الفصل الرابع

مصطلحات تكنولوجيا النانو

الفصل الرابع – مصطلحات تكنولوجيا "النانو

المقدمة

لقد تحدثت بالفصل الأول عن الذرة ومكوناتها والإلكترون وبالفصل الثاني عن مقدمة في علم "النانو" وبالفصل الثالث عن تعريف "النانو" وما هي تقنية "النانو" وقبل التوسع عن تقنية "النانو" أحببت أن أسلط الضوء على أهم المصطلحات الهامة المرتبطة بتكنولوجيا "النانو" لتساعد القراء على فهم جميع المصطلحات المتعلقة بهذه التكنولوجيا ومن ثم سأتطرق إلى شرح مفصل لجميع الأدوات المستخدمة في هذه التكنولوجيا.

المصطلحات المتعلقة بتكنولوجيا "النانو":

المصطلح باللغة العربية	المصطلح باللغة الإنجليزية	تعريفة
ميكروسكوب القوة الذرية	Atomic Force Microscope, AFM	هو جهاز يستخدم في مجال تقنية "النانو" لمعرفة ورسم تضاريس السطوح ذات الأبعاد النانوية والميكرونية وهو عبارة عن مجهر يعطي معلومات عن تضاريس سطح المادة بدقة تصل الى المستوى الذري حيث تعمل مجساته على مسح تضاريس المواد بدقة متناهية عن طريق حساب أي مقاومة يتعرض لها المجس وهذا الميكروسكوب له قدرة تحليل تصل إلى اجزاء من النانومتر حيث انه يفوق حد تكبير الميكروسكوبات الضوئية بأكثر من 1000 مرة، وتم اختراعة من قبل Quate و Gerber في العام 1986. وتوفر أول جهاز للاستخدام في المختبرات العلمية في العام 1986.
جهاز الاستشعار البيولوجي	Nano-biosensors	هو جهاز إستشعار متقدم يستخدم للكشف عن البكتيريا والغازات والهرمونات وبدقة تصل لحد إكتشاف بضعة جزئيات ويدخل في تركيبة مواد عضوية
كرات بوكي	Bucky ball	هي جزيئات كروية من الكربون وتتكون عادة من 60 ذرة كربون على شكل كرة القدم حيث تترتب ذرات الكربون بشكل سداسي
طريقة البناء	Bottom up	هي طريقة بناء المواد بوضع الذرة

		بجانب الذرة الاخرى او الجزئ بجانب الجزئ الاخر حتى تتكون مركبات وهياكل عضوية وغير عضوية مكونة من عدة ذرات وجزئيات
انابيب "النانو" الكربونية	Carbon nanotubes	هي أنابيب كربونية إسطوانية الشكل ورقيقة للغاية، قطرها نانو وهي عبارة عن رقائق من الجرافيت ملفوفة على شكل أنبوب اسطواني وهذه الانابيب تتميز بخصائص إستثنائية الكترونية وحرارية وميكانيكية وتركيبية مما يجعلها أخف من الالمنيوم وأقوى بخمسة أضعاف من الحديد الصلب وهناك نوعان من أنابيب "النانو" الكربونية وحيدة الجدار أي ذات طبقة وحيدة والنوع الاخر أنابيب "النانو" الكربونية متعددة الجدر
الحفاز	Catalyst	هو مادة تعمل على زيادة معدل التفاعل الكيميائي من خلال الحد والتقليل من الطاقة الفعالة ولا تتغير هذه المادة بالتفاعل والحفاز يعمل على توفير سطح ملائم للتفاعل من خلال اتاحة الفرصة لمزيد من الجسيمات للاصطدام مع بعضها البعض
الرقائق الالكترونية (المعالج الدقيق)	Chips	تسمى بإسم المشغلات او المعالجات الدقيقة وهي عبارة عن قطعة الكترونية صغيرة تحتوي على رقائق صغيرة من اشباة الموصلات السيليكون والتي صنعت لاداء الوظائف الالكترونية في الدوائر المتكاملة
المركب	Composites	هو مادة مركبة من مادتين او اكثر تختلف خواصها عن المواد المكونة لها وتكون احد مكونات هذا المركب مقواة بالمادة الاخرى حيث تعمل هذه الخاصية على تحسين خصائص مواد المركب بشكل عام وعادة تكون المادة الاساسية في طور السائل اما مواد التقوية عادة ما تكون جسيمات او الياف، والاسمنت المقوى بقضبان الفولاذ من الامثلة الاولية للمركبات
المجهر الالكتروني	Electron Microscope	عبارة عن مجهر يستخدم حزمة من الالكترونات بدلا من الضوء المستخدم في المجاهر التقليدية ويتميز بقوة تكبيير

		عالية تفوق افضل المجاهر البصرية باكثر من مئة مره
خلايا الوقود	Fuel Cells	هي خلية كهروكيميائية تعمل على تحويل الطاقة الكيميائية الى طاقة كهربائية حيث تنتج الكهرباء والحرارة من الوقود (الهيدروجين والاكسجين) دون الحاجة الى الاحتراق في عملية تحليل كهربائي عكسي محفزة باستمرار
الطباعة	Lithography	عبارة عن مجموعة من اساليب الكتابة على التراكيب او الهياكل باستخدام مجسات خاصة ، هناك انواع مهمة من الطباعة منها الضوئية والتي تستخدم الضوء ومنها الكترونية وتستخدم فيها حزمة الالكترونات
الجزئ	Molecule	مجموعة ذرات مرتبطة معا بروابط كيميائية
قانون مور	Moor's Law	قانون شهير في مجال الالكترونيات حيث اقترح مور ان عدد الترانزستورات لكل بوصة مربعة في الدوائر المتكاملة يتضاعف كل 18 شهر منذ تصنيعها وذلك في عام 1965
تقنية "النانو" البيولوجية	Nono biotechnolgy	استخدام تقنية "النانو" في بناء اجهزة تمكن من دراسة النظم البيولوجية
نانوبوت	Nanobot	عبارة عن روبوت ذو ابعاد بحجم "النانو" وتكون اما ميكانيكية او كهروميكانيكية
مركبات "النانو"	Nanocomposites	مركبات تتكون عادة من مركبين اثنين او اكثر من المواد وتكون احد مركباتها ذات ابعاد اقل من 100 نانومتر
بلورات "النانو"	Nanocrystals	مواد صلبة صغيرة بلورية وتكون المسافات متساوية بين كل ذرة واخرى او جزء واخر وبلورات "النانو" لها تطبيقات كثيرة وهامة منها الالكترونيات البصرية حيث لها القدرة على تغير الطول الموجي للضوء ولها تطبيقات اخرى في الخلايا الشمسية وغيرها
نانو متر	Nanometer	واحد من المليار من المتر
جسيمات "النانو"	Nanoparticles	هي الجسيمات التي تقل ابعادها او احد ابعادها عن 100 نانومتر
مقياس "النانو"	Nanosclae	هو مقياس يستخدم لحساب وقياس ابعاد تتراوح من 0.1 الى 100 نانومتر

علم "النانو"	Nanoscience	هو العلم الذي يتعامل مع المواد في مستواها الذري والجزئي بمقياس لا يزيد عن 100 نانومتر وهو ايضا علم يهتم باكتشاف ودراسة الخصائص المميزة لمواد "النانو"
تقنية "النانو"	Nanotechnology	التقنية التي تعطينا القدرة على التحكم المباشر في المواد والاجهزة التي ابعادها تقل عن 100 نانومتر وذلك بتصنيعها وبمراقبتها وقياس ودراسة خصائصها
صدفات "النانو"	Nanoshells	هي جسيمات في ابعاد "النانو" لها عبارة عن قشرة او طبقة معدنية رقيقة تحيط بكرة مصنوعة من مادة شبة موصلة، لها القدرة على امتصاص او تشتيت الضوء في جميع اطواله الموجبة
تراكيب "النانو"	Nanostructure	تركيب وهياكل بنيت من مواد "النانو" وهي مواد بنية مجهرية (Microstructure) يميزها قياس طول قليل 1-100 نانومتر، وهذه البنية المجهرية تشير على التركيب الكيميائي وترتيب الذرات (بنية الذرة) وحجم المواد الصلبة ببعد واحد أو بعدين أو ثلاثة أبعاد. والمواد ذات البنية النانوية من الممكن أن تجمع ضمن الدقائق النانوية (Nanoparticles) أي الكتلة البنائية والحالات الوسطية النانوية (NanoIntermediates) والمواد المتراكبة النانوية (Nanocomposites) وقد تكون هذه المواد متوازنة أو غير متوازنة ثرموديناميكيا.
انابيب "النانو"	Nanotubes	انابيب في مقياس "النانو" من امثلتها انابيب "النانو" الكربونية هو عبارة عن انابيب اسطوانية من ذرات الكربون ذات بعد واحد مرتبة بشكل سداسي او خماسي ولها خصائص فيزيائية مميزة جدا.
التصنيع الدقيق	Nanofabrication	تصميم وتصنيع اجهزة بابعاد "النانو"
طباعة "النانو"	NanoLithography	اي عمل من حفر او كتابة او طباعة في نطاق مقياس "النانو"، ويعد الميكروسكوب النفقي الماسح(STM) وميكرسكوب القوة الذرية (AFM) من الادوات التي يمكن بها الحفر والكتابة

		والطباعة على سطح ذو ابعاد ذرية
البئر الكمي	Quantum well	هو مفهوم يستخدم لتفسير سلوك الطاقات النانونية المقيدة وخاصة توزيع الطاقات الميكانيكية
الاسلاك الكمية	Quantum wires	مصطلح اخر لاسلاك "النانو"
البايت الكمي	Quantum bit	اصغر وحدة معلوماتية تستخدم في الحوسبة الكمية
المجهر الالكتروني الماسح	SEM	هو تقنية تصورية تعمل عن طريق تسليط حزمة من الالكترونات للمنطقة المراد دراستها حيث يتم التفاعل بين الالكترونات وذرات السطح مولدة ثلاثة انواع من الاشعة ، الالكترونات المتشتتة من الخلف والالكترونات الثانوية واشعة اكس.
مجهر المجس الماسح	SPM	تحتوي هذه المجاهر على مجس يعمل على تجميع معلومات السطح وذلك عن طريقة التفاعل بين المجس وتضاريس السطح المراد دراسته ، ويندرج تحت هذا النوع مجهر التأثير النفقي الماسح ومجهر القوة الذرية.
مجهر التاثير النفقي الماسح	STM	يعمل عن طريق الحصول على صور للذرات الموجودة على السطح بواسطة مجس ماسح
التجمع الذاتي	Self-Assembly	هو عباة عن ظاهرة طبيعية لتجمع الجزيئات او الذرات في نظم وتراكيب معقدة ، كما هو الحال مع انابيب "النانو" الكربونية.
طريقة التصغير	Top down	يتم إستخدام طرق مختلفة مثل التكسير أو النحت أو الإذابة للمواد الكمية وذلك لتقليل حجمها والوصول الى مواد ذات أحجام في مستوى ابعاد "النانو".
التوليف	Synthesis	هو مصطلح يستخدم لوصف طريقة تحضير وتشكيل مركبات أكثر تعقيداً بإستخدام مكونات بسيطة
طرق التوليف	Synthesis methods	هو وصف للبروتوكول المستخدم لتركيب وانشاء مواد جديدة
المجهر الالكتروني النفاذي	Transmission Electron Microscope (TEM)	أحد أنواع المجاهر الالكترونية وفية تستخدم حزمة من الالكترونات ذات الطاقة العالية لدراسة التركيب الدقيق للعينات وذلك عن طريق الالكترونات النافذة من خلال العينة المدروسة
تحليل اشعة اكس	X-ray analysis	هو عبارة عن تطبيق من تطبيقات اشعة

		اكس للتميز بين العناصر الثقيلة من الخفيفة ويستخدم كذلك في تحديد ومعرفة العناصر الموجودة بالمادة
حيود اشعة اكس	X-ray diffraction	عبارة عن تشتت أشعة إكس من العينَات البلورية والذي يعطي انماط تداخل معينة يمكن من خلالها دراسة التراكيب الدقيقة لهذه البلورات
التجزئة		اختبار خواص احدى العينات يتم التحكم فيه، وذلك بالاستعانة بالمشاهدات والمقاييس المسجلة.
التسمية	nomenclature	تعتبر التسمية الكيميائية نظاما موحدا يستخدم لتسمية المركبات الكيميائية وترجع اهمية التسمية الى ضرورة تحديد وتعريف المواد متناهية الصغر ومن امثلة التسميات في تكنولوجيا ‘‘النانو’’ مواد ‘‘النانو’’ التي تتمتع بالتركيب الكيميائي نفسه مع اختلاف صورها ، مثل الكربون الاسود والماس وانابيب ‘‘النانو’’، هذا غير ان مواد ‘‘النانو’’ التي لها التركيب الكيميائي نفسه مع اختلاف الحجم مثل البلورات الكمية والتي تحتاج الى تعريفات مختلفة ومقاييس منظمة.
التسمية البيولوجية		تستخدم في علم الحيوان للتمييز بين خصائص الفصائل والاجناس الحيوانية المختلفة ويعتمد علم الأحياء على قوانين محددة للتسمية يعلمها جميع العلماء ويطبقونها
البلورات الكهروضغطية		هي بلورات قادرة على توليد الجهد كاستجابة للضغط الميكانيكي الواقع
المحرك الكهروضغطي		هو محرك كهربي يعتمد على تغير شكل المادة في مجال كهربي
النقاط الكمومية	quantum dot	عبارة عن شبه موصل، تكون أيكسيتوناته محددة (مقصورة) ضمن نطاق الثلاثة أبعاد المكانية تكون لتلك المواد خصائصاً إلكترونية تتوسط بين كتل أشباه الموصلات والجزيئات المنفصلة اكتشفها Ekimov Alexei في مطلع الثمانينات من القرن العشرين في مصفوفة زجاجية وكذلك اكتشفها Louis E. Brus في المحاليل الغروانية. إلا أن Mark Reed هو من صاغ مصطلح

		"نقطة كمومية". النقاط الكمومية هي أشباه موصلات تتسم خصائصها الإلكترونية بأنها شديدة القرب والارتباط بحجم وشكل البلورة المفردة كلما تناقص حجم البلورة، كلما تزايدت فجوة النطاق، وكلما تزايد فرق الطاقة فيما بين أعلى نطاق تكافؤ (حزمة تكافؤ) وأقل نطاق توصيل (حزمة توصيل) يصبح عليه الأمر، ومن ثم، تكون هناك حاجةٍ إلى المزيد من الطاقة لإثارة النقطة وفي الوقت ذاته، تنبعث المزيد من الطاقة عند عودة البلورة لحالتها المستقرة
البنية النانوية	Nanostructure	هي الأغراض ذات الأحجام المتوسطة بين البنى الجزيئية وبين البنى المجهرية (ذات الحجم الميكرومتري)
المواد ذات البنية النانوية		تتكون من بلورات بحجم نانومتري من الذهب Au أو كلوريد الصوديوم مع اتجاهات بلورية مختلفة (Crystallographic orientations) أو تريكب كيميائي يختلف كثيرا عن توازنها الثرموديناميكي وهذه المواد تخلق بكيميائ ما فوق الجزيئ (Supramolecular) منتجة تجمعات نانوية تكون أمثلة لهذه التوازنات الثرموديناميكية.
القفص النانوي	Nanocage	هي جسيمات الذهب النانوية المسامية الجوفاء والمرتبة في أحجامٍ تتراوح من 10 إلى 150 نانومتراً. ويتم إنتاج مثل تلك الجسيمات بواسطة تفاعل جسيمات الفضة النانوية مع حمض كلوروذهبيك (chloroauric acid)($H A Cl_4$) في الماء المغلي. حيث أنه في حين امتصاص الجزيئات النانوية الذهبية للضوء في مطياف الضوء المرئي (عند 45 نانومتراً تقريباً)، تمتص الأقفاص النانوية الذهبية الضوء حينئذٍ في المستويات القريبة من الاشعة تحت الحمراء (near-infrared)، حيث تمتص هناك الأنسجة الحيوية الكم الأقل من الضوء. نتيجة أنها أيضاً متوافقةً ضوئياً، تمثل الأقفاص النانوية الذهبية مجالاً واعداً

		على سبيل أنها تمثل مادة تباينٍ في مجال التصوير الطبقي للتماسك البصري optical coherence]] tomography}}، والذي يستخدم التشتت الضوئي بطريقةٍ مشابهةٍ للموجات فوق الصوتية صورٍ حيويةٍ (في- الحيوية) للأنسجةٍ ذات دقة الوضوح التي تقارب الميكرومترات القليلة. تكون مادة التباين مطلوبةً لو أن لهذا الأسلوب القدرة على تصوير الأورام السرطانية في مرحلةٍ مبكرةٍ والتي تُعَدُ مرحلة القابلية للعلاج. هذا وتمتص الأقفاص النانوية الذهبية الضوء ثم تسخن بعد ذلك، مما يؤدي إلى قتل الخلايا السرطانينة المحيطة. كما وظفت مجموعة Xia، العاملة بجامعة واشنطن، والتي تمثل المخترع الأصلي للأقفاص النانوية الأقفاص النانوية ذات الأجسام المضادة للسرطانات، ثم استطاعوا ربط الأقفاص النانوية الذهبية بالخلايا السرطانية بصورةٍ خاصةٍ.
هندسة نانوية	Nanoengineering	هو مصطلح مزاولة الهندسة في المقاييس النانومترية. يستند الاسم إلى النانومتر، الذي هو وحدة قياس ما يعادل واحد من المليار من المتر. الهندسة النانوية ترتبط ارتباطا وثيقا بتقنية "النانو". أول برنامج الهندسة النانوية في العالم وقد بدأ في جامعة تورونتو في العلوم الهندسية البرنامج بوصفه واحدا من خيارات للدراسة في السنوات الأخيرة. في عام 2003، بدأ معهد لوند للتكنولوجيا في برنامج الهندسة النانوية. في عام 2005، أنشأت جامعة واترلو برنامج فريد من نوعه الذي يوفر درجة كاملة في هندسة تقنية "النانو".و جامعة كاليفورنيا في سان دييغو ثم بعد ذلك بفترة قصيرة في عام 2007 مع قسم خاص للهندسة النانوية

علم الأحياء النانوي	Bionanosciences	هو مجال البحث التي ظهر نتيجة لاندماج بين العلوم النانوية (أو التقانة النانوية) وعلوم الاحياء. ويركز على الظواهر النانومترية الحجم في علم الأحياء ،و الموادالمصنعة عن طريق المحاكاة الاحيائية Biomimicry (محاكاة الطبيعة). وهو يركز على البحوث العلمية الأساسية لتطوير العلوم النانوية والتكنولوجيا النانوية فضلا عن علم الأحياء والطب. يشمل علم الأحياء النانوي خواص المواد وتطبيقاتها الميكانيكية (مثل تشوه، الالتصاق، وفشل)، والكهربائية / الإلكترونية (مثل التحفيز الكهربائية، المكثفات، تخزين الطاقة / البطاريات)، والبصرية (مثل الاستيعاب، والتألق، والكيمياء الضوئية، والحرارية، والبيولوجية (مثل خلايا كيف تتفاعل مع المواد متناهية الصغر، الجزيئية العيوب / عيوب، التحس الاحيائي)، والعلوم الدقيقة للمرض (مثل الامراض الوراثية، والسرطان، وفشل الأجهزة أو الأنسجة)، فضلا عن الحوسبة (مثل حوسبة DNA). هذا المجال تعتمد على مجموعة متنوعة من طرائق البحث، بما فيها الأدوات التجريبية (مثل التصوير والوصف عبر مجهر Atomic force microscope القوة الذرية / الملاقيط البصرية وغيرها، وحيود الأشعة السينية، من خلال التوليف الذاتي والتجمع وإعادة الاتحاد لحمض النووي(تقنيات الهندسة الوراثية)...الخ)، مثل الميكانيكا الاحصائية ،الميكانيكا النانوية، وما إلى ذلك)، وكذلك النهج الحسابية (محاكاة من أسفل إلى أعلى المتعددة bottom-up multi-scale simulation وحاسوب عملاق).
الخلية العصبية	Neuron	هي الخلية المخصصة لنقل الايعازات بشكل الكتروكيميائي
الحامض النووي الرايبي	Nueleic Acid Ribo	عبارة عن شريط واحد يحتوي على اليوراسيل وعلى سكر الرايبوز يوجد في

		النواة ضمن النوية وفي السايتوبلازم والرايبوسومات ووظيفته بناء البروتين ونقل الصفات الوراثية
السائل الهلام	Sol-Gel	هي عملية تحول المادة من محلول اكثر غروية إلى شكل جيلاتيني صلب كما في الزجاج والسيراميك
التجمع الذاتي	Self-Assemply	ظاهرة طبيعية لتجمع الذرات أو الجزيئات في نظم وتراكيب معقدة كما هو الحال مع انابيب الكربون النانوية
الروابط الكيميائية	Synapse	هي الروابط المخصصة لربط الخلية العصبية المفردة الواحدة مع الأخرى ومجموع هذه الخلايا العصبية يكون الجهاز العصبي المركزي

أنواع الجسيمات النانوية:

يمكن تصنيف الجسيمات النانوية التي تم تحضيرها حتى الآن إلى ثلاثة أصناف رئيسية

1. الجسيمات المعدنية
2. الجسيمات شبة الموصلة
3. الجسيمات المبلمرة.

الخصائص والصفات الجديدة للجسيمات النانوية[69]:

لقد وجد أن الحصول على بعض المواد بحجمها النانوي يؤدي إلى ظهور خواص كيميائية أو فيزيائية جديدة لهذه المادة، فقد وجد بأن التوصيل الكهربائي للكربون على الشكل (الأنبوب النانوي) هو أكثر منه في الشكل الألماسي، كما لوحظ أن الذهب يكتسب خواص تحفيزية عند تحضيره على شكل نانوي. كما أن السيليكون يصبح متوهجاً عند تحضير جسيمات نانوية منه حيث يختلف التوهج بإختلاف حجم الجسيم النانوي. فمثلاً الجسيمات النانوية ذات البعد 1 نانومتر تعطي وهجاً أزرق بينما الأكبر منها حجماً تعطي وهجاً أحمر.

ويمكن إستخدام هذه الخواص الفيزيوكيمائية في تطبيقات تقنية نانوية جديدة. فمثلاً يُستخدم الضوء الأحمر للذهب النانوي لقتل الخلايا السرطانية دون إحداث أذى للخلايا السليمة. كما يمكن إستخدام التوهج الطبيعي لجسيمات السيليكون في وسم الجزيئات الكيموحيوية المختلفة وبالتالي إستخدامها كطريقة للكشف عن هذه المكونًات في أنظمة حيوية مختلفة.

[69] أ.د. خالد بن مصطفى أبو صلاح، التقنية الحيوية النانوية، طرق التصميم والإنتاج النانوي، مجلة تقنية النانو، العدد الثالث، 2008 ، ص.19.

الحجم[70]

- يؤدي تغير الحجم إلى حدوث تغير مقابل في طبيعة سلوك الجسيمات. فمثلا، إذا صغر حجم جسيم "النانو" عن الطول الطبيعي للإلكترونات أو الفونونات (طاقة الذبذبة)، فإن ذلك يؤدي إلى ظهور أشكال جديدة من التيار الكهربي أو الإنتقال الحراري.
- تتغير الخصائص الديناميكية الحرارية، بما في ذلك المغناطيسية والكهرباء والقدرة الفائقة على التوصيل. عندما تصبح التراكيب بالغة الضآلة وتحتوي على عدد ضئيل من جسيمات "النانو" أو على نظام بالحجم نفسه الذي يميز حجم الجسيم.
- تتميز هذة الأنظمة التي يتروح حجمها بين بضعة أجزاء من عشرة من النانومتر إلى عشرة نانومتر تقريباً، بأنها تقع بين الأحجام العادية والكمية.
- أدى التقدم في تخزين البيانات وتكنولوجيا المعلومات إلى زيادة أعداد الأبحاث التي تتناول الخواص المغناطيسية عند مستوى "النانو". وتتمتع مغناطيسية الجزيئات المعقدة التي تحتوي على الكثير من الذرات بمغناطيسية مركزة بخواص غير عادية.
- على سبيل المثال، تمكّن فريق من العلماء من تحسين قدرة التصوير بالرنين المغناطيسي عن طريق القياس المباشر لإشارة مغناطيسية ضعيفة تصدر عن إلكترون واحد داخل عينة صلبة، وتعتبر هذة النتيجة مهمة في تصميم ميكروسكوب يكوّن صورًا ثلاثية الأبعاد للجزيئات بدرجة دقة وضوح ذرية.
- سوف يتيح إستخدام هذة الأداة للعلماء والمهندسين دراسة المواد مثل البروتينات والعقاقير والدوائر المتكاملة والمواد المحفزة الصناعية عن كثب.
- سوف يؤدي التغير في القوة التركيبية لأحد العناصر بالغة الصغر وكذلك خصائص الاحتكاك وتدفق الموائع (مثل المزيتات) إلى ظهور طرق تصميم جديدة لإجهزة "النانو".
- ثمة بعض العيوب الناتجة عن العمل بمقياس "النانو"، فإذا أراد العلماء تصنيع الأجهزة عند مستوى "النانو" لابد من دراسة خصائصها المعيارية، وعلية ستتغير كذلك خصائص التغير الميكانيكي والتصدع وزيادة توتر السطح والانتشار والتآكل التي ترتبط جميعها بنسبة مساحة السطح إلى الحجم. حتى خصائص الحرارة بالنسبة لأجهزة "النانو" ستختلف كلية عن الأحجام الكبيرة بعد تصغيرها.

---

[70] ليندا ويليامز، د.واد آدمز، تكنولوجيا النانو، وسائل الإتصال، ترجمة د. خالد العامري، مكتبة الأسرة ، 2008. ص.269

جسيمات الفضة نانوية (Silver nanoparticles)

الفضة عنصر كيميائي له الرمز Ag والعدد الذري 47 في الجدول الدوري للعناصر. وهي جسيمات متناهية الصغر للفضة، بمعنى أنها جسيمات الفضة التي يتراوح حجمها ما بين (1 نانومتر - 100 نانومتر) وعادة ما وُصفت بأنها "فضة" وبعضها يتكون من نسبة مئوية كبيرة من أكسيد الفضة نظراً للنسبة السطحية الكبيرة التي يمتلكها مقارنة مع ذرات الفضة السائبة

التخليق "التحضير:

هناك طرق عديدة ومختلفة لإنتاج جسيمات الفضة النانوية ويمكن تقسيمها إلى ثلاث فئات عريضة : الترسيب الفيزيائي للبخار (PVD)، زرع الأيونات، أو الكيمياء الرطبة.

أ. الترسيب الفيزيائي للبخار (PVD)

الترسيب الفيزيائي للبخار (يرمز له اختصاراً PVD من Physical vapor deposition) هو وصف عام لعدد من طرق ترسيب البخار تحت التفريغ من أجل القيام بعملية تكوين طبقة سطحية رقيقة على سطح الركازات، وذلك بواسطة طرق فيزيائية مثل إجراء عملية تبخر عند درجات حرارة مرتفعة وتحت الفراغ مع إجراء عمليات تكثيف متتالية، أو القذف بالرش المهبطي للبلازما. وتجري عمليات الترسيب الفيزيائي للبخار دون حدوث تفاعل كيميائي على سطح الركازة. في حال حدوث هذا الأمر يصنف الترسيب على أنه ترسيب كيميائي للبخار. ويستخدم الترسيب الفيزيائي للبخار في مجال تصنيع نبائط أشباه الموصلات ومجال إضافة الأغشية الرقيقة المعدنية على أسطح المواد البلاستيكية.

ب. زرع الأيونات

على الرغم من إنها قد تبدو غير بديهية إلا أن زرع الأيونات قد تم إستخدامه لتصنيع جسيمات الفضة النانوية.[71] وأظهرت هذه العملية إنتاج جسيمات الفضة المتضمنه في البولي يوريثين والسيليكونو البولي إيثيلينو البولي ميثيل ميثأكريلات. وتنموالجسيمات على الركيزة بواسطة قصف الأيونات. ويتم إثبات وجود الجسيمات النانونية بواسطة الإمتصاص الضوئي وذلك على الرغم من عدم معرفة طبيعة الجزيئات التي تم إنشاؤها بإستخدام هذه الطريقة.

ب. الكيمياء الرطبة

هناك العديد من الطرق الكيميائية الرطبة التي تُستخدم في إنتاج جسيمات الفضة النانوية. وعادة ما تتضمن هذه العلمية على حدوث إختزال لملح من أملاح الفضة مثل نترات الفضة ($AgNo_3$) وبإستخدام عامل مختزل مثل

[71] Physics and Chemistry 28: Stepanov, A. L.; Popok, V. N.; Hole, D. E. (2002). Glass

بوروهيدريد الصوديوم ($NaBH_4$) وذلك في وجود مثبت غروي. وقد تم إستخدام بوروهيدريد الصوديوم مع كحول البولي فينيل والبيروليدون بولي فينيل ومصل زلال أو ألبيومين الأبقار (BSA) والسترات والسليلوز كعوامل مثبته. في حالة (BSA) المجموعات الحاملة للكبريت والأكسجين والنيتروجين تخفف من الطاقة السطحية العالية للجسيمات النانوية أثناء عملية الاختزال. ووجد أن مجموعة الهيدروكسيل في السليلوز تساعد على إستقرار الجسيمات. ويحتوي البوليدوبامين المغلف للسليلوز البكتيري المغناطيسي على مجموعات متعددة الوظائف والتي تعمل بمثابة العوامل المختزلة في إعداد موقع أو الوضع الطبيعي للمواد النانوية المُضادة للبكتريا المعاد استخدامها.[72] وقد تم إستخدام السيترات والسليلوز لإنتاج جسيمات الفضة النانوية المستقلة عن العامل المختزل كذلك. وهناك طريقة جديدة إضافية للكيمياء الرطبة والمستخدمة في إنتاج جسيمات الفضة النانوية قد أخذت فرصة استخدام البيتا-داي جلوكوز كسكر مُختزل والنشا كمثبت. أيضاً من المهم أن نلاحظ أن ليس كل الجسيمات النانوية قد صُنعت متشابهه. وقد تبّين أن الحجم والشكل قد يكون لهم تأثير على فعالية الجسم. بالإضافة إلى ذلك فإن حجم الجانب الكريستالي ومحتوى الأكسيد وعدة عوامل أخرى قد تؤثر أيضاً على الخصائص المضادة للميكروبات

جسيمات حديد نانوية[73]

جسيمات الحديد النانوية (Nanoscale iron particles) هي جسيمات أصغر من ميكرومتر مكوَنة من معدن الحديد. وتكون شديدة التفاعل بسبب كبر مساحتها السطحية المعرضة للخارج نسبة إلى الكتلة. في وجود الأوكسجين والماء، تتأكسد بسرعة لتشكيل أيونات حديد حرة. وهي تُستخدم على نطاق واسع في التطبيقات الطبية والمختبرية وكما درسَت لعلاج المواقع الصناعية الملوثة بالمركبات العضوية المكلورة.

جسيمات البلاتين النانونية (Platinum nanoparticles)

عادة ماتكون في شكل معلق أو مادة غروية وهي جسيمات بلاتينية يقل حجمها عن الميكرومتر في السائل؛ ،غالباً ما يكون الماء. ويعرف الجسيم الغرواني من الناحية الفنية على أنه الجسيم الذي يبقى معلقاً دون تشكيل محلول ذائب أو أيوني. والتعريف التجاري الأوسع "للبلاتين الغروي" يشمل المنتجات التي تحتوي على تركيزات مختلفة من البلاتين الأيوني، البلاتين الغروي، مركبات البلاتين الأيونية، أو جسيمات البلاتين النانونية في الماء النقي.

---

[72] موقع الانترنت، ويكيبديا، **Magnetic antimicrobial nanocomposite based on bacterial cellulose and silver nanoparticles**

[73] **www.ar.wikipedia.org**

تتراوح أحجام جسيمات البلاتين النانونية ما بين (2-3) نانومتر. وتريليونات من جسيمات البلاتين النانونية قد علَقت في المحلول الغروي الأحمر البني أو الأسود. والجسيمات النانوية لها طائفة واسعة المدى من الأشكال بما في ذلك المسطحات ،العصويات ،المكعبات، والقبعات.

ونظراً للخصائص المضادة للأكسدة لجسيمات البلاتين النانونية أصبحت مركز اهتمام الباحثين، لما لها من تطبيقات كبيرة في طائفة واسعة من المجالات بما في ذلك تقنية "النانو"، الطب، وتخليق مواد جديدة ذات خصائص فريدة من نوعها.

التخليق "التكوين"

يتمّ تصنيع جسيمات البلاتين النانونية عن طريق إختزال هكسا كلورو بلاتينات $[PtCl_6]^{2-}$. وبعد إذابة الهيكسا كلورو بلاتينات، يتم تقليب المحلول سريعاً أثناء إضافة المادة المختزلة مما يسبب إختزال أيونات البلاتيين ويحولها إلى ذرات بلاتين متعادلة. ولزيادة تكوَن تلك الذرات البلاتينية، يصبح المحلول مشبع لآخر إستيعابه ومن ثم يبدأ البلاتين تدريجياً في الترسيب على هيئة جزيئات حجمها أقل من النانومتر. وآثار بقية الذرات التي تشكل البلاتين تلتصق بالجزيئات الموجودة وإذا تمّ تقليب المحلول بعنف وبشكل كافٍ، ستكون الجزيئات موحدّة إلى حد ما في الحجم. تم تطبيق العديد من الإجراءات للحصول على جسيمات البلاتين النانونية ويتضمن ذلك التسخين، التكثيف الارتجاعي "التكثيف الرادّ"، التبريد، التقليب، الترشيح والتعبئة، الفحص، الاختبار والتغليف. ولمنع الجزيئات من التجمع، يضاف عادة نوعاً من عوامل الاستقرار أو المثبتات والتي تلتصق بسطح الجسيم النانوي. ويمكن أن يتم توظيفها مع ليجندات "مرتبطات" عضوية مختلفة لخلق هجائن "عضوية مع غير عضوية" ذات تخصصية وظيفية متقدمة.

التأثيرات الحيوية

أسفر البحث الذي قام به " يوسي مياموتو" في جامعة طوكيو باليابان عن إستخدام جسيمات البلاتين النانونية ذات الحجم (2-3) نانومتر لزيادة عمر الربداء الرشيقة "Caenorhabditis elegans" (أحد أنواع الديدان الإسطوانية).

وتتواجد الجسيمات النانوية في قضايا السلامة الممكنة طبياً وبيئياً على حدّ سواء ومعظم هذه القضايا عادة ما تنشأ نتيجة لإرتفاع النسبة ما بين السطح والحجم مما قد يجعل جزيئات بعض المعادن شديدة التفاعلية أو حفّازة. وعلى وجه الخصوص فإن إستنشاق الجزيئات النانوية يُشكّل مخاطر صحية وقد يسبّب التهابات وأمراض في الرئة. حيث أن لديها القدرة على اختراق الأغشية البلازمية في الكائنات الحية ويعتبر تفاعلها مع النظم الحيوية غير معروف نسبياً. ومع ذلك تميل الجزيئات النانوية الحرة في البيئة

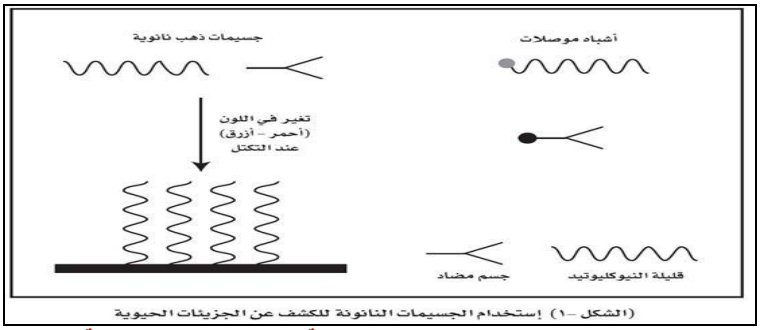
بشكل سريع إلى التكتل وبالتالي تترك النظام النانوي، وتعرض الطبيعة نفسها العديد من الجسيمات النانوية والتي ترفع من مناعة "حصانة" الكائنات الحية على الأرض (مثل الجسيمات الملحية من الهباء الجوي للمحيطات، التربينات من النباتات، أو الغبار من الانفجارات البركانية)

إستخدامات الجسيمات النانوية في الأنظمة الحيوية:

يمكن استخدام الجسيمات النانوية في الأنظمة الحيوية بطرق مختلفة منها:

1. الكشف عن الجزيئات الحيوية[74]:

تم استخدام الجسيمات النانوية على مقياس واسع للكشف عن الجزيئات الحيوية في مقايسة DNA ، المقايسة المناعية والتصوير الحيوي. وللقيام بهذه المهمات يتم تحضير مشتقات من الجسيمات النانوية بإضافة مجاميع وظيفية لها مثل مجسمات قليلة النيوكلوتيدات الموجهه ضد الحوامض النووية ، وبإضافة أجسام المناعة أو البروتينات لإنتاج مجسات حيوية مختلفة لقد تم استخدام المجسات المشتقة من جسيمات الذهب في التعرف إلى البكتيريا الممرضة بواسطة تقنية الأسطر الدقيقة (MICROARRAY) المعتمدة على DNA[75]



(الشكل –١) إستخدام الجسيمات النانوية للكشف عن الجزيئات الحيوية

الشكل (25) يوضح إستخدام الجسيمات النانوية للكشف عن الجزيئات الحيوية

كما تم إستخدام الجسيمات النانوية كمواد وميضية بعد ربطها بمجسات قليلة النيوكلوتيدات أو بأجسام المناعة من النوع (G) للكشف عن الصبغي الآدمي من النوع (Y)

2. فصل وتنقية وتركيز العينات

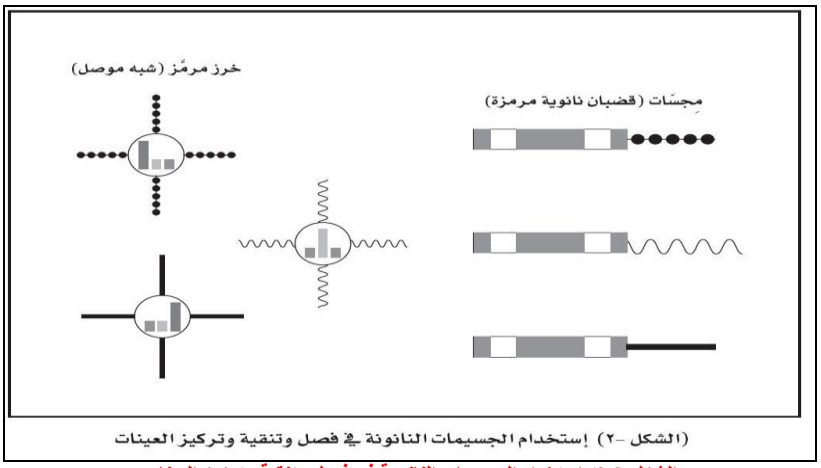
تستخدم الجسيمات النانونية المغناطيسية في فصل وتنقية وتركيز أنواع مختلفة من الجزيئات الحية، ولإنجاز ذلك يتم تثبيت مجسمات أجسام المناعة أو قليلة النيوكليوتيدات على سطح الجسيمات النانوية المغناطيسية. وكطريقة بديلة

---

[74] أ.د. خالد بن مصطفى أبو صلاح، التقنية الحيوية النانوية، طرق التصميم والإنتاج النانوي، مجلة تقنية النانو، العدد الثالث، 2008 ، ص.20.

[75] Taton TA, Mirkin CR, lestinger RL.Scanoetric DNA array detection with nanoparticle probes. Science 2000;289:1757-1760

يمكن تثبيت الجسيمات النانوية المغناطيسية والمجسات على سطح كرة دقيقة مكوَنة من عديد الستيرين مثلاً، وبعد تفاعل الجسيمات النانوية المغناطيسية مع محلول العنية ترتبط الجزيئات المراد فصلها عن سطح الجسيمات.



(الشكل -٢) إستخدام الجسيمات النانونة في فصل وتنقية وتركيز العينات

الشكل (26) استخدام الجسيمات النانوية في فصل وتنقية وتركيز العينات

يوضع المحلول بعد هذه الخطوة في مجال مغناطيسي ليتم جذب وتركيز الجزيئات المرتبطة في موقع محدد من المحلول مما يسهل في عملية فصلها دون غيرها من المحلول.

لقد أمكن بواسطة هذه التقنية :

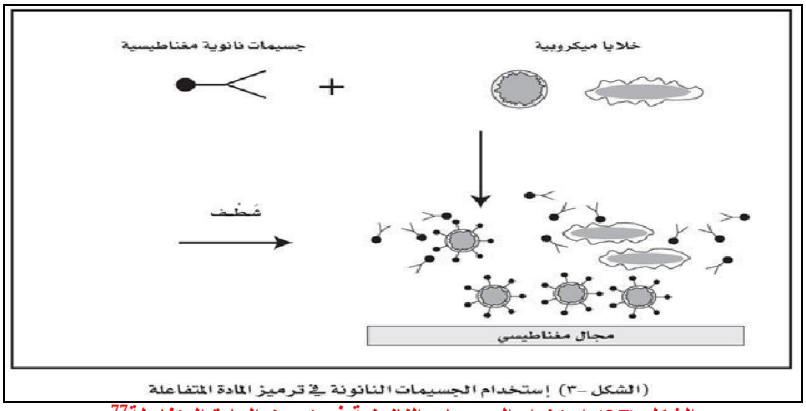
1. فصل وتركيز خلايا ميكروبية معنية من عينات مائية[76]
2. تقنية بلازميدات دانوية (DNA) وبتراكيز عالية من المزارع البكتيرية
3. تركيز المضادات (ANTIGENS) في محالييها
4. إستخدام الأنزيمات المثبتة على سطح الجسيمات النانونية في عملية حفز متخصصة وبكفاءة عالية.

3. ترميز المادة المتفاعلة (Substrate Coding)

تتميز الجسيمات النانوية بميزة فريدة تمكنها من الترميز لمواد متفاعلة ذات ألوان مختلفة وذلك أثناء المقايسات الخاصة بها. ويتبع في إحدى الطرق دفن خليط من شبة الموصلات التي تشع منها الألوان الأحمر والأخضر والأزرق بنسب متفاوتة في حبيبات كروية دقيقة، وبإستخدام ستة ألوان مختلفة وإفتراض أن عشر درجات من الشدة الضوئية يمكن الحصول عليها من كل لون فإنه من المتوقع نظرياً تمييز ما مجموعة مليون حبيبة كروية دقيقة مرمزة لونياَ.

---

[76] HO KC, Tsai PJ, lin Ys. Chen Yc. Using biofunctionlized nanoparticles to probe photogenic bacteria. Anal.chem.2004;76:7162-7168



الشكل (27) استخدام الجسيمات النانونية في ترميز المادة المتفاعلة[77]

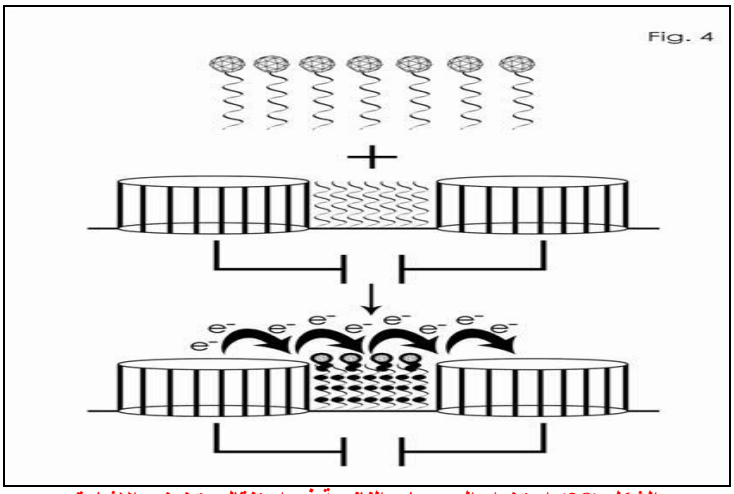
ويتم تثبيتها مع مجسات قليلة النيوكليوتيدات موجهة ضد عشرة أنواع من الجينات متعددة الأشكال المختلفة فقط بموقع نيوكليوتيدي واحد. وبعد التهجين والشطف بـ amplcion معلم وميضياً مأخوذ من وسط تفاعل بوليمرتسلسلي يتم حقن الكريات الدقيقة المرمزة لونياً في جهاز قياس خلايا إنسيابي -flow cytometer ثم إستخدام تحليل الشدة الوميضية للإشارة الهدف واثنتان من الكريات الدقيقة المرمزة لونياً للتعرف السريع على أنواع الجينات متعددة الأشكال المختلفة بموقع نيوكليوتيدي واحد فقط .

4. إستنقال وتضخيم الإشارة (signal transduction)

لتحقيق مقايسة خالية من الوسم الوميضي يمكن إستخدام الجسيمات النانوية كإشارات إستنقالية في أنظمة الكشف الكهربائي أو إشارات التضخيم . لقد طور بارك ورفاقه طريقة ظريفة للكشف عن إشارات تهجين (DNA) بدمج التوصيل الكهربائي للجسيمات النانوية بإستخدام نظام كشف كهربائي. يشمل هذا النظام إعتماد قطبين بمسافة فصل بينهما مقدارها 20 ميكرومتر مع مجسات قليلة النيوكليوتيد مثبتة وموجهة لموقع معين ، في جينات متعددة الأشكال المختلفة بموقع نيوكليتدي واحد فقط ومثبتة في الفاصل بين القطبين . عندما يحدث تهجين بين المجسات المثبته مع (DNA) الهدف المعلم بجسيمات الذهب النانوية تقترب هذة الاخيرة من الإلكترودان. وبعد المزيد من التعزيز بترسيب الفضة على السطح تعمل جسيمات الذهب النانوية كجسر يسمح للتيار الكهربائي بالإنتقال من قطب لآخر مما يحدث تغيراً في التوصيل الكهربائي . وبهذا يتم الكشف الدقيق عن الجينات متعددة الأشكال المختلفة بموقع نيوكليوتيدي واحد فقط عند تراكيز منخفضة تصل إلى 500 فمتومولار

---

[77] knol.google.com



الشكل (28) إستخدام الجسيمات النانوية في استنقال وتضخيم الإشارة

أشباة الجسيمات

- شبة الجسيم[78] عبارة عن جسيم واحد يتحرك داخل نظام ما ومحاط بمجموعة من الجسيمات الأخرى التي تدفع أو تسحب نتيجة الحركة التي يقوم بها (مثل الأثر الذي تخلقه السفينة عند إبحارها في المياة)، مما يؤدي إلى تحريك الكل كجسيم واحد حر.
- تعتبر أشباة الجسيمات من أهم الأفكار الجديدة المطروحة على الساحة اليوم في مجال الفيزياء، نظراً لإنها تنطبق على العديد من الأنظمة.
- في ميكانيكا الكم، يقصد بحالة الإستثارة لأحد الأنظمة (مثل الذرة أو الجزئ أو النواة) أي حالة كمية تتسم بطاقة أكبر من حالة الخمود (الحد الأدني من الطاقة)، فعلى سبيل المثال: حالة الخمود لذرة الهيدروجين عبارة عن وجود إلكترون واحد في أقرب مدار (مستوى الطاقة) ممكن إلى الذرة. حين تحصل الذرات على طاقة إضافية أي تمتص أحد الفوتونات ينتقل الإلكترون إلى حالة الإستثارة. فإذا حصل الفوتون على قدر مناسب من الطاقة، ينفصل الإلكترون عن الذرة، وتصبح الذرة في هذه الحالة مؤينة.
- لا تشكل تفاعلات أشباة الجسيمات أهمية كبيرة إذا تمت في درجات الحرارة المنخفضة، حيث أن درجة الحرارة المنخفضة تسهل على العلماء دراسة تدفق أشباة الجسيمات وخصائصها الحرارية.
- إن معظم النظم التي تتألف من عدة جسيمات تتكون من نوعين من الإستثارات الأولية: أشباة الجسيمات التي تتغير حركتها نتيجة التفاعلات التي

[78] تسمى أشباة الجسيمات التي تتميز باستثارة ضعيفة ومستوى طاقة ضعيف بالإستثارة الأولية.

تتم بينها وبين غيرها من الجسيمات في هذا النظام، والحركة المختلطة للنظام بأكملة. يطلق على هذين النوعين الحالات الجماعية، وتشمل ما يسمى بالبلازمونات.[79]

- تلعب البلازمونات دوراً كبيراً بالنسبة للخصائص البصرية للفلزات ففي حالة معظم الفلزات، يكون تردد الضوء في مدى الطول الموجي للأشعة فوق البنفسجية، الأمر الذي يؤدي إلى لمعانها في المدى الضوئي المرئي.
- على سبيل المثال، يتسم الذهب والفضة بترددات ضوئية في المدى المرئي، الأمر الذي يمكننا من رؤية الألوان التي تبدو عليها هذة الفلزات أو المعادن.
- قد أكتشف العلماء أهمية البلازمونات بالصدفة في عام 1989م، حيث قام أحد الباحثين بدعى توماس إبسين بتسليط شعاع من الضوء على رقاقة من الذهب تحتوي على 100 مليون ثقب (يبلغ عرض كل ثقب نحو 300 نانومتر). كانت جميع الثقوب أصغر من أقصر الأطوال الموجية (نحو 400 نانومتر) للأشعة الضوئية المرئية.
- تنبأت نظرية الكم البصرية بأن حوالي 1000/1 فقط من الضوء المسلط على الثقوب هو الذي سيعبرها ويخترقها، وبتسليط الضوء على الرقاقة، فإن أكثر من نسبة 100%قد تمكن من العبور، بل إن الأشعة الضوئية التي عبرت إلى الجانب الآخر وجد أنها أكبر من تلك التي سلطت وتكررت التجارب ووجدت دائما واحدة.
- ينوي العلماء إستخدام البلازمونات في نقل بيانات الكمبيوتر، بما أنها قادرة على نقل البيانات بشكل أسرع من الإلكترونات عن طريق المسارات الموصلة كشرائح الكمبيوتر القياسية.

الجدول رقم (6) العوامل التى تؤثر على عملية محاكاة التشكيل لجسيمات "النانو":

عامل التشكيل	وظيفتة
عامل وحدة التشغيل	يحول الطاقة الكهربية إلى طاقة ميكانيكية مباشرة
عامل الأنالوج	يستغل الكميات الفيزيائية المتنوعة لتمثيل الواقع
عامل الشريحة الحيوية	تجمع الشريحة بين الخصائص البيولوجية والموانع و/أو الإلكترونيات
عامل المعلوماتية الحيوية	العلم الذي يعبر عن المعلومات الوراثية بالبيانات الرقمية
عامل الحركة البراونية	الحركة العشوائية للجسيمات متناهية الصغر في محلول والناتجة عن التحرك الحراري لجزيئات المذيب

[79] البلازمون عبارة عن شبة جسيم ينتج عن التذبذب الذي يحدث للجسيمات دون الذرية، وهو يتحرك حركة أفقية ورأسية.

عامل النظام الديكارتي(الكارتيزي)	يعرض المفاهيم الجبرية بصورة مرئية على رسم بياني مسطح
عامل الحيود الضوئي	قدرة الموجة على تغيير اتجاهها او تكوين انماط مرئية بتداخلها إما مع نفسها أو مع الموجات الأخرى أو مع المادة
عامل الأنتروبيا	العشوائية التي تتسم بالنظام، ويعبَر عنها احيانا بالحرارة المتولدة عن حجم الوحدة الواحدة
عامل الخواص الظاهرة	تظهر في نظام منظم ذاتيا يتألف من وحدات أقل تعقيدا وبشكل غير متوقع من خواص الوحدة
عامل تكنولوجيا الموائع النانوية	التعامل مع كميات متناهية الصغر من السوائل (الإحصاء العددي أو التحكم المباشر في العملية)
عامل الفلورة	إعادة إشعاع الفوتونات على أطوال موجية مختلفة مع مرور الوقت
عامل الكسر	متشابة من الناحية الحسابية مهما زادت القدرة التكبيرية
عامل الجيوديزية (علم المساحة)	قائم مستقيم يربط بين مركزي دائرتين وهميتين متقاربتين
عامل الدليل غير المباشر	دليل وهمي يدحض النظريات الأولى
عامل الآيسومرات	جزيئات تحتوي على الذرات نفسها مرتبة بطرق متباينة
عامل التأثير الطبقي	تأثير مرور الغاز على سطح صلب
عامل المعالجة الخطية	عملية تعتمد على أجهزة الكمبيوتر وتتم على خطوات متتابعة
عامل القشرة	تصميم بنائي تحمل خلالة الطبقة الخارجية لأحد الأجسام شحنة ميكانيكية
عامل الإليكترونات البصرية	علم التحكم الأوتوماتيكي الذي يعتمد على الكهرباء والضوء
العامل المداري	مسار الإلكترون حول نواة الذرة
المذبذب	يصدر ذبذبات ميكانيكية منتظمة
عامل المعالجة المتوازية	عمليات تعتمد على أجهزة الكمبيوتر وتتم بشكل متزامن
عامل المحفز الضوئي	ضوء يحفز تفاعلا كيميائيا لا يمكن عكسة
عامل التشوة اللدائني	تدفق ضئيل للمادة يزيد من قوة مواد ‘‘النانو’’
عامل الضغط	قوة فيزيائية على وحدة مساحة
عامل البلورات الكمية	جسيمات نانو تعاود الإشعاع عند أطوال موجية معينة عندما تتعرض للأشعة المرئية أو تحت الحمراء
عامل الظاهرة الكمية	طاقة غير قابلة للاختزال تنبعث أو تمتص عند المتسوى الذري أو دون الذري

عامل النفق الكمي	مرور الإلكترونات بحركة ملحوظة خلال جسم صلب متداخل
عامل مسح الشاشة	مسح متكرر لأحد الأسطح بواسطة مجس أو شعاع أيوني
عامل R	مقياس لقدرة عنصر او نظام على توصيل الحرارة
عامل التركيب الذاتي	قابلية العنصر أو النظام لتشكيل نفسة في بنية متكاملة
عامل الدوران الإلكتروني	التحكم في دوران الإلكترون لا شحنته
عامل التقبض	الجذب المتبادل بين الأسطح الثابة المتجاورة في حركات نسبية
عامل الموصل الفائق	مادة توصل الكهرباء ومقاومتها ضعيفة او معدومة
عامل الكهرباء الحرارية	تحويل الكهرباء إلى حرارة أو برودة بشكل مباشر
عامل الطوبولوجيا	رياضيات الصور الفيزيائية وعمليات تحولها
عامل الترنزستور	جهاز إليكتروني لتعديل اشارات الدخل
عامل الانتقال المتوازي	إزاحة ميكانيكية جانبية
عامل سطح الموجة	حافلة امامية كاملة لموجة متحركة