الفصل الخامس عشر

أصغر من أن يرى: تعليم الجيل القادم علوم وهندسة المقياس النانوي

Too Small to See: Educating the Next Generation in Nanoscale Science and Engineering

آنا م. والدرون، وكيث شيبارد، ودوجلاس سبينسر، وكارل أ. بات
Anna M. Waldron, Keith Sheppard, Douglas Spencer, and Carl A. Batt

١٥,١ المقدمة Introduction

إن تحديات تعليم الجيل الجديد مجالات علوم وهندسة المقياس النانومتري، والتي تعد بمثابة الأساس لتحسين هذه المفاهيم في عقول الطلاب، لا يمكن أن تؤسس بسهولة، دون فهم العالم الأصغر من أن يُرى. وعلى أية حال، يقدم مجالا علوم وهندسة المقياس النانومتري فرصا لتحفيز الطلاب في مجالات الفيزياء، والكيمياء، وعلوم الحياة. وأساس فهم العالم الأصغر من أن يرى معقد، ولكنه هو الأساس الذي يحتاجه المربون للبناء. ويمكن أن يُثير عالم النانو حماس الطلاب الشباب، ويمكن نقل هذا الحماس إلى مراحل طلاب الدراسات العليا. ولكي يتم تأسيس الطلاب الشباب في عالم علوم وهندسة المقياس النانومتري، يستلزم بداية فهم الحجم، والمقياس، والحجم النسبي للأجسام المجهرية والعيانية والنانوية. إلا أن هذا الفهم يجب أن يبدأ في

العالم المرئي (أي الملموس)، ثم يتم التقدم إلى الأبعاد الأصغر فالأصغر، (أي النظري أو التجريدي). وتلتحم المفاهيم في مجالي علوم وهندسة المقياس النانومتري مع الأفكار الأكثر اتساعاً لكيفية تعلم الطلاب للعالم الفيزيائي، والأجزاء تحت المجهرية للمادة. ومعالجة علوم النانو والتعليم الهندسي هو المهم؛ لأن هذه التقنية تؤثر على عامة الناس، وغالباً ما يخشى على مستقبل هذه التقنية.

يشير المقطع التالي إلى فرص استخدام تقنية النانو كمحفز للطلاب، وللتحديات المرتبطة بالعالم الأصغر من أن يُرى. وتبدأ بفكرة الاحتياج إلى جذب الطلاب الذين لديهم إدراك راسخ للحجم والمقياس، وهو شرط أساسي لأي تحقيق آخر في مجال علوم وهندسة المقياس النانومتري. ويستند الكثير من هذا على ملاحظات المؤلفين خلال السنوات القليلة الماضية، وتعكس المحاولات لتقديم هذه المفاهيم في أماكن تعليم العلوم الرسمية وغير الرسمية.

١٥,٢ تقنية النانو كمحفز لجذب الطلاب

Nanotechnology as a Motivator for Engaging Students

إن الأثر الذي تتركه تقنية النانو الآن على الصناعات الحالية والجديدة مذهل، ولكن إمكانياته للمستقبل هائلة جداً، فمن المقدر أن يصل تأثير تقنية النانو على الاقتصاد العالمي إلى واحد تريليون دولار في العقد القادم، والتحديات هي لتأكيد معرفة وإدراك عامة الشعب لهذه الإمكانيات. ويمكن أن تؤدي الأخطاء الناتجة عن الفشل في الترويج لفهم العامة إلى الرفض التام للتقنية [1]. الصناعات الحالية، بما فيها تلك غير المتميزة نموذجياً كتقنية عالية high-tech، سترى خطوط إنتاجها بالإضافة إلى تأثر طريق تصنيعها بمعرفتنا المتنامية في تقنية النانو. وعلاوة على ذلك، ستساعد سمات تقنية النانو في دفع الشركات الصغيرة التي لديها منتجات متطورة نحو مناطق السوق

المتخصصة، مثل الحساسات، وأجهزة التحليل الكيميائية والحيوية، ومكونات وكيماويات البوتيك (الدكان). وليس من المرجح أن تحتاج هذه التقنيات إلى استثمارات تصل لعدة مليارات الدولارات، والتي يجب تغطيتها من شريحة المُنتجين. وبناء عليه سيكون التقدم سريعا بدرجة أكبر، بحيث سيكون الخطر النسبي للاستثمار في تقنية النانو أقل. وعلى الرغم من هذا، فإن الوضع يستلزم استثمارا كبيرا في الأبحاث والتطوير، وخاصة في القطاع الأكاديمي.

ستتصدر تقنية النانو عصر النهضة في مجال التصنيع في أكثر المناطق الريفية المهجورة من قبل التصنيع التقليدي خلال الخمسين عاماً الماضية. إن تقنية النانو قادرة على إنعاش المجتمعات العمالية المنزلية من العمال المهرة، الذين ساهموا في الثورة الصناعية الأخيرة، بينما ساهم التصنيع التقليدي في النمو الاقتصادي في عدد مختار من المناطق الإقليمية، فسيكون لتقنية النانو، وخاصة تطبيقاتها الحيوية تأثير جغرافي أكثر انتشاراً.

> "إن تأثير تقنية النانو على الصحة، والثروة، وحياة البشر سيكون على الأقل مكافئاً لتأثير علم الإلكترونيات الدقيقة، والتصوير الطبي، والهندسة بمساعدة الحاسوب، والبوليمرات المصنعة والمطورة من قِبل الإنسان في هذا القرن" [2].

وهناك ثلاثة أسباب تقنية حتمية للتنبؤ بأنه سيكون لتقنية النانو الحيوية تأثير على المستقبل:

• *تطوير الأجهزة المحمولة، والأكثر متانة التي يمكن نشرها في الموقع*. ويمكن أن تطور وتنشر الحساسات التي ستكون صغيرة بما فيه الكفاية، لكي توزع وتجمع البيانات من منطقة واسعة. ومع وجود حالة الفن في التصنيع الميكروي والنانوي، يمكن

أن تنتج حساسات صغيرة بحجم مثل حجم حبة الغبار. وتكمن التحديات في إمداد هذه الأجهزة بالطاقة، والمسافة المؤثرة اللازمة لبث إشاراتها.

• *إنتاج أجهزة تحليلية مبتكرة قادرة على إرسال إشارة interrogating جزيئات وحيدة*. ستمتلك هذه الأجهزة حساسية وتخصصية غير مسبوقة من خلال قدرتها على عزل جزيئات وحيدة بحجم صغير جداً. والمناهج المبتكرة لمخططات إرسال الإشارة البصرية *والكهرومغناطيسية*، ستكون عاملا أساسيا. سوف تستلزم الجهود في هذا المجال استخدام التقنيات المتطورة جداً؛ لفهم مثل هذه الظواهر الأساسية ككيفية لف البروتينات أو طيها. والتقدم في هذا المجال سيترجم ذخيرة المعلومات الهائلة من علم الجينات إلى البصائر الحيوية، التي توضح علاقات التركيب: الوظيفة في الطبيعة. وقد بُذلت جهود أخرى للسعي نحو فهم كيفية اتصال هذه الأنظمة البيولوجية وتفاعلها.

• *تصنيع وحدات الفصل التي تضغط الجزيئات في بيئات محصورة*. ويمكن أن تتحقق تأثيرات الفصل الفريدة، والتي تسمح بفصل أكثر سرعة وأحياناً أكثر دقة، استناداً على سلوك الجزيئات في بيئة مائعة دقيقة.

إن تقنية النانو محفز قوي للطلاب، وهناك إمكانية لاستخدام هذا الحماس لجذبهم في مجالات أكثر كلاسيكية، مثل الفيزياء والكيمياء وعلوم الحياة. والتحدي هو الحفاظ على الدقة في المفاهيم الأساسية التي تعد مهمة لهذه المجالات، ولا تتذبذب كثيراً بالحماس. وصور "الربوتات النانوية" "nanobots" تعد صورة ضاغطة لجذب الطلاب، ولكن عليهم أن يفهموا أنها ببساطة لن تكون مجزية. وهناك عوائق أساسية لحركة "الربوتات النانوية"، وهي وظيفة حجمهم الصغير [3].

١٥,٣ المقياس النانومتري The Nanometer Scale

١٥,٣,١ أصغر من أن يرى Too Small to See

إن قدرتنا على توضيح عالم أصغر من أن يرى معقدة، ويمكننا رؤية صعوبة استنباط ما بعد (ما وراء) حجم الشيء الأصغر، حتى بالنسبة لعالم متدرب. إن ألس في رواية الكاتب لويس كارول Lewis Caroll "مغامرات ألس في بلاد العجائب"، قد شرحت تجربتها في تقنية النانو بعد شربها لشراب غريب جعلها تنكمش، وعندما وُجهت بفكرة الانكماش لطول أصغر من عشر بوصات:

> "ولكنها في البداية قد انتظرت لدقائق قليلة، لكي ترى إذا كانت سوف تنكمش أكثر. إنها كانت تشعر بالعصبية قليلاً بسبب ذلك؛ "لأنه قد تنتهي، كما تعلمين" قالت أليس لنفسها": إلى حالة انتهاء كليةً كالشمعة. وتساءلت ماذا سوف أصبح إذاً؟ [4].

إن الفكرة بأنك عندما تكون أصغر من أن ترى، ستذهب "خارجاً"، وتختفي من الوجود. ومن الصعب فهم أشياء أصغر من أن ترى؛ لأن "الرؤية" ببساطة، هي جزء أساسي من قدرتنا على التصديق (الاعتقاد) في معظم الأشياء التي توجد خارج عالمنا الروحي.

لقد تم دراسة العالم الأصغر من أن يرى باستخدام أدوات المراقبة (الرصد) نفسها تقريباً، والتي يعود تاريخها للعصر الحجري. إننا نلاحظ، ونرى، وحينما نعجز عن فهم واستيعاب العديد من هذه الملاحظات، نكون أكثر حيرة تجاه الأشياء التي لا يمكن أن نراها. إن الحجم والمقياس مجموعة معقدة من المفاهيم للأطفال، وأصغر شيء يمكن أن يفكروا فيه، هو بالطبع أصغر شيء يمكن أن يروه. وبدون أساس لفهم هذا العالم المجهري، لا يمكن تمييزه بسهولة عن أي عالم آخر، بما في ذلك العالم الخيالي.

١٥,٣,٢ كيف نرى أشياء أصغر من أن ترى؟

How Do We See Things Too Small to See?

يمكن أن يُعرّف العالم المجهري والنانوي جزئياً بالطول الموجي للضوء. نستطيع بعيننا المجردة، (والتي تتفاوت بالطبع باختلاف البشر والعمر)، أن نرى تقريباً ١٠٠ ميكرومتر أو عرض شعرة. ويستطيع المجهر البصري توضيح ملامح (مواصفات) تصل لأقل من ٠,٧ ميكرومتر (٧٠٠ نانومتر) تقريباً، أو حول الطول الموجي للضوء المرئي. ولكي نرى العالم النانوي، نحتاج لمجاهر أكثر قوة، وهي التي تستخدم الإلكترونات لإنارة السطح. وإحدى الطرائق الوحيدة لرؤية الأشياء على المقياس الذري، تكون من خلال استخدام مجهر القوة الذرية.

لقد أزاحت المجاهر الأولية البسيطة الستار عن عالم كان من قبل أصغر من أن يُرى [5]. وكانت خاصية درجة الوضوح في هذه المجاهر البسيطة، ذات العدسة الوحيدة مذهلة إلى حد ما، وأمكن رؤية الأجسام ببضعة ميكرونات. وكانت الصور الأولى للعالم المجهري من الأجسام التي يمكنا رؤيتها بالعين المجردة، ولكن تم الكشف عن تفاصيلها باستخدام المجهر. وإحدى الصور في كتاب "ميكروجرافيا" لروبرت هوك Robert Hooke's Micrographia ، الذي نُشر في عام ١٦٦٥، كانت عبارة عن إعادة لصورة مجهرية من "نقطة"، وهي دورة، وعلامة مشهورة مطبوعة على قطعة من الورق. وتفاصيل هذه "النقطة" على مقياس مجهري تبدو مذهلة جداً. ولقد قوبلت هذه الأوصاف الأولى من العالم المجهري ببعض السخرية "سوت Sot، التي أنفقت ٢٠٠٠ جنيه إسترليني £ على المجاهر لاكتشاف طبيعة الأنقليس Eels في الخل، والعثة Mites في الجبن، واللون الأزرق في البرقوق، والتي توصلت بذكاء إلى أنها مخلوقات حية".

ولمعظم الطلاب الشباب، كان أول كشف عن العالم الصغير جداً باستخدام الزجاج المكبر البسيط. وعلى الرغم من أن تشغيل الزجاج المكبر سهل نسبياً، فقد أظهر

بحث أجري على ٦٠٠ طفل، تتراوح أعمارهم ما بين ٥ – ٨ أعوام، أن معظمهم يعرفون أو يمكنهم معرفة كيفية استخدام الزجاج المكبر بطريقة صحيحة. وعلى أية حال، ما يقرب من ٦٠٪ من أطفال الحضانة، وأطفال الصف الأول الابتدائي خلطوا بين المجهر والتلسكوب (المنظار). ونسبة أصغر ولكن لا يستهان بها من طلاب الصف الثاني والصف الثالث الابتدائي، يعلمون أن المجهر أداة للتكبير، ولكن لا يعلمون اسمه، أو كيفية تشغيله. ورغم ذلك، فإن إنجاز أفضل انتقال من العالم المرئي إلى العالم المجهري، يكون من خلال عملية مستمرة، حيث يستطيع الطفل أن يرى الجسم بالكاد، وبعد ذلك يظهر الجسم بشكل أفضل من خلال استخدام الزجاج المكبر. ولا يُقدَّم المجهر البصري (اعتماداً على المدرسة ومصادر تمويلها) حتى الصفوف من ٢–٤ أو حتى بعد ذلك. وفي ولاية نيويورك، استخدام المجهر المركب غير مطلوب، حتى في تقييم طلاب الصف الثامن، والمهارات المطلوبة، هي كما يلي [6]: "سيكون الطالب قادراً على:

١–تحريك المجهر المركب لرؤية الأجسام المجهرية.

٢–تحديد حجم الجسم المجهري باستخدام المجهر المركب.

٣–تحضير شريحة تثبيت رطبة (مبللة).

٤–استخدام تقنيات صبغ ملائمة.

وبدون أساس في العالم الصغير جداً، فإن الفرص لمكاملة فعالة للأنشطة التعليمية في علوم وهندسة المقياس النانوي في أسلوب طلاب ما قبل الصف الثامن سيكون صعباً. وعلى الرغم من أن الطلاب يمكنهم أن يقدروا العالم الصغير جداً بالمعنى المجرد، إلا أن الفصل بين الحقيقة والخيال العلمي، يكون صعبا بدون معلومات أساسية قوية في العالمين المجهري والنانوي. إن المجاهر البصرية تساعد الطلاب على فهم هذا الصدد؛ مما يعطيهم الصلة بين شيء يستطيعون أن يروه بالكاد والعالم المجهري.

لا يمكن أن تُرى بوضوح الأجسام الأقل من ٥٠٠–٧٠٠ نانومتر تقريباً بالمجهر البصري، بينما تكشف المجاهر الإلكترونية ومجاهر القوة الذرية عن ذلك العالم النانوي. وكل من هذين الجهازين يمثلان تحدياً أكثر صعوبة في تعليم الطلاب. أولا: لغلاء ثمنهما الذي يفوق قدرة معظم المدارس، وحتى بعض الجامعات للحصول عليهما للاستخدام التعليمي. ثانياً: وكما قلنا من قبل، بالنسبة للطلاب الأصغر سناً، يكون هناك فصل بين العينة والصورة المرئية من قبلهم؛ بسبب طبيعة تشغيل المجهر الإلكتروني، ومجهر القوة الذرية. ومعظم المجاهر الإلكترونية الحديثة، وجميع مجاهر القوة الذرية متصلة بحاسوب، ويتم عرض الصورة على الشاشة. وبدون فهم كيفية تشغيل المجهر الإلكتروني ومجهر القوة الذرية، يكون الطالب مواجها بعد ذلك بصورة على شاشة الحاسوب. إن ما يربك قدرة المشاهد على إدراك طبيعة الصور في العالم النانوي، هو عدم وجود اللون. والذرات والجزيئات الفردية ليس لها لون، حيث إن اللون خاصية عيانية تعتمد على الفعل التجمعي للذرات [7]. ويتم فقدان جميع الألوان عند حوالي ٤٠٠ نانومتر، والألوان الأخيرة، هي الزرقاء والبنفسجية. ويستخدم العلماء تحسين اللون لصور مجهر القوة الذرية والإلكترونية؛ لتسليط الضوء على خواص معينة، أو ببساطة لجعل الصور أكثر جاذبية فنياً. وعلى الرغم من إنارة هذه النسخ الملونة، إلا أنه يمكن أن تشوش فهم مُشاهد مقياس الجسم قيد الدراسة.

يتم استخدام مجهر القوة الذرية لرؤية الأجسام الأصغر، وقد تم الحصول على درجات وضوح حتى لأجزاء من النانومتر. وتعود الأصول التاريخية لمجهر القوة الذرية إلى العشرينيات، عندما تم تطوير تشكيلات إبرة التسجيل stylus profilers أولاً. في الثمانينيات صنع علماء في IBM بعض مجاهر المسبار الماسح الأولى، التي كانت لديها القدرة على الرؤية من خلال التفاعل فيزيائياً مع السطح، ومن ثم أدت هذه إلى ظهور الجيل الحالي من مجاهر القوة الذرية. وفي درجة الوضوح هذه، يمكن رؤية اللولب

المزدوج للحمض النووي DNA، عبر ٢ نانومتر فقط [8]. إن المنظور إلى العالم الذري المقدم من خلال مجهر القوة الذرية مفيد؛ لأنه يمد الطلاب بالصور التي تظهر الطبيعة الجزيئية للذرات، والعلاقة بين التفاعلات الفيزيائية والصيغة الكيميائية. ومعظم المجاهر عالية الوضوح بعيدة عن متناول الطلاب الجامعيين، وتقريباً كل مختبرات المدارس الثانوية، باستثناء بعضها، التي تكون للعرض فقط. وهناك عدد من الجهود المبذولة للسماح برؤية مجاهر القوة الذرية على مستوى العالم، وتمد هذه الطلاب بواجهة تخطيطية للأجهزة [9]. وإذا كانت هذه الجهود قد بُذلت لوضع مجاهر القوة الذرية "على الخط" "on-line" بتغيرات العينة المتكررة، وإتاحة الفرصة للتحكم في الجهاز، فإن هذه المظاهر محدودة وغير متصلة بالشكل الأمثل. إن انتقال مكون الإحساس من الرؤية في كل من المجهر الإلكتروني ومجهر القوة الذرية، مفهوم من الصعب على الطلاب فهمه. ومع ذلك، فإن أنشطة التعلم المعتمدة على زيارة الطلاب لمختبرات البحوث تظهر لتقديم المفاهيم الأساسية [10].

١٥,٣,٣ كيف نجعل الأشياء أصغر من أن ترى؟

How Do We Make Things Too Small to See?

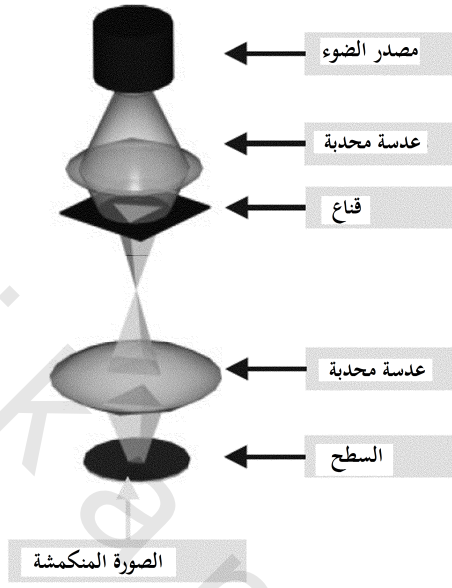
إن جعل الأشياء صغيرة، هو الحل لكثير من التحديات التي نواجهها. وباستثناء بعض السيارات وأنفسنا، فقد حاولنا أن نجعل معظم الأشياء أصغر. وجاء تحدٍ واحد مقبول في عام ١٩٥٩ على شكل السؤال التالي: "لماذا لا نستطيع كتابة كامل مجلدات موسوعة بريتانيكا Britanica الأربعة والعشرين على رأس دبوس؟" [11]. وتوقع فاينمان Feynman الكثير من الأحداث الحالية في تقنية النانو. ومن الغريب، أنه في حديثه المؤثر "هناك مكان كبير في القاع"، لم يستخدم مطلقاً فاينمان كلمة "تقنية النانو".

يمكن توجيه شعاع مركز من الضوء أو الإلكترونات في المجهر لإجراء التفاعلات الكيميائية مع درجة عالية من الوضوح. وبالإضافة إلى ذلك، يمكن استخدام مجاهر القوة الذرية لتحريك الأجسام فيزيائياً بالدقة الذرية، بما في ذلك تحريك الذرات المنفردة. وبعبارة أخرى، لا تستخدم المجاهر "للرؤية" فقط، ولكن يمكن استخدامها أيضاً "لصنع" أشياء أصغر من أن ترى. ولقد ثبت أن الصور الأيقونية المنتجة من قِبل علماء في IBM مدهشة، وتوضح قوة التقنية. ومن الشعارات الأولى الموضحة بذرات الزينون المنفردة، إلى الأشكال العصوية الناتجة من جزيئات أول أكسيد الكربون الفردية، فقد عرضت هذه الجهود الأمل في تقنية النانو. وعلى أية حال، ينبغي أن نتذكر أنه بالرغم من أن تحدي تحريك الذرات الوحيدة بسهولة قد تم مواجهتها، وتبقى مسألة جعلها عملياً [12].

يتم تصنيع معظم الدوائر الإلكترونية المتكاملة الصغيرة جداً باستخدام عملية تسمى الطباعة الليثوغرافية الضوئية. والطباعة الليثوغرافية الضوئية تدمج البصريات والكيمياء لإنتاج تراكيب ثلاثية الأبعاد. ويعدُّ الويس سينفليدر Alois Senefelder هو أول من اخترع الطباعة الليثوغرافية lithography في عام ١٧٩٨م، باستغلال ملاحظة أن المواد الزيتية لا يمكن أن تبلل بالماء. وتضمّن العرض الأول للطباعة الليثوغرافية رسم جسم على سطح باستخدام قلم تلوين شمعي، وبعد ذلك وضع الحبر لإنتاج قالب الطباعة. ومن الغريب، أن الأسطح الأولى التي قام بتجربتها كانت من الحجر الجيري. وما زالت تستخدم الطباعة الليثوغرافية حتى اليوم، كشكل من أشكال الفن أكثر منه شكلا من أشكال التقنية لإنتاج الصور. وفي الطباعة الليثوغرافية، التي تعني حرفياً باللغة اليونانية *كتابة الحجر الخفيف light-stone-writing*، يمكن إنتاج الصورة على سطح من خلال الرسم بالضوء أو بالإلكترونات، و بالطريقة نفسها تقريباً التي قد تخدش بها سطح لوح صلصال (رسم) بقلم تلوين.

إن عملية الطباعة الليثوغرافية الحديثة تتضمن كيماويات حساسة للضوء، تسمى مقاومات ضوئية photoresists، والضوء (نموذجياً في المنطقة فوق البنفسجية العميقة ≈١٨٠ نانومتر) والبصريات. وتستخدم العدسات لتصغير النمط، وبالنسبة للطلاب فهناك فرصة لتعزيز المفاهيم في البصريات، بما فيها الطول البؤري وحسابات بسيطة نسبياً لتحديد تخفيض الطية في الصورة. وقد تم إنتاج النمط عن طريق الطباعة الليثوغرافية الضوئية ثنائية الأبعاد أساساً، وتم كتابته أولاً على قناع يشبه الإستنسل stencil (الشكل رقم ١٥,١). وتتضمن الطباعة الليثوغرافية الضوئية استخدام الطاقة، مثل (الضوء أو الإلكترونات) ؛ لتغيير ذوبانية المقاومة الضوئية. إن المقاومة الضوئية تحمي المادة التحتية (الأساسية) من الحفر أو النمش، عندما يتم إضافة مادة كيميائية كاوية ؛ لذلك يتم تآكل أو حفر المادة غير المحمية، وهي عملية يمكن التحكم فيها ؛ لتحقيق عمق معين من الحفر. ومن خلال سلسلة من الخطوات، يمكن ترسيب طبقة فوق طبقة من المواد، منمطة (منقوشة)، ومحفورة لتوليد تركيب متعدد الطبقات. ويحتوي الجيل الحالي من رقائق البنتيوم Pentium chips على ما يقرب من ٤٠ طبقة، وملايين من الترانزستورات الفردية.

واليوم، تحمل رقاقة الحاسوب المتوسطة سلسلة من الدوائر الكهربائية الصغيرة جداً، لدرجة أن الآلاف منها يمكن أن تُجهز على رأس دبوس. والمعالجات الدقيقة الحديثة في حاسبات الجيل الخامس من شركة آبل Apple's G-5 تدفع الحدود البصرية للطباعة الليثوغرافية الضوئية. إن التقدم في تقنية النانو الآن، يسمح ببناء الأسلاك التي يكون عرضها في الحقيقة لا يتعدى بضعة ذرات. وسيتم إنشاء دوائر عملية في نهاية المطاف باستخدام سلسلة من الذرات الفردية متصلة مع بعضها بعضا بخيط واحد مثل الخرز، تعمل كمفاتيح وأجهزة تخزين للمعلومات.



الشكل رقم (١٥,١). الطباعة الليثوغرافية الضوئية الحديثة.

إن جعل الأشياء أصغر من أن ترى، هو التحدي التقني الكبير، فالعقبات كثيرة بالنسبة للطلاب المهتمين بفهم كيفية صنع هذه الأشياء، ناهيك عن رؤيتها. وليس من السهل نقل القضايا التقنية الأساسية إلى المقياس الكبير، وتستخدم نماذج للمساعدة في توصيل المفاهيم. ويمكننا – على سبيل المثال– أن نشرح بنماذج الكرات والعصي كيف تتجمع الجزيئات، ولكن هذه الكرات والعصي لا تحتاج لأن تتوافق مع القواعد الأساسية للكيمياء. وقد تتشكل الروابط عن طريق استخدام طالب لنموذج ممنوع بشدة بموجب المتفاعلات. ويمكن أن تتجمع اللبنات الفردية في مجموعة ليجوس Legos إلى تراكيب أكبر، ولكنها لا تقدم الحدود الموجودة فعلياً في عالم مقياس النانو. ويمكن أن تقدم القيود – على سبيل المثال– كرة تمثل ذرة الكربون، يمكن أن يوجد بها أربعة ثقوب ؛ مما يحدد للطالب إمكانية ربط أربع ذرات أخرى [5]. وعلى الرغم من

إمكانية تمثيل التكافؤ بشكل صحيح إلى حد ما، إلا أنه لا يمكن تمثيل الظواهر الكيميائية والفيزيائية الأخرى؛ لذلك ليس من السهل نقل التنافر والتجاذب الإلكتروستاتيكي اللذين يؤديان دورا مهما في سلوك مقياس النانو، إلى المقياس الكبير. وأخيراً، فإن خواص المادة للنماذج لا تعكس دائماً خواص المادة للمواد الفعلية. وفي الحقيقة، فإن خواص المادة دالة في مقياس الحجم بسلوك بسيط، مثل تدفق السائل، والذي يختلف جذرياً عندما تقترب الأبعاد من مقياس النانو.

إن النماذج تقوم بدور حاسم، بجعل العالم الصغير جداً ملموساً من ناحية الإدراك الحسي للطلاب. والنماذج المادية قادرة على تمثيل ملء الفراغ بدقة أكثر من النماذج على شاشة الحاسوب. ومن الناحية الأخرى، قد تكون النماذج المولدة بالحاسوب أكثر تعقيداً، وبالتأكيد مشاركة أكثر سهولة من النماذج المادية. ونظراً لأن النموذج غير ملتزم تماماً بالخضوع لقوانين الترابط الكيميائي وحدود أخرى في تجمعها، فقد يكون مُضللاً للغاية. وترمي أعداد متزايدة من الصور المولدة بالحاسوب لإظهار أجهزة ذات تجمع جزيئي، والتي تكون تراكيبها مجرد نتيجة لرسومات الحاسوب ببساطة. وما زالت تحديات التشييد الميكانيكي mechanosynthesis هائلة، (مصطلح ابتدعه إريك ديكسلر Eric Dexler)، وبدون طريق واضح للنجاح.

١٥,٤ فهم أشياء أصغر من أن ترى

Understanding Things Too Small to See

١٥,٤,١ ماذا يعرفون What They Know

ينبغي تقديم علوم وهندسة مقياس النانو لأي طالب ضمن سياق ما يعرفونه، وإلا فإن المفاهيم المجردة حقاً، وقدرة الطالب على التمييز ما بين الحقيقة والخيال العلمي، ستكون مقيدة. ولذا فهم ما يعرف الطلاب يعد عنصرا حاسما، وليس هناك عموميات يمكن أن تستنتج بسهولة. وعلى نطاق أوسع، وبإحساس

تأملي، كيف نصل إلى "المعرفة"؟ إنها قضية متعددة الأوجه، وتختلف باختلاف البشر [13]. وفي واقع الأمر، لم يتعرض الطلاب لتقنية النانو في الصفوف من الحضانة إلى الثاني عشر، وفي استقصاء حديث أجريناه على ٥٠ طفلا تقريباً، قابلناهم في المتاحف العلمية في نيويورك وأريزونا، كانت إجابة ٧٥٪ منهم بـ "لا"، عندما سئلوا : "هل سمعت عن تقنية النانو؟" [14]. وأظهرت دراسة محلية أجرتها شركة تعليم .Edu. Inc في عام ٢٠٠٣ م، على ١٠٠٠ شاب، تتراوح أعمارهم ما بين ١٦–١٨ عاما بأن نسبة ٨٠٪ منهم لم يسمعوا عن تقنية النانو. ونسبة ١٨٪ قد سمعوا عن تقنية النانو، وأظهروا مفاهيم خاطئة وخطيرة، ونسبة ٢٪ فقط تمكنوا من إعطاء مثال دقيق على تقنية النانو. وفي استقصاء ذي صلة، كانت نسبة ٩٠٪ من أصل ٢٥٠ من البالغين الذين شملهم الاستقصاء، لم تكن على اطلاع بتقنية النانو [15]. وفي عام ٢٠٠٤ م قابلت شركة تعليم (.Edu. Inc) ١٠٠ شاب في سن، يتراوح من ١٢–١٨ عاما، وقد أبدى جميع الشباب اهتماماً، وأحياناً اهتماماً شديداً، في تعلم المزيد عن تقنية النانو، عندما تم شرحها لهم. ومن الواضح أن هناك حاجة لطرح علوم وهندسة مقياس النانو في القاعات الدراسية، وسيؤثر هذا على فهم العامة بطريقة مباشر وغير مباشر.

ولا تقتصر ندرة فهم علوم وهندسة مقياس النانو بين الطلاب على الصفوف من الحضانة إلى الثاني عشر فقط، فخلال السنوات الأربع الماضية، قام المؤلفون باستقصاء ١٨٤ طالبا جامعيا وخريجا مسجلين في مقرر بعنوان "التقنية الحيوية النانوية" في جامعة كورنيل Cornell. إن المقرر تفاعلي تماماً، والجهد جماعي. وتُعطى المحاضرات من قِبل أعضاء هيئة التدريس في المعاهد المعنية، ومن "الفرق" المتجمعة في تلك المعاهد، إضافة إلى المعاهد بين بعضها بعضا. وتعمل الفرق على مشروع تصميم لبناء جهاز لاستكشاف مشكلة بيولوجية. وإحدى النتائج الأساسية للطلاب، هي اكتساب خبرة العمل كجزء من فريق متعدد التخصصات. وتجمع استقصاءات ما قبل دراسة

المقرر لتقرير خلفية الطلاب، ومن ثم تجمع من الفرق لتحقيق توازن في الخلفية والخبرة للطلاب [16]. وعندما طرحت السؤال في بداية الفصل الدراسي: "ماذا تتصور عندما تسمع كلمة التقنية الحيوية النانوية؟" لقد أظهر العديد من الطلاب مفاهيم خاطئة واضحة في وصف ماكينات صغيرة جداً، والربوتات النانوية، أو تقديرات خيالية مماثلة من التقنية. وشملت الردود "ربوتات صغيرة في مجرى الدم"، و"رجال صغار يدخلون في البشر لإصلاح الأشياء". وأعطت نسبة ساحقة ٩٢٪ من الطلاب الجامعيين والخريجين ردودا ليست صحيحة ولا خاطئة، ولكنها لا تُثبت معرفة المجال. ونسبة ٨٪ فقط من الطلاب أعطت تعريفا مقنعا للتقنية الحيوية النانوية. وفي بيانات الاستقصاء البعدي، الذي تم جمعه في نهاية المقرر، حققت نسبة ٧٨٪ من الطلاب مستوى من المعرفة، يُمكِّنهم من وصف المجال بدقة. ومن الواضح، أن هذا المقرر يضع الطلاب عملياً في الطبيعة الحقيقية للتقنية الحيوية النانوية، ويصحح المفاهيم الخاطئة الأولية لدى العديد من الطلاب.

١٥,٤,٢ نظرية الجسيم Particle Theory

إن التحدي الأساسي الأول للطلاب الشباب، هو فهم أن هناك عالماً مجهرياً ونانوياً لا يمكنهم رؤيته، وأن تلك الأحداث في هذا العالم لها تأثير كبير على عالمهم. وعلى سبيل المثال، تنتقل جسيمات الغبار الصغيرة جداً حول نصف العالم بتيارات الرياح العالمية، والجسيمات الصغيرة جداً هي المسؤولة عن مرض الحساسية. إن فكرة وجود أشياء لا نستطيع رؤيتها، قد تكون بسيطة بالنسبة للعلماء والمهندسين، وفي لحظة ما أصبحنا نتفهم نحن هذا الارتباط. وكشفت الاستقصاءات المنفذة من قِبل المؤلفين، كجزء من التقدير التكويني لجهد تعليم العلوم غير الرسمي (إنه عالم النانو www.itsananoworld.org) عن نقص ملحوظ في الوعي والإدراك للعالم الصغير جداً [17]. وحتى عمر ثماني سنوات تقريباً، لا يفهم الأطفال بأن هناك عالما أصغر من

أن يرى، و"أصغر شيء يمكن أن يفكروا فيه"، هو شيء تقليدي يمكن رؤيته بالعين المجردة. ويعكس هذا الكثير من الأبحاث التعليمية التي أجريت حول وجهة نظر الطلاب للمادة [15]. وعندما تم تشجيعهم لاستخدام خيالهم للتفكير في أصغر شيء ممكن، تقدم أطفال الصف الأول بإنجاز عالٍ نحو الدخول في عمق العالم الكبير: "الخنفساء (بقة السيدة) bug، وبقعة على الخنفساء، ولسان الخنفساء، وبروز في لسان الخنفساء". وقد اتضح أثناء المقابلات التي أجريت لطلاب الصف الثاني والثالث الذين فهموا الحياة، ويستطيعون توضيح وظيفة الخلايا أنهم ما زالوا يرسمون الأجسام الكبيرة، مثل الغبار، والأوساخ، والحشرات على أنها أصغر الأشياء التي يعرفونها. وسمحت رؤية الأشياء المجهرية للطلاب، باعتبار حقيقة العالم المجهري. وعلى أية حال، فالتقدير والثقة لهذه الحقيقة كانت محدودة بالتطور المعرفي.

إن المفتاح لعملية التعلم، هو الاستطلاع فيما تعلمه الطلاب في الصفوف، من السابع إلى السادس عشر عن الأشياء التي تكون أصغر من أن ترى. ويكمن مثل هذا التعلم في أفكار أكثر اتساعاً لكيفية تعلم الطلاب العالم المادي بشكل عام. وقد أوضحت بحوث تربوية سابقة كثيرة أن الطلاب يأتون إلى التعليم الرسمي بأفكار وبمعرفة مسبقة عن كيفية عمل العالم [18]. وفي أغلب الأحيان، تتداخل المعرفة المسبقة للطلاب مع تعلمهم اللاحق. وغالباً ما يُنظر للتعليمات المأخوذة بدون ملاحظة هذه المعرفة بأنها غير مجدية، ولا يبني الطلاب إدراكهم على أساس ما يعرفونه بالفعل، ولكنهم بدلاً من ذلك يحفظون ببساطة ما يُقال لهم. وهذه الأفكار حول تعلم الطلاب، والحاجة لتعلم أساسه طرح أسئلة أكثر مبينة بشكل واضح في معايير تعليم العلوم الوطني National Science Education Standards ، ومعايير الرياضيات NYS، والعلوم والتقنية.

تبدأ الدراسات المحتواة في هذا البحث التربوي بمعالجة كيف يرى الطلاب المادة، وكيف تُعالج على المستوى الجزيئي أو تحت المجهري. ولدى العديد من الطلاب وجهة نظر عبر مجموعة واسعة من الصفوف وفئات القدرات، بأن المادة ليست جسيمات [19]. وبالنسبة لهؤلاء الطلاب، والمواد على المستوى الذري أو الجزيئي، فهي ببساطة نسخ منكمشة من مظاهر عالمهم الحقيقي، وتحتفظ تلك الذرات/ الجزيئات بخواص المواد العيانية [7]. وتأثير مثل هذه الآراء على التعلم اللاحق عميق، ففهم الكثير من الكيمياء التمهيدية – على سبيل المثال– يحتاج إلى فهم قوي للطبيعة الجسيمية للمادة، والقدرة على الربط بين العالمين: العياني وتحت المجهري [20]. ويتنقل العلماء (الخبراء) بحرية بين هذين العالمين، بينما الطلاب (المبتدئون) غالباً ما ينحصرون فقط فيما يستطيعون رؤيته، ويصبح التعلم اللاحق في فصول العلوم الأكثر تقدماً ضحلاً وخوارزمياً (لوغاريتمي)، بدلاً من تصوري وعميق. وعلى الرغم من أن الكتب العلمية قد بدأت مؤخراً في معالجة هذه القضية عن طريق تقديم صور مجهرية في نصوصها، فمازال هناك الكثير الذي يجب عمله.

لكي تدرج بفعالية تقنية النانو في القاعات الدراسية، نحتاج لمعالجة بعض هذه القضايا، بتحري الأعمار والمستويات التطويرية المناسبة لتقديم الأفكار والمفاهيم حول الذرات والجزيئات وتفاعلاتها، ولمعالجة قضايا أخرى، مثل المقياس، والحجم، وكيفية تأثير الأحداث النانوية على علوم الفيزياء والحياة. كما لاحظ فوجل Vogel أن تصاميم فعالة لأشياء كبيرة، غالباً ما تعمل بشكل سيئ لأشياء صغيرة، والعكس صحيح، وبمعنى آخر: "قضايا الحجم" [21]. وعلى سبيل المثال، ظاهرة الانتشار الجزيئي مهمة بالنسبة للمسافات الصغيرة، لكنها غير مهمة للمسافات الكبيرة، وبناء عليه تحتاج الكائنات الحية الأكبر إلى أنظمة نقل؛ لتزويد أنفسها بالطعام والأكسجين [22]. وتتضمن الأسئلة التي يجب التصدي لها التالي: ما الأنشطة (مثلاً: محاكاة

بالحاسوب، استخدام النماذج...إلخ) المناسبة لتطوير فهم الأشياء التي لا يمكن رؤيتها؟ وفي أي عمر يمكن أن تقدم هذه بفعالية أكثر؟ هل هناك تسلسل مفاهيمي تنموي مناسب لتعلم الظواهر النانوية؟ وكيف يمكن أن يكون هذا التنسيق عبر التخصصات العلمية المختلفة، حسبما هي موجودة الآن؟ وعلى سبيل المثال، غالباً ما تدرس للطلاب النظرية الحركية الجزيئية في فصول الكيمياء، بعد دراستهم المسبقة لمثل هذه المفاهيم، كالانتشار والتناضح في فصول الأحياء.

١٥,٥ تصميم أنشطة تعلم علمية عملية لجذب الذهن

Creating Hands-On Science Learning Activities to Engage the Mind

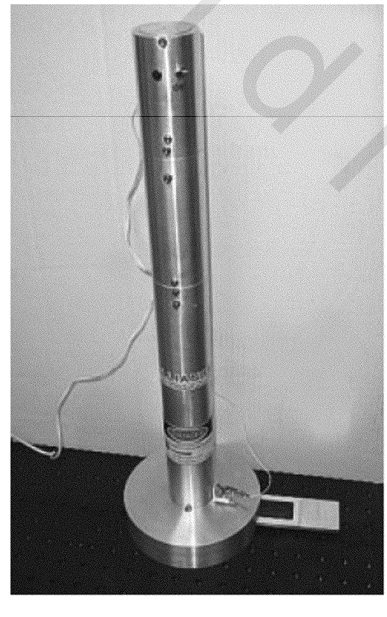
إن أنشطة التعلم التي تعتمد على الذهن (على العملي)، تساعد الطلاب على اكتساب مزيد من التبصر في المفاهيم الأساسية للعلوم [23,24]، كما تساعد أنشطة التعلم هذه على جذب الطلاب وتحفيزهم، من خلال الأسلوب الذي أصبح معروفا بـ "النشاط قبل المحتوى". ومن أجل مساعدة الأطفال وحتى البالغين على فهم تقنية النانو، يجب علينا إقامة جسر بين معرفتهم "ما هو صغير"، والأدوات المستخدمة لرؤية الأشياء، وجعلها أصغر من أن تُرى. كما يجب عليهم أولاً أن يتعلموا عن العالم المجهري، والمقياس الذي يمكن من خلاله أن تتفاعل تقنية النانو مع هذا العالم. وحينما يتوطد لديهم مقياس نسبي للقياس الدقيق والنانوي، حينئذ يمكنهم البدء في فهم التقنيات المستخدمة لرؤية وصنع الأجسام الصغيرة جداً. واستخدام الأنشطة التي لا تعلمهم فقط ، ولكن تجذبهم أيضاً يعد أمرا بالغ الأهمية، وتشكل الأنشطة المعتمدة على العقل جزءا مهما في التجربة التعليمية، والتحدي هو تطوير أنشطة تحتوي على أجسام أصغر من أن ترى. ورؤية شيء معروف في مستوى مجهري، يساعد الأطفال على خلق جسر ذهني من الكبير macro إلى الدقيق micro. وقد لاحظ سبنسر Spencer

ذلك أثناء بحث يفحص تصور أطفال الصفوف من الحضانة إلى الصف الثالث للأجسام المجهرية، والأطفال الذين حددوا " البعوضة" بأصغر شيء يعرفونه، نظروا إلى شرائح مجهزة لبعوضة من خلال المجهر. وخلال عرض الشرائح عند مستويات تكبير تتزايد ببطء، كان الأطفال قادرين على رؤية دليل مباشر للتقدم من بعوضة مكبرة للغاية، يمكن تمييزها بسهولة، ولكن على المستوى الخلوي. واستناداً على التأثر والتعليقات أثناء النشاط والمقابلات بعد النشاط، يبدو أن الأطفال واجهوا تجربة تحول من نوع ما. فلقد علقت طفلة في الصف الثالث بقولها: "لم أكن أعرف أبداً أن البعوض له هذا الشكل عن قرب". وقال ولد متحمس عمره ثماني سنوات " انظروا، ها هي الخلايا، هناك حقاً، يمكنك أن تراها!".

إن استعمال المجهر ورؤية العالم الصغير جداً، جزء مهم من ذخيرتنا الفنية من الأنشطة العلمية المعتمدة على العقول. وتقدم المجاهر فرصة لجذب الطلاب الشباب، كما أن أجزاء المجهر، وخاصة العدسات توفر الدراجة (سيجواي) segway للطباعة الليثوغرافية الضوئية. إن مفهوم التكبير، هو نفسه تماماً مثل التخفيض البصري المستخدم، لجعل الأشياء أصغر من أن ترى. وتوفر الدروس المحتوية على قياس الطول البؤري لعدسة الأساس للعدسات المركبة وانكماش النمط. وعلى الطرف الآخر من الطيف، نستخدم أنشطة لقياس الطول البؤري للعدسة، كأساس للدروس الخاصة على التليسكوبات.

وربما أحد أفضل الأمثلة لجهود المؤلفين المبذولة في تطوير أنشطة علمية ذهنية فريدة على تقنية النانو، هو تصميم وتصنيع نظام التصغير البصري (بقوة خمس مرات) 5X، المحمول الذي يستطيع الطلاب استخدامه لأداء الطباعة الليثوغرافية الضوئية (الشكل رقم ١٥,٢). والجهاز الذي تم بناؤه بتحالف للتقنيات الطبية النانوية Alliance for Nanomedical Technologies (وكان بات Batt قائد للمشروع)، يسمح

للطالب بصنع دائرة إليكترونية دقيقة بحجوم مميزة، تصل إلى أقل من ١٠٠ ميكرومتر. وقد شمل فريق التصميم طلابا خريجين، ومساعدي أبحاث، وطلابا جامعيين انضموا كأعضاء بتحالف التقنيات الطبية النانوية. والجهاز له نظام بصري؛ لتحقيق تصغير بمقدار خمسة أضعاف، وقد أدت الجهود الإضافية إلى تطوير المقاومة الضوئية، وعملية الحفر الآمن للاستخدام في القاعات الدراسية في المدارس المتوسطة والثانوية. ويقوم الطلاب بتصميم دائرة، وطبعها على لوح شفاف (الذي يستخدم كقناع)، ثم يقومون بعد ذلك بنقل النمط إلى الألومونيوم الذي تم طلاؤه على شريحة المجهر القياسي. وعندئذ يمكنهم اختبار الدائرة باستخدام البطاريات وثنائيات الانبعاث الضوئية LEDs. ولقد قمنا باختبار هذا النشاط مع طلاب صغار لا تتجاوز أعمارهم من ١١- ١٢ عاما بنجاح.



الشكل رقم (١٥,٢): نظام تصغير بصري (بقوة خمس مرات) 5X محمول، يستطيع الطلاب استخدامه لإجراء الطباعة الليثوغرافية الضوئية.

١٥,٦ الأشياء التي تخيفنا Things That Scare Us

١٥,١٦,١ المخاوف المجتمعية من تقنية النانو

The Societal Concerns of Nanotechnology

سوف تثير التقنية الجديدة مخاوف الجمهور دائماً، خاصة عندما لا يكون لدى مجتمعنا العلمي الوقت والصبر الكافي لتوضيح هذا المجال. وتوضح الاستطلاعات بأن الجمهور العام يرى أن تقنية النانو تحمل أملا عظيما، وأنه لا يوجد حالياً خوف شائع من هذه التقنية [1]. ومن يسقط في الفراغ الذي نخلقه ببقائنا منعزلين داخل مختبراتنا، هم النقاد والعلماء المزيفون pseudoscientists الذين تكون مهمتهم في أحسن الأحوال الإغراء، وفي أسوأ الأحوال إشاعة الخوف. إن هذا صالح لصنع روايات عظيمة، وصالح أكثر لصنع أغشية أفضل، ولكن العتبة (البداية) إلى الخيال العلمي، تكون مظلمة. ولن تفرض تقنية النانو كتقنية تهديد جديد على المجتمع. ويبين التاريخ أن معظم المخاطر التي يتعرض لها المجتمع، تنتج عن سوء استخدام التقنية، ولا تنشأ عن أحدث التقنيات، بل من التقنيات الأكثر دنيوية والموضوعة في أيدي الانتهازيين. ولقد رأينا في السنوات العشرين الأخيرة أفعالا شنيعة، نُفِّذت من قِبل أشخاص ومجموعات لديها بعض التقنيات البسيطة جداً.

> لقد حدث خطأ كبير في إحدى التجارب في صحراء نيفادا Nevada، فقد تسربت سحابة من الجسيمات النانوية– والربوتات الدقيقة من المختبر. وهذه السحابة مكتفية ذاتياً، وقادرة على الاستنساخ (التكاثر) ذاتياً، وهي ذكية وتتعلم من التجربة، إنها حية بالنسبة لجميع الأغراض العملية، ولقد تم برمجتها كحيوان مفترس. إنها تتطور بسرعة لتصبح أكثر فتكاً مع كل ساعة تمر، وقد باءت كل محاولات تدميرها بالفشل، ونحن الفريسة [25].

هناك بالتأكيد مخاوف أخلاقية يجب أن توضع في الاعتبار مع كل تقنية حديثة. وتوقع هروب التقنية، كما تم وصفه في كتاب مايكل كريشتون Micheal Crichton "الفريسة" ستكون نتيجة محزنة، ولكن وضع تقنية النانو الحديثة الحالية، لا تسمح بأي حال من الأحوال في الوصول إلى هذه النتيجة. ولن يمكن بناء روما النانوية Nano-Rome اليوم:

> هناك مخاطر حقيقية في العالم، والتي تقلقنا الآن، هي تقنيات عمرها ٥٠ عاماً قاتلة في أيدي أشخاص ومؤسسات يمكن أن تختار استخدامها [26].

إن التقنية الموصوفة في هذه الرواية الخيالية ليست قريبة حتى للحقيقة، ولا توجد تقنية على الساحة أو في الأفق قادرة على أن تفسر المخلوقات الخيالية الموصوفة في هذه الرواية. وبرغم ذلك، فإنها تلقى الكثير من التغطية الإعلامية، ومن خلال وسائل الإعلام المتنوعة، وبالأخص الإنترنت، وانتشرت توقعات خيالية للفناء. ولسوء الحظ، فإن الحاجز بين العلم والخيال العلمي، هو فقط كارتفاع خيال روائي موهوب أو رسام كرتون. وتكثر الصور على الإنترنت لربوتات نانوية وأشياء أخرى خيالية، والبعض منا الذين اختاروا أن يكونوا مشغولين بالجمهور، حيث يقضون قدرا كبيرا من الوقت يعرضون فحوصا حقيقية للطلاب والجمهور العام. وحتى بعض الزملاء المحترفين يميلون فوق الخط أحياناً، بسبب إغراء الدعاية والإعلان، والإمكانية بأن هذه السمعة السيئة تأتي في شكل تمويل وفرص أخرى. ورغم ذلك، فالحقيقة العملية لبناء ماكينات مستقلة تتجمع ذاتياً أصغر من بكتيريا وحيدة، يمكنها أن تنطلق مثل البراغيث ما زالت مجرد نتاج خيال الفنان. وما ينبغي أن نقلق منه، هو التقنية الأكثر دنيوية، والأسباب الجذرية للرغبة المتنامية لاستخدامها. والتعليم هو المفتاح.

١٥,٦,٢ الجيل القادم The Next Generation

لقد اخترنا أن نركز اهتمامنا على الجيل القادم من العلماء (العلميين) والمهندسين الواعدين. ونقوم بجذب الشباب الذين لا ينظرون غالباً إلى العلوم على أنها فرصة تعليمية، ناهيك عن أن تكون مهنة لهم، كما أنهم لا يرون أنفسهم علماء (كعلميين)، وذلك يشكل حاجزا كبيرا نسعى للتغلب عليه. ونعمل بالتنسيق مع معلميهم، والاعتراف بأن هذه الشراكة ستحدث فقط، إذا فهمنا عالمهم. وبوجود مناهج أكثر صلاحية، يجب علينا أن نلبي حاجات المدارس، بدلاً من الاستمرار في عرض المحتوى الذي ليس له علاقة ببقية التجربة التربوية، ففي الوقت الحاضر، ندير ثلاثة نوادي علوم للمدارس المتوسطة للبنات، في محاولة لمواجهة التحدي المتمثل في تشجيع الشابات لاعتبار (لنظر) المهن في مجال العلوم. وفي استطلاع حديث أجري على ٣٨ فتاة من الفتيات اللائي التحقن بالنادي، نسبة ٧٤٪ منهن لم يعددن أنفسهن علميين [27]. واستضفنا أيضاً ثلاثة نوادي علوم بعد المدرسة للأقليات الممثلة في مدرسة بيفيرلي ج. مارتن Beverly J. Martin (إثيكا، نيويورك (Beverly J. Martin School (Ithaca, NY، ومدرسة أمة أونونداجا Onondaga Nation School ، ومدرسة شي المتوسطة (سيراكوس، نيويورك) (Shea Middle School (Syracuse ، NY، وممارسة اعتقادنا بأن هؤلاء الطلاب الشباب لديهم كل الإمكانات في العالم. وعلاوة على ذلك، نقدم مناسبات لعامة الناس، وفي كل صيف نقوم بجذب أكثر من ٣٠٠٠ شخص في معرض ولاية نيويورك الكبير Great New York State Fair الخاص بعجائب العالم النانوي. وأخيراً، وفي أبريل عام ٢٠٠٣م، ظهر لأول مرة معرض المتحف المتنقل "إنه عالم النانو"، والذي تم تطويره بالتضامن مع شركائنا من مركز العلوم والكون المطلي Painted Universe في إيثيكا. ونعتقد بأن المعرض سيقوم بزيارته أكثر من مليون شخص أثناء جولته في الولايات المتحدة الأمريكية.

وبالمساعدة على التعلم، وربما الأهم من ذلك، هو إلهام هؤلاء الطلاب الشباب، كما نأمل رفع الوعي العام لدى قطاع عريض من العامة عن مفهوم تقنية النانو. وسيكون لهذه التقنية- وبصفة عامة معظم التقنيات- تأثير إيجابي قوي على حياتنا. ولقد صاغ لنا هذا الجهد التوعية المعروفة بـ "علوم الشارع الرئيسة" "Main Street Science"، ونأمل حصر المكتشفات العلمية المثيرة خلال السنوات الخمس القادمة في مركزنا والمراكز الأخرى، ومن ثم نقوم بترجمتها إلى المفاهيم العلمية والمقبولة لدى الطلاب والجمهور العام. وفي علوم الشارع الرئيسة، سيصبح في وسعنا تسخير طاقة طلابنا الجامعيين والخريجين لتطوير الأنشطة العملية، ومنحهم الخبرة العملية في علوم المجتمع.

ما الاكتشافات العلمية التي نأمل أن يشاركنا فيها الطلاب الشباب؟ على سبيل المثال، هناك بضعة طلاب فقط على مستوى المرحلة الثانوية يفهمون معنى مصطلح "النانو" في سياقه الأكمل. إنهم يفهمون أن النانو ثانية سريعة جداً، ولكنهم لا يدركون أن العصفور المغرد يرفرف بأجنحته حوالي من ١٠٠-٢٠٠ مرة في الثانية. وهذه الرفرفة لا تدركها العين البشرية عملياً، فهي أسرع من ومضة لمبة الفلورسنت. وعلى الرغم من هذا، فإن تشغيل الحاسبات، يكون أسرع بمليون مرة. وإنهم يعرفون أيضاً أن النانومتر صغير جداً، ولكنهم لا يدركون أن المسافة بين الذرات، تكون حسب درجات (رتب) من النانومترات. ولذا، فبالنسبة للأطفال الأصغر سناً نعده تحديا لهم ولفهمهم، ببساطة ما البليون، ونحاول بدايةً أن نطلعهم على المفهوم باستخدام آلاف من مكعبات الليجو البلاستيكية الصغيرة. وبإيجاز، نقوم ببذل جهد صادق لجذب الأطفال على أمل جعلهم يبدؤون باعتقاد أن العلوم شيء جيد، وأن تعلم العلوم يمكن أن يكون شيقاً. وبغض النظر عما إذا كان هؤلاء الأطفال سيمضون قدماً لنيل درجة الدكتوراه في تقنية النانو أم لا، فمن المهم أن نجعلهم يؤمنون بأنهم يستطيعون القيام بذلك.

إن الطريق الأكيد لتخفيف المخاوف التي تصاحب العديد من الثورات العلمية، هو الجمهور المثقف علمياً أكثر. ويكتظ التاريخ بأمثلة عن مكتشفات علمية قوبلت في البداية بالتحديات العامة، ولم نترك، نحن المجتمع العلمي، مختبراتنا إلا بعد ردود فعل كبيرة وعنيفة، وبدأنا بجذب الجمهور بفعالية. وبالتالي ليس من المستغرب أن المؤسسة الوطنية للعلوم- ومما يحسب لها- وضعت في مقدمة التحدي إشراك الجمهور، كأحد المعايير المهمة للنظر في برامجها البحثية المدعومة.

١٥,٧ الطريق إلى الأمام The Road Ahead

إن الطريق إلى الأمام، هو أحد الوعود العظيمة المليء بالأمل والتحديات المحتملة. ولا يكفي ببساطة أن نعرف كيف يقوم الطلاب بفهم الأفكار والمفاهيم، فمن المهم أن نعرف كيف يمكنهم أن يتعلموا مثل هذه الأشياء بفعالية أكثر، فالعديد من معلمي العلوم أنفسهم تعلموا العلوم بشكل سلبي كحكمة منزّلة. وإذا أردنا تغيير تعلم الطلاب لكي يكون فعالاً، فإن المعلمين في حاجة لمعرفة المزيد ليس فقط حول كيفية تعلم الطلاب، ولكن أيضاً حول ما التقنيات والإستراتيجيات التربوية الفعالة لمعالجة معرفة الطلاب المسبقة. وفي أغلب الأحيان، يمضي المعلمون والكتب الدراسية قدماً بدون مثل هذه المعرفة. وباختصار، لكي يحدث تعليم عالي الجودة، فيكون المطلوب تدريس عالي الجودة.

تعد تقنية النانو مجالا منبثقا من الهندسة، ولكن ستجد جذورها ممتدة في مجالات مختلفة من ضمنها الفيزياء، والكيمياء، وعلم المواد. إن تأثيرها الجديد الرئيس، سيكون بشكل واضح في علوم الحياة، وتمثل تحدياً لتنظيم مجموعات متعددة التخصصات، يمكنها التواصل والعمل بفعالية معاً. وهذه ليست مهمة بسيطة، حيث توجد حدود كبيرة في اللغة والثقافة. ولكن وعلاوة على ذلك، سيتم حجب التقدم في

هذا المجال، إذا كان هناك فشل في جذب الجمهور العام، ووضع الأساس لتوضيح كيف سيكون للتقدم في هذا المجال تأثير إيجابي على حياتهم.

شكر وتقدير Acknowledgement

لقد استندت مادة هذا الفصل على العمل المدعوم من قِبل برنامج STC للمؤسسة الوطنية للعلوم تحت اتفاقية رقم ECS-9876771 ، من خلال مركز كورنيل Cornell للتقنية الحيوية النانوية.

المراجع References

1 Bainbridge, W. S., Public attitudes toward nanotechnology. *J. Nanoparticle Res*. 2002, 4, 561–570.
2 Smalley, R., *Prepared Statements for House Science Committee, Subcommittee on Basic Research, June* 22, 1999. 1999.
3 Purcell, E. M., Life at low Reynolds number. *Am. J. Phys*. 1977, 45, 3–11.
4 Carroll, L., *Alice's Adventures in Wonderland*. 1865.
5 Hitt, A., Townsend, J. S., Models that matter. *Sci. Teacher* 2004, 29–31.
6 New York State, *New York State Standards*, 2004.
7 Ben-Zvi, R., Eylon, B., Silberstein, J., Is an atom of copper malleable? *J. Chem. Edu*. 1986, 63, 64–66.
8 Binnig, G., Quate C. F., Geber, Ch., Atomicforce microscope. *Phys. Rev. Lett*. 1986, 56, 930.
9 Bade, N., Amresh, A., Ramakrishna, B., Ong, E., Sun, J., Razdan, A., Remote control and visualization of scanning probe microscopes via the Web. WebNet Journal*: Internet Technologies, Applications & Issues* 2001, 3, 20–26.
10 Margel, H., E. B-S, Z. Scherz, We actually saw atoms with our own eyes. *J. Chem. Edu*. 2004, 81, 558–566.
11 Feynman, R. P., There's Plenty of Room at the Bottom. *Caltech Engineering and Science*, 1960, 23, 22–26.
12 Eigler, D. M., Schweizer, E. K., Positioning single atoms with a scanning tunneling microscope. *Nature* 1990, 344, 524–526.
13 Kuhn, D., How Do People Know? *Psychol. Sci*. 2001, 12, 18.
14 Waldron, A. M., Batt, C. A., Trautmann, C., *Nanotechnology Awareness at Three Science Museums*. 2004, unpublished data.
15 Spencer, D., *Evaluating Public Readiness for and Interest in Learning New Science.* 2003, unpublished data.
16 Waldron, A. M., Batt, C. A., *Nanobiotechnology Graduate Course*. 2004, unpublished data.

obeikandl.com

17 Waldron, A. M., Batt, C. A., Spencer, D., *It's a NanoWorld formative evaluation*. 2001, unpublished data.
18 Gabel, D. L., *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. 1994, New York, Macmillan.
19 Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., Wood-Robinson, V., *Making Sense of Secondary Science: Research into Children's Ideas*. 1994, London, Routledge.
20 Nakhleh, M. B., Why some students don't learn chemistry. chemical misconceptions. *J. Chem. Edu*. 1992, 69, 191–196.
21 Vogel, S., *Cats' Paws and Catapults*. 1998, New York, Norton.
22 Barnes, G., Physics and size in biological systems. *Phys. Teacher* 1989, 27, 234–253.
23 Flick, L. B., The meanings of hands-on science. *J. Sci. Teacher Edu*. 1993, 4, 1–8.
24 Welch, W. W., Twenty years of science curriculum development: a look back. *Rev. Res. Edu*. 1979, 7, 282–306.
25 Crichton, M., *Prey*. 2002, New York, Harper Collins.
26 Batt, C.A., *Prepared Testimony for House Science Committee HR766, March* 19, 2003.2003.
27 Waldron, A. M., Batt, C. A., Kong, E., *Science Club for Middle School Girls*. 2004, unpublished data.

obeikandl.com