المملكة العربية السعودية
وزارة التعليم العالي
جامعة الملك سعود

# مقدمة في
# تقنية النانو
# Introduction To Nanotechnology

أعـــداد
د. محمد بن صالح الصالحي - د. عبد الله بن صالح الضويان
قسم الفيزياء والفلك - كلية العلوم - جامعة الملك سعود

إصدار بمناسبة انعقاد ورشة عمل
أبحاث النانو في الجامعات:
الطريق نحو تحقيق رؤية خادم الحرمين الشريفين
لعام ١٤٢٨هـ ٢٠٠٧م

# مقدمة في

# تقنية النـــانو

# Introduction To Nanotechnology

أعـــداد

د. محمد بن صالح الصالحي - د. عبد الله بن صالح الضويان

قسم الفيزياء والفلك - كلية العلوم - جامعة الملك سعود

**خادم الحرمين الشريفين**

الملك عبدالله بن عبدالعزيز آل سعود

**صاحب السمو الملكي**

الأمير سلطان بن عبدالعزيز آل سعود

**ولي العهد نائب رئيس مجلس الوزراء**

**وزير الدفاع والطيران والمفتش العام**

# مقدمة في
# تقنية النـــانو

# Introduction To
# Nanotechnology

**إصدار بمناسبة انعقاد ورشة عمل**
**أبحاث النانو في الجامعات:**
**الطريق نحو تحقيق رؤية خادم الحرمين الشريفين**

تحتل تقنية النانو اليوم صدارة الاهتمامات العلمية والبحثية في مراكز البحث والجامعات في انحاء العالم حيث لايكاد يمر يوم الا ونسمع عن اختراع او حدث مهم في تقنية النانو. ان تقنية النانو لها من الامكانات الهائلة مايجعلها قادرة على المساهمة بإحداث تقدم مذهل في رفاهية الحياة البشرية وتغيير وجهة عالمنا القادم تغييرا كليا نحو الافضل وذلك اذا استخدمت بشكل سليم.

من المتوقع في السنوات القامة ان تظهر تطبيقات عديدة لتقنية النانو تشمل المجالات الطبية والصناعية وتقنية الكمبيوتر وجميع مناحي الحياة الاخرى.

لقد حاولنا في هذا الكتاب تقديم معلومات سهلة ومبسطة عن مفهوم تقنية النانو وتطبيقاتها الحالية والمستقبلية لكي تجعل القارئ العربي المتخصص وغير المتخصص على اتصال مباشر بهذه التقنية ومتابعة تطورها والاستفادة منها. كما يمكن لمن اراد الاستزادة والبحث في تفاصيل هذه التقنية الرجوع الى الكتب الحديثة التي تم تأليفها بواسطة متخصصين في هذا المجال او الى مواقع الانترنت الكثيرة جدا المخصصة لهذه التقنية.

# المحتويات


كلمة الدكتور. خالد بن محمد العنقري وزير التعليم العالي.....(١١)

كلمة الدكتور. عبدالله بن عبدالرحمن العثمان مدير الجامعة .....(١٣)

كلمة الدكتور على بن سعيد بن عبدالله الغامدي وكيل الجامعة لشؤون الفروع والمشرف على برنامج النانو .....(١٥)

تقديم .....(١٦)

مقدمة.....(١٨)

تاريخ تقنية النانو .....(٢٠)

عالم النانو.....(٢٤)

اشكال المواد النانوية.....(٢٥)

النقاط الكمية والفولورين.....(٢٦)

الكرات النانوية.....(٢٧)

الجسميات النانوية.....(٢٨)

الأنابيب النانوية.....(٣١)

الألياف النانوية.....(٣٣)

الأسلاك النانوية.....(٣٤)

المركبات النانوية.....(٣٥)

تطبيقات تقنية النانو-الطبية.....(٣٦)

الاتصلات والكمبيوتر.....(٣٨)

تطبيقات عامة لتقنية النانو.....(٣٩)

الاخطار المحتملة في التعامل مع تقنية النانو.....(٤٢)

# كلمة معالي الوزير

بسم الله والحمد لله والصلاة والسلام على سيدنا محمد وعلى آله وصحبه وبعد: فيطيب لي أن أفتتح ورشة العمل التي بعنوان "أبحاث النانو في الجامعات: الطريق نحو تحقيق رؤية خادم الحرمين الشريفين". فإن المتابع لاتجاهات العلم والتكنولوجيا الحديثة في الدول المتقدمة ، يلاحظ اهتماما وتنافسا وسباقا محموما وتمويلا هائلا في مجال علم تقنية النانو (التقنيات المتناهية الصغر) ، ذلك لأن من سيحظى بتقنيات النانو سيتحكم في الاقتصاد العالمي في القرن الحادي والعشرين. وقد جاءت «مبادرة النانو» الوطنية، كخطوة عربية واعية ومهمة للاهتمام بهذا العلم الحديث والواعد، متمثلة في تبرع خادم الحرمين الشريفين الملك عبد الله بن عبد العزيز حفظه الله من «حسابه الشخصي» بمبلغ 12 مليون ريال (3.2 مليون دولار)، لدعم تقنيات النانو، وكذلك في إنشاء برنامج النانو بجامعة الملك سعود، ليؤكد ذلك على حرص المملكة على مواكبة المستجدات العالمية في كافة العلوم والمعارف الحديثة ، وأهمية استثمار تقنيات النانو لخدمة وتلبية احتياجات ومتطلبات التنمية الحالية والمستقبلية في المملكة العربية السعودية في مختلف المجالات.

د. خالد بن محمد العنقري

وزير التعليم العالي

# كلمة معالي المدير

بسم الله والحمد لله والصلاة والسلام على سيدنا محمد وعلى آله وصحبه وبعد:
فأن ما يميز جامعة الملك سعود خلال مسيرتها المشرقة هو مواكبتها لما يستجد في التقنية والعلوم الحديثة ولاشك في أن تنوع التخصصات من طبية وهندسية وعلوم حيوية وتقنية معلومات تجعل من تقنية النانو أهمية قصوى للبحث العلمي في الجامعة إذ أن هذه التقنية التي تعتبر ثورة علمية في العصر الراهن. كما أن الدعم المالي السخي من خادم الحرمين الشريفين أيده الله يأتي في وقت مناسب إذ أن الجامعة لديها استراتيجية لتعزيز البحوث في مجالات تقنية النانو المختلفة و من هذا المنطلق تم تنظيم ورشة العمل في رحاب جامعة الملك سعود بعنوان "أبحاث النانو في الجامعات: الطريق نحو تحقيق رؤية خادم الحرمين الشريفين". و التي تظم مجموعة من العلماء المتميزين في هذا المجال و التي سوف يكون لها الاثر الايجابي في مسيرة تطور الجامعة إن شاء الله. إن تأثير تقنية النانو في حال تنفيذ استراتيجية الجامعة كما هو مرسوم لها سينعكس إيجابا بمشيئة الله على الجوانب الاكاديمية والجوانب البحثية معا فالى جانب انعكاساتها على تطوير مخرجات البحث العلمي في الجامعة فأنها ستكون نواة لتوسيع برنامج براءات الاختراع الذي بدأته الجامعة خصوصا أن الجامعة حظيت بأكثر المكرمين بوسام الملك عبدالعزيز للحاصلين على براءات مسجلة عالميا، وبالتالي فإن تطبيق هذه التقنية والدعم في هذا الاتجاه سوف يعمل على توسيع دائرة الاختراع والابتكار في مجالاتها التطبيقية المختلفة وهو أمر سيوثق الشراكة مع القطاع الخاص، حيث إن ذلك أحد أهداف البحث العلمي في الجامعة وبطبيعة الحال فإن التقدم البحثي التطبيقي في مجالات تقنية النانو سيعزز من البرامج الاكاديمية في تلك المجالات خصوصا على مستوى الدراسات العليا من حيث تطوير المقررات الدراسية والاطروحات العلمية لها.

د. عبدالله بن عبدالرحمن العثمان

مدير الجامعة

# كلمة سعادة الوكيل

بسم الله والحمد لله والصلاة والسلام على سيدنا محمد وعلى آله وصحبه وبعد: فأن تنظيم ورشة العمل في رحاب جامعة الملك سعود بعنوان "أبحاث النانو في الجامعات: الطريق نحو تحقيق رؤية خادم الحرمين الشريفين" يهدف لان تكون جامعة الملك سعود رائدة في تطبيقات هذه التقنية و يدعم نجاح هذا التوجه أسباب عدة من أبرزها وجود التخصصات العلمية الدقيقة في العلوم والطب والهندسة والحاسب وعراقة الجامعة البحثية من خلال ثمانية عشر مركزا بحثيا تنتشر بين كلياتها ومعهد الملك عبدالله للبحوث والدراسات الاستشارية وبرامج الدراسات العليا والبنية التحتية المخبرية والمشروع المستقبلي الواعد لواحة جامعة الملك سعود العلمية (كسب) الذي شرفت جامعة الملك سعود بوضع الملك عبدالله بن عبدالعزيز حفظه الله حجر أساسه ، إضافة الى أن تأسيس عدة كراسي أبحاث في مجالات مختلفة و مراكز تميز متخصصة ، في ضوء ذلك فإن الجامعة لديها الاساس لبوادر النجاح لتطبيق تقنية النانو فيها. لهذا فإن تبرع خادم الحرمين الشريفين وفقه الله في المرحلة الحالية من استراتيجية الجامعة يجيء في وقت حاسم بالنسبة للجامعة للدفع بمسيرة أبحاث تقنية النانو لاستكمال البنية التحتية في هذا المجال والمضي في تمويل البحوث المتخصصة. وقد كان لدعم معالي وزير التعليم العالي وتشجيع معالي مدير الجامعة ودعمه الاثر الكبير في نجاح الخطط المرسومة و التي تأمل ان تصل الى اهدافها المستقبلية إن شاء الله.

د. علي بن سعيد بن عبدالله الغامدي

سعادة وكيل الجامعة لشؤون الفروع

و المشرف على برنامج النانو

# تقديم

**بروفيسور/ منير حسن نايفه**
جامعة الينوي – الولايات المتحدة الامريكية
شركة نانوساي ادفانسد تكنولوجيس
رمضان 1428 هـ / سبتمبر 2007


نعيش هذا العصر ثورة مستديمة في العلوم والتقنية تمخضت عنها تقنية النانو التي قدِّر لها ان تسود أسس الصناعة في القرن الواحد والعشرين. وهي تستفيد من مجموعة من اكثر التقنيات تقدما كي تنقش او تكتب مظاهر متناهية الصغر لا تتجاوز حجم الذرات كثيرا أو تقسم المواد الى حبيبات صغيرة جدا لا تتجاوز حجم الحبيبة منها مجموعة من الذرات. ومن اهم الاكتشافات في هذه التقنية انه عند النقش او التقسيم المتناهي فان الحبيبات الناتجة تكتسب خواصا جديدة لا توجد في المادة الام مثل الخصائص الضوئية، الكيميائية، الالكترونية، والحيوية( عند طلائها بالمواد الحيوية) مما جعل هذه التقنية تجذب الانظار نحوها. وعند جمع او ترتيب هذه الحبيبات في منظومات او هياكل او اجهزة، أي استخدامها كلَبنات نانوية في البناء، فان مايتم بناؤه من اجسام ذات احجام بمستوى نانو واحد ( 1 من البليون من المتر ) الى عدة مئات من النانو سوف تكتسب خصائص جديدة واكثر من ذلك، ويصبح بالامكان تصنيع او خلق اجهزة اصغر واسرع واقل كلفة واحتياجا للطاقة من أي شيء آخر حولنا الآن، وبنفس الوقت تكسب وظائف جديدة تفتح آفاقا وتطبيقات مهمة. وعند هذه النقطة يمتزج العلم بالتقنية حيث يتحول العلماء الى مهندسين يصممون اسلاكا ومعدات على مستوى الذرات وفي مثل هذا الوضع تتداخل حقول الفيزياء والكيمياء والاحياء والكهرباء والالكترونيات والميكانيك بقوة مع بعضها البعض مما يعد بالكثير من المفاجئات الجديدة.

والمثير في هذا الامر ان هذه التقنية الواعدة لاتحتاج في جميع الاحوال الى المعدات المتقدمة المعقدة وذات الكلفة الباهضة لإنجاز النقش او التقسيم، ولكنها قد تعتمد فقط على قدر من التطوير والتجديد بحيث يمكن تخطي الكلفة العالية وعدم تواجد التقنيات المساندة باهظة الكلفة. وهذا

مما يجعل بعض جوانب هذه التقنية في متناول الدول النامية وخصوصا من يتمتع منها بوفرة من الثروات الطبيعية والمادية والبشرية والخطط التنموية الرشيدة مما يؤهلها للاستفادة منها واللحاق بركب تطويرها وقيادتها وامتلاك حقوق الاختراع والتطوير.

ان تقنية النانو هي التقنية المفتاح للقرن الواحد والعشرين والتي تعد بتطويرات جديدة في الالكترونيات والاتصالات والتقنية الحيوية وفي علوم الطب والمياه والبحث البيئي كما يُتوقع لها ان تلعب دورا اساسيا في الحياة الاجتماعية المستقبلية. ان الحكومات حول العالم تتسابق بالدعم والتشجيع بسخاء للبحث والتطوير في هذه التقنية كي يكون لها نصيب في قيادتها. وان دخول المملكة العربية السعودية في هذا السباق، وان كان متأخرا بعض الشيء، الا انه جاء بقوة ودعم على العديد من المستويات الرسمية في الحكومة وجهاز التربية والتعليم والجامعات وبعض جوانب القطاع الخاص مما يجعله خطوة مهمة وجبارة وواعدة للاستفادة المثلى من هذه التقنية.

يُقدم الكاتبان، اللَّذان لهما خبرة وابحاث تعاونية معنا في الحبيبات السليكونية، في هذا الملخص شرحا مبسطا للأسس العلمية لتقنية النانو والتعريف بدلالتها وتغطية بعض الجوانب التاريخية لنشأتها وتطورها. ثم يقدم الكاتبان نماذج من الاجسام النانوية ذات الاشكال المختلفة منها الكروية والانبوبية والابرية من مواد متنوعة مثل الكربون والسليكون والفلزات واكاسيد الفلزات . يُتبع الكاتبان بعد ذلك عرضا موجزا لاهم التطبيقات المرتقبة في مجالات الطب والاتصالات والكمبيوتر بالاضافة لسلَّة من التطبيقات العامة السلمية والعسكرية في الغذاء والدواء وتنقية الهواء والماء وشاشات العرض وفي صناعة السيارات والمزيد من ذلك. ينتهي الملخص بنبذة عن المخاطر المتوقعة عند التعامل مع المواد النانوية.

# مقدمة

أصبحت تقنية النانو في طليعة المجالات الأكثر أهمية وإثارة في الفيزياء، الكيمياء، الأحياء والهندسة ومجالات عديدة اخرى. فقد أعطت أملاً كبيراً لثورات علمية في المستقبل القريب ستغير وجهة التقنية في العديد من التطبيقات. لذا فمن المهم إعطاء فكرة عامة و موجزة لغير المختصين عن هذه التقنية. ويعود الإهتمام الواسع بتقنية النانو إلى الفترة مابين 1996 إلى 1998م عندما قام مركز تقييم التقنية العالمي الامريكي ( WTEC ) بدراسة تقويمية لأبحاث النانو وأهميتها في الإبداع التقني، و خلصت الدراسة إلى نقاط من أهمها أن لتقنية النانو مستقبلاً عظيماً في جميع المجالات الطبية والعسكرية والمعلوماتية والالكترونية والحاسوبية والبتر وكيميائية والزراعية والحيوية وغيرها. وأن تقنية النانو متعددة الخلفيات فهي تعتمد على مبادئ الفيزياء والكيمياء والهندسة الكهربية والكيميائية وغيرها إضافةً لتخصص الأحياء والصيدلة. ولذا فإن الباحثين في مجال ما لابد أن يتواصلوا مع الآخرين في مجالات أخرى من أجل الحصول على خلفية عريضة عن تقنية النانو و مشاركة فعالة في هذا المجال المثير. كما أن المدراء الفنيين وداعمي هذه الأبحاث لابد من أن يُلمّوا بإيجاز عن عموم هذه المجالات.

يعتمد مفهوم تقنية النانو على اعتبار أن الجسيمات التي يقل حجمها عن مائة نانومتر (النانومتر جزء من الف مليون من المتر) تُعطي للمادة التي تدخل في تركيبها خصائص وسلوكيات جديدة. وهذا بسبب أن هذه الجسيمات (والتي هي أصغر من الأطوال المميِّزة المصاحبة لبعض الظواهر) تُبدي مفاهيم فيزيائية وكيميائية جديدة مما يقود إلى سلوك جديد يعتمد على حجم الجسيمات. فقد لوحظ ،كمثال لذلك، أن التركيب الإلكتروني، التوصيلية، التفاعلية، درجة الانصهار والخصائص الميكانيكية للمادة تتغير كلها عندما يقل حجم الجسيمات عن قيمة حرجة من الحجم. حيث كلما اقترب حجم المادة من الأبعاد الذرية كلما خضعت المادة لقوانين ميكانيكا الكم بدلاً من قوانين الفيزياء التقليدية. إن اعتماد سلوك المادة على حجمها يمكننا من التحكم بهندسة خواصها، وبناءً عليه فقد استنتج الباحثون أن لهذا المفهوم آثاراً تقنية عظيمة تشمل مجالات تقنية واسعة ومتنوعة تشمل إنتاج مواد خفيفة وقوية ، إختزال زمن توصيل الدواء النانوي إلى الجهاز الدوري البشري، زيادة حجم استيعاب الأشرطة المغناطيسية وصناعة مفاتيح حاسوب سريعة... الخ.. وبشكل عام فإن تقنية النانو هي تلك التي تتعامل مع تراكيب متعددة من المواد ذات أبعاد من رتبة النانومتر.

وعلى الرغم من أن تقنية النانو حديثة نسبياً ، فإن وجود أجهزة تعمل بهذا المفهوم وتراكيب ذات أبعاد نانوية ليس بالأمر الجديد، والواقع أن وجودها يعود إلى عمر الأرض وبدء الحياة فيها. حيث من المعروف ان الأنظمة البيولوجية في الجسم الحي تقوم بتصنيع بعض الاجهزة الصغيرة جدا والتي تصل الى حدود مقياس النانو. فالخلايا الحية تعد مثالا مهما لتقنية النانو الطبيعية، حيث تُعد الخلية مستودعا لعدد كبير من الآلات البيولوجية بحجم النانو ويتم تصنيع البروتينات داخلها على شكل خطوط مجتمعة بحجم النانو تسمى ليبوزومات ثم يتم تشكيلها بواسطة جهاز نانوي آخر يسمى جولجي. بل ان الانزيمات هي بنفسها تعد آلة نانوية تقوم بفصل الجزيئات او جمعها حسب حاجة الخليه. وبالتالي

فيمكن للآلات النانوية المصنعة ان تتفاعل معها وتؤدي الهدف المنشود مثل تحليل محتويات الخلية ، ايصال الدواء اليها او ابادتها عندما تصبح مؤذية.

كما انه ليس من المعروف بداية استخدام الإنسان للمادة ذات الحجم النانوي، لكن من المعلوم أن أحد المقتنيات الزجاجية وهو كأس الملك الروماني لايكورجوس (Lycurgus) في القرن الرابع الميلادي الموجودة في المتحف البريطاني يحتوي على جسيمات ذهب وفضة نانوية، حيث يتغير لون الكأس من الأخضر إلى الأحمر الغامق عندما يوضع فيه مصدر ضوئي. وكذلك تعتمد تقنية التصوير الفوتوغرافي منذ القرنين الثامن عشر والتاسع عشر الميلاديين على انتاج فيلم أو غشاء مصنوع من جسيمات فضية نانوية حساسة للضوء.

لقد حظيت تقنية النانو في الوقت الحاضر بالاهتمام الكبير نظراً لما ابدته من تطبيقات واعدة وكثيرة شملت المجالات الطبية، العسكرية، الاتصالات، الالكترونية، الحاسوبية، البتروكيميائية، الزراعية والحيوية .....الخ ، وأدى ذلك الى دعم عالمي سخي واسع لأبحاث النانو في السنوات الأخيرة. وقد اعلنت الولايات المتحدة عام 2000م مبادرة " تقنية النانو الوطنية NNI " التي جعلت تقنية النانو تقنية إستراتيجية وطنية وفتحت مجال الدعم الحكومي الكبير لهذه التقنية في جميع المجالات الصناعية والعلمية والجامعية، وبدأت بمبادرة الرئيس كلنتون برصد 422مليون دولار عام 2001م لأبحاث تقنية النانو، تلاها رصد 849 مليون دولار عام2003م. تلا ذلك قيام اليابان عام 2002م بإنشاء مركز متخصص للباحثين في تقنية النانو وذلك بتوفير جميع الأجهزة المتخصصة ودعم الباحثين وتشجيعهم وتبادل المعلومات فيما بينهم، كما خصّصت 900مليون دولار سنوياً لهذا الغرض ولمدة 5سنوات بدءً من عام 2005م. و قُدّر الإنفاق العالمي على أبحاث النانو عام 2003م بأربعة بلايين دولار . وخصصت كوريا ما يزيد على بليون دولار لتقنية النانو خلال خطة عشرية تنتهي عام 2010م بحيث تسعى لتكون إحدى خمس دول رائدة عالمياً في هذا المجال بنهاية الخطة. كما قُدّر إنفاق الحكومة الصينية مبلغ 280 مليون دولار على تقنية النانو خلال الفترة 2001 2005-م. أما اهتمامها بالكوادر فقد بلغ عدد المشتغلين بهذه التقنية في الصين 4500 متخصص في العام 2005م 30% منهم يحملون الدكتوراه أو أعلى و 40% منهم يحملون شهادة الماجستير أو مايعادلها.

وعلى الرغم من جميع ماذُكر فإن هنالك العديد من الصعوبات التي تحتاج للمزيد من البحث ، من أهمها إمكانية الوصول إلى طرق رخيصة وعملية لتحضير مواد نانوية مختلفة بشكل تجاري لاستخدامها في التطبيقات المختلفة. كما أن هناك صعوبة أخرى وهي التواصل بين مفهوم عالم النانو الحديث وعالم الماكرو المستخدم حاليا في تصنيع الاجهزة الالكترونية.

ومن المهم الاشارة هنا الى ان المملكة العربية السعودية قد ادركت اهمية هذه التقنية وتطبيقاتها المستقبلية وقد تُوِّج هذا الاهتمام بتبرع خادم الحرمين الشريفين الملك عبد الله بن عبد العزيز بمبلغ 30 مليون ريال تُخصص لدعم بحوث تقنية النانو في المملكة ومواكبة التطورات العالمية في هذا المجال.

# تاريخ تقنية النانو

لايمكن تحديد عصر او حقبة معينة لبروز تقنية النانو ولكن من الواضح ان من اوائل الناس الذين استخدموا هذه التقنية ( بدون ان يدركوا ماهيتها ) هم صانعي الزجاج في العصور الوسطى حيث كانو يستخدمون حبيبات الذهب النانوية الغروية للتلوين. كما يمكن الاشارة الى ان كلمة النانو مشتقة من الكلمة الاغريقية ( dwarf ) والتي تعني جزء من البليون من الكل، ويعرَّف النانومتر بانه جزء من البليون من المتر، وجزء من الالف من الميكرومتر. ولتقريب هذا التعريف الى الواقع فان قطر شعرة الراس يساوي تقريبا 75000 نانومتر، وكذلك فان نانومتر واحد يساوي عشر ذرات هيدروجين مرصوفة بجانب بعضها البعض طوليا ( بمعنى ان قطر ذرة الهيدروجين يساوي 0.1 نانومتر) كما ان حجم خلية الدم الحمراء يصل الى 2000 نانومتر، ويعتبر عالم النانو الحد الفاصل بين عالم الذرات والجزيئات وبين عالم الماكرو .

تتمثل تقنية النانو في توظيف التركيبات النانويه في أجهزة وأدوات ذات أبعاد نانوية، ومن المهم معرفة ان مقياس النانو صغيرٌ جدا جدا بحيث لايمكن بناء اشياء اصغر منه.

وفي العصر الحديث ظهرت بحوث ودراسات عديدة حول مفهوم تقنية النانو وتصنيع موادها وتوظيفها في تطبيقات متفرقة وسنعرض هنا لبعض الاحداث المثيرة التي صنعت مسيرة هذه التقنية وجعلتها تقنية المستقبل. ففي عام 1959 تحدث العالم الفيزيائي المشهور ريتشارد فيمان الى الجمعية الفيزيائية الأمريكية في محاضرته الشهيرة بعنوان ( هناك مساحة واسعة في الاسفل ) قائلا بأن المادة عند مستويات النانو ( قبل استخدام هذا الاسم ) 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 فاندر فالز. وقد توقَّع ان يكون للبحوث حول خصائص المادة عند مستويات النانو دورا جذريا في تغيير الحياة الانسانية.

وقبل هذه المحاضرة، وبالرغم من وجود أبحاث قليلة على مواد بمستوى النانو وإن كانت لم تُسمّى بهذا الإسم، فقد تمكَّن أهلير من تسجيل مشاهداته للسيلكون الاسفنجي ( porous silicon ) عام 1956، وبعد ذلك بعدة سنوات تم الحصول على اشعاع مرئي من هذه المادة لأول مرة عام 1990حيث زاد الإهتمام بها بعدئذ. كما أمكن في الستينيات تطوير سوائل مغناطيسية (ferrofluids) حيث تُصنّع هذه السوائل من حبيبات أوجسيمات مغناطيسة بأبعاد نانوية ، كما اشتملت الاهتمامات البحثية في الستينيات على ما يُعرف بالرنين البارامغناطيسي الالكتروني (EPR) لاكترونات التوصيل في جسيمات بأبعاد نانوية تُسمى آنذاك بالعوالق أو الغروانيات (colloids) حيث تُنتَج هذه الجسيمات بالفصل أو التحلُّل الحراري (heat de-composition).

وفي عام 1969 اقترح ليو ايساكي تصنيع تركيبات شبه موصلة بأحجام النانو ، وكذلك تصنيع شبيكات شبه موصلة مفرطة الصغر، وقد أمكن في السبعينات التنبؤ بالخصائص التركيبية للفلزات النانوية كوجود أعداد سحرية عن طريق دراسات طيف الكتلة (mass spectroscopy) حيث تعتمد الخصائص على أبعاد العينة غير المتبلورة. كما أمكن تصنيع أول بئر كمي(quantum well) في بعدين في نفس الفترة بسماكة ذرية أحادية تلاها بعد ذلك تصنيع النقاط الكمية (quantum dots) ببعد صفري والتي نضجت مع تطبيقاتها هذه الأيام.

وقد ظهر مسمَّى تقنية النانو عام 1974 عبر تعريف البروفيسور نوريو تانيقوشي في ورقته العلمية المنشورة في مؤتمر الجمعية اليابانية للهندسة الدقيقة حيث قال ( 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 جدا تستطيع تقييد الكترون او اكثر.

ومع اختراع الميكروسكوب النفقي الماسح ( Scanning Tunneling Micro-scope) STM بواسطة العالمان جيرد بينج و هينريك روهر عام 1981، وهو جهاز يقوم بتصوير الاجسام بحجم النانو، زادت البحوث المتعلقة بتصنيع ودراسة التركيبات النانوية للعديد من المواد. وقد حصل العالمان على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1986 بسبب هذا الاختراع. وبعد ذلك بعدة سنوات نجح العالم الفيزيائي دون ايجلر في معامل IBM في تحريك الذرات باستخدام جهاز الميكروسكوب النفقي الماسح ، مما فتح مجالا جديدا لإمكانية تجميع الذرات المفردة مع بعضها، وفي نفس الوقت تم اكتشاف الفلورينات بواسطة هارولد كروتو، ريتشارد سمالي و روبرت كيرل ، وهي عبارة عن جزيئات تتكون من 60 ذرة كربون تتجمع على شكل كرة قدم ( وقد حصلوا على جائزة نوبل في الكيمياء 1996).

وفي عام 1995 تمكّن العالم الكيميائي منجي باوندي من تحضير حبيبات من شبه الموصلات الكادميوم/ الكبريت( او السلينيوم) اصغرها ذات قطر4 -3 نانومتر.

أما طرق تحضير العينات النانوية غير المتبلورة والمعتمدة على تقنيات الليزر، البلازما أو الحفر بشعاع الكتروني وغيرها فقد وُجدت منذ منتصف الثمانينيات. كما ان المفهوم الفيزيائي للتقييد الكمي الالكتروني ( quantum confinement ) قد بدأ في أوائل الثمانينيات ايضا. وقد سُجّلت أول قياسات على تكميم التوصيلية في نهاية الثمانينيات وأمكن تصنيع أول ترانزيستور وحيد الإلكترون (single electron transistor). وفي عام 1991 تمكن البروفيسور سوميو ليجيما من جامعة ميجي

من اكتشاف أنابيب الكربون النانويه، وهي عبارة عن انابيب اسطوانية مجوَّفة قطرها بضعة نانومتر ومصنوعة من شرائح الجرافيت. وبعد ذلك تم اكتشاف ترانزستور أنابيب الكربون النانوية عام 1998، حيث يصنّع على صورتين احداها معدني والأخرى شبه – موصله. ويستخدم هذا الترانزستور في جعل الالكترونات تتردد جيئة وذهابا عبر الكترودين . وتكمن اهمية هذا الترانزستور ليس فقط في حجمه النانوي ولكن ايضا بانخفاض استهلاكه للطاقة وانخفاض الحرارة المنبعثة منه .

وفي عام 2000 تمكَّن العالم الفيزيائي المسلم منير نايفه من اكتشاف وتصنيع عائلة من حبيبات السليكون اصغرها ذات قطر 1 نانو وتتكون من 29 ذرة سليكون سطحها على شكل الفولورينات الكربونية الا ان داخلها غير فارغ وانما تتوسطها ذرة واحدة منفردة. هذه الحبيبات عند تعريضها لضوء فوق بنفسجي فانها تعطي الوانا مختلفة حسب قطرها تتراوح بين الازرق والاخضر والاحمر.

أما التجمُّع الذاتي (self-assembly) للجزيئات، أو ربطها تلقائياً مع سطوح فلزية فقد أصبحت في الوقت الحاضر ممكنة لتكوين صف من الجزئيات على سطحٍ ما كالذهب وغيره.

# عـــالم النانو

قبل ظهور النانو كانت تقنية الميكرو هي المستخدمة في الانظمة التقنية، مثل الشرائح الالكترونية، حيث تتراوح احجامها في المدى من الميكرومتر الى الميليمتر ، والميكرومتر هو مقياس طولي يساوي جزء من المليون من المتر او يقابل 1/10 من حجم قطرة من الرذاذ او الضباب، ويستخدم الميكرومتر لقياس الاطوال الموجية للأشعة تحت الحمراء. ومن الانظمة الميكروية المعروفة هي الانظمة الكهروميكانيكية الميكروية( Microelectro mechanical systems (MEMS ويتم تصنيع هذه الانظمة بواسطة تقنيات مختلفة، مثل تصنيع شرائح السيلكون المستخدمة في الالكترونيات، الكحت الرطب والجاف، والات التفريغ الكهربي. وقد استخدمت الاجهزة الميكروية في عدد كبير من الصناعات مثل طابعات الحبر النفاثه، مجسًات الضغط لقياس ضغط الهواء في اطارات السيارات وقياس ضغط الدم، القافلات الضوئية المستخدمة في الاتصالات وارسال المعلومات.

ومن المواد المستخدمة في تصنيع الاجهزة الميكروية هي مادة السيلكون حيث تعتبر العصب الرئيس لصناعة الدوائر الالكترونية المتكاملة، وهذه المادة تعطي عمرا طويلا للاجهزة وتعمل لمدة تتجاوز البليون والترليون دوره بدون عطب. ويمكن كذلك استخدام البوليمرات لتصنيع الاجهزة الميكروية حيث يمكن تصنيعها باحجام كبيرة وذات خصائص مختلفة. واخيرا تستخدم الفلزات في تصنيع الاجهزة الميكروية حيث تعطي درجة عالية من الاعتماديه ومن الامثلة على الفلزات المستخدمة الذهب، النيكل، الالمنيوم، الكروميوم، والفضة.

واليوم تأتي تقنية النانو لتحل بديلا عن الميكرو حيث يمكن تصنيع الاجهزة الكهروميكانيكية والالكترونية النانوية ، وتقليل حجم جميع تلك الاجهزة المستخدمة بمقدار الف مرة عن حجم اجهزة الميكرو مما يؤدي الى تغيير خصائص تلك الاجهزة الى الافضل.

# أشكال المواد النانوية

عند تصنيع المواد بحجم النانو فان التركيب الفيزيائي والتركيز الكيميائي للمواد الخام المستخدمة في التصنيع تلعب دورا مهما في خصائص المادة النانوية الناتجة، وهذا خلافا لما يحدث عند تصنيع المواد العادية. تتركب المواد عادة من مجموعة من الحبيبات والتي تحتوي على عدد من الذرات وقد تكون هذه الحبيبات مرئية او غير مرئية للعين المجردة بناء على حجمها، ويمكن ملاحظتها بواسطة الميكروسكوب. ففي هذه المواد يتفاوت حجم الحبيبات من مئات الميكرومترات الى سنتيمترات، اما في المواد النانوية فان حجم الحبيبات يكون في حدود 100-1 نانومتر

هناك طريقتان لتصنيع حجم نانوي من المادة، أحداهما من الأعلى للأسفل (top-down) حيث تبدأ هذه الطريقة بحجم محسوس من المادة محل الدراسة وتُصغّر شيئاً فشيئاً حتى الوصول إلى المقياس النانوي. ومن التقنيات المستخدمة في ذلك الحفر الضوئي ، القطع، الكحت والطحن. وقد أستخدمت هذه التقنيات للوصول إلى مركبات الكترونية مجهرية كشرائح الكمبيوتر و غيرها. أصغر حجم أمكن الوصول إليه في حدود 100 نانومتر ولازال البحث مستمرا في الحصول على احجام اصغر من ذلك. اما الطريقة الأخرى فهي من الأسفل للأعلى (bottom-up) حيث تبدأ هذه الطريقة بجزيئات منفردة كأصغر وحدة وتُجمّع في تركيب أكبر. وغالباً ماتكون هذه الطرق كيميائية، وتتميّز بصغرحجم النواتج (نانومتر واحد)، قلة هدر للمادة الأصلية والحصول على قوة ترابط بين الجسيمات النانوية الناتجة.

يمكن فحص ودراسة خصائص المواد النانوية والتأكد من تركيبها باستخدام عدد من الاجهزة والتقنيات العلمية من أهمها : المجهر الإلكتروني الإنفاذي (TEM) ، المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) ، مجهر القوى الذرية (AFM) مع العوازل ، وحيود الأشعة السينية (XRD) ...الخ.

يمكن تصنيع المواد النانوية على عدة اشكال وذلك بناء على الاستخدام المقرر لهذه المواد، ومن اهم هذه الاشكال مايلي:

## 1. النقاط الكمية Quantum dots

عبارة عن تركيب نانوي شبه موصل ثلاثي الابعاد يتراوح ابعاده بين 2 الى 10 نانومتر، وهذا يقابل 10 الى 50 ذرة في القطر الواحد او تقريبا 100 الى 100000 ذرة في حجم النقطة الكمية الواحدة. تقوم النقطة الكمية بتقييد الكترونات شريط التوصيل وثقوب شريط التكافؤ او الاكسيتونات ( وهي عبارة عن زوج مرتبط من الكترونات التوصيل وثقوب التكافؤ ). كما تُبدي النقاط الكمية طيفا طاقيا مكمَّما متقطعا وتكون الدوال الموجية المقابلة متمركزة داخل النقطة الكمية. وعندما يكون قطر النقطة الكمية يساوي 10 نانومتر فانه يمكن رصف 3 ملايين نقطة كمية بجانب بعضها البعض بطول يساوي عرض إصبع إبهام الانسان.

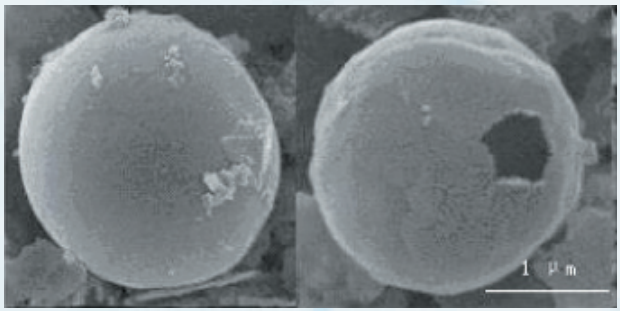
## 2. الفولورين Fullerene

تركيب نانوي غريب آخر للكربون وهو عبارة عن جزيء مكوّن من 60 ذرة من ذرات الكربون ويرمز له بالرمز $C_{60}$، وقد أكتشف عام 1985م. إن جزيء الفولورين كروي المظهر و يشبه تماماً كرة القدم التي تحتوي على 12 شكلاً خماسياً و20 شكلاً سداسياً. ومنذ اكتشاف كيفية تصنيع الفولورين عام 1990م وهو يُحضر بكميات تجارية. كما أمكن الحصول على جزيئات بعدد مختلف من ذرات الكربون مثل $C_{36}$ و $C_{48}$ و $C_{70}$ إلا أن العلماء أبدوا إهتماماً خاصا بالجزيء $C_{60}$. لقد سمّي هذا التركيب بالفولورين نسبة للمخترع والمهندس المعماري ر.بكمنستر فولر ( R. Buckminster Fuller). وهكذا فقد نشأ فرع جديد يُسمّى كيمياء الفولورين حيث عُرف أكثر من 9000 مركب فولورين منذ عام 1997م ، وظهرت تطبيقات مختلفة لكل من هذه المركبات ، ومنها المركبات $K_3C_{60}$ و $RbCs_2C_{60}$ و $C_{60}$-$CHBr_3$ التي أبدت توصيلية فائقة (superconductivity).كما أُكتشفت أشكال أخرى منها كالفولورين المخروطي والأنبوبي إضافةً إلى الكروي.

جزيء الفولورين شبيه بالكره

## 3. الكرات النانوية nanoballs

من أهمها كرات الكربون النانوية والتي تنتمي إلى فئة الفولورينات، من مادة C60، لكنها تختلف عنها قليلاً بالتركيب حيث أنها متعددة القشرة. كما أنها خاوية المركز، على خلاف الجسيمات النانوية، بينما لايوجد على السطح فجوات كما هي الحال في الأنابيب النانوية متعددة الغلاف. وبسبب أن تركيبها يشبه البصل فقد سمّاها العلماء (البصل) bucky و قد يصل قطر الكرات النانوية إلى 500 نانومتر أو أكثر.




صورة توضيحية لكرة نانوية

## 4. الجسيمات النانويه Nanoparticles

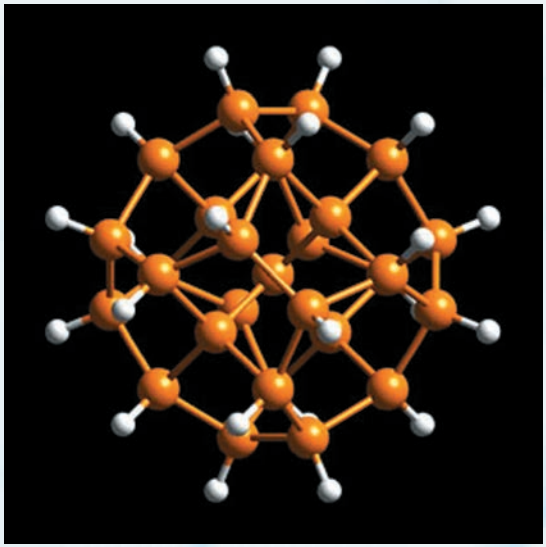
على الرغم من ان كلمة ( الجسيمات النانوية ) حديثة الاستخدام، الا ان هذه الجسيمات كانت موجودة في المواد المصنعة او الطبيعية منذ زمن قديم. فعلى سبيل المثال، تبدو احيانا بعض الالوان الجميلة من نوافذ الزجاج الصدئة وذلك بسبب

وجود مجموعات عنقودية صغيرة جدا من الاكاسيد الفلزية في الزجاج حيث يصل حجمها قريبا من الطول الموجي للضوء. وبالتالي فان الجسيمات ذات الاحجام المختلفة تقوم بتشتيت اطوال موجية مختلفة من الضوء مما ينتج عنه ظهور الوان مختلفة من الزجاج.

يمكن تعريف الجسيمات النانوية على انها عبارة عن تجمع ذري أو جزيئي ميكروسكوبي يتراوح عددها من بضع ذرات (جزيئ) إلى مليون ذرة، مرتبطة ببعضها بشكل كروي تقريبا بنصف قطر أقل من 100نانومتر. فجسيم نصف قطره نانومتر واحد سوف يحتوي على 25 ذره أغلبها على سطح الجسيم، وهذا يختلف عن الجزيء الذي قد يتضمن عدداً من الذرات بأن أبعاد الجسيم النانوي تقل عن أبعادٍ حرجة لازمة لحدوث ظواهر فيزيائية معينة مثل : متوسط المسار الحر الذي تقطعه الإلكترونات بين تصادمين متتالين مع الذرات المهتزة، وهذا يحدد التوصيلية الكهربية.

للتجمع الذري أعداد سحرية من الذرات لتُكوين الجسيمات النانونية، فجسيمات السيلكون النانوية، مثلا، تتكون من أعداد محددة من الذرات وليس عند أي عدد، لينشأ جسيمات بأنصاف أقطار محددة 1، 1.67، 2.15 و 2.9 نانومتر فقط. عند تعرّض هذه الجسيمات لأشعة فوق بنفسجية فإنها تبعث ضوءً بلون مرئي طوله الموجي يتناسب عكسياً مع مربّع قطر الجسيم، وبالتالي يمكن رؤية ألوان مرئية معينة.

عندما يصل حجم الجسيمات النانوية الى مقياس النانو في بعد واحد فانها تسمى البئر الكمي (quantum well )، اما عندما يكون حجمها النانوي في بعدين فتسمى السلك الكمي (quantum wire)، وعندما تكون هذه الجسيمات بحجم النانو في ثلاثة ابعاد فانها تعرف بالنقاط الكمية (quantum dots). ولا بد من الاشارة هنا الى ان التغير في الابعاد النانوية في التركيبات الثلاثة السالفة الذكر سوف يؤثر على الخصائص الالكترونية لها، مما يؤدي الى حدوث تغيير كبير في الخصائص الضوئية للتركيبات النانوية.



جسيم نانوي

تكتسب الجسيمات النانوية اهمية علمية حيث انها تقع بين التركيب الحجمي الكبير للمادة وبين التركيب الذري و الجزيئي، حيث تحتوي هذه الجسيمات في العادة على 106 ذرة او اقل، اما الجزيء فانه يمكن ان يحتوي على 100 ذره او اقل وقد يصل نصف قطره الى اكثر من نانو متر واحد . ومن الخصائص المهمة وغير المتوقعة للجسيمات النانوية هو ان الخصائص السطحية للجسيمات تتغلب على الخصائص الحجمية للمادة. وبينما تكون الخصائص الفيزيائية للمادة الحجمية ثابتة بغض النظر عن حجمها، فان تلك الخصائص للمادة عندما تصل الى مقياس النانو سوف تتغير وبالتالي تعتمد على حجمها، مثل التقييد الكمي في الجسيمات النانوية شبه

الموصلة، رنين البلازمون السطحي في بعض الجسيمات النانوية الفلزية. ويلاحظ كذلك أن النسبة المئوية للذرات السطحية للمادة تصبح ذات اهمية بالغة عندما يقترب حجم المادة من مقياس النانو ، بينما عندما تكون المادة الحجمية اكبر من 1 ميكرومتر فان النسبة المئوية للذرات عند سطحها ستكون صغيرة جدا بالنسبة للعدد الكلي للذرات في المادة. ومن الخصائص الاخرى للجسيمات النانوية هو امكانية تعلُّقها داخل سائل او محلول بدون ان تطفو او تنغمر وذلك لان التفاعل بين سطح الجسيمات والسائل يكون قويا بحيث يتغلب على فرق الكثافة بينهما والذي يكون في العادة مسئولا عن طفوّ او غمر المادة الحجمية في السائل.

لقد امكن حديثا تصنيع جسيمات نانوية من الفلزات والعوازل وأشباه الموصلات والتركيبات المهجّنة ( مثل الجسيمات النانوية المغلّفة ) وكذلك تصنيع نماذج لجسيمات نانوية ذات طبيعة شبه- صلبه وهي الليبوزومات . ومن الصور الأخرى للجسيمات النانوية هي النقاط الكمية شبه الموصلة والبلورات النانوية. وتعتبر جسيمات النحاس النانوية التي يصل حجمها الى اقل من 50 نانومتر ذات صلابة عالية وغير قابلة للطرق او السحب وذلك عكس مايحدث لمادة النحاس العادية حيث يمكن ثنيها وطرقها وسحبها بسهولة.

## 5. الأنابيب النانوية Nanotubes

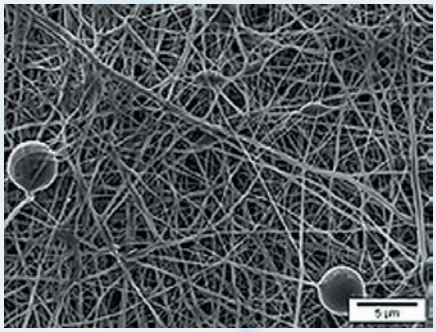
تصنَّع الانابيب النانوية، احيانا، من مواد غير عضوية مثل اكاسيد الفلزات ( اكسيد الفاناديوم، اكسيد المنجنيز )، نيتريد البورون والموليبدينوم، وهي شبيهة من ناحية تركيبها بأنابيب الكربون النانوية، ولكنها اثقل منها وليست بنفس القوة مثل انابيب الكربون. وتعد انابيب الكربون النانوية التي اكتشفت عام 1991 م اكثر اهمية نظرا لتركيبها المتماثل وخصائصها المثيرة

واستخداماتها الواسعة في التطبيقات الصناعية، والعلمية، وفي الاجهزة الالكترونية الدقيقة، والاجهزة الطبية الحيوية. يمكن وصف انابيب الكربون على انها عبارة عن شرائح من الجرافيت يتم طيّها حول محور ما لتأخذ الشكل الاسطواني حيث ترتبط ذرات نهايتي الشريحة مع بعضها لتغلق الأنبوب. تكون إحدى نهايتي الأنبوب في الغالب مفتوحة والأخرى مغلقة على شكل نصف كره، كما قد يكون جدار الأنبوب فردي الذرات وتسمى في هذه الحالة بالانابيب النانوية وحيدة الجدار SWNT (singl wall nanotube) ،أو ثنائي أو أكثر وتسمى الانابيب متعددة الجدار MWNT (multi wall nanotube ) ويتراوح قطر الأنبوب بين أقل من نانومتر واحد إلى 100 نانومتر( اصغر من عرض شعرة الرأس بمقدار 50000 مرة)، أما طوله فقد يصل إلى 100 مايكرومتر ليُشكّل سلكاً نانوياً. للأنابيب النانوية عدة أشكال فقد تكون مستقيمة ، لولبية ، متعرجة ، خيزرانية، أو مخروطية وغير ذلك. كما أن لهذه الأنابيب خصائص غير اعتيادية من حيث القوة والصلابة والتوصيلية الكهربية وغيرها. كما أن للكربون النانوي أشكالا أخرى مثل الكرات النانوية والألياف النانوية.

نماذج لانابيب الكربون النانوية

يتم انتاج انابيب الكربون النانوية بعدة تقنيات منها، التفريغ القوسي ، الكحت الليزري، الترسيب بواسطة اول اكسيد الكربون ذي الضغط العالي، والترسيب بواسطة البخار الكيميائي.

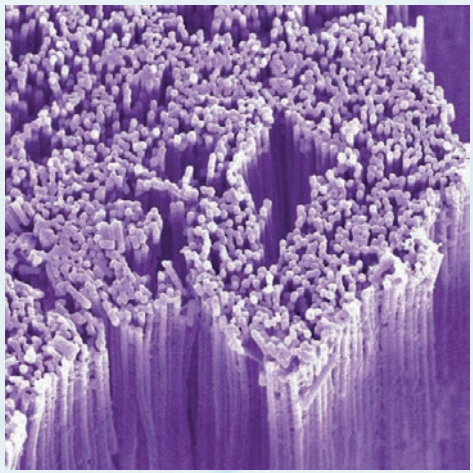
# 6 الألياف النانوية Nanofibres



صورة توضح الالياف النانوية

لاقت الألياف النانوية إهتماماً كبيراً مؤخراً لتطبيقاتها الصناعية. وقد أُكتشف العديد من أشكالها كالألياف السداسية والحلزونية والالياف الشبيهة بحبة القمح (corn-shaped). إن الجزء الجانبي لليف النانوي اللويحي أو الأنبوبي له شكل سداسي، مثلاً، وليس أسطوانياً. من أشهر الألياف النانوية تلك المصنوعة من ذرات البوليمرات. إن نسبة مساحة السطح إلى الحجم كبيرة في حالة الألياف النانوية، كما للأنابيب النانوية، حيث أن عدد ذرات السطح كبير مقارنا بالعدد الكلي، وهذا يُكسب تلك الألياف خواص ميكانيكية مميّزة كالصلابة وقوة الشد وغيرها مما يؤهلها بلا منافس لاستخدامها كمرشحات في تنقية السوائل أو الغازات، و في الطب الحيوي وزراعة الأعضاء كالمفاصل ونقل الأدوية في الجسم و في التطبيقات العسكرية كتقليل مقاومة الهواء إلى آخره من التطبيقات لاسيما بعد تطوير طرق التحضير. هناك أكثر من طريقة لتحضير الألياف البوليمرية، من أشهرها التدوير الكهربي (electrospinning) ولازالت تواجه العديد من الصعوبات للتحكم بخصائص الألياف الناتجة كاستمراريتها واستقامتها و تراصفها كما في الشكل.

# 7. الإسلاك النانوية Nanowires



صورة بواسطة الميكروسكوب الماسح الالكتروني لاسلاك نانوية

هي أسلاك بقطر قد يقل عن نانومتر واحد وبأطوال مختلفة، أي بنسبة طول إلى عرض تزيد عن 1000مرة. لذا فهي تُلحق بالمواد ذات البعد الواحد، وكما هو متوقع، فهي تتفوق على الأسلاك التقليدية (ثلاثية الأبعاد)، وذلك بسبب ان الالكترونات تكون محصورة كميا باتجاه جانبي واحد مما يجعلها تحتل مستويات طاقة محددة تختلف عن تلك المستويات العريضة الموجودة في المادة الحجمية. وهنا تتضح أهمية الذرات السطحية مقارنة بالداخلية لظهور مايُعرف بالتأثير الحاجز. وبسبب خضوعها للحصر الكمي المبني على ميكانيكا الكم، فسيكون لها توصيلية كهربية تأخذ قيماً محدّدة تساوي تقريباً مضاعفات المقدار 12.9 كيلو أوم-1 . وهي لاتوجد في الطبيعة ولكنها تُحضّر في المختبر، حيث منها الفلزي (كالنيكل والفضة والبلاتينيوم)

وشبه الموصل (كالسيلكون ونترات الجاليوم وفوسفات الانديوم) والعازل (كالسيليكات واكسيد التيتانيوم)، ومنها الأسلاك الجزيئية العضوية ( DNA) وغير العضوية (مثل $Li_2Mo_6Se_6$ ، $Mo_6S_{9-x}I_x$ التي يُنظر لها كتجمعات بوليمرية) ذات القطر 0.9 من النانومتر وبطول يصل لمئات من المايكرومتر. يمكن استخدامها، في المستقبل القريب، لربط مكوّنات الكترونية دقيقة داخل دائرة صغيرة او عمل وصلات ثنائية p-n وكذلك بناء الدوائر الالكترونية المنطقية وقد تستخدم مستقبلا لتصنيع الكمبيوتر الرقمي. لذا فتطبيقاتها الإلكترونية المتوقعة كثيرة جداً مما سيقود إلى الحساسات الحيوية الجزيئية النانوية. للأسلاك النانوية عدة أشكال فقد تكون حلزونية (spiral) أو تكون متماثلة خماسية الشكل. قد تكون الاسلاك النانوية عند تحضيرها في المختبر على شكل اسلاك متعلّقة من طرفها العلوي او تكون مترسبة على سطح آخر. ومن الطرق المستخدمة لانتاج الاسلاك المتعلّقة عمل كحت كميائي لسلك كبير او قذف سلك كبير بواسطة جسيمات ذات طاقة عالية.

## 8. المركبات النانوية Nanocomposites

هي عبارة عن مواد يضاف اليها جسيمات نانوية خلال تصنيع تلك المواد، ونتيجة لذلك فان المادة النانوية تُبدي تحسُّنا كبيرا في خصائصها. فعلى سبل المثال، يؤدي اضافة انابيب الكربون النانوية الى تغيير خصائص التوصيلية الكهربية والحرارية للمادة. وقد يؤدي اضافة انواع اخرى من الجسيمات النانوية الى تحسين الخصائص الضوئية وخصائص العزل الكهربي وكذلك الخصائص الميكانيكية مثل الصلابة والقوة. يجب ان تكون النسبة المئوية الحجمية للجسيمات النانوية المضافة منخفضة جدا ( في حدود 0.5% الى 5% ) وذلك بسبب ان النسبة بين المساحة السطحية الى الحجم للجسيمات النانوية تكون عاليه.تُجرى البحوث حاليا للحصول على مركبات نانوية جديدة ذات خصائص ومميزات تختلف عن المركبات الاصلية. ومن المركبات النانوية المعروفة الآن هي المركبات البوليمرية النانوية.

# تطبيقات تقنية النانو

## 1. الطبية

لقد ساعد التطور الحديث في تقنيات النانو على تغيير القواعد الطبية المتبعة في منع الامراض وتشخيصها وعلاجها واصبحنا نعيش عصر التقنية الطبية النانويه، حيث تقدم تقنية النانو، على سبيل المثال، طرقا جديدة لحاملات الدواء داخل جسم الانسان ( تسمى حاملات نانويه ذات احجام تصل الى مقياس النانو ) تكون قادرة على استهداف خلايا مختلفة في الجسم.

ويمكن بواسطة هذه التقنية تصوير خلايا الجسم بسهولة كما لو اننا ناخذ لها صورة عادية، كذلك يمكن التحكم بتلك الخلايا وتشكيلها باشكال مختلفة.

تستخدم انواع كثيرة من الجسيمات النانوية في التطبيقات الطبية بحيث تعمل كحاملات للدواء او أدوات للتصوير داخل الجسم، وحاليا تستخدم انواع مختلفة من جسيمات الليبوزوم النانوية المصنعة كأنظمة توصيل للعقارات المضادة للسرطان واللقاحات. كما تستخدم جسيمات الذهب النانوية في اجهزة الاختبار المنزلي للكشف عن الحمل.

تستخدم الاسلاك النانوية كمجسًات حيوية نانويه وذلك لحساسيتها العاليه وحجمها النانوي. حيث يتم طلاء هذه الاسلاك النانوية باجسام مضادة مصنًعه بحيث انها تلتصق فقط بالجزيئات الحيوية ( DNA)، او البروتينات، او الجسيمات البيولوجية الاخرى الموجودة داخل الجسم، وليس غيرها من الجزيئات الاخرى، وعندما ترتبط هذه البروتينات او غيرها بالاسلاك النانوية المطلية فسوف تتغير توصيليتها. وبذلك يمكن استخدام هذا المجس الحيوي النانوي في اكتشاف عدد كبير من الامراض في مراحلها الاولية، وذلك بادخال اعداد كبيرة من الاسلاك النانوية داخل الجسم يتم طلائها باجسام مضادة مختلفة، تمثل مجسًات مختلفة.

كذلك تستخدم الاغلفة النانوية المطلية بالذهب لتدمير الخلايا السرطانية.

يبلغ طول هذه الاغلفة النانوية حوالي 120 نانومتر وهذا اصغر من حجم خلية السرطان بمقدار 170 مرة. عند حقن هذه الاغلفة النانوية داخل الجسم فانها تلتصق تلقائيا بالخلايا السرطانية، ومن ثم يتم تعريض تلك الخلايا لاشعة ليزر تحت الاحمر والتي تعمل على تسخين الذهب ورفع درجة حرارته مما يؤدي الى احتراق تلك الخلايا وموتها. تمتاز هذه الطريقة بالدقة والموضعية نظرا لصغر الاغلفة النانوية بالنسبة للخلايا وتركّزها بالخلايا المريضة فقط مما يجعل الخلايا السليمة بعيدة عن مخاطر الاثار الجانبية.

مولدات النانو الحيوية، عبارة عن اجهزة كهروكيميائية نانوية تقوم بتوليد قدرة كهربية من جلوكوز الدم في الجسم ومن ثم تستخدم هذه القدرة في تشغيل اجهزة نانوية اخرى مزروعة داخل جسم الانسان مثل اجهزة ضبط النبض او روبوتات حقن السكر النانوية.

ومن التطبيقات الطبية الواعدة لتقنية النانو هي استخدام الياف البوليمر النانوية لأجراء الجراحات الترقيعية للأوعية الدموية وقد تم حديثا زراعة اجهزة ترقيعية مصنوعة من الياف البروتين النانوية في الجهاز العصبي المركزي للانسان. كذلك تستخدم الياف البوليمر النانوية في علاج الحروق والجروح وتدخل في صناعة المستحضرات التجميلية

عند حقن جسيمات سلينيد الكاديوم النانوية ( النقاط الكمية ) داخل الجسم فانها تتجمَّع داخل الخلايا السرطانية بشكل انتقائي وفي حالة تعريض المنطقة المستهدفة لضوء فوق بنفسجي فان الجسيمات تُضيء مما يساعد في تحديد موقع الخلايا الخبيثة وازالتها بدقة.

يتم التفكير الآن بتصنيع اجهزة نانوية ذات خصائص ميكانيكية وكهربية تحل بديلا عن خلايا الدم الحمراء وتقوم بجميع وظائفها. كما ان تقنية النانو تقدم الآن بديلا لقطع الغيار البشرية بكفاءة تكون قريبة من الاصلية، حيث تجري البحوث الآن باستبدال بعض الاعضاء التي تؤدي وظائف حركية، كالعضام والعضلات والمفاصل باعضاء نانوية تقوم بنفس المهمة.

تستخدم الجسيمات النانوية المصنَّعة من العناصر الارضية النادرة لازالة الفوسفات في الدم عند المرضى المصابين بفرط الفوسفاتية في الدم.

تلعب تقنية النانو دورا كبيرا في تحسين هندسة الانسجة الحية وعلاج الخلايا وذلك يشمل

استخدام خلايا حية او مركبات طبيعية او مصنَّعة يتم زراعتها داخل الجسم الحي. ويقوم بعض الباحثين الآن بمحاولات تجريبية يتم فيها استخدام كبسولات سيلكون نانوية تعمل على وقف نظام الجسم المناعي من التعرف على الخلايا الغريبة حيث تقوم هذه الكبسولات بحجب الاجسام المضادة الناتجة من نظام الجسم المناعي بينما يتم اطلاق كمية كافية من الانسولين المحمول بواسطة الكبسولات النانوية في الدم.

كما ان الادوات الجراحية اصبحت الآن هدفا للتطوير والتحسين باستخدام تقنية النانو، حيث امكن تصميم مبضع جراحي يعتمد على مادة الالماس النانوية والذي يقطع بدقة متناهية خلال كرة العين. ومن المتوقع في المستقبل القريب ان تقدم تقنية النانو حلولا ناجحة لتصحيح التلف الناتج في الاجهزة السمعية والبصرية والحسية في الانسان وذلك بزراعة اجهزة نانوية دقيقة داخل الجسم. فعل سبيل المثال، يعمل الباحثون الآن على زراعة غشاء نانوي في شبكية الاعمى لتحسين النظر لديه.

## 2. الاتصالات والكمبيوتر:

يتم الآن تصنيع الياف نانوية بصرية تكون قادرة على ارسال المعلومات والمكالمات مباشرة بدون الحاجة الى تحويلها من ضوء الى كهرباء وبالتالي تزداد سرعة النقل الى حوالي 100 ضعف، كذلك يمكن صناعة ليزرات نانوية مما يجعل اجهزة الاتصالات المستخدمة صغيرة الحجم جدا. كذلك تستخدم الالياف النانوية كقافلات ضوئية في البلورات السائلة في الاتصالات الضوئية. كما ان انابيب الكربون النانوية تستخدم في صنع ترانزيستور الاثر المجالي والقافلات في الكمبيوترات مما يؤدي الى ان زمن القفل سيكون سريعا جدا بمقدار 410 اسرع من المركبات العادية.

كذلك من اهداف صانعي الكمبيوترات في الوقت الحاضر زيادة عدد القافلات في الشرائح الالكترونية. وحيث ان انابيب الكربون النانوية ذات قطر 2 نانومتر لها مقاومة منخفضة جدا وبالتالي تحمل تيارا كبيرا فانه يمكن استخدامها كتوصيلات داخلية في القافلات بديلا عن اسلاك النحاس العادية، ونتيجة للتوصيلية العالية لانابيب الكربون النانوية فانها يمكن ان تعمل كحمَّام حراري لتبديد الحرارة بعيدا عن الشريحة الالكترونية. كذلك يمكن تصنيع كمبيوترات المستقبل من شبكة انابيب كربون نانوية متوازية موضوعة على قاعدة معينة.

## 3. تطبيقات عامة لتقنية النانو

يتم في الوقت الحاضر تصنيع انواع معينة من الثياب يدخل في تركيبها جسيمات نانوية مثل جسيمات السليكون وتمتاز هذه الثياب بانها مقاومة للرائحة والاصباغ. كذلك تستخدم بعض المواد البلورية النانوية الجلاتينية كمواد عازلة تطلى بها سطوح المباني والمكاتب للتخفيف من الحراره. وبالاضافة الى ذلك فان بعض المواد النانوية مثل كربيد التنجستن وكربيد التانتاليوم تمتاز بصلابتها العالية مقارنة بالمواد العادية لذلك فهي تدخل في صناعة بعض ادوات القطع والحفر.

وكما هو معروف فان دقة تحليل شاشات العرض التلفزيونية تعتمد بشكل كبير على مادة الفوسفور التي تكون على شكل نقاط صغيرة جدا تسمى بكسل . وعند استخدام المواد الفوسفورية النانوية مثل، سلينيد الزنك، كبريتيد الزنك، و كبريتيد الكادميوم في تصنيع شاشات العرض فان دقة تحليلها وصفائها سوف تتحسن كثيرا بالاضافة التى تخفيض تكلفة الانتاج. لقد استطاعت شركة سامسونج الكورية من انتاج شاشات عرض مسطحة باستخدام الانبعاث الالكتروني الناتج من انابيب الكربون النانوية. كذلك نجحت شركة يابانية من انتاج مصابيح الانابيب المفرغة

تعتمد على الانبعاث الالكتروني من الانابيب الكربونية النانوية وتمتاز هذه المصابيح مقارنة بالعادية بانها اكثر لمعانا وكفاءة وتعيش لفترات اطول

لقد وُجد ان بعض المواد البلورية النانوية ( مواد العناصر الارضية النادرة ) تُظهر خصائص مغناطيسية غير طبيعية ولهذه الخاصية تطبيقات عديدة ، في الغواصات، مبدّلات السيارات، مولدات القدرة الكهربية الارضية، محركات السفن، اجهزة التحليل الرنيني المغناطيسي في الطب.

تقدم تقنية النانو من خلال استخدام، الجسيمات النانوية وانابيب الكربون النانوية، طرقا رخيصة وفعالة في عمليات تحلية وتنقية المياه مما يجعل الحصول على مياه نقية للشرب في الدول الفقيرة امرا سهلا. بالاضافة الى ذلك تستخدم جسيمات الفضة النانوية في مرشحات الهواء للتخلص من الروائح غير المرغوبه وقتل الجراثيم. وقد وُجد ان استخدام مثل هذه المرشحات النانوية يؤدي الى قتل 99% من فيروسات الانفلونزا العالقة في الهواء. من التطبيقات المستقبلية لأنابيب الكربون استخدامها في صناعة مرشحات الهواء حيث يمكن بواسطتها التخلص من غاز ثاني اكسيد الكربون الناتج من انبعاثات محطات توليد الكهرباء.

تُجرى الابحاث حاليا في امكانية استخدام الجسيمات النانوية لعمل طلاء ذكي لتحديد الاهداف في المجالات العسكرية او في المركبات للاغراض الامنية. كذلك تصنيع كمبيوترات ذات قدرات عالية لعمليات التشفير وفك التشفير. وتقدّم الملابس العسكرية التي تصنَّع من المواد النانوية حلا مناسبا للوقاية من احوال الطقس السيئة ومن المخاطر الكيميائية والنووية والبيولوجية التي قد تواجه الجنود في الحروب.

كما ان المركبات البلاستيكية المطعَّمة بانابيب الكربون النانوية لاتنفّذ الطاقة الكهرومغناطيسية، لانها موصّل جيد للكهرباء، ولذلك فهي تستخدم كمواد واقية من الاشعاع الكهرومغناطيسي، ويُستفاد منها عسكريا في حماية الاجهزة الالكترونية واجهزة الاتصال في ارض المعركة من الاشعاعات التي تصدر من القنابل وغيرها.

يتم طلاء الثلاجات من الداخل بجسيمات الفضة النانوية مما يساعد على قتل الجراثيم الدقيقة جدا وبالتالي يؤدي الى المحافظة على الغذاء طازجا لمدة طويلة، كذلك تُطلى الغسالات بتلك الجسيمات لكي تساعد على غسيل الملابس بشكل تام.

تدخل المركّبات النانوية البلاستيكية في صناعة السيارات حيث تستخدم في بعض الاجزاء المقاومة للصدمات في السيارات وذلك لكونها قوية وخفيفة ومقاومة للصدأ.

وحيث ان الاسلاك والانابيب النانوية تُغيرٌ من مقاومتها الكهربية عندما تتعرض للغازات القلوية والهالوجينات وغيرها، فقد تم تصنيع مجسّات كيميائية لاستخدامها في المجالات التالية، الكشف عن تسربات الغازات، المراقبة الطبية، مراقبة الاخطار البيئية والصناعية. وتسعى الشركات حاليا في طرح مجسّات نانوية ذات حجم صغير وحساسية عاليه واقتصادية في استهلاك القدرة الكهربية.

يمكن استخدام الانابيب الكربونية النانوية في تقنية البطاريات حيث يتم تخزين الليثيوم، الذي يعتبر ناقل للشحنة في البطارية، داخل الانابيب. وكذلك تستخدم في خلايا الوقود لتخزين الهيدروجين. وبالاضافة الى ذلك فان ترانزيستور الاثر المجالي المصنوع من انابيب الكربون شبه الموصلة قد اثبت فاعليته ككاشف حساس لعدد من الغازات المختلفة.

وهناك تطبيقات عامة اخرى لتقنية النانو منها تصنيع الثنائيات العضوية الباعثة للضوء والتي تستخدم في شاشات العرض، الافلام والخلايا الكهروضوية والتي تحول الضوء الى كهرباء، الشبابيك المطلية المقاومة للخدش والتي تنظف نفسها بواسطة الاشعة فوق البنفسجية، تصنيع ملابس ذكية تنظّم درجة الحرارة وتقيس النبض والتنفس، تصنيع طلاء يحتوي على جسيمات نانوية يمنع الصدأ، تصنيع زجاج لوني ـــ حراري يعمل على التحكم بكمية الضوء النافذ، تصنيع بطاريات وقود مصنعة من انابيب الكربون النانوية لاستخدامها في الاجهزة الكهربية والسيارات،

# الإخطار المحتملة في التعامل مع تقنية النانو

على الرغم من التطبيقات الواسعة لتقنية النانو في الوقت الحاضر والتي تشمل جميع نواحي الحياة، الا ان هناك الآن اهتماما كبيرا في البحث عن امكانية حدوث اثار جانبية لاستخدام هذه التقنية في حياة الانسان والوسط المحيط به.

ان الجسيمات النانوية نتيجة لصغرها الشديد فهي بالتالي يمكن ان تنفذ بسهولة شديدة من خلال الجلد والرئتين والاجهزة المعوية للانسان بدون معرفة تأثيرها على الصحة البشرية. ومن ناحية اخرى هل يمكن الاعتقاد بان اشتنشاق المواد النانوية ( مثل الجسيمات النانوية، الكرات النانوية، انابيب الكربون النانويه، ....) سوف يؤدي الى سريان هذه المواد داخل الجسم ومن ثم وصولها الى المخ.

ولابد من الاشارة هنا الى انه لايوجد أي تنظيمات او قوانين محددة وواضحة تحدد الاضرار والاخطار الناتجة عن استخدام المواد النانوية وذلك بسبب اختلاف خصائص واحجام تلك المواد النانوية وايضا اختلاف درجة سمّية تلك المواد. كما انه لايوجد الآن تجارب وبحوث كثيرة حول اخطار هذه التقنية الا بعض الابحاث القليلة على فئران التجارب. ولقد اشارت بعض التجارب الى ان الجسيمات النانوية عند استنشاقها يمكن ان تُحدث التهابا في الرئتين أكثر مما تُحدثه الجسيمات ذات الحجم الكبير من نفس النوع. كما اشارت دراسة اخرى الى ان الجسيمات النانوية قد تسببت في موت بعض القوارض وحدوث تلف للمخ في السمك. وتُشير دراسات اخرى على تلوث الهواء الى ان زيادة تركيز الجسيمات النانوية في الهواء سوف يؤدي الى زيادة انتشار الامراض والوفاة.

وعلى العموم فلا بد للعاملين في تقنية النانو ان يتخذوا كافة انواع درجات الحذر والاحتياطات اللازمة لتفادي استنشاق المواد النانوية على جميع انواعها او ملامستها لجلد الانسان .

# نبذة عن المؤلفين

**د.عبدالله بن صالح الضويان** e.m dwayyan@ksu.edu.sa


- حاصل على بكالوريوس علوم (فيزياء) من جامعة الملك سعود 1402هـ 1982م.
- حاصل على ماجستير فيزياء الليزر وتطبيقاتها من جامعة إسكس ببريطانيا 1404هـ 1984م.
- حاصل على دكتوراه في الفيزياء (فيزياء أشباه الموصلات) من جامعة ويلز ببريطانيا 1409هـ 1989م.
- عمل أستاذاً مساعداً بقسم الفيزياء والفلك جامعة الملك سعود 1410هـ 1989م، ثم أستاذاً مشاركاً 1424هـ 2003م.
- أستاذ زائر، جامعة نورث كارولينا بالولايات المتحدة 1419هـ 1999م.
- أستاذ زائر جامعة إلينوي (اربانا-شامبين) بالولايات المتحدة1427هـ 2006م.
- عمل رئيساً لقسم الفيزياء والفلك بجامعة الملك سعود (1424هـ 1426-هـ).
- أشرف على رسائل دراسات عليا.
- شارك في تحكيم رسائل وبحوث علمية في مجال الليزر.
- شارك في مؤتمرات متخصصة محلية ودولية.
- تعاون مع مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية حيث ساهم في تأسيس مركز تطبيقات الليزر.
- له مشاركات في جهات حكومية أخرى.
- له بحوث في مجال الليزر منشورة في مجلات محلية وأقليمية ودولية.
- لديه إهتمامات بحثية في مجال التقنية المتناهية الصغر.


**د. محمد بن صالح الصالحي** e.m malsalhi@ksu.edu.sa


- حاصل على بكالوريوس علوم ( فيزياء ) من جامعة الملك سعود 1402هـ/ 1982م.
- حاصل على ماجستير في فيزياء الليزر وتطبيقاته ، جامعة ايسكس بريطانيا 1404هـ / 1984م.
- حاصل على الدكتوراه في الفيزياء، فيزياء أشباه الموصلات، جامعة هل، بريطانيا 408هـ / 1988م.
- عمل استاذ مساعد بقسم الفيزياء والفلك ، جامعة الملك سعود 1409هـ / 1989م.
- استاذ مشارك بقسم الفيزياء والفلك ، جامعة الملك سعود 1423هـ / 2002م.
- عمل رئيسا لقسم الفيزياء والفلك ، جامعة الملك سعود في الفتره -1420 1424هـ.
- شارك في تدريس مقررات الفيزياء لدرجتي البكالوريوس والماجستير.
- شارك في الاشراف على عدد من رسائل الماجستير.
- شارك في مؤتمرات اقليمية ودولية في مجال الليزر
- شارك في تحكيم كثير من الرسائل والبحوث العلميه في مجال لليزر
- له عدة بحوث منشورة في مجال الليزر
- له بحوث واهتمامات بحثية في مجال تقنية النانو