5

هناك حيز كبير في الواقع

في كلمته الشهيرة أمام الجمعية الفيزيائية الامريكية في 29 كانون أول عام 1959 في كالتيك، يشرح فينمان «الأب الروحي للتقنية الدقيقة» سابقاً عصره بعدة عقود عن مستقبل التصغير. كيف تضع موسوعة بريتانيكا بكاملها على رأس دبوس، وذلك التخفيض العنيف في حجم الأشياء الحيَّة وغير الحيَّة ومشكلة تزييت الآلات التي تبلغ من الحجم أصغر من الفترة حتى نهاية هذه الجملة. ويشن فينمان هجومه متحدياً الشباب من العلماء لبناء محرِّك عامل لا يزيد في حجمه عن 1/64 من البوصة من جميع الجوانب.

دعوة الى دخول حقل جديد

إني أتصوَّر أنه يجب على الفيزيائيين التجريبيين أن ينظروا غالباً نظرة حسد إلى رجال مثل كارمنج أونز (1853 ـ 1926) الفائز بجائزة نوبل في الفيزياء عام 1913 نظراً لأبحاثه في خصائص المادة عند درجات حرارة دنيا مما قاد الى إنتاج الهيليوم السائل، الذي اكتشف حقلاً مثل درجة الحرارة المتدنية. مما يبدو أنه لا نهاية له والذي يمكن للإنسان أن يغوص فيه أكثر وأكثر. مثل ذلك الرجل يُعتبر قائداً وله احتكار مؤقت في مغامرة علمية. وبيرسي بريدجمان في تصميمه لطريقة الحصول عى ضغط عال، فتح حقلاً جديداً وكان قادراً على المضي فيه ويقودنا جميعاً. وتطوير فراغ أعلى كان تطوراً متواصلاً من النوع ذاته.

أود أن أصف حقلاً تم عمل القليل في مجاله ولكن يمكن عمل قدر هائل فيه من حيث المبدأ. وهذا الحقل ليس مماثلاً تماماً كالحقول الأخرى من حيث أنه لا يُفيدنا كثيراً عن أُسس الفيزياء من حيث «ما هي الأجسام الغريبة؟» ولكنها فيزياء صلبة بمعنى أنها ربما تفيدنا أكثر حول الظواهر الغريبة التي تحدث في مواقف معقدة. والأكثر من ذلك هناك نقطة وهي الأكثر أهمية وهي أنه سيكون لها قدراً هائلاً من التطبيقات الفنية.

إن ما أريد أن أتكلم عنه هي مشكلة معالجة وضبط الأشياء على نطاق صغير.

وسرعان ما أذكر ذلك حسب ما يقول لي الناس عن التصغير وإلى أي مدى قد تقدم ذلك في عصرنا الحالي. ويقولون لي عن المحركات الكهربائية التي يبلغ حجمها حجم الظفر في الإصبع الصغير.

وأن هناك أداة في السوق يمكن أن تُكتب بواسطتها الصلاة على رأس دبوس. لكن هذا لا يُعتبر شيئاً بل إنه أكثر شيء بدائي إنها خطوة متأنية في الإتجاه الذي أعتزم أن أناقشه إنه عالم صغير متعثّر في الأسفل. ففي عام 2000، عندما ينظرون إلى الوراء إلى عصرنا هذا فإنهم سيتعجبون لماذا لم يبدأ أحد حتى عام 1960 في التحرُّك بصورة جدية في هذا الاتجاه.

«لماذا لا نستطيع أن نكتب الأربع وعشرين مجلداً من الموسوعة بريتانيكا على رأس دبوس». دعنا نرى ما الذي ينطوي عليه ذلك. إن رأس الدبوس يساوي 1/16 من البوصة ولو ضاعفناه بمقدار قطر 25.000 فإن مساحة رأس الدبوس عندئذ تساوي مساحة صفحات الموسوعة البريطانية. لذلك فإن كل ما يلزم عمله هو تقليل حجم جميع الكتابات في الموسوعة البريطانية 25000 مرة. فهل هذا ممكن؟ تبلغ قوة دوران العين حوالي 1/120 بوصة وهذا تقريباً هو قطر أحد النقط الصغيرة لإعادة الإنتاج الدقيق بمقدار النصف في الموسوعة. وهذا عندما تصغره 25000 مرة فإنه يبقى 80 أنغستروم (الانغستروم = 1/10 بليون من المتر) من حيث القطر ـ 32 ذرة في المعدن العادي.

وبمعنى آخر فإن إحدى هذه النقط سوف تحتوي في مساحتها 1000 ذرّة. لذلك يمكن بسهولة تعديل كل نقطة من حيث الحجم حسبما هو مطلوب في النقش التصويري، ولا شك في أن هناك مساحة كافية على رأس الدبوس لوضع جميع الموسوعة البريطانية.

وعلاوة على ذلك فإنه يمكن قراءتها كما لو أنها مكتوبة كذلك. لتصور أنها مكتوبة بحروف بارزة معدنية أي أننا أبرزنا حروفاً معدنية بدلاً من الطباعة السوداء تبلغ فعليا 1/25000 من حجمها العادي فكيف يمكن لنا أن نقرأها؟

لو أن لدينا شيئاً مكتوباً بمثل هذه الطريقة فإنه يُمكننا أن نقرأها باستعمال أساليب شائعة الاستعمال حالياً (بدون شك سوف يجدون طريقة أفضل عندما نجدها مكتوبة فعلياً. ولكن لتوضيح الموضوع بصورة محافظة فإنني سأتناول الاساليب التي نعرفها في وقتنا الحاضر) سوف نكبس المعدن في مادة بلاستيكية ونجعل منها قالباً ثم نحك البلاستيك بدقة متناهية ونبخر ثاني أكسيد السيليكون في البلاستيك للحصول على فيلم دقيق جداً ثم نظلله بتبخير الذهب على زاوية على السيليكا بحيث تظهر الحروف الصغيرة بشكل واضح ثم نذيب البلاستيك عن فيلم السيليكا ثم ننظر من خلاله بمجهر إلكترون.

لا شك أن ما قمنا بتصغيره 25000 مرة على شكل حروف

بارزة على الدبوس سيكون سهل القراءة بالنسبة لنا هذه الأيام.

وفضلاً عن ذلك، فإنه لا شك أننا سنجد عمل نسخ من النسخة الأصلية أمراً سهلاً. فكل ما نحتاجه هو أن نضغط اللوحة المعدنية ذاتها في البلاستيك ثم نحصل على نسخة أخرى.

كيف نكتب كتابة مصغرة؟

والسؤال الثاني: كيف نكتب ذلك؟ ليس لدينا أسلوباً قياسياً لعمل ذلك الآن. ولكن دعنا نفترض أنه ليس أمراً صعباً كما يبدو للوهلة الاولى. يمكننا أن نعكس عدسات المجهر الالكتروني من أجل التصغير كما نقوم بالتكبير. ومصدر الأيونات المُرسلة خلال العدسات الميكروسكوبية بالعكس، يمكن أن يركّز الى بقعة صغيرة جداً ويمكن أن نكتب بتلك البقعة كما تُكتب بأشعة الكاثود التلفزيونية المتذبذبة بالمرور عبر السطور مع وجود تعديل يقرّر كمية المادة التي سيتم طبعها مع مرورنا في السطور.

قد تكون هذه الطريقة بطيئة جداً بسبب قيود المسافة، وسيكون هناك طرق سريعة. يمكن في البداية أن نصنع شاشة، ربما بواسطة عملية تصوير، يوجد بها ثقوب على شكل حروف. ثم نضرب قوساً خلف الثقوب ونرسم أيونات معدنية من خلال الثقوب، بعدئذ يمكن أن نستعمل مرة ثانية نظام

العدسات ونعمل صورة صغيرة على شكل أيون تضع المعدن على الدبوس.

هناك طريقة أكثر بساطة (على الرغم من أني غير متأكد من أنها ستكون عملية). نأخذ ضوءاً من خلال مجهر بصري يسير بالعكس ونركزه على شاشة تصوير كهربائية صغيرة، عندئذ تأتي الالكترونات من الشاشة حيث يشع الضوء. وهذه الالكترونات كانت مركَّزة من حيث الحجم بواسطة عدسات المجهر الالكترونية لتطبع مباشرة على سطح المعدن. فهل سيقوم مثل هذا الشعاع بحفر المعدن إذا مرَّ مدة طويلة؟ لا أدري: فإن لم يكن عملياً بالنسبة لسطح المعدن، من الممكن أن نجد سطحاً ما نغلِّف به الدبوس الأصلي بحيث يتم عمل تغيير في مكان ضربة الالكترون ويمكن أن نراه في وقت لاحق.

ليس هناك مشكلة في الشدة في هذه الادوات، غير تلك التي أنت معتاد عليها في التكبير حيث يجب أن تأخذ الكترونات قليلة وتنشرها على شاشة أكبر وأكبر، بل الأمر بالعكس تماماً. فالضوء الذي نحصل عليه من الصفحة مركَّز على منطقة صغيرة جداً، لذلك فهو شديد جدا. والالكترونات الصغيرة التي تأتي من شاشة التصوير الكهربائي يتم تصغيرها إلى مساحة صغيرة جداً لدرجة أنها تصبح ثانية مركزة جداً. ولست أدري لماذا لم يتم ذلك حتى الآن.

هذه هي الموسوعة البريطانية على رأس دبوس. ولكن دعونا ننظر في جميع الكتب في العالم. إذ يوجد مثلاً ما يقارب 9 مليون مجلّد في مكتبة الكونغرس وكذلك يوجد 5 مليون مجلد في مكتبة المتحف البريطاني وهناك أيضاً 5 مليون مجلد في المكتبة الوطنية في فرنسا. ومما لا شك فيه أن هناك نسخ مكرَّرة ولذلك دعنا نقول إن هناك ما يقارب من 25 مليون مجلّد موضع اهتمام في العالم.

ما الذي يحصل لو أني طبعت كل هذا حسب المقياس الذي سبق وأن ناقشناه؟ وكم سيكون الخير الذي يشغله؟ بطبيعة الحال سوف يشغل مساحة حوالي مليون رأس دبوس لأنه بدلاً من كونها في 24 مجلد من الموسوعة فهناك 24 مليون مجلد. والمليون رأس دبوس يمكن أن توضع في مربع يتسع ألف دبوس على جانب أو على مساحة حوالي 3 ياردة مربعة. بمعنى أن نسخة مطابقة للسيليكا ذات خلفية بلاستيكية بسماكة الورقة التي عملنا بها النسخ بكل هذه المعلومات تقع في مساحة ما يُقارب حجم 35 صفحة من الموسوعة. وهذا ما يُعادل نصف صفحات هذه المجلة. فجميع المعلومات التي دوَّنها الجنس البشري في الكتب يمكن أن تُحمل تقريباً في كراسة في يدك. وغير مكتوبة بالرموز ولكنها إعادة إنتاج بسيط للصور الأصلية والحفر وكل شيء آخر على نطاق صغير دون فقدان للتركيز.

ماذا عسى أمينة مكتبتنا في كالتيك تقول وهي تركض من

مبنى لآخر إن قلت لها أنه بعد عشر سنوات من الآن بأن جميع المعلومات التي تُجاهد في متابعتها ـ 12 ألف مجلد المرصوصة من الأرض إلى السقف والأدراج مليئة بالبطاقات وغرف التخزين مليئة بالكتب القديمة يمكن أن تُحفظ فقط على بطاقة مكتبة واحدة! وعندما تجد جامعة البرازيل مثلاً أن مكتبتها قد حُرقت فإننا نستطيع أن نرسل لها نسخة من اللوحة الرئيسية خلال ساعات قليلة في مغلف بريدي ليس أكبر ولا أثقل من أي رسالة عادية بالبريد الجوي.

الآن عنوان حديثي هو «هناك حيز كبير في الواقع» وليس مجرد «هناك حيز في الواقع» إن ما شرحته هو أن هناك حيز ـ أي أنك يمكن أن تقلّل حجم الأشياء بطريقة عملية. والآن أريد أن أُبيّن أن هناك حيز «كبير». ولن أُناقش كيفية عملنا لذلك، ولكن ما هو الممكن فقط من حيث المبدأ ـ بمعنى ما هو ممكن حسب قوانين الفيزياء. أنا لا أخترع شيئاً ضد الجاذبية وهو ممكن يوماً ما إذا كانت القوانين غير التي نعرفها. إنني أقول لكم ما الذي يمكن فعله إذا كانت القوانين «هي» التي نعرفها. نحن لا نفعلها ببساطة لأننا لم نقترب منها حتى الآن.

المعلومات على نطاق صغير

لنفترض أننا بدلاً من محاولة إعادة إخراج الصور وجمع المعلومات مباشرة في شكلها الحالي أننا نكتب مضمون

المعلومات فقط في رموز من النقط والقواطع أو ما شابه ذلك لتمثل الحروف المختلفة. وكل حرف يمثل ستة أو سبعة «ضربات» من المعلومات. أي أنك تحتاج فقط إلى ستة أو سبعة نقاط أو قواطع لكل حرف. والآن بدلاً من كتابة كل شيء كما فعلت من قبل على سطح رأس الدبوس فإني أريد أن أستعمل داخل المادة أيضاً.

دعنا نمثِّل النقطة ببقعة صغيرة من معدن ما والقاطعة التي تليها ببقعة مجاورة من معدن آخر وهكذا. وكي نكون محافظين ـ لنفترض أن جزءاً من المعلومات ستتطلب مكعب صغير من الذرَّات خمس مرات في خمس مرات في خمس مرات أي 125 ذرَّة. وربما نحتاج مائة وبعض الذرَّات الغريبة لتتأكد من عدم فقدان المعلومات من خلال الإنتشار أو من خلال عملية أخرى.

لقد قدرت عدد الحروف الموجودة في الموسوعة وافترضت أن كل كتاب من الأربع وعشرين كتاباً يبلغ حجمه نفس حجم مجلد الموسوعة وبعدئذٍ قمت بحساب عدد الضربات من المعلومات هناك 10 ولكل ضربة هناك 100 ذرَّة. ويتبيَّن أن جميع المعلومات التي جمعها الإنسان بحذر في جميع الكتب في العالم يمكن أن تكتب بهذا الشكل في مكعب من المواد يساوي 2/2000 من البوصة عرضاً وهي القطعة المجردة من الغبار التي يمكن أن ترى بالعين البشرية المجردة. لذلك فإن هناك متسع كثير من الحيز في الواقع! ناهيك عن الميكروفيلم!

هذه الحقيقة ـ وهي أنه يمكن تحميل كمية هائلة من المعلومات في حيز صغير للغاية ـ معروفة بشكل جيد لعلماء الأحياء وتحل السر الذي كان قائماً قبل أن نفهم هذا كله بوضوح، عن الكيفية التي يُمكن أن تكون فيها كذلك في أصغر خلية جميع المعلومات عن تنظيم مخلوق معقَّد مثل أنفسنا يمكن أن تخزَّن. جميع هذه المعلومات سواءاً أكانت أعيننا بُنّيةً أو إذا كنّا نفكِّر أم لا أو أنّه يجب أن ينمو عظم الفك في الجنين أو لا، مع فتحة صغيرة على الجانب كي يمكن لعصب فيما بعد أن ينمو ـ جميع هذه المعلومات موجودة في جزء بسيط من الخلية على شكل سلسلة طويلة من جزئ DNA الذي يستعمل فيه ما يقارب 50 ذرَّة لضربة واحدة من المعلومات عن الخلية.

مجهر إلكتروني أفضل

لو أني كتبت رمزاً بحجم 5×5×5 ذرات للضربة الواحدة فإن السؤال: كيف يمكن لي أن أقرأه هذه الأيام؟ فالمجهر الالكتروني لا يعتبر جيداً بدرجة كافية. فبالحذر والجهد الكبيرين فإنه يمكن أن يحل حوالي 10 إنغستروم. سأحاول أن أجرِّب وأؤثِّر فيكم وأنا أتحدث عن جميع هذه الأشياء على نطاق صغير، وأُبيِّن لكم أهمية تحسين المجهر الإلكتروني مائة ضعف. ليس الأمر مستحيلاً. وهو ليس ضدّ قانون حيود

الإلكترون. إن طول موجة الإلكترون في مثل ذلك المجهر هي 1/20 من الانغستروم فقط. لذلك ينبغي أن يكون من الممكن أن نرى الذرّات الفردية. فما أعظم أن نكون قادرين على رؤية الذرّات الفردية بوضوح؟

لدينا أصدقاء في مجالات أخرى ـ في الأحياء مثلاً. ونحن الفيزيائيون غالباً ننظر إليهم ونقول «هل تعلمون يا أصدقاءنا السبب الذي يجعلكم تحققون تقدماً بسيطاً؟» (فعلياً أنا لا أعرف أي مجال يتم فيه تحقيق تقدم أسرع من الأحياء هذه الأيام) وينبغي أن تستعملوا مزيداً من الرياضيات مثلما نفعل «وكان بإمكانهم أن يجيبوا علينا ـ ولكنهم مؤدبون ـ ولذلك سأُجيب أنا نيابة عنهم» إن ما ينبغي أن تفعله من أجل أن نحقق تقدما أسرع هو أن نجعل المجهر الإلكتروني أفضل مائة مرة.

ما هي المشكلات المركزية والأكثر جوهرية للأحياء في وقتنا الحاضر؟ إنها أسئلة مثل: ما هو تسلسل الأسس في DNA؟ ما الذي يحدث عندما يحصل تحول؟ وكيف يكون التنظيم القاعدي لـ DNA متصلاً بنظام الأحماض الأمينية في البروتين؟ ما هي بنية RNA؟ هل هي أحادية السلسلة أم ثنائية السلسلة؟ وما هي طريقة ترتيبها في تنظيم أسس DNA؟ ما هو تنظيم الكروموزومات؟ وكيف يتم تركيب البروتينات؟ أين تذهب RNA؟ وكيف تجلس؟ وأين تقع البروتينات؟ أين تذهب الأحماض الأمينية؟ وفي التركيب الضوئي، أين الكلوروفيل،

وكيف يتم ترتيبه وأين موقع الصبغ الجزراني من ذلك؟ وما هو نظام تحويل الضوء إلى طاقة كيماوية؟

من السهل جداً أن نُجيب على الكثير من هذه الأسئلة الحيوية البيولوجية: أنت فقط تنظر إلى الشيء! وسترى تنظيم الأسس في السلسلة. وسترى هيكل الكروموزوم. ولسوء الحظ فإن المجهر الحالي يظهر على نطاق خام جداً. فإذا جعلنا المجهر أقوى مائة ضعف فإن كثيراً من المشكلات الحيوية ستصبح أكثر سهولة. طبعاً أنا أُبالغ ولكن علماء الأحياء سيكونون بالتأكيد شاكرين جداً لك ـ وإنهم يفضلون هذا على النقد الذي يدعو إلى استعمالهم المزيد من الرياضيات.

إن نظرية العمليات الكيماوية الحالية قائمة على الفيزياء النظرية وبهذا المعنى فإن الفيزياء تقدِّم أساس الكيمياء. لكن للكيمياء أيضاً تحاليل. فإن كان لديك مادة غريبة وأردت أن تعرف ما هي فإنك تمضي في عملية طويلة ومعقَّدة من التحاليل الكيميائية. يمكنك أن تحلِّل تقريباً كل شيء حالياً لذلك فإني متأخر نوعاً ما في فكرتي. ولكن إن أراد الفيزيائيون ذلك فإنهم يمكن أن يحفروا تحت الكيميائين في مشكلة التحليل الكيماوي. وسيكون من السهل جداً عمل تحليلات لأي مادة كيماوية معقَّدة. وكل ما يلزم أن يفعله الإنسان هو أن ينظر إليها ويرى أين تقع الذرَّات. والمشكلة الوحيدة هي أن المجهر الالكتروني ضعيف جداً مائة مرة. (فيما بعد أريد أن أطرح السؤال التالي:

هل يستطيع الفيزيائيون أن يفعلوا شيئاً حول المشكلة الثالثة للكيمياء ـ وتحديداً التركيب؟ هل هناك طريقة فيزيائية لتركيب أي مادة كيميائية؟)

وسبب ضعف المجهر الالكتروني هو أن قيمة Fللعدسات هي فقط جزء واحد الى ألف ولا يوجد هناك منفذ رقمي كبير بدرجة كافية» وأنا أعلم أن هناك نظريات تبرهن أن هذا مستحيل مع عدسات مجال ثابتة محوريا لانتاج قيمة F أكبر من كذا وكذا» ولذلك فان قدرة التبيين في الوقت الحاضر في الحد الاقصى النظري لها» ولكن هناك افتراضات في كل نظرية» لماذا يجب أن يكون الحقل متساوقا؟ إنني أضع هذا كتحد» أليس هناك طريقة أخرى لجعل المجهر الإلكتروني أكثر قوة؟

النظام الأحيائي المذهل

لقد أوحى لي النموذج الأحيائي لكتابة المعلومات على نطاق صغير إلى التفكير بشيء لا بد وأن يكون ممكناً. فالأحياء ليست مجرَّد كتابة معلومات. إنها عمل شيء حول هذه المعلومات. فالنظام الأحيائي يمكن أن يكون صغيراً لدرجة متناهية. وكثير من الخلايا صغيرة جداً ولكنها نشطة جداً. وهي تصنع مواد مختلفة تتحول وتتذبذب وتعمل كافة أنواع الأشياء المُذهلة وكلها على نطاق صغير جداً، كذلك فهي تخزِّن المعلومات. ولننظر في إمكانية أننا نحن أيضا قادرون على جعل

الأشياء صغيرة جداً تعمل ما نريد، إننا قادرون على تصنيع شيء يمكن أن يُناور على كافة الأصعدة.

وقد يكون هناك ناحية اقتصادية لعمل الأشياء صغيرة جداً. دعني أذكّركم ببعض مشكلات آلات الكومبيوتر. ففي الكومبيوتر يجب علينا أن نخزّن كمية كبيرة من المعلومات، ذلك النوع من الكتابة التي كنت أذكرها من قبل يكون فيها كل شيء شبيه بتوزيع المعدن وهو دائم. والشيء المشوّق أكثر في الكومبيوتر هي طريقة الكتابة والمسح وكتابة شيء آخر (هذا لأننا لا نريد أن نتلف المادة التي كتبنا عليها. ولكن إذا استطعنا أن نكتبها في حيز صغير جداً فلا فرق في ذلك لأنها يُمكن أن تُرمى بعد أن نقرأها. ولا تكلف شيئاً من حيث المادة).

تصغير الكومبيوتر

لست أدري كيف أفعل ذلك على نطاق صغير بطريقة فيزيائية ولكن الذي أعرفه أن آلات الكومبيوتر كبيرة جداً وهي تملأ الغرفة. فلماذا لا نستطيع أن نجعلها صغيرة جدا ومن أسلاك صغيرة ـ بكلمة صغيرة أعني صغيرة ـ مثلاً ينبغي أن تكون الأسلاك 10 أو 100 ذرّة من حيث القطر والدارة ينبغي أن تكون آلاف قليلة من الإنغستروم. وكل من قام بتحليل النظرية المنطقية للكومبيوترات توصل إلى خلاصة وهي أن إمكانيات الكومبيوترات مشوّقة إن أمكن صنعها لكي تكون أكثر تعقيداً

بعدة ترتيبات من الاحجام. ولو كان لها عناصر بملايين الأضعاف فلربما يصدر ذلك أحكاماً. سيكون لهم وقت بأفضل الطرق لإجراء الحسابات التي هم على وشك أن يفعلوها، ويمكن أن يختاروا طريقة التحليل والتي هي من واقع تجربتهم أفضل من التي نقدمها لهم، وبطرق أخرى عديدة سيكون لديهم مزايا نوعية جديدة.

لو أني نظرت إلى وجهك فإني أُدرك على الفور أني رأيته من قبل (وأصدقائي سيقولون إني اخترت مثالاً غير موات هنا لغرض التوضيح. على الأقل أميِّز أن هذا رجلاً وليس تفاحة) ومع هذا فإنه لا يوجد آلة يمكن أن تأخذ صورة وجه وتميّز أنها صورة رجل بهذه السرعة وأنه هو الرجل نفسه الذي عُرض عليَّ الآلة من قبل ما لم تكن تماماً الصورة ذاتها. فإذا تغيَّر الوجه وكنت أقرب إليه أو أبعد عنه، وإذا تغيَّر الضوء فإني أُميِّزها بأي شكل كان، والآن هذا الكومبيوتر الصغير الذي أحمله في رأسي قادر على عمل ذلك بسهولة. أما الكومبيوترات التي نبنيها فهي قادرة على عمل ذلك. إن عدد العناصر في هذا الصندوق العظمي الذي أمتلكه أكبر بكثير من العناصر في كومبيوتراتنا «المذهلة». لكن الكومبيوترات الميكانيكية كبيرة جداً، والعناصر في هذا الصندوق مجهرية وأنا أُريد أن أعمل شيئاً يكون أقل من مجهري.

ولو أردنا أن نضع كومبيوتراً يتّصف بكل هذه القدرات

الهائلة فلربما يجب علينا أن نصنعه بحجم البنتاغون. ولهذا مساوئ عديدة. أولاً إنه يتطلَّب مواد كثيرة جداً. ولربما لن يكون هناك جرمانيوم في العالم لكل الترانزستورات التي يجب أن توضع في هذا الجهاز الضخم. كما أن هناك مشكلة توليد الحرارة واستهلاك الطاقة. وقد يلزم وجود TVA لتشغيل الكومبيوتر. ولكن هناك أيضاً صعوبة عملية أكثر وهي أن الكومبيوتر سيكون محدوداً بسرعة معينة. وبسبب حجمه الكبير فإن هناك وقتاً محدوداً لازماً للحصول على المعلومات من مكان لآخر، والمعلومات لا يمكن أن تسير بسرعة أكثر من الضوء، ولذلك في النهاية عندما تُسرع الكومبيوترات أكثر وأكثر وتصبح مستفيضة أكثر وأكثر يجب علينا أن نصنعها أصغر وأصغر.

ولكن هناك مجالاً كبيراً لصنعها أصغر. وليس هناك أي شيء أراه في القوانين الفيزيائية يقول بأن عناصر الكومبيوتر لا يمكن أن تُصنع بشكل أصغر كثيراً مما هي عليه الآن. وفي الحقيقة قد يكون هناك مزايا معينة.

التصغير بواسطة التبخير

كيف لنا أن نصنع مثل هذه الأداة؟ وأي نوع من عمليات التصنيع سنستعمل؟ إحدى الاحتمالات التي يمكن النظر فيها طالما أننا تكلَّمنا عن الكتابة بوضع ذرَّات في ترتيب معيَّن هي

أن نُبخِّر المادة ثم نُبخِّر العازل المحاذي لها وبعد ذلك للطبقة التي تليها، نُبخِّر مكاناً آخر لسلك ما وعازل آخر وهكذا. ولذلك أنت ببساطة تُبخِّر حتى تحصل على كتلة مواد يوجد فيها العناصر ـ الملفات الكهربائية والمكثفات والترانزستورات وهكذا ـ ذات مقاييس دقيقة للغاية.

لكنني أود أن أبحث لمجرد المتعة وأقول أن هناك احتمالات أخرى، لماذا لا نستطيع أن نصنع هذه الكومبيوترات مثلما نصنع الكومبيوترات الكبيرة؟ لماذا لا نستطيع أن نحفر ثقوباً ونقطع أشياء ونلحِّم أشياء ونطبع أشياء ونقولب أشكالاً على مستوى متناهي الصغر، ما هي القيود التي تحول دون عمل الشيء صغيراً قبل صعوبة أن نقولبه بعد ذلك؟ وكم من مرة كنت تعمل فيها بشيء صغير جداً مثل ساعة معصم زوجتك، قلت لنفسك «لو أن باستطاعتي أن أُدرِّب نملة على عمل ذلك»؟

ما أود أن أقترحه هو إمكانية تدريب نملة لتدريب سوسة على عمل ذلك. ما هي إمكانيات آلات صغيرة ولكن متحركة؟ ربما تكون مفيدة أو غير مفيدة ولكن بالتأكيد إن عمل ذلك لمتعة.

لننظر في أي آلة ـ مثلاً سيارة ثم تتساءل عن المُشكلات المشمولة في صناعة آلة متناهية الصغر مثلها. لنفترض في التصميم الخاص للسيارة أننا بحاجة الى دقة معينة في قطعها. نحتاج الى دقة لنفترض 10.000/4 بوصة فإن كانت الأشياء غير دقيقة أكثر من

ذلك في شكل الاسطوانة فإنها لن تعمل بشكل جيد، فإذا عملت الشيء صغيراً جداً يجب أن أكون مهتماً بحجم الذرّات. لا أستطيع أن أصنع دائرة من «الكرات» لنتكلم إذا كانت الدائرة صغيرة جداً. لذلك إذا كنت قادراً على عمل الخطأ موافقا لـ10.000/ 4 من البوصة يتطابق مع خطأ بعشر ذرّات فإنه يبدو أني قادر على تقليل مقاسات السيارة 4000 مرة تقريباً بحيث تكون 1 ملم عرض. ومن الواضح أنك لو أعدت تصميم السيارة بحيث يُمكن أن تعمل بمساحة أكبر. وهو أمر ليس بالمستحيل أبدا. فإنك عندئذ تستطيع أن تصنع آلة أصغر بكثير.

إنه لأمر مشوق أن تنظر في المشكلات الموجودة في مثل هذه الآلات الصغيرة. أولاً بالأجزاء المضغوطة بنفس الدرجة. فإن القوى تذهب بنفس الدرجة التي تقلّل فيها المساحة لدرجة أن الأشياء مثل الوزن والعطالة ليست ذات أهمية نسبياً. بمعنى آخر إن قوة المادة هي أكثر من حيث الأهمية، إن الضغط والتمدد من قوة طاردة من الدولاب مثلاً ستكون بنفس النسبة إذا زادت سرعة الدوران فقط بنفس النسبة عند تقليل الحجم. ومن ناحية أخرى، فإن المعادن التي نستعملها ذات هيكل من الذرّات وهذه ستكون مزعجة جداً على النطاق الصغير لأن المادة غير متجانسة. فالبلاستيك والزجاج والأشياء ذات الطبيعة غير المبتكرة متجانسة أكثر بكثير. ولذلك يجب علينا أن نصنع آلاتنا من مواد كهذه.

وهناك مشكلات مصاحبة للجزء الكهربائي لنظام أسلاك النحاس والاجزاء المغناطيسية. فالخصائص المغناطيسية على نطاق صغير جداً ليست ذاتها على نطاق كبير. فهناك مشكلة «المجال المغناطيسي». فالمغناطيس الكبير الذي يتكوّن من ملايين الحقول المغناطيسية يمكن أن يُصنع فقط على نطاق صغير بحقل مغناطيسي واحد. أما المعدّات الكهربائية فلا يمكن أن تخفَّض ببساطة. إذ لا بد من إعادة تصميمها ولكني لا أرى سبباً يُفسِّر عدم إمكانية تصميمها مرة ثانية للعمل.

مشكلات التزييت

التزييت يشمل بعض النقاط الهامة. إن اللزوجة الفعّالة للزيت ستكون أعلى وأعلى نسبياً كلّما اتجهنا نحو الإنخفاض (إذا زدنا من السرعة بأقصى استطاعتنا) فإذا لم تزداد السرعة كثيراً وتتغير من الزيت إلى الكيروسين أو سائل آخر فإن المشكلة ليست بهذا السوء، ولكن فعلياً ربما قد لا نحتاج الى التزييت أبداً! لدينا الكثير من القوة الفائضة، دع العجلات تجف فإنها لن تصبح ساخنة، لأن الحرارة تذهب من آلة صغيرة بسرعة كبيرة جداً. هذا الفقدان السريع للحرارة يحول دون انفجار الغازولين، لذلك فإن الاحتراق الداخلي للآلة مستحيل، ويمكن استعمال تفاعلات كيماوية أخرى تحرِّر الطاقة عندما تكون باردة، وربما يكون مصدر خارجي للطاقة الكهربائية أكثر الأشياء ملاءمة لآلات صغيرة كهذه.

ماذا يمكن أن يكون في استعمال هذه الآلات؟ من يعرف؟ بطبيعة الحال فإن السيارة الصغيرة ستكون مفيدة فقط للعث كي يسير بها وأعتقد أن مصالحنا العقائدية لا تصل إلى هذه الدرجة. إلا إننا لاحظنا إمكانية صناعة عناصر صغيرة للكومبيوترات في مصانع آلية بالكامل تحتوي على مناشير وأدوات أخرى على مستوى صغير جدا. والمنشار الصغير لا ينبغي أن يكون تماماً مثل المنشار الكبير، وأترك لخيالكم تحسين التصميم للاستفادة بالكامل من خصائص الأشياء على نطاق صغير، وبهذه الطريقة فإن الجانب الآلي كلياً يمكن أن يكون أسهل من حيث الإدراة.

يقترح أحد أصدقائي (ألبرت آر. هيبس) احتمالاً شيِّقاً جداً لآلات صغيرة نسبياً. فهو يقول إنه على الرغم من أنها فكرة غريبة جداً فإنها ستكون مثيرة في الجراحة لو تمكنت أن تبتلع الجراح، فأنت تضع الجراح الميكانيكي داخل الأوعية الدموية ويذهب إلى القلب وينظر من حوله (طبعاً لا بد من تغذية المعلومات) وهو يجد أن الصمامات هو المعطوب ثم يأخذ سكيناً صغيراً ويقطعه. وهناك آلات صغيرة يمكن أن تزرع بشكل دائم في الجسم لتساعد الأعضاء التي لا تعمل بشكل جيد.

والآن يأتي السؤال المثير: كيف نعمل مثل هذه الآلية الدقيقة؟ وأترك ذلك لكم.

ومع ذلك دعني أقترح إمكانية عجيبة. أنتم تعلمون أن هناك في معامل الطاقة الذرية مواداً وآلات لا يمكن معالجتها مباشرة لأنها أصبحت مشعَّة، ولفك العزقات وتركيب البراغي توجد مجموعة من الأذرع الرئيسية والفرعية لدرجة أنك بتشغيل مجموعة من الروافع هنا فإنك تضبط الأذرع هناك ويمكن أن تحرِّكها بهذه الطريقة أو تلك حتى تتمكن من مناولة الأشياء بطريقة جيدة.

إن معظم هذه الأشياء مصنوعة بطريقة بسيطة جداً من حيث وجود كابل معيَّن شبيه بخيط الدُمى المتحركة يذهب مباشرة من الضوابط إلى «الأذرع»» ولكن بالطبع تمت صناعة الأشياء باستعمال المحركات المؤازرة بحيث تكون الصلة بين شيء ما والآخر كهربائية بدلاً من كونها ميكانيكية، فعندما تحرك الاذرع فإنها تحرك المحرك المؤازر وتحول التيار الكهربائي في الأسلاك مما يعيد توضيع المحرك في الطرف الآخر.

والآن أريد أن أبني تقريباً نفس الآلة ـ نظام خدمي رئيسي يعمل كهربائياً. ولكن أريد الخدم أن يصنع بحذر شديد بشكل خاص من قبل فنيين عصريين على نطاق واسع بحيث تكون هذه تساوي «ربع» قياس «الأيدي» التي تحركها عادة. وبذلك يكون لديك نظام تستطيع بواسطته أن تفعل الأشياء بقياس ربع واحد ـ المحركات المؤازرة الصغيرة بالأيدي الصغيرة تتحرك بعزقات وبراغي صغيرة. وتحفر حفراً صغيرة وهي أصغر بأربعة

أضعاف، وهكذا فإني أصنع منشاراً بربع الحجم وأصنع أدوات بربع الحجم وأصنع بمقياس الربع مجموعة أخرى من الأيدي مرة أخرى بحجم ربع تقريباً. هذا من وجهة نظري واحد على ستة عشر من حيث الحجم. وبعد الانتهاء من عمل ذلك أوصل مباشرة من نظامي بالمقياس الكبير ربما بواسطة محولات بمحركات مؤازرة تساوي واحد على ستة عشر وهكذا أستطيع أن أحرّك الأيدي بحجم واحد على ستة عشر.

والآن أنت تأخذ المبدأ من هنا، إنه برنامج صعب جداً، ولكنه ممكن. ربما تقول إن الإنسان قد يمضي لأكثر من ذلك في خطوة واحدة أكثر من واحد إلى أربعة، وبالطبع فإن هذا كله يجب أن يصمَّم بحذر وليس من الضروري أن نجعله مثل الأيدي.

ولو أنك فكرت فيها بحذر فلربما تصل إلى نظام أفضل لعمل مثل هذه الأشياء.

ولو إنك عملت من خلال المناخ حتى هذه الأيام لاستطعت أن تحصل على أكثر من معامل من أربعة حتى في خطوة واحدة. ولكنك لا تستطيع أن تعمل مباشرة من خلال مناخ لعمل مناخ أصغر بسبب سعة الحفرات وعدم رتابة البناء. ونهاية المناخ تلتف بعدم رتابة أكبر نسبياً من تلك التي تحرك بها يديك. والمضي قدماً في المقياس سأحدّد نهاية

المنساخ على نهاية المنساخ حتى تهتز بشكل سيء بحيث أنها لا تعمل شيئاً عقلانياً على الإطلاق.

من الضروري أن يتم تحسين دقة الجهاز في كل مرحلة. فمثلاً لو عملنا منشاراً صغيراً باستعمال المنساخ ووجدنا أن البرغي الأمامي غير نظامي - غير نظامي أكثر من المقياس الكبير - ويمكن أن نركّب البرغي الأمامي على العزقات القابلة للكسر بحيث يمكن أن نرجع بالطريقة العادية إلى الأمام والوراء إلى أن يصبح هذا البرغي، في مجاله، دقيقاً مثل البراغي الأمامية الأصلية حسب مقياسنا.

يمكن أن نعمل أجساماً مسطّحة بواسطة مسح الأسطح غير المستوية على ثلاث طبقات - ثلاث قطع - والقطع المسطّحة تصبح مسطّحة أكثر من القطع التي بدأت فيها، وهكذا فإنه ليس من المستحيل أن تُحسن الدقة على نطاق صغير بالعمليات الصحيحة، لذلك عندما نبني هذا الشيء فإنه من الضروري في كل خطوة أن نُحسن دقة المعدات بالعمل لفترة ونعمل براغي رئيسية دقيقة وقطع جوهانسين وكل المواد الأخرى التي نستعملها في عمل الآلات الدقيقة بمستوى أفضل. ويجب علينا أن نتوقف عند كل مستوى، ونصنع كل المادة لنذهب الى المستوى الذي يليه وهو برنامج طويل جداً وصعب جداً. ربما يمكن أن تجد طريقة أفضل من ذلك لتصل إلى مستوى صغير بسرعة أكثر.

ومع ذلك، وبعد هذا كله، فإن لديك منشار صغير أصغر من المنشار العادي بأربعة آلاف مرة. ولكننا نفكّر في عمل كومبيوتر ضخم نريد أن نبنيه بواسطة عمل ثقوب في هذا المنشار لعمل فلكة صغيرة للكومبيوتر، فكم فلكة يمكن أن تصنع على هذا المنشار؟

مئات الأيدي الصغيرة

عندما أصنع المجموعة الأولى من «الأيدي» الخادمة بمقياس ربع فإنني سأصنع عشر مجموعات من الأيدي ثم أوصلها بأسلاك بالروافع الأصلية بحيث أن كل واحدة تعمل الشيء ذاته بالتوازي. والآن عندما أصنع أدواتي الجديدة بحجم صغير ربع مرة ثانية في الصغر فإنني أجعل كل واحد يصنع عشرة نسخ بحيث أحصل على مائة «يد» بحجم 16/ 1.

أين سأضع المليون منشار التي سأحصل عليها؟ لماذا لا يوجد لها عمل، فالحجم أقل من حجم منشار بقياس عادي. مثلاً إذا صنعت مليار منشار صغير كل واحد منها بمقياس 4000/ 1 من المنشار النظامي فإن هناك كمية من المواد والحيز المتوفر لأنه في المليار منشار الصغير هناك أقل من 2٪ من المواد في المنشار الكبير. وهذا لا يكلّف أي شيء من حيث المواد. لذلك أريد أن أبني مليار مصنع صغير، نماذج من بعضها البعض تقوم بالتصنيع في آن واحد وتحفر الثقوب وتطبع قطعاً وهكذا.

وكلما ازددنا في صغر الحجم فإن هناك عدد من المشكلات تظهر أمامنا. فكل الأشياء لا تصغر من حيث المقياس ببساطة بنفس النسبة، وهناك مشكلة التصاق المواد معاً بحكم الجزيئات المتجاذبة، وسيكون الأمر على النحو التالي: بعد أن تصنع قطعة وتنزع العزقة من البرغي فإنها لن تسقط لأننا لا نقدِّر الجاذبية، بل سيكون من الصعب نزع العزقة. سيكون الأمر مماثلاً لتلك الرسوم القديمة لرجل يداه مملوءتان بدبس السكر ويحاول أن يتخلص من كأس ماء وسيكون هناك مشكلات عديدة من هذا النوع يجب علينا أن نكون جاهزين لتصميمها.

إعادة ترتيب الذرات

لكنني لا أخشى النظر في السؤال الأخير الذي يتعلق في النهاية ـ في المستقبل العظيم ـ فيما إذا كان بإمكاننا أن نرتِّب الذرَّات بالطريقة التي نريد. الذرَّات نفسها ترتيباً تنازلياً! ما الذي سيحصل إذا استطعنا أن نرتب الذرات واحدة تلو الأخرى بالطريقة التي نريد أن تكون عليه (ضمن الأسباب بطبيعة الحال فإنك لا تستطيع أن تضعها بحيث تكون غير ثابتة كيماويا مثلاً؟).

وكنا مقتنعين حتى الآن بأن نحفر في باطن الأرض للعثور على المعادن، ونقوم بتخينها ونعمل منها أشياء على نطاق واسع ونتطلع إلى الحصول على مادة نقية بعدم نقاوة كبيرة

وهكذا. ولكننا يجب دائماً أن نتقبَّل ترتيباً ذرياً تمنحنا إياه الطبيعة. ليس لدينا أي شيء لنقبل بترتيب «قياسي» بوجود ذرَّات غير نقية مرتَّبة تماماً بشكل 1000 أنغستروم منفصلة أو في نمط محدد آخر.

ماذا عسانا نفعل بهياكل ذات طبقات بالطبقات الصحيحة؟ وماذا عسى أن تكون خصائص المواد لو استطعنا فعلاً أن نرتِّب الذرَّات بالطريقة التي نريد، وسيكون من المشوق أن نبحث فيها نظريا. أنا لا أستطيع أن أرى ما الذي سيحدث بالضبط ولكن يصعب علينا أن نشك أنه عندما يتوفر لدينا نوع من «ضبط» ترتيب الأشياء على نطاق ضيق فإننا سنحصل على نمط أكبر بدرجة هائلة من الخصائص الممكنة التي يمكن أن تتوفر للمواد وللأشياء المختلفة التي نستطيع أن نفعلها.

لننظر مثلاً قطعة من المواد نعمل منها ملفات ومكثَّفات صغيرة (أو مثيلاتها الصلبة) بعدد1000 أو 10000 أنغستروم كل واحدة تلي الأخرى مباشرة على مساحة كبيرة مع هوائي صغير بارز على الطرف الآخر سلسلة كاملة من الدارات» فهل من الممكن مثلاً انبعاث ضوء من مجموعة كاملة من الهوائيات كما تنبعث موجات راديو من مجموعة منظمة من الهوائيات لبث برامج الراديو إلى أوروبا؟ والشيء ذاته في إشعاع الضوء في اتجاه محدَّد بكثافة عالية جدا (ربما يكون مثل هذا الإشعاع غير مفيد جداً فنياً أو اقتصادياً).

لقد فكّرت في بعض المشكلات المشمولة في بناء دارات كهربائية على نطاق ضيق وكانت مشكلة المقاومة خطيرة. فإذا بنيت دارة ذات صلة على نطاق صغير فإن ذبذبتها الطبيعية ترتفع طالما أن طول الموجة ينخفض مثل النطاق الصغير، لكن عمق الغطاء ينخفض مع الجذر التربيعي لمعدل النطاق وبذلك فإن مشكلات المقاومة في صعوبة متزايدة، وربما نستطيع التغلّب على المقاومة من خلال استعمال مادة ذات توصيلات عالية جداً إذا كانت الذبذبة غير عالية جداً أو بطرق متحايلة أخرى.

الذرّات في عالم صغير

عندما نصل إلى العالم الصغير جداً ـ مثلاً دارات ذات سبع ذرّات ـ فإننا نحصل على أشياء كثيرة جداً يُمكن أن تحصل تمثّل فرصاً جديدة بالكامل للتصميم. فالذرّات على نطاق صغير لا تكون ذات سلوك يُذكر على نطاق كبير لأنها تؤدي غرض ميكانيكا الكم. لذلك كلما انحدرنا للأسفل وتلاعبنا بالذرات فإننا نعمل وفقاً لقوانين مختلفة ونتوقع أن نفعل أشياء مختلفة. نستطيع أن نصنع بطرق مختلفة، نستطيع أن نستعمل، ليس مجرد دارات، بل نظاماً يشمل مستويات الطاقة الكمية أو تفاعلات دوران كمي.

وسنلاحظ شيئاً آخر أنه لو مضينا إلى الأمام بدرجة كافية فإن جميع أدواتنا يمكن أن تنتج كميات كبيرة بحيث تكون نسخاً

مطابقة تماماً لبعضها البعض. إننا لا نستطيع أن نصنع آليتين كبيرتين بحيث تكون المقاسات ذاتها بالضبط، ولكن إن كانت آلتك 100 ذرَّة أعلى فقط فإن عليك أن تصحِّحها إلى نصف واحد بالمائة لتتأكد من أن الآلة الأخرى بنفس الحجم تماماً 100 ذرَّة أعلى!

وعلى المستوى الذرّي فإن لدينا أنواع جديدة من القوى وأنواع جديدة من الاحتمالات وأنواع جديدة من النتائج. ومشكلات التصنيع وإعادة إنتاج المواد ستكون مختلفة تماماً. وأنا كما سبق وأن قلت ملهم بالظاهرة الحيوية التي تُستعمل فيها القوى الكيميائية بطريقة متكررة لإنتاج جميع النتائج الملتوية (وأحدها هو الكاتب) إن مبادئ الفيزياء حسبما أراها، لا تفيد بعكس احتمال التلاعب بالأشياء ذرَّة ذرَّة. إنها ليست محاولة لاختراق أي قانون. إنه شيء يمكن عمله من حيث المبدأ ولكن لم يتم عمله من الناحية الفعلية لأننا كبار جدا.

في النهاية، فإننا نستطيع أن نعمل تركيباً كيماوياً، يأتي كيميائي إلينا ويقول «أنا أريد جزيء بذرّات مركَّبة هكذا، لذلك اعملوا لي هذا الجزيء» والكيميائي يعمل شيئاً غامضاً عندما يريد أن يعمل جزيء. إنه يرى أن للجزيء تلك الحلقة ولذلك فهو يمزج هذا وذاك ويهزّه ويتلاعب. وفي نهاية عملية صعبة فإنه عادة ينجح في تركيب ما يريد. وفي الوقت الذي تصبح فيه أدواتي فاعلة بحيث نستطيع أن نفعل ذلك بواسطة الفيزياء

سيكون قد عرف كيف يركب أي شيء بالكامل لذلك فإن هذا سيكون بلا فائدة حقا.

إلا أنه من الممتع من حيث المبدأ (في اعتقادي) أن يكون الفيزيائي قادراً على تركيب أي مادة كيماوية يكتبها الكيميائي. مجرّد إعطاء الأوامر ويقوم الفيزيائي بتركيبها. كيف؟ ضع الذرّات حيث يقول الكيميائي وأنت تصنع المادة.

إننا يمكن أن نساعد كثيراً في حل مشكلات الكيمياء والأحياء لو أننا طوَّرنا قدراتنا في رؤية ما يفعلون وعملنا الأشياء على مستوى الذرّات وهو تطوير في اعتقادي لا يمكن تلافيه. والآن ربما تقول «من الذي يجب أن يفعل ذلك ولماذا سيفعله؟» حسناً لقد أبرزت بعضاً من التطبيقات الاقتصادية ولكني أعرف أن السبب الذي يدعو لذلك ربما من أجل المتعة. ولكن لم لا! ليكن هناك تنافس بين المختبرات. دع أحد المخابر يصنع محركاً صغيراً يرسله إلى مختبر آخر الذي يقوم بإرجاعه مع شيء يركب بداخل عمود الإدارة للمحرك الأول.

مسابقة المدارس الثانوية

بغرض المتعة ولكي نستقطب اهتمام الطلاب في هذا المجال، أقترح أن يقوم شخص له اتصالات بالمدارس الثانوية أن يفكر بعمل مسابقة فيها. ففي الأساس، لم نبدأ في هذا الميدان بعد، والطلاب يستطيعون أن يكتبوا بحروف صغيرة

جداً. يمكن لثانوية لوس أنجلوس أن تُرسل دبوساً إلى ثانوية فينس تقول فيه «كيف هذا؟» ثم يرجعوا الدبوس وفي نقطة «أ» يقولوا «غير ساخن جدا».

ربما لن يكون هذا مثيراً يشجّع على العمل، والاقتصاديون هم الذين سيفعلون ذلك. بعدئذ أريد أن أصنع شيئاً ولكن لا أستطيع أن أفعله الآن لأنني لم أحضر الأرضية لذلك. إني أعتزم أن أقدّم جائزة قدرها ألف دولار لأول شخص يستطيع أن يأخذ المعلومات من صفحة كتاب ويضعها على مساحة 1/25000 أصغر بحيز طولي بطريقة يمكن قراءتها بمجهر إلكتروني كما أريد أن أقدّم جائزة أخرى - إذا استطعت أن أضع الأمر في صيغة بحيث لا أقع في مأزق جدلي حول التعاريف - بمبلغ ألف دولار أخرى لأول شخص يصنع محرّك كهربائي عامل - محرّك كهربائي دوّار يمكن التحكّم به من الخارج ويكون بدون عدد الأسلاك فيه بحجم 1/64 بوصة مكعّبة. ولا أرى أن الانتظار سيطول حتى يأتي من يُطالب بالجائزة.

وفي النهاية كان على فينمان أن يفي بوعده في التحديين. وفيما يلي لمحة موجزة لفينمان والحساب كتبها أنتوني جيه. جي. هـ. بيرسيوس ريدينج إم. إي. 1998 التي أُعيد طبعها بالموافقة.

لقد دفع الجائزتين - الأولى بعد أقل من سنة إلى بيل

ماكليلان، وهو خرّيج جامعة كالتيك الذي عمل محركاً مصغّراً كان يفي بالمواصفات ولكنه كان يمثل إلى درجة خيبة أمل لفينمان من حيث أنه لم يتطلّب تقدماً فنياً جديداً. وقدّم فينمان نسخة محدثة من حديثه في عام 1983 إلى مختبر جيت بروبالشن. وقد تنبّأ «إننا بتقنية عصرنا الحالي يمكننا بسهولة... أن نبني محركات تساوي 1/40 من حيث الحجم في كل مقاس وأصغر بمقدار 64.000 من محرّك مكليلان ويمكن أن نصنع آلاف منه في كل مرة».

وبعد ذلك بست وعشرين سنة كان يجب عليه أن يدفع الجائزة الثانية ولكن هذه المرة لخريج من ستانفورد يدعى توم نيومان. كان مقياس تحدي فينمان يساوي كتابة 24 مجلداً من الموسوعة البريطانية على رأس دبوس. وقد حسب نيومان أن كل حرف منفرد يجب أن يكون فقط بعرض خمسين ذرّة». وباستعمال الطباعة على الحجر بواسطة الإشعاع الإلكتروني أثناء وجود مُشرفة خارج المدينة يمكن في النهاية من كتابة الصفحة الأولى من قصة تشارلز ديكنز «قصة مدينتين» بتصغير المقياس 1/25000. وغالباً ما تُسند إلى ورقة فينمان ميزة البدء في ميدان تقنية التصغير وهناك حالياً مسابقات لنيل جائزة فينمان للتصغير.