال وجود نمط رابع من الحضارات، وهو نمط يستمد طاقته من مصادر خارج الحدود المجرية. ومصدر الطاقة الوحيد المعروف لنا خارج حدود مجرتنا هي الطاقة السوداء، التي تشكل نحو 73 في المئة من مادة وطاقة الكون المعروف، فيما يشكل عالم النجوم والمجرات 4 في المئة فقط من الكون. وقد يكون المرشح المحتمل للنمط الرابع من الحضارات هو (كيو) Q الشبيه بالآلهة في سلسلة (رحلة النجوم، وهو يستمد الطاقة من خارج المجرة).

ويمكننا استخدام هذا التصنيف في حساب الوقت الذي يمكن أن نصل فيه لكل فئة من هذه الفئات. هب أن حضارة العالم تنمو بمعدل 1 في

المئة كل عام من ناحية إجمالي الناتج المحلي الجمعي. وهو افتراض معقول عندما نأخذ متوسط القرون العديدة الماضية، فوفقًا لهذا الافتراض، يتطلب الأمر حوالي 2500 سنة للانتقال من نمط حضارة إلى النمط التالي، وإذا كان معدل النمو هو 2 في المئة، فإن الفترة الانتقالية تصبح 1200 سنة.

لكن من الممكن أيضًا أن نحسب كم يحتاج كوكبنا للوصول إلى تصنيف النمط الأول. فرغم الارتفاعات والانخفاضات الاقتصادية، ومراحل الازدهار والتدهور، يمكن لنا أن نقدر حسابيًا أننا سنصل إلى حضارة النمط الأول في غضون حوالي 100 عام، في ضوء المعدل المتوسط لنمونا الاقتصادي.

من النمط صفر إلى النمط الأول

إننا نرى دليلا على هذا التحول من النمط صفر إلى النمط الأول في كل مرة نطالع فيها الصحيفة. فيمكن إرجاع العديد من عناوين الصحف إلى آلام مخاض لميلاد حضارة من النوع الأول يحدث الآن أمام أعيننا.

- شبكة الإنترنت هي بداية منظومة تليفونية كوكبية لحضارة من النمط الأول. فلأول مرة في التاريخ، يستطيع شخص في إحدى القارات تبادل معلومات لا حد لها مع شخص آخر في قارة أخرى بلا أدنى جهد. وفي الحقيقة، أن كثيرًا من الناس باتوا يشعرون الآن بالفعل بأنهم يشتركون مع أشخاص آخرين في الجانب الآخر من العالم؛ في أشياء أكثر من تلك التي يشتركون فيها مع جيرانهم القريبين. وسوف تتسارع تلك العملية مع استخدام الدول للمزيد من كابلات الألياف البصرية وإطلاق المزيد من أقمار الاتصالات، وتلك أيضًا عملية غير قابلة للإيقاف، فحتى إذا حاول رئيس الولايات المتحدة الأمريكية

حظـر استخدام شبكة الإنترنت، فلن يُقابـل إلا بالضحك والسخرية. فهناك نحـو مليار جهاز كمبيوتر شخصي في أنحاء العـالم اليوم، وحوالي رُبع البشر جميعًا دخلوا إلى شبكة الإنترنت ولو لمرة واحدة على الأقل.

- تبرز بضع لغات، على رأسها الإنجليزية ثم الصينية، باعتبارها لغات المستقبل في حضارة النمط الأول. فمثلاً، على شبكة الويب العالمية، يسجل 29 في المئة من الزوار دخولهم بالإنجليزية، يليهم 22 في المئة يسجلون الدخول بالصينية، ثم 8 في المئة بالإسبانية، و6 في المئة باليابانية، و5 في المئة بالفرنسية. وأصبحت الإنجليزية هي بالفعل اللغة الكوكبية للعلوم، والماليات، والتجارة، والتسلية. فاللغة الإنجليزية هي الأوسـع انتشاراً ورقم واحد على سطح الكوكب رغم أنهـا تأتـي في التريب الثاني بعد الصينية من حيث عـدد الناطقين بها. فأينما سافرت أجد أن الإنجليزية أصبحت هي اللغة المشتركة بين الشعوب المختلفة. ففي آسيا، مثلاً، عندما يلتقي الفيتناميون واليابانيون والصينيون في اجتماع، يستخدمون الإنجليزية في التواصل. وفي الوقت الحالي، هناك نحو 6000 لغة يتحدث بها سكان الأرض، و90 في المئة من تلك اللغات يتوقع أن تنقرض خـلال العقود المقبلة، وفقًا لمايكل إي. كراوس Michael E. Krauss، الذي كان يعمـل سابقًـا في مركـز اللغـات الوطنيـة Native Language Center بجامعة ألاسـكا University of Alaska. وتؤدي ثورة الاتصالات عن بعد إلى التعجيل بهذه العملية، إذ إن الناس كافة بمن فيهم الذين يعيشون في أقصى بقاع الأرض يتعرضون للغة الإنجليزية بطريقة أو بأخرى. وسوف يؤدي هذا أيضًـا إلى التعجيل بالنمو الاقتصـادي؛ لأن مجتمعاتهم تندمج على نحو أكبر في الاقتصاد العالمي، مما يرفع مستويات المعيشة والنشاط الاقتصادي.

يتحسر بعض الناس على حقيقة أن بعض اللغات القديمة الموروثة ستنتهي ولن يتحدث بها أحد بعـد الآن. لكن ثورة الكمبيوتر، من ناحية أخرى، سـوف تضمن عدم ضياع تلك اللغات، فسـوف يضيف أهل اللغة لغتهم وثقافتهم إلى شبكة الإنترنت، حيث سيتم الاحتفاظ بها إلى الأبد.

- إننـا نشهد ميـلاد اقتصاد كوكبي، فبـزوغ الاتحاد الأوروبـي وغيره من التكتـلات التجارية يجسد ظهور اقتصاد حضارة من النمط الأول. فمن المعـروف تاريخيًـا أن الشعوب الأوروبية قد قاتلـت في معارك ثأرية مع جيرانهـا لآلاف السنين. وحتى بعد سقـوط الإمبراطورية الرومانية، فقد استمـرت القبائل في ذبح بعضهـا بعضًا؛ لتشكل في نهايـة الأمر الدول الأوروبيـة المتقاتلة. لكن تلك الأمم المنخرطة في صراعات مريرة ارتبطت اليـوم ببعضها بعضًا فجـأة لتشكل الاتحاد الأوروبـي، الذي يجسد أكبر تكتل للثروة على سطح كوكب الأرض. أما السبب الذي جعل تلك الأمم تنحـي صراعاتها الشهيرة جانبًا على نحـو مفاجئ فهو الرغبة في منافسة القـوة الاقتصادية الماحقة للدول التي وقعـت اتفاقية التجارة الحرة لدول أمريكا الشمالية[1] North American Free Trade Agreement (المعروفة اختصـارًا باسم (نافتـا) NAFTA). وفي المستقبل، سـوف نرى تشكيل

(1) اتفاقيـة التجـارة الحرة لدول أمريـكا الشماليـة North American Free Trade Agreement: تعرف اختصارًا باسم (نافتا) NAFTA وهي اتفاقية لإنشاء منطقة تجارية حرة بين الولايات المتحدة وكندا والمكسيك. دخلت حيز التنفيذ في 1 يناير 1994. وتعتبر مصادقة الكونغرس الأمريكي على الاتفاقية هي البداية لإنشاء هذا التكتل، وهو كيان كما يفهم من الاتفاقيـة المنشأة من أجله مفتوح أمام باقي الدول الأمريكية.بما في ذلك بعض دول أمريكا اللاتينية التي قد تنضم إليه في المستقبل. وإذا تفحصنا أهداف هذا الاتحاد فسنجدها لا تختلف كثيراً عن أهداف الاتحاد الأوروبي، فهي بعد تحقيق اقتصاد قوي للدول الأعضاء تعطي كل أولوياتها للقدرة على منافسة التكتلات الاقتصادية الأخرى الصاعدة على المستوى العالمي. (المترجم)

المزيـد من التكتلات الاقتصاديـة، وذلك عندما تدرك باقـي الأمم أنها لا تستطيع أن تظل في المنافسة ما لم تنضم لتكتلات تجارية قوية رابحة.

وعندما نحلل الأزمة الاقتصادية العالمية التي وقعت عام 2008، نكتشف دليـلا بيانيًـا على هذا. ففي غضـون أيام قليلة، امتـدت موجات الصدمة الاقتصادية الناشئة أصلا من وول ستريت لتجتاح الأسواق المالية في لندن، وطوكيو، وهونج كونج، وسنغافورة. ومن المستحيل اليوم فهم اقتصاديات دولة منفردة دون فهم النزعات المؤثرة في الاقتصاد العالمي ككل.

- إننـا نشهد ميلاد طبقـة وسطى على مستوى كوكـب الأرض. فمئات الملايـين من الناس في الصين والهنـد وغيرها من دول العـالم ينضمون لمصـاف هذه الطبقة، التي يمكن أن تكون أعظم حراك اجتماعي حدث في العـالم خـلال نصـف القرن الأخـير، وهذه الفئـة من الناس واعية للثقافة والتعليـم والنزعات الاقتصادية المؤثرة في الكوكب. ولا ينصب تركيز أفراد تلك الطبقـة الوسطى الكوكبية على الحروب، أو الدين، أو القواعد الأخلاقية الصارمة، وإنما على الاستقرار السياسي والاجتماعي والبضائع الاستهلاكية. فالشغـف الأيديولوجي والعشائري الذي كان مستحـوذًا على أسلافهـم لا يعني لهم الكثير بمـا أن هدفهم هو امتلاك منزل في ضواحي المدينة مع سيارتين. وفي حين كان أسلافهم يحتفلون باليـوم الـذي يذهب فيـه أبناؤهم إلى الحـرب، فإن أحـد الاهتمامات الأساسية لهؤلاء الآن هو إلحاق أبنائهم بكلية جامعية مرموقة. أما هؤلاء الأشخاص الذين ينظـرون بحسد لأناس غيرهم فيرتقـون وتتحسن أحوالهـم متى يحين الوقـت ليرتقوا بدورهم. كتـب كينيشي أوهماي

Kenichi Ohmae، أحـد كبـار الشركاء في شركة ماكنـزي أند كومباني Mckinsey and Company، يقـول: (سوف يبدأ الناس حتمًا في النظر حولهم والتسـاؤل عن سبب عدم امتلاكهم لمـا يمتلكه آخرون. وهناك سـؤال آخر على القـدر نفسه من الأهميـة، وفحواه لمـاذا لم يستطيعوا امتلاك هذه الأشياء في الماضي).

- الاقتصـاد، وليس الأسلحـة، إنه المعيار الجديد للقـوى العظمى. فبروز الاتحـاد الأوروبي واتفاقية التجـارة الحرة لبلاد أمريـكا الشمالية يؤكد على نقطة مهمة؛ فمع نهاية الحرب الباردة، أصبح من الواضح أن القوة العالميـة يمكنها الحفاظ علـى وضعها المهيمن في العالم مـن خلال القوة الاقتصاديـة في الأساس. أمـا الحروب النووية فهي أخطـر من أن يقدم أحد على خوضها، ولذا فإن القوة الاقتصادية هي ما سيقرر إلى حد كبير مصير الأمم. لقد كان الضغط الاقتصادي للتسابق العسكري مع الولايات المتحـدة؛ أحد العوامـل التي أسهمت بقوة في انهيـار الاتحاد السوفيتي السابق. (وكما علق بعض مستشاري الرئيس الأمريكي الأسبق رونالد ريجـان Ronald Regan، فإن إستراتيجية الولايـات المتحدة الأمريكية كانـت تتمثل في إدخـال روسيا في حالـة كساد اقتصـادي، أي زيادة الإنفاق العسكـري الأمريكي، حيث يضطر الروس – في ظل اقتصاد يقـل حجمه عـن نصف حجم الاقتصاد الأمريكـي – إلى ترك شعبهم يعاني من الجـوع لمواكبة الإنفاق العسكـري الأمريكي). وبدا واضحًا أن القـوة العظمى، في المستقبل، لا يمكنهـا الحفاظ على مكانتها إلا من خلال القوة الاقتصادية، وهذا بدوره ينبع من العلم والتكنولوجيا.

- تبزغ الآن ثقافة كوكبية، قائمة على ثقافة الشباب (موسيقى الروك أند رول وموضات الشباب)، والأفلام السينمائية (أفلام هوليوود فائقة النجاح والانتشار)، والموضة الراقية (سلع الرفاهية)، والطعام (سلاسل مطاعم الأطعمة السريعة واسعة النطاق). فأينما ذهبت وارتحلت، يمكنك أن تجد دليلا على الميول الثقافية ذاتها في الموسيقى، والفنون، والموضة. فعلى سبيل المثال، تدرس هوليوود بعناية الذوق العالمي عندما تحسب مدى النجاح الذي سيحققه فيلم ما يحتمل أن يحقق نجاحًا كبيرًا. أما الأفلام التي تحتوي على أفكار متعددة الثقافات (كأفلام الحركة أو الأفلام الرومانسية)، وتضم كذلك عددًا كبيرًا من المشاهير المعروفين عالميًا، فهي التي تحقق أعلى الإيرادات لهوليوود، وهذا دليل على الثقافة الكوكبية البازغة.

لقد رأينا هذا بعد الحرب العالمية الثانية، عندما امتلك جيل كامل من الشباب – لأول مرة في تاريخ البشرية – دخلًا كافيًا لتغيير الثقافة السائدة. وفي السابق، كان الأطفال يذهبون إلى الحقول ليكدحوا مع آبائهم بمجرد أن يبلغوا سن النضج (وهذا هو منشأ الإجازة الصيفية الممتدة لثلاثة أشهر. ففي العصور الوسطى، كان مطلوبًا من الأطفال القيام بعمل يقصم الظهور في الحقول أثناء الصيف بمجرد أن يشبوا عن الطوق). لكن مع زيادة الرفاهية، رحل جيل من ولدوا بعد الحرب العالمية الثانية في أمريكا عن الحقول وتوجهوا نحو شوارع المدن. واليوم، نرى أن النمط ذاته يتكرر مرة أخرى في دولة وراء أخرى، فيما يزود النمو الاقتصادي الشباب بإيرادات وفيرة متاحة للإنفاق. وفي النهاية، مع دخول معظم أفراد العالم إلى الطبقة الوسطى، فإن الإيرادات المتزايدة ستؤول إلى أبنائهم

الشبـاب، وهـو ما سيزود تلك الثقافـة الشبابية الكوكبيـة بالوقود اللازم لاستمرارها إلى الأبد.

إن موسيقـى الروك أند رول، وأفـلام هوليوود، وما إلى ذلك ما هي في الحقيقـة إلا أمثلة بـارزة علـى أن الرأسمالية الفكرية تحل محـل الرأسمالية السلعيـة. ولسوف تظـل الروبوتات لعقـود تالية غير قـادرة على ابتكار موسيقى وأفلام يمكنها إثارة حماس جمهور عالمي.

ويحـدث هذا أيضًا في عالم الموضـة، حيث تبسط مجموعة من الماركات العالمية هيمنتها عالميًا، كما أن الموضة الراقية – التي كانت مقتصرة في يوم من الأيام على الطبقة الأرستقراطية والأغنياء غنى فاحشًا – تنتشر بسرعة في جميـع أنحـاء العالم مـع انضمام المزيد مـن الناس إلى الطبقة الوسطى وتطلعهم إلى بعض إغـراءات الثراء، فلم تعد الموضة الراقية منطقة مقتصرة على النخبة الثرية.

غـير أن بروز الثقافـة الكوكبية لا يعني أن الثقافـات أو العادات المحلية سـوف تمحى، وستصبح لـدى الناس بدلا من ذلـك ثقافة مزدوجة. فمن ناحيـة، سوف يحتفظون بعادات وتقاليد ثقافتهـم المحلية (حيث تضمن شبكـة الإنترنـت أن تحيـا تلك العـادات والتقاليـد الإقليميـة إلى الأبد). ولسـوف يظل التنوع الثقـافي الثري في العالم مزدهـرًا في المستقبل. وفي الواقع، أنه يمكن أن تنتشر سمات مبهمة معينة لثقافة محلية في العالم كله من خلال شبكة الإنترنت، وذلـك على نحو يكسب تلك السمات جمهورًا عالميًا. ومـن ناحية أخرى، سوف يتقن الناس النزعـات المتغيرة التي تؤثر في الثقافـة العالمية. وعندما يتواصل الناس مع آخرين من ثقافات أخرى،

فسوف يفعلون هذا من خلال الثقافة العالمية. وقد حدث هذا بالفعل لكثير من أفراد النخبة على مستوى الكوكب كله؛ فهم يتحدثون اللغة المحلية ويتبعون العادات والتقاليد المحلية لكنهم يستخدمون اللغة الإنجليزية ويتبعون الأعراف الدولية عند التعامل مع أناس آخرين من بلدان أخرى، وهذا هو نموذج حضارة النمط الأول البازغة. ولسوف تستمر الثقافات المحلية في الوجود والازدهار، في تعايش سلمي إلى جانب الثقافة العالمية الأكبر.

- تتحول عملية تداول الأخبار إلى نمط كوكبي، فمع انتشار أجهزة التليفزيون التي تتلقى بث الأقمار الصناعية، والهواتف المحمولة، وشبكة الإنترنت، وغير ذلك أصبح من المستحيل على أي دولة أن تسيطر تمامًا على الأخبار وأن ترشحها. فالمشاهد المصورة تأتي من جميع أنحاء العالم، وبصورة تتجاوز نطاق سيطرة المراقبين. وعندما تندلع الحروب أو الثورات، يتم بث الصور فوريًا في جميع أنحاء العالم في وقت وقوع الأحداث نفسه. وفي الماضي، كان من السهل نسبيًا على القوى العظمى في القرن التاسع عشر أن تفرض قيمها وأن تتلاعب بالأخبار. وما يزال ذلك ممكنًا إلى اليوم، لكن على نحو أقل بكثير، بسبب التكنولوجيا المتطورة. ومع ارتفاع مستويات التعليم في أنحاء العالم، أصبح هناك جمهور أكبر بكثير يتابع أخبار العالم. وعلى الساسة اليوم أن يضعوا الرأي العام في اعتبارهم عندما يفكرون في عواقب أفعالهم.
- إن الألعاب الرياضية – التي كانت في الماضي جزءًا أساسيًا من صياغة هوية قبلية ثم هوية وطنية – تصوغ الآن هوية كوكبية. وتهيمن الآن

كرة القدم والألعاب الأولمبية على الألعاب الرياضية الكوكبية. فدورة الألعاب الأولمبية عام 2008 على سبيل المثال اعتبرت على نطاق واسع احتفالا ببزوغ نجم الصينيين، الذين أرادوا أن يحظوا بوضعهم الملائم في العالم بعد قرون من العزلة. وهذا أيضًا مثال على سلوك إنسان الكهف، فالألعاب الرياضية لم تعد نشاطًا يتعلق بالبهجة والسعادة فحسب، لكنها أصبحت مدخلًا إلى عالم التكنولوجيا العالية.

- تتم مناقشة التهديدات البيئية كذلك على نطاق كوكبي، فالدول تدرك جيدًا أن التلوث الذي تتسبب فيه يعبر الحدود الوطنية ومن ثم يمكن أن يخلق أزمة دولية. لقد رأينا هذا لأول مرة عندما انفتح ثقب كبير في طبقة الأوزون[1] فوق القطب الجنوبي. فلما كانت طبقة الأوزون تمنع الأشعة فوق البنفسجية وأشعة إكس الضارة المنبعثة من الشمس من الوصول إلى الأرض، فقد اجتمعت دول العالم معًا للحد من إنتاج واستهلاك الكلوروفلوروكربونات المستخدمة في الثلاجات والمنظومات الصناعية. وفي عام 1987 تم توقيع (بروتوكول مونتريال)[2] Montreal Protocol وهو ما أدى لتقليل استخدام الكيماويات المتسببة في تآكل

(1) طبقة الأوزون Ozone Layer: هي جزء من الغلاف الجوي لكوكب الأرض الذي يحتوي بشكل مكثف على غاز الأوزون، وهي ذات لون أزرق. ويتحول فيها جزء من غاز الأكسجين إلى غاز الأوزون بفعل الأشعة فوق البنفسجية القوية التي تصدرها الشمس. ولهذه الطبقة أهمية حيوية بالنسبة لنا فهي تحول دون وصول الموجات فوق البنفسجية القصيرة بتركيز كبير إلى سطح الأرض. (المترجم)

(2) بروتوكول مونتريال Montreal Protocol: معاهدة دولية تهدف لحماية طبقة الأوزون من خلال التخلص التدريجي من إنتاج عدد من المواد التي يُعتقد أنها مسؤولة عن نضوب طبقة الأوزون. ودخلت الاتفاقية حيز التنفيذ في يناير 1989. ومن المعتقد أنه إذا تم الالتزام بتطبيق الاتفاقية، فإن طبقة الأوزون ستتعافى بحلول عام 2050. ونظرًا لاعتمادها وتنفيذها على نطاق واسع، فقد أشيد بها كمثال استثنائي للتعاون الدولي، وقيل إنها ربما تكون واحدة من أنجح الاتفاقيات الدولية حتى الآن. (المترجم)

طبقــة الأوزون بنجــاح. وللبناء على هذا النجاح الــدولي، تبنت معظم دول العــالم ما يعرف باسم (بروتوكول كيوتو)[1] Kyoto Protocol عام 1997 للتعامل مع خطر ارتفاع درجة حرارة الأرض، الذي يُعد تهديدًا أخطر لبيئة كوكب الأرض.

- تُعــد السياحة واحدة من الصناعــات الأسرع نموًا على سطح الكوكب، فقــد كان من الشائع، خلال معظــم فترات التاريخ البشــري، أن يعيش الناســ حياتهم كلها في نطاق بضعة أميــال من محل ميلادهم. وكان من السهــل على الزعمــاء منعدمي الضمــير أن يخدعوا شعوبهــم، التي لا تتمتــع بأي اتصال بالشعوب الأخــرى أو تلك التي لديها اتصال محدود فحســب. لكن المرء يستطيع اليــوم أن يجوب العالم كله بميزانية معقولة. وســوف يصبح أجيال الشبــاب التي تحمل حقائبها علــى ظهرها اليوم والتــي تنــزل في بيوت للشباب زهيــدة التكلفة في جميــع أنحاء العالم؛ زعماء المستقبل. وفي الوقت الذي ينتقد فيه بعض الناس حقيقة أن لدى السياح فهمًا سطحيًــا للغاية للثقافات والتواريــخ والسياسات المحلية، فــإن علينــا أن نوازن بــين هذا وبــين الماضي، عندمــا كان الاتصال بين الثقافــات المتباعدة لا يكاد موجودًا، باستثنــاء الاتصال أوقات الحرب، وكانت نتائج الاتصال غالبًا مأساوية.

(1) بروتوكــول كيوتــو Kyoto Protocol: اتفاقية تمثل خطوة تنفيذية لاتفاقية الأمم المتحدة المبدئية بشأن التغير المناخي وهي معاهــدة بيئية دولية خرجت للضوء في مؤتمر الأمم المتحدة المعني بالبيئة والتنمية. وقد هدفت المعاهدة إلى تحقيق تثبيت تركيز غــازات الدفيئة في الغلاف الجوي عند مستوى معين. ونصت معاهدة كيوتو كذلك على التزامات قانونية للحد من انبعاث أربعــة من غازات الدفيئة هي ثاني أكسيد الكربون، والميثان، وأكسيد النيتروس، وسداسي فلوريد الكبريت، ومجموعتين من الغازات تنتجها الدول الصناعية. ونصت أيضا على التزامات عامة لجميع البلدان الأعضاء. (المترجم)

- وكذلك يؤدي تراجع أسعار السفر والتنقل عبر العالم إلى تعجيل الاتصال بين الشعوب المختلفة، وهو ما يجعل شن الحروب أكثر صعوبة وينشر مبادئ الديمقراطية. فقد كان سوء التفاهم بين الشعوب أحد العوامل الرئيسة التي حفزت العداء بين الأمم. وبوجه عام، بات من الصعب جدًا شن حرب على أمة أخرى تجمعنا بها علاقة مودة وتفاهم.
- إن طبيعة الحروب نفسها تتغير لتعكس هذا الواقع الجديد، فقد أظهر التاريخ أنه لا تكاد تندلع حرب بين دولتين ديمقراطيتين، فجميع حروب الماضي تقريبًا لم تندلع إلا بين دول غير ديمقراطية، أو بين دولة ديمقراطية وأخرى غير ديمقراطية. وبوجه عام، يمكن أن تنتشر حمى الحرب بسهولة بواسطة الهمج والدهماء الذين يصورون العدو في صورة شيطان ملعون. أما في ظل الدولة الديمقراطية، فهناك صحافة نشطة، وأحزاب معارضة، وطبقة وسطى مستريحة يمكن أن تخسر كل شيء إذا ما اندلعت الحرب، فإن من الصعب جدًا أن تنمو حمى الحرب. فمن الصعب أن تنمو حمى الحرب وهناك صحافة متشككة وأمهات تريد أن تعرف سبب ذهاب أبنائهن إلى ساحة الحرب.

وسوف تظل الحروب مستعرة في المستقبل؛ فكما قال المنظر العسكري البروسي كارل فون كلاوزفيتز[1] Carl von Clausewitz ذات مرة: (الحرب سياسة بوسائل أخرى). ورغم أن نار الحروب ستظل مستعرة،

(1) كارل فون كلاوزفيتز Carl von Clausewitz: جنرال ومُنظِّر بروسي كان لمؤلفاته أثر كبير في تطوير النظرية العسكرية حول الحرب الشاملة التي تسوغ مهاجمة كل أراضي العدو وممتلكات مواطنيه. (المترجم)

فسوف تتغير طبيعتها مع انتشار الديمقراطية في أنحاء العالم.

(وهناك سبب آخر يجعل اندلاع الحروب أكثر صعوبة من ذي قبل، وهو امتلاك العالم وفرة من الثروة وامتلاك الناس لمزيد مما يمكن أن يخسروه. لقد كتب المنظر السياسي إدوارد لوتواك Edward Luttwak يقول إن شن الحروب أصبح أكثر صعوبة بكثير الآن عما كان عليه في الماضي؛ لأن العائلات أصبحت أصغر اليوم. وفي الماضي، كان للأسرة المتوسطة نحو عشرة أبناء أو نحو ذلك؛ وكان الابن الأكبر يرث المزرعة، في حين ينضم إخوته الصغار للكنيسة، أو للجيش، أو يجربون حظهم في مكان آخر. واليوم، لما كان معدل الأطفال لدى الأسرة المتوسطة 1.5 طفل، لم يعد هناك فائض من الأطفال لتمويل الجيوش وجماعات الكهنة. ومن ثم سيكون شن الحروب أكثر صعوبة، خاصة بين الدول الديمقراطية وبين عصابات العالم الثالث).

- سوف تضعف الدول لكنها ستظل موجودة عام 2100، وسوف تظل هناك حاجة إليها لتمرير القوانين وحل المشكلات المحلية. غير أن سلطتها وتأثيرها سوف يقل كثيرًا مع تحول محركات النمو الاقتصادي لتصبح إقليمية، ثم عالمية. فمع بزوغ الرأسمالية، على سبيل المثال، في أواخر القرن الثامن عشر وأوائل القرن التاسع عشر، كانت الدول بحاجة إلى فرض عملة، ولغة وقوانين ضرائب، وتنظيمات مشتركة بشأن التجارة وبراءات الاختراع. وسرعان ما انهارت قوانين وأعراف الإقطاع التي أعاقت تقدم التجارة الحرة، والشؤون المالية أمام الحكومات الوطنية. وقد تستغرق تلك العملية، في الوضع الطبيعي، قرنًا من الزمن أو نحو

ذلك، لكننا رأينا نسخة على عجل من هذا عندما أقام المستشار الحديدي أوتـو فون بسمارك[1] Otto von Bismarck، الدولة الألمانية الحديثة عام 1871. وبالطريقـة ذاتها، يغير السعي نحـو حضارة النمط الأول طبيعة الرأسمالية، كمـا أن القوة الاقتصادية تتحـول تدريجيًا من الحكومات الوطنية إلى القوى الإقليمية والتكتلات التجارية.

ولا يعني هذا بالضرورة نشـأة حكومة عالمية؛ فهناك طرق عديدة يمكن أن تتواجد بها الحضارة الكوكبية. لكن من الواضح أن الحكومات الوطنية سـوف تفقد قوة نسبية من قوتهـا، أما القوة التي ستمـلأ الفراغ فسوف تعتمد على العديد من النزعـات التاريخية والثقافية والوطنية التي يصعب التنبؤ بها.

- سـوف يتم السيطرة على الأمراض على نطـاق الكوكب. ففي الماضي القـديم، لم تكـن الأمراض الخبيثة في واقع الأمـر في غاية الخطورة؛ لأن تعداد سـكان البشر كان قليـلا. ففيروس الإيبـولا[2] Ebola غير القابل للعلاج، مثلاً، هو علـى الأرجح مرض قديم أصاب بضع قرى معدودة على مـدار آلاف السنين، غير أن الانتشار السريـع للحضارة إلى مناطق

(1) أوتـو فون بسمـارك Otto von Bismarck: رجل دولـة وسياسي بروسي (ألماني) شغل منصـب رئيس وزراء مملكة بروسيـا بين عامـي 1862 و1890، وأشرف على توحيد الولايـات الألمانية وتأسيس الإمبراطورية الألمانيـة أو ما يسمى بـ (الرايـخ الألماني الثـاني)، وأصبح أول مستشار لها بعد قيامها في عام 1871، حتى عزلـه فيلهلم الثاني عام 1890. ولدوره المهم خلال مستشاريته للرايخ الألماني أثرت أفكاره على السياسة الداخلية والخارجية لألمانيا في نهاية القرن التاسع عشر، ولذا عرف بسمارك بلقب (المستشار الحديدي). (المترجم)

(2) فيروس الإيبولا Ebola: مرض فيروسي خطير يصيب الإنسان وبعض أنواع القرود وهو مرض معدي ويتصف بمعدلات إماتـة عاليـة. اكتشف هذا المرض لأول مرة سنـة 1976، ومنذ ذلك الحين ظهرت أنواع مختلفة منه مسببة أوبئة تكون نسبة الوفيات فيها من 50 إلى 90 في المئة في كل من زائير، والجابون، وأوغندا، والسودان. (المترجم)

كانــت سابقًا غير مأهولة بالإضافــة إلى نشأة المدن يعنيــان أن شيئًا مثل الإيبولا لابد من مراقبته بعناية.

وعندمــا يصل تعداد ســكان المدن من مئات الألــوف إلى نحو المليون، يمكــن أن تنتشر الأمراض بسرعــة وأن تتسبب في أوبئة ماحقة. وقد كانت حقيقــة أن الطاعون الأســود[1] Black Plague قتل حــوالي نصف سكان أوروبــا مؤشــرًا على النمــو – رغم مــا ينطوي عليه هذا مــن سخرية – لأن أعــداد السكان كانت قــد وصلت إلى كتلة حرجــة لانتشار الأوبئة، وتسببت طرق الشحن في ربط المدن القديمة حول العالم ببعضها بعضًا.

وهكذا فــإن الانتشار الحالي لفيروس إنفلونــزا (إتش 1 إن 1)[2] H1N1 يعد معيارًا لتقدمنا أيضًا، فقد انتشر هذا الفيروس، الذي نشأ على الأرجح في مكسيكــو سيتي، بسرعة في أنحاء العــالم من خلال رحلات الطائرات النفاثــة. والأكثر أهمية أن الأمر قــد احتاج بضعة شهور فحسب من دول العــالم لعزل جينــات الفيروس ثم صنع لقــاح ضده، أصبــح متاحًا لمئات الملايين من الناس.

(1) الطاعون الأسود أو الموت الأسود Black Plague: وباء اجتاح أنحاء أوروبا بين عامي 1347 و 1352 وتسبب في موت مــا لا يقــل عن ثلث سكان القارة. وانتشرت أوبئة مشابهة في الوقت نفسه في آسيا والشرق الأدنى، مما يوحي بأن هذا الوباء الأوروبي كان جزءًا من وباء عالمي أوسع نطاقًا. (المترجم)

(2) فيروس الإنفلونزا (إتش 1 إن 1) H1N1: هو أحد أنواع فيروس الإنفلونزا وهو أكثر الأنواع المسببة للإنفلونزا لدى البشر. بعض فصائل الفيروس مستوطنة لدى البشر مثل الفصائل المسببة للإنفلونــزا الإسبانية التي تسببت في وفاة عدد يتراوح بين 70 – 100 مليــون شخص. وتعد الفصائل المنتشرة في الوقت الحالي – التــي تسببت في نصف أمراض الإنفلونزا في عام 2006 – أقل فتكاً من الإنفلونزا الإسبانية. وبعض أنواع H1N1 مستوطنة في الخنازير والطيور. (المترجم)

الإرهاب والديكتاتورية

غير أن هناك جماعات من البشر تقاوم بصورة غريزية الميل نحو حضارة كوكبية من النمط الأول؛ لأنهم يعلمون أنها حضارة تقدمية، وحرة، وعلمية، ومزدهرة، وقائمة على التعليم والثقافة. وقد لا تكون تلك القوى مدركة لتلك الحقيقة ولا تستطيع الإعراب عنها بوضوح، لكنها عمليًا تقاوم التوجه نحو حضارة النمط الأول، وتلك القوى هي:

- المتطرفون الإسلاميون الذين يفضلون العودة بالزمن ألف سنة إلى الوراء، أي إلى القرن الحادي عشر، بدلا من العيش في القرن الحادي والعشرين. إنهم لا يستطيعون صياغة استيائهم بهذه الطريقة، لكننا نرى من خلال تصريحاتهم هم أنفسهم؛ أنهم يفضلون العيش في ظل حكومة دينية تكون فيها العلوم والعلاقات الشخصية والسياسة خاضعة لتعاليم دينية صارمة (وهم بذلك ينسون أن عظمة الحضارة الإسلامية وتفوقها العلمي والتكنولوجي لم تتحقق إلا من خلال تحمل وقبول الأفكار الجديدة، هؤلاء المتطرفون لا يدركون المصدر الحقيقي لعظمة الماضي الإسلامي).
- الحكومات الديكتاتورية التي تعتمد على جعل شعوبها جاهلة بما تحققه الشعوب الأخرى من ثروة وتقدم. وأحد الأمثلة البارزة على ذلك هي المظاهرات التي اندلعت في إيران عام 2009، حيث حاولت الحكومة قمع أفكار المتظاهرين، الذين كانوا يستخدمون موقع التواصل الاجتماعي (تويتر) Twitter وموقع الفيديو (يوتيوب) YouTube في نضالهم من أجل توصيل رسالتهم إلى العالم.

وفي الماضـي، ذكر الناس أن القلم أمضى من السيـف. وفي المستقبل، ستكون رقاقة الكمبيوتر هي الأقوى من السيف.

إن أحد الأسباب التي لا يثور من أجلها شعب كوريا الشمالية – وهي دولة فقـيرة للغاية – هو أن الشعب محروم من كل وسائل الاتصال بالعالم الخارجـي، ويتصـور أن شعوب هذا العـالم تتضور جوعًـا أيضًا. ولأنهم يفهمون أنهم مضطرون لتقبل هذا المصير، فإنهم يتجشمون معاناة بالغة.

حضارات النمط الثاني

بحلـول الوقت الذي يبلغ فيـه المجتمع البشري مرتبـة النمط الثاني بعد آلاف السنـين في المستقبل، يصبح هذا المجتمـع خالدًا. فليس هناك شيء معـروف للعلم يمكنه تدمـير حضارة من النمـط الثاني. ونظـرًا لأن تلك الحضـارة ستكون قد سيطرت على الطقس منذ أمد بعيد، فإنها ستستطيع تجنـب العصور الجليدية أو تغيـير المناخ، كما أنها ستستطيـع أيضًا تفادي النيـازك والمذنبـات. وحتى إذا تحولـت شمسها إلى نجـم مستعر أعظم[1] supernova، فـإن سكان تلك الحضارة سيكونـون قادرين على الهروب واللجـوء إلى مجموعة شمسيـة أخرى، أو ربما يستطيعـون منع نجمهم من الانفجار (فإذا تحولت شمسهم مثلاً إلى عملاق أحمر، فإنهم قد يتمكنون

(1) مستعر أعظم أو سوبرنوفا supernova: نوع من أنواع النجوم المتفجرة وتعبير يدل على عدة انفجارات نجمية هائلة يرمي فيهـا النجم غلافـه في الفضاء عند نهاية عمره. وتؤدي إلى تكون سحابة كروية براقة للغاية حول النجم تتكون من البلازما، وسرعـان مـا تنتشر طاقة الانفجار في الفضاء وتتحول إلى أجسام غير مرئية في غضون أسابيع أو أشهر. أما قلب النجم فينهار علـى نفسـه نحو المركز مكونـا إما قزمًا أبيض أو يتحول إلى نجم نيوتروني ويعتمد ذلك علـى كتلة النجم. أما إذا زادت كتلة النجم عن نحو 20 كتلة شمسية فإنه قد يتحول إلى ثقب أسود دون أن ينفجر في صورة مستعر أعظم. (المترجم)

من جعل بعض الكويكبات تدور حول كوكبهم على نحو يشبه أثر المقلاع بغرض نقل كوكبهم إلى موضع أبعد من شمسهم هذه).

وإحدى الطرق التي قد تتمكن بها حضارة النمط الثاني من استغلال ناتج الطاقة الكلي لنجم ما هي صنع كرة عملاقة حول النجم تمتص ضوء النجم كله، وتسمى تلك الكرة (كرة دايسون)[1] Dayson sphere.

والأرجح أن حضارة النمط الثاني ستكون منعزلة في الفضاء أيضًا. فلما كان السفر إلى الفضاء أمرًا في غاية الصعوبة، فإنها ستكون قد قضت قرونًا من الزمن بالفعل وهي تصنف بوصفها حضارة من النمط الأول، وهو وقت وفير وكافٍ للتخلص من الانقسامات داخل مجتمعها. وبحلول الوقت الذي تتحول فيه حضارة من النمط الأول إلى حضارة من النمط الثاني، ستكون هذه الحضارة قد استوطنت النجوم القريبة منها وليس نظامها الشمسي فحسب، وربما إلى بعد يصل إلى عدة مئات من السنوات الضوئية، لكن ليس أكثر من هذا؛ لأنها ستظل مقيدة بسرعة الضوء.

حضارات النمط الثالث

بحلول الوقت الذي تصل فيه حضارة ما إلى وضع النمط الثالث، ستكون قد استكشفت معظم أجزاء المجرة. وستكون الطريقة الأكثر

(1) كرة دايسون Dayson sphere: هي فكرة لبناء افتراضي وهي عبارة عن كرة ضخمة تحيط بنجم تقوم بإنشائها حضارات متطورة تمتلك تكنولوجيا متقدمة. أما مهمة هذا البناء فهي التقاط أكبر قدر من الطاقة المنبعثة من النجم. وقد افترض عالم الفيزياء النظرية فريمان دايسون أن تلك البنية ستكون النتيجة الحتمية لتغطية الطلب المتزايد على الطاقة من قبل تلك الحضارات المتقدمة، وأن ذلك سيشكل حاجزًا أمام اكتشاف وجودها. (المترجم)

ملاءمة لزيارة مئـات المليارات من الكواكب هي إرسال مسابير آلية قادرة علـى استنساخ نفسها في جميع أرجاء المجـرة. ومسبار فون نيومان von Neumann هو روبوت لديه القدرة على صنع نسخ غير محدودة من نفسه؛ وهو يهبط على سطح قمر ما (لأنه خالٍ من الصدأ وعوامل التعرية) ويبني مصنعًـا من التراب القمـري، ويقوم المصنع بتصنيـع آلاف النسخ لنفسه. وابتداء بمسبار واحد كهـذا، سرعان ما سيكون هناك عالم مليء بالمليارات من تلـك المسابير التي تستنسخ نفسها والتـي تنطلق بسرعة تقارب سرعة الضـوء، لترسم خريطة لمجـرة درب التبانة بالكامـل في غضون مئة ألف عـام فحسب. ولما كان عمر الكـون هو 13.7 مليار سنة، فهناك متسع من الوقـت لنشـأة حضارات كهـذه (وانهيارها). (ويشبه هـذا النمو الأسي السريع الآلية نفسها التي تنتشر بها الفيروسات في الجسم البشري).

غـير أن هناك احتمالا آخر. فبحلول الوقت الـذي تصل فيه حضارة ما إلى النمـط الثالث، يكـون لدى سكانها مصادر طاقـة كافية لاستكشاف (طاقـة بلانك) Planck energy، أو طاقـة 10^{19} مليارات إلكترون فولت، وهي الطاقـة التي يصبح عندها الزمن الفضائـي نفسه غير مستقر (وطاقة بلانك هي طاقة أكبر بنحـو كدريليون ضعف من الطاقة التي يولدها أكبر محطم ذرات نمتلكه على الأرض، وهو مصادم الهدرونات الكبير Large Hadron Collider الموجـود خارج جنيف؛ وهي الطاقة التي تنهار عندها أخـيرًا نظرية آينشتاين للجاذبية. وعند هـذا القدر من الطاقة، يعتقد نظريًا أن نسيج الزمن الفضائي سوف يتمزق في نهاية الأمر، مخلفًا بوابات ضئيلة قـد تؤدي إلى أكوان أخرى أو نقـاط أخرى في الزمن الفضائي). وسوف

يتطلب استغلال مثل هذه الطاقة الهائلة آلات جبارة على نطاق لا يمكن تصوره، لكنها إذا نجحت فإنها قد توجد طرقًا مختصرة محتملة عبر نسيج الفضاء والزمان، وذلك إما عن طريق انضغاط الفضاء وإما عن طريق المرور عبر ثقوب دودية. وبافتراض أن سكان هذه الحضارة قد استطاعوا التغلب على عدد من العقبات النظرية والعملية الكؤود (مثل تسخير طاقة موجبة وسالبة كافية وإزالة عناصر عدم الاستقرار)، فمن الممكن أن نتصور أنهم قد يستطيعون استيطان المجرة بأكملها.

وقد دفع هذا بعض الناس إلى التفكير في السبب الذي منع حضارة كتلك من زيارتنا نحن البشر، حيث يتساءل منتقدو الفكرة: أين هم؟

وإحدى الإجابات المحتملة لهذا السؤال أنهم ربما زارونا بالفعل، لكننا أكثر بدائية من أن يلحظونا. وتعد مسابير فون نيومان التي تستنسخ ذاتها هي الوسيلة الأكثر عملية لاستكشاف المجرة، وتلك المسابير ليست ضخمة، وقد يبلغ طولها بضع بوصات قليلة فحسب، وذلك بسبب التطور الثوري في تكنولوجيا النانو. وربما كانت تلك المستكشفات الصغيرة في نطاق رؤيتنا بوضوح، لكننا لا نراها لأننا نبحث عن شيء آخر مختلف تمامًا، ونتوقع سفينة فضاء ضخمة تحمل كائنات غريبة من الفضاء الخارجي. ومن المرجح جدًا أن مسبار كهذا سيكون آليًا على نحو كامل، ولن يضم بداخله أي كائنات فضائية غريبة على الإطلاق.

وعندما نلتقي في نهاية الأمر بكائنات فضائية غريبة، قد تدهشنا المقابلة بشدة لأن تلك الكائنات ربما تغيرت طبيعتها البيولوجية منذ زمن طويل باستخدام علوم الروبوتات، وتكنولوجيا النانو، والتكنولوجيا الحيوية.

وهنـاك احتمـال آخر هو أن الحضارات الأخـرى ربما تكون قد دمرت ذاتهـا. فكمـا ذكرنـا أن الانتقـال من النمط صفـر إلى النمـط الأول هو الانتقـال الأكثر خطـورة؛ لأننا حينهـا نظل نمتلك وحشيـة الماضي كلها وتطرفـه وعنصريتـه. ومن المحتمل أن نجد في يوم مـن الأيام، عندما نزور النجـوم، أدلة علـى وجود حضارات من النمط صفـر فشلت في التحول إلى النمـط الأول (فربما أصبح مناخها مثلاً أكثر سخونة من أن يحتمل، أو أصبح شديد النشاط الإشعاعي بصورة لا تدعم استمرار الحياة).

البحث عن ذكاء خارج الأرض

من المؤكد، في الوقت الحالي، أن سكان العالم غير مدركين لمسألة التقدم نحـو حضارة كوكبية من النمط الأول، فليس هناك وعي ذاتي جمعي بأن هذا التحول التاريخي يحدث بالفعل. ولو أجريت عملية استطلاع رأي، ستجد أن بعض الناس قد يكونون مدركين على نحو مبهم لعملية العولمة، لكنك لن تجد لديهم إدراكًا واعيًا لفكرة أننا نتجه نحو وجهة معينة.

وقـد يتغير كل هـذا فجأة لو أننا وجدنا أدلة علـى وجود حياة عاقلة في الفضـاء الخارجي، فحينها سوف ندرك على الفـور مستوانا التكنولوجي مقارنـة بتلـك الحضـارة الفضائية، وسـوف يكون العلمـاء بوجه خاص مهتمـين بشدة بأنواع التقنيـات التي تفوقت تلك الحضـارة الفضائية في استخدامها.

ورغم أنـه لا يمكن أن نكون واثقين من هذا، فالأرجح أننا خلال القرن الحالي سوف نكتشف وجود حضارة متطورة في الفضاء، وذلك في ضوء

التطورات التكنولوجية السريعة الحالية.

وهناك نزعتـان جعلتا هذا الأمر ممكنًا؛ الأولى هي إطلاق أقمار صناعية مصممـة خصيصًا للعثـور على كواكـب صخرية صغيرة خـارج نظامنا الشمسي، مثل القمر الصناعي الفرنسي (كوروت) COROT وتلسكوب كيبلر Kepler. ومن المتوقع أن يكتشف تلسكوب كيبلر 600 كوكبًا صغيرًا شبيهًـا بالأرض في الفضـاء. وبمجرد اكتشاف تلـك الكواكب، ستكون الخطـوة التالية هـي تركيز البحث على انبعاثات توحـي بوجود مخلوقات عاقلة على تلك الكواكب.

ففـي عـام 2001، بدأ مليارديـر شركـة مايكروسوفت بـول آلين Paul Allen في التـبرع بمبالغ مالية، وصلـت الآن إلى 30 مليون دولار، لتشغيل برنامـج (البحث عن ذكاء خارج الأرض) Search for Extraterrestrial Intellegence (المعـروف اختصـارًا باسـم (سيتـي) SETI). وهـذا كله مـن شأنه أن يزيد كثـيرًا عدد التلسكوبـات اللاسلكيـة في منشأة (هات كريك) Hat Creek الواقعـة شمال سان فرانسيسكو. وعندما يعمل نظام تلسكوبـات آلين بشكل كامل، فسوف يضـم 350 تلسكوبًا لاسلكيًا، مما سيجعله أكثر نظـم التلسكوبات اللاسلكية تطـورًا في العالم. وفي الوقت الـذي استطاع فيه علمـاء الفلك في الماضي مسح ما يزيد قليلاً على 1000 نجم في بحثهم عن أدلة على وجود حياة عاقلة، فإن نظام تلسكوبات آلين سيزيد هذا العدد ألف ضعف ليصل إلى مليون نجم.

ورغـم أن العلمـاء كانـوا يبحثون بلا طائـل عن إشـارات على وجود حضـارات متقدمـة طوال خمسـين عامًا مضـت، فإن هذيـن التطورين

لم يمنحـا تلك الدفعة الضروريـة لبرنامج البحث عـن ذكاء خارج الأرض إلا مؤخـرًا. ويعتقـد كثير من علماء الفضاء أن الجهـد المبذول محدود جدًا وأن المـوارد المكرسة لهذا المشروع ضئيلة للغاية. ومع هذا التدفق للموارد والبيانـات الجديدة، يتحول برنامج البحـث عن ذكاء خارج الأرض الآن إلى مشروع علمي جاد.

ومـن المتصور أننا قد نكتشف – خلال هـذا القرن – إشارات قادمة من حضـارة عاقلة في الفضـاء الخارجي. (أخبرني سيـث شوستيك Seth Shostak، مديـر معهد البحث عن ذكاء خارج الأرض في منطقة الخليج؛ أنـه يتوقع في غضون عشريـن عامًا أن يجري اتصالًا مـع حضارة كهذه. وقـد يكون هذا إفراطًا في التفاؤل، لكن من المعقول جدًا هنا أن ندرك أنه سيكون غريبًا جـدًا أن يمر هذا القرن كله دون أن نكتشف إشارات قادمة من حضارة أخرى في الفضاء).

وإذا مـا عثرنا على إشارات من حضارة متقدمة، فقد تكون تلك إحدى العلامـات الفارقة الأكـثر أهمية في التاريخ البشـري. وسوف تحب أفلام هوليـوود تقديم وصف للفوضى التـي قد يتسبب فيها هذا الحدث الجلل، في ظـل وجود متنبئين يخبروننا بأن نهايتنا أصبحت وشيكة، وفئات دينية مجنونة تتدخل في الأمر مع مرور الوقت... إلخ.

غـير أن الواقع سيكون أكثر بساطة من هذا؛ فلن يكون هناك داع للذعر الفوري؛ لأن تلك الحضارة قد لا تعرف أصلا أننا نتنصت على محادثاتها. وحتى إذا عرفوا بذلك، فسيكون الحوار المباشر بيننا وبينهم عسيرًا، بسبب بعدهم الهائل عنا. فأولًا، قد يتطلب الأمر شهورًا وربما سنوات لفك شفرة

رسائلهم، ثم لتصنيف تكنولوجيا تلك الحضارة؛ لنرى ما إذا كانت تندرج تحت تصنيفات كارداشيف أو لا. وثانيًا، سوف يكون التواصل المباشر مع تلك الحضارة غير محتمل على الأرجح؛ لأن المسافة التي تفصلنا عنها ستكون سنوات ضوئية عديدة، أي أبعد من أن يمكن إجراء اتصال مباشر بها. وهكذا فإننا سنتمكن فقط من مراقبة تلك الحضارة، وليس إقامة أي حوار معها. وسوف تكون هناك جهود لبناء ناقلات لاسلكية عملاقة يمكنها إرسال رسائل إلى تلك المخلوقات الفضائية، وفي الحقيقة، أن الأمر قد يتطلب قرونًا من الزمان قبل أن يصبح أي تواصل متبادل مع تلك الحضارة ممكنًا.

تصنيفات جديدة

ظهر تصنيف كارداشيف في الستينيات من القرن الماضي، عندما كان الفيزيائيون مهتمون بتوليد الطاقة. ومع البزوغ المدهش لقوة الكمبيوتر، تحول الاهتمام إلى ثورة المعلومات، حيث أصبح عدد البتات bits التي تعالجها حضارة ما أمرًا مهمًا كإنتاجها من الطاقة تمامًا.

يستطيع المرء أن يتخيل، مثلاً، حضارة فضائية على سطح كوكب يستحيل فيه استخدام أجهزة الكمبيوتر لأن مناخه غير موصل للكهرباء. وفي هذه الحالة، سرعان ما سوف يتعطل أي جهاز كهربائي وتنبعث منه شرارات، حيث لا يمكن استخدام أي أجهزة كهربائية على سطح الكوكب سوى الأجهزة البدائية للغاية.

وحينها سرعان ما سيحترق أي مولد طاقة أو جهاز كمبيوتر كبير، ويمكننا

أن نتخيل أن حضارة كهذه قد تبرع في نهاية الأمر في استخدام الوقود الأحفوري والطاقة النووية، لكن مجتمع تلك الحضارة سيكون عاجزًا عن معالجة كميات ضخمة من المعلومات. وسيكون من الصعب على المجتمع إنشاء شبكة إنترنت أو نظام اتصالات كوكبي، وسيكون اقتصاده وتقدمه العلمي ضعيفًا. ورغم أن تلك الحضارة قد تستطيع الترقي على مقياس كارداشيف لاستهلاك الطاقة، فسوف يكون هذا الترقي شديد البطء والصعوبة بدون أجهزة كمبيوتر قادرة على معالجة معلومات ضخمة.

ولذا، قدم لنا كارل ساجان معيارًا آخر يعتمد على معالجة المعلومات، فقد ابتكر نظامًا تتسق فيه حروف الأبجدية الإنجليزية من حرف A إلى حرف Z مع المعلومات. فحضارة من النمط A هي حضارة تعالج فقط مليون معلومة، وهو ما يتسق مع حضارة لديها لغة منطوقة وليست لديها لغة مكتوبة. فلو أننا جمعنا كل المعلومات التي استطاعت البقاء من عصر الإغريق، حيث كان لديهم لغة مكتوبة وأدب مزدهر، فسنجدها تقدر بنحو مليار معلومة، مما يجعلها حضارة من النمط C. وإذا ارتقينا على هذا المعيار، فيمكننا حينئذ تقدير كم المعلومات الذي تولده حضارتنا الحالية. وسوف يضعنا تخمين مدروس في فئة حضارة من النمط H. وهكذا فإن قدر الطاقة ومعالجة المعلومات الخاص بحضارتنا يجعلنا حضارة من النمط H 0.7.

في السنوات الأخيرة، ظهر مصدر آخر للقلق؛ إنه التلوث والنفاية. فالطاقة والمعلومات ليستا كافيتين لتصنيف الحضارة. وفي الحقيقة أنه كلما زاد قدر الطاقة الذي تستهلكه حضارة ما وقدر المعلومات الذي تنتجه،

زاد التلوث والنفاية التي يمكن أن تولدها. تلك ليست مسألة أكاديمية؛ لأن النفايـة التي تولدها حضارة النمـط الأول وحضارة النمط الثاني قد تكون كفيلة بتدميرهما.

أما حضارة النمط الثاني، مثلاً، فتستهلك كل الطاقة التي يولدها نجم ما. ولنفترض أن محركات تلك الحضارة تعمل بكفاءة بنسبة 50 في المئة، وهو مـا يعني أن نصف المخلفات التي تنتجها تكـون في صورة حرارة. وهذا أمر مدمر على الأرجح؛ لأنه يعني أن درجة حرارة الكوكب سوف ترتفع إلى أن يـذوب! تأمل مليـارات مصانع الفحم علـى كوكب كهذا تقذف كميـات ضخمة من الحرارة والغازات التـي ستسخن الكوكب إلى درجة تستحيل معها الحياة على سطحه.

لقد حاول فريمان دايسون ذات مرة في الواقع أن يجد حضارة من النمط الثاني في الفضاء الخارجـي عن طريق البحث عن عناصر تبعث أشعة تحت الحمـراء، بدلا من أشعـة إكس أو الضوء المرئي. وفحضـارة النمط الثاني، إذا هـي أرادت إخفاء وجودها عن العيون المتطفلـة، عن طريق صنع كرة حاجبة حولهـا، فلابد أنها ستولد حرارة كافية مـن نفايتها تجعلها تتوهج بالأشعـة تحت الحمراء. ولـذا فقد اقترح فريمان دايسـون أن يبحث علماء الفضاء عن نظام نجمي يولد ضوء الأشعة تحت الحمراء في الأساس (غير أنه لم يتم العثور على حضارة كتلك).

لكـن هذا يثير القلق مـن أن أي حضارة تسمـح لطاقتها بأن تخرج عن نطـاق السيطرة فإنها بذلك تنتحر. ولذا فإننـا نرى أن الطاقة والمعلومات ليستـا كافيتـين لضمـان بقاء الحضـارات أثنـاء تطورها وارتقائهـا معيار

التقدم. إننا بحاجة لمعيار جديد؛ معيار يأخذ الكفاءة ودرجة حرارة النفاية والتلوث في الاعتبار. ومعيار كهذا يعتمد مفهومًا آخر يسمى (الاعتلاج) أو (إنتروبيا)[1] entropy.

تصنيف الحضارات بواسطة الإنتروبيا

في الأوضاع المثالية، عادة ما نريد حضارة تنمو في استهلاك الطاقة ومعالجة المعلومات، لكنها تفعل هذا بحكمة، حتى لا يصبح كوكبها ساخنًا إلى حد لا يحتمل، أو غارقًا في النفاية.

وقد تم توضيح هذا رسوميًا في فيلم ديزني (وول – إي) Wall – E، حيث تسبب البشر في المستقبل البعيد في تلويث كوكب الأرض وإهانته إلى حد جعلنا ببساطة نهجر الفوضى التي صنعناها وراءنا ونعيش حياة الدعة في سفن فضاء مترفة تجوب الفضاء الخارجي.

وهنا تصبح قوانين الديناميكا الحرارية في غاية الأهمية، فأول قوانين الديناميكا الحرارية ينص ببساطة على أن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث

(1) إنتروبيا أو الاعتلاج entropy: مصطلح أساسي في الفيزياء، وخاصة بالنسبة للقانون الثاني للديناميكا الحرارية، الذي يتعامل مع العمليات الفيزيائية لأنظمة التجمعات الكبيرة للجزيئات ويبحث في شروط مسيرها كعملية تلقائية. يعتمد على مبدأ أساسي مفاده أن تغيرًا تلقائيًا في نظام فيزيائي لابد أن يصحبه ازدياد في مقدار إنتروبيا هذا النظام. ويميل أي نظام مغلق إلى التغير تلقائيًا حتى يصل إلى حالة توزيع متساو في جميع أجزائه، مثل تساوي الحرارة، والضغط، والكثافة في الغازات والسوائل، وغير تلك الصفات، وقد يحتاج النظام المعزول للوصول إلى هذا التوازن بعض الوقت. ومثال ذلك ما يحدث عند إلقاء قطرة من الحبر الأزرق في كوب ماء، إذ نلاحظ أن نقطة الحبر تذوب وتنتشر رويدًا رويدًا في الماء حتى يصبح كل جزء من الماء متجانسًا بما فيه من حبر وماء. ولوصف فكرة الإنتروبيا نجد أن اختلاط نقطة الحبر بالماء في المثال السابق سهل ويتم بشكل طبيعي، أما إذا أردنا فصل نقطة الحبر عن الماء ليصبح لدينا ماء نقي وحبر نقي فتلك عملية صعبة ولا تتم إلا ببذل جهد كبير. فنقول إن حالة المخلوط له إنتروبيا كبيرة، أما حالة الماء النقي والحبر النقي فهي حالة إنتروبيا منخفضة. وتصادفنا مثل تلك العملية يوميًا كما في فصل السكر عن محلول قصب السكر. فإننا نقوم بذلك عن طريق تبخير المحلول، أي بتسخين المحلول وبذل الجهد، أو الطاقة، لفصل السكر عنه. (المترجم)

من عـدم، أي أننا لا نستطيـع توليد الطاقة دون مقابـل. وبعبارة أخرى، فـإن الكمية الإجمالية للمادة والطاقة في الكـون ثابتة؛ لكن كما رأينا في الفصـل الثالـث، فإن القانون الثاني هـو الأكثر أهميـة، وفي الواقع أنه قد يكـون المحدد لمصـير أي حضارة متقدمة في نهاية الأمـر. وببساطة، فإن القانـون الثاني من قوانين الديناميـكا الحرارية ينص على أن إجمالي مقدار الإنتروبيا (الاعتلاج أو الاضطراب أو الفوضى) في زيادة مستمرة. ويعني هذا أن كافة الأشياء لابد أن تفنى؛ فلابد لأي عنصر أن يفسد، أو يضمحل، أو يصدأ، أو يشيخ، أو حتى يتحلل (إننا لا نرى مقدار الإنتروبيا الإجمالي يتناقص مطلقًا. فعلى سبيل المثال، لا يمكن للبيض المقلي أن يقفز من المقلاة وأن يعـود مرة أخرى إلى قشرته؛ وكذلك لا يمكن أن نرى حبيبات السكر الذائبة في كوب من القهوة وهي تعود لتتبلور وتقفز عائدة إلى الملعقة. مثل هذه الأحداث لا تقع أبـدًا، لدرجة أنه ليست هناك كلمة واحدة في اللغة الإنجليزية – أو أي لغة أخرى – تعبر عنها ببساطة).

ولذا إذا أنتجت حضارات المستقبل الطاقة على نحو عمياني أثناء ارتقائها إلى النمـط الثاني أو النمط الثالث من الحضـارات، فسوف تخلف حرارة هائلة من النفاية بصورة يصبح معها كوكبها غير قابل للعيش عليه. وسوف تؤدي الإنتروبيا الموجودة في صورة حرارة، وفوضى، وتلوث، إلى تدمير الحضارة. وبالمثل، إذا ما كانت تلك الحضارات تولد المعلومات عن طريق قطـع أشجار غابات كاملة وتوليد جبال مـن أوراق النفاية، فسوف تُدفن الحضارة في نفاية المعلومات التي ولدتها هي نفسها.

ولذا، فإن علينا أن نبتكر معيارًا آخر جديدًا لتصنيف الحضارات. وعلينا

أن نضيـف نمطـين جديدين من أنماط الحضارة؛ النمـط الأول هو حضارة (حفـظ مستوى الإنتروبيا)، وهي حضـارة تستخدم كل وسيلة متاحة لها للسيطـرة علـى الحرارة والنفايـة الزائدة. فهي مع حاجتهـا لزيادة طاقتها علـى نحو متضاعف ومستمر، تـدرك أن استهلاكها للطاقـة قد يغير بيئة كوكبهـا، على نحو يجعل الحياة عليه مستحيلـة. وسوف يستمر إجمالي الاضطراب أو الإنتروبيا الـذي تصنعه حضارة متطورة في الزيادة بشدة؛ فهـذا أمر حتمي لا مفر منه، لكن الإنتروبيـا المحلية يمكن أن تتقلص على سطـح الكوكب لو أن تلك الحضارة استخدمت تكنولوجيا النانو والطاقة المتحددة للتخلص من النفاية وانعدام الكفاءة في استهلاك الطاقة.

والنمـط الثاني هـو حضـارة (الإفراط في مستـوى الإنتروبيـا)، وهي حضـارة تستمر في زيـادة استهلاكها للطاقة بلا حـدود. وفي النهاية، إذا مـا أصبح كوكبها غير قابل للسكنى، فإنها قد تحاول أن تهرب من إسرافها عـن طريق التوسع إلى كواكب أخرى. غير أن تكلفة إقامة مستعمرات في الفضاء الخارجي سوف تحد مـن قدرتها على التوسع. وإذا كان معدل نمو مستوى الإنتروبيا أسرع من قدرتها على التوسع إلى كواكب أخرى، فإنها ستواجه كارثة مدمرة في نهاية الأمر.

التحول من السيطرة على الطبيعة إلى الحفاظ على الطبيعة

كما ذكرنا سابقًا أننا، في الأزمنة القديمة، كنا مراقبين سلبيين لقوى الطبيعة، نحدق بتعجـب في كل الألغاز الغامضـة المحيطة بنا. واليـوم أصبحنا أشبه بمنسقين لقوى الطبيعة، قادرين على تطويع بعض قواها هنا وهناك. وبحلول

عـام 2100، سـوف نصبح أسيادًا مسيطرين على الطبيعـة، قادرين على نقل الأشياء باستخدام عقولنا، والتحكم في الحياة، والوصول إلى النجوم.

لكننا إذا ما أصبحنا أسيادًا للطبيعة، فسيكون علينا أيضًا أن نحافظ عليها. أمـا إذا سمحنـا للإنتروبيـا بالزيادة بلا حـدود، فسوف تهلكنـا حتمًا في نهايـة الأمر قوانين الديناميكا الحراريـة. إن حضارة النمط الثاني تستهلك، بطبيعتهـا، طاقـة تساوي مقدار طاقـة نجم، ولذا فإن درجـة حرارة سطح الكوكـب سترتفع على نحو جنوني إذا ما سُمح للإنتروبيا بالنمو على نحو مستمر لا كابح له. لكن هناك طرقًا للتحكم في نمو مستوى الإنتروبيا.

فعلـى سبيـل المثـال، عندما نـزور متحفًا ونـرى المحـركات البخارية الضخمـة الباقيـة من القرن التاسـع عشر، بمراجلهـا العملاقة وحمولات الفحـم الأسود، فإننا نـدرك إلى أي مدى كانت تفتقـر للكفاءة، إذ تهدر الطاقـة وتولد كميات هائلة مـن الحرارة والتلـوث. وإذا قارنا بينها وبين قطار كهربائي هادئ يسير بنعومة وسلاسة، فسنرى إلى أي مدى نستهلك الطاقـة بمزيد من الكفاءة اليـوم. ويمكننا اليوم تقليـل الحاجة إلى مولدات الطاقة التي تستخدم حـرق الفحم، والتي تطلق كميات هائلة من الحرارة والتلـوث في الهـواء، بسرعة كبيرة إذا كانت أجهـزة الناس أكثر كفاءة في استهلاك الطاقة من خلال استخدام أنواع الطاقة المتجددة وتصغير أحجام الأجهـزة. وتعطينا تكنولوجيا النانو الفرصة لتقليل الحرارة أكثر وأكثر مع تصغير حجم الآلات والأجهزة إلى مستوى الذرة.

وكذلـك إذا وُجدت الموصلات الفائقة في درجـة حرارة الغرفة خلال هـذا القـرن، فإن هذا يعنـي تعديلا كامـلا لمتطلباتنا مـن الطاقة، فسوف

تقـل النفاية الحرارية في صـورة احتكاك إلى حد كبـير، وذلك على نحو يزيـد من كفاءة آلاتنا. فكمـا ذكرنا من قبل أن القـدر الأعظم من طاقتنا، خاصة في مجال النقل، يستهلك في التغلب على الاحتكاك. ولهذا السبب نضـع البنزين في خزانات وقود مركباتنا، على الرغـم من أن الانتقال من كاليفورنيـا إلى نيويورك ما كان ليستهلـك أي طاقة تقريبًا لو لم يكن هناك احتـكاك. ويمكن للمرء حينئذ أن يتخيل أن حضارة متطورة سوف تكون قادرة على إنجاز مهام أكثر بكثير بطاقة أقل من تلك التي نستخدمها اليوم. ويعنـي هذا أننا قد نكون قادرين على وضع حـدود رقمية للإنتروبيا التي تنتجها حضارة متقدمة.

التحول الأكثر خطورة

ربمـا كان التحول من نمط الحضارة صفر الحـالي إلى نمط الحضارة الأول المستقبلـي هو أعظم تحول في تاريخ البشريـة. وسوف يحدد هذا التحول مـا إذا كنا سنستمـر في النجاح والازدهـار أو سنهلك بسبـب حماقتنا. ويعـد هذا التحول أمرًا في غاية الخطـورة؛ لأننا مازلنا نمتلك كل همجيتنا الوحشيـة التي كانـت رمزًا لنهوضنا المؤلم من البدائيـة. فلو أننا أزلنا قشرة الحضـارة التـي تغطي مظهرنـا، فسنرى أن قـوى الأصوليـة، والطائفية، والعنصرية، وعـدم التسامح... إلخ، مازالت تمارس عملها في نفوسنا. إن الطبيعة الإنسانية لم تتغـير كثيرًا خلال 100000 عام مضت، غير أننا نمتلك الآن أسلحة نووية وكيماوية وبيولوجية لتسوية الحسابات القديمة.

لكننـا بمجرد أن نحقق هذا التحول إلى حضـارة النمط الأول، ستكون

لدينـا قرونًا عديدة لتسوية خلافاتنا. وكمـا رأينا في فصول سابقة، ستظل المستعمـرات الفضائيـة باهظـة التكلفـة في المستقبل، ولذا فـإن من غير المحتمـل أن نسبة مؤثرة من سكان العالم سترحل لاستيطان المريخ أو حزام الكويكبات. وإلى أن تتسبب تصميمات صاروخية جديدة كليًا في خفض التكلفـة أو إلى أن يتم بنـاء مصعد الفضاء، سيظل السفـر إلى الفضاء مجالًا مقتصـرًا على الحكومات والأثريـاء جدًا. وبالنسبـة للأغلبية العظمى من سكان الأرض، فسيعني هذا أنهم سيظلون على سطح الكوكب في الوقت الذي ننتقل فيه نحن إلى حضـارة النمط الأول، ويعني كذلك أنه ستكون أمامنا قرون طويلة لحل خلافاتنا كحضارة من النمط الأول.

البحث عن الحكمة

إننا نعيش في زمن مثير؛ فالعلم والتكنولوجيا يفتحان أمامنا عوالم لم يكن بمقدورنا سابقًا سوى أن نحلم بها. لكنه عند النظر إلى مستقبل العلم، بكل تحدياتـه ومخاطره، أرى أملا حقيقيًا. وسـوف نكتشف في العقود القادمة الكثير والكثير عن الطبيعة بشـكل أكبر مما اكتشفناه طوال عصور التاريخ البشري السابقة.

لكن الأمر لم يكن كذلك دائمًا.

تأمـل مثلاً كلمـات بنيامـين فرانكلـين Benjamin Franklin، آخر كبار العلماء/الساسـة الأمريكيين، عندما خرج علينا بنبوءة، ليس فقط عن القرن التـالي وإنما، عن السنـين الألف القادمة. ففي عـام 1780، لاحظ فرانكلين بأسف شديد أن البشر كثيرًا ما يتصرفون كالذئاب تجاه بعضهم بعضًا، وذلك

في الأساس بسبب العبء الثقيل المتمثل في القدرة على البقاء في عالم قاسٍ.

كتب فرانكلين يقول:

إن من المستحيل تخيل الارتفاع الذي يمكن أن تصل إليه سيطرة الإنسان على المادة، بعد ألف سنة من الآن، وربما أمكننا أن نتعلم كيفية تجريد الكتل الكبيرة من وزنها، ومنحها خفة مطلقة، من أجل سهولة النقل. وقد يقل عدد العاملين في الزراعة ويزيد الإنتاج الزراعي؛ ويمكن الوقاية من جميع الأمراض أو علاجها بوسائل مؤكدة، بما فيها أمراض الشيخوخة، ومن ثم تطول الحياة التي نعيشها بمتعة وصحة لتتجاوز حتى مستوى أعمار الناس في الزمن السابق للطوفان.

لقد كان يكتب في زمن الفلاحين الذين يعيشون بكد وبؤس في أراضيهم، حين كانت العربات التي تجرها الثيران تنتج محصولا تالفًا، وكان الطاعون والمجاعات حقائق ثابتة من حقائق الحياة، ولا يتجاوز سنَ الأربعين سوى قلة محظوظة منهم. (ففي لندن عام 1750، مات ثلثا الأطفال قبل أن يصلوا لعمر الخامسة). لقد عاش فرانكلين في وقت كان يبدو فيه أنه لا أمل في حل مشكلات الشيخوخة في يوم من الأيام، أو كانت الحياة – كما كتب توماس هوبس Thomas Hobbes عام 1651 – (مهجورة، فقيرة، بغيضة، وحشية، وقصيرة).

أما اليوم، أي قبل وقت طويل من مرور الأعوام الألف التي تحدث عنها فرانكلين، فيبدو أن نبوءاته بدأت تتحقق.

وقد انعكس هذا اليقين – بأن العقل، والعلم، والفكر سوف تحررنا ذات يوم من طغيان الماضي – على كتاب ماركيز كوندوركت Marquis

de Condorcet الـذي حمـل اسـم (مخطط صـورة تاريخية لتقـدم العقل البشـري) Sketch for a Historical Picture of the Progress of the Human Mind، الـذي يزعـم البعض أنـه أصدق عمل تنبـؤي بأحداث المستقبـل كتبه بشر على مر العصور. لقد قدم لنا مجموعة واسعة التنوع من النبـوءات، جميعها كانت بمثابة بدع وهرطقة، لكنها تحققت جميعًا. لقد تنبـأ بأن مستعمرات العالم الجديد سوف تتحـرر في النهاية من أسر أوروبا ثم تتقدم سريعًا بفضل التكنولوجيا الأوروبية، وتنبأ كذلك بنهاية العبودية في كل مكان على وجـه الأرض، وتنبأ بأن المزارع ستزيد كثيرًا من حجم الطعـام الذي تنتجه لكل فـدان وجودته، وتنبأ بأن العلـم سيتقدم بسرعة ويفيد البشرية، وتنبـأ بأننا سنتحرر من ضغط الحاجة لكسب قوتنا اليومي وسنمتلـك المزيد من وقت الفـراغ، وتنبأ بأن فكرة تحديـد النسل سوف تنتشر ذات يوم انتشارًا واسعًا.

في عام 1795، بدا أنه لا أمل على الإطلاق في أن تتحقق تلك النبوءات.

لقد عاش كل من بنيامين فرانكلين وماركيز كوندوركت في زمن كانت الحياة فيه قصيرة ووحشيـة، وكان العلم في طور طفولته المبكرة. وبإعادة النظـر في تلك النبوءات، يمكننا أن نشعـر بالتقدير الكامل تجاه التطورات السريعة التي تحققت في العلوم والتكنولوجيا، والتي أوجدت ما يكفي من الكـرم والثروة لرفع مليارات البشر فوق مستوى الهمجية والوحشية التي اتسم بهـا ماضينا. وبالنظر مرة أخرى إلى عـالم فرانكلين وكوندوركت، يمكننـا أن نعتـبر أنه من بين جميع ابتـكارات البشر، فـإن الابتكار الأكثر أهميـة على الإطلاق كان هو ابتكار العلم، لقد ارتقى بنا العلم من أعماق

مستنقع الهمجية إلى أعتاب النجوم.

غير أن العلم لا يقف ساكنًا أبدًا، فبحلول عام 2100، كما ذكرنا سابقًا، ستكون لدينا قدرة آلهة الأساطير القديمة التي كان الناس يبجلونها ويخشونها في الماضي. وبصفة خاصة، سوف تمنحنا ثورة الكمبيوتر القدرة على التعامل مع الأشياء بعقولنا، وسوف تمنحنا ثورة التكنولوجيا الحيوية القدرة على صنع الحياة حسب الطلب وزيادة فترات حياتنا. وقد تمنحنا ثورة تكنولوجيا النانو القدرة على تغيير شكل الأشياء، بل حتى خلقها من العدم تقريبًا. وقد يؤدي كل هذا في نهاية المطاف إلى نشأة حضارة كوكبية من النمط الأول. ولذا فإن الجيل الذي يعيش على الأرض الآن هو أكثر الأجيال التي عاشت على سطح كوكب الأرض أهمية على الإطلاق؛ لأن هذا الجيل هو من سيحدد ما إذا كنا سنصل إلى حضارة النمط الأول أو سننحدر إلى الهاوية.

لكن العلم نفسه محايد أخلاقيًا؛ فهو سلاح ذو حدين؛ يمكن لأحدهما أن يقضي على الفقر، والمرض، والجهل، لكن الحد الآخر يمكنه أن يقضي على البشر أنفسهم، وتعتمد كيفية استخدام هذا السلاح الفتاك على حكمة من يحملونه في أيديهم.

وكما قال أينشتاين ذات مرة: (يستطيع العلم فقط أن يحدد ما هو كائن، وليس ما ينبغي أن يكون؛ وتظل مسألة تقدير القيمة – الخارجة عن نطاق تأثيره – لا غنى عنها). فالعلم يحل بعض المشكلات ليخلق لنا مشكلات أخرى، لكن على مستوى أعلى.

ولقد رأينا الجانب الفج والمدمر للعلم خلال الحربين العالميتين الأولى

والثانية، فقد شاهد العالم بفزع كيف يستطيع العلم جلب الدمار والخراب على نطاق غير مسبوق، وذلك مع ظهور الغازات السامة، والمدافع الآلية، والتفجيرات التي شملت مدنًا بأكملها، بالإضافة إلى القنابل الذرية. لقد أطلقت وحشية النصف الأول من القرن العشرين عنفًا يكاد يكون خارج نطاق التصور أو الإدراك.

لكن العلم أتاح للبشرية في الوقت نفسه إمكانية إعادة البناء والسمو فوق دمار الحرب، على نحو أدى لسلام وازدهار أعظم لمليارات البشر. وهكذا فإن القوة الحقيقية للعلم تكمن في أنه يعطينا القدرة والقوة؛ إذ يعطينا المزيد من الخيارات. فالعلم يعظم روح الابتكار والإبداع والتحمل البشرية، ويمكن كذلك أن يعظم عيوبنا الفاضحة.

المفتاح إلى المستقبل: الحكمة

الأساس إذن هو إيجاد الحكمة اللازمة لاستخدام سلاح العلم هذا، فكما قال الفيلسوف إيمانويل كانت[1] Immanuel Kant ذات مرة: (العلم معرفة منظمة. والحكمة حياة منظمة). ومن وجهة نظري، فإن الحكمة هي القدرة على تحديد القضايا الجوهرية الحاسمة في زمننا، وتحليلها من

(1) إيمانويل كانت Immanuel Kant: فيلسوف ألماني من القرن الثامن عشر، كان آخر فيلسوف مؤثر في أوروبا الحديثة في التسلسل الكلاسيكي لنظرية المعرفة خلال عصر التنوير الذي بدأ بالمفكرين جون لوك، وجورج بركلي، وديفيد هيوم. كون كانت منظورًا واسعًا جديدًا في الفلسفة، أثر في الفلسفة حتى القرن الحادي والعشرين. ونشر أعمالاً مهمة عن نظرية المعرفة وكذلك أعمالاً متعلقة بالدين والقانون والتاريخ. أما أحد أكثر أعماله شهرة فهو (نقد العقل المجرد)، والذي كان بمثابة بحث واستقصاء عن حدود وبنية العقل نفسه. قام ـ الكتاب ـ بهجوم على الغيبيات التقليدية ونظرية المعرفة. ومن أعماله الرئيسة الأخرى (نقد العقل العملي) الذي ركز على الأخلاق. (المترجم)

وجهات نظر ومنظورات عديدة، ومن ثم اختيار وجهة النظر التي توصل إلى مبادئ وأهداف نبيلة.

ففي مجتمعنا، يعد من الصعب أن ننال الحكمة. وكما قال إيزاك أسيموف ذات مرة: (الجانب الأكثر إثارة للحزن الآن هو أن العلم يراكم المعرفة أكثر مما يكتب المجتمع الحكمة). فعلى عكس المعلومات، لا يمكن توزيع الحكمة من خلال المدونات والثرثرة على الإنترنت. ولما أن غرقنا وسط بحر من المعلومات، غدت السلعة الأكثر قيمة في المجتمع الحديث هي الحكمة. فدون الحكمة والبصيرة، سوف ننجرف بلا هدف ولا غاية، بشعور الخواء والفراغ بعد أن تتلاشى حداثة المعلومات غير المحدودة.

لكن من أين تنبع الحكمة؟ جزئيًا، تنبع الحكمة من النقاش العقلاني الديمقراطي المثقف حول أفكار متعارضة. وكثيرًا ما يكون هذا النقاش مشوشًا وغير لائق ودائمًا ما يكون صاخبًا، لكن تظهر وسط الرعد والضباب بصيرة حقيقية صادقة. ففي مجتمعنا، يظهر هذا النقاش في صورة ديمقراطية، وكما قال ونستون تشرشل: (الديمقراطية هي أسوأ أشكال الحكومات، وذلك إذا ما استثنينا جميع الأشكال الأخرى التي تمت تجربتها بين الحين والآخر).

إن الديمقراطية ليست سهلة؛ فعليك العمل على إنجاحها. وقد قال جورج بيرنارد شو George Bernard Shaw: (الديمقراطية أداة تضمن ألا يتم حكمنا بصورة أفضل مما نستحق).

واليوم، تبزغ شبكة الإنترنت – بكل عيوبها وأخطائها – كحارس للحريات الديمقراطية، فالقضايا التي كانت تتم مناقشتها في وقت من الأوقات

وراء الأبواب المغلقة يتم فحصها وتحليلها الآن على آلاف مواقع الويب.

ويعيش الحكام المستبدون في حالة هلع من شبكة الإنترنت، مرعوبين مما قد يحدث إذا ثارت شعوبهم عليهم. ولذا فإن كابوس رواية (1984) 1984 لجورج أورويل قد انزاح، مع تحول الإنترنت من أداة للإرهاب إلى أداة للديمقراطية.

ووسط تنافر المناقشات والجدل تظهر الحكمة. لكن الوسيلة الأكيدة لتعزيز نقاش ديمقراطي فعال إنما تأتي من خلال التعليم؛ لأن جمهور الناخبين المتعلم هو وحده القادر على اتخاذ القرارات بشأن تقنيات ستحدد مصير حضارتنا. ففي نهاية الأمر، سوف يقرر الناس بأنفسهم إلى أي مدى يتم تطوير تقنية معينة، وفي أي اتجاه يجب أن تتطور، لكن الجمهور المتعلم المثقف هو وحده من يمكنه اتخاذ مثل هذه القرارات بحكمة.

ومع الأسف فإن كثيرًا من الناس يجهلون على نحو مؤلم التحديات الهائلة التي تواجهنا في المستقبل، فكيف يمكننا إذن إيجاد صناعات جديدة تحل محل القديمة؟ وكيف سنعد الشباب لسوق العمل في المستقبل؟ وإلى أي مدى يجب أن نحافظ على تطور الهندسة الوراثية البشرية؟ وكيف يمكننا إصلاح نظام تعليمي فاسد ومتدهور لمواجهة تحديات المستقبل؟ وكيف يمكننا مواجهة مشكلة ارتفاع درجة حرارة الأرض أو مشكلة الانتشار النووي؟

إن أساس بناء الديمقراطية هو جمهور الناخبين المتعلم المثقف الذي يمكنه مناقشة قضايا عصرنا بعقلانية وهدوء واتزان. وهدف هذا الكتاب هو المساعدة على بدء النقاش الذي سيقرر الشكل الذي سيتخذه هذا القرن.

المستقبل كقطار شحن

باختصار، المستقبل ملكنا لنصنعه بأيدينا، وليس هناك شيء مؤكد. وكما كتب ويليام شكسبير[1] William Shakespeare في مسرحيته (يوليوس قيصر) Julius Caesar: (المشكلة يا عزيزي بروتس ليست في النجوم، وإنما فينا نحن...). أو كما قال هنري فورد ذات مرة، ربما بقدر أقل من البلاغة: (التاريخ في الغالب ليس أكثر من لغو فارغ، إنه تراث. ونحن لا نريد التراث؛ إننا نريد العيش في الحاضر، والتاريخ الوحيد الذي يستحق الاهتمام هو التاريخ الذي نصنعه اليوم).

وهكذا فإن المستقبل أشبه بقطار شحن عملاق ينطلق بسرعة على سكته، ومتجه صوبنا. وخلف هذا القطار جهد وعرق آلاف العلماء الذين يخترعون المستقبل في معاملهم. ويمكنك كذلك سماع صفير القطار. إنه يلخص كلماته في: تكنولوجيا حيوية، وذكاء اصطناعي، وتكنولوجيا النانو، واتصالات عن بعد. غير أن رد فعل البعض في أن يقول: (إنني عجوز جدًا؛ ولا يمكنني تعلم هذه الأشياء. وسوف أستلقي فحسب ليدهسني القطار). لكن رد فعل الشباب، والمتحمسين، والطموحين هو قولهم: (أريد الصعود إلى متن هذا القطار! هذا القطار يجسد مستقبلي. إنه مصيري. ضعوني موضع القائد).

(1) ويليام شكسبير William Shakespeare: كبير الشعراء الإنجليز. كان ممثلًا ومؤلفًا مسرحيًا، سبر في مسرحياته أغوار النفس البشرية، وحلّلها في بناء متساوق جعلها أشبه بالسيمفونيات الشعرية. ومن أشهر آثاره الكوميدية (كوميديا الأخطاء)، و(تاجر البندقية). ومن أشهر آثاره التراجيدية (روميو وجوليت)، (يوليوس قيصر)، (هاملت)، (عطيل)، (ماكبث)، و(الملك لير). ويعد شكسبير من أبرز الشخصيات في الأدب العالمي إن لم يكن أبرزها على الإطلاق. ويصعب تحديد عبقريته بمعيار بعينه من معايير النقد الأدبي، والحكمة التي وضعها على لسان شخصيات روايات خالدة في كل زمان. (المترجم)

ولنأمــل أن يستخــدم البشر الذين سيعيشون في هــذا القرن سلاح العلم بحكمة وبلطف وشفقة.

لكنــه ربما كان من المفيــد أن نعيش يومًا في عــام 2100 لنفهم على نحو أفضــل كيف يمكن أن نعيش في حضارة كوكبية، ولنرى كيف ستؤثر تلك التقنيات في حياتنا اليومية وحياتنا المهنية وآمالنا وأحلامنا.

الفصل التاسع

يوم في حياة عام 2100

«منذ زمن أرسطو[1] إلى زمن توماس أكويناس[2]، كان الكمال يعني الحكمة الراسخة في التجربة وفي العلاقات التي نتعلم من خلالها الحياة الأخلاقية عن طريق القدوة الحسنة. إن كمالنا لا يكمن في تحسين الجينات، وإنما في تحسين الشخصية»

- ستيفن بوست

1 يناير 2100، السادسة والربع صباحا

بعد ليلة من الاحتفالات الصاخبة عشية عيد الميلاد، تغط في نوم عميق. وفجأة، تضيء شاشة الحائط في غرفة نومك، ويظهر وجه ودود مألوف

(1) أرسطو Aristotle: فيلسوف إغريقي، وهو تلميذ أفلاطون ومعلم الإسكندر الأكبر. كتب في العديد من الموضوعات؛ من علوم الفيزياء والميتافيزيقا، والشعر، والمسرح، والموسيقى، والمنطق، والبلاغة، والسياسة والحكومة، والأخلاق، والبيولوجيا، وعلم الحيوان. يعتبر أرسطو، مع أفلاطون وسقراط، واحدًا من أهم الشخصيات في تأسيس الفلسفة الغربية، فقد كان أول من أنشأ نظامًا شاملًا للفلسفة الغربية، يشمل الأخلاق وعلم الجمال والمنطق والسياسة والميتافيزيقا. أما وجهات نظر أرسطو حول العلوم الفيزيائية فقد شكلت بعمق دراسات العصور الوسطى، وامتد تأثيرها إلى عصر النهضة، رغم أن قوانين نيوتن في الفيزياء حلت محلها في نهاية المطاف. وكان لمذهب أرسطو تأثير عميق على الفكر الفلسفي واللاهوتي، وما يزال تأثيره في اللاهوت المسيحي مستمرًا. وجميع جوانب فلسفة أرسطو ما تزال موضع دراسة أكاديمية نشطة حتى اليوم. (المترجم)

(2) توماس أكويناس أو توما الأكويني Thomas Aquinas: قديس وكاهن وفيلسوف لاهوتي إيطالي من الكنيسة الكاثوليكية. يمتاز مذهب توماس الأكويني بالتفريق بين الفلسفة واللاهوت حيث كان يعتبر أن الفلسفة تعتمد على العقل وحده، لكن اللاهوت يعول على الوحي من غير إنكار للعقل، وبهذه الطريقة قرب بين الفلسفه والدين. وكان يثق في العقل القادر على البرهنة على وجود الله وصفاته ويوصل في الوقت ذاته إلى المعرفة اليقينية. استعان توماس بأفكار أرسطو وأفلاطون وابن رشد؛ لأنهم كانوا يعتمدون على العقل السليم. له مؤلفات كثيرة تتناول الفلسفة واللاهوت وفسر معظم كتب أرسطو وشرح أجزاء من الكتاب المقدس. يعتبره العديد من المسيحيين فيلسوف الكنيسة الأعظم لذلك تُسمى باسمه العديد من المؤسسات التعليمية. (المترجم)

علـى الشاشة. إنها (مولي)، فتاة برنامـج الكمبيوتر الذي اشتريته مؤخرًا. تقـول لك مولي بمرح: (جون، استيقظ. أنت مطلوب في المكتب؛ بشكل شخصي، فالأمر عاجل).

تزمجر أنت قائـلا: (مهلا يا مولي! لابد أنك تمزحين. إنه أول أيام السنة، ومـازال رأسي يعاني الدوار منذ الأمس. أي أمر هذا الذي يمكن أن يكون بهذه الأهمية؟)

تسحب نفسك ببطء خارج الفراش وتتوجه على مضض إلى الحمام. وفي الوقـت الذي تغسل أنت فيه وجهك، تبدأ مئات من مستشعرات الحمضـ النـووي والبروتين الخفيـة الموجـودة في المـرآة والمرحاض والحوض عملها في صمت، فتحلل الجزيئات التي تلفظها أثناء تنفسك وكذلـك سوائل الجسـم، بحثًا عـن أي علامة مرضية علـى المستوى الجزيئي.

وعنـد مغادرة الحمام، تلف بعض الأسلاك حول رأسك، وهي الأسلاك التـي تتيح لك التحكم في منزلك من خـلال التخاطر الذهني: تقوم برفع درجة حرارة الشقة التي تقطنهـا، وتشغل بعض الموسيقى المهدئة، وتخبر الطاهـي الآلي في مطبخك أن يجهز الإفطار وأن يصنع لك بعض القهوة، وتأمـر سيارتك المغناطيسيـة بترك الجراج والاستعـداد لإقلالك. وعندما تدخـل المطبخ، ترى الأذرع الميكانيكية للطاهي الآلي تعد البيض بالطريقة التي تحبها بالضبط.

تضع بعد ذلك عدسات الاتصال الخاصة بك وتتصل بشبكة الإنترنت. وعندمـا تطـرف عينيك، ترى الشبكـة تسطع على شبكيـة عينيك. وفي

الوقت نفسه الذي تتناول فيه القهوة الساخنة، تبدأ في استعراض العناوين التي تتألق على عدسات الاتصال.

القاعدة الأمامية على سطح المريخ تطلب المزيد من الإمدادات. الشتاء على المريخ يقترب بسرعة؛ وإذا كان المستوطنون يرغبون في إكمال المرحلة التالية من عملية الاستيطان، فإنهم يحتاجون إلى المزيد من الموارد من الأرض للتغلب على الطقس البارد إلى حد التجمد هناك. وتتلخص الخطة في بدء المرحلة الأولى من عملية تحويل مناخ المريخ عن طريق رفع درجة حرارة سطحه.

مركبة الفضاء النجمية الأولى جاهزة للانطلاق. سيتم إطلاق ملايين من النانوبوتات، كل منها بحجم رأس الدبوس، من القاعدة القمرية، وستدور حول المشتري بواسطة مجالها المغناطيسي، ثم تتوجه نحو نجم قريب منه. غير أنه ستمر سنوات قبل أن تصل حفنة قليلة من تلك النانوبوتات إلى وجهتها في نظام شمسي آخر.

حيوان منقرض آخر سينضم إلى حديقة الحيوان المحلية. وهذه المرة، الحيوان هو نمر مسيف الأسنان نادر، تمت إعادته للحياة من خلال حمضه النووي الذي وُجد متجمدًا في سهل التندرة في القطب الشمالي. فبسبب ارتفاع درجة حرارة الأرض، أمكن استعادة الحمض النووي للمزيد والمزيد من الحيوانات المنقرضة ومن ثم استنساخ تلك الحيوانات لتملأ حدائق الحيوان في جميع أنحاء العالم.

مصعد الفضاء – بعد سنوات من نقل الحمولات إلى الفضاء – يتيح المصعد الآن لعدد محدود من السائحين السفر إلى الفضاء. لقد انخفضت

تكلفة السفر إلى الفضاء بالفعل أكثر من خمسين ضعفًا منذ تم تدشين مصعد الفضاء.

أقدم مفاعلات الاندماج النووي يبلغ اليوم خمسين عامًا. وقد حان الوقت للبدء في إحالة بعضها للتقاعد وبناء مفاعلات جديدة.

العلماء يراقبون بعناية فيروس قاتل جديد ظهر فجأة في الأمازون. ويبدو انتشار الفيروس، حتى الآن، مقتصرًا على منطقة صغيرة، ولم يكتشف له علاج بعد. وتعمل فرق من الخبراء بكد شديد على دراسة ترتيب جينات الفيروس لمعرفة نقاط ضعفه وكيفية مكافحته.

وفجأة، يجذب خبر واحد انتباهك بشدة:

تم اكتشاف تسرب ضخم على نحو غير متوقع في السدود المحيطة بمانهاتن. وما لم يتم إصلاح السدود، يمكن أن تغرق المدينة كلها، كعشرات المدن الأخرى التي غرقت في الماضي.

تقول محدثًا نفسك: (آه، لهذا السبب إذن اتصلوا بي من الشركة وأيقظوني).

تتجاهل الإفطار، وترتدي ملابسك، وتندفع كالقذيفة عبر الباب؛ إذ تنتظرك سيارتك، التي أخرجت نفسها بنفسها من الجراج، خارج المنزل. تأمر سيارتك ذهنيًا بأن تقلك إلى مكتبك بأقصى سرعة ممكنة. وتتصل السيارة المغناطيسية حينئذ بشبكة الإنترنت، ونظام تحديد المواقع، ومليارات الرقائق المخفية في الطريق والتي تراقب حركة المرور على الدوام.

تنطلق سيارتك المغناطيسية بصمت، طافية على وسادة مغناطيسية

أوجدتهـا أرضية الطريق المصنوعة من مـواد فائقة التوصيل. وفجأة يظهر وجه (مـولي) على الزجاج الأمامي لسيارتك وتقول: (جون، آخر رسالة واردة من المكتب تخبرك بمقابلة الآخرين في قاعة المؤتمرات. ولديك أيضًا رسالة فيديو من شقيقتك).

وفي ظـل قيادة السيـارة لنفسها آليًا، لديك الوقـت الكافي لاستعراض رسالة الفيديو التي أرسلتهـا أختك. تظهر صورتها على ساعة معصمك، وتقـول لـك: (جون، تذكر أن لدينـا في عطلة نهايـة الأسبوع حفل عيد ميلاد كيفين، حيـث بلغ السادسة من عمره الآن. لقد وعدته بأن تبتاع له أحـدث كلب آلي في السوق. وبالمناسبة، هل لديـك أي علاقة الآن؟ لقد كنت ألعب البريدج على الإنترنت، وقابلت فتاة قد تعجبك).

تقول لنفسك: (أوه).

فأنت تحب التجول بسيارتك المغناطيسية؛ فليست هناك مطبات أو نقر في الطريـق لتقلـق بشأنها؛ لأن السيارة تحلق فـوق الطريق. وأفضل ما في الأمـر أنك نادرًا ما تحتـاج لإعادة التزود بالوقود؛ فليـس هناك تقريبًا أي احتـكاك يبطئ سرعة السيارة ويستهلـك طاقتها (تقول لنفسك متأملا إن مـن الصعب التصديـق بأنه كانت هناك أزمة طاقـة في مطلع القرن. وتهز رأسـك مدركًا أن القـدر الأعظم من الطاقة في ذلك الوقت كان يضيع في التغلب على الاحتكاك).

تتذكـر عندمـا تم افتتاح الطريـق السريـع المصنوع من المـواد فائقة التوصيـل لأول مرة. حينها رثت وسائـل الإعلام نهاية عصر الكهرباء المألـوف، وبداية عصر المغناطيسية الجديـد. وفي الواقع، أنك لم تفتقد

مطلقًا عصر الكهرباء. وعندما تلقي نظرة سريعة خارج سيارتك، وترى السيارات اللامعة، والشاحنات، والقطارات تنطلق إلى جانبك في الهواء، تدرك أن المغناطيسية هي التكنولوجيا المنشودة، كما أنها توفر المال أيضًا.

تجتاز سيارتك المغناطيسية مقلب نفايات المدينة الآن؛ حيث تلحظ أن معظم النفاية هناك عبارة عن أجهزة كمبيوتر وأجزاء روبوتات آلية. ولما كانت الرقائق تكاد لا تكلف أي شيء – إذ تكلفتها أقل من تكلفة الماء – فإن الرقائق القديمة تتكدس في مقالب النفاية في جميع أنحاء العالم. وهناك حديث حول استخدامها في ردم الأرض.

في المكتب

أخيرًا تصل إلى البناية التي يوجد فيها مكتبك، وهي المقر الرئيس لشركة مقاولات كبرى. ومع دخول المبنى، لا تكاد تلحظ أن شعاع ليزر يفحص قزحية عينك ويتحقق من وجهك. فلم تعد هناك حاجة لبطاقات الأمان البلاستيكية؛ فهويتك هي جسدك.

تكاد قاعة المؤتمرات تكون خالية، إذ لا يوجد بها سوى عدد قليل من زملائك يجلسون حول المائدة. ولكن بعد ذلك، وعبر عدسات الاتصال، تبدأ الصور ثلاثية الأبعاد للمشاركين في المؤتمر في التجسد حول المائدة. فهؤلاء الذين لا يمكنهم الحضور ماديًا إلى المكتب يحضرون في شكل صور ثلاثية الأبعاد.

تتجول بناظرك سريعًا في أرجاء القاعة؛ وتتعرف عدسة الاتصال التي

تضعهـا على جميع الجالسين حـول المائدة، وتعرض لـك سيرهم الذاتية وتاريخهـم المهني. تلاحـظ أن بعض كبـار الشخصيـات يحضرون هذا المؤتمر؛ فتدون ملحوظة ذهنية حول أهمية الحاضرين.

وفجأة تتجسد صورة رئيسك جالسًا في مقعده، ثم يقول: (أيها السادة، كما سمعتم على الأرجح، فإن هناك تسريبات مفاجئة في السدود المحيطة بمانهاتن. الأمر خطير، ولكننا اكتشفناه في الوقت المناسب، لذا ليس هناك خوف مـن انهيار السدود. ولكـن مع الأسف، فشلـت الروبوتات التي أرسلناها لأسفل لإصلاح السدود في مهمتها).

وعلـى الفور، تخفـت الأضواء، وتحيط بك صـورة ثلاثية الأبعاد لقاع السـد تحت الماء. وتجد نفسك غارقًا تمامًـا في الماء، وصورة السد والشرخ الضخم فيه بارزة أمام عينيك.

ومـع دوران الصورة، ترى بالتحديد أين وقـع التسرب. ترى شقًا كبيرًا غريبًـا في السد يلفت انتباهك. ويتابـع رئيسك حديثه قائلا: (الروبوتات الآليـة ليست كافية. فهـذا النوع من التسرب ليس جـزءًا من برمجتها. إننا بحاجـة لإرسال رجـال مخضرمين يمكنهم فهم وتحليـل الموقف والتصرف بصـورة ارتجاليـة. ولست بحاجـة لتذكيركم أننـا إذا فشلنا، فـإن مدينة نيويـورك يمكن أن تواجه المصـير ذاته الذي واجهته مـدن كبرى أخرى، أصبح بعضها الآن غارقًا تحت الماء).

تسـري رجفة في أجساد أفراد المجموعـة. فالجميع يعرفون أسماء المدن الكبرى التي كان لابد من هجرها مع ارتفاع مستوى سطح البحر. ورغم أن التقنيـات المتجددة وطاقة الاندماج حلـت محل الوقود الأحفوري منذ

عقـود عديدة مضـت باعتبارها المصـدر الرئيس لطاقـة كوكب الأرض، فـلازال الناس يعانون من غـاز ثاني أكسيد الكربون الـذي أُطلق في الجو بالفعل خلال الجزء الأول من القرن الأخير.

وبعـد مناقشـة مستفيضة، اتخذ قـرار بإرسال طاقـم الإصلاح الآلي الـذي يتحكم فيه البشر. وهنا يأتي دورك. لقد أسهمت في تصميم تلك الروبوتـات الآليـة؛ إذ يتم وضـع عمال بشريين مدربـين في حجرات، حيـث توضع أقطـاب كهربائية حـول رؤوسهم؛ وتتيح لهـم إشارات المـخ الاتصـال بالروبوتـات عن طريـق التخاطر الذهنـي. ومن داخل حجراتهـم، يستطيـع العمال رؤيـة كل شيء والشعور بـكل شيء تراه الروبوتـات وتشعر به. الأمر أشبه بالتواجـد في المكان بنفسك، ولكن بجسد جديد فائق القدرة.

أنـت فخـور بعملـك هذا، وحـق لك أن تفخـر؛ فقـد أثبتت تلك الروبوتـات الآليـة التي يتـم التحكم فيهـا بالتخاطر الذهنـي قيمتها وجدارتهـا مرات عديـدة. فمن المعروف أنه يتـم التحكم في القاعدة القمريـة إلى حـد كبير عن طريق عمـال من البشر، يستلقـون بارتياح وأمـان داخل حجرات موجودة على سطـح الأرض. ولكنه لما كانت الإشـارات اللاسلكية تستغرق نحو ثانية واحـدة للوصول إلى القمر، فإن ذلك يعني أيضًا أنه لابد من تدريب هؤلاء العمال على التكيف مع هذا التأخير الزمني.

(كنـت تود أن يتم وضع تلـك الروبوتات على مـتن القاعدة الموجودة على كوكب المريخ أيضًا؛ ولكن لما كانت الإشارات تستغرق عشرين دقيقة

للوصول إلى المريخ وعشرين دقيقة أخرى لتلقي الإشارات القادمة منه، كان القرار النهائي أن التواصل مع الروبوتات على سطح المريخ سيكون في غاية الصعوبة. فمع الأسف، رغم كل التقدم الذي حققناه، فهناك أمر واحد لا يمكننا تغييره؛ وهو سرعة الضوء). ولكن هناك شيئًا واحدًا ما يزال يؤرقك في الاجتماع.

وأخيرًا، تستجمع شجاعتك لمقاطعة رئيسك، فتقول: (سيدي، أكره أن أقول هذا، ولكن بالنظر إلى التسرب في السد، يبدو الصدع شبيهًا على نحو مريب بعلامة تركها أحد الروبوتات التابعة لنا).

تسري همهمة عالية على الفور وسط القاعة؛ ويمكنك سماع الاعتراضات الصاخبة. تعجب الحضور معترضين: (روبوت تابع لنا؟ هذا مستحيل. غير معقول. هذا لم يحدث أبدًا من قبل).

وعندئذ يُهدئ رئيسك الحاضرين في القاعة ويقول بوقار: (كنت أخشى أن يثير أحدكم هذه النقطة، لذا دعوني أخبركم بأن هذا الأمر في غاية الأهمية، ولابد من التكتم عليه بسرية مطلقة. لا يجب أن تتجاوز تلك المعلومة جدران هذه القاعة، إلى أن نصدر بياننا الصحفي الخاص. نعم، هذا التسرب تسبب فيه أحد الروبوتات الآلية التابعة لنا والذي خرج فجأة عن نطاق سيطرتنا).

ساد الهرج قاعة الاجتماعات، وأخذ الحضور يهزون رؤوسهم بعدم التصديق. كيف يمكن أن يحدث هذا؟

يقول رئيسك مؤكدًا بإصرار: (لقد تمتعت روبوتاتنا الآلية بسجل أداء مثالي؛ سجل نقي لا تشوبه أي شائبة. لم يتسبب روبوت واحد قبل ذلك في

أي ضـرر على الإطلاق، فآليات الأمان بها أثبتت فعاليتها مرارًا وتكرارًا، ونحـن نؤيد هذا السجل. ولكن كما تعرفون، فإن آخر أجيال الروبوتات المتطورة تستخدم أجهـزة كمبيوتر كمية، وهي أقوى الأجهزة الموجودة، والتي تقـترب من مستوى الذكاء البشري. وفي نظريـة الكم، هناك دائمًا احتمـال ضئيل ولكنه مؤكد بأن خطأً ما سوف يحدث. والخطأ هذه المرة هو حالة من الهياج).

تتراجع في مقعدك وقد صدمك هذا الخبر.

العودة إلى المنزل

لقـد كان يومًا طويلا، انقضـى في تنظيم طاقم الإصلاح الآلي لعلاج التسـرب، ثـم المساهمـة في تعطيل جميـع الروبوتـات التجريبية التي تستخدم أجهـزة الكمبيوتر الكمية، وذلك علـى الأقل إلى أن يتم حل تلـك المشكلـة في النهاية. وأخيرًا تعـود إلى المنزل مـرة أخرى، تشعر بالإرهاق. وفي الوقت الذي تغوص فيه باسترخاء في أريكتك المريحة، تظهـر مولي على شاشة الحائط قائلة: (جون، لديك رسالة مهمة من د. براون).

د. براون؟ ما الذي يريد ذلك الطبيب الآلي أن يقوله؟

تقـول لمولي: (ضعيه على الشاشة). ويظهـر طبيبك على شاشة الحائط. يبـدو مظهر (د. بـراون) حقيقيًا للغاية لدرجة أنـك أحيانًا تنسى أنه مجرد برنامج كمبيوتر.

يقـول د. براون: (معذرة على إزعاجك يا جون، ولكن هناك أمرًا أريد

أن أنبهـك إليه، هل تذكر حادث التزلج الـذي تعرضت له العام الماضي؛ ذلك الذي كاد أن يودي بحياتك؟)

وكيـف لك أن تنسـى؟ فأنت ما تـزال تنكمش شاعـرًا بالخزي عندما تتذكـر كيف اصطدمـت بشجرة حينما كنت تتزلج فيمـا تبقى من جبال الألب. فقد ذاب معظم جليد منطقة الألب بالفعل، لقد كان عليك اختيار منتجـع غير مألوف علـى ارتفا ع كبير للغاية، ولكن لأنـك لم تكن معتادًا علـى المنطقة، فقد تعثرت وسقطت على المنحدر وارتطمت بمجموعة من الأشجار بسرعة أربعين ميلا في الساعة. أوه!

ويتابـع د. بـراون حديثه قائلا: (تبـين التقارير التي لـديَّ أنك سقطت فاقـدًا الوعي، وأصبت بارتجـاج في المخ وبجروح داخلية خطيرة، غير أن ملابسك أنقذت حياتك).

وعلـى الرغم من أنك كنت فاقـدًا للوعي، فقد اتصلت ملابسك تلقائيًا لاستدعـاء سيـارة إسعاف، وقامـت بتحميل تاريخـك الطبي، وحددت إحداثيات موقعك بدقة فائقة. وبعد ذلك، في المستشفى قامت الروبوتات الآليـة بجراحة مجهريـة دقيقة لإيقـاف النزيف، وترقيـع الأوعية الدموية الصغيرة الممزقة، وعلاج الأضرار الأخرى.

ويضيف د. براون مذكرًا إياك: (لقد تضررت معدتك وكبدك وأمعاؤك علـى نحو لا يمكن إصلاحه. ومن حسـن الطالع أن أمكننا زراعة مجموعة جديدة من الأعضاء لك في الوقت المناسب).

وفجـأة تشعر أنك شبيه بالروبوت إلى حد مـا، فقسم كبير من جسدك مصنوع من أعضاء مزروعة في مصنع للأنسجة.

ويـردف د. بـراون: (وتظهر سجلاتي أيضًا يا جـون أنه كان بإمكانك استبـدال ذراع ميكانيكيـة كاملـة بذراعـك المحطمة، وكانـت أحدث الأذرع الآليـة حينهـا ستزيد من قـوة ذراعك خمسـة أضعاف، ولكنك رفضت هذا).

تـرد قائلا: (نعـم، أظنني لازلت شخصًا من الطـراز القديم، إنني أفضل أنسجة الجسد الطبيعية على الحديد دائمًا).

يقـول د. بـراون: (جـون، علينـا أن نجـري فحصًا دوريًـا لأعضائك الجديدة. التقط جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي ومرره ببطء على منطقة البطن).

تذهـب إلى الحمام وتلتقـط جهازًا صغـيرًا، بحجم الهاتـف المحمول تقريبًـا، وتمرره ببطء على أعضائك. وعلى الفـور ترى على شاشة الحائط الصورة ثلاثية الأبعاد لأعضاء جسدك من الداخل.

يقول د. براون: (سنحلل تلك الصور يا جون لنرى كيف يتعافى جسدك من إصاباته القديمة. وبالمناسبة، فإن مستشعرات الحمض النووي الموجودة في حمامك قد اكتشتف سرطانًا ينمو في البنكرياس).

تعتـدل فجأة منتصبًا وتقول مندهشًا: (سرطـان؟ ولكنني كنت أظن أن السرطـان تم علاجه منـذ سنوات مضت. بل إن أحـدًا لم يعد يتحدث عنه هذه الأيام. كيف أصاب بالسرطان إذن؟).

يجيـب د. براون بلا انفعـالات: (في الواقع، أن العلماء لم يتوصلوا قـط لعـلاج للسرطان. دعنا فقط نقـول إننا في هدنة معـه، إنه مأزق لا فـكاك منه. فهنـاك عدد هائل من أنواع السرطـان؛ تمامًا مثل البرد

العـادي، فهـو أيضًا لا علاج لـه، بل إننـا نتجنبه فقط ونبقيـه بعيدًا عنـا. ولقد طلبت بعض جسيمات النانو للتخلص من تلك الخلايا السرطانيـة، والتي لا يزيد عددهـا على بضع مئات، إنـه مجرد إجراء روتينـي، ولكن مـن الأرجح أنك ستموت في غضـون سبع سنوات دون هذا التدخل).

تقول لنفسك: (حسنًا، هذا مريح).

ويـرد د. براون: (نعم، لقد أصبح بمقدورنا اليوم التعرف على السرطان قبل سنوات من تشكل الورم الخبيث).

تتساءل قائلا: (ورم خبيث؟ وما معنى الورم الخبيث؟)

ويجيب د. براون: (تلك كلمة عتيقة لنوع من السرطانات المتقدمة، لقد كادت تختفي من اللغة؛ فلم نعد نراها).

ووسـط كل هذه الإثارة تتذكـر أن شقيقتك هـددت بأن توقعك في علاقـة مع فتـاة ما؛ ومن ثم تستدعي (مولي) مـرة أخرى، قائلا: (مولي، إنني غير مرتبط بأي شيء في عطلة نهاية الأسبوع، فهل يمكن أن تجـدي لي إنسانـة لأواعدها؟ أنت تعرفين نوعيـة الفتيات اللاتي أفضلهن).

وتجيـب مولي: (نعم، تفضيلاتك مبرمجـة في ذاكرتي. انتظر دقيقة ريثما أبحـث علـى الإنترنـت). وبعد دقيقـة، تعرض عليك مـولي لمحات عن المرشحـات المحتملات الجالسات بدورهن أمـام شاشات الحائط الخاصة بهن، واللاتي تطلبن الشيء نفسه.

وبعد استعراض المرشحات، تختار في النهاية واحدة تروق لك، وتفكر

في نفسك أن تلك الفتاة، التي تدعى كارين، تبدو مميزة بطريقة ما، ثم تقول لمولي: (مولي، أرسلي إلى كارين رسالة مهذبة؛ اسأليها فيها عما إذا كانت متاحة في عطلة نهاية الأسبوع أو لا. هناك مطعم جديد افتتح مؤخرًا وأريد تجربة الطعام فيه).

ومن ثم ترسل مولي نبذة عنك إلى كارين في رسالة فيديو.

وفي تلك الليلة، تقرر تخفيف حدة توترك بدعوة بعض زملائك إلى منزلك لتناول المشروبات ومشاهدة مباراة في كرة القدم. لقد كان من الممكن أن يشاهد أصدقاؤك المباراة في غرفة معيشتك من خلال الظهور بصور ثلاثية الأبعاد فحسب، ولكن تشجيع الفريق يكون أكثر متعة حين يجتمع الأصدقاء ويتشاركون في الإثارة ماديًا. وحين تفكر في هذا، تبتسم وأنت تتخيل أن الحال كانت كذلك على الأرجح منذ مئات السنين، حين كان البشر البدائيون بحاجة للارتباط ببعضهم بعضًا.

وفجأة تضيء حجرة المعيشة بأكملها ويبدو وكأنك قد انتقلت إلى ملعب الكرة، عند خط الخمسين ياردة. وفيما يمرر الظهير الربعي تمريرة أمامية، تجد نفسك واقفًا إلى جواره. واللعبة كلها تدور من حولك.

وخلال فترة الاستراحة، تبدأ أنت وأصدقاؤك في تقييم اللاعبين. تتجادلون بحرارة أثناء تناول المشروبات والفشار حول الفريق الأفضل تدريبًا، صاحب أفضل المدربين وأفضل طبيب. وتتفقون جميعًا على أن فريق مدينتكم هو الأفضل، وصاحب أفضل المواهب في الدوري، وأفضل

مهارات يمكن أن يشتريها المال.

ولكنـك، بعد مغادرة الأصدقاء، ما تـزال تشعر بإثارة تمنعك من النوم؛ ومن ثم تقرر أن تلعب لعبة بوكر سريعة قبل أن تذهب للنوم.

تقـول لمولي: (مولي، الوقـت متأخر، ولكنني أريد لعـب البوكر. أشعر بأننـي محظوظ، ولابد أن أحدهـم مستيقظ في إنجلترا أو الصين أو الهند أو روسيا ويرغب في لعب بضعة أدوار الآن).

وترد مـولي: (ليست هناك مشكلة). ويظهر أمامـك على الشاشة عدد مـن الوجوه المبشـرة. ومع تجسد الصـور ثلاثية الأبعـاد للاعبين في غرفة معيشتك، تستمتع أنت بمعرفة أي اللاعبين أبرع في الخداع. وتقول محدثًا نفسـك إنه مما يثير السخرية أنك أكثر معرفـة بأناس في بلدان بعيدة، على مسافـة آلاف الأميال، مـن معرفتك بجيرانك القريبـين، فلم تعد الحدود الوطنية تعني الكثير هذه الأيام.

وأخيرًا، وقبل أن تذهب إلى النوم مباشرة، تقاطعك (مولي) مرة أخرى، إذ ظهرت أمامك في مرآة الحمام.

تقول مولي: (جون، لقد قبلت كارين دعوتك؛ وتم إعداد كل شيء لعطلة نهاية الأسبوع، سأقوم بالحجز في ذلك المطعم الجديد. هل ترغب في رؤية النبذة التي كتبتها عن نفسها؟ هل تريد مني أن أبحث على الإنترنت للتأكد مـن صحة المعلومات التي جـاءت في تلك النبذة؟ لقد اعتـاد الناس أن.. معذرة.. يكذبوا فيما يكتبونه عن أنفسهم).

وترد قائلا: (كلا. فلنترك الأمر مفاجأة في العطلة الأسبوعية). وبعد لعبة البوكر، تشعر مرة أخرى أنك محظوظ.

عطلة نهاية الأسبوع

اليـوم هو يوم العطلـة، وقد حان وقـت الذهـاب إلى التسوق وشراء هديـة لابن شقيقتك كيفين، فتقول: (مـولي، ضعي مركز التسوق على الشاشة).

فجـأة يظهر مركز التسوق على شاشة الحائـط، وتلوح أنت بذراعيك وأصابعـك في الهـواء، وتبدأ الصـورة الموجودة علـى شاشة الحائط في تعقـب المسار الذي ترسمـه داخل المركز. تقوم بجولـة افتراضية داخل مركـز التسوق إلى أن تصـل إلى صورة متجر الألعـاب. نعم، إن لديهم ألعـاب الحيوانات الآلية التـي تريدها بالضبط. تأمـر سيارتك ذهنيًا بأن تصطحبـك إلى مركز التسوق (كان بمقـدورك أن تطلب شراء اللعبة عبر الشبكـة؛ أو أن يتم إرسـال التخطيطات إلكترونيًا، ومـن ثم تأمر جهاز التصنيـع الخاصـ بك يقوم بصنـع اللعبة في المنزل باستخـدام مواد قابلة للبرمجـة. ولكن من اللطيف دائمًـا أن تخرج من الشقة وتذهب للتسوق بين الحين والآخر).

وأثنـاء التجول بسيارتك المغناطيسية، تتطلع خارج السيارة وترى أناسًا يتنزهـون، إنه يوم جميل. وكذلك ترى روبوتات آلية من جميع الأنواع؛ روبوتـات لتمشية الكلاب، وروبوتات تعمـل كبائعين، وروبوتات تقوم بالطهـي، وأخرى تعمل كموظفي استقبال، وغـير ذلك كثير. يبدو الأمر وكأن كل مهمـة تنطـوي على خطـورة أو تتسم بالتكـرار أو تحتاج فقط لأقل قدر من التفاعـل البشري ليتم أداؤها بواسطة الروبوتات الآلية. وفي الحقيقة، أن الروبوتات أصبحت الآن تجارة رائجة، ففي كل مكان حولك،

تـرى إعلانات لأشخاص يمكنهم القيـام بعمليات إصلاح الروبوتات، أو تقديم خدماتها، أو تحديثها، أو صنعها. ويتوافر لأي شخص يعمل في مجال الروبوتات مستقبل باهر، فقد أصبحت صناعة الروبوتات أكبر من صناعة السيـارات في القـرن السابق. ولعلـك تدرك جيدا أن معظـم الروبوتات تعمل في صمت مختفية عـن الأنظار؛ على إصلاح البنية الأساسية للمدينة وتقديم الخدمات الأساسية.

وعندمـا تصـل إلى متجر الألعاب، يستقبلك روبـوت آلي عند المدخل، ويسألك: (هل يمكنني مساعدتك؟).

فترد قائلا: (نعم، أريد شراء كلب آلي).

تلقـي نظرة على أحدث الكلاب الآلية؛ وتحـدث نفسك قائلا، كم هو مدهشـ ما تستطيـع تلك الحيوانات الأليفـة الآلية فعله. إنهـا قادرة على اللعب والجري وإحضار الأشياء، وفعل كل شيء تستطيع الكلاب الحقيقية فعله؛ بالفعل كل شيء باستثناء التبول على السجاد. وتفكر أن هذا تحديدًا ربما كان هو السبب الذي يجعل الآباء يشترونها لأطفالهم.

ثـم تقول للموظـف الآلي: (سأشـتري كلبًا آليًا لابـن شقيقتي البالغ من العمـر ست سنوات. إنه طفل ذكي للغاية، ويحـب التعلم بتجربة الأشياء بنفسـه، ولكنه أحيانًا يكون خجـولا وهادئًا أيضًا. فما نوع الكلب الذي يمكنه مساعدته في التغلب على انطوائه؟)

ويجيـب الروبـوت قائلا: (معـذرة يا سيـدي. هذا أمر خـارج نطاق برمجتي. هل تود أن أعرض عليك لعبة فضائية قد تثير اهتمامك؟)

لقد نسيت أن الروبوتات الآلية، بصرف النظر عن استخداماتها المتعددة،

أمامها شوط طويل تقطعه لتتمكن من فهم السلوكيات البشرية.

وبعد ذلك، تذهب إلى متجر ملابس الرجال، فقد حان الوقت لاستبدال تلك الحلة العتيقة التي ترتديها وذلك إذا كنت ترغب بالفعل في إثارة إعجاب الإنسانة التي ستقابلها. تجرب بعض البذلات جيدة التصميم؛ وجميعها تبدو أنيقة عليك، ولكن ليس ثمة منها ما يناسب مقاسك. تشعر بخيبة الأمل؛ ولكنك تخرج بطاقتك الائتمانية، التي تحتوي على جميع مقاييسك ثلاثية الأبعاد، وتتم تغذية الكمبيوتر بالبيانات، ومن ثم يتم تفصيل حلة جديدة أعدت خصيصًا من أجلك في المصنع، وسرعان ما سيتم توصيلها إلى منزلك؛ وفقًا لمقاييسك المثالية كما يحدث كل مرة.

وأخيرًا، تذهب إلى السوبر ماركت، وتستعرض جميع الشرائح المختفية داخل كل عبوة بلاستيكية، ثم تقارن الأسعار من خلال عدسات الاتصال لترى أي متجر في المدينة يقدم أرخص الأسعار وأفضل المنتجات، فلم يعد هناك مجال لتخمين الجهة التي تقدم أرخص الأسعار.

الموعد

لقد كنت تنتظر هذا الموعد بلهفة طوال الأسبوع، وفي الوقت الذي تستعد فيه لمقابلة كارين، يدهشك أنك تشعر وكأنك عدت صبيًا في المدرسة. وتفكر فيما لو أنك ستدعوها إلى شقتك بعد تناول العشاء، فسيكون حينئذ عليك أن تقوم بعملية إعادة تصميم لأثاث منزلك العتيق. ومن حسن الحظ أن معظم طاولات المطبخ وقطع الأثاث في غرفة المعيشة

مصنوعة من مواد قابلة للبرمجة.

تقول: (مولي، هل يمكن أن تعرضي لي نماذج لموائد المطبخ الجديدة وقطع الأثاث التي تعرضها الشركات؟ إنني أريد إعادة برمجة الأثاث؛ فإنه يبدو قديمًا للغاية).

وسرعان ما تظهر صور أحدث تصميمات الأثاث على الشاشة.

تقول: (مولي، من فضلك قومي بتنزيل تخطيطات هذه المائدة، وتلك الاريكة، وتلك الطاولة، ثم قومي بتثبيتها).

وفي الوقت الذي تستعد فيه لموعدك، تقوم مولي بتنزيل وتثبيت التخطيطات. وعلى الفور، تبدأ مائدة المطبخ، وأريكة غرفة المعيشة، والطاولة في التحلل، والتحول إلى شيء يشبه المعجون، ثم تعود للتشكل مرة أخرى تدريجيًا وفقًا للأشكال الجديدة. وفي غضون ساعة، أصبحت شقتك تبدو جديدة تمامًا (ولعلك تذكر عندما قمت مؤخرًا باستعراض قطاع العقارات على الإنترنت، ولاحظت أن المنازل المصنوعة من مواد قابلة للبرمجة أصبحت موضة وانتشرت على نطاق واسع. وفي الواقع، أنه في شركة الهندسة التي تعمل فيها أنت نفسك، هناك خطط طموحة لإنشاء مدينة كاملة في الصحراء باستخدام المواد القابلة للبرمجة. فقط اضغط زرًا، يا للهول!، ها هي المدينة).

غير أنك ترى أن شقتك ما تزال باهتة إلى حد ما؛ فتلوح بيدك، وعلى الفور يتغير لون وشكل ورق الحائط. وتحدث نفسك قائلا إن امتلاك ورق حائط ذكي أفضل كثيرًا بالتأكيد من الاضطرار إلى إعادة طلاء الجدران.

تمسك ببعض الزهور في الطريق، وأخيرًا تقابل الإنسانة التي واعدتها؛ فتجد مفاجأة سارة في انتظارك، لقد انسجمت معها على الفور، فهناك

شيء ما يجذبك إليها.

وعلى العشاء، تكتشف أن كارين فنانة. ثم تخبرك مازحة أنها عادة ما تكون مفلسة وتتضور جوعًا، وتبيع لوحاتها على الرصيف مقابل مبالغ تافهة. ولكنها في الحقيقة مصممة ويب غاية في النجاح. بل إنها تمتلك شركة خاصة أيضًا. يبدو أن الناس جميعًا مهتمون بأحدث تصميمات الويب، فهناك إقبال هائل على هذه الفنون الإبداعية.

ترسم كارين بأصابعها بعض الدوائر في الهواء، وسرعان ما تظهر بعض رسومها في الفراغ؛ فتقول مزهوة: (تلك بعض أحدث إبداعاتي).

وتلتقط أنت طرف الحديث قائلا: (أتعلمين، باعتباري مهندسًا، فإنني أعمل مع الروبوتات طوال الوقت. إن بعض هذه الروبوتات متطور للغاية، ولكنه من الممكن أيضًا أن يتصرف بحماقة شديدة في بعض الأحيان. فماذا عن مجال عملك؟ هل تغزوه الروبوتات؟)

ترد معترضة: (على الإطلاق). تقول كارين إنها تعمل فقط وعلى نحو حصري مع البشر المبدعين، حيث السلعة الأكثر قيمة وأهمية هي الخيال البشري، وهو شيء تفتقر إليه أكثر الروبوتات تطورًا.

تقول كارين باعتداد: (قد أكون عتيقة الطراز، ولكن في مجال عملي، نستخدم الروبوتات فقط في صنع النسخ أو الأعمال الكتابية. أود أن أرى ذلك اليوم الذي تستطيع فيه الروبوتات القيام بعمل إبداعي حقيقي، كأن تلقي نكتة مثلا، أو تكتب رواية، أو تؤلف مقطوعة موسيقية).

تفكر فيما بينك وبين نفسك أن هذا لم يحدث بعد، لكنه قد يحدث في يوم من الأيام.

وفي الوقــت الذي تتحدث فيه كارين، يطرأ على ذهنك سؤال مضمونه كم يبلغ عمرها؟ لاسيما بعد أن غدا من الممكن منذ سنوات طويلة مضت إبطاء مرحلة الشيخوخة طبيًــا، وغدا من الصعب على الناس إدراك السن الحقيقــي لبعضهم بعضًــا. كما أن موقــع الويب الخاصــ بكارين لم يذكر عمرها، لكنها لا تبدو فوق الخامسة والعشرين بأي حال.

وبعد اصطحابها إلى البيــت، تستغرق أنت في أحلام اليقظة باسترخاء. تــرى كيف ستكون الحياة إذا عشتهــا مع إنسانة مثلها، إذا ما قضيت معها بقية حياتك؟ لكن هناك أمر يؤرقك؛ لقد كان يلح عليك على نحو مزعج طوال اليوم.

تستديــر نحو شاشة الحائط وتقول: (مولي، من فضلك اتصلي بالدكتور براون). وفجأة تشعر بالامتنان لأن الأطباء الآليين يتلقون المكالمات المنزلية في أي وقت من أوقات اليوم؛ وهم لا يشكون ولا يتذمرون مطلقًا، فليس هذا جزءًا من برامجهم.

وعلــى الفور تظهر صورة الدكتور براون علــى شاشة الحائط، ويسألك بلهجة أبوية: (هل هناك ما يزعجك يا بني؟).

تقــول: (أحتــاج لأن أسألــك ســؤالا كان يؤرقني في الفــترة الأخيرة يا دكتور).

يرد الدكتور براون: (تفضل، ما هذا السؤال؟).

تقول: (كم تظنني سأعيش يا دكتور؟).

ويــرد الدكتور براون: (تعني فترة حياتك المتوقعة؟ حسنًا، إننا لا نعرف هــذا حقًا. تقول سجلاتك إنــك في الثانية والسبعين من العمر الآن، لكن

أعضـاءك، من الناحية البيولوجية، أقرب لأعضـاء شخص في الثلاثين من العمـر. لقد كنت جزءًا من الجيـل الأول الذي أعيدت برمجته جينيًا ليعيش حيـاة أطول، فأنت تعرف أنك قـد قررت إيقاف عملية تقدم السن وأنت في الثلاثين تقريبًا من العمر. ومن المعلوم أنه لم يمت عدد كاف من أبناء هذا الجيـل بعـد، ولا تتوافر لدينا بيانات نتعامل معها. ومـن ثم فما من وسيلة لنعرف بها إلى متى سوف تعيش).

تسأل قائلا: (إذن هل تعتقد أنني سأعيش إلى الأبد؟)

يجيـب الدكتور براون متجهمًا: (تعني أن تكـون خالدًا؟ كلا، لا أظن ذلـك مطلقًا. هناك فارق كبير بين شخص يعيش إلى الأبد وشخص بعمر مديد لم يتم حسابه حتى الآن).

تقـول محتجًـا: (ولكن إذا كنت لا أتقدم في العمـر، فكيف لي أن أحدد متـى أتزو..)، ولكنك تقطع عبارتك، ثـم تردف قائلا: (آه، حسنًا.. لقد قابلـت للتو إنسانـة مميزة، وإذا مـا أفترضت أنني أريـد أن أخطط لحياتي معها، فكيف أضبط مراحل حياتي مع مراحل حياتها؟). وتستطرد قائلا: (إذا كان أفـراد جيلي لم يعيشوا بعد فترة كافيـة قبل الموت، فكيف لي إذن أن أعـرف متى يجب علي أن أتزوج، وأن أنجب، وأن أخطط للتقاعد؟ أو بالأحرى، كيف أحدد المعالم الأساسية لحياتي؟).

ويرد الدكتور براون: (ليست لدي إجابة عن أسئلة كهذه. فكما تعرف، الجنسـ البشري الآن بمثابة حقل تجـارب من نوع ما. معذرة لك يا جون، تلك أمور مجهولة تمامًا الآن).

الأشهر القليلة التالية

تحمل لك الأشهر القليلة المقبلة مفاجأة رائعة لك ولكارين، حيث تصطحبها إلى قاعة الواقع الافتراضي، وتستمتعان كثيرًا هناك بحياة خيالية مضحكة. وكأنكما قد عدتما أطفالا من جديد. تدخلان حجرة خالية؛ ويتم تسليط برنامج العالم الافتراضي على عدساتكما، ويتغير المشهد من حولكما على الفور. ففي أحد برامج هذا العالم، تحاولان الهروب من الديناصورات، ولكن بلا جدوى، فأينما ذهبتما وجدتما ديناصورًا آخر يظهر وسط الأدغال. وفي برنامج آخر، تقاتلان مخلوقات فضائية أو قراصنة يحاولون الاستيلاء على سفينتكما. وفي برنامج ثالث، تقرران تغيير نوعيكما والتحول إلى نسرين يحلقان في السماء. وفي برنامج آخر، تستمتعان بدفء الشمس على جزيرة رومانسية في البحر الجنوبي، أو ترقصان تحت ضوء القمر على صوت موسيقى هادئة تنبعث في الهواء.

وبعد برهة من الزمن، ترغب أنت وكارين في تجربة شيء جديد. فبدلًا من حياة خيالية، تقرران أن تعيشا حياة حقيقية. فعندما يتاح لكما وقت فراغ تقضيانه معًا فستذهبان في رحلة سريعة عبر أوروبا.

تقول لشاشة الحائط: (مولي، أنا وكارين نرغب في التخطيط لرحلة أوروبية؛ رحلة حقيقية. من فضلك قومي بمراجعة رحلات الطيران والفنادق وأي عروض خاصة، ثم اعرضي لي قائمة بالعروض أو الأحداث المحتملة التي قد تثير اهتمامنا، أنت تعرفين أذواقنا). وفي غضون دقائق معدودة، تكون مولي قد جهزت برنامجًا مفصلًا للرحلة.

وفي وقت لاحق، أثناء التمشية وسط أطلال الساحة الرومانية العامة،

يمكنكما رؤية الإمبراطورية الرومانية تُبعث من جديد عبر عدسات الاتصال، وأثناء المرور عبر الأعمدة والأحجار والأنقاض المبعثرة، تحدقان في عظمة وجلال إمبراطورية روما في ذروة مجدها.

كما يعد التسوق بمثابة متعة كبيرة، حتى عند المساومة في المتاجر المحلية في إيطاليا؛ إذ يمكنك رؤية ترجمة فورية واضحة لما يقوله الشخص الذي تتحدث معه. ولم تعد هناك حاجة للكتيبات الإرشادية والخرائط رديئة الصنع؛ فكل شيء موجود في عدسات الاتصال.

وفي المساء، عندما تحدق في سماء روما ليلًا، ترى النجوم مرتبة بوضوح في مجموعات من خلال عدسة الاتصال. وعندما تلقي نظرة سريعة عبر السماء، ترى صورًا مكبرة لحلقات كوكب زحل، والمذنبات البعيدة، وسحب الغاز الجميلة، والنجوم المتفجرة.

وفي يوم من الأيام، تكشف كارين أخيرًا عن أحد أسرارها، وهو عمرها الحقيقي، إنها في الحادية والستين. ولكن هذا الأمر لم يعد مهمًا بحال بالنسبة لك.

تسألها: (إذن هل تشعرين بسعادة أكبر لأننا نعيش شبابًا كل هذا الوقت؟)

وترد على الفور: (نعم، نعم! أتعلم، لقد عاشت جدتي في زمن كانت النساء فيه تتزوج، وتكون أسرة، وربما تئن تحت ضغوط الوظيفة كذلك. لكنني أحب الشعور بأن روحي تجسدت ثلاث مرات، بثلاث وظائف مختلفة؛ أولاها حيث عملت مرشدة سياحية في عدة بلدان، وسافرت إلى جميع أنحاء العالم، كانت حياة رائعة. إن صناعة السياحة صناعة ضخمة،

وتوفر فرص عمل عديدة. ولكنني بعد ذلك، أردت عمل شيء أكثر ملاءمة؛ فأصبحت محامية أدافع عن القضايا التي أؤمن بها والأشخاص الذين أهتم لأمرهم. ثم قررت أن أشبع الجانب الفني في كياني فأسست شركة تصميم الويب الخاصة بي. هل تعلم أنني أفتخر لكوني لم أستخدم روبوتًا آليًا قط، فليس هناك روبوت يستطيع أن يكون مرشدًا سياحيًا شخصيًا، أو أن يفوز بقضية في المحكمة، أو أن ينتج عملا فنيًا جميلا).

تحدث نفسك قائلًا: إن غدًا لناظره قريب.

ثم تسألها: (وهل تخططين لوظيفة رابعة؟)

فتبتسم في وجهك وتجيب: (حسنًا، ربما، إذا ما ظهر لي شيء أفضل).

وأخيرًا تقول لها: (كارين، بما أن عملية الشيخوخة قد توقفت، فكيف تعرفين ما هو الوقت المناسب من أجل...، نعم... من أجل الزواج، وإنجاب الأطفال، ورعاية الأسرة؟ لقد اختفت الساعة البيولوجية منذ عقود مضت؛ ولذا أعتقد أن الوقت ربما قد حان للاستقرار وتكوين أسرة).

تقول كارين وقد بدت مندهشة إلى حد ما: (أتعني إنجاب الأطفال؟ هذا أمر لم أفكر فيه جديًا من قبل، أعني حتى الآن. فالأمر كله يعتمد على لقائي بالإنسان المناسب)، تقول تلك العبارة الأخيرة وهي تبتسم لك ابتسامة لعوب.

وفيما بعد، تناقش أنت وكارين مسألة الزواج، والاسم الذي قد تختارانه لطفلكما، وكذلك الجينات التي تريدانها فيه.

تتوجه نحو شاشة الحائط وتقول: (مولي، هل يمكنك أن تعرضي لي قائمة بأحدث الجينات التي صادقت عليها الحكومة؟). وفي الوقت الذي تستعرض فيه أنت القائمة، ترى الجينات العديدة للون الشعر، ولون

العينين، والطول، وبنية الجسم، وحتى بعض السمات الشخصية التي يتم عرضها في الوقت الحالي. ويبدو أن تلك القائمة آخذة في التزايد مع كل عام يمر، وكذلك ترى القائمة الطويلة للأمراض الوراثية التي يمكن علاجها. ولما كان تليف المثانة مرضًا يصيب عائلتك منذ قرون، فإنك تشعر بارتياح حقيقي لأنك لست مضطرًا للقلق بشأنه بعد الآن.

وفي الوقت الذي تستعرض فيه قائمة الجينات المعتمدة من قبل الحكومة، تشعر أنك لست مجرد والد مستقبلي فحسب، وإنما مشارك بشكل ما في إنجاب طفل على الصورة التي تريدها.

ومن ثم تخبرك مولي قائلًا: (هناك برنامج يمكنه تحليل الحمض النووي للمواليد ثم يعطي تقديرًا معقولا لما سيبدو عليه وجه الطفل وجسده وشكله وشخصيته. هل ترغب في تنزيل هذا البرنامج ومعرفة الشكل الذي قد يبدو عليه طفلك في المستقبل؟)

فتجيب قائلا: (كلا، من الأفضل أن تبقى بعض الأشياء مجهولة).

بعد مرور عام

أصبحت كارين حاملا، ولكن أطباءها أكدوا لها أنه ليس هناك خطر في ركوب مصعد الفضاء، الذي افتتح مؤخرًا للسائحين.

تقول لكارين: (أتعلمين أنه عندما كنت طفلا، كنت أتمنى السفر إلى الفضاء الخارجي؛ وأن أكون رائد فضاء. ولكنني في يوم من الأيام فكرت في مسألة التواجد فوق ملايين الجالونات من الوقود الصاروخي الذي يمكن أن ينفجر بسبب شرارة واحدة، وأخذ حماسي للسفر إلى الفضاء

يخفـت إلى حد ما. ولكن مصعد الفضاء مختلف، إنه آمن ولا ينطوي على أي قدر من الفوضى، إنه الوسيلة المثالية للسفر إلى الفضاء).

وبعـد دخولك أنت وكارين إلى المصعد، تـرى المشغل يضغط زرًا يبدو كـزر صعود، فتشعر أنك ترتفـع إلى الفضاء الخارجي؛ ويمكنك كذلك أن تشعـر بالتسارع البطيء مع الارتفـاع السريع في الهواء، حيث تشير قراءة عداد المصعد إلى: 10 ميلات، 20 ميلا، 30 ميلا...

وفي الخـارج، ترى المشهـد يتغير ثانيـة تلو الأخـرى. وفي لحظة، تجد نفسـك محدقًا في سحب رقيقة تمر إلى جـوارك في الوقت الذي ترتفع فيه في طبقات الجو العليا. ويتغير لون السماء من الأزرق إلى الأرجواني ثم إلى الأسـود القاتم، وأخيرًا ترى النجوم محيطة بكل لمعانها وروعتها، وتبدأ في التعـرف بصعوبة على مجموعات النجوم وهي تتألق على البعد كما لم ترها مـن قبل قط، إنها لا تومض كمـا تبدو عند النظر إليها مـن الأرض، وإنما تلمع متألقة، كما كان حالها دومًا طوال مليارات السنين.

يبـدأ المصعد في التوقف ببطء علـى بعد نحو 100 ميل من سطح الأرض. وفي الأرض، ترى مشهدًا مبهرًا لم تره أبدًا من قبل سوى في الصور والأفلام.

فعندمـا تنظر لأسفل، ترى الأرض في صـورة جديدة تمامًا عليك؛ ترى المحيطـات، والقارات، وأضـواء المدن الكبرى تلمع ويصـل ضوؤها إلى الفضاء الخارجي.

مـن الفضاء، تبدو الأرض ساكنة هادئة لدرجة يصعب معها أن تصدق أن الناسـ أراقوا الدماء فيما مضـى في حروب على حدود تافهة بغيضة، بل ما تزال مثل هذه الدول المتحاربة موجودة إلى الآن، لكنها تبدو شاذة وغريبة،

وأقل اتصالا بعالم اليوم، وبعصر أصبحت فيه الاتصالات آنية وكلية.

وعندما تضع كارين رأسها على كتفك، توقن أنك تشهد ميلاد حضارة كوكبية جديدة، وأن طفلك القادم سيكون من بين أوائل مواطني تلك الحضارة.

وبعدها تخرج من جيبك الخلفي كتابًا قديمًا مهترئ الأوراق وتقرأ لها كلمات شخص مات منذ أكثر من 100 عام مضت، إنها كلمات تذكركما بالتحديات التي يجب على البشرية مواجهتها قبل قيام تلك الحضارة الكوكبية.

فقد كتب المهاتما غاندي[1]:

جذور العنف هي:

الثروة بلا عمل،

المتعة بلا ضمير،

المعرفة بلا فضيلة،

التجارة بلا أخلاق،

العلم بلا إنسانية،

العبادة بلا تضحية،

السياسة بلا مبادئ.

(1) مهاتما غاندي Mahatma Gandhi: سياسي بارز وزعيم الهند الروحي خلال حركة استقلال الهند. كان رائدًا لحركة الساتياغراها وهي مقاومة الاستبداد من خلال العصيان المدني الشامل، والتي أدت إلى استقلال الهند وألهمت الكثير من حركات الحقوق المدنية والحرية في جميع أنحاء العالم. (المترجم)

ميتشيو كاكو

- هو بروفيسور لمادة الفيزياء النظرية في جامعة سيتي في نيويورك، أحد المؤسسين لنظرية الأوتار الفائقة، وهو أيضاً مؤلف لأكثر من كتاب علمي ظلت على قائمة أعلى الكتب مبيعاً لمدة طويلة في مكتبات العالم، منها: (الفضاء المتعدد الأبعاد وكتاب فيزياء المستحيل)، كما أنه يقدم أحد أكثر البرامج التلفزيونية العلمية شعبية. وإضافة إلى ذلك فهو يقدم برنامجين إذاعيين هما: (البحث والعلم المدهش)، تذاع عبر أكثر من 140 قناة.
- ترجم له إلى العربية: (ما بعد أينشتين، كيف سيغير العلم مستقبلنا في القرن الواحد والعشرين).
- عمل محرراً صحفياً ومحرراً علمياً لدى العديد من الصحف العربية والدولية والمواقع الالكترونية، منها: (صحيفة الاقتصادية السعودية وصحيفة الجزيرة السعودية وصحيفة الشرق الأوسط اللندنية ومجلة المجلة اللندنية وموقع العربية نت)، كما عمل محرراً ومترجماً أول بمشروع كلمة في أبو ظبي، والمركز القومي للترجمة بالقاهرة، ومن بين الأعمال المترجمة المنشورة للمشروع: (الاضطراب المناخي)، و(عندما يضل العلم الطريق)، و(بستان غير منظور: التاريخ الطبيعي للبذور)، و(على خطى الصين يسير العالم).

إن التنبؤ بعالم 2100 مهمة مرعبة، إذ إننا نعيش حقبة ثورة علمية نافذة التأثير، يتسارع فيها دائماً إيقاع عجلة الاكتشافات. وقد تراكم من المعرفة العلمية في العقود القليلة الماضية فقط أكثر مما تراكم خلال التاريخ الإنساني بأسره. وبحلول عام 2100 سوف تتضاعف هذه المعرفة من جديد عدة مرات.

يفحص هذا الكتاب عن كثب أعمال العلماء الرواد الذين يشيدون نماذج مبدئية لتقنيات من شأنها أن تغير وجه مستقبلنا. فهذا الكتاب ليس عملاً من أعمال الخيال العلمي، وليس نتاجاً ثانوياً لخيال شطح بأحد مؤلفي سيناريوهات هوليوود، وإنما يقوم على أساس علمي متين من تجارب تجرى اليوم بكبريات المعامل والمختبرات في جميع أنحاء العالم.

كتاب العربية
63

ISBN 978-603-8086-11-7