تقانة النانو:

عالـــم النانـــو: مفاتيـــح للفهـــم

إعداد: فبريس امبريالي

ترجمة: موسى زمولي (1)

مقدمة (المترجم)

في مقالنا تحت عنوان "مسيرة العلم "مجلة معالم- العدد الرابع ص، 87-96 أشرنا إلى أن العلوم العقلية شهدت، منذ عصر النهضة الأوروبية، نقلات نوعية أدت إلى نعتها بالعلوم العصرية.

ومن بين هذه النقلات الحديثة نخص بالدرس هنا " تقانة النانو" التي بدأت، كما سنرى لاحقا، تطبيقاتها تنتشر في العالم المتقدم وتتسرب لميادين مختلفة.

تُعَرَّف تقانة النانو على أنها تطبيق علمي يخص الدراسة والتعامل مع المادة على مقياس الذرة والجزيء [1]. وبعبارة أخرى هي دراسة وابتكار تقنيات ووسائل جديدة تقاس أبعادها بالنانومتر وهو جزء من الألف من الميكرومتر أي جزء من البليون من المتر (10^{-9} متر). تتعامل التقانة النانوية عادة مع قياسات بين 0,1 إلى 100 نانومتر أي تتعامل مع تجمعات ذرية [2] تتراوح بين خمس ذرات إلى ألف ذرة. وهي أبعاد أقل بكثير من أبعاد البكتيريا والخلية الحية. ولكنها حتى الآن لا تختص بعلم الأحياء بل تهتم أكثـر بخواص المواد.

على هذا المستوى، كما سيأتي ذكره، فتح الباحثون نافذة جديدة على عالَم من الأشياء مماثل للعوالم التي تم اكتشافها عند اختراع المجهر والمنظار الفلكي.

ترجمة النص:

كان ذلك في 29 ديسمبر 1959 بمناسبة الملتقى السنوي للجمعية الأمريكية للفيزياء، عندما ألقى رتشر فاينمان (Richard Feynman)2 محاضرته بعنوان" هناك فضاء شاسع في الأسفل" Bottom There's Plenty of Room at the"). بهذا العنوان المميز طلب العالم الفيزيائي الأمريكي، من أسرة العلماء، التعجيل بالبحث في عالم متناهي الصغر (small infinitesimally) للكائنات. لكن كان علينا أن ننتظر الثمانينات واختراع المجهرين: المجهر النفقي الماسح (Scanning (STM) Tunneling Microscope) و مجهر القوة الذرية (AFM) Microscope Atomic Force لنشهدميلاد عالم النانو (أي مقاسات أحجامها ما بين 1 و 100 نانو متر) وفُتح هذا المجال بالفعل أمام الباحثين (4). وهكذا استطاع العلماء في النهاية النظر لجزيئات المادة (Molécules)، والحمض النووي الريبي منقوص الأكسجين "دنا" وللشفرة الوراثية (جينوم) ولتركيبة ذرة المادة . " وأصبح ممكنا العمل على هذا المقياس، وكانت من المتطلبات الأساسية النظر إلى هذه المكونات للتعامل معها"، هكذا قال كرسيان جواشيم (Joachim Christian) كيميائي بمركز إعداد ودراسة هياكل المواد (CEMES) للمركز الوطني للبحث العلمي (6). ومع نهاية الثمانينات وبفضل الدقة التامة للأدوات (خاصة باستعمال حِيّل المجهرين (STM وAFM)، استطاع العلماء التعامل مع الذرات واحدة بواحدة. أعطت هذه السيرورة طلقة البداية لعلم النانو، لدراسة الخواص الفيزيائية والكيماوية الأساسية للأشياء بحجم النانو متر. وبالاستعانة تدريجيا بأدوات متطورة، بدأ أخيرا تصميم وصنع أشياء، وهياكل ومواد يتم التعامل معها مع آلات بمقاسات النانومتر.

لكن لماذا كل هذا الإصرار على الغوص للنظر في عمق قلب المادة ؟ "من أجل الخواص الجديدة التي يمكن التعرف عليها على هذا المقاس وهي لا تظهر على مقاسات أكبر" صرح بذلك جان إيف مارزن (Jean-Yves Marzin) فيزيائي ومدير مخبر وحدات الكم الضوئي (الفوتونات) والهياكل النانوية (LPN) بمدينة مركوسيس(Marcoussis) الفرنسية. وفي نفس السياق يرى جيرار بن أسياق(Hérard ben Assiac)، الفيزيائي بمركز CEMESأن تقانة النانو

تسمح بتوفير مسار لاكتشاف " على مقياس أصغر الأشياء المخفية على مقاسات أكبر". وبعبارة أخرى هناك خصائص عديدة لمواد ? بصرية، محفزة، وميكانيكية، ومغناطيسية، وحرارية، وكهربائية- يتعلق ظهور معظمها بمقاييسها.

على مقياس النانومتر تظهر بعض خصائص المواد وأخرى تختفي، بعضها يتحسن كثيرا بينما تتشتت صور البعض الآخر بل تخرج تصرفاتها عن قوانين الفيزياء الكلاسيكية. عندها يلجأ الفيزيائي إلى قوانين الفيزياء الكمية: فعلى سبيل المثال فإن الإلكترونات لا تستمر في الحركة حول جزء غير منقطع من تيار، ولكنها ترحل فرادى، واحدا واحدا. من هنا نستطيع فهم الرهانات العلمية لعلم النانو وفهم تكوين المادة على المقاييس الصغيرة، لنصبح في يوم ما قادرين على التحكم في هذه الخصائص لتصميم أدوات جديدة، ودارات متكاملة وحتى أنظمة كاملة. وتوافقت هذه الرهانات مع رهانات الصناعة.

بدأت في الخمسينات ظاهرة الدارات المتكاملة السليكونية التي أحدثت أهم الثورات التقانية في التاريخ: الميكرو الكترونات. ولحد اليوم لا زالت صناعة الميكرو إلكترونات تتطور وفقا لقوانين مور (More laws) التي تنص على ما يلي:

(1) يتناقص، (في الصناعة، المترجم)، حجم الترانزستور (أداة إلكترونية شبه موصلة) إلى النصف، كل 18 عشر شهر، لتسمح بزيادة كثافة التكامل وأداء الدارات الإلكترونية، و(2) وتتضاعف كلفة التصنيع كل 36 شهر، وعلى هذا المنوال سيلتقي لا محالة تصغير حجم الترانزستورات ونمو كثافتها (بلغت حاليا 130 نانو متر بالنسبة للبنتيوم4) لتتقارب مع عالم عُلوم النانو مما يخلق مشاكل بين المصنعين ومصداقية الناتج. يقوم الباحثون حاليا بتصور طرق لتخطي هذه المشاكل باستكشاف عالم النانو واقتراح تصاميم بديلة لدارات الغد.

غير أن علم النانو وتقانة النانو لا تخدمان فقط علم المايكرو إلكترونات (والحواسيب، المترجم) ولكنها تتعداها لمعظم الفروع العلمية الأخرى (الطب والتقانات الحيوية والكيمياء وعلوم البيئة وغيرها) وكذلك كامل ميدان المواد (المعادن، البترو كيماويات (Polymers)

والمواد الخزفية). " نحن مدانون لتقانات النانو لأنه بفضلها استطاع مخبرنا أن يُنشئ ويَدْرس ذرات اصطناعية أو ما يمكن تسميته بالأشياء النانونية بتصرفات وخصائص محددة،" صرح بذلك ميشال لانو(Michel Lano)، مدير إدارة الرياضيات والمعلوماتية والفيزياء وعلوم الأرض والفلك (MIPPU) بالمجلس الوطني. بالإضافة إلى هذا البحث في الجانب الأساسي، تدير المخابر العديد من التطبيقات الواعدة : تركيبات نانونية لتحسين أداء البوليمار والخزفيات، والأنابيب الكربونية النانونية (شكل 3) وأسلاك سلكونية نانونية (Nanowires Silicon) لعلم الإلكترونيات، وتصنيع أدوية تتفاعل مباشرة مع أهدافها، جزيئات نانونية لاصطياد الملوثات في المياه، وغيرها. بالفعل فإن تقانة النانو تتوسع حيث يتزايد عدد المختبرات في فرنسا وفي العالم مع تكثيف الجهود وتوفير مصادر الاستثمار في هذا الميدان.

ظهر في الأربع سنوات الأخيرة نشاط وتنافس بين الولايات المتحدة، واليابان وأوروبا للتمكن من هذه التقانة. أنفقت حكومة الولايات المتحدة بليون دولار أمريكي لبحوث علوم وتقانة النانو ، وقاربت هذه القيمة في اليابان 850 مليون دولار أمريكي، بينما كان مجموع كل ما أنفقته الحكومات الوطنية بالاتحاد الأوروبي 700 مليون يورو على مؤسساتها البحثية في هذا الميدان . ويبرر هذا الحماس توقع عوائد اقتصادية طائلة. وحسب المؤسسة العلمية الوطنية للولايات المتحدة الأمريكية، فان سلع الإنتاج والخدمات ذات العلاقة بتقانة النانو ستفتح سوقا قيمتها تريليون دولار في العشر سنوات القادمة.

في أوروبا أصبحت تقانة النانو ضمن أهم أهداف البرنامج الإطار السادس للجنة، والمتعلق بالبحث والتطوير التكنولوجي والمشار إليه برمز:(6PF) وسيستحوذ على 10 % من ميزانية البرنامج. في فرنسا، شرعت وزارة البحث، ومعها في المدة الأخيرة الوكالة الوطنية للبحث، في تنفيذ برنامج تحت عنوان " علوم النانو وتقانات النانو" وأُعطيت للمشروع الأولوية. وحسب ما أوردته برندات بنصود فانسنت (Bernadette Bensaude -Vincent) المتخصصة في تاريخ العلوم، " يفكر المصنعون في إمكانية التخفيض الكبير من حجم المواد الأولية" ينتج

عن ذلك تخفيض سعر الكلفة والتحرر من ضغوط المنتجين. تترجم عملية ''اللامادية'' هذه بخفض في استهلاك الفولاذ والألمنيوم والبلاستيك والانتقال إلى منتج أخف وأقوى. وختمت بنصود فنسنت كلامها قائلة '' ظاهرة تقانة النانو، تصب في هذا الاتجاه''.

مع أن الحكومات واعية للأهمية الإستراتيجية لاستكشاف عالم النانو، فإن الاستثمار في البحث على مستوى المؤسسات العمومية والمساهمة في المشاريع الصناعية لا يزال محتشما. والسبب في ذلك أن هناك بعض التطبيقات لا تزال قادرة على تأدية الطلبات التجارية ومع ذلك نرى دخول مكونات نانوية في لوح التحكم لدى سيارات الشحن لجنرال موتورز ومنتجات تجميلية اعتمدت جزيئات نانوية.

من جهة أخرى هناك حاجز آخر: الأخطار المحتملة من جزيئات النانو. يرى روبرت بلانا (Robert Plana) الباحث في مختبر تحليل و تصميم النظم (LAAS)، إمكانية تخوف المجتمع ورفضه لهذه التقانات. ويرى لانو أنه من المهم التقدم في العمل مع المعرفة التامة لكل الأحداث وتلبية انشغالات المجتمع حيث يقول'' يجب إجراء دراسة دقيقة لآثار تقانة النانو على الصحة والبيئة. دون أن نوصد مسبقا الباب أمام بعض الأبحاث''. هناك عدد من فرق البحث الفرنسية المتميزة لها خبرة بخصائص تقانة النانو ونمذجتها.

أشياء وآلات ومعدات نانوية.

في مركز CEMES، على سبيل المثال، فإن الفيزيائيين والكيماويين عارفون بأشياء نانوية على مقاس النانومتر، منها أفلام ذات البعدين، زجاج صافي للبصريات ومواد من الكربون (أنابيب النانو وأسلاك النانو والفولورين (fullerenes)) (شكلي 1 و 2) والجزيئات الاصطناعية عبر العديد من الطرق الكيماوية والفيزيائية. يمكن للباحثين رؤية تركيبة الذرة لسطح مادة ما بوساطة المجهرين الالكترونيين الماسحين ضوئيا للأشياء (STMS,AFMS) وبالأشعة الصينية المنكسرة على مستوى أكبر. وباستطاعتهم تغيير المادة بمعالجة الذرات، مع استخدام توافقي لأدوات التصوير وتركيز أشعة أيونية . '' بإمكاننا تحليل الخصائص

الناتجة لهذه الأشياء النانونية، وإذا برزت أهميتها، نحاول الاستفادة من ذلك''، قال بن أصياغ (Benassayag). إذاً كيف يتم بالضبط تصنيع الأشياء الجديدة ؟ هناك طريقتان مختلفتان: مقاربة -من الأعلى إلى الأسفل- باستخدام الميكرو إلكترونات (التقانة المتداولة حاليا، المترجم) وتتلخص الطريقة في تصغير حجم الشيء إلى مقياس النانو حسبما تسمح بذلك أدوات التصنيع والعمل على أشياء معيّنة. أما الطريقة الثانية (النانوية، المترجم) من الأسفل إلى الأعلى- والتي يتم تطويرها في المخابر: تنطلق من الذرات والجزيئات وتجميعها للحصول على أشياء، أو هياكل أو آلات جديدة.

تعاني الطريقة الأولى من عملية التصغير التي قد نفقد معها الثقة في النتيجة عند تعاملنا مع المقاسات الصغيرة جدا وأحسن مثال على ذلك الكتابة على الأشياء البلورية. تستخدم حاليا المعالجات الميكروية الصناعية التي تسمح بكتابة و تنفيذ نماذج على أفلام من الراتنج (resin) وتطبع على شبه موصل. تستخدم الطريقة نفسها في تصنيع هياكل نانونية للعجائن، بتشكيل مساحاتها على مقاس النانومتر مما يريح الفيزيائيين والكيمائيين ويسمح لهم بوضع جزيئاتهم النانونية واختراع مواد جديدة. إلا أنه كلما زاد الغوص في مقاسات النانومتر كلما زادت صعوبة تطويع هذه الطريقة للإنتاج الكمي. يقوم باحثو مركز CNRS بدراسة إمكانات وجود طرق بديلة لتحسين طريقة '' من الأعلى إلى الأسفل''. تتم الطباعة النانونية، مثلا بتقليد هياكل نانونية صنعت مسبقا في خلطة من البوليمار كتبت بوسيلة راقية (المختبر Laas)؛ استخدام الكتابة النانونية وتوصيل الأسلاك النانونية وبتركيز الأشعة الآيونية التي تقوم الأشعة الماسحة فيها بدور القلم لرسم الهياكل النانونية على السطوح (مختبر LPN).

وتسمح المقاربة ''من الأسفل إلى الأعلى'' التي تعتمد مبادئ كيماوية من صنع أشياء اصطناعية (جزيئات اصطناعية ، عناقيد) - وهي في الحقيقة غير موجودة - باستخدام الذرات والجزيئات . توجد هنا أيضا العديد من السيرورات لكنها لا تزال حبيسة المخابر. ويرى كرستيان جواشيم من مركز (CEMES) بأنه يجب دراسة الذرة وكل جزيء ووظائفها كلاّ على حدة.

" لهذا السبب صممنا ، وصنعنا ودرسنا آلات نانونية أحادية الجزيء قادرة على الحساب، وتتصرف آليا وأخرى قادرة على التخاطب." ثم أضاف شارحا. " نحن نطور كل الصناعات الكيماوية والتقنيات الحديثة للاتصالات النانوية وطرق التداول النانونية للتمكن من التحكم في الجزيء الواحد وتبادل المعلومات معه." والهدف هو صنع آلة بأقل عدد ممكن من الذرات. وتمثلت النتيجة المدهشة التي تم الوصول إليها بهذه الطريقة في الجزيء ذي العجلتين المتكون من عجلتين وذراعين وساقين وعندما تعترض هذه الآلة (في تنقلها، المترجم) ذرة تستطيع ضمها إليها وتضعها في مكان آخر. هكذا فإن آلات اليوم لا تحتاج إلى محرك ويمكن تحريكها برأس نانوي ولكنها سوف تساعدنا على فهم خصائص الروبوتات النانوية المستقبلية . ومن بين الأولويات الأخرى للفريق هو إنشاء وحدة حساب ثنائية بمقياس أقل من النانومتر مكونة من جزيء واحد. ويمكن عند توصيلها بأسلاك ذرية نانوية للتخاطب مع هذا الجزيء لإدخال وإخراج البيانات. "باختصار" ختم جوشيم، نحن نطور أسس تقانية التصغير النهائي للحواسيب المستقبلية".

في مخبر تكثيف المادة وفيزياء الهياكل النانونية بمدينة ليون (فرنسا) تستخدم المقاربة " من الأسفل إلى الأعلى" لصناعة الكتل لبناء المواد النانونية. وفي نفس المختبر المخصص لصناعة العناقيد المكونة من حزيئات من حوالي مائة ذرة وتسمى أيضا جزيئات نانونية عبر سيرورة المرحلة الفيزيائية الغازية ، "يتم تكوين تركيبات جديدة من الذرات، كما يتم اكتشاف خصائصها، وتوازنها وفعاليتها "، يقول ألان بيراز(Perez Alain)، مدير مخبر (LPMCN). ومن النتائج المهمة: عناقيد من السيلكون شبه موصلة من نوع الفلورين، وهياكل نانونية مغناطيسية أساسها معادن (الحديد والكوبالت والنيكل)، وخليط من المعادن (شكل 1)، ونُظمُ للتطبيقات البصرية تعتمد عناقيد جد مشعة ومن معادن كريمة مثل الذهب والفضة. انطلاقا من هذه الجزيئات النانوية التي توضع بعناية فوق السطوح المناسبة ، نعد هياكل نانوية عمليا ونقوم بالدراسات الفيزيائية الأساسية حسب هدف النظام الذي يتم الحصول عليه. وعندما تكتمل دراسة الهيكل النانوي واعتماد خصائص النظام لإنجاز مكون، نمر إلى مرحلة

الانتقال التقاني مع شريكنا الصناعي" ختم بيراز مضيفا إلى أن المقاربتين " من الأسفل إلى الأعلى، ومن الفوق إلى الأسفل" هما مكملتان لبعضهما البعض وليستا متعارضتين. في تجربتنا وضعنا عجينة (الشكل 1) شكلت لتمثل خلطة نانونية أيونية (من الأعلى للأسفل) ووضعنا فوقها عناقيدنا (من الأسفل إلى الأعلى) لنصنع شرائح ذات البعدين التي تبشر بالحصول مستقبلا على مكونات ذات كثافة رفيعة. إن الأنابيب النانونية الكربونية (الشكل 3) هي من بين الأشياء النانونية الأكثر طواعية. لقد تم اكتشافها بطريق الصدفة سنة 1991 ، هذا الأنبوب الصغير مكون من صفيحة أو أكثر من الكربون مرتبة في هياكل سداسية الشكل ملفوفة على بعضها البعض بقطر يتراوح بين 1,4 إلى 100 نانو متر وطولها حوالي 1 ميكرون متر. " تبقى الإمكانات الورقية لا تصدق"، تقول كاثرين جورني(Catherine Journet)، أستاذة مساعدة وباحثة في مخبر (LPMCN). يمكن أن تكون لها ميزات الفولاذ كما أن بإمكانها أن تكون موصلا جيدا، هذا بالإضافة إلى أن لها خصائص مهمة مثل الخصائص البلورية والكيماوية والميكانيكية: هي في نفس الوقت خفيفة ومقاومة للانقطاع والاعوجاج، وهي لينة جدا ويمكن انحناؤها إلى أصغر الزوايا أو ليها. توفر هذه الجوهرة بحق ميزات مهمة مثلما نجدها في آن واحد في المكونات الالكترونية (كموصل، مكون فوتوكهربائي ، والليزر وغيره) ؛ وفي الدعامات الميكانيكية (مُركبة).

في الواقع تعتمد خصائصها على عدد صفائح الرصاص الأسود وعدد اللفات" قالت جورني. وللتمكن بسرعة من قياس العديد من الخصائص النوعية لكل نوع من أنواع الأنابيب النانوية، وبفعالية ودقة وفي آن واحد، قام فريق ستيفان بورسال (Stephen Purcell) ، كبير الباحثين في مخبر (LPMCN) بتطوير طريقة جديدة تعتمد الإرسال الالكتروني وآثاره على الحقل (emission field effect electron). بدأت عدة تطبيقات ترى الوجود في ميادين الميكانيكا و فيزياء المعادن وفيزياء المواد. يقوم فريق مدينة فيلاربان (Villeurbanne) (بفرنسا) بدراسة تركيبات نانونية خاصة بمصفوفة البوليمار تدعمها أنابيب نانوية. وفي مجال الطاقة جرت محاولات

أولية لتخزين الهيدروجين بطريقة الابتلاع بمعهد العلوم وهندسة المواد للسيرورات (IMP) بمدينة أوديو (Odeillo) (فرنسا). كما يتم تطوير شاشات مسطحة للعرض تستخدم أنابيب الكربون النانونية بمخبر الالكترونات وتقانة المعلومات (Leti) بمدينة غرونوبل (Grenoble) (فرنسا).

هناك أشياء نانوية أخرى ذات قيمة كبيرة بسبب خصائصها الجديدة على المقياس النانومتري ، ومنها على سبيل الخصوص الجزيئات النانوية الذهبية. " في سنة 1982 عندما بيّن باحث ياباني بأنه على مقاييس 2 أو 3 نانومتر تصبح جزيئات الذهب مادة حافزة واستطاعت هذه الجزيئات بالتخلص من وحيد أكسيد الكربون، اعتبرت هذه المعلومة آنذاك على أنها مجرد حيلة" قال أولفار بلوشري (Oliver Plochry)، فيزيائي وأستاذ مساعد في معهد باريس للعلوم النانوية. " بالفعل فالذهب هو أكبر المعادن سكونا في الطبيعة " كما أثبت الفيزيائيون بأن الذهب، مع المقاسات النانو مترية، يكتسب حساسيات بصرية جيدة جدا.

يرى الأستاذ بلانا (Plana) أن العلوم والتقانات النانويتين " تتصدر اليوم الأبحاث" . ولمتابعة إستراتيجية لهذا الميدان أنشأ مركزًا CNRS و CEA مرصداً لتقانتي الميكرو والنانو (OMNT)، تكون مهمته الإشهار بالنقلات النوعية وتوفير المعلومات النافعة في آن واحد للباحثين وللمصنعين الفرنسيين.

تعريف بالعلوم النانوية:

العلوم النانوية هي إحدى مجالات علوم المواد وعلاقة هذه العلوم بالفيزياء والهندسة الميكانيكية والهندسة الحيوية والهندسة الكيميائية. تشكل تفرعات واختصاصات فرعية متعددة ضمن هذه العلوم وجميعها يتعلق ببحث خواص المادة على المستوى الصُغري، وتتولى تقانة النانو هذا الجانب التطبيقي العلمي بإنتاجها للأشياء عبر تجميعها على المستوى الصُغري.

أحدثت هذه التقانة ثورة في العالم حيث انطلق العديد من الدول في إجراء دراسات حول هذه التقانة وكيف يمكن الاستفادة من هذا الفرع الجديد من المعرفة. وقامت دول أخرى بإنشاء

مـراكـز بـحـوث ودراسـات وجامـعـات متـخـصـصـة في تـقـانـة الـنـانـو، وكلّفت مجمـوعـة مـن الخبراء المميزين لدراسة وبحث كل ما هو ممكن في هذا الميدان.

- في مجال الصـحـة سـوف يـكـون لدى الأطباء القدرة على السيطرة على بـعض الأورام الصـغيرة الـتـي كـان التأثير عليها في السابق غير ممكن.

- كما تجدر الإشارة إلى أن من بين الاستخدامات الأمنية الإستراتيجية لتقانة النانو نجد استخدام مكوناتها الصغرى هذه كأجهزة إرسال واستقبال يمكـن تمريـرهـا لأي شـخص بمجـرد مصـافـحـتـه لـتـعـلـق هذه المكونات الـنـانـويـةبـجسـمـه وتبدأ في إرسال معلومات عن حركات ذالك الشخص وسكناته !

المقال الأصلي:

Nanoworld : the keys for understanding

Fabrice Imperiali, staff Writers, CNRS

CNRS International Magazine, no. ,2 Spring 2006

PP.81-.32

عالم النانو: مفاتيح للفهم، إعداد: فبريس امبريالي، المركز الوطني للأبحاث العلمية، المجلة الدولية للمركز الوطني للأبحاث العلمية، عدد ,2 **خريف**,2006 **الصفحات** :18-.23

خلاصة (المترجم)

من مزايا العولمة أن نتائج الأبحاث وجديدها أصبحا في متناول الجادين في المكان والوقت المناسبين. بقي على أصحاب الشأن أن يضعوا السياسات المستقبلية السليمة ويوفروا المناخ المناسب لتمكين الجميع من متابعة ما يجري في هذا العالم الذي يتغير كل يوم بل كل ساعة.

هوامش ومراجع

(1) باحث ومدرس بالمدرسة العليا للأساتذة- القبة: mlarbi08@gmail.com

(2)Richard Feynman هو أبو تقانة النانو (المترجم)

(3) الجزيء مجموعة كهربائية محايدة تتكون من ذرتين على الأقل وهو أصغر جسيم من المادة الكيميائية النقية يحتفظ بتركيبها الكيميائي وخواصها.

(4) النانو متر = 10 -9 متر، أي واحد على بليون من المتر . أما الذرة الواحدة فطولها ما بين 0,1 و 0,4 نانومتر, علما بأن أول صورة أخذت للذرة كانت سنة 1953 بفضل مجهر أيوني.

(5) الذرة هي أصغر جزء من العنصر الكيميائي الذي يحتفظ بالخصائص الكيميائية لذلك العنصر.

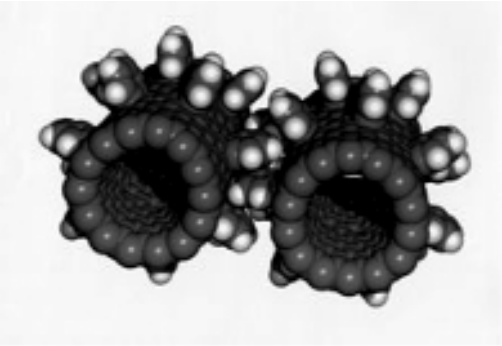
(6) CEMES : Centre d'Elaboration de Matériaux et d'Etudes Structurales. http://www.cemes.fr/

(7) في علم الأحياء : الجينوم هو أحد التخصصات الفرعية من علم الوراثة والذي يُعنى بدراسة كامل المعلومات الوراثية المشفرة في الكائن الحي ضمن "الدنا" و أحيانا ضمن "الرنا" في بعض الفيروسات. دراسة الجينوم تشمل كل الجينات - وتدعى أيضا بالمورثات - التي تنتج بروتين وتشمل أيضا المناطق التي كانت تسمى "الدنا غير المشفر" الذي لا ينتج بروتينات. تمت صياغة هذا المصطلح عام 1920 من قبل هانس وينكلر Hans Winkler أستاذ علم النبات في جامعة هامبورغ (ألمانيا)، كدمج للكلمات gene و chromosome.

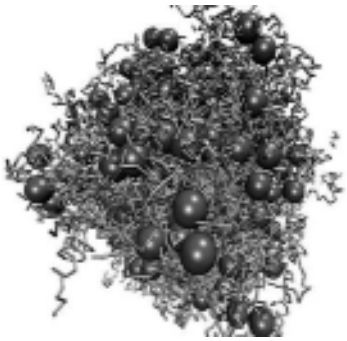
مسرد بالمصطلحات الواردة في النص

المصطلح بالإنجيلية	المقابل باللغة الفرنسية	المقابل باللغة العربية
Circuit	Circuit	دارة- دارات
DNA (Deoxyribonucleic acid)	A D N	الحمض النووي الريبي منقوص الأكسجين "دنا"
Genome	Génome	الشفرة الوراثية، الجينوم (7)
infinitesimally small	Infiniment petit	متناهي الصغر
Micro	Micro	صغري
Microscope	Microscope	مجهر
Modeling	Modélisation	نمذجة
Particle	Particule	جسيم
Process	Processus	سيرورة
Ribonucleic acid (RNA)	Acide ribonucléique (ARN)	الحمض الريبي النووي (رنا)
Technology	Technologie	تقانة

ملحق بمكونات نانوية

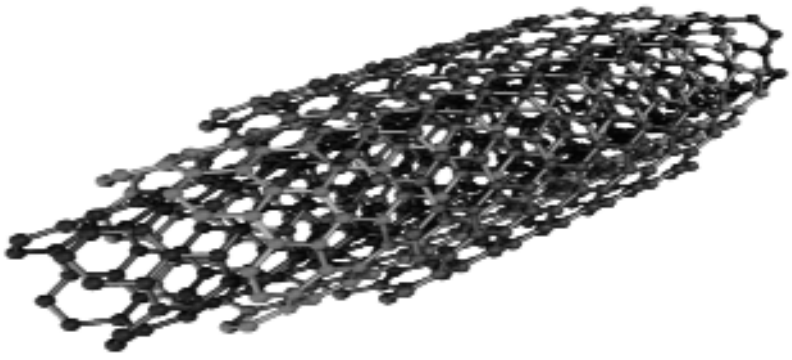


الشكل 1: منتج نانوي



الشكل 2:

الاستعانة بالنمذجة هي إحدى وسائل "ولوج" وفهم عالم النانو. هذا نموذج لخلطة من مادة البوليمار تدعمها أشياء نانوية.



الشكل 3: أنبوب كربوني نانوي ثلاثي الطبقات.