كراسات «الثقافة العلمية»

سلسلة غير دورية تعنى بتيسير
المعـــارف والمفاهيـم العلميـــة

رئيس التحرير أ.د. أحمد شوقى مدير التحرير أ. أحمد أمين

المراسلات:

المكتبـــة الأكاديميـــة
شركة مساهمة مصرية
رأس المال المصدر والمدفوع ١٨,٢٨٥,٠٠٠ جنيه مصرى
١٣١ شارع التحرير - الدقى - الجيزة
القاهرة جمهورية مصر العربية
تليفون : ٣٣٣٦٨٢٨٨ . ٣٧٤٨٥٢٨٢ (٢٠٢)
فاكس : ٣٧٤٩١٨٩٠ (٢٠٢)

المكتبة الأكاديمية
شركة مساهمة مصرية
الحاصلة على شهادة الجودة
ISO 9002
Certificate No.: 82210
03/05/2001
UKAS QUALITY MANAGEMENT

قصة النانوتكنولوجيا

حاضرها ومستقبلها

obeikandl.com

obeikandl.com

قصة النانوتكنولوجيا

حاضرها ومستقبلها

أ.د. فتح الله الشيخ

أ.د. محمود موسى

الناشر

المكتبة الاكاديمية

شركة مساهمة مصرية

٢٠٠٩

obeikandl.com

حقوق النشر

الطبعة الأولى ٢٠٠٩م-١٤٣٠هـ

حقوق الطبع والنشر © جميع الحقوق محفوظة للناشر :

المكتبة الأكاديمية

شركة مساهمة مصرية

رأس المال المصدر والمدفوع ٩,٩٧٣,٨٠٠ جنيه مصرى

١٢١ شارع التحرير .. الدقى .. الجيزة

القاهرة – جمهورية مصر العربية

تليفون: ٣٣٣٦٨٢٨٨-٣٧٤٨٥٢٨٢ (٢٠٢)

فاكس: ٣٧٤٩١٨٩٠ (٢٠٢)

لا يجوز استنساخ أى جزء من هذا الكتاب بأى طريقة كانت إلا بعد الحصول على تصريح كتابى من الناشر .

رقم الإيداع

٢٠٠٨/٢٤٧٣٦

obeikandl.com

كراسات الثقافة العلمية

هذه السلسلة :

تمثل تلبية صادقة للمساهمة فى الجهود التى تعنى بتيسير المعارف والمفاهيم العلمية لقراء العربية. إن هذا المجال المهم، الذى نأمل أن يساعد فى إدماج ثقافة العلم ومنهجه فى نسيج الثقافة العربية، يحتاج إلى طفرة كمية ونوعية هائلة، وإلى فرز للجيد والردىء والنافع وغير النافع، بل وإلى كشف الاتجاهات المعادية للعلم، حتى إن قدمت باسم العلم. إننا ننطلق من قناعة كاملة بتقدير ثقافتنا العربية والإسلامية الأصيلة للعلم والعلماء، ومن استناد إلى تاريخ مشرف للعطاء العلمى المنفتح على مسيرة العطاء العلمى للإنسانية فى الماضى والحاضر والمستقبل، ومن تطلع إلى أن نستعيد القدرة على هذا العطاء كى نشارك فى تشكيل مستقبل البشرية، الذى تلعب فيه الثورة العلمية والتكنولوجية دورًا محوريًّا كقوة دافعة ومؤثرة فى الوعى المعرفى للبشر وفى مجمل أنشطتهم ونوعية

حياتهم، بل وفى قدرتهم على الإمساك بزمام أمورهم. وإذا كنا نؤمن بأهمية تحول مجتمعاتنا العربية إلى مجتمعات علمية فى فكرها وفعلها، فإن ذلك لن يتأتى إلا بنشر واسع ومتميز لثقافة العلم بكل أشكالها. ونأمل أن تكون هذه السلسلة، التى تبنتها المكتبة الأكاديمية، خطوة على هذا الطريق.

هذه الكراسة:

تعرف القارئ بما يطلق عليه «ثورة النانو»، التى يتم فيها التعامل مع المادة الحية وغير الحية على مستويات شديدة الصغر والاستدقاق، مما يفتح آفاقًا تكنولوجية غير مسبوقة فى حياة البشر. وتعد هذه الثورة، مع ثورتى «المعلومات والاتصالات» و «التكنولوجيا الحيوية والهندسة الوراثية»، ركائزًا للتقدم العلمي والتكنولوجى فى الحاضر والمستقبل. وتوضح الدراسات الخاصة بالنقاء وإندماج هذه الثورات الثلاث الإمكانيات الكبيرة لعديد من التطبيقات الجديدة

obeikandl.com

والبازغة فى مختلف القطاعات المؤثرة فى نوعية حياتنا ونشاطنا.

ومع الإهتمام الموجه إلى النانوتكنولوجيا على المستوى القومى فى الآونة الأخيرة، تأتى هذه الكراسة فى موعدها تمامًا. لذلك ترحب سلسلة «كراسات الثقافة العلمية» بنشرها، ونشكر المؤلفين الفاضلين، الدكتور فتح الله الشيخ، أستاذ الكيمياء بجامعة سوهاج، والدكتور محمود موسى، أستاذ الكيمياء بجامعة بنها، على ما بذلاه من مجهود متميز فى تبسيط وعرض مادتها الثرية.

أحمد شوقى

يناير ٢٠٠٩

obeikandl.com

obeikandl.com

فهرس

الموضـــــوع	الصفحة
مقدمة	١١
النانوتكنولوجيا	١٣
بزوغ النانوتكنولوجيا	١٧
تاريخ النانوتكنولوجيا	٢١
الخواص الفريدة للمواد النانوية	٢٨
طرق تحضير المواد النانوية	٣٠
تطبيقات النانوتكنولوجيا	٣٢
مخاطر النانوتكنولوجيا المتقدمة	٨٣
التنمية والنانوتكنولوجيا	٩٠
النانوتكنولوجيا والمجتمع	٩٢
الخطورة على الصحة	٩٥
الخطورة على البيئة	٩٧
الحاجة إلى التنظيم (التحديد والتقييد)	٩٩
الفوائد والأخطار المحتملة للدول النامية	١٠١

obeikandl.com

من الذى يرسم المستقبل	١٠٦
تقرير سنة ٢٠٠٦ والمستقبل	١١٤
الإغراق بالنانوتكنولوجيا	١٢١
مخاطر واحتياطيات	١٢٥

obeikandl.com

مقدمة

حظيت النانوتكنولوجيا باهتمام الجميع فى وقتنا الراهن وهى واعدة بقدر ما هى خطيرة، ويعلق عليها الجميع آمالاً عظيمة ويخشونهـا بشدة. وقد حاولنا جهدنا فى هذا الكتيب أن نضع الصورة بأمانة ووضوح أمام القارئ العربى دون تجميل أو ترهيب وعذرنا فى ذلك أن القارئ يستحق منا هذا الجهد وهذه الأمانة فى العرض. غير أن موضوع النانوتكنولوجيا من الموضوعات الحية دائمة التطور والتغير، الأمر الذى يزيد من صعوبة الاختصار والانتقاء – الاختصار كمًّا والانتقاء كيفًا. وللنانوتكنولوجيا صـفة أو مـيزة أخرى تميزها عـن سائر التكنولوجيات التقليدية، فهى تدخل فـى أساس جميع التكنولوجـيات الأخرى سواء منها التقليدى أو الحديث، ونادرًا ما تستخدم لذاتها دون تشابك مع التكنولوجيات الأخرى، ومن هنا أهميتها وخطورتها.

ولا يسعنا إلا أن نقـــدم جزيـــل الشـــكر للسيد أ.د. أحمد شوقى رئيس التحرير والأستاذ أحمد أمين مدير التحرير، وللمكتبة الأكاديمية على هذه الرعاية القوية للثقافة العلمية في مجتمعنا المتعطش لها. ونحن – من نكتب ونعرض فى باقة السلاسل التى تصدرها المكتبة الأكاديمية – مدينين لها وللصديقين رئيس ومدير التحرير بهذا الدعم وهذا الحماس.

فتح الله الشيخ - محمود موسى

النانوتكنولوجيا :

كلمة تعنى التعامل مع المواد والمعدات فائقة الصغر وذلك بتحضيرها واستخدامها فى التطبيقات المختلفة، وهى المواد التى تقع أبعادها فى حدود 1-100 نانومتر (nm). والنانومتر هو جزء من البليون من المتر (10^{-9} m) أو 0.000000001 ($\frac{1}{1000000000}$) من المتر. وهى أصغر من الميكرومتر ألف مرة وأصغر من المليمتر مليون مرة.

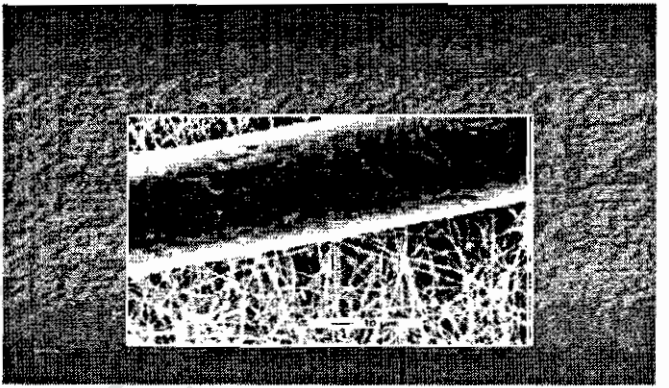
$$1\ nm = \frac{1}{1000}\ um = \frac{1}{1000000}\ mm$$

وللدلالة علي مدى صغر وحدة النانومتر يكفى القول بأن متوسط سمك شعرة رأس الإنسان يتراوح بين 40000 و 50000 نانومتر.

وتجرى العديد من العمليات البيولوجية والفيزيائية فى هذا المستوى من المقاييس (من 0.1 إلى 100 nm) حيث

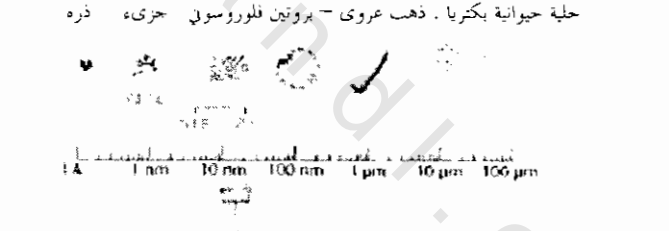
تصبح الصفات الفزيائية للمواد مختلفة عن صفاتها العادية. فمن المعروف أن المواد لا يمكن أن تكون جامدة بمقاييس أصغر من النانومتر (!) وقد حققت النانونكتولوجيا عددًا من الإنجازات المبهرة على الرغم من أنها لم تتخط مرحلة الطفولة بعد. ومن أمثلة هذه الإنجازات : المحولات الحفزية في السيارات والتى تساعد كثيرًا فى إزالة ملوثات الهواء، والتجهيزات الدقيقة فى الكمبيوترات والتى تكتب وتقرأ وتمسح من ذاكرة الكمبيوتر، وكذلك بعض المواد الواقية من أشعة الشمس، ومواد الزينة والملابس المخصصة للرياضيين.

ويعتقد الكثيرون من العلماء والمهندسين والفنيين أنهم لم يمسوا سوى سطح الإمكانيات المهولة للنانوتكنولوجيا فقط. ولتوضيح مدى صغر مقياس النانو تسوق المراجع الخاصة بالنانوتكنولوجيا المثال الشهير التالى :



شكل رقم ١

مقارنة بين عرض شعرة رأس وعرض أسلاك نانوية



شكل رقم ٢

مقياس طولى للأشكال

يبلغ قطر أصغر ذرة – وهى ذرة الهيدروجين 0.1 nm ، وعمومًا يمكن اعتبار جميع الذرات تقريبًا لها القطر نفسه 0.1 nm ، وتتحد الذرات ببعضها بواسطة روابط كيميائية لتكون الجزيئات، وهي أصغر وحدات بناء فى المركبات الكيميائية، ويبلغ قطر الجزئ الواحد المكون من حوالي 30 ذرة ما يقرب من 1 nm . وتتكون الخلايا الحية من الجزيئات، وهى الوحدات الأساسية لبناء الأجسام الحية. وتتدرج أقطار الخلايا فى جسم الإنسان من 5000 إلى 200000 nm أى أنها أكبر من مقياس النانو. أما البروتينات التى تقوم بالعمليات الداخلية فى الخلايا فيتراوح قطرها بين 3 ، 20 nm ، كما أن قطر الفيروسات التى تهاجم خلايسا الإنسان فيتدرج من 10 إلى 200 nm . أما الأدوية المستخدمة لمحاربة هذه الفيروسات فتقع أقطارها فى حدود 5 nm . وقد مارس الناس استخدام تكنولوجيا المواد النانوية دون علمهم بذلك، فقد أبدع صناع الزجاج في القرون الوسطى فى تلوين الزجاج مستخدمين حبيبات الذهب من أحجام أقل من 100 nm .

ووجدوا أن الزجاج يكتسب ألوانًا تتدرج من الأزرق إلى الأحمر تبعًا لحجم حبيبات الذهب. أما الحبيبات التى يزيد قطرها عن 100 nm فإنها تكتسب لون الذهب الأصفر العادى.

بزوغ النانوتكنولوجيا :

ألقى الفيزيائى الأمريكى ريتشارد فينمان[1] محاضرة فى الجمعية الفيزيائية الأمريكية سنة ١٩٥٩ اختار لها عنوانًا غريبًا

---

١ - **ريتشارد فينمان** Richard Feynman (1918-1988) فيزيائى أمريكى عمل فى مشروع «مانهاتن» لإنتاج أول قنبلة نووية أمريكية وفى جامعة كورنيل ومعهد كاليفورنيا للتقانة «كالتك Caltech». تخرج من جامعة برنستون ومعهد ماسيتشوسيتس للتقانة (MIT) اشتهر بالديناميكا الكهربية الكمية (Quantum Electrodynamics) وحصل على جائزة نوبل فى الفيزياء سنة ١٩٦٥ وعلي ميدالية «أورستد» سنة ١٩٧٢. وهو صاحب المقولة الشهيرة التى تؤرخ لبداية النانوتكنولوجيا الحديثة «هناك متسع فى القاع».

: «هناك متسع فى القاع : دعوة للدخول إلى مجال جديد فى الفيزياء».

"There's Plenty of Room at the Bottom: An Invitation to enter a New Field of Physics".

وفى عرضه أكد فينمان على الإمكانات الهائلة المحتملة من وراء استخدام البنى والتصميمات فائقة الصغر، وضرب مثلاً محسوباً حول اختزال الموسوعة البريطانية لتسجل على مساحة رأس دبوس. كما قال بأن كل ما تم طباعته بواسطة البشر فى كل العصور وفى جميع أنحاء العالم يمكن أن يشغل ٣٥ صفحة فقط من الحجم العادى.

ومع أن فينمان لم يصك مصطلح «النانوتكنولوجيا» إلا أنه هو الذى استنتج وتوقع السمات الأساسية لها والتى نعرفها جيدًا اليوم بأجهزتها وطرقها وموادها، كما كان يؤكد على ضرورة توحيد المعلومات والأجهزة والطرق التى يستخدمها الفيزيائيون والكيميائيون وعلماء البيولوجيا، كما كان يؤكد

فينمان دائمًا على مثال الخلية الحية التى تقوم بالعمليات الحيوية على صغرها وتختزن كل المعلومات الخاصة ببنية الكائن الحى ووظائفه فى جزئ «دنا DNA» الحمض النووى الريبوزى منقوص الأكسجين. ولم يظهر مصطلح «نانوتكنولوجيا» إلا فى أواخر سبعينيات القرن العشرين واستخدمه لأول مرة سنة ١٩٧٤ العالم الياباني «نوريو تاينجوشى[١] Norio Taniguchi» فى بحث علمى نشره تحت عنوان «حول المفهوم الأساسى للنانوتكنولوجيا». كما استخدم المهندس الأمريكى «إريك دريكسلر[٢] K. Eric Drexler» المصطلح نفسه فى

١ - **نوريو تانيجوشى** Norio Tanigushi (1912-1999) عمل أستاذًا بجامعة طوكيو للعلوم، وكان أول من صك مصطلح «نانوتكنولوجيا» سنة ١٩٧٤ ليصف عمليات لأشباه الموصلات.

٢ - **إريك دريكسلر** Eric Drexler (0000-1955) مهندس أمريكي حصل على الدكتوراه من MIT وطبعت رسالته فى كتاب بعنوان «الأنظمة النانوية، التصنيع الجزيئى والحاسبات». وحصل الكتاب على جائزة اتحاد الناشرين الأمريكيين، ودريكسلر هو الذى صاغ مصطلح «جراى جوو Grey Goo» فى أول كتاب تناول بالدراسة النانوتكنولوجيا واسمه «آلات الخلق أو الإبداع».

كتابه «آلات الخلق» الذى صدر سنة ١٩٨٦، وهو الكتاب الذى كان له أكبر الأثر فى الاهتمام بالنانوتكنولوجيا وبداية ازدهارها.

وقد شهدت البشرية بزوغ عدد من التكنولوجيات تباعًا، قام بعضها بإزاحة تكنولوجيات أخرى، ومما لا شك فيه أن النانوتكنولوجيا ستأخذ موقعًا هامًا ومتميزًا وستزيح تكنولوجيات أخرى، لكن النانوتكنولوجيا ستدخل فى العديد من التكنولوجيات الأخرى المفيدة وستلعب دورًا محوريًا فى تطويرها. والجدول الآتى يرصد بعض هذه التكنولوجيات.

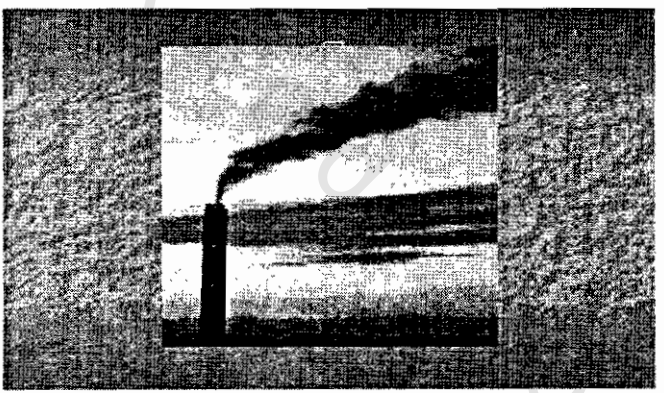
التكنولوجيا البازغة	التكنولوجيا التى أزيحت أو من الممكن إزاحتها	أهم التطبيقات
الذكاء الصناعى	العقل البشرى	إبداع تصميمات ذكية من الممكن أن تحل محل البشر فى القيام بعدد من المهام

البيوتكنولوجيا	التطور	خلق أنواع وتعديل أنواع لتلائم أكثر أغراضًا معينة
المواد الثانوية	التكنولوجيا الصناعية مثل الصلب والألومنيوم	مواد أقوى وأخف
الروبوتات الثانوية	جهاز المناعة	معاونة الجسم فى الشفاء
النفاثات اللحظية	محركات نفاثة وصواريخ	السفر فائق السرعة فى الهواء
الاتصال اللاسلكي	الاتصال السلكي	الاتصال الدائم بجميع الأماكن

تاريخ النانوتكنولوجيا

يعتبر كثير من الناس وبعض المتخصصين خطأ أن النانوتكنولوجيا لم تعرف إلا حديثًا فقط، إلا أن النظر فى تاريخ الحضارة البشرية يكشف أن هناك دلائل عديدة تبين أن البشرية قد عرفت كيف قامت الطبيعة منذ نشأة الأرض

بتكوين المواد النانوية سواء فى غازات البراكين أو فى أدخنة حرائق الغابات أو رذاذ البحار والمحيطات وفى السحب والمواد الطينية. وتبعث الأنشطة البشرية بدقائق المواد الثانوية من تدخين السجائر أو نيران المواقد أو فى عوادم السيارات (دقائق الكربون النانوية). وفى مدينة مثل القاهرة تزدحم بالسكان والسيارات، يستنشق الإنسان فى الشهيق الواحد ملايين من الدقائق النانوية.



شكل رقم ٣

كربون نانوي متصاعد من مداخن قمينة طوب

شكل رقم ٤

لوحة فرعونية مكتوبة بأحبار نانوية

وقد تبين أن الحبر الأسود الذى استخدمه قدماء المصريين فى الكتابة والرسم يتكون من دقائق نانوية من الكربون، كما أن صناع الزجاج فى العصور الوسطى كانوا يستخدمون دقائق الذهب النانونية لتلوين الزجاج بالألوان الأزرق والأخضر والأحمر دون دراية منهم بأنهم يمارسون النانوتكنولوجيا. وتختلف ألوان دقائق الذهب باختلاف أحجامها، فتتخذ هذه

الألوان الرائعة بدلاً من اللون الأصفر العادى. ويمكن للزائر للكنائس العتيقة فى أوربا، مثل كنيسة نوتردام بباريس، أن يشاهد هذه الباقة من الألوان الخلابة. وفى العالم الإسلامى استخدم صناع الزجاج دقائق الفضة والنحاس بدلاً من الذهب فى تلوين منتجاتهم من قطع الزجاج بألوان جميلة متعددة، ولم يكونوا على دراية بما يطرأ على خواص المادة عندما تتناهى دقائقها فى الصغر لتصل إلى المقاييس النانوية (أقل من 100 nm)، وأن ذلك سيطلق عليه يومًا ما «نانوتكنولوجيا».

وتقوم الطبيعة باستخدام خواص الدقائق النانوية فى إبداع تكوينات اللؤلؤ داخل المحارات وألوان أجنحة الفراشات وهى تعكس الأشعة الضوئية بألوان زاهية جميلة. أما أول مصنع نانوى فلم يكن من نتاج الثورة الصناعية، بل جاءت به الطبيعة فى النباتات الخضراء، ولذلك يطلق عليه المصنع الأخضر. ويقوم الكلوروبلاست الموجود فى خلايا النباتات على شكل دقائق نانوية بتخزين الطاقة فى النباتات

على صورة كربوهيدرات ... وهو مصنع ليس به إطارات أو محركات أو مكابس ولا يستخدم الوقود الحفرى الملوث للبيئة أو المواد التى تتطلب طاقة هائلة لإنتاجها مثل الصلب أو الألومنيوم.

وقد بدأت النانوتكنولوجيا فى العصر الحديث مع تطوير الميكروسكوبات وزيادة مقدرتها على رؤية التفاصيل الدقيقة للمادة حتى المقياس النانوى. وبفضل هذه الميكروسكوبات استطاع العلماء رؤية الذرات وطرق ترتيبها مع بعضها وارتباطها القوى بفعل الروابط الكيميائية المتنوعة لتعطى فى النهاية الأجسام الكبيرة والأجهزة والمعدات والمحركات والمضخات والسيارات وغيرها الكثير من الأشياء بأحجام نانوية متدرجة.

وقد استخدم البشر الدقائق النانوية لتميز خواصها عن خواص المادة فى الأحجام العادية دون معرفة بتناهى صغر هذه الدقائق، ولذلك جاء استخدامهم لها محدودًا. ولكن بعد

اختراع الميكروسكوب الإلكتروني[1] بأنواعه المختلفة ورؤية الدقائق النانوية وظهور إمكانية التحكم فى تحضير المواد النانوية ودراسة خواصها، اتسع مجال استخدام وتطبيق هذه المواد وخواصها وبزغت النانوتكنولوجيا الحديثة.

ومما لا شك فيه أن مقولة الفيزيائى الشهير ريتشارد فينمان التى وردت فى بداية حديثنا عن «بزوغ

---

١ – الميكروسكوب الإلكتروني نوع من الميكروسكوبات يستخدم الإلكترونات لخلق صورة مكبرة للأشياء. وقوة تكبيره أكبر كثيرًا من الميكروسكوبات الضوئية العادية (قد تصل إلى مليونى مرة فى بعض الحالات) وقوة تكبيرًا لميكروسكوب الإلكتروني فى الحالات العادية 2000 مرة. ويتحكم طول موجة الإلكترونات أو الشعاع الضوئى فى قوة تكبير الميكروسكوبات الإلكترونية أو الضوئية. ومن أنواعه : الميكروسكوب الإلكترونى الماسح (SEM) والنافذ (TEM) والعاكس (REM) والماسح النافذ (STEM) . ويتطلب الميكروسكوب الإلكترونى إعدادًا خاصًا للعينة. وقد تم بناء أول ميكروسكوب إلكترونى سنة ١٩٣١ بواسطة المهندسين الألمانيين إرنست روسكا، وماكس نول.

النانوتكنولوجيا» هى بمثابة شهادة ميلاد هذه التكنولوجيا والتى تحررت فى ٢٩ ديسمبر سنة ١٩٥٩ فى أحد قلاع التكنولوجيا العظيمة وهو معهد كاليفورنيا للتقانة «كالتك Caltech» بالولايات المتحدة. غير أن الإرهاصات التى سبقت هذا الميلاد قد جاءت على يد علماء القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين حيث وردت أول إشارة للمفاهيم المميزة للنانوتكنولوجيا، دون استخدام للإسم مباشرة، على لسان جيمس كلارك ماكسويل سنة ١٨٦٧ عندما افترض وجود كيان دقيق قادر على التعامل مع الجزيئات فى تجربة ذهنية وأطلق عليه «عفريت ماكسويل». أما أول المشاهدات والقياسات لأحجام الدقائق النانو فقد تمت فى أوائل القرن العشرين وترتبط باسم «زيجموندى» الذى أجرى دراسات تفصيلية على الذهب الغروانى[١] ومواد نانوية أخرى بلغ

---

١ - **الغروانى** Colloid نوع من المخاليط تنتشر فيه أحد المواد بانتظام وتجانس فى وسط من مادة أخرى. ولبعض الغروانيات شـــكل=

قطرها 10 nm وأقل، ونشر أبحاثه سنة ١٩١٤ فى كتاب «الغروانيات والميكروكسوب الفائق». وكان زيجموندى أول من استخدم وحدة «نانومتر nm» وحدد طولها بـ $\frac{1}{1000000}$ من المليمتر، كما أنه أوجد نظامًا للتقسيم بناء على حجم الدقائق لأول مرة.

الخواص الفريدة للمواد النانوية

اكتشف العلماء كما ذكرنا سابقًا أن المواد عندما تصل أبعاد دقائقها إلى المقاييس النانوية (1-100 nm) تكتسب

= المحاليل الحقيقة. وتتكون الأنظمة الغروانية من صنفين : الصنف المنتشر (المفتت) أو الصنف الداخلى، والصنف المستمر أو وسط الإنتشار. وقد يكون الصنف المنتشر جامدًا أو سائلاً أو غازًا. وعادة ما تقع أبعاد دقائق هذا الصنف بين 1 nm ، و 1 um . وأشهر مثال على الأنظمة الغروانية هو الحليب. ومن أنواعها الأيروسولات والمستحلبات والرغويات والهيدروسولات.

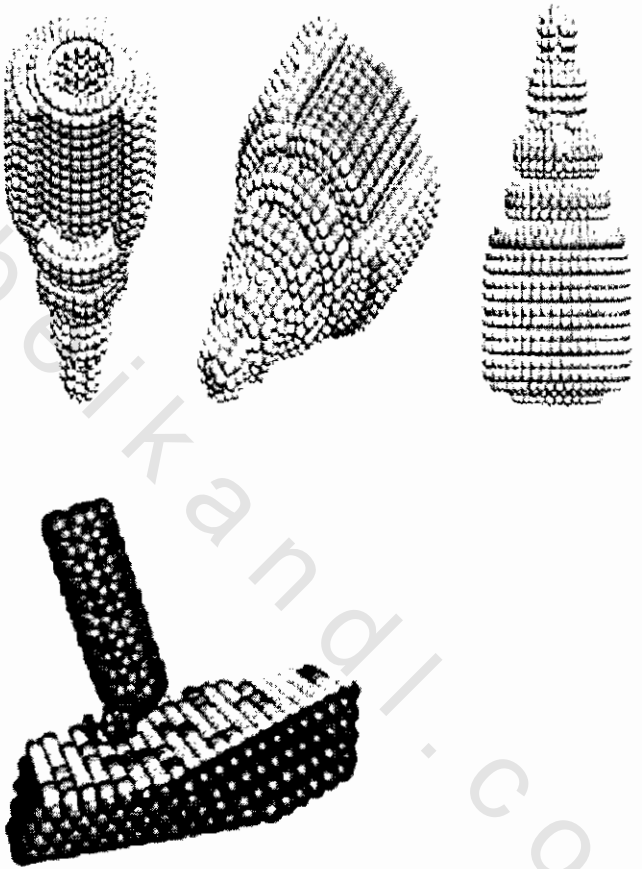
خواصًا فريدة ومتميزة. ويعود ذلك إلى أنه للمواد النانوية مساحة سطح هائلة مقارنة بحجمها الحقيقى، ومقارنة بالوزن نفسه من المادة نفسها إذا كانت دقائقها كبيرة. وحيث إن أسطح المواد هى المسئولة عن النشاط الكيميائى والخواص الضوئية وغيرها، فإنها تحدد السلوك الكيميائى فائق النشاط والألوان المختلفة، بل وظهور بعض الصفات التي لم تكن موجودة مثل الخواص المغناطيسية. فمن الطريف أن الذهب عندما تصغر دقائقه إلى الحجم النانوى تظهر له ألوان مختلفة، كما أنه للغرابة الشديدة يبدى صفات مغناطيسية واضحة لم تكن موجودة فى الأحجام العادية. والأساس الرئيسى للخواص الفريدة المتميزة للمواد النانوية يعود بالدرجة الأولي إلى الزيادة الهائلة فى نسبة مساحة السطح إلى حجم الدقائق (تتضاعف هذه النسبة عشر مرات كلما قل نصف القطر عشر مرات).

طرق تحضير المواد النانوية

الأساس فى النانوتكنولوجيا هو استخدام المواد التى تتراوح أبعاد دقائقها بين 1 ، 100 nm ، سواء كان هذا الاستخدام مباشرًا أو غير مباشر فى تصنيع تجهيزات وتركيبات ومعدات نانوية. وتوجد طريقتان رئيسيتان لتصنيع تلك المواد : طريقة التحرك من أسفل إلى أعلى وطريقة التحرك من أعلى إلى أسفل.

أ - التحرك من أعلى إلى أسفل Top-down

فى هذه الطريقة يقوم الفنيون بتكسير المواد ذات الأحجام الكبيرة إلى قطع ذات أحجام صغيرة. وتستخدم هذه الطريقة فى تصنيع شرائح الكمبيوتر (الشيبات)، ووحدات التخزين الدقيقة فى الكمبيوتر، ووحدات الذكاء، والدوائر المتكاملة، ووحدات المنطق، ووحدات التقطيع الميكانيكية والمرايا الضوئية عالية الدقة.



شكل رقم ٥

أشكال توضح طريقة تركيب الذرات من أسفل إلى أعلى

ب - التحرك من أسفل إلى أعلى Bottom-up

وتعتمد هذه الطريقة فى الأساس على تجميع الذرات والجزيئات التى تتميز بأحجام صغيرة جدًا لتكوين تركيبات وأجهزة نانوية. وتختلف هذه الطريقة عن الطريقة (أ) فى أنها لا تتطلب معدات دقيقة لتقطيع المواد كبيرة الحجم، أما فى هذه الطريقة فإن الذرات تتوجه إلى المواقع التى نرغب فى وضعها فيها بواسطة طرق مختلفة ومواد تجميع من نوع التجميع مع الترتيب.

تطبيقات النانوتكنولوجيا

تعتمد تطبيقات النانوتكنولوجيا على خواص المواد النانوية الفريدة والمتميزة والناتجة عن مساحة أسطحها الهائلة ووجود حدود فاصلة كبيرة جدًا بين دقائقها وعدم التصاقها ببعضها. ومع النقص فى قطر الدقائق النانوية تزداد مساحة سطحها بشكل واضح. ومن تطبيقات الجيل الأول للمواد

النانوية استخدام كل من أكسد التيتانيوم وأكسد الزنك على شكل دقائق نانوية لحماية الجلد البشرى من أشعة الشمس، وكذلك استخدامها فى مساحيق التجميل. كما تدخل بعض المنتجات النانوية فى الصناعات الغذائية. وقد استخدمت دقائق الفضة النانوية فى محاربة الأمراض ومعالجة الأقمشة والتحف. ويستخدم أكسيد السيريوم النانوي بمساحة سطحه الهائلة كعامل حفاز[1] فى خلايا

---

١ - الحفز Catalysis العملية التى تزيد بها سرعات التفاعلات الكيميائية أو العمليات البيولوجية عن طريق إضافة عامل يسمى عاملاً حفازًا إلى وسط التفاعل. ومن المعروف أن ٩٠ ٪ من المنتجات الكيميائية تتضمن استخدام العوامل الحفازة أثناء تصنيعها مثل الأسمدة والصناعات الكيميائية الأساسية (حمض الكبرتيك والنشادر وحمض الهيدروكلوريك والنشادر). والإنزيمات هى العوامل الحفازة فى التفاعلات البيولوجية، وهى من أنواع البروتينات. وتستخدم السيارات منذ مدة طويلة عوامل حفازة فى المحولات الحفزية لإتمام احتراق أول أكسيد الكربون والهيدروكربونات.

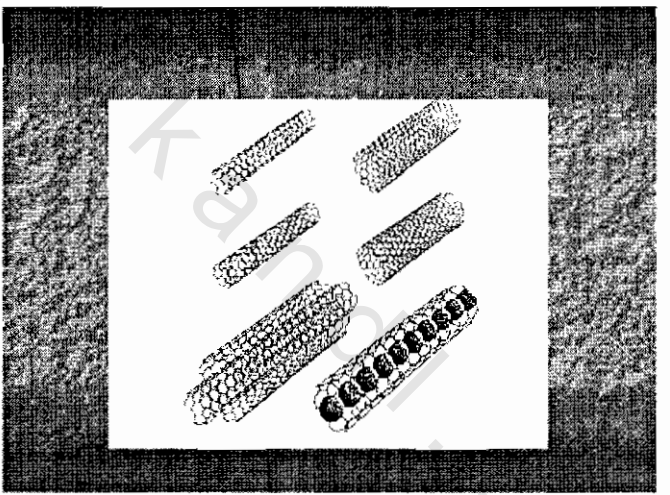
الوقود[1]. وفيما يلى سنعرض بعض أمثلة التطبيقات المختلفة للمواد النانوية فى المجالات المتنوعة.

فأجنحة الطائرات المصنعة من أنابيب الكربون النانوية خفيفة الوزن قوية التحمل، أما المغناطيسات فستصبح مقدرتها التخزينية أكبر مائة ألف مرة من أقراص التخزين الحالية. ومن الطبيعى أن تستغل المزايا العديدة للمواد النانوية التى هى أخف 200 مرة من المواد المصنعة الحالية وأقوى منها 100 مرة، وذلك فى تصنيع العربات والرافعات والطائرات

---

١ – **خلايا الوقود** Fuel Cells خلايا كهربية تنتج الكهرباء من التفاعل العكسى للتحلل الكهربى للماء، أى من تفاعل تكون الماء من الهيدروجين والأكسجين على قطبى الخلية. وقد جاء اسم **الوقود** لأن الهيدروجين وبعض أنواع المركبات العضوية مثل الكحول يتم أكسدتها على الآنود (المصعد) بينما يتم اختزال الأكسجين على الكاثود (المهبط). وكل من الآنود والكاثود أقطاب حفازة لتشجيع الأكسدة والاختزال، وتستخدم خلايا **الوقود** فى سفن الفضاء وبعض السيارات حتى الآن، وينتظر لها مستقبل واعد بفضل تطبيق النانوتكنولوجيا.

وسفن الفضاء، الأمر الذى سيخفض كثيرًا من استهلاك الطاقة. وتنتج حاليًا سبائك نانوية من كربيد سبيكة «التنجستون-كوبلت» التى لها قوة الماس وتستخدم فى معدات التقطيع.



شكل رقم ٦

أشكال مختلفة من أنابيب كربون نانوية

أ - التطبيقات الطبية

فى عام ١٩٩٧ اكتشف طبيب أعصاب أن جزءً من مخ شاب فى حجم ظفر الإصبع يسبب له مشكلة مرضية عويصة، فهو يعانى من نوبات صرع متكررة وصلت إلى حد ١٨ مرة فى اليوم الواحد. وكان السبب وجود فص عظمي مدفون فى مركز الإبصار. حاول الطبيب أن يوقف تلك النوبات بواسطة الأدوية لكنه لم ينجح فى ذلك، وكان الحل الوحيد هو التدخل الجراحى، غير أن ذلك كان سيؤدى إلى تهتك الأنسجة الحية المحيطة بالفص العظمى فى مركز الإبصار، الأمر الذى قد يؤدى إلى أن يفقد المريض بصره، وبمواجهة المريض بأبعاد المشكلة قرر ألا تجرى له الجراحة مفضلاً الاحتفاظ ببصره مع تناوب نوبات الصرع. أما اليوم فإن المتخصصين فى النانوتكنولوجيا قد تمكنوا من حل هذه المشكلة وقدموا للجراحين أدوات دقيقة مصنوعة من الأنابيب الكربونية النانوية لها القدرة على التحرك بين الخلايا

والأنسجة السليمة فى المخ وإصلاح الخلايا المريضة دون أن تمس الخلايا والأنسجة السليمة، الأمر الذى فتح أبواب الأمل لإجراء العديد من الجراحات الدقيقة فى الأماكن الحساسة فى الجسم مثل المخ والتى كان من الصعب على الجراحين إجراءها فى الماضى نظرًا لعجز الأدوات الجراحية عن مستوى الدقة والحساسية اللازمتين لنجاح الجراحة.

والتطبيقات والفوائد الطبية للنانوتكنولوجيا أكثر من مثيلاتها فى المجالات الأخرى. ففي المستقبل القريب سيتمكن الأطباء من إدخال الأدوية إلى الجسم ونقلها إلى أماكن محددة بداخله، وسيساعد ذلك كثيراً فى نمو ومعالجة الأنسجة البشرية انتقائيًا. وسيقوم المتخصصون باختراع غواصة نانوية دقيقة تحمل الأدوية وتبحر داخل الأوعية الدموية للإنسان مستهدفة أماكن المرض لعلاجها بالدواء أو بالجراحة، كما ستظهر فى الأسواق الأدوية النانوية الانتقائية.

والقائمة التالية ترصد أهم التطبيقات الطبية الواعدة سواء قريبة أو بعيدة الحدوث :

١- الإسعافات الطبية الأولية.

٢- شرائح مزروعة تحت الجلد للتنبؤ بالأمراض وتشخيصها.

٣- معمل تحاليل طبية كامل على شريحة بحجم طابع البريد.

٤- صيدلية على شريحة.

٥- قذيفة طبية ذهبية موجهة إلى أماكن محددة فى جسم الإنسان.

٦- توصيل الأدوية حسب الطلب.

٧- توصيل الأدوية إلى أماكن معينة وخلال فترات زمنية محددة.

٨- علاج الأورام بالتسخين.

٩- تصنيع قطع الغيار والأجزاء التعويضية.

obeikandl.com

١٠- تكوين ونمو الأنسجة.

١١- معالجة فقد البصر.

١٢- زرع الأعضاء المستقر علي المدى الطويل.

١٣- محاربة الجراثيم.

١٤- تتبع الأمراض داخل الجسم.

١٥- غواصة نانوية للإبحار فى الأوعية الدموية.

وسنتناول بعض هذه التطبيقات بشئ من التفصيل.

أ١- الإسعافات الطبية الأولية.

لو تخيلنا أن مريضاً قد توقف قلبه فجأة وهو فى مكان منعزل بعيد عن العمران، فمن الذى يستطيع مساعدته فى هذه اللحظات الحرجة؟ إنها النانوتكنولوجيا فقط؛ أما كيف يتم ذلك؟ يتم ذلك من خلال ملابس خاصة مزودة بمواد نانوية مصنعة على هيئة مفصلات دقيقة. فإذا توقف القلب عن العمل يقوم جهاز صغير مزروع داخل ملابس المريض

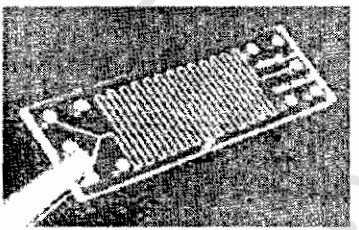
بإرسال إشارة إلكترونية تجعل تلك المفصلات تتمدد وتنكمش دوريًا فى منطقة الصدر، وتظل تعمل كذلك حتى يعود القلب إلى العمل مرة أخرى (عملية تدليك للقلب).

أ٢- شرائح التنبؤ بالأمراض.

وهى شرائح نانوية تزرع تحت الجلد يمكنها من خلال مواد نانوية موجودة على الشريحة مساعدة الأطباء فى التعرف على الأمراض ومعالجتها بطريقة انتقائية أسرع وأكفأ، وذلك بحمل الدواء المناسب للمرض ونقله إلى المكان المطلوب (الدواء الموجود على الشريحة). ويمكن لتلك الشريحة معالجة العديد من الأمراض في المرة الواحدة دون الحاجة إلى زرع شريحة خاصة لكل مرض. وفى الوقت الحالى تمر شريحة خاصة بمرض السكر بمراحل التجارب النهائية، وهى قادرة على قياس مستوى السكر فى الدم وبناء عليه تقوم بإرسال كمية مناسبة من الإنسولين لمعالجة السكر.

أ٣- معمل تحاليل طبية كامل على شريحة .

يحتاج الطبيب أحيانًا للكشف السريع عن بعض الأمراض وخاصة فى الأطفال حديثى الولادة، وهو فى ذلك يستخدم عينات صغيرة جدًا لا يمكن إجراء التحاليل عليها بالطرق العادية. وقد حلت النانوتكنولوجيا هذه المشكلة من خلال شريحة صغيرة جدًا فى حجم طابع بريد تحتوى على جميع الكواشف بحجوم نانوية ومعزولة عن بعضها البعض. ومن خلال هذه الشريحة من الممكن التنبؤ والكشف عن الأمراض بسرعة فائقة.



شكل رقم ٧

شريحة معمل نانوى

أ٤- القذيفة الذهبية والتوصيل الخاص.

يمكن من خلال النانوتكنولوجيا تصميم «رصاصة» أو قذيفة ذهبية تستطيع حمل الدواء إلى المكان المناسب المحدد داخل جسم الإنسان ثم إعطاء إشارة البدء لبث الجرعة المطلوبة من الدواء الموجود داخل القذيفة. وتساعد هذه الطريقة فى التغلب على الآثار الجانبية للأدوية ومواجهة تدمير الخلايا والأنسجة السليمة. ويحاول المتخصصون الآن تطوير أداء القذيفة الذهبية الحاملة للأدوية وتحسين مواصفات غلافها حتى لا يتأثر بالسوائل الحيوية داخل جسم الإنسان.

أ٥- الوصول إلى الهدف.

تجرى الآن محاولات تصنيع كبسولات نانونية يحمل سطحها مواد نانوية لها المقدرة على الاتصال ببعض الخلايا دون الأخرى. فمثلاً تختلف أسطح الخلايا السرطانية عن الخلايا العادية غير السرطانية فى مكوناتها الكيميائية. ولذلك فإن تصنيع كبسولات نانوية تحمل على سطحها مواد يمكن

أن تتعرف على أسطح الخلايا السرطانية وتلتصق بها، الأمر الذى يساعد على توصيل الكبسولات النانوية مباشرة إلى الخلايا المصابة دون غيرها لتبدأ فى معالجة تلك الخلايا بواسطة بث الأدوية الموجودة داخل الكبسولات من خلال ثقوب يمكن التحكم في قطرها لتصبح أكبر قليلاً من قطر جزيئات الأدوية. وسيؤدى ذلك إلى انسياب وسريان الأدوية خارج تلك الكبسولات النانوية والتحكم فى الجرعات التى تدخل تلك الخلايا.

٦- إنسان آلى وميكروسكوب إلكترونى

يحاول المتخصصون الآن تصنيع ميكروسكوب نانوى محمول على روبوت (إنسان آلى) يمكن إدخاله وتوجيهه داخل جسم الإنسان إلى حيث توجد الخلايا السرطانية لينتزعها ويحملها إلى مجرى الدم لإخراجها خارج الجسم على شكل مخلفات.

أ٧- العلاج بالتسخين

تمكن المتخصصون من تسخين (حرق) الخلايا السرطانية دون غيرها من الخلايا السليمة، وذلك بإرسال مغناطيسات نانوية لتلتصق بالخلايا السرطانية كما ذكرنا سابقًا. وباستخدام مغناطيس خارجي يمكن تحريك تلك المغناطيسات النانوية فيحدث احتكاك بينها وبين الخلايا السرطانية فتسخن الأخيرة إلى درجة تقترب من ٦٠ سلزية فتموت هذه الخلايا المريضة. وسوف تقلل هذه الطريقة من الآثار الجانبية للعلاج الكيميائي والذى يقضي على الخلايا السليمة والسرطانية معًا. وقد بدأ تطبيق هذا العلاج منذ سنة ٢٠٠٥ ويتم تطويره الآن بواسطة علماء وأخصائيين من جامعتى كيل وشيفلد.

أ٨- نمو الأنسجة والأعضاء.

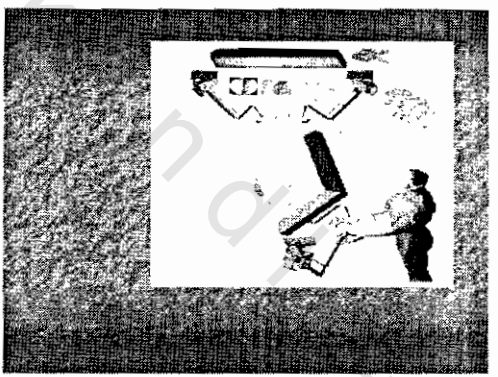
أخذت معرفة العلماء وفهمهم للخلايا الحية وطرق تكوين الأنسجة تزداد فى الأوقات الأخيرة، وهم يحاولون تنمية هذه الأنسجة من خلال النانوتكنولوجيا على هيئة

منصة. وبمجرد تجميع خلفية حية تبدأ الأخيرة فى توجيه وتنمية نفسها بتكوين طبقة جديدة. وبهذه الطريقة يمكن إصلاح ونمو أعضاء حية فى المعمل. فالعضو الجديد يمكن أن ينمو من خلال خلايا حية قليلة مأخوذة من جسم المريض، كما يمكن لصق الأنسجة بعضها ببعض، وهكذا يمكن من خلال هذه التقنية التغلب علي مشكلة رفض الجسم للأعضاء المزروعة. وتتعامل هذه التقنية مع نوع الخلايا المسمى بالخلايا الجذعية.

٩- أطقم قطع غيار لجسم الإنسان.

كما ذكرنا سابقًا يستطيع المتخصصون الآن أن يجعلوا الأنسجة الحية تنمو داخل وخارج جسم الإنسان، وهكذا يمكن للأطباء استبدال أو إصلاح الأجزاء المعطوبة أو التالفة بأجزاء أخرى سليمة داخل الجسم. كما يمكنهم استبدال بعض الأجزاء بمواد نانوية أقوى وأخف لا يلفظها الجسم، فمن المعروف مثلاً أن الماس (الكربون) هو أحسن صديق

للعظام (لأن جسم الإنسان يتكون من مواد كربونية)، وبذلك إذا استخدم مسمار حلزونى من خام الصلب للحام وتوصيل العظام المكسورة وتغطيته بطبقة رقيقة من الكربون الماسى النانوى أمكن لحام العظام وتوصيلها دون أن يلفظها الجسم أو تسبب له الآلام كما كان فى السابق باستخدام مسامير الصلب فقط.



شكل رقم ٨

أجزاء جسم تعويضية مصنعة من مواد نانوية

أ١٠- معالجة فقد البصر.

يمكن للنانوتكنولوجيا معالجة فقد البصر وذلك بواسطة زرع مواد نانوية فى خلفية العين (الشبكية) وتوصيلها بالخلايا العصبية أولاً ومن ثم توصيلها بالمخ. وتستطيع هذه الأجزاء النانوية استقبال الإشارات الضوئية من خلال كاميرات مثبتة على زوج من الزجاج فى مقدمة العين.

أ١١- زراعة طويلة الأمد لأعضاء الجسم:

تتم زراعة العديد من أعضاء الجسم مثل صمامات القلب والعظام الصناعية المصنوعة من سبائك التيتانيوم والصلب الذى لا يصدأ، وهى مواد من النوع المتوائم مع الأنسجة الحية فلا يقوم الجسم بلفظها بسهولة. وهذه المواد مصمتة ليس بها مسام. ولجعل العظام الصناعية المزروعة تحاكى العظام الطبيعية لابد لأنسجة الجسم أن تكسو تلك العظام الصناعية لتعطيها القوة اللازمة وسهولة الحركة. وبما أن هذه العظام مصمتة غير مسامية فإن أنسجة الجسم لا تستطيع أن تتغلغل

خلالها وتحيط بها بدرجة كافية مما يقلل من كفاءتها. وقد إزداد الطلب على هذه المواد الصناعية مرتفعة الثمن ومنخفضة الكفاءة نسبيًا. وهنا قام المتخصصون بإمداد الأطباء بمادة الزركونيا النانوية، وهى مادة سيراميكية (حرارية) تتميز بالصلابة ومقاومة التآكل بالاحتكاك والصدأ فى وسط سوائل الجسم الحيوية، وهى سوائل تسبب تآكل الفلزات وتؤثر على المواد الصناعة المزروعة فى الجسم. أما المواد السيراميكية فهى تحتوى على ثقوب تتخللها الأنسجة مما يزيد من قدرتها وكفاءتها. ويتم ذلك بواسطة تحضير تلك المواد بتقنية تحول الغرواني سول إلى الغروانى جيل وتسمح بتحضير المواد بأوزان أقل من أوزان المواد الطبيعية مائة مرة. وستؤدى تلك الطريقة إلى زيادة كفاءة الأعضاء المزروعة وخفض أثمانها. وتستخدم حاليًا مادة كربيد السيليكون النانوية فى صناعة صمامات القلب نظرًا لصغر وزنها وقوة تحملها وشدة صلابتها وقدرتها على مقاومة الاحتكاك والتآكل بواسطة سوائل الجسم.

ب - الطاقة :

تجرى أبحاث كثيرة فى مجال استخدام المواد النانوية لتحسين أداء إنتاج وتخزين ونقل الطاقة بدلاً من المواد التقليدية. وقد قامت إحدى الشركات باستخدام غشاء من بولمر شبه منفذ لزيادة كفاءة نظم التسخين والتبريد وذلك بالتحكم فى حجم الثقوب الموجودة فى الغشاء وهى فى حدود مقياس النانو، وذلك لمنع الهواء من المرور مع السماح للرطوبة بالمرور خلال الغشاء وفى الوقت نفسه قامت شركة أخرى فى نيويورك بإنتاج مصابيح كهربية موفرة للطاقة تستهلك فقط ١٠٪ من الطاقة المستهلكة بواسطة المصابيح الكهربية العادية وتعطى إضاءة أفضل وتدوم فترة أطول، وذلك بفضل تطبيق النانوتكنولوجيا.

وقد تمكنت النانوتكنولوجيا من رفع كفاءة آلات الاحتراق الداخلى وذلك بالتقليل من نسبة الفقد الحرارى الذى يصل فى حالة المعدات الحالية إلى ٣٦٪ من الطاقة

المنتجة. وقد استخدمت المواد النانوية فى ذلك كمواد حافزة وكأغشية مطاطية نانوية تقلل من الفقد الحرارى بنسبة محسوسة مما يرفع من كفاءة هذه الآلات.

وقد استخدمت مجموعة من الشركات الصينية النانوتكنولوجيا لتحضير مواد نانوية حفزية لإسالة وتحويل الفحم إلى غازات وإنتاج الهيدروجين بواسطة تقنية الجيل. ويؤدى هذا الأمر إلى خفض سعر إنتاج الغاز وزيادة كفاءة الطاقة المنتجة من الفحم. وستفتح هذه التقنية الباب على مصراعيه أمام دول كثيرة لإنتاج الوقود الغازى من الفحم بدلاً من استيراد البترول. وستقلل هذه التقنية من تلوث البيئة بواسطة الأمطار الحمضية نتيجة الحرق المباشر للفحم المحتوى على الكبريت مما يؤدى إلى تصاعد غازات كبريتية حمضية فى الغلاف الجوي. ومن موضوعات الطاقة التى تتناولها النانوتكنولوجيا:

١- تخزين الطاقة الشمسية.

٢- البطاريات النانوية.

٣- مصائد شمسية مرنة.

٤- نوافذ باردة (عازلة).

٥- محركات ذات كفاءة عالية فى استخدام الطاقة.

وفيما يلى بعض التفاصيل حول هذه النقاط.

ب١- تخزين الطاقة الشمسية

تستخدم العديد من الشركات اليوم ضوء الشمس فى إنتاج المواد اللازمة لخلايا الوقود (الهيدروجين والأكسجين) وذلك باستخدام غشاء رقيق من أكاسيد فلزية نانوية. وتقوم هذه التقنية على تحليل الماء إلى عناصره الأولية : الهيدروجين والأكسجين بواسطة أشعة الشمس. ويعتقد المتخصصون أن مساحة تعادل ضعف مساحة جراج فى مدينة مثل لوس

أنجلوس يمكن أن تنتج من الهيدروجين ما يكفى لتسيير سيارة لمسافة ٢٠٠٠٠ (عشرين ألف) كم!

ب٢- بطاريات نانوية :

يتطلب الاتجاه العام لتصغير حجم الأجهزة، سواء في الطب أو فى تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، يتطلب ذلك إنتاج بطاريات (كمصادر للطاقة) صغيرة الحجم وعالية الكفاءة ولها القدرة على تخزين الطاقة بكميات مناسبة لعملها. وقد تتمكن النانوتكنولوجيا من تطبيق مواد نانوية لتصغير حجم البطاريات والتقليل من وزنها مع زيادة قدرتها التخزينية وكفاءة أدائها. وقد تمكن العلماء بالفعل من إنتاج بطاريات نانوية تستطيع تخزين الطاقة دون أى تلف على الأرفف لعشرات السنين.

ب٣- مصائد شمسية مرنة :

الخلايا الشمسية المستخدمة حاليًا ثقيلة الوزن غالية الثمن وغير مناسبة للمنظر العام للمنازل. لذلك قام العلماء والفنيون باستبدال بلورات السيليكون المستخدمة حاليًا فى الخلايا الشمسية بخلايا أخرى تحتوى على مواد نانوية رخيصة الثمن يمكن وضعها وطباعتها على رقائق من البلاستيك وتغطى أى شكل أو مساحة سطح. وقد بدأ إنتاج هذه المصائد فى عام ٢٠٠٧.

ب٤- منافذ باردة (عازلة)

تكتسب المبانى وتفقد أكبر نسبة من الحرارة عن طريق الأشعة تحت الحمراء التى تنفذ من النوافذ. ولذلك تلجأ النانوتكنولوجيا إلى تغطية زجاج النوافذ بطبقة رقيقة من مواد نانوية تمنع الأنشطة تحت الحمراء من المرور خلالها، وبذلك تمنع الحرارة من الفقد وتحفظ المنازل دافئة فى الشتاء باردة في الصيف، وتوفر فى الطاقة المستخدمة فى أجهزة التكييف.

ب٥- محركات ذات كفاءة عالية فى استهلاك الطاقة

توجد مشكلتان رئيسيتان فى المحركات المستخدمة حاليًا تتسببان فى تدنى كفاءة أداء هذه المحركات، وتتعلق المشكلة الأولى بشموع الاحتراق والتى لا تتمكن من حرق كل كمية الوقود التى تصل إليها مما يقلل من كمية الطاقة المنتجة وتلوث البيئة بوقود لم يحترق احتراقًا كاملاً ويخرج مع العادم. أما المشكلة الثانية فسببها تسرب الحرارة الناتجة داخل المحركات (اسطوانات المحركات) دون الاستفادة الكاملة منها.

وقد بدأ المتخصصون فى إيجاد الحلول لهاتين المشكلتين من جعبة النانوتكنولوجيا. فقد قام الفنيون بتصنيع أقطاب نانوية تستخدم فى شموع الاحتراق وتساعد علي حرق كل الوقود، كما أنها أصبحت قوية وصلبة وأكثر مقاومة للاحتكاك والتآكل وأقل تلويثًا للبيئة. وينتج حاليًا نوع من شموع الاحتراق تسمى railplug تنتج وتشع كمية هائلة من

الشرر الكهربى بكثافة عالية تصل إلى كيلو جول لكل مليمتر مكعب من حجم الاسطوانة، مما يؤدى إلى حرق الوقود حرقًا كاملاً. كما قام الفنيون كذلك بتغطية الجدران الداخلية لاسطوانات آلات الاحتراق الداخلي بمواد سيراميكية (حرارية) نانوية مثل الألومنيا (أكاسيد الألومنيوم) والزركونيا (أكاسيد الزركونيوم) والتى لها المقدرة على الاحتفاظ بالحرارة والاستفادة التامة من حرق الوقود مما يرفع من كفاءة أداء آلات الاحتراق الداخلى.

جـ - تطبيقات عسكرية وشرطية :

بدأ العلماء والفنيون فى استخدام العديد من تطبيقات النانوتكنولوجيا فى الأغراض العسكرية فعلى سبيل المثال يجرى تصميم مادة نانوية فى أحد المعاهد الكبرى بالولايات المتحدة، وذلك لإخفاء الجيوش إذا غلفت بها فلا تُرى وتخضع هذه المادة للتحكم الإلكترونى، وتجرى الاختبارات

بجدية على نموذج لهذه المادة الآن. وهناك تطبيقات عديدة نورد بعضًا منها هنا.

جـ١- القاذفات المدفعية والصاروخية

تستخدم المدفعية العادية والصواريخ الطاقة الكيميائية الكامنة فى شحنة من الكيماويات عند احتراقها فيما يطلق عليه مسحوق القذائف gun powder وأقصى سرعة تبلغها قذائف المدفعية والصواريخ العادية تتراوح بين ١,٥، ٢,٠ كم/ ثانية. وعلى العكس من ذلك تندفع القذيفة بسرعة تصل إلى ١٠كم/ ثانية إذا استخدمت قوة دفع كهرومغناطيسية أو ما يسمى rail gun (قضبان المدفع) لدفع القذيفة. وحيث إن زيادة سرعة القذيفة تزيد من مقدرتها التدميرية، فقد أفادت النانوتكنولوجيا كثيرًا من هذا الصدد، فباستخدام مواد نانوية معينة أصبحت قضبان المدفع أو القاذفة أكثر قدرة على التوصيل الكهربى والحرارى وأكثر تحملاً ومقاومة للإحتكاك فلا تنبعج القضبان أثناء الرمى، وهى مقاومة للتآكل.

ويتحقق كل ذلك بفضل تطبيق مادة نانوية خفيفة الوزن قوية وذات قدرة عالية على التحمل.

جـ٢- نموذج لجيش جديد

تجرى الاختبارات حاليًا على تطبيق النانوتكنولوجيا فى ساحات القتال من أجل حماية أفضل للجنود. ويعد الفنيون المتخصصون فى النانوتكنولوجيا بدرجة عالية من الأمان للجنود داخل ملابسهم العسكرية النانوية خفيفة الوزن المؤمنة ضد طلقات الرصاص والتى تقف حائلاً لا يسمح للرصاص بالوصول إلى جسم الجندى. كما ستصبح الأسلحة النانوية أخف وزنًا وأقوي وأكثر تحملاً وكفاءة. وسيتطور الدفاع المدنى بشكل كبير نتيجة زيادة أعداد المجسات النانوية القادرة على اكتشاف الكيماويات والمواد البيولوجية. ومن أوائل تطبيقات النانوتكنولوجيا تطوير نظم المعلومات والاتصالات.

جـ٣- مقاومات الطلقات

سوف تقوم ملابس الجندى المحملة بالمواد النانوية بحمايته من صدمات موجات الضغط المرتفع التى تصاحب عادة انفجار القذائف والعبوات الناسفة، وكذلك ستعمل هذه الملابس على حماية الجنود من طلقات الرصاص وذلك من خلال تقنية الملابس الخفيفة التى تحتوى على سوائل نانوية فى قنواتها الداخلية. ولا تعيق هذه الملابس حركة الجنود نظرًا لخفتها ومرونتها، لكن عند تعرضها لصدمات موجات الضغط أو طلقات الرصاص يتحول السائل الذى يحتوى على مواد نانوية إلى مادة صلبة تقاوم الضغط والرصاص وتمنع وصول تأثيرهما إلى الداخل فتوفر الحماية الكافية للجنود.

جـ٤- مجسات آمنة

تجرى محاولات لزرع مجسات حساسة داخل ملابس الجنود الواقية من موجات ضغط الانفجارات وطلقات الرصاص. وتهدف هذه المجسات أساسًا لاكتشاف التلوث

الكيميائى والبيولوجي الذى يمكن أن يتعرض له الجندى، وعند اكتشاف مثل هذه الملوثات تُغلق الثقوب الموجودة داخل ملابس الجندى ليصبح آمنًا داخلها لا تطوله الملوثات. ويأمل الباحثون أن يتمكنوا من تحسين أداء تلك المجسات بحيث تصبح حساسة لمختلف أنواع الغازات السامة والملوثات البيولوجية. ويحاول الباحثون كذلك تصميم معمل نانوى دقيق داخل ملابس الجندى يمكنه الإحساس بالتلوث فى حالة تسربه إلى داخل الجسم ويحدد نوعه ويقوم بحقن الجندى بالمادة الواقية أو المعالجة فى الدم مباشرة. كما يمكن أن يقوم هذا المعمل بالتضافر مع الملابس الواقية بتقديم المساعدة الأولية العاجلة فى حالة توقف قلب الجندى عن العمل نتيجة تعرضه لانفجار، وذلك بأن تبدأ مفصلات نانوية موجودة فى ملابس الجندى بتدليك صدر الجندى بالتمدد والانكماش من خلال إشارات إلكترونية تصل إلى الملابس من المعمل النانوى فى حالة تعرض الجندى لانفجار

وتساعد عملية التمدد والانكماش فى عودة القلب للعمل مرة أخرى. إنه عالم من النانوتكنولوجيا.

جـ٥- تكييف جو المعركة

يمكن للنانوتكنولوجيا أن تكيف الجو المحيط بالجندى فى ساحة القتال وذلك بتغطية ملابسه وخيمته ومعداته بمواد نانوية تتأثر بالجو المحيط بها فتغير من نفسها بحيث تقلل من تأثير الضغوط والتغيرات الحرارية الخارجية، وبذلك تهيء الجو المناسب للجندى فى ساحة القتال.

جـ٦- محاربة الجريمة

فى عصر النانوتكنولوجيا لن يستطيع المزورون والمزيفون أن يزيفوا أوراق البنكنوت أو الأعمال الفنية بعد الآن لأن ذلك أصبح مستحيلاً. فألوان المواد النانوية تعتمد علي حجم دقائقها، وبذلك فإن طباعة منظومة من نقاط مختلفة الحجم علي أوراق البنكنوت لتشكل باقة من الألوان يجعل من

المستحيل على أى مزور أو مزيف محاكاة هذه الأوراق. وسيتم زرع هذه النقاط النانوية فى أوراق البنكنوت وبطاقات الائتمان وغيرها. كما أن اللوحات والأعمال الفنية ستحمل علامات بأحبار تحتوي على مواد نانوية لا ترى بالعين المجردة بل فقط تحت الأشعة فوق البنفسجية. وتصلح هذه الأحبار للكتابة على الأوراق والصور والزجاج والسيراميك وغيرها. وبذلك تكون النانوتكنولوجيا قد منحت البشر القدرة على حماية الأعمال الفنية والإبداعية من التزوير بالكتابة عليها بعلامات من الأرقام والحروف والأشكال النانوية التى ستميزها عن الأعمال المزيفة.

ويقوم الخبراء والفنيون اليوم بتصنيع شرائح دقيقة نانوية لا ترى بالعين المجردة ليتم لصقها بالمنتجات الموجودة فى الأسواق. وتشع تلك الشرائح ترددات مميزة تختلف من منتج لآخر، ويمكن لإدارة المحل أو السوق تتبع السلعة بواسطة هذا التردد حتى أماكن دفع الثمن والخروج إلى الشارع. وسيحد ذلك كثيرًا من السرقات التى تحدث فى المحلات.

جـ٧- الغبار الكاشف

سوف تمنحنا النانوتكنولوجيا حواسب نانوية دقيقة للغاية وسنراها فى كل مكان حولنا. وأى نثر لمثل هذه الحواسب النانوية على أسطح الأشياء سيسمح بتتبعها لأى مكان تذهب إليه. وسيحصل أى زائر لأى مكان على مثل هذه الحواسب التى تجعل من السهل تتبع حركته وتسجيل الأماكن التى زارها وتمنعه من اقتحام الأماكن غير المرغوب فى دخولها للغرباء. ومن الممكن استخدام مثل هذه الحواسب كشبكة إنذار بالحرائق والسرقات، ويمكنها أيضًا إرشاد الزائر للمتاحف والمزارات المختلفة وتوجيه الجمهور عند حدوث حالات الطوارىء كالحرائق وموجات التسونامى.

د - تطبيقات متنوعة أخرى:

وتلوح فى الأفق تطبيقات متعددة أخرى فى شتى المجلات رأينا أن نسرد منها ما يلى :

د١- بلورات نانوية

بلورات فى حجم نانوى لها القدرة على امتصاص الضوء ثم إعادة بثه مرة أخرى على شكل ألوان مختلفة. ويتوقف اللون المنبعث على حجم البلورة النانوية، فهذه البلورات لها المقدرة على تجميع وامتصاص الأشعة الضوئية بدرجة عالية جدًا، ولذلك فهى مناسبة جدًا لاستخدامها فى الخلايا الفوتوفولتية (الكهروضوئية). كذلك يمكن استخدامها كدليل أو مرشد ضوئى لتتبع بعض العمليات الحيوية داخل جسم الكائن الحى. وتتميز هذه البلورات عن الأصباغ الأخرى المستخدمة فى نفس المجال فى أنها أكثر إضاءة ولا تتحلل بفعل الضوء.

د٢- ملابس ذكية وماهرة

ستصبح الملابس فى عصر النانوتكنولوجيا أكثر ذكاء ومهارة، فمعالجة الملابس بالمواد النانوية سيمنحها خواص فريدة ومتميزة. فالملابس غير القطنية التى تم معالجتها بالمواد

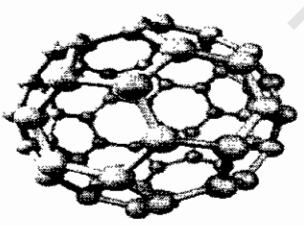
النانوية سيصبح لها المقدرة على إبعاد الماء عن سطحها وعدم التصاقها، كما يمكن إزالة البقع والقاذورات من عليها بسهولة ولا تمتص روائح العرق.

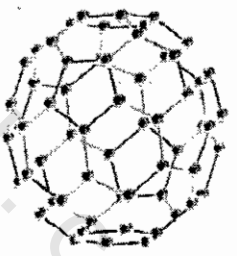
شكل رقم ٩

نسيج مغطى بمواد نانوية

٣د- الرياضة

دخلت المواد النانوية فى تصنيع الملابس والأحذية الرياضية ومضارب التنس باستخدام أنابيب نانوية كربونية كما سبق أن ذكرنا. وقد استطاع العلماء الآن تصنيع كرة تنس مغطاة بمادة نانوية مركبة تجعل الكرة تلف بسرعة أكبر من الكرات الحالية. وقد أعطت تلك المادة عمرًا أطول للكرة. وتجرى محاولات جادة لاستخدام هذه المادة النانوية المركبة فى تصنيع إطارات السيارات لتصبح أخف وزنًا وأكثر تحملاً.





شكل رقم ١٠

شكل كرة باكى

٤٠- حاسب فائق الكفاءة والتخزين

سيتمكن العلماء فى القريب من تصنيع ما يطلق عليه الحاسب الكميِّ والذى له القدرة على حل المشاكل العلمية وإجراء العمليات بسرعة أعلى كثيرًا من سرعات الحواسب الحالية. والتحدى الحقيقى أمام تحقيق هذا الحاسب يعتمد على تخليق مواد نانوية لها القدرة على تخزين وحدات التخزين الكمية والتى يطلق عليها «كيوبيت[١] qubit» - وهى خاصة بالحواسب الكمية وقد استطاع العلماء بجامعة أوكسفورد

---

١ - **كيوبيت** qubit وأحيانًا تكتب qbit وحدة المعلومات الكمية quantum information ، وهى كلمة منحوتة من quantum و bit . وبيت هى الأساس فى المعلومات الكمبيوترية وتقرأ إما 0 أو 1 ، أما الكيوبيت فلها بعض الشبه بالبيت التقليدية لكنها تختلف عنها. فللكيوبيت قيمتان 0 أو 1 أما الفرق فإنه فى كون الكيوبيت قد تكتسب 0 أو 1 أو انطباق الاثنين على بعضهما. وتوصف المعلومات بأنها متجه حالة (State Vector) فى مستويين داخل نظام ميكانيكى كمى وهو يكافئ متجه فضائى فى بعدين.

تخزين كيوبيت على ذرة مفردة ثم تخزين هذه الذرة داخل كرة باكى "Bucky Ball" – وهو قفص كروى من عدد من ذرات الكربون، 60 مثلاً، له حجم نانوى.

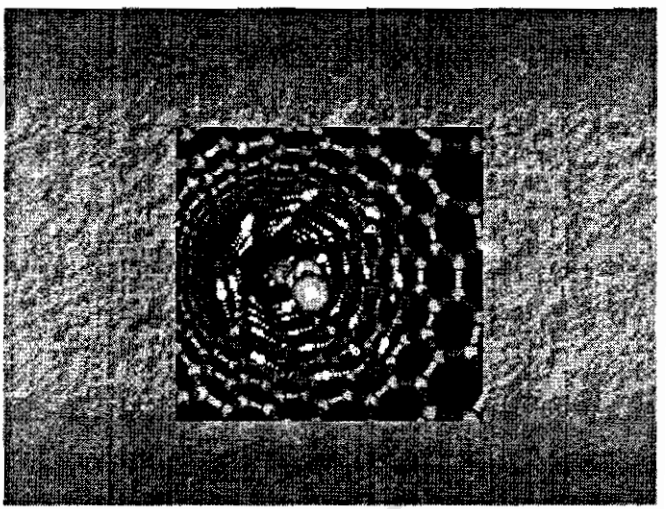
د٥- التغليف النانوى

نظرًا لتميز المواد النانوية بالقوة وخفة الوزن وقدرتها على التأثير فى الميكروبات فآنه يمكن استخدامها فى تغليف المشروبات والأطعمة فيقلل من وزنها ويساهم فى خفض تكاليف نقلها وإطالة زمن صلاحيتها.

د٦- المرشحات النانوية

يجرى الباحثون الآن تجارب على مرشحات مصنعة من أنابيب كربون نانوية والتى تقوم بتنقية المياه من خلال الأنابيب دون الحاجة إلى كيماويات أو طاقة. وقد قامت إحدى الشركات بالفعل بإنتاج مرشحات نانوية من نسيج الألومنيا والتى تستطيع أن تحجز ٩٩٩ , ٩٩٪ من الفيروسات

الموجودة بالماء أثناء عبوره بالمرشح وهذه المرشحات مفيدة فى التعقيم والتطبيقات الطبية المختلفة.



شكل رقم ١١

مرشح كربونى نانوى

د٧- الحماية باستخدام الطلاء

تستطيع النانوتكنولوجيا تنقية الهواء الذى نستنشقه من الغازات الضارة والجراثيم وملوثات أخرى كثيرة كيميائية وبيولوجية. فإضافة أكسيد التيتانيوم أو أكسيد الزنك النانوى إلى مواد الطلاء يؤدى إلى إنخفاض تلوث الهواء بمقدار ٥٠٪ وذلك بفضل امتصاص الأشعة فوق البنفسجية الموجودة فى ضوء الشمس والتى تحول الغازات السامة إلى مواد غير ضارة. ويمكن استخدام هذا الطلاء فى المدارس والمستشفيات وفى تنظيف الأرصفة وأسطح المبانى والكتل الخرسانية وغيرها.

د٨- المغناطيسية النانوية

تتميز العناصر الإنتقالية النادرة والعديد من مركباتها وسبائكها بخواص مغناطيسية مختلفة. فإذا أمكن تحضير هذه المواد على شكل دقائق نانوية لظهر لها العديد من الخواص المغناطيسية الفريدة والمميزة. وقد جعل ذلك من تطبيقات

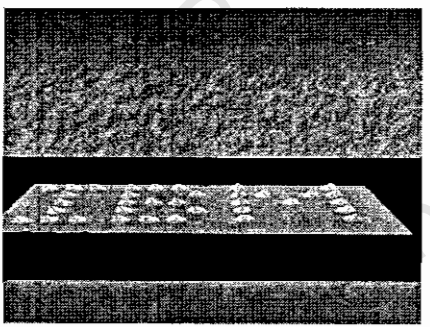
تلك المواد النانوية أمرًا واعدًا فى مجالات شتى مثل علاج السرطان وتخزين المعلومات وتحسين صور الرنين المغناطيسى وغيرها من الخواص التى تعتمد علي هذه المواد. ومن أمثلة هذه التطبيقات السوائل المغناطيسية.

٩- السوائل المغناطيسية

وهى تتكون من دقائق نانوية غالبًا من الماجنتايت والهيماتايت معلقة فى سوائل حاملة لها مثل الماء أو الكيروسين أو بعض الزيوت. وتتحول هذه السوائل إلى مغناطيسات فى وجود مجال مغناطيسى خارجى. ويمكن تحريك ونقل هذا السائل بسهولة من موقع إلى آخر بواسطة تحريك المغناطيس الخارجى. ولهذه السوائل تطبيقات عديدة مثل تدفئة المواد والأجهزة الكهربية ولعب الأطفال وغيرها وأبعاد الجسيمات النانوية فى السوائل المغناطيسية لابد أن تكون أقل من 10 nm.

د١٠- الكتابة بالذرات

استطاع علماء النانوتكنولوجيا استخدام الذرات (أبعادها 0.1-0.3 nm) وتمكنوا من الكتابة بها برصها ذرة ذرة وكتبوا رمز IBM – الشركة الشهيرة المنتجة للحاسبات بواسطة ذرات الزينون. وقد تم التقاط وتحريك هذه الذرات كل ذرة على حدة ووضعها فى المكان بحيث تكون حروف IBM ، وقد تم ذلك باستخدام نوع من الميكروسكوبات الإلكترونية يطلق عليه الميكروسكوب الماسح النفقي.

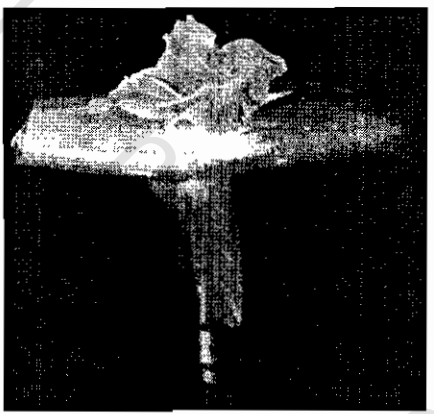


شكل رقم ١٢

حروف لوجو مكتوبة بذرات الزينون

د١١- تحسين المواد النانوية العازلة

يؤدى تحضير المواد النانوية بتقنية السول – جيل إلى تركيب رغوى يطلق عليه «الجيل الهوائى» وهى مواد خفيفة الوزن ومثقبة كالغربال وثلاثية الأبعاد مما يسمح باحتباس الهواء داخلها لتصبح عازلاً حراريًا مثاليًا، ولذلك فهى تستخدم فى المنازل والمكاتب كمواد عازلة لتوفير الطاقة.



شكل رقم ١٣
فازة مصنعة من الأيروجل

د١٢- تحسين خواص الصورة فى التلفزيون

تعتمد دقة ووضوح الصورة على شاشات التلفزيون وشاشات العرض الكبرى على حجم وحدة الصورة والتى تسمى بيكسل "Pixel" . وتصنع هذه البيكسلات أساسًا من مادة فوسفورية تضئ عند اصطدام تيار الإلكترونات المنبعثة من أنبوبة المهبط بها. وبتصغير حجم البيكسل تتحسن الصورة وتزداد دقة ووضوحًا. وتساهم المواد النانوية المصنعة من أى من : سلنيد الزنك، كبريتيد الزنك، كبريتيد الكادميوم، تيلوريد الرصاص المخلقة بتقنية السول – جيل فى خفض أسعار شاشات العرض وتحسينها.

د١٣- أدوات القطع

تستخدم حاليًا العديد من المواد النانوية المصنعة مثل كربيد التنجستن وكربيد التانتلم وكربيد التيتانيوم فى تصنيع أدوات القطع وذلك بسبب شدة صلابة هذه المواد ومقاومتها الفائقة للاحتكاك وقدرتها على مقاومة التآكل وخفة وزنها.

د١٤- مزيلات التلوث

تحتوى المواد النانوية على حدود ومسافات فاصلة بين دقائقها بدرجة كبيرة مقارنة بحجم هذه الدقائق. ولهذا السبب تكون هذه المواد نشطة كيميائيًا وفيزيائيًا وميكانيكيًا. وهى تستخدم لذلك كمواد حافزة لتفاعل التخلص من أول أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين الملوثة للبيئة والتى تنبعث من عوادم السيارات. ويتم تطبيق المواد النانوية المزيلة للتلوث بشكل وضعها داخل محول حفزى لتمر منه الغازات فى عادم السيارات أو غازات الاحتراق فى المصانع التى تستخدم الوقود الحفري مثل الفحم ومشتقات البترول.

د١٥- مجسات فائقة الحساسية

تستخدم المجسات فى جميع أوجه الحياة الآن بدء من مجسات مؤشرات محرك السيارة والطائرة إلى مجسات الدخان والحرائق ومجسات تكون الثلوج على أجنحة الطائرات... وغيرها الكثير. وتعتمد المجسات فى عملها على خاصية معينة

تتغير ويمكن قياسها مثل المقاومة الكهربية أو القابلية للتمغنط أو التوصيل الحرارى أو النشاط الكيميائى... إلخ. وتعتمد حساسية المجسات على التركيب الدقيق وعلى حجم الدقائق المستخدمة، والذى يؤثر مباشرة فى مساحة سطح المواد والذى يزداد بشدة كلما صغر حجم الدقائق النانوية. لذلك فإن حجوم الدقائق النانوية المتناهية الصغر لها حساسية أعلى فى المجسات حاليًا.

د١٦- رفع كفاءة وتحمل مكونات سفن الفضاء

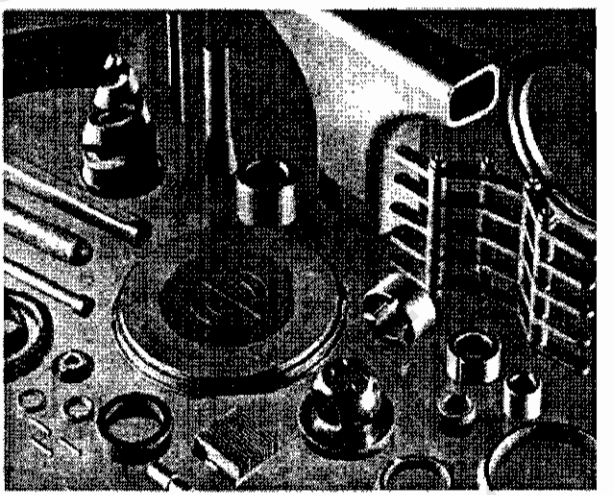
نظرًا لخطورة الطيران فإن الشركات تحاول دائمًا تصميم مكونات الطائرات بحيث تكون أقوى وأشد قدرة على التحمل، وأهم خاصية لابد أن تتوفر فى هذه المكونات، وعلى الأخص فى سفن الفضاء هى مقاومة الإرهاق، وهى خاصية تعتمد على حجم حبيبات الدقائق النانوية المستخدمة فى هذه المكونات. وترفع هذه المكونات النانوية عمر الأجزاء بنسبة ٢٠٠-٣٠٠٪، الأمر الذى يرفع درجة الأمان ويزيد من عمر

الطائرات وسفن الفضاء ويرفع من كفاءة أدائها لخفة وزن المكونات وطول عمرها.

د١٧- سيراميك سهل التشكيل

السيراميك الموجود حاليًا قابل للكسر بسهولة ومن الصعب تشكيله، الأمر الذى يقلل كثيرًا من تطبيقاته واستخداماته. لكن العلماء والفنيين استخدموا تقنية السول-جيل فى تصنيع مواد نانوية على شكل دقائق صغيرة متناهية الصغر فحسنت خواص المواد السيراميكية وبالأخص مقدرتها على التشكل في صور مختلفة مما يفتح أمامها آفاقًا واسعة فى التطبيقات المختلفة. فمادة الزركونيا شديدة الصلابة وقابلة للكسر بسهولة لكن الزركونيا النانوية تصبح مادة لدنة من السهل تشكيلها، ومن الممكن شدها لتزداد طولاً بنسبة ٣٠٠٪ من طولها الأصلى. كذلك أمكن استخدام مواد نانوية سيراميكية من نيتريد السيليكون وكربيد السيليكون على شكل زنبركى قوى فى السيارات ووسائل النقل وكذلك

مرشحات للصمامات. كما أمكن استخدام نفس المادة فى الأفران ذات درجة الحرارة المرتفعة، كما أمكن إخضاع هذه السيراميكات للتشكيل فى درجات حرارة منخفضة والتى لا تتشكل عندها السيراميكات العادية.



شكل رقم ١٤
أشكال سيراميكية

المخاطر والقيود والمستقبل

إذا أمكن تصنيع الجزئيات، بمعنى جمعها من ذراتها المختلفة، بأمان فإن الأمور ستكون رائعة للأسباب الآتية:

١- المقدرة على مضاعفة الأنظمة المنتجة، حيث يمكن أن تقوم هذه الأنظمة بتجميع مثيلاتها، مما يعنى مضاعفة كم الإنتاج تقريبًا بالمجان.

٢- يمكن للمصنع النانوى الشخصى "PN" أن ينتج العديد من المنتجات المتنوعة القوية ذات الكفاءة العالية حسب الرغبة.

٣- يمكن مد يد المساعدة الإنسانية فى الحالات الحرجة بسرعة وبتكاليف أقل.

٤- سيصبح من الممكن تجنب الضغوط البيئية التى تتسبب فيها التكنولوجيا الحالية أو التخفيف كثيرًا منها.

٥- تطور وتجديد العملية الإنتاجية أسرع كثيرًا نظرًا لقصر زمن دورة الإنتاج مع مرونة العملية الإنتاجية نفسها.

ولا يخفى علينا أن كل هذه الميزات لابد أن يصاحبها أقل مستوى من الخطورة. ومشكلة تجنب الخطورة ليست سهلة بالمرة، فالزيادة المفرطة فى التقييدات ستخلق سوقًا سوداء، والتى بدورها ستؤدى إلى تصنيع نانوى غير مقيد. ولذلك فإن وضع القيود المناسبة يمثل تحديًا صعبًا أمام تطور النانوتكنولوجيا.

ومن الأمور التي يعتقد الكثيرون أنها تمثل حلاً معقولاً هى تقسيم المخاطر إلى مجموعتين منفصلتين: المجموعة الأولى وتتناول التحكم فى قدرة التصنيع الجزيئى، أما المجموعة الثانية فتتعلق بالتحكم فى المنتج (أى التحكم فى كلٍ من الإنتاج والمنتج).

من الأخطاء الشائعة عن الأنظمة النانوية أنها لابد أن تكون صغيرة، الأمر الذى أدى إلى وجود مخاوف بشأن اختفائها وسرقتها ويزيد من صعوبة التحكم فيها. لكن تبعًا لآراء كبار العلماء والمتخصصين فى النانوتكنولوجيا فإنه من

الممكن أن تتجمع المصانع النانوية الميكانيكية الكيميائية بأعداد كبيرة فى منظومة واحدة، الأمر الذى يسمح بإنتاج منتجات كبيرة مكونة من تجمع أجزاء نانوية. كما سيسمح هذا المبدأ (التجميع) بأن يبنى أحد المصانع النانوية مثيلاً له، أى مضاعفة أعداد هذه المصانع.

وقد يصل حجم المصنع النانوى الشخصى (PN) إلى مثل حجم فرن الميكروويف. وحيث إن المنتج مثبت فى المصنع ويعتمد على مقدرته فليس هناك حاجة ولا إمكانية لأن يتجول المصنع حول المنتج الذى يقوم ببنائه، وهو الأمر الذى يرفع من كفاءة عملية الإنتاج ولا يجعلها تتعثر فى خطواتها. كما يمكن التحكم الكامل فى المصنع النانوى من خلال مدخل واحد يحتوى على كل التقييدات المطلوبة. وبذلك لن يقوم المصنع النانوى بإنتاج منتجات غير معتمدة.

ومن الممكن برمجة الإنتاج ليصبح قابلاً للتغيير فى حدود معينة تضيق أو تتسع حسب الحاجة لكن فى إطار ما هو معتمد

وسيتم التحكم بسهولة فى حالة فصل التحكم فى الإنتاج عن التحكم فى المنتج. ومن الممكن كذلك تزويد المصنع النانوي وكذلك المنتجات بتصميمات تتبع لكشف أى استخدام غير مصرح به أو غير معتمد.

وإحدى طرق تأمين المصانع النانوية الشخصية هى بناء عدد محدود من التصميمات الآمنة مع تقييد المصانع بحيث لا تقبل تصميمات أخرى لإنتاج غير معتمد، وبذلك فإن المصنع النانوى لن يقوم ببناء أى منتج آخر غير الذى صمم من أجله.

وما هو أكثر أمانًا من ذلك أن يتصل المصنع النانوى بمركز تحكم يتطلب الحصول على تصريح كل مرة يقوم فيها بإنتاج أى منتج، كما يسمح هذا النظام بإضافة برامج إنتاج جديدة للمصنع بعد إتمام بنائه. ويقوم المصنع النانوى بإرسال تقارير أولاً بأول إلى التحكم المركزى، فإذا حدث وفصل المصنع عن التحكم المركزى فإنه سيلغى كل برامجه ليصبح غير قادر على إنتاج أى شئ. أما إذا تعرض للسرقة فسيتم

إرسال تقرير بذلك فى اللحظة نفسها لتتبع السارق والقبض عليه.

وتحقق تقنية التشفير الرقمى التأكد من الاتصال بالتحكم المركزى، كما أن الشروط والقيود المفروضة على الإنتاج ستكون انتقائية وخاصة بكل منتج على حدة، بحيث تتحقق أعلى درجات الأمان.

ويعد التطوير والتجديد السريع إحدى الميزات الرئيسية للنانوتكنولوجيا. وتسمح دورة الإنتاج القصيرة ومرونة العملية الإنتاجية ببناء تصميمات واختبارها فى الحال. وحيث أن مصممى المنتجات النانوية لا يحتاجون لإجراء أبحاث خاصة بالنانوتكنولوجيا فإن مستوى عمليات التجديد والتطوير سيكون مرتفعًا دون أن يقع المصممون فى منتجات خطرة. ومنظومة الإنتاج ذات التحكم الجيد لها ميزات عديدة، فهى قابلة للانتشار على أوسع مدى بها فى ذلك رخص الإنتاج وسرعة تطويره وتجديده بأقل التكاليف.

ويجعل هذا الأمر بالذات النانوتكنولوجيا قادرة على إنتاج كل شئ تقريبًا.

مخاطر النانوتكنولوجيا المتقدمة

صدر كتاب إريك دريكسلر (Eric Drexler) آلات الخلق[1] (أو آلات الإبداع Machines of Creation) سنة ١٩٨٦ حيث أورد المؤلف وصفًا لبعض الفوائد والمخاطر. فإذا كان من الممكن إنتاج الجزئيات والتصميمات بواسطة تشبيك وربط الذرات المفردة بتحكم من الكمبيوتر، يصبح

---

١ – آلات الخلق (آلات الإبداع) Engines of Creation أشهر كتب النانوتكنولوجيا صدر سنة ١٩٨٦ لرائد هذه التكنولوجيا إيرك دريكسلر، وعنوان الكتاب بالكامل "Engins of Ceation: The Coming Age of Nanotechnology" ويصف فيه المؤلف ما سوف يعرف فيما بعد تحت اسم النانوتكنولوجيا الجزيئية MNT Malecular Nanotechnology ووردت لأول مرة فى الكتاب فكرة الآلات النانوية التى تقوم بتجميع مثيلاتها، وكذلك ورد للمرة الأولى مصطلح «جراى جووو Grey Goo».

من الممكن بناء تصميمات من الماس الذى هو أقوى من الصلب ١٠٠ مرة، وكذلك بناء كمبيوترات أقل حجمًا من البكتريا (!)، وكذلك بناء أنساق ومصانع دقيقة جدًا لها أحجام مختلفة وقادرة على إنتاج منتجات متعددة بل وحتى مضاعفة إنتاج نفسها.

وفى كتابه الثاني «المنظومات النانوية»[١] اقترح إريك دريكسلر وأضاف مصانع نانوية تستطيع تصنيع مثيلاتها فى غضون ساعة واحدة مع احتمال وقوع خطأ بنسبة واحد فى الكوادريليون (الكوادريليون عند البعض هو 1000 000 000 000 000 أو 10^{15} وعند البعض الآخر 1000 000 000 000 000 000 000 000 أو 10^{24}).

---

١ – **المنظومات النانوية** Nanosystems أحد كتب دركسلر رائد النانوتكنولوجيا، صدر عن رسالته لدرجة الدكتوراه MIT بعد إعادة صياغة الرسالة لتلائم الكتاب، واسم الكتابب بالكامل "Nanosystems: Molecular Machinery, Manufactaring and Computation" . وقد حصل الكتاب على جائزة أفضل كتب علوم الكمبيوتر سنة ١٩٩٢ من اتحاد الناشرين الأمريكيين.

ولن تحتاج الكمبيوترات النانوية الدقيقة، والتى سيشغل كل تريليون منها حجم 1 سم٣ (التريليون 000 000 000 000 1 أو 10^{12})، إلا إلى قدر ضئيل جدًا من الطاقة الكهربية لتشغيلها، ويبدو أن المنتجات النانوية المتقدمة ستكون فى غاية القوة.

وحالما تم اقتراح إنتاج الجزئيات بدأت الأخطار المصاحبة لها تتحدد. وقد تعرض كتابا دريكسلر لأحد أخطر هذه الأخطار والذى مازال بعيد الاحتمال لكنه ليس مستحيلاً وهو[1] "Grey Goo" وترجمة هذا المصطلح الحرفية «المادة

---

١ – «جراى جو» Grey Goo المادة اللزجة الرمادية مصطلح صاغه دريكسلر ليعبر عن نهاية تخيلية للعالم بسيناريو يتضمن النانوتكنولوجيا الجزيئية، حيث يخرج من السيطرة روبوتات نانوية مصممة بحيث تقوم بتصنيع مثيلاتها وتستهلك المادة الحية فى الوسط المحيط في هذه العملية التى لا تتوقف، وتسمى إيكوفاجى Ecophagy. ويستخدم المصطلح عادة فى الخيال العلمى. وقد تنشأ الظاهرة نتيجة تعمد من المصممين أو صدفة بتطفر بعض النانوروبوتات. وقد ورد المصطلح أول مرة فى كتاب «آلات=

اللزجة الرمادية». ويمكن تصوير هذا الخطر بالشكل الآتى : إذا كانت هناك آلة أو ماكينة نانوية قادرة على التكاثر الذاتى بمضاعفة نفسها مرات كثيرة جدًا، وكان فى استطاعة هذه الآلة أو الماكينة التواجد خارج المبانى واستخدام الكتلة الحية[1] (biomass) كمادة خام لتصنيع ذاتها، فإنها بذلك قد

=الخلق أو آلات الإبداع» فى الفصل الرابع والذى كتبه إريك دريكسلر سنة ١٩٨٦. وتكاثر الكائنات أو الروبوتات بهذا الشكل يسمى نموًا أُسِّيًّا.

١ – **الغلاف الحيوى (المحيط الحيوى)** Biosphere جزء من الأرض ويتضمن الهواء والتربة والصخور السطحية والمياه والذى يمكن للحياة أن تتواجد فيه، والذى تتدخل المادة الحية Biotic بعملياتها فى تشكيله وصياغته وتطويره. ويمكن اعتبار الغلاف الحيوى أنه المنظومة البيئية العالمية والذى تتكامل فيه الكائنات الحية بعلاقاتها المتشابكة وتداخلاتها التي تشمل الليثوسفير (اليابسة) والهيدروسفير (الغلاف المائى) والأتموسفير (الغلاف الجوى). ومن المعتقد أن الغلاف الحيوى قد نشأ وتطور بعمليات متتالية منذ حوالى ٣,٥ بليون سنة. وقد ورد ذكر المصطلح أول مرة سنة ١٩٣٥ على لسان فلاديمير فيرنادسكي فـــى حديثه عـــــن =

تدمر البيئة، المحيط الحيوى تدميرًا تامًا. وقد قام آخرون بتحليل احتمال حدوث سباق تسلح غير متزن، وفكر البعض الآخر فى إمكانية حدوث ثورة اقتصادية ناجمة عن الانتشار الواسع للإنتاج الحر. كما اقترح البعض أن يحدث تغير شامل لأسس الاقتصاد العالمى للدرجة التى قد تصبح فيها النقود شيئاً مهملاً لا قيمة له.

وقد تتيح المنتجات فائقة القدرة لبعض المتطرفين من الناس أو لبعض الحكومات المعادية أن تحدث ضربات مدمرة. فالماكينات النانوية المدمرة قد تحدث أضرارًا بالغة بالناس والأشياء غير المحمية ضدها. فإذا حاز أناس غير مؤهلين القدرة على إنتاج أى شئ مرغوب فيه، فقد يتحكمون ويحكمون العالم، أو يتسببون فى خراب شامل أثناء محاولتهم

= الايكولوجيا Ecology وتعريفه لها بأنها علم الغلاف الحيوى. ويشمل هذا العلم تضافر مجموعة من العلوم المتكاملة مثل الفلك والجيوفيزياء والأرصاد الجوية والجغرافيا الحيوية والتطور والجيولوجيا والجيوكيمياء والهيدرولوجيا.

لذلك. ومن الأمور المتعلقة احتمال التوصل إلى شبكة مراقبة فائقة الاتساع تنتهك حرية الأفراد، أو أسلحة جوية وفضائية شديدة الفتك، أو وسائل معادية للأفراد ميكروسكوبية الحجم. وأخطر الاحتمالات والتى قد تتسبب فى كارثة كوكبية هو الـ «جراى جوو» أو تكون المادة اللزجة الرمادية من التكاثر غير المحدود للروبوتات النانوية إذا خرجت عن السيطرة.

ويشكل عدم التقييد فى الحصول على النانوتكنولوجيا المتقدمة خطرًا عظيمًا قد يجعل الفوائد المرجوة منها تتوارى مثل النظافة والرخص والراحة والإنتاج الذاتى. ورغم أنه من الضرورى وضع التقييدات على النانوتكنولوجيا، إلا إن زيادة القيود ستؤدى إلى مشاكل خطيرة أخرى. فسوف يتجه الناس إلى الإنتاج السرى الخفى للنانوتكنولوجيا المتقدمة، والتى لن تخضع لأى قيود أو تحكم. وفى هذا الصدد فإن التحديدات والتقييدات وحيدة البعد تتعامل مع طيف كامل من التقييد بدءً من التقييد الشامل إلى الإطلاق الشامل. أما إدراك وفهم

المشكلة فى بعدين – وذلك بالأخذ فى الاعتبار كلا من التحكم فى إمكانية التصنيع النانوتكنولوجى وكذلك التحكم فى المنتجات- فإنه سيجعل من التقييدات أمرًا يمكن تطبيقه ويقلل من المخاطر الجادة مع الاحتفاظ بالإمكانيات المفيدة.

ولب النانوتكنولوجيا هو تصنيع الجزيئات، والآلات أو الماكينات التى تصنع الجزيئات بالتجميع – سواء على المستوى النانوى أو الميكروى أو الماكرو – وللنانوتكنولوجيا وظيفتان: الأولى تصنيع المزيد من المنتج والثانية زيادة قدرتها وذلك بمضاعفة أعدادها نفسها بنفسها. ولا تقوم المنتجات (أو معظمها) المصنعة بآلية تصنيع الجزيئات بالمضاعفة الذاتية لنفسها أو حتى بإنتاج أى شئ. أما الأنظمة النانوية القائمة على الإنتاج بواسطة النانوتكنولوجيا ففى استطاعتها بناء أسلحة أو تفعيل وإحداث «جراى جوو» أو شئ آخر مبرمجة لإنتاجه. وهذه المنتجات فى حد ذاتها لا تستطيع مضاعفة نفسها. غير أن بعض المنتجات قد تكون على درجة عالية من القوة والمقدرة بحيث تتطلب وضع قيود وترتيبات للتحكم

فيها. فالأسلحة التى ستبنيها النانوتكنولوجيا ستكون أقوى وأشد تأثيرًا من الأسلحة الحالية. وقد تتسرب المنتجات الصغيرة المتناهية الصغر وتتوه فى الوسط المحيط وتتسبب فى إحداث هرج ومرج، أو قد تستخدم فى التجسس بصورة خفية على الأفراد منتهكة حريتهم الشخصية. ومن المحتمل أن يتحول أى منتج له المقدرة على التصنيع الجزيئى إلى مصنع نانوى خارج التحكم، ويشكل خطورة مهولة إذا وقع فى أيد آثمة. وعلى ذلك لابد أن يتضمن التصنيع النانوتكنولوجى واسع الإنتشار المقدرة على التحكم سواء ذاتيًا (مبرمج بذلك) أو خارجيًا عن طريق مركز للتحكم، بشكل أو بآخر مع تحديد نوع وكمية المنتج.

التنمية والنانوتكنولوجيا

تقدم النانوتكنولوجيا فرصًا عديدة لمساعدة التنمية العالمية بمشاكلها الملحة والحرجة. وتتضمن أولويات هذه المساعدة أنظمة لتنقية المياه وأنظمة للطاقة وللطب وللأدوية، وأنظمة لإنتاج الطعام والتغذية وتكنولوجيا المعرفة والاتصالات (ICT) .

وينظر الكثيرون للنانوتكنولوجيا على أنها المنبع والمصدر الذى لا ينضب والذى سيخلق اقتصادًا يقدر حجمه بتريليون $ ، وقادرة على حل المشكلات بدءً من علاج السرطان وحتى إعادة تدوير القمامة وبناء الحواسب فائقة السرعة. وفى المقابل هناك الكثيرون أيضًا الذين ينظرون بتحفظ وتخوف إلى هذه التكنولوجيا، ويعتبرونها تحمل فى طياتها مخاطر عظيمة تماثل الجن المحبوس فى القمقم، فإذا أطلقته أصبح خارج السيطرة ولا يمكن التنبؤ بما سيرتكبه، والذى قد يكون سلسلة من الكوارث البيئية والصحية.

وفى الدول النامية قد تؤدى النانوتكنولوجيا إلى مثل هذه التهديدات للبيئة والصحة والجوانب الاجتماعية، ومن هنا برزت تحديات إضافية تتعلق بالعلاقة بين النانوتكنولوجيا والتنمية. ومن المعروف أن البيئة والصحة وسلامة العاملين فى الدول النامية تعانى من تضارب وعدم إعمال اللوائح المقيدة للأضرار البيئية والصحية. وتحتاج هذه الدول إلى

المعونة الفنية فى هذا الشأن بحيث تتضمن إعداد الكوادر وتدريبها ورفع كفاءتها وإنشاء وتطوير المعامل والبنية التحتية السليمة والمناسبة للنانوتكنولوجيا.

ويؤدى تطور تطبيقات النانوتكنولوجيا إلى انحسار دور وتأثير الإنسان فى بيئته، وهو ما يعد من أهم أدوار النانوتكنولوجيا حيث إن نصف القرن القادم سيشهد نمو عدد سكان كوكب الأرض بمقدار ٥٠٪، مع نمو للأنشطة الاقتصادية العالمية بما يقارب ٥٠٠٪ وزيادة الطاقة والمواد الكلية على مستوى الكوكب بمقدار ٣٠٠٪. واليوم تبتلع هذه الزيادات المطردة كل المزايا التى تأتى بها الإنجازات العديدة فى مجال التكنولوجيا والعلوم.

النانوتكنولوجيا والمجتمع

من الممكن تصنيف الأخطار المحتملة للنانوتكنولوجيا إلى ثلاث مجموعات:

١ - الخطورة على الصحة والبيئة من الدقائق والمواد النانوية .

٢ - الخطورة التى يمثلها التصنيع الجزيئى أو النانوتكنولوجيا المتقدمة.

٣ - الأخطار المجتمعية.

وقد نظمت مجموعة من أكثر من ٥٠ خبيرًا دوليًا فى مختلف المجالات حملة مكثفة لدراسة التأثيرات المجتمعية للنانوتكنولوجيا الجزيئية سنة ٢٠٠٥. وقد أعلنت مؤسسة العلوم الوطنية أنها ستقوم بتمويل مركزين وطنيين ليقوما بأبحاث عن علاقة النانوتكنولوجيا بالمجتمع، وهذان المركزان هما جامعة كاليفورنيا (سانتاباربارا) وجامعة أريزونا الحكومية. وقد جاء ذلك فى إشارة واضحة للأهمية البالغة المتوقعة للنانوتكنولوجيا على المجتمع وتأثيرها فيه.

ولا يمثل وجود المواد النانوية خطورة فى حد ذاته، غير أن الحركية الهائلة والتفاعلية (النشاط التفاعلى) الشديدة تجعل من هذه المواد مصادر خطورة على الصحة والبيئة. ويجب

التمييز بين نوعين من البنى النانوية عند الحديث عن الصحة والبيئة : النوع الأول يتضمن بنى مركبة من أسطح نانوية التركيب ومكونات نانوية (مثل المجسات وأجهزة الاستشعار الإلكترونية والضوئية) حيث تتضمن دقائق نانوية فى بنيتها. أما النوع الثانى فهو الدقائق النانوية الطليقة الحرة فى بعض مراحل الإنتاج أو طوال فترة الإنتاج. وقد تكون هذه الدقائق عناصر أو مركبات بسيطة أو معقدة بحيث تتكون من عناصر مغلفة بمواد أخرى. ومع أن الخطورة قد تلازم النوع الأول إلا أن الخطورة الأساسية تأتى من النوع الثانى المتضمن للدقائق الحرة الطليقة.

ونظرًا للاختلاف فى الخواص بين الدقائق النانو والدقائق أو المواد العادية التى تقابلنا فى حياتنا اليومية، لا يمكن التنبؤ بخواصها من مجرد معرفة خواص المادة العادية المكونة من العنصر أو المركب نفسه.

ويطلق على الجرعة القاتلة على مدى ستة أشهر لحيوانات التجارب المعملية (الفئران مثلاً) اسم مؤشر «سكوف كجار

«Skov Kjaer» على اسم العالم كاسبار سكوف كجار "Kasper Skov Kjaer".

الخطورة على الصحة

تدخل الدقائق النانوية إلى الجسم من عدة مسارات، فهى قد تدخل مع هواء الشهيق أو تبلع مع الطعام أو اللعاب أو تمتص بواسطة الجلد أو يتم حقنها إلى داخل الجسم مع الأدوية صدفة أو عن عمد. وبمجرد دخول هذه الدقائق تصبح فائقة الحركة قادرة على التنقل فى الجسم لدرجة أنها قد تعبر حاجز الدم مع المخ. أما كيف تسلك هذه الدقائق داخل الجسم فإنه الموضوع الرئيسى لعلاقة الدقائق النانوية بالصحة. ويعتمد سلوك هذه الدقائق وخواصها على شكلها وحجمها وفاعليتها أو نشاطها تجاه الأنسجة التى تحيط بها. وقد تتسبب هذه الدقائق فى زيادة الحمل على الخلايا البلعمية[1] زيادة كبيرة، وهى الخلايا المكلفة باحتواء وتدمير

---

١ – الخلايا البلعمية Phagocytes خلايا حية وظيفتها حصار وتدمير أى مادة غريبة مثل الكائنات الدقيقة، وتسمى هـــــذه العملية=

الأجسام الغريبة، الأمر الذى يؤدى إلى إضعاف الجسم وتدنى مقاومته للأجسام الغريبة الأخرى الضارة بالصحة مثل البكتريا والفيروسات. وتشكل الدقائق المصنوعة من مواد لا تتحلل بيولوجيا أو بطيئة التحلل البيولوجى[1] خطورة

= phagocytosis ويعنى آكل الخلية باللغة الإغريقية. وهناك نوعان رئيسيان منها : الماكرو فاجس والميكروفاجس.

١ – **التحلل البيولوجي** Biodegradation العملية التى تتكسر بها المادة العضوية بواسطة الإنزيمات التى يفرزها كائن حى. ويستخدم المصطلح عادة فى الحديث عن البيئة وإدارة المخلفات والعوادم. وقد تتحلل المواد العضوية بيولوجيا بمعزل عن الهواء anaerobically بدون أكسجين أو فى وجود الهواء (أو الأكسجين) aerobically. والمواد القابلة للتحلل بيولوجيا هى المواد من أصل حيوى أو المواد العضوية المخلقة والتى تشبه المواد من أصل حيوى. ولبعض الكائنات الدقيقة مقدرة هائلة على تحليل طيف عريض من المركبات بما فى ذلك الهيدروكربونات (مكونات البترول الخام) والملوثات الشهيرة مثل ثنائى فينيل عديد الكلور (PCBs) والهيدروكربونات متعددة الأروماتية (PAHs) والمواد الطبية والدوائية والفلزات. ويقاس مدى التحلل البيولوجى فى وجود الهواء باختبار DR4 أو=

بتراكمها فى أنسجة وأعضاء الجسم. وكذلك التداخل الذى تتسبب فيه الدقائق النانوية مع العمليات الحيوية داخل الجسم : فكبر مساحة سطح الدقائق النانوية يجعلها تمتص بسهولة ولحظيًا السوائل الحيوية وبعض الجزيئات الماكروية التى تتواجد حولها وسيؤثر هذا الأمر بطرق مختلفة على آلية عمل الإنزيمات والبروتينات.

الخطورة على البيئة

لا تتوافر بيانات كافية لتقييم التأثيرات البيئية للدقائق النانوية. وهناك مجالان على وجه الخصوص فى هذا الشأن : (١) فى الحالة الحرة الطليقة قد تنطلق الدقائق النانوية فى الهواء أو الماء أثناء عمليات الإنتاج (أو حوادث الإنتاج) أو كعوادم ومنتجات ثانوية، وفى النهاية تتراكم فى التربة أو المياه أو

"4-day dynamic respiration index"= مؤشر التنفس الديناميكى فى ٤ أيام». أما مدى التحلل البيولوجى فى معزل عن الهواء فيقاس باختبار BMP100 أو "Biogenic Methane Potentil in 100-days جهد الميثان البيولوجي، المصدر فى ١٠٠ يوم".

النباتات، (٢) فى الحالة المركبة أو المثبتة حيث توجد ضمن مواد أو منتجات مصنعة، ويعاد تدويرها فى نهاية المطاف أو تصرف كعوادم. وليس معروفًا بعد ما إذا كانت بعض أنواع الدقائق النانوية تكون طرازًا جديدًا من الملوثات غير القابلة للتحلل البيولوجى. وإذا تواجدت هذه الأنواع فليس معروفًا كذلك كيفية التخلص منها سواء كانت فى الهواء أو الماء لأن معظم المرشحات لا تحجز هذه الأحجام من الدقائق.

وحتى يتضح تأثير الدقائق النانوية على الصحة أو البيئة، فإن دورة الحياة الكاملة لهذه الدقائق لابد أن تكون معروفة ومدروسة، فتأثير هذه الدقائق يختلف باختلاف أطوار دورة حياتها.

وأسوأ سيناريو يمكن أن يتعرض له كوكب الأرض هو ما يسمى «جراى جوو Grey Goo» - المادة اللزجة الرمادية - أو عندما تتكاثر الروبوتات (أو المصانع النانوية) ذاتيًا - أى تقوم بتصنيع مثيلاتها وتخرج عن التحكم والسيطرة ولا

تتوقف ولا تخضع لأى عملية توقف تكاثرها، لتغطى سطح الكوكب فى غضون بضعة أيام. وإذا حدثت الظاهرة نفسها – أى التكاثر الذاتى غير الخاضع للسيطرة – لبعض الكائنات الحية المهندسة جينيًا (وراثيًا)، فإن الظاهرة تسمى «جرين جوو Green Goo» – المادة اللزجة الخضراء.

الحاجة إلى التنظيم (التحديد والتقييد)

بدأت بعض الهيئات والمنظمات العمل على دراسة الأخطار المحتملة التى تهددنا بها الدقائق النانوية. ومن هذه الهيئات وكالة حماية البيئة (EPA) وإدارة الغذاء (FDA) والدواء وإدارة الصحة وحماية المستهلك بالاتحاد الأوروبى. لكن حتى الآن لا توجد أى تقييدات أو محددات خاصة تتعلق بالإنتاج أو التعامل مع الدقائق النانوية أو التركيبات والتصميمات التى تحتوى عليها، وإذا وجدت فهى استرشادية وليست ملزمة. وقد أظهرت بعض الدراسات أن خطورة الدقائق النانوية تعتمد إلى حد بعيد على حجمها، فكلما

صغرت كلما زاد خطرها (أو سُمِّيتها) لأن الجرعات المتساوية في الوزن تحتوى أعدادًا أكبر من الدقائق الأصغر حجمًا. والطرق المتاحة حاليًا لا تناسب مهمة اكتشاف وتقييم جرعات الخطر من الدقائق النانوية، وكذلك الأجهزة المستخدمة حاليًا في هذا الشأن فهي غير مناسبة بصورة طيبة للمهمة. كما أن التأثيرات الفسيولوجية ورد فعل الجسم تجاه الدقائق النانوية غير معروف حتى الآن.

وتقرر الهيئات والمنظمات الأمريكية والأوربية أن الدقائق النانوية تمثل خطورة كامنة من نوع جديد تمامًا، ولذلك من الضروري إجراء تحليل للخطورة يشمل كل التفاصيل. والتحدى الماثل من أجل التوصل إلى محددات أو قيود هو هل من الممكن تطوير مصفوفة تستطيع التعرف على الدقائق النانوية وعلى التركيبات النانوية التى يحتمل أن يكون لها درجة معينة من السمية والخطورة؟ أم أن التعرف يتطلب إجراء الاختبارات على كل نوع من الدقائق أو التركيبات على حدة؟

الفوائد والأخطار المحتملة للدول النامية

من الممكن أن تقدم النانوتكنولوجيا حلولاً جديدة لملايين الناس فى الدول النامية، الذين يفتقرون إلى الخدمات الأساسية من مياه نقية وطاقة مستقرة ورعاية صحية وتعليم. وقد وضعت الأمم المتحدة أهدافًا للتنمية خلال الألفية الجديدة[1] لمواجهة هذه الحاجات وتلبيتها. وقد لاحظت حملة

---

١ – أهداف الأمم المتحدة للتنمية فى الألفية الجديدة Millenium Development Goals MDG ثمانية أهداف رئيسية تتضمن أهدافًا فرعية، اتفق عليها أعضاء الأمم المتحدة البالغ عددهم ١٨٩ دولة، والتى وعدوا بالتوصل إليها بحلول عام ٢٠١٥، وذلك فى اجتماع القمة سنة ٢٠٠٠، وأصدروا بها إعلان الأمم المتحدة للألفية United Nations Millinium Dectarateai والأهداف الرئيسية هى :

١ – التخلص من الفقر المدقع والجوع.
٢ – نشر التعليم الابتدائى على مستوى العالم.
٣ – تشجيع المساواة بين الرجل والمرأة وتمكين المرأة من حقوقها.
٤ – تقليص وفيات الأطفال.
٥ – تحسين صحة الأمهات.
٦ – محاربة الإيدز والملاريا والأمراض الأخرى والقضاء عليها.
٧ – التأكيد على استدامة البيئة.
٨ – تطوير مشاركة عالمية من أجل التنمية.

الأمم المتحدة للعلم والتكنولوجيا والتجديد سنة ٢٠٠٤ أن بعض مميزات النانوتكنولوجيا تتضمن الإنتاج بعمالة أقل ومتطلبات متوسطة من المواد والطاقة.

وتستثمر دول نامية كثيرة مواد كبيرة فى بحوث وتطوير النانوتكنولوجيا مثل كوستاريكا وتشيلى وبنجلاديش وتايلاند وماليزيا. وتنفق الدول التى بزغت كاقتصاديات ناجحة، مثل البرازيل والصين والهند وجنوب أفريقيا، الملايين سنويًا على البحث والتطوير (R & D)[1]. وتزداد مخرجات

---

١ – **(R & D) البحث والتطوير** Research & Development يشير الحرفان R & D إلى العمل الإبداعى الخلاق القائم على أسس منهجية لإثراء المعرفة عند الإنسان وثقافته ومجتمعة، واستخدام هذا المخزون للتوصل إلى تطبيقات جديدة. ويقوم على البحث والتطوير وحدات خاصة أو مراكز تحمل نفس الاسم، وهى تشير عادة إلى التوجه المستقبلى بعيد المدى فى العلم والتكنولوجيا. وتطبق وحدات ومراكز R & D عادة قواعد الإحصاء المعروفة على الإنتاج والمقدرة التنافسية للمؤسسة ومدى التقدم الذى تحقق فى فترة زمنية معينة. وعادة ما يتم تقييم نشاط وفعالية وحدات ومراكز R & D بعدد براءات الاختراع والأبحاث المحكمة المنشورة سنويًا.

البحوث العلمية فى هذه الدول كما تشهد بذلك أعداد ما ينشر من بحوث علمية محكمة.

وتتضمن الفرص المحتملة للنانوتكنولوجيا، والتى تتناول الحالة الحرجة لأولويات التنمية الدولية، الأنظمة المتطورة لتنقية المياه ومنظومات الطاقة والطب والعقاقير، وإنتاج الغذاء، والتغذية، وتكنولوجيا المعلومات والاتصالات. وتدخل النانوتكنولوجيا بالفعل فى بعض المنتجات المعروضة فى الأسواق، ومازال البعض الآخر قيد البحث العلمى. وهناك من النانوتكنولوجيا ما هو مجرد أفكار تقترب من الخيال ومازالت بعيدة الاحتمال، إما لصعوبة تحقيقها أو لعدم وضوح الهدف أو الحاجة إليها ومنها.

ويثير تطبيق النانوتكنولوجيا فى الدول النامية التساؤلات نفسها حول الصحة والبيئة والآثار المجتمعية والأخطار. ومن الواضح أنه حتى فى هذه الدول ترتبط النانوتكنولوجيا بمفاهيمها ووسائلها بعملية التنمية.

وعادة ما تعانى ظروف حماية البيئة والصحة العامة وسلامة العاملين فى الدول النامية من تداخل عدة عوامل من بينها – وليست كلها- قسوة (أو غلظة) القيود والتحديدات المتعلقة بالصحة العامة والبيئة وسلامة العاملين مع جو عام لا يطبق القواعد بكفاءة. ويرجع ذلك فى تقدير الخبراء لعدم تدريب الكوادر المسئولة عن التطبيق وعدم واقعية الإجراءات، لذلك تحتاج هذه الدول إلى المعونة المادية والبشرية.

وليس معروفًا سوى القليل عن أخطار النانوتكنولوجيا، وهو ما يشكل تحديًا للحكومات والشركات والمجتمع المدنى فى الدول النامية بالذات، وذلك من منطلق إخضاع كامل العملية للقوانين واللوائح الحاكمة. ويتوالى تسجيل براءات الاختراع فى مجال النانوتكنولوجيا وتزداد أعدادها، ففى عام ١٩٩٨ تم تسجيل ٥٠٠ براءة اختراع بينما وصل عددها إلى ١٣٠٠ سنة ٢٠٠٠. ولبعض هذه الاختراعات مدى واسع من التطبيقات.

ويرتبط الفقر بالسلع إنتاجًا وتسويقًا. فكثير من الدول الأقل تقدمًا تعتمد فى اقتصاديتها على عدد قليل من السلع فى العمالة والربح وغيرها. فكثير من تطبيقات النانوتكنولوجيا قد تؤثر فى الطلب العالمى على بعض السلع. فمثلاً قد تزيد بعض الإضافات النانوية من عمر المطاط وقوته، الأمر الذى سيؤدى إلى إنحسار الطلب على المطاط الطبيعى. وفى المقابل قد تؤدى بعض تطبيقات النانوتكنولوجيا إلى زيادة الطلب على أشياء أخرى مثل التيتانيوم. وتأتى الحاجة للتيتانيوم نظرًا لاستخدام الأنابيب النانوية من ثانى أكسيد التيتانيوم فى إنتاج وتخزين الهيدروجين لاستخدامه كوقود (فى خلايا الوقود). وتدور حوارات متعددة حول التعديلات المستقبلية اللازمة لتتواءم الدول النامية مع الظروف المتغيرة.

ومن الحوارات الهامة التى أجراها معهد المريديان سنة ٢٠٠٣ حوارٌ حول «الفقراء والنانوتكنولوجيا على مستوى العالم : الفرص والمخاطر» وذلك لرفع حالة الوعى بالفرص

والمخاطر المحدقة بالدول النامية، وكذلك من أجل سد الفجوة داخل قطاعات المجتمع وبين قطاعاته المختلفة. وقد أصدر المعهد عددًا من النشرات والمقالات العلمية حول هذا الموضوع.

من الذى يرسم المستقبل ؟

يدور السؤال حول مستقبل النانوتكنولوجيا فى عقول أكثر المتخصصين فى هذا المجال، وفى كتابات وروايات الخيال العلمى. ويتوقع الجميع تطورات علمية وتكنولوجية مدوية للنانوتكنولوجيا، كما أنهم يتنبأون بأخطار تنال من حياة الناس وبيئتهم ومستقبلهم من جراء الاستخدام الخاطئ سواء بالصدفة أو عن عمد لهذه التكنولوجيا.

ويقول البعض المتشائم من المتخصصين أن المستقبل أيًّا كان اتجاهه لا يحمل الخير للبشرية. وقد صاغ بعضهم اصطلاح التكاثر الذاتى للنانوبوت (nanobot) أو الروبوت النانوى. ويعنى هذا المصطلح أن تقوم الروبوتات بإنتاج

نفسها بنفسها دون أى تحكم من البشر فتخرج عن السيطرة لتغرق العالم أجمع.

وقد ظهرت رواية «الغزو Prey» سنة ٢٠٠٢ وتناولت موضوع التكاثر الذاتى للنانوبوت، وهى من روايات الخيال العلمى المرعبة. تجرى أحداث الرواية عند هروب بعض النانوبوت من المعمل وتكاثرها ذاتيًا نتيجة خطأ فى برمجتها. أخذت هذه «الآلات» تزدهر وتتطور. وأخيرًا اتخذت مظهرًا بشريًا وأخذت تقتل الكثير من البشر. وينتهى السيناريو بالنجاح فى إيقاف هذه الموجة بالكاد قبل أن تتسيد العالم بالفعل. وقد قابل النقاد الرواية ببرود مدعين أنها تحفل بتفاصيل فنية وعلمية أكثر كثيرًامن اللازم. أما العلماء والمتخصصين فقد قابلوا الرواية بذهول، وصرح كثير منهم بأنها قد تسببت فى تعطيل أبحاث النانوتكنولوجيا بتضخيمها للمخاطر التى قد تتسبب فيها.

وقد جاءت أحدث أعمال الخيال العلمى كالعاصفة المدوية باسم «التفرد Singularity» سنة ٢٠٠٥، والذى

يأخذنا أبعد كثيرًا من «الغزو» حيث يتناول التحولات التى ستحدث للبشر خلال بضعة عقود من السنوات، عندها سيتخطى البشر إنسانيتهم ويندمجون بتكنولوجيتهم، أو بالأحرى بالنانوتكنولوجيا، ومن هنا جاءت التسمية «التفرد Singularity».

ويجرى التقدم فى النانوتكنولوجيا على قدم وساق بخطوات متساوعة. والسؤال الذى يطرح نفسه؛ هل ستتشابه النتائج فى الثورة التكنولوجية القادمة (التى تقودها النانوتكنولوجيا) ولو بشكل بعيد مع واحدة أو أكثر من التنبؤات التى وردت فى السيناريوهات العلمية أو فى روايات الخيال العلمى؟ ينبئنا التاريخ أن ذلك سيحدث بالفعل، فقد تنبأت البشرية فى السابق بالتقدم التكنولوجى وجاهدت لتحقيقه، مثل الطيران ورحلات الفضاء والاتصالات اللاسلكى والانجازات الطبية، وذلك قبل تحقيقها بعشرات وأحيانًا بمئات السنين، ومن المرجح أن تتبع النانوتكنولوجيا نفس المسار.

تتعامل النانوتكنولوجيا مع الأشياء التى تكاد لا ترى أو هى فعلاً غير مرئية حتى بأقوى الميكروسكوبات العادية. وكلمة «نانوس» بالإغريقية تعنى القزم. لكن إمكانيات هذه التكنولوجيا ليست قزمًا ولا غير مرئية أبدًا. فالعلماء يعملون والمهندسون يصممون وينتجون سلعًا عديدة متباينة – من الأقمشة التى لا تتسخ والبويات التى لا تخدش إلى كرات التنس الأطول عمرًا. وفى الطريق إلى المستهلك أدوات وأجهزة طبية تشخيصية جديدة وصغيرة، وبطاريات وخلايا وقود أكفأ كثيرًا من الحالية، كلها مبنية على النانوتكنولوجيا.

يقول ميركين (Mirkin) – مدير معهد النانوتكنولوجيا بجامعة نورث وسترن (Northwestern) «لقد تمكنا في الوقت الحالى فقط من استخدام أجهزة ومعدات تسمح لنا بالفعل بالتعامل مع الذرات والجزيئات. وقد حدث تحول كبير فى الطريقة التى نوظف بها العلم والهندسة، وفى النهاية فى تعاملنا مع الطب، ولذا فإننى أعتقد أن هذا يعد أمرًا ثوريًا».

ويعتقد كثير من العلماء أن إمكانيات النانوتكنولوجيا تقريبًا لانهائية مع احتمال وجود تناقضات تشوب هذه الإمكانيات. فمن الشرائح (الشيبات) غير المرئية للعين المجردة إلى الآلات الميكروسكوبية القادرة على البحث عن السرطان وتدمير خلاياه داخل جسم الإنسان، ما هى إلا بعض الآفاق المتوقعة للمستقبل.

وتحتل مئات البضائع أرفف السلع والمعارض فى الأسواق، وهى من إنتاج النانوتكنولوجيا. وفى الوقت نفسه لا توجد لوائح تحكم تصنيع وإنتاج وتسويق هذه السلع. وتقول الدكتورة كريستين كولينوفسكى (Kristen Kulinowski) – المدير التنفيذى لمركز النانوتكنولوجيا البيولوجية والبيئية بجامعة رايس، وهى من العلماء المتفائلين الذين يعتقدون أن العلم سيتغلب فى النهاية على مصاعب ومساوئ النانوتكنولوجيا. وتقول «إذا تمكنا من إدخال إحدى الدقائق النانوية فى خلية، فسيكون ذلك بمثابة طريقة

جديدة ومفيدة فى توصيل الدواء. وفى الوقت نفسه قد تكون هذه الطريقة ضارة بالنسبة للخلية إنما بتكوين ثقب فى غشائها أو بالتدخل فى وظائفها. لكننا متفائلون كعلماء ومهندسين بأننا سنتوصل إلى دقائق وطريقة تحقق الفائدة وتتجنب الأضرار».

وهناك ما يشبه الأتفاق بين العلماء والمهندسين من جهة وصناع السياسات من جهة أخرى بأن هناك حاجة للمزيد من الأبحاث والدراسات حول تأثيرات النانوتكنولوجيا الصحية والبيئية.

واليوم هناك أكثر من ألف وخمسمائة (١٥٠٠) شركة ومؤسسة مهتمة بالنانوتكنولوجيا حول العالم، ويقع نصفهم تقريبًا فى الولايات المتحدة. لكن هذه الشركات تواجه عجزًا واضحًا فى المتخصصين والعلماء القادرين على إجراء البحوث والتطوير فى هذا المجال الجديد، وهو الأمر الذى قد يعطل تطوير التكنولوجيا فى رأى بعض الخبراء ومنهم تشاد ميركين

مدير معهد النانوتكنولوجيا بجامعة نورث ويسترن. يقول ميركين «إننى أعتقد أنه فى النهاية سيحدث تباطؤ وتوقف كبير فى تمويل وتطوير العلوم النانوية وفى تجارة النانوتكنولوجيا. وستتحول هذه الإنجازات إلى شركات جديدة ويتاح لها فرص جديدة». ومع ذلك فإن السباق فى مجال النانوتكنولوجيا سيولِّدُ اقتصادًا بحجم تريليون دولار خلال العقد القادم، وسيعيد تشكيل الصناعة فى الولايات المتحدة وأوربا، كما سيحدث تفجرًا هائلاً للصناعة فى الدول الآسيوية، ويؤيد هذا الرأى بات مونى (Pat Mooney) – المدير التنفيذى لمجموعة ETC فى كندا، وهى مجموعة مهتمة بالتأثيرات المجتمعية للتكنولوجيا، ويقول «ستخلق النانوتكنولوجيا الجيل القادم من المليارديرات وستعيد تشكيل دوائر الأعمال «ويضيف مونى» لم نقابل فى السابق أبدًا تكنولوجيا تشتمل على تسجيل اختراع واحد – مثل أنابيب الكربون النانوية – ثم نجد أنه من الممكن استخدامه فى الصناعات الدوائية وصناعة السيارات وصناعة الطيران

والفضاء وفى الحاسبات والصناعات الغذائية. وهكذا فإن براءة اختراع واحدة قد تعنى موقعًا محوريًا فى مجمل الاقتصاد».

ويعتقد بعض المتحمسين من مؤيدى النانوتكنولوجيا أن هذا القرن (الواحد والعشرون) سيشهد زرع تصميمات ميكروسكوبية فى جسم الإنسان لتقوم بمواجهة وإيقاف عملية التقدم فى السن، ودفعها فى الاتجاه العكسى (استعادة الشباب)، ويحفز الحواس ويدعم الذكاء. لكن هل ستحسن هذه الأمور من مقدرتنا على تحكيم وإعمال العقل والمنطق ؟ أو هل سترفع من ميلنا للحنان الشفقة ؟ وهل ستزيد من درجة إنسانيتنا ؟

وقد صرحت إلين ميتشل (Ellen Mitchell) إخصائية قواعد السلوك والأخلاق فى معهد «البيوتكنولوجيا (التكنولوجيا الحيوية) ومستقبل البشرية» فى الينوى، بأن هناك الكثير مازال تحت السطح بالنسبة للنانوتكنولوجيا.

فالخصوصية ستنتهك، والأسلحة ستصبح أفظع من الخيال. والشئ غير المعروف، وغير الواضح هو أين الظاهر وأين الخفى؟ أين الواقع وأين الخيال؟ وما هو الشئ الذى سيصيبنا بالدهشة ؟ وما الذى سيزيد من همومنا؟ وكيف نضع القواعد لتنظيم مكتشفاتنا فى هذا المجال؟ وهل يجب علينا أن نتخوف أم ندهش ؟ أم هناك مشاعر أخرى غير هذين ؟

وسيحدد المستقبل ما إذا كانت الفوائد التى سنحصدها من النانوتكنولوجيا ستطغي على المخاطر المصاحبة لها. ويأمل الكثيرون من الباحثين والمهندسين أن تكون النانوتكنولوجيا هى الثورة الصناعية القادمة. ويعتقد المحللون أن على المجتمع أن يلعب دورًا نشطًا فى استيعاب هذه التكنولوجيا البازغة.

تقرير سنة ٢٠٠٦ والمستقبل

كتبت الكاتبة العلمية كارين شميث (Karen F. Schmidt) عن الحوارات التى دارت بين أكثر من ٥٠ متخصصًا بين عالم ومهندس وعالم سلوكيات ومتخصص فى

السياسات، كتبت تقول أن المتحاورين قد تعرضوا للفرص المفترضة من أجل الفوائد الهامة وتركيز مقدرة النانوتكنولوجيا فى حل مشكلات الطاقة والحاجة إلى علاج طبي أفضل ومياه نقية ...، وقد عقدت ورشة العمل التى ضمت المتحاورين على مدى يومين فى فبراير سنة ٢٠٠٦ تحت شعار «طريق واسع نحو عالم جديد من الإمكانيات التكنولوجية بتحفيز ودعم مناقشة الأهداف والرؤية للنانوتكنولوجيا فى إطار كل من العلوم والمجتمع» وقد جاء تقرير الورشة نتاجاً للتنبؤ والحذر الذين أثارتهما. وقد قامت الجهات الآتية بتمويل ورشة العمل : الصندوق الوطني العلمى (NSF)، والمعهد الوطنى للصحة (NIH)، ومشروع النانوتكنولوجيا البازغة الذى يمثل مبادرة من مركز وودرو ويلسون الدولى للعلماء، وإحدى المؤسسات الخيرية.

ويمثل التقرير نافذة تطل على مستقبل النانوتكنولوجيا، وهى تستشرف الطريق وتبين ما نحتاجه لاستثمار إمكانيات هذه التكنولوجيا بهذه الرؤية المستقبلية والمحورية لفهم

الميزات والتحديات التى تصنعها تطبيقات النانوتكنولوجيا على المدى البعيد.

ومازالت النانوتكنولوجيا فى مرحلة التقدم والتطور بإمكانيات ستوصلنا إلى فوائد جمة اليوم ولعقود كثيرة قادمة. فعلى سبيل المثال كان الجيل الأول من النانوتكنولوجيا فى الطب عبارة عن إعادة ترتيب الأدوية الموجودة، والتى عادة ما يتم تعديلها لتتلاءم مع الطرق الجيدة لإدخالها إلى الجسم. غير أن المتخصصين يرون فى المستقبل تحضير مواد جديدة بواسطة النانوتكنولوجيا تصلح كأدوية جديدة لعلاج السرطان وأمراض الأوعية الدموية والقلب ومرض باركنسون (الشلل الرعاش). ويتطلع الباحثون ويعملون جهدهم تجاه تصنيع مواد نانوية لتستخدم كأنسجة بديلة للكلى والأكباد المريضة، وحتى لتحل محل الأعصاب المدمرة. ومن الممكن استخدام النانوتكنولوجيا بكفاءة عالية للحصول على معلومات دقيقة وضرورية عن الحالة المرضية على

مستوى الذرة والجزئ مما يفتح الباب على مصراعيه لاستخدامات طبية هائلة.

كما يتعرض تقرير ورشة العمل إلى مساهمة النانوتكنولوجيا فى جهود إنتاج المياه النقية والطاقة فى جميع أنحاء العالم. وتقدم النانوتكنولوجيا اليوم طرقًا متاحة لمقاومة التلوث والتحكم فى مصادر المياه. وفى الغد قد تقدم النانوتكنولوجيا أنظمة لمعالجة المياه فى مواقع استخدامها، وحلولاً لمشكلات الطاقة فى مدى واسع بدءً من رفع كفاءة الطاقة المستخدمة حاليًا سواء فى التخزين أو الاستخدام والإتاحة أو النقل، وحتى التغلب على عقبات استخدام طاقة الهيدروجين فى وسائل النقل على شكل خلايا وقود للسيارات وغيرها. وسيؤدى ذلك إلى إحلال وسائل أقل إنتاجًا للكربون عن السابق.

وتعتبر النانوتكنولوجيا منطلقًا تكنولوجيا مناسبًا لكل صناعة تقريبًا لأنها يمكن أن تندمج وتتقارب مع

التكنولوجيات الأخرى لتغير من طرق تعاملنا مع هذه التكنولوجيات. ويشير التقرير إلى التقدم الحادث فى ثلاثة مجالات تكنولوجية أساسية هى : أجهزة البحث العلمى، وإدارة المعلومات، وتجميع أجزاء الماكينات والتصنيع، وهى جميعها أساسية للتقدم من خلال كل طيف احتياجات (R & D) للنانوتكنولوجيا.

والنانوتكنولوجيا الآن فى مرحلة مبكرة من التطور، ومازالت البنى النانونية الأولية تستخدم فى تحسين المواد الموجودة والمنظومات القائمة.، يقول ميهائل روكو (Mihail Roco) الاستشارى الأول فى "NSF" «نحن نهدف إلى التحكم المنهجى المنتظم فى المادة على المستوي النانوى لتوليد أجيال جديدة ثورية من المنتجات والأنظمة النانوية كأساس أولى للتكنولوجيات المتقاربة والمندمجة. ومن أجل ذلك فإننا فى حاجة إلى سلطة على مستوى الكوكب قابلة للتحول بسهولة وتكون مسئولة ومتوقعة للتعامل مع

النانوتكنولوجيا، على أن تتضمن باحثين وشخصيات عامة من بلدان كثيرة حول العالم العلمى والهندسى.

وفى مجال الأجهزة فإن ورشة العمل قد دعت إلى تصميم أجهزة أفضل لتصوير وقياس الأشياء على المستوى النانوى والتعامل معها ونمذجتها ، أى بين 1 ، 100 نانومتر. والميكروسكوبات القادرة على رؤية ورصد ذرة منفردة مثال على ذلك، وما هى إلا بداية. ومازال مخزون الأجهزة النانوية فارغًا نسبيًا، فإذا امتلأ بأجهزة قوية فإنه سيكون قادرًا على تحويلها إلى مكاسب فى مجال المعرفة العلمية، وهى أول نقطة انطلاق نحو الأجيال القادمة من النانوتكنولوجيا ... «ويحتاج الباحثون إلى مجموعات متكاملة من المجسات والأدوات الأخرى القادرة على إنتاج البيانات المركبة والضرورية التى تعطى صورة كاملة للعالم النانوى فى ثلاثة أبعاد (3D) وفى الزمن الجارى !! كما أن تجميع كم كبير من المعلومات يمثل تحديًا عمليًا. وقد أوصى المشاركون فى ورشة العمل بأن يولى

صناع السياسات والعلماء اهتمامًا خاصًا للمعرفة النانوية[1] (nanoinformatics) وهو منهج موجه إلى كيفية تنظيم ومعايرة واقتسام ومقارنة وتحليل والتمعن فى الكم الهائل من البيانات الفيزيائية والبيولوجية التى جمعت على المستوى النانوي.

وفى النهاية فبالإضافة للأجهزة والمعلوماتية، يؤكد تقرير ورشة العمل على أهمية إرساء طرق عملية لصنع البنى النانوية المعقدة وتكاملها مع بعضها. وقد ثمَّن المشاركون فى الورشة كثيرًا الفوائد التى يمكن حصدها من النانوتكنولجيا فقط إذا توصل الباحثون لمنجزات متميزة على المستوى النانوى فى مجال البناء والتصنيع. ويعترف المشاركون بأن الفرق الزمنى

---

١ – **المعلوماتية النانوية** nanoinformatics ترتبط النانوتكنولوجيا بالإنترنت إرتباطًا وثيقًا، فقد ظهرت للوجود كأول ثورة تكنولوجية فى عصر الإنترنت. ويسمى كم المعرفة المرتبط بالأمور النانوية والذى يستخدم فى تخزينه وتصفحه والتعامل معه تصميمات نانوية بالمعرفة النانوية.

بين البحث والتطبيق قد يستغرق عقودًا من السنوات. وقد أوصى المشاركون فى ورشة العمل بالتركيز على البحث المستدام من أكثر من مدخل للتصنيع والتجميع.

الإغراق بالنانوتكنولوجيا

يسمي السيناريو الذى يؤدى إلى المادة اللزجة الرمادية (Grey Goo) باسم إيكوفاجى (Ecophagy) ويعني نهاية خيالية للعالم تتضمن نانوتكنولوجيا جزيئية حيث تخرج الروبوتات النانوية عن السيطرة فتتكاثر ذاتيًا لتستهلك كل صور الحياة على الأرض فى بناء روبوتات مثيلة فى غضون بضعة أيام. ويستخدم هذا المصطلح فى الخيال العلمى أكثر منه فى الأعمال العلمية الرصينة الجادة. وقد صك هذا المصطلح كما سبق ذكره رائد النانوتكنولوجيا الجزئية إريك دريكسلر فى كتابه «آلات الإبداع» الذى صدر سنة ١٩٨٦ وهو يصور النمو الأسّى وكيف تتكاثر الآلات النانوية طالما وجدت المادة الخام. ويقدم ديكسلر التصور الآتى :

«تخيل أحد هذه النانوبوتات فى زجاجة من الكيماويات (مادة خام) وهو يقوم بتصنيع روبوت مثيل له .. سيستغرق أول روبوت ١٠٠٠ (ألف) ثانية لإنجازه، ثم سيقوم الإثنان ببناء زوج آخر خلال ألف ثانية أخرى، ثم يبنى الأربعة أربعة آخرين وهكذا ... وفى نهاية أول عشر ساعات سيكون هناك ٦٨ بليون روبوت، وفى أقل من يوم سيصل وزن الروبوتات المتكونة إلى طن. وفى أقل من يومين سيزيد وزنها عن وزن كوكب الأرض، وفى خلال أربع ساعات بعد ذلك سيتفوق وزنها علي وزن المجموعة الشمسية كلها.... إذا توفرت لها المادة الخام !!

وفى أحد السيناريوهات تم إطلاق بلايين من أمثال هذه الروبوتات القادرة على إنتاج مثيلاتها للتخلص من بقعة كبيرة ملوثة من البترول الخام على سواحل لويزيانا. لكن نتيجة خطأ فى برمجة البعض منها بدأت الروبوتات فى مهاجمة كل ما هو كربونى بدلاً من مجرد الهيدروكربونات (المكون الأساسى

للبترول). وهكذا بدأت الروبوتات فى تدمير كل شئ لتتكاثر ذاتيًا. وفى خلال يومين أو ثلاثة تحول كوكب الأرض إلى مجرد غبار.

ويؤكد دركسلر على أن الروبوتات القادرة على التكاثر ذاتيًا بتجميع الجزيئات يمكنها أن تتفوق على أكثر الكائنات تطورًا، وهى بذلك تستطيع أن تملأ المحيط الحيوى بمواد غير قابلة للأكل. فالبكتريا الصناعية المتوحشة القاسية ستتفوق على البكتريا الحقيقية، وستنتشر أسرع منها، لتحول المحيط الحيوى إلى غبار فى غضون بضعة أيام. والروبوتات المتكاثرة قد تكون أقسى كثيرًا من البكتريا الطبيعية ولا نستطيع حيالها شيئًا. ويكرر ديكسلر المقولة الشائعة ... «يكفينا ما نعانيه من الفيروسات وذباب الفاكهة».

وسيتحدد المدى الذى يصل إليه التكاثر بكمية المادة الخام المتاحة والطاقة المناسبة. ومصطلح «جراى جوو Grey Goo» لا يدل على لون معين أو تركيبة خاصة، بل هو مصطلح شامل.

ومن الممكن اعتبار البكتريا النموذج المثالى للنانوتكنولوجيا الحيوية (البيولوجية). وحيث إنها لم تغرق العالم بـ «جوو بيولوجية» فإن الروبوتات النانوية الصناعية لن تتمكن من ذلك. ويعتقد بعض العلماء أننا نعيش بالفعل على كوكب الأرض فى ظل «جوو بيولوجية». فالبكتريا موجودة فى كل مكان حول العالم وهى ذات مقدرة هائلة على التكاثر. ويؤكد البعض أن الأرض كوكب هذه البكتريا وأننا موجودون على هذا الكوكب فقط لأن البكتريا سمحت لنا بذلك. أما مارجوليس وساجان (١٩٩٥) فيذكرانا بأن جميع الكائنات قد انحدرت من البكتريا، فهى بشكل ما تتكون من البكتريا. وكثير من أنواع البكتريا أساسية لحياة الإنسان وتتواجد بكميات كبيرة فى القناة الهضمية فى علاقة نفع متبادل مع الإنسان.

وبذلك فإن «جوو حيوية» أو بالأحرى «جووحية» (Living Goo) قد تكون كائنًا متعدد الخلايا يحصل على المواد

الخام لنموه من إيكوفاجي[1] (ecophagy) – استهلاك البيئة – ثم يتكاثر بالانقسام الخلوى مثلاً لتتضاعف أعداده أسيًا.

مخاطر واحتياطات

يؤكد بعض الخبراء أن حجم الدقائق النانوية سيمنعها من الانتشار السريع والحركة الحرة بسرعة كافية. فالبكتريا (الدقائق النانوية الحية) تحصل على الطاقة من تخمر الغذاء أو أكسدته. أما الطاقة المتاحة للروبوتات النانوية فهى فى الأساس طاقة الشمس، والتي قد لا تكون كافية لإمداد عملية التكاثر الذاتي والحركة الحرة بالطاقة للإنتشار. أما إذا

---

١ – **إيكوفاجى** Ecophagy مصطلح صكه روبرت فرايتس Robert Freitas وهو يعنى حرفيًا استهلاك المنظومة البيئية. وقد وضع ليصف سيناريو يتضمن النانوتكنولوجيا الجزيئية عندما تخرج عن السيطرة فتؤدى إلى «جراى جوو Grey Goo» أى التكاثر الأسّى الخارج عن السيطرة للنانوروبوتات، والذى يستنفذ كل المنظومة البيئية فى إيكوفاجى عالمية. ويستخدم هذا المصلح اليوم للدلالة على أحداث جسيمة مثل الحرب النووية أو سيطرة ثقافة واحدة على العالم أو فناء الكتلة لنوع أو أكثر من أنواع الكائنات.

تحولت الروبوتات النانوية إلى الغذاء العضوى فقد لا تدعها «الدقائق الحية» (البكتريا) تفعل ذلك بسهولة.

وإذا كانت الروبوتات النانوية مكونة من مواد غير عضوية أو كانت تستخدم عناصر ليست موجودة بصورة نقية حرة فى الطبيعة مثل «السيليكون» فإن هذه الروبوتات ستحتاج لاستخدام معظم طاقتها ومخرجاتها لمواجهة «الأنتروبية»[1] (Enropy) أثناء تنقيتها بالاختزال للرمال محولة إياها إلى سيليكون نقى حر، لتبنى وحدات البناء المطلوبة. والطاقة الكيميائية المتاحة من المواد غير العضوية صغيرة (مثل الصخور) لأن الأخيرة معظمها

---

١ – **الأنتروبيه** Entropy دالة من دوال الحالة فى علم الديناميكا الحرارية، وتعنى درجة عشوائية أى نظام أو درجة عدم ترتيبيه. وهى مقياس لعدم الإتاحة من الطاقة فى نظام معين لعمل شغل. وهى الدالة التى تواجه كل من يحاول تنسيق وترتيب أى منظومة، أو تطوير وبناء وإنتاج أى شئ. وتتطلب هذه العمليات إنقاص الأنتروبيه، أى لابد أن تبذل طاقة لمواجهة الأنتروبية وإنقاصها (غول العشوائية وعدم الترتيب).

مؤكسدة جيدًا ولا تملك إلا أن تستقر فى نهايات دنيا من الطاقة الحرة[1].

فإذا افترضنا إمكانية حدوث «جراى جوو» من نانوروبوتات جزيئية تتكاثر ذاتيًا، فإن اتخاذ الاحتياطات اللازمة أمر ضرورى للحياة نفسها. ومن هذه الاحتياطات برمجة هذه الروبوتات لتتوقف عن التكاثر بعد عدد معين من الأجيال وذلك بتصميمها بحيث تتطلب عنصراً أو عناصر نادرة بعد عدد معين من الأجيال. كما يمكن برمجتها مبدئيًا بحيث لا تعمل إلا إذا كانت متصلة بمركز للتحكم والذى

---

١ – **الطاقة الحرة** Free Energy دالة من دوال الحالة فى علم الديناميكا الحرارية، وتعنى الطاقة المتاحة لعمل شغل بها. وتنقسم الطاقة إلى قسمين : قسم متاح وهو الطاقة الحرة وقسم غير متاح تتحكم فيه الأنتروبية. وتميز الطاقة الحرة حالة الإتزان والتغيرات التى تطرأ على أى نظام. فالزيادة فى الطاقة الحرة تعنى أن التغير غير تلقائى وأن النظام مجبر عليه، أما النقص فى الطاقة الحرة فتعنى أن التغير تلقائى يمضى فيه النظام من تلقاء نفسه، أما إذا كان النظام متزنًا فإن الطاقة الحرة تقع فى نهاية دنيا دون تغير.

يسمح لعدد معين فقط من الأجيال التالية بالاتصال به (ثمانية أو ستة عشر مثلاً).

ويعتقد كثير من المختصين اليوم ببعد احتمال حدوث «جراى جوو» وأن فرصة حدوثه أقل كثيراً جداً مما كان يعتقد فى السابق. وقد حاول ديكسلر أن يسحب هذا المصطلح من التداول بلا فائدة، وفى سبيل ذلك قام بتوجيه الانتباه إلى الإرهاب المعلوماتى النانوى[1] (Knowledge-enabled nanoterrorism).

كان دريكسلر يقول : «لا نستطيع أن نواجه مثل هذه الأحداث» وكان ذلك سنة ١٩٨٦، أما في عام ٢٠٠٤ فقد أخذ يردد : «ليتنى لم أكن قد استخدمت مصطلح «جراى جوو»».

---

١ – الإرهاب النووى المعلوماتي Knowledge-based nanoterrorism الاستخدام التخيلى للنانوروبوتات وأنظمة المعلومات النانوية nanoinformatics فى سيناريو «جراى جوو Grey Goo» (إغراق العالم بالنانوروبوتات المتكاثرة ذاتيًا) لتحويل العالم كله إلى غبار.