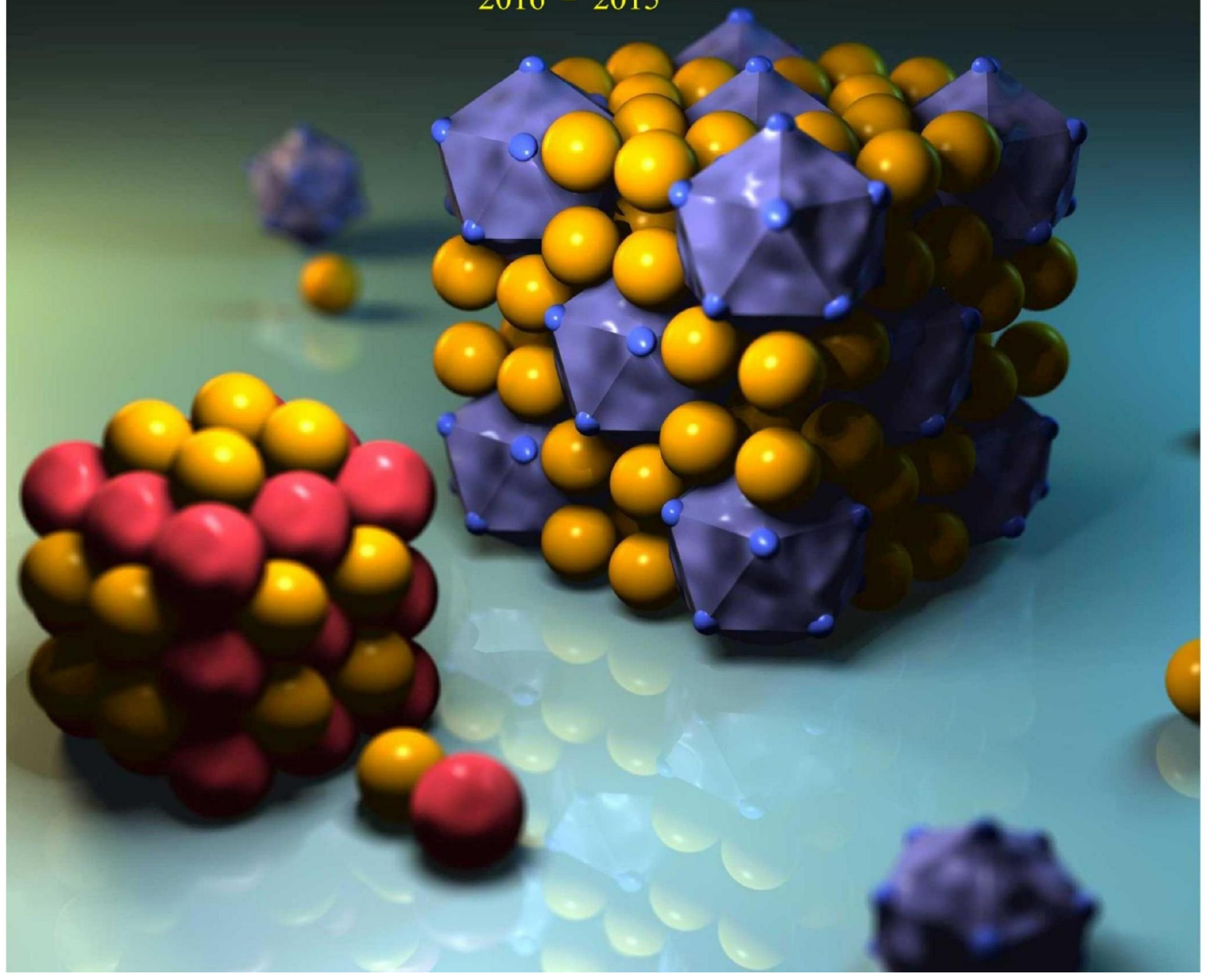
مفاهيم أساسية في تقنية النانو

Basic Concepts in Nanotechnology

فؤاد نمر الرفاعي

العراق – جامعة ذي قار – كلية العلوم

2016 - 2015



المقدمة

Introduction

أجمع الخبراء والباحثين على أن تقنية النانو أهم تطور حدث في النصف الأخير من القرن العشرين. حيث اخذت اهتمام كل الجامعات والمعاهد والمؤسسات العلمية. وأصبحت تقنية النانو في طليعة المجالات الأكثر أهمية وإثارة في الفيزياء، الكيمياء، الأحياء، الهندسة ومجالات عديدة اخرى. فقد أعطت أملاً كبيراً لثورات علمية في المستقبل القريب ستغير وجهة التقنية في العديد من التطبيقات.

ولإعطاء فركة واضحة عن هذه التقنية قدمنا بطريقة مبسطة المفاهيم والمبادئ الاساسية في تقنية النانو بأمل ان ندرك حقائقها الشيقة، مع الاشارة الى تاريخ هذه التقنية وكيف نشاءة، وبيان الفرق بين المصطلحات العلمية (علم النانو ، تقنية النانو ، مقياس النانو). بعد ذلك ذكرنا جسيمات النانو وطرق تحضيرها، واخيراً بيّنا دواعي واسباب الاهتمام الواسع والكبير بهذه التقنية والافاق المستقبلية لها.

مفاهيم أساسية في تقنية النانو

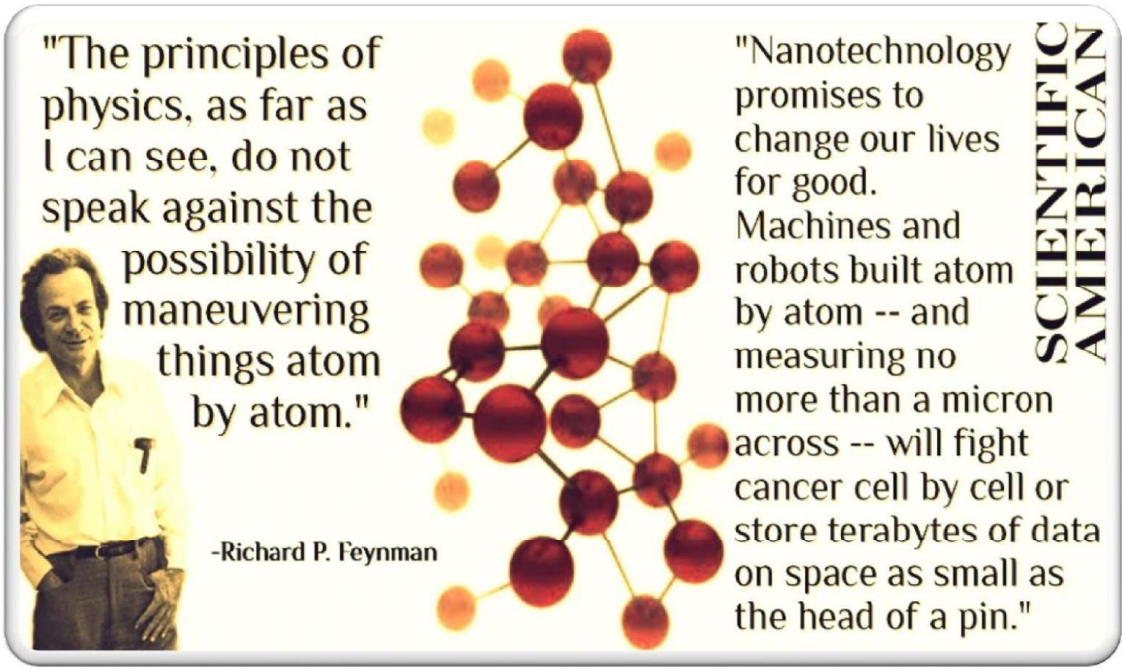
Basic Concepts in Nanotechnology

ان مصطلح علم وتقنية النانو "Nanoscience and Nanotechnology" لم يكن معروف أو مستخدماً في الجامعات والمعاهد والمراكز والأوساط العلمية منذ ثلاثة عقود مضت ، ولكن المبادئ والأفكار والمفاهيم التي كانت الاساس الفلسفي والنظري لعلم وتقنية النانو بدأت مع المحاضرة الشهيرة بعنوان: " There's Plenty of Room at the Bottom " (هناك متسع كبير في الاسفل) من قبل العالم الفيزيائي الشهير Richard Feynman في اجتماع الجمعية الفيزيائية الأمريكية في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا (CalTech) في 29 ديسمبر 1959 في محاضرته الاستشرافية لمستقبل التقنية البشرية وبالتحديد في مجال أمكانية التعامل والتحكم في الذرات والجزيئات بشكل منفرد ، والتي أشار فيها وبشكل فلسفي الى أمكانية الوصول الى أجهزة والآت دقيقة أطلق عليها Nano scale Machines التي من خلالها يمكن أن نكوّن المصانع الدقيقة (Nano Factories) والتي بدورها ستمكن العلماء من صناعة أجهزة والآت تصغر شيء فشيء مع تقدم هذه التقنية، وعندها نصل الى تلك المرحلة التي تمكننا من التحكم في الذرات والجزيئات بشكل منفرد.

ومما قاله ايضاً هذا العالم الكبير (الحائز على جائز نوبل عام 1965) بأن المادة عند مستويات النانو (قبل استخدام هذا المصطلح) بعدد قليل من الذرات تتصرف بشكل

مختلف عن حالتها عندما تكون بالحجم المحسوس ، كما اشار الى امكانية تطوير طريقة لتحريك الذرات والجزيئات بشكل مستقل والوصول الى الحجم المطلوب ، وعند هذه المستويات تتغير كثير من المفاهيم الفيزيائية ، فمثلا تصبح الجاذبية اقل اهمية وبالمقابل تزداد اهمية التوتر السطحي وقوة تجاذب فاندرفالز . وقد توقَّع ان يكون للبحوث العملية حول خصائص المادة عند مستويات النانو دور جذري في تغيير أنماط الحياة الانسانية.

والجدير بالذكر أن Richard Feynman لم يستخدم مصطلح تقنية النانو "Nanotechnology" لوصف هذه التقنية المستقبلية ولكن كان يصفها بتقنية التحكم المباشر في الذرات والجزيئات المنفردة ، حيث يقول في مجلة Scientific American ما مضمونه : (ان مبادئ الفيزياء ، حسب ما أرى ، لا تناقض فكرة التحكم في الأشياء ذرة بذرة) وان (تقنية النانو سوف تغير حياتنا جذرياً نحو الافضل . فآلات وروبوتات مبنية ذرة- بذرة ولا يتجاوز قطرها المايكرومتر الواحد ستقضي على السرطان خلية بخلية و تخزن آلاف بلايين البايتات من المعلومات في حيز لا يتجاوز حجمه رأس الدبوس).



الشكل (1) : مقطع من كلام العالم الفيزيائي Richard Feynman حول تقنية النانو عام 1959 في مجلة Scientific American .

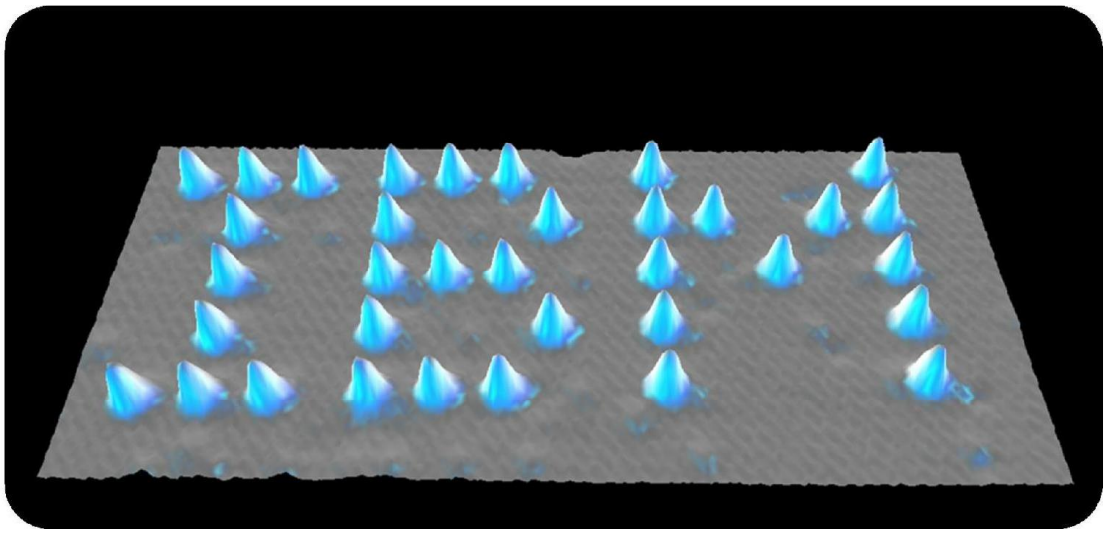
وفي عام 1974 ظهر مصطلح تقنية النانو في محاضرة للبروفسور الياباني Norio Taniguchi في جامعة طوكيو للعلوم وذلك كمصطلح مرادف لوصف الآلات الدقيقة والتي كانت بمقياس المايكرو Micro Machines، وقال في ورقته العلمية المنشورة في مؤتمر الجمعية اليابانية للهندسة الدقيقة (ان تقنية النانو ترتكز على عمليات فصل، اندماج ، واعادة تشكيل المواد بواسطة ذرة واحدة او جزيء) ، وفي نفس الفترة ظهرت مفاهيم علمية عديدة تتداولها الاوساط العلمية حول التحريك اليدوي لذرات بعض الفلزات عند مستوى النانو ، ومفهوم النقاط الكمية ، وامكانية وجود اوعية صغيرة جداً تستطيع تقييد الكترون واحد او اكثر.

ومع بداية عام 1981 تم اختراع جهاز الميكروسكوب النفقي الماسح (Scanning Tunneling Microscope) بواسطة العالمان Gerd Binnig و Heinrich Rohrer في شركة IBM ، وهو جهاز يقوم بتصوير الذرات والجزيئات والتراكيب ذات الابعاد النانوية بقدرة تحليلية عالية . وقد حصل العالمان على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1986 لاختراعهما هذا الميكروسكوب الذي ادى الى ازدياد واضح وكبير في البحوث النظرية والعملية المتعلقة بتحليل ودراسة وتصنيع التراكيب النانوية للعديد من المواد وفي مجالات عديدة.

وفي 1986 بدأ أول ظهور لمصطلح تقنية النانو في الأوساط العلمية بعدما نشر K. Eric Drexler كتابه الشهير " محركات التكوين : عصر تقنية النانو القادم " (Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology)، حيث أخذ بعد ذلك هذا المصطلح " Nanotechnology " مساحة اكبر ليشمل الى جانب التعامل الصناعي مع الذرات والجزيئات جميع أبعاد الإنتاج العلمي على الجانبين النظري والتطبيقي للمواد ذات الأبعاد النانوية "Nanomaterial's" والتي تتراوح أبعادها من 0.1 نانومتر (الأبعاد الذرية) الى 100 نانومتر (الذي يمثل المقياس النانوي Nanoscale).

وبعد ذلك بعدة سنوات (عام 1990) نجح العالم الفيزيائي D.M. Eigler في معامل IBM من تحريك الذرات باستخدام جهاز الميكروسكوب النفقي الماسح (STM) وذلك بكتابة الرسالة الذرية الاولى " I-B-M " المكونة من 35 ذرة Xe على سطح

المادة Ni(110) . هذه المعالجة فتحت مجالاً جديداً لإمكانية تجميع الذرات المفردة مع بعضها البعض وكذلك بناء تراكيب نانوية دقيقة باستخدام جهاز STM وادى ذلك الى ثورة علمية كبيرة في هذا التقنية.



الشكل (2) : المعالجة الذرية الناجحة الأولى بكتابة الرسالة الذرية "I-B-M" المكونة من 35 ذرة Xe على سطح المادة Ni(110) .

علم النانو وتقنية النانو ومقياس النانو

Nanoscience and Nanotechnology and Nanoscale

يمكن القول بان تعريف علم وتقنية النانو غير متفق عليه حتى الآن ، حيث تختلف التعاريف باختلاف التعامل مع هذه التقنية فعلماء كُثر عرّفوا علم وتقنية النانو حسب رؤيتهم أو حسب خلفيتهم العلمية فحصلت هناك تعاريف كثيرة ، ولتفادي الاختلاف في تعريف هذه التقنية أُنشئت في امريكا لجنة علمية لتضع تعريف موحد لعلم وتقنية النانو وهي لجنة National Nanotechnology Initiative (المبادرة الوطنية لتقنية النانو) وخرجت لنا بهذا التعريف:

Nanotechnology is science, engineering, and technology conducted at the nanoscale, which is about 1 to 100 nanometers.

Nanoscience and nanotechnology are the study and application of extremely small things and can be used across all the other science fields, such as chemistry, biology, physics, materials science, and engineering.

ومن خلال كل ما تقدم يمكننا القول بان :

- مقياس النانو: هو المقياس الذي تتراوح أبعاده من 1 نانومتر (او 0.1 نانومتر الأبعاد الذرية) الى 100 نانومتر .

- علم النانو: هو دراسة تركيب وخصائص الجسيمات والتراكيب التي ابعادها ضمن مدى المقياس النانوي .

- تقنية النانو: هو تطبيق مبادئ ومفاهيم العلوم وهندستها لإنتاج مواد وآلات مفيدة عند المقياس النانوي.

ونجد من المفيد ان نذكر بعض التعاريف الاخرى لتقنية النانو لإعطاء فكرة واضحة عنها ، ومنها :

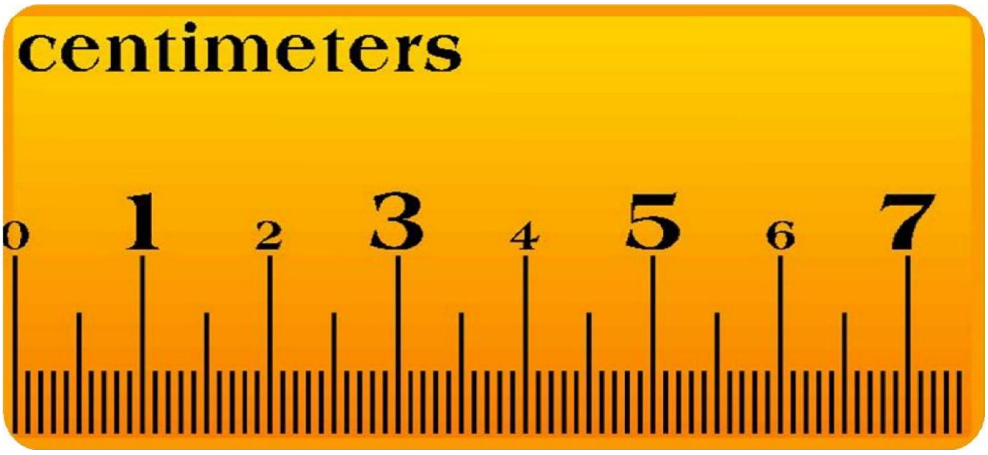
- تقنية النانو تشمل الأبحاث والتطورات التقنية في مجال أقل من 100 نانومتر.

- تقنية النانو تستخدم وتصنع التراكيب التي لديها خصائص فريدة نظراً لصغر حجمها .

- تقنية النانو تستند إلى القدرة على التحكم أو التلاعب في المادة على المستوى الذري.

وبشكل عام يمكن تعريف علم وتقنية النانو بأنه " العلم والهندسة والتقنية التي تعطينا القدرة على التحكم المباشر في الذرات والجزيئات والمواد والتراكيب والأجهزة التي أبعادها تقل عن 100 نانومتر وذلك بمراقبتها وقياس ودراسة خصائصها والقدرة على تصنيعها ، ويمكن ان تستخدم تطبيقاتها في كل المجالات العلمية ".

بعد هذه المقدمة التعريفية لعلم وتقنية النانو دعونا نتعرف الى طبيعة المدى الذي تتعامل معه هذه التقنية ، فمن المصطلح Nanotechnology نجد أن كلمة Nano هي الكلمة التي تحتاج الى تعريف أو تحتاج الى تقريب معناها الى الأذهان ، و لعل أفضل الطرق هي مقارنتها الى ما هو محسوس لدينا ، وفي البداية دعونا نعرفها بشكل علمي رقمي . ان كلمة Nano تعني البادئة التي تدخل على وحدة القياس لكمية معينة ، وتعني جزءاً من الف مليون جزء من تلك الوحدة القياسية. فمثلاً nanometre (تختصر الى nm) تعني المسافة التي يساوي طولها طول جزء واحد من مليار جزء من المتر وتكتب بالشكل ($1\text{m} = 10^{-9}\ \text{nm}$) . ولتقريب الصورة لنتذكر سوياً المسطرة المدرسية التي يبلغ طولها (30 cm) وننظر الى المسافة الأصغر فيها ، أي المسافة بين المليمترات (millimetres) في هذه المسطرة وتخيل معي أنك قمت بتقسيم هذه المسافة الصغيرة (1 mm، واحد ملم) الى مليون قسم عندها سيكون كل قسم من هذه الأقسام المليون يساوي 1 نانومتر حيث ($1\text{mm} = 10^{-6}\ \text{nm}$) .



الشكل (3) : مسطرة مدرسية طولها 7 cm .

ولمزيداً من التقريب فأن متوسط قطر شعرة رأس الأنسان يصل الى 70000 نانومتر، كما ان حجم خلية الدم الحمراء يصل الى 2000 نانومتر ، وكذلك فان نانومتر واحد يساوي عشر ذرات هيدروجين مرصوفة بجانب بعضها البعض طولياً (بمعنى ان قطر ذرة الهيدروجين يساوي 0.1 نانومتر)، مع العلم ان الشخص العادي يستطيع أن يرى بالعين المجردة إلى حد 10 ماكروميتر أي ما يساوي 10 آلاف نانوميتر ، ولك أن تتخيل أن مصطلح " تقنية النانو" لا يطلق ألا على التقنية التي تتعامل مع الجسميات التي تكون أبعادها ضمن مدى المقياس النانوي "Nanoscale". لذلك تسمى هذه التقنية بعض الاحيان التقنية متناهية الصغر.

الشكل (4) : بعض الامثلة على الاشياء في المقياس النانوي (Nanoscale) .

جسيمات النانو *Nanoparticles*

يمكن تعريف جسيمات النانو "Nanoparticles" بأنها التراكيب التي تكون أحد أبعادها على الأقل ضمن مدى مقياس النانو (أقل من 100 نانوميتر) ، من العلم بانه لم يتم الاتفاق رسمياً على تعريف محدد لها حتى الآن ، ولكن التعريف اعلاه هو أكثر التعاريف قبولاً في الأوساط العلمية ، والجدير بالذكر أن هناك الكثير من جسيمات النانو (الطبيعية والصناعية) استحوذت على اهتمام الباحثين والمتخصصين في المجالات العلمية المختلفة.

وجسيمات النانو تأتي في أشكال متعددة ، منها:

1. النقاط الكمية Quantum dots .
2. الفلورين Fullerene .
3. الكرات النانوية Nanoballs .
4. انابيب الكاربون النانوية Carbon Nanotubes .
5. الالياف النانوية Nanofibres .
6. الاسلاك النانوية Nanowires .
7. القشرة النانوية Nanoshells .

ومن الجدير بالذكر أن جسيمات النانو يمكن ان تكون جسيمات طبيعية موجودة أصلاً في الطبيعة مثل جسيمات النانو الطينية nanoclay والياف السليلوس النانوية cellules nanofibers وكذلك جسيمات السليكون ومركباته مثل

nanosilicon carbide . وفي أغلب الحالات يتم معالجة هذه الجسيمات لتصبح ملائمة للاختبارات العملية والتطبيقات الصناعية.

كما يمكن الحصول على جسيمات النانو صناعياً ومن أمثلتها جسيمات النانو من الذهب nanogold والفضة nanosilver وأنابيب الكربون النانوية carbon nanotube ، والنقاط الكمية quantum dot وغيرها . وهذه الجسيمات الصناعية يمكن أن تُحضر بطريقتين هما:

اولاً : طريقة التصغير (Top-down):

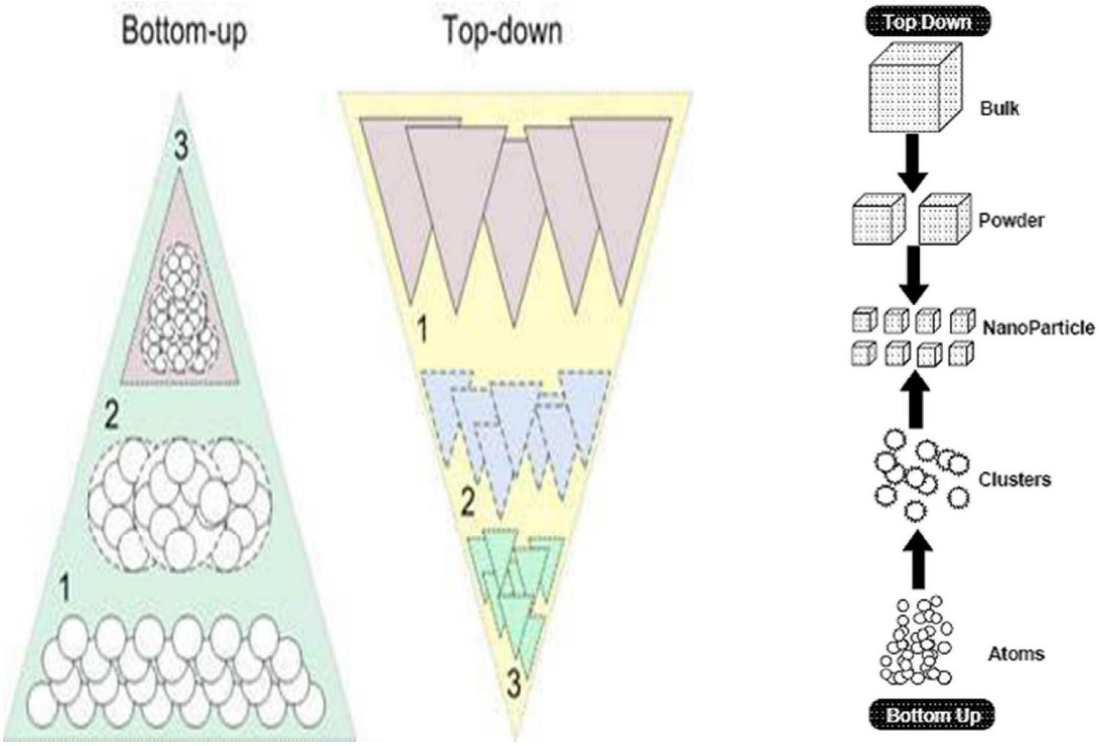
وهي الطريقة التقليدية للحصول على مواد أدق من المواد الكبيرة حيث يتم تكسير المادة الأصلية (الكبيرة) شيئاً فشيئاً حتى الوصول إلى الحجم النانوي . وتستخدم عدة طرق لذلك منها الحفر الضوئي ، القطع ، الكحت والطحن . وفي حالة الحصول على مواد النانو فأن الكثير من الطاقة والوقت يبذلان للحصول عليها ، وعليه فإن الباحثين يسعون لتطوير أجهزتهم وأدواتهم لرفع كفاءة هذه الطرق والتي ستسهل الحصول على جسيمات النانو.

ثانياً : طريقة البناء (Bottom-up):

وهذه هي الطريقة الحديثة التي ستقدمها لنا تقنية النانو والتي عن طريقها يمكن للعلماء بناء مواد النانو ذرة- ذرة أو جزيء- جزيء ، وتعتبر هذه الطريقة هي ثورة تقنية النانو حيث يمكن استخدام الذرات والجزيئات لبناء جسيمات أكبر مع امكانية

التحكم في شكلها وخواصها عن طريق ميكروسكوبيات تقنية النانو مثل جهاز STM و AFM .

وكل هذه الجسيمات قد وجدت طريقها في التطبيقات العلمية والصناعية وفي كافة المجالات ، ومازال العلماء يدرسون خواصها ويبحثون عن تطبيقات أخرى لها للحصول على أكبر فائدة ممكنة من هذه الجسيمات باستخدام هذه التقنية الحديثة " Nanotechnology " .



الشكل (5) : مخططات توضيحية لطرق تحضير الجسيمات النانوية .

اهمية تقنية النانو *The Importance of Nanotechnology*

السؤال المهم هنا ، هو : ما الشيء المميز في هذه التقنية ولماذا كل هذا الاهتمام الكبير والترقب العجيب لوصولها ؟

إن الاهتمام الكبير بجسيمات النانو في السنوات الاخيرة كان نتيجة لخواصها المميزة والمبهرة . فعندما تصغر المادة وتكون ابعادها ضمن المقياس النانوي (أقل من 100 نانومتر، إي تكون جسيم نانو) فإنها تظهر خواصاً فيزيائية وكيميائية جديدة ، حيث تكون خواصها تختلف وبشكل كبير جداً عن خواصها المعروفة أذا كانت في حجمها الطبيعي الكبير (bulk) لنفس المادة ، وهذه الخاصية جعلت من جسيمات النانو " معجزة علمية جديدة ".

ويمكن توضيح أسباب هذا التغير الكبير في الخواص والمميزات الفيزيائية والكيمائية لجسيمات النانو الى سببين رئيسيين هما:

أولاً: زيادة المساحة السطحية

وحسب القانون الكيميائي الشهير والذي يفيد بأن زيادة سطح المادة يؤدي الى زيادة تفاعل المادة إي أن المادة تصبح ذات نشاط كيميائي عالي كلما زادت مساحة سطحها المتفاعل. حيث ان زيادة المساحة السطحية تعني زيادة عدد الذرات المتواجدة على السطح ومن المعلوم أن ذرات سطح إي مادة هي المسئولة عن عملية التفاعل

الكيميائي مع الذرات الأخرى لأنها تملك الكترونات غير مقيدة بينما الذرات في داخل المادة تكون أكثر تقيداً وبالتالي لا تشارك في عملية التفاعل الكيميائي.

وعليه فأنه عندما تصغر المادة فإن مساحة سطحها تزداد مما يعني زيادة نسبة الذرات المتواجدة على سطح المادة والتي تكون ذات حالات طاقة عالية مما يساعد في زيادة تفاعل هذه الذرات مع ذرات المواد المجاورة لها .

ثانياً: تأثير فيزياء الكم

نظرا للأبعاد الصغيرة لجسيمات النانو والتي تقترب من الأبعاد الذرية (عشرات الذرات) فإن فيزياء الكم لها تأثير كبير على خواص هذه الجسيمات . ولتوضيح هذه الفكرة فلنتذكر قوانين نيوتن في الميكانيك الكلاسيكي والتي نألفها في عالمنا الكبير وبالخصوص قوة الجاذبية الأرضية التي تأثر علينا وعلى العالم من حولنا ، سنجد أنها غير مهمة وغير مؤثرة على جسيمات النانو ، مما يجعل هذه الجسيمات تمتلك خصائص غير مألوفة لقوانين الفيزياء الكلاسيكية نظراً لتأثير فيزياء الكم عليها .

ويمكن توضيح ما سبق بمبدأ اللادقة (Uncertainty principle) والذي ينص على (أن المكان والزخم (الطاقة) لجسيم ما لا يمكن تعيينهما بدقة في نفس الوقت). فعندما تصغر المادة وتصبح ابعادها في مقياس النانو (بعبارة أخرى لتصبح جسيم نانو) فإن الفراغ الذي يتحرك فيه الإلكترون داخل هذا الجسيم يصغر أيضا مما ينتج عنه زيادة في طاقة الإلكترون (مستويات طاقة جديدة) وذلك لتعويض هذه المحدودية في المكان مما يؤدي بالطبع لتغيرات كبيرة في خواص هذا الجسيم.

مما تقدم يتضح بان الشيء الفريد في مقياس النانو "Nanoscale" هو ان جسيمات النانو "Nanoparticles" تُبدي مفاهيم فيزيائية وكيميائية جديدة تؤدي إلى سلوك جديد تكون فيه معظم الخصائص الأساسية للمواد والآلات تعتمد على حجم هذه الجسيمات (size dependant) . وقد لوحظ كمثال لذلك أن كلاً من الخصائص الكهربائية والمغناطيسية والبصرية والحرارية والميكانيكية للمادة تتغير كلها عندما تصبح ابعادها ضمن المقياس النانوي. فنجد تغير واضح في التركيب الإلكتروني ، التوصيلية ، التفاعلية (reactivity) ، درجة الانصهار . والمخطط التالي يلخص ما تقدم اعلاه :

وحتى نقترب من الفكرة اكثر سنأخذ مثالاً على ذلك وهو الذهب (Gold) ، فمن المعروف أن معدن الذهب مستقر كيميائياً وعليه فهو لا يتفاعل مباشرة مع المواد ولهذا بقي الذهب موجوداً في صيغته الطبيعية في صخور الأرض منذ نشأتها الى يومنا هذا ، و لكن عندما نحصل على جسيمات نانو من الذهب (Nanogold particles) فأنه ومع تصغير هذه الجسيمات الى حجم أصغر وأصغر، أي عندما تتغير أبعاد هذه الجسيمات من 100 نانومتر الى أبعاد أصغر مثل 80 نانومتر، 60 نانومتر ، 40 نانومتر وهكذا... فإن لون الذهب المعروف لدينا يتغير الى الوان أخرى تختلف حسب اختلاف أبعاد هذه الجسيمات. كما أن جسيمات

النانو الذهبية تتفاعل مع الأشعة تحت الحمراء وتحولها الى حرارة ، مع ملاحظة أن الذهب في حالته العادية (bulk) لا يتفاعل مع الإشعاع الكهرومغناطيسي.

الشكل (6) : تغير لون جسيمات الذهب النانوية بسبب تغير أبعادها .

ومن كل ما سبق يمكن القول أن تقنية النانو قد كسبت كل هذا الاهتمام بسبب اعتماد خواص وسلوك جسيمات النانو على حجمها وبالتالي يمكننا التحكم بهندسة خواصها، وبناءً عليه فقد استنتج الباحثون أن لهذا المفهوم آثاراً تقنية عظيمة تضم مجالات تقنية واسعة ومتنوعة تتمثل في توظيف هذه الجسيمات في أجهزة وأدوات ذات أبعاد نانوية بقدرات تقنية عالية جداً تقدم الحلول الناجحة لكثير من المشكلات الصحية والغذائية والصناعية والتقنية والبيئية التي تواجها البشرية اليوم.

ويجدر الإشارة هنا إلى أن ثورة تقنية النانو تدين في تقدمها الى التطور الكبير الذي حدث في أجهزة ميكروسكوبيات المجسات الماسحة Scanning Probe Microscopes (SPM) ، واهما :

- الميكروسكوب النفقي الماسح

Scanning Tunnelling Microscopy (STM)

- ميكروسكوب القوة الذرية

Atomic Force Microscopy (AFM)

وكذلك التطور الحاصل في تقنيات الميكروسكوبيات الإلكترونية Electronic Microscopes (EM) ، ومنها:

- الميكروسكوب الإلكتروني الماسح

Scanning Electron Microscopy (SEM)

- الميكروسكوب الالكتروني النافذ

Transmission Electron Microscopy (TEM)

والتي أدت الى أمكانية تصوير خواص جسيمات النانو بدقة تمييز (Resolution) تصل الى المستوى الذري (Atomic-Level Resolution) وكذلك دراسة خصائص سطوح المواد وتصويرها. وفتحت مجالاً جديداً وهو إمكانية دراسة الذرات وتحديد مواضعها وتحريكها الى المواقع التي يريدها الباحث ، وبفضل هذه الأجهزة تقدمت الأبحاث المتعلقة بتقنية النانو على الجانبين النظري والعملي وفي جميع المجالات العلمية والتقنية.

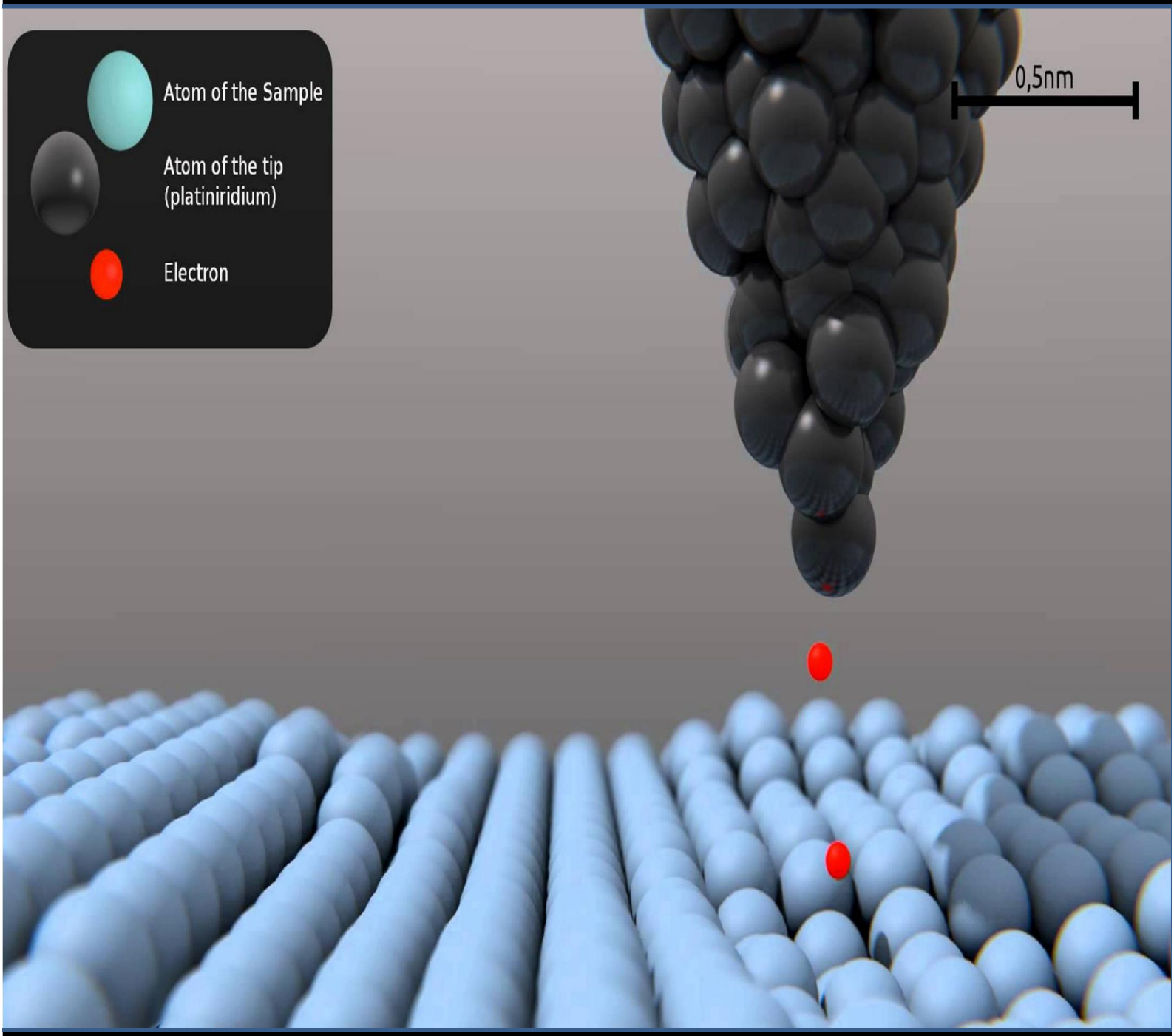
وسنتناول في الكتاب الثاني ان شاء الله تعالى الجهاز الاول في تقنية النانو وهو الميكروسكوب النفقي الماسح (STM).

وآخر دعوانا ان الحمد لله رب العالمين.

ترقبوا كتبانا:

جهاز STM

أداة التعامل مع العالم النانوي



فؤاد نمر الرفاعي

العراق – جامعة ذي قار – كلية العلوم