المملكة العربية السعودية

مدينة الملك عبدالعزيز
للعلوم والتقنية KACST

تقنية النانو
وعصر علمي جديد

أ.د.محمود محمد سليم صالح

الرياض
١٤٣٦هـ - ٢٠١٥م

المملكة العربية السعودية

تقنية النانو
وعصر علمي جديد

أ.د. محمود محمد سليم صالح

الرياض
١٤٣٦هـ - ٢٠١٥م

ⓒ مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية، ١٤٣٥هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

صالح، محمود محمد سليم

تقنية النانو وعصر علمي جديد. / محمود محمد سليم صالح

الرياض، ١٤٣٣هـ

٢٣٢ص ؛ ١٧×٢٤ سم

ردمك: ٨-٤٨-٨٠٤٩-٦٠٣-٩٧٨

١- النانو ٢- الإلكترونيات الدقيقة أ.العنوان

ديوي ٥, ٦٢٠ ١٤٣٣/٩٠٠٧

رقم الإيداع: ١٤٣٣/٩٠٠٧

ردمك: ٨-٤٨-٨٠٤٩-٦٠٣-٩٧٨

جميع الحقوق محفوظة

مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية
ص.ب. ٦٠٨٦ الرياض ١١٤٤٢
المملكة العربية السعودية
هاتف : ٤٨٨٣٤٤٤ ـ ٠١١-٤٨٨٣٥٥٥ فاكس : ٠١١-٤٨٨٣٧٥٦
الموقع الالكتروني: www.kacst.edu.sa
المكتبة الالكترونية: kacst.edu.sa/ar/about/publications
البريد الالكتروني: awareness@kacst.edu.sa

بسم الله الرحمن الرحيم

الموضوع	الصفحة

المقدمة ١٥

الفصل الأول: التقنيات المتناهية في الصغر

(١ – ١) مفاهيم أساسة ١٩

(١-١-١) مفهوم الذرة..... ١٩

(١-١-٢) مفهوم الجزيء..... ٢١

(١-١-٢-١) حجم الجزيء..... ٢٢

(١-١-٢-٢) أشكال الجزيئات لبعض العناصر..... ٢٢

(١-١-٣) الروابط..... ٢٤

(١-١-٣-١) الروابط الكيميائية..... ٢٤

(١-١-٣-١-١) الرابطة الأيونية..... ٢٥

(١-١-٣-١-٢) الرابطة التساهمية..... ٢٧

(١-١-٣-١-٣) الرابطة الفلزية..... ٢٨

(١-١-٣-٢) الروابط الفيزيائية..... ٣٠

(١-١-٣-٢-١) الرابطة الهيدروجينية..... ٣٠

(١-١-٣-٢-٢) قوى فان دير فال..... ٣١

(١-٢) تعريف تقنية النانو..... ٣٢

(١-٣) أهمية تقنية النانو..... ٣٧

(١-٤) المواد النانوية ٤٠

الموضوع	الصفحة

(١-٤-١) أين توجد المواد ذات المقياس النانوي؟..... ٤٠

(١-٤-٢) سلوك المواد النانومترية..... ٤١

(١-٥) نبذة تاريخية..... ٤٢

(١-٥-١) تواريخ مهمّة..... ٤٩

الفصل الثاني: المواد المتناهية في الصغر وطرق تحضيرها

(٢-١) مقدمة ٥٣

(٢-٢) تعريف المواد المتناهية في الصغر..... ٥٣

(٢-٣) تصنيف المواد المتناهية في الصغر..... ٥٦

(٢-٤) طرق تحضير المواد المتناهية في الصغر..... ٥٨

(٢-٥) أشكال المواد النانومترية ٦٤

(٢-٥-١) النقاط الكمية ٦٤

(٢-٥-٢) الفلورين ٦٥

(٢-٥-٣) الكرات النانوية ٦٦

(٢-٥-٤) الجسيمات النانوية..... ٦٨

(٢-٥-٥) الأنابيب النانوية..... ٦٩

(٢-٥-٦) الأسلاك النانوية..... ٧٠

(٢-٥-٧) الألياف النانوية..... ٧١

(٢-٥-٨) المركبات النانوية..... ٧١

الموضوع	الصفحة

(٢-٦) نمذجة المواد النانوية..... ٧٢

(٢-٧) المجاهر المستخدمة في رؤية المواد النانوية..... ٧٤

(٢-٧-١) المجهر الإلكتروني النفاذ ٧٥

(٢-٧-٢) المجهر الإلكتروني الماسح ٧٨

(٢-٧-٣) المجهر النفقي الماسح..... ٨٠

(٢-٧-٣-١) طريقة عمل المجهر النفقي الماسح ٨٣

(٢-٧-٤)مجهر القوة الذرية ٨٦

الفصل الثالث: أنابيب الكربون النانوية

(٣-١) مقدمة ٨٩

(٣-٢) الكربون..... ٨٩

(٣-٢-١) تاريخ الكربون..... ٨٩

(٣-٢-٢) صور الكربون..... ٩٠

(٣-٣) أنابيب الكربون النانوية ٩٨

(٣-٣-١) تعريف أنابيب الكربون النانوية ٩٨

(٣-٣-٢) تاريخ أنابيب الكربون النانوية..... ١٠٣

(٣-٣-٣) تصنيع أنابيب الكربون النانوية..... ١٠٥

(٣-٣-٤) أنواع أنابيب الكربون النانوية..... ١١١

(٣-٣-٥) أشكال أنابيب الكربون النانوية..... ١١٣

الموضوع	الصفحة
(٣-٣-٦)خواص أنابيب الكربون النانوية.....	١١٩
(٣-٣-٦-١)الخواص الميكانيكية.....	١١٩
(٣-٣-٦-٢)الخواص الكهربية.....	١٢٠
(٣-٣-٦-٣)الخواص الحرارية.....	١٢١
(٣-٣-٧)استخدامات أنابيب الكربون النانوية.....	١٢٢
(٣-٣-٧-١) أجهزة الانبعاث الإلكتروني.....	١٢٥
(٣-٣-٧-٢) مجهر القوة الذرية.....	١٢٥
(٣-٣-٧-٣) تخزين الهيدروجين.....	١٢٦
(٣-٣-٧-٤) أجهزة الاستشعار عالية الحساسية.....	١٢٧
(٣-٣-٧-٥) التشخيص بأشعة أكس.....	١٢٧
(٣-٣-٧-٦) مصعد الفضاء.....	١٢٨
(٣-٤) فقاعات الكربون الدقيقة.....	١٢٩
الفصل الرابع: التطبيقات الحالية والمستقبلية لتقنية النانو	
(٤-١) مقدمة	١٣١
(٤-٢) التطبيقات الطبية.....	١٣٢
(٤-٢-١) علاج السرطان.....	١٣٣
(٤-٢-٢) الاتصال بالانسالات النانوية.....	١٣٣
(٤-٢-٣)التشخيص بتقنية النانو.....	١٣٨

الموضوع	الصفحة
(٤-٢-٤) تقنية النانو والصيدلة	١٤٠
(٤-٢-٤-١) توصيل الأدوية للأنسجة.....	١٤٠
(٤-٢-٥) هندسة الأنسجة.....	١٤١
(٤-٢-٦)ربوتات النانو.....	١٤٢
(٤-٣) أغذية النانو.....	١٤٣
(٤-٤) تقنية النانو وتنقية المياه.....	١٤٦
(٤-٥) النانو واكتشاف تلوث الهواء.....	١٤٩
(٤-٦) تقنية النانو والزراعة.....	١٥٠
(٤-٧) التطبيقات الصناعية.....	١٥١
(٤-٧-١) تقنية النانو والحاسوب.....	١٥١
(٤-٧-٢) الحبر الذكي	١٥٥
(٤-٧-٣) الطاقة النانوية.....	١٥٧
(٤-٧-٤) النانو والطاقة الشمسية	١٥٧
(٤-٧-٥) تقنية النانو والصناعات النفطية.....	١٦١
(٤-٧-٥-١) انسالات لكشف المخزون النفطي.....	١٦٢
(٤-٧-٦)تقنية النانو والسيف الدمشقي	١٦٣
(٤-٧-٧)النانو والصناعات الأخرى.....	١٦٤
(٤-٨) النانو في المجال الحربي	١٦٧

الموضوع	الصفحة
(٤-٨-١) النانو والأسلحة القذفية.....	١٦٩
(٤-٨-٢) النانو والقوة الجوية.....	١٦٩
(٤-٨-٣) تقنيات الطاقة النانوية.....	١٦٩
(٤-٨-٤) كفاءة الأسلحة النانوية.....	١٧٠
(٤-٩) تقنية النانو والفضاء.....	١٧٠
(٤-١٠) تقنية النانو والحج	١٧٢
(٤-١١) بعض التطبيقات المستقبلية لتقنية النانو	١٧٣
(٤-١١-١) جهاز مراقبة التنفس أثناء العمليات الجراحية.....	١٧٣
(٤-١١-٢) الحياكة النانوية	١٧٤
(٤-١١-٣) المواد العضوية والحاسوب.....	١٧٤
(٤-١١-٤) تقنية النانو والظواهر البيئية.....	١٧٥
الفصل الخامس: تحديات ومحاذير تقنية النانو	
(٥-١) الجهود الدولية لدعم أبحاث تقنية النانو.....	١٧٧
(٥-١-١) واقع النانو في الولايات المتحدة	١٨٠
(٥-١-٢) واقع النانو في روسيا.....	١٨٠
(٥-١-٣) واقع النانو في إسرائيل.....	١٨١
(٥-١-٤) واقع النانو في تايوان.....	١٨١
(٥-١-٥) النانو في كوريا	١٨٢

الموضوع	الصفحة
(٥-١-٦) النانو في سنغافورة وماليزيا.....	١٨٢
(٥-١-٧) الصين والطفرة في صناعات النانو.....	١٨٣
(٥-١-٨) التقنية النانوية ومراكز الأبحاث	١٨٤
(٥-٢) واقع تقنية النانو في الدول العربية	١٨٥
(٥-٣) تقنية النانو والمملكة العربية السعودية.....	١٨٧
(٥-٣-١) تقنية النانو ومدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية	١٨٩
(٥-٤) تحديات تقنية النانو.....	٢٠٠
(٥-٥) محاذير تقنية النانو	٢٠٤
(٥-٥-١) الاعتبارات الأخلاقية.....	٢٠٨
(٥-٥-٢) المنفعة الاجتماعية للتقنية النانوية.....	٢٠٩
(٥-٥-٣) حالة المعارف المتصلة بمخاطر المواد النانوية.....	٢١٠
(٥-٥-٤) الاتصال والحوار العام	٢١١
(٥-٥-٥) نشاطات المنظمات الدولية.....	٢١٢
(٥-٥-٦) نشاطات المنظمات غير الحكومية.....	٢١٣
الخاتمة	٢١٧
قائمة المصادر والمراجع.....	٢١٩
ثبت المصطلحات.....	٢٢٧

تقديم

يتميز هذا العصر بالتقدم العلمي الهائل والمتسارع في شتى جوانب المعرفة، وكذلك في عدد الاكتشافات والمخترعات في مختلف الجوانب والتطبيقات. وقد أحدث ما شهدته الحضارة الإنسانية من قفزات وطفرات علمية تغييرًا جذريًّا شمل معظم نواحي الحياة البشرية.

ولأسباب تتعلق بهذا التراكم الكبير من العلوم وتطبيقاتها، وبسياق يستهدف تنمية الإنسان علميًّا من أجل تنميته الذاتية، أخذت مفاهيم، مثل: الوعي العلمي، والتنوير العلمي، والتثقيف العلمي تشق طريقها؛ لتسهم في زيادة الوعي بالعلوم ومنتجاتها، والمعارف وتطوراتها، بل شملت نواتج التطور في بعض العلوم وآثارها، واستخداماتها الرديئة.

ولهذه الأسباب وغيرها برزت أهمية الاهتمام بما يعرف بالثقافة العلمية، حيث ظهر هذا المصطلح على الساحة الثقافية العامة، وأصبح يفرض نفسه كضرورة ملحة؛ لتكوين المواطن الواعي بالمجريات العلمية التي من حوله، وخاصة بعد التفجر المعرفي الهائل الذي غيّر كثيرًا من الأنماط الفكرية والسلوكية للإنسان، وذلك بعد دخول العلم بنظرياته وتقنياته في مختلف مجالات النشاط الإنساني.

وقد جاءت السياسة الوطنية للعلوم والتقنية والابتكار في المملكة العربية السعودية مؤكّدة على أهمية نشر الوعي العلمي، والثقافة العلمية في المجتمع السعودي؛ لربط المجتمع العريض بتطورات العلوم، ونشر مفاهيمها الأساسة، ومن ثمّ بناء ثقافة علمية تستجيب للتوجهات الحثيثة نحو البحث العلمي، والتطوير التقني في المملكة.

وقد حرصت مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية منذ إنشائها على الاهتمام بالتوعية العلمية، ونشر الثقافة العلمية، حيث دأبت على متابعة إصدار المطبوعات العلمية من مجلات، وكتيّبات، وكتب علمية، وغيرها من الإصدارات الموجهة إلى عموم القرّاء والمستفيدين من أوعية النشر المتعددة، وكذلك نشاطاتها الأخرى: كأسبوع العلوم والتقنية، والمحاضرات، والندوات، والمؤتمرات؛ وذلك للإسهام في تثقيف أفراد المجتمع، وتنمية معارفهم العلمية، بالإضافة إلى إثراء المكتبة العربية، والمحتوى العربي في أوعية المعلومات الحديثة؛ لتعمّ الفائدة، وتتسع آثارها.

ويأتي هذا الإصدار كأحد الإصدارات العلمية الموجهة إلى عموم القرّاء الكرام. وستتبعه- بإذن الله تعالى- إصدارات عدة تشكّل سلسلة ممتدة من المعارف والعلوم والتطبيقات العلمية في مجالات كثيرة.

أسأل الله التوفيق؛ للمضي قدمًا في سعينا إلى إثراء المكتبة العربية بإصدارات علمية متنوعة، حيث نرجو أن تحقق أثرًا حميدًا يدفعنا جميعًا نحو مجتمع معرفي، يحثّ الخطى صوب التقدم والتطور.

رئيس مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية

د. تركي بن سعود بن محمد آل سعود

مقدمة

الحمد لله ، والصلاة والسلام على معلم البشرية محمد صلى الله عليه وسلم، وعلى آله، وصحبه، ومن تبعه بإحسان إلى يوم الدين، أمّا بعد: فلقد كان التطور التكنولوجي السمة الفريدة في القرن العشرين، حيث أجمع الخبراء على أن أهم تطور تكنولوجي في النصف الأخير من القرن الماضي هو اختراع الإلكترونيات التي أدى تطورها إلى ظهور ما يسمى بشرائح المايكرو (Microchips) التي أدت إلى ثورة علمية وتقنية في جميع المجالات.

وجدير بالذكر أنه حتى الخمسينيات من القرن الماضي لم يكن هناك غير التلفاز باللونين الأبيض والأسود، ولم يكن هناك أيضًا إلا عشرة حواسيب في العالم أجمع في تلك الفترة تقريبًا، ولم تكن هناك هواتف نقالة، أو ساعات رقمية، أو إنترنت ، وكل هذه الاختراعات يعود الفضل فيها إلى الله- سبحانه وتعالى- ثمّ إلى تلك الشرائح التي أدى ازدياد الطلب عليها إلى انخفاض أسعارها على نحو سهل دخولها في تصنيع جميع الالكترونيات الاستهلاكية التي تحيط بنا اليوم.

ويقاس التقدم التكنولوجي في العصر الحالي بالقدرة على تصنيع أجهزة إلكترونية أقل حجمًا، وأعلى كفاءة من حيث السرعة والجودة في أداء العمليات المختلفة مع السعر المعقول.

وقد بدأ فى القرن الماضي الجيل الأول في عالم الإلكترونيات الذي سمّي جيل تقنية اللمبات (Lamps) الإلكترونية، حيث أنتجت تلفازات باللونين الأبيض والأسود تستخدم هذه التقنية، ثم جاء الجيل الثاني في عالم الإلكترونيات، وهو جيل الترانزيستور (Transistor) الذي جعل الأجهزة الإلكترونية أصغر حجمًا، وأفضل كفاءة.

وبعد التطور الكبير الذي حدث في مجال أشباه الموصلات (Semi conductors) جاء الجيل الثالث في عالم الإلكترونيات، وهو جيل الدوائر التكاملية (IC)، وهي قطعة صغيرة جدًّا تقوم بمهام الترانزيستور نفسه. وقد ساعدت هذه الدوائر على تصغير حجم أجهزة كثيرة، بل رفعت كفاءتها، وعددت وظائفها.

ثم ظهر الجيل الرابع ، وهو جيل المعالجات الصغيرة (Microprocessors) الذي أحدث ثورة هائلة في مجال الإلكترونيات بإنتاج الحاسبات الشخصية الصغيرة (Microcomputers) التي يعود الفضل فيها إلى الله- سبحانه وتعالى- ثمّ إلى ثورة المعلومات التي نشهدها الآن ، وكان لها الأثر فى التقدم الحادث في كثير من المجالات العلمية والصناعية والتعليمية، وفي مختلف جوانب الحياة (١).

وبرز خلال السنوات القليلة الماضية مصطلح جديد ألقى بثقله على العالم، وأصبح محط

الاهتمام على نحو كبير، وهذا المصطلح هو تقنية النانو(Nanotechnology)، أو كما يسميه بعضهم تكنولوجيا النانو. فهذه التقنية- بكل بساطة- ستمكننا من صنع أي شيء نتخيله، وذلك عن طريق صف جزيئات المادة بجانب بعضها بعضًا على نحو يفوق الخيال، فلنتخيل إنتاج حواسيب بالغة الدقة يمكن وضعها على رأس قلم، أو دبوس ، ولنتخيل أسطولاً من الروبوتات النانومترية الطبية التي يمكن حقنها في الدم، أو ابتلاعها؛ لتعالج الجلطات الدموية، والأورام السرطانية، والأمراض الأخرى المستعصية علاجها.

ونجد عند مستوى النانو أن الخواص الطبيعية والكيميائية والبيولوجية تختلف اختلافًا جذريًّا- في الغالب على نحو غير متوقع- عن تلك المواد الكبيرة الموازية لها بسبب أن خواص الكمية الميكانيكية للتفاعلات الذرية يؤثر فيها بواسطة التغيرات في المواد على مستوى النانو.

ويلحظ أنه من الممكن السيطرة على الخصائص الجوهرية للمواد بما في ذلك درجة الانصهار، والخواص المغناطيسية، وحتى اللون بدون تغير التركيب الكيميائي لها؛ وذلك من خلال تصنيع أجهزة طبقًا لمعيار النانومتر(١ نانومتر= $١٠^{-٩}$ متر).

كما توجد استخدامات كثيرة تسهم في خدمة مجال الصناعات الإلكترونية، مثل: صناعة الترانزستورات، حيث بدأ مصنعو الترانزيستور الوصول إلى الحدود الطبيعية لمدى صغر رقائق السيلكون والنحاس التي تصنع منها مثل هذه المواد، وقد ساعدت هذه التقنية هؤلاء العلماء على الوصول إلى طريقة مبتكرة لتصنيع ترانزيستور أصغر بكثير من الرقائق الحالية، وليس ذلك من خلال تقليل حجم الرقائق الحالية، بل من خلال تصنيعها من الجزيئات الفردية. فقد ساعدت الأبحاث التي أنجزت بواسطة أربعة علماء يعملون في مركز الأبحاث التابع لوكالة الفضاء الأمريكية (NASA) على تمهيد الطريق؛ لبناء ترانزستورات من الأنابيب الكربونية بالغة الصغر التي صنعت من طبقة واحدة من ذرات كربونية نانومترية.

ويخشى العلماء استخدام مثل هذه التقنيات في أغراض غير إنسانية، وتحدث دائمًا عند كل تطور علمي أو تكنولوجي انتقادات، وتنتشر معها المخاوف، كما حصل في الثورة الصناعية الأولى، وعند اختراع القنبلة الذرية، وظهور الهندسة الوراثية، وغيرها. وتتركز تلك المخاوف على عنصرين : الأول هو أن جزيئات النانو تمثل جزيئات صغيره جدًّا إلى الحد الذي يمكنها من التسلل إلى جهاز المناعة في الجسم البشري وتخريبه. وممّا يثير القلق أكثر استطاعة هذه الجزيئات تخطي حاجز دم الدماغ، وذلك عبر استخدام بعض منتجات التقانة النانوية: كالمراهم المضادة للشمس التي يمكن أن تضرّ الحمض النووي DNA للجلد. أما العنصر الثاني للمخاوف فهو أن يصبح الجزيء النانوي

ذاتي التكاثر، أي: يشبه التكاثر الموجود في الحياة الطبيعية، بحيث يمكنه التكاثر بلا حدود، ويسيطر على كل شيء في الكرة الأرضية (٢).

ويتوقع المراقبون أن تشعل تقنية النانو سلسلة من الثورات الصناعية خلال العقدين القادمين، حيث ستؤثر في الحياة تأثيرًا كبيرًا. وهذه التقنية الواعدة تبشر بقفزة هائلة في جميع فروع العلم، ويرى المتفائلون نحوها أنها ستلقي بظلالها على جميع مجالات الطب الحديث، والاقتصاد العالمي، والعلاقات الدولية، وحتى الحياة اليومية للفرد العادي.

ونحاول في هذا الكتاب إعطاء القارئ فكرة عن علم تقنية النانو، ذلك العلم الناشئ الواعد، وعن تطوراته السريعة المذهلة؛ لكي يكون قادرًا على التفاعل والتعامل مع هذا العلم، ومستعدًّا للحاضر والمستقبل. وتنقل الآن كثير من دول العالم المعرفة المتعلقة بهذا العلم الحديث وبتقنياته المستخدمة حاليًّا إلى جمهور واسع من مواطنيها، حيث وضعت في الحسبان أنَّ التوعية العلمية تُعَدّ جزءًا مهمًّا وضروريًّا من هذه التقنية المتطورة. ومن حسن الحظ أنّ هذه التقنية تعتمد إلى حدٍّ كبير على العامل البشري، والثروات الطبيعية؛ وهذا يعطي أملاً كبيرًا، للدول العربية أن يكون لها السبق العلمي في هذه التقنية.

ويسعدني أن أقدم للقارئ هذا الكتاب الذي يحتوى على موضوعات مهمّة عن تقنية النانو، هذه التقنية الواعدة التي سيكون لها- بإذن الله- نتائج مبهرة في المستقبل القريب.

ويتألف هذا الكتاب من خمسة فصول، صيغت بأسلوب سهل وبسيط يتناسب مع القارئ غير المتخصص في هذا المجال. كما روعي في هذا الكتاب وجود الكثير من الأشكال والرسوم التوضيحية التي تخدم موضوعه. وقد جمّعت المصطلحات التقنية والفنية الخاصة بموضوع هذا الكتاب في هيئة معجم صغير وضع في نهايته، كما زوّد الكتاب بمراجع علمية كثيرة.

وقد جاء الفصل الأول من الكتاب تحت عنوان «التقنيات المتناهية في الصغر»، حيث تناولنا فيه بعض المفاهيم الأساسة لعلم الذرة، والجزيء، والروابط الكيميائية، وما تمثله هذه المفاهيم من أهمية كبيرة في تحديد صفات العناصر والمركبات، وكيف أنّ التغيير فيها يؤدي إلى تغيير في تلك الصفات. ثم عرضنا في هذا الفصل التعاريف المتعلقة بتقنية النانو، بالإضافة إلى عرضنا بإيجاز نشأة وتاريخ هذه التقنية، وأهميتها على الصعيدين العلمي والتطبيقي.

وأمّا الفصل الثاني فيعرض مع كثير من التفصيل والإيضاح التقنيات المختلفة المتبعة في إنتاج المواد النانوية، مثل: الطرق الكيميائية الفيزيائية، والميكانيكية. كما عرضنا في هذا الفصل بشيء من التفصيل أهمّ تصنيفات المواد النانوية، وهي: النقاط الكمية، والفلورينات، والكرات النانوية، والجسيمات النانوية، والأنابيب النانوية، والأسلاك النانوية، والألياف النانوية، ثم المركبات النانوية.

ثم أعطينا لمحة سريعة عن نمذجة المواد النانوية. وفي نهاية هذا الفصل عرضت بعض المجاهر الأساسة التي لا بدّ أن تتوفر في المختبرات المهتمة بتقنيات النانو.

ونظرًا لأهمية أنابيب الكربون في التطبيقات العلمية والتطبيقية فقد خصص الفصل الثالث بأكمله؛ لتوضيح كيفية تصنيعها، واستعراض أهمّ تطبيقاتها الحالية والمستقبلية في شتى مناحي الحياة.

أمّا الفصل الرابع فقد عرضت فيه الآفاق والتطبيقات الحالية والمستقبلية لتقنية النانو. كما عرضت فيه أهمّ تطبيقات تقنيات النانو الحالية والمستقبلية في كثير من مجالات الحياة، مثل: التطبيقات الطبية، والزراعية، والصناعية، والعسكرية ، والبترولية. وكذلك في تنقية المياه والهواء، بالإضافة إلى أخرى، مثل: علوم الفضاء، والحاسب الآلي، والطاقة الشمسية، وصناعات أخرى، مثل: صناعة السيارات والطائرات، وغير ذلك.

أمّا الفصل الخامس والأخير فقد جاء تحت عنوان «تحديات ومحاذير تقنية النانو»، حيث تحدّثنا فيه عن المخاوف من الآثار الصحية والبيئية المحتملة لتقنية النانو، وكذلك المخاوف الناجمة عن تطبيقات النانو في المجالات العسكرية. كما عرضنا في هذا الفصل نماذج من الجهود الدولية والعربية في الاهتمام بتقنية النانو، وخاصة جهود المملكة العربية السعودية مشيرين إلى الاهتمام الكبير الذي يوليه خادم الحرمين الشريفين الملك عبد الله بن عبد العزيز تقنية النانو، حيث تبرّع منذ أكثر من أربعة أعوام بمبلغ قدره ٣٦ مليون ريال من حسابه الخاص؛ للبدء بتأسيس ثلاثة مراكز بحثية لتقنية النانو في جامعة الملك سعود، وجامعة الملك عبدالعزيز، وجامعة الملك فهد للبترول والمعادن.

وحريّ بالذكر أنه استفيد من مراجع علمية كثيرة، ومواقع في الإنترنت؛ لتأليف هذا الكتاب. كما لا يفوتني أن أتقدم بالشكر الجزيل إلى المحكمين الفضلاء؛ لما أبدوه من ملاحظات علمية، ونصائح قيمة، حيث كان لله – سبحانه وتعالى–الفضل، ثمّ لتلك الملاحظات والنصائح في إثراء هذا الكتاب. كما أتقدم بالشكر الجزيل إلى عائلتي الصغيرة؛ لتوفيرها الوقت الكافي والملائم؛ لإنجاز هذا العمل.

وأخيرًا، أتقدم بخالص الشكر والعرفان إلى مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية، على كل ما قدمته لي من دعم وتشجيع في سبيل تأليف هذا الكتاب.

والله العلي القدير نسأل أن يكون هذا الكتاب مفيدًا لقارئه، وأن يكون إضافة علميّة نافعة للمكتبة العربية في مجال هذه التقنية الواعدة. كما أرجو من الله –عزّ وجلّ–أن يجعل هذا العمل في ميزان حسناتنا يوم نلقاه ، إنه وليّ ذلك والقادر عليه. وآخر دعوانا أن الحمد لله رب العالمين.

المؤلف

أ. د.محمود محمد سليم صالح

الفصل الأول

التقنيات المتناهية في الصغر (Nanotechnology)

(١-١) مفاهيم أساسة (Fundamental concepts)

تقنية النانو هي التطبيق العلمي؛ لإنتاج الأشياء عبر إعادة ترتيب ذراتها؛ لتصنيع جزيئات ذات مواصفات جديدة محددة، ومخطط لها. ويجب ألا يستغرب القارئ الكريم من ذلك، حيث إنّ أهمية ترتيب الذرات في الجزيء معروفة لدى الاختصاصيين، وكيف أنّ ترتيبها بصورة معينة يعطي ذلك الجزيء صفات فيزيائية وكيميائية معينة، وأن هذه الصفات تعتمد اعتمادًا كليًّا على الترتيب الذي تتخذه الذرات؛ لتشكيل ذلك الجزيء. فمثلاً نجد أنّ الحجر الكريم (الماس) والفحم الذي يعدّ وقودًا رخيصًا يتركبان من ذرات كربون، بيد أنّ ترتيب الذرات في جزيء الماس يختلف عن ترتيبها في جزيء الفحم.

وعلى هذا الأساس، فإننا قبل بدء الحديث عن تقنية النانو وتاريخها التي تعدّ موضوع هذا الفصل، سنعطي فكرة سريعة عن بعض المفاهيم الكيميائية الأساسة التي يحتاج إليها أي دارس لعلوم المواد. ومن أهم هذه المفاهيم مفهوم الذرة ، والجزيء ، والروابط الكيميائية.

والتعريف الأشمل لتقنية النانو هو الموضّح بأنها:» التقنية التي تنتج تركيبات ذات أبعاد عند مستوى النانو المتراوح ما بين (١-١٠٠ نانومتر)».

(١-١-١) مفهوم الذرة (Atom concept)

الذرة هي مجموعة من الجسيمات المتناهية في الدقة، وهذه الجسيمات تتكون من نواة موجبة الشحنة، وتحتوي في الغالب على البروتونات (موجبة الشحنة)، والنيترونات (المتعادلة). كما يوجد أيضًا عدد من الإلكترونات (سالبة الشحنة) التي تعادل الشحنة الموجبة في النواة (انظر:الشكل رقم ١-١). وتدور الإلكترونات في مستويات مختلفة تعرف بمستويات الطاقة، حيث يحمل المستوى الأول إلكترونين فقط، في حين يحمل المستوى الثاني ثمانية إلكترونات(انظر:الشكل١ رقم-٢)، أمّا المستوى الثالث فهو يحمل ١٨ إلكترونًا. ولكل مستوى طاقة أساسة، ومستويات فرعية يرمز لها بالرموز s, p, d, f (انظر:الشكل رقم ١-٣). وتكون الذرات في الغالب متعادلة كهربيًّا؛ لأن عدد الإلكترونات السالبة يساوي عدد البروتونات الموجبة، ويمكن للذرة أن تتحول إلى أيون موجب، وذلك عندما تفقد إلكترونًا أو أكثر عند التفاعل الكيميائي، كما يمكن أن تتحول إلى أيون سالب، وذلك عندما تكتسب إلكترونًا أو أكثر، وذلك بحسب قيمة الشحنة التي تفقدها أو تكتسبها.

ونذكر بعض المفاهيم الأساسة التي يفترض إدراكها وفهمها لدى القارئ الكريم:

١- تتكون المادة من وحدات بناء أساسة تسمى الذرات.

٢- التركيب الذري للمادة له دور أساس في تحديد خصائص المادة.

٤- تتكون الذرة من نواة موجبة الشحنة(بداخلها البروتونات الموجبة، والنيوترونات المتعادلة)، وتحيط بها جسيمات سالبة الشحنة تسمى الإلكترونات.

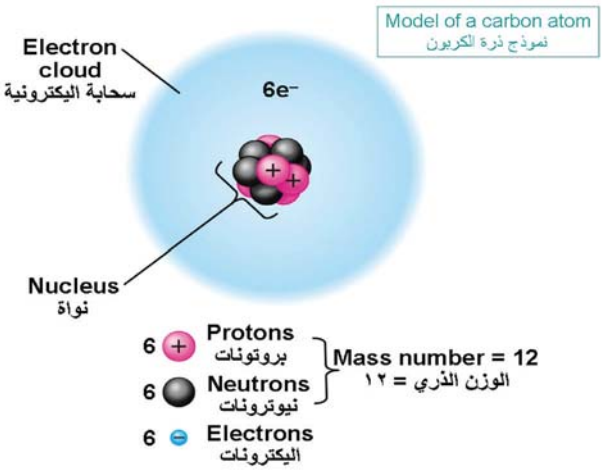
٥- تتوزع الإلكترونات حول النواة في مستويات طاقة محددة، وتعتمد قوة ارتباط الإلكترونات في مستويات الطاقة على بعدها عن النواة.

٦- تسمى الإلكترونات الموجودة في مستويات الطاقة الأخيرة إلكترونات التكافؤ.

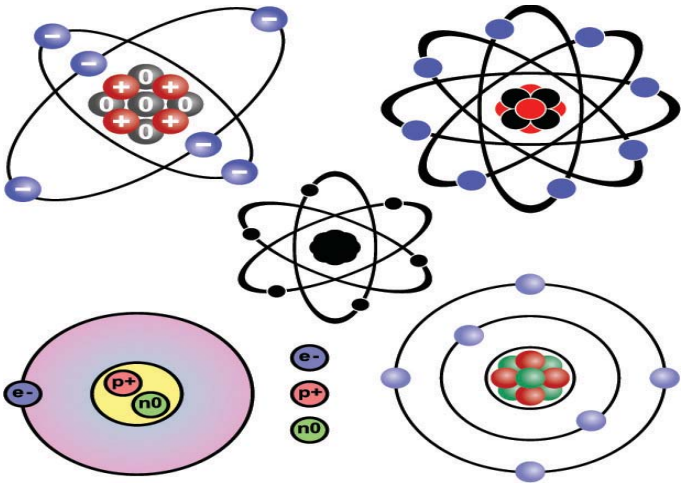
٧-يمكن لبعض الإلكترونات الموجودة في مستوى الطاقة الأخير لبعض الذرات أن تتحرر نظرًا لضعف ارتباطها بالنواة.

وحدة الكتلة الذرية (Atom mass unit)

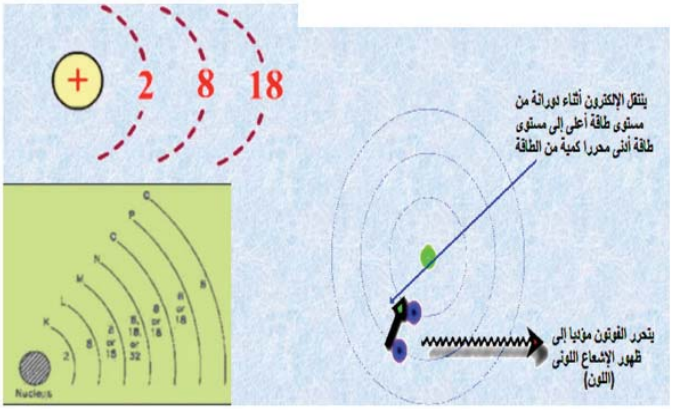
إنّ كتلة الذرّة الصغيرة جدًّا يصعب التعامل معها حتى بأدق الموازين؛ لصغر حجمها؛ ولذلك لجأ الكيميائيون إلى مقارنة كتل الذرات بكتلة ذرة مرجعية. فاعتمد الاتحاد العالمي الكيميائي عام ١٩٦١م ذرة الكربون (المحتوية على ستة نيوترونات)، وعدّها ذرة مرجعية لكل الذرات. كما عدّت ١٢ وحدة من كتلة هذه الذرة كتلة ذرية، وتقاس كتلة الذرة بوحدة الكتل الذرية، وذلك نسبة إلى عنصر الكربون، وسبب استخدام هذه الوحدة صعوبة قياس كتلتها بالجرام.



شكل رقم(١-١) أنموذج ذرة الكربون (٩٣).



شكل رقم(١-٢) الإلكترونات حول النواة لذرة الكربون(٩٢).



شكل رقم(١-٣) توزيع الإلكترونات في مستويات الطاقة(٩٣).

(١-١-٢) مفهوم الجزيء (concept Molecule)

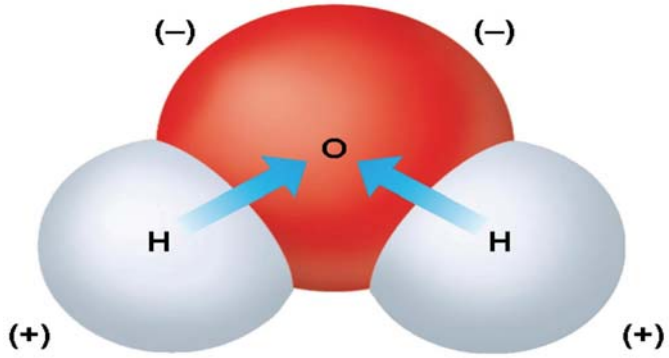
الجزيء هو أصغر جزء نقي من المركب ذي خواص كيميائية محددة، كما يعرف بأنه أصغر جزء من المادة يمكن أن يوجد في الطبيعة منفردًا، ويحمل صفاتها. ويمكن للجزيء أن يتكوّن من ذرة واحدة (كما في الغازات النبيلة)، أو من أكثر من ذرة . ويستخدم تصور الجزيء وحيد الذرة حصريًّا في نظرية الحركة (حالة ترابط).

وقد استخدم مصطلح الجزيء لأول مرة في عام ١٨١١م عن طريق العالم أفوجادرو، ثم صار

المصطلح مادة مفتوحة للنقاش في مجتمع الكيمياء حتى ظهور نتائج أبحاث بيرن في عام ١٩١١م. كما أن النظرية الحديثة للجزيئات قد استفادت كثيرًا من التقنيات المستخدمة في الكيمياء الحسابية. والشكل رقم (١-٤) يوضح جزيئًا مائيًّا (ذرة أكسجين + ذرتي هيدروجين).

(١-١-٢-١) حجم الجزيء (Molecule volume)

معظم الجزيئات صغيرة للغاية؛ لذلك لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة. أمّا الجزيئات الكبيرة، مثل: جزيء DNA فيمكن أن يصل إلى الحجم المجهري. في حين يعدّ جزيء الهيليوم أصغر الجزيئات حجمًا.



شكل رقم(١-٤) جزيء الماء(٩٣).

(١-١-٢-٢) أشكال الجزيئات لبعض العناصر

تأخذ جزيئات العناصر أشكالاً مختلفة من حيث عدد الذرات الداخلة في تكوينها، فهناك جزيئات أحادية الذرة، مثل: غاز الهيليوم(انظر:الشكل رقم ١-٥)، وجزيئات ثنائية الذرة، مثل: جزيء الكلور، والنيتروجين، والهيدروجين (انظر:الشكل رقم ١-٦).

وتوجد جزيئات كثيرة الذرات، مثل: جزيء الكبريت الذي يتكوّن من ثماني ذرات في بعض حالاته (انظر:الشكل رقم١-٧).

شكل رقم(١-٥)جزيء يتكوّن من ذرة واحدة(٩٣).

شكل رقم(١-٦)جزيئات تتكوّن من ذرتين(٩٣).

شكل رقم(١-٧)جزيء كثير الذرات(٩٣).

(١-١-٣) الروابط (Bonds)

يسعى كل شيء في الكون- بإذن الله- إلى أن يكون في حالة استقرار وثبات، وذلك عندما يكون في أدنى مستوى من الطاقة التي تعرف بطاقة الوضع. والسؤال المطروح هو: كيف تصل هذه العناصر إلى هذا الاستقرار والثبات؟ فلكي تصل العناصر إلى طاقة الوضع لا بد أن تشبه في تركيبها الإلكتروني التركيب الإلكتروني لعناصر المجموعة الثامنة (الغازات النبيلة)، حيث إنّ مجالها الخارجي ممتلئ بالعدد الأقصى من الإلكترونات (٨ إلكترونات)، ويتم ذلك عن طريق فقدها أو اكتسابها إلكترونًا أو أكثر من مجال التكافؤ، أو مشاركتها بإلكترون أو أكثر من إلكترونات مجال التكافؤ مع ذرة، أو ذرات أخرى.

ويتم هذا الاتحاد بين العناصر داخل المركبات والجزيئات بواسطة الروابط الكيميائية. وهناك نوعان من الروابط هما: الروابط الكيميائية (أيونية، وتساهمية، وفلزية)، والروابط الفيزيائية (الرابطة الهيدروجينية، ورابطة فان دير فال).

(١-١-٣-١) الروابط الكيميائية (Chemical Bonds)

الرابطة الكيميائية هي القوة التي تربط الذرات بالجزيء، أو في البلورة، وتجعلها متماسكة. وجميع الروابط الكيميائية ترجع إلى تفاعل الإلكترونات الموجودة في الذرة. وهذه الإلكترونات جزء من المدار الذري (Atomic Orbital). وتكون الذرات رابطة عندما تصبح مداراتها أقل في الطاقة بعد عمليات التفاعل الكيميائية. وهناك أنواع مختلفة من الترابط الكيميائي تستخدم في تصنيف أنواع التفاعلات الذرية. وهذه التصنيفات تعرّف بواسطة التوزيع الإلكتروني، ومستويات الطاقة. وهناك روابط كيميائية كثيرة تربط بين الذرات والجزيئات في المواد المختلفة، وتعدّ الروابط الأيونية، والتساهمية، والفلزية من أشهر هذه الروابط الكيميائية بين العناصر .

وقبل التعرّف على هذه الروابط كان من اللازم طرح السؤال التالي : لماذا تميل العناصر إلى الاتحاد مع بعضها بعضًا، وترتبط معًا؛ لتكوّن المركبات ؟ لأنّ العناصر بفقدانها أو اكتسابها عددًا من الإلكترونات، أو إسهامها ومشاركتها تصل إلى التركيب الإلكتروني الثابت (الخامل)، فتكون طاقة وضع المركب أقل من مجموع طاقة العناصر المكوّنة له.

(١-١-٣-١-١) الرابطة الأيونية (Ionic Bond)

الرابطة الأيونية تتمثل بتجاذب كهربي يربط بين أيونين: أيون موجب ناتج عن فقدان ذرة العنصر إلكترونًا أو أكثر، وأيون سالب ناتج عن اكتساب ذرة العنصر إلكترونًا أو أكثر.

كيفية عمل الرابطة الأيونية

وهي تتكوّن على إثر التجاذب الكهربائي بين الشحنات الكهربائية الموجبة والسالبة. فيحدث انتقال إلكترون أو أكثر في مستوى الطاقة الخارجي من ذرة إلى أخرى، فتصبح متأينة؛ ولذا تسمى أيونات، وهي إما موجبة أو سالبة. ويمكن لذرات العناصر أن تفقد أو تكتسب أكثر من إلكترون . وتحسب الشحنة الكلية قبل التفاعل من العلاقة الكيميائية التالية:

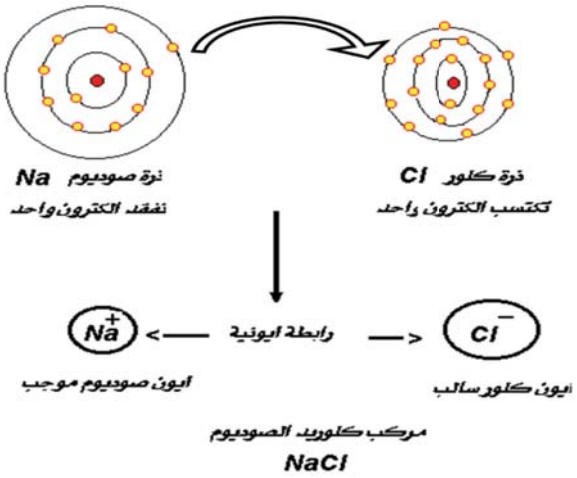
الشحنة الكلية قبل التفاعل = عدد البروتونات + عدد الإلكترونات.

ويحسب عدد الإلكترونات التي يحتوي عليها مستوى الطاقة الخارجي عبر عدد الإلكترونات الموجودة في المستوى نفسه. فإذا كان المستوى يحتوي على إلكترون واحد (أو أكثر)؛ فبإمكان هذه الذرة إعطاء إلكترون (أو أكثر) ذرة أخرى؛ لتصبح الذرتان مستقرتان أثناء تكوين المركبات الأيونية. فتكون الذرة التي فقدت إلكترونًا (أو أكثر) حاملة شحنة موجبة (+)، وتسمى أيونًا موجبًا، أمّا الذرة التي اكتسبت إلكترونًا (أو أكثر) فتحمل شحنة سالبة(−)، وتسمى أيونًا سالبًا.

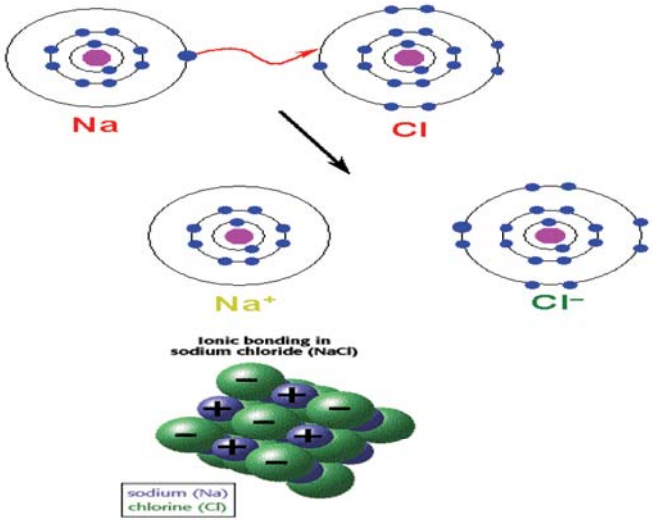
والرابطة الكيميائية في ملح كلوريد الصوديوم (انظر:الشكلين رقم ١-٨ ، ورقم ١-٩) مثال على الرابطة الأيونية. ومعلوم لدينا أنّ التوزيع الإلكتروني لعنصر الصوديوم هو: (٢، ٨،١) ، في حين أنّ التوزيع الإلكتروني لعنصر الكلور هو: (٢، ٨،٧).

خصائص المركبات الأيونية

لقد ذكرنا سابقاً أنّ المركبات الأيونية توجد على شكل تجمعات أيونية في أشكال معينة يطلق عليها الأشكال البلورية . ونجد في هذه الأشكال ترتيبًا بلوريًّا ينظم الأيونات، بحيث يصبح كل أيون ذي شحنة معينة، ويكون منجذبًا نحو مجموعة من الأيونات ذات الشحنة المخالفة، بمعنى أن الأيون الواحد يكون مرتبطاً بعدة روابط أيونية في الوقت نفسه، وهذا ما يفسر وجود المركبات الأيونية عادةً في الحالة الصلبة (كثافة عالية)، كما يفسر هذا الوضع أيضًا درجات الانصهار والغليان المرتفعة لهذه المركبات. ومن أهم صفات المركبات الأيونية عدم قدرتها على التوصيل الكهربي في الحالة



شكل رقم(١-٨)مخطط يوضح الرابطة الأيونية لملح كلوريد الصوديوم(٩٣).



شكل رقم(١-٩)الرابطة الأيونية لكلوريد الصوديوم(٩٣).

الصلبة؛ وذلك نظرًا لارتباط الأيونات، وعدم قدرتها على الحركة، في حين تصبح موصلة الكهرباء عند صهرها، أو إذابتها في الماء (الأيونات حرة الحركة في المصهور، أو في المحلول المائي).

(١-١-٣-١-٢) الرابطة التساهمية (Covalent Bond)

ترجع فكرة الترابط التساهمي إلى جيلبرت لويس الذي وصف في عام ١٩١٦م مساهمة أزواج الإلكترونات بين الذرات. وقد اقترح ما يسمى بناء لويس، أو الشكل الإلكتروني النقطي الذي تكون فيه إلكترونات التكافؤ (الموجودة في غلاف التكافؤ)، وهي ممثلة بنقط حول الرمز الذري، وتكون أزواج الإلكترونات الموجودة بين الذرات ممثلة للروابط التساهمية. كما أنّ الأزواج بكثرتها تمثل روابط كثيرة، مثل: الرابطة الثنائية أو الثلاثية. وهناك طريقة أخرى لتمثيل الرابطة، وتكمن في تمثيلها خطوطاً موضحة باللون الأزرق. في حين أنّ فكرة تمثيل أزواج الإلكترونات تعطي طريقة مؤثرة؛ لتصور الرابطة التساهمية؛ لأنّ دراسات ميكانيكا الكم تحتاج إلى فهم طبيعة تلك الرابطة، وتوقع تركيب وخواص الجزيئات البسيطة. وقد قدّم والتر هتلر وفريتز لندن أول توضيح ناجح من وجهة نظر ميكانيكا الكم للترابط الكيميائي، وخاصة للهيدروجين الجزيئي، وذلك في عام ١٩٢٧م. وقد كان عملهما مبنيًّا على أساس تصور رابطة التكافؤ، حيث افترضا أنّ الرابطة الكيميائية تتكوّن عند وجود تداخل جيّد بين المدارات الذرية للذرات المساهمة. وتكون بين هذه المدارات الذرية زاوية محددة.

كما تكون هذه الرابطة في الغالب بين غير الفلزات فقط.

والرابطة التساهمية هي أحد أشكال الترابط الكيميائي، وتتميز بمساهمة زوج أو أكثر من الإلكترونات بين الذرات؛ مما ينتج عن ذلك تجاذب جانبي يعمل على تماسك الجزيء الناتج. وتميل الذرات إلى المساهمة، أو المشاركة بإلكتروناتها بالطريقة التي تجعل غلافها الإلكتروني ممتلئًا. وهذه الرابطة دائمًا أقوى من القوى التي بين الجزيئات، كما أنها تشبه الرابطة الأيونية في القوة، وتكون أحيانًا أقوى منها. وتحدث الرابطة التساهمية في الغالب بين الذرات التي لها سالبية كهربية عالية؛ لأنّ ذلك يستلزم طاقة كبيرة؛ لتحريك إلكترون من الذرة. والرابطة التساهمية تحدث في الغالب بين غير الفلزات، حيث تكون الرابطة الأيونية أكثر شيوعًا بين الذرات الفلزية. وبعكس الرابطة الأيونية، حيث ترتبط الأيونات بقوى كهروستاتيكية (Electrostatics) غير موجهة، وتكون الرابطة التساهمية حينها عالية التوجيه. وينتج عن ذلك ميل الجزيئات المرتبطة تساهميًّا إلى التكوّن في هيئة أشكال مميزة قليلة نسبيًّا، وبزوايا محددة.

التساهمية القطبية

وتحدث عندما تكون الرابطة التساهمية بين ذرتين مختلفتين في السالبية الكهربائية؛ لأنّ الزوج يكون منجذبًا أكثر إلى الذرة ذات السالبية الكهربائية العليا، ومن ثمّ تظهر شحنة سالبة جزئية

على هذه الذرة، وشحنة موجبة جزئية على الذرة ذات السالبية الدنيا. وهذه الرابطة تشارك فيها الإلكترونات مشاركة غير متساوية. ومن الأمثلة المشهورة على هذه الرابطة تلك التي تحدث بين الأكسجين والهيدروجين.

التساهمية غير القطبية

إذا كانت الذرتان متساويتان أو متقاربتان في السالبية فإنّ الرابطة تكون تساهمية غير قطبية، مثل: H_2 ، Cl ، وفي هذه الحالة لا تعتمد قطبية المركب على الرابطة، بل تعتمد على العزوم الكهربائي. وهذه الرابطة تنشأ بين ذرات العنصر نفسه، وتمثل ذلك الرابطة غير القطبية الثلاثية التي تنشأ بين ذرات النيتروجين في جزيء النيتروجين.

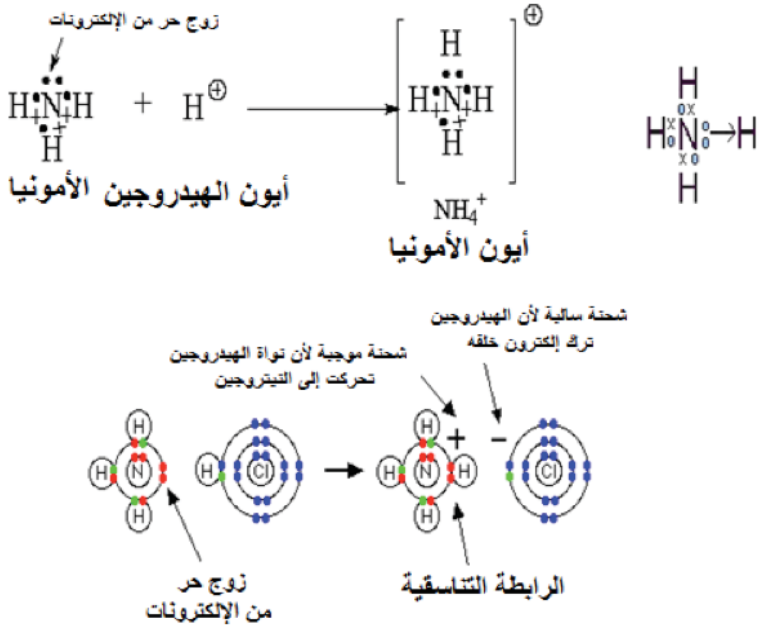
الرابطة التساهمية التناسقية

تتم بين ذرتين إحداهما تحتوي على زوج أو أكثر من الإلكترونات الحرة، والثانية تلزمها هذه الإلكترونات؛ للوصول إلى حالة الاستقرار، فالزوج الإلكتروني هنا لا تسهم فيه الذرتان، وإنما تسهم فيه إحداهما فقط، مثل: تفاعل النشادر مع كلوريد الهيدروجين؛ لإنتاج ملح كلوريد الأمونيوم، حيث تتكوّن رابطة تناسقية بين ذرة النيتروجين في النشادر وذرة الهيدروجين في كلوريد الهيدروجين. بمعنى أنّ الرابطة التناسقية تتكوّن بين ذرة مانحة، تتكوّن عليها شحنة موجبة، وذرة مستقبلة، تتكوّن عليها شحنة سالبة. ويشار إلى الرابطة التناسقية في العادة بسهم يتجه من الذرة المانحة إلى الذرة المستقبلة(انظر:الشكل رقم ١-١٠) . وحقيقة ما حدث في التفاعل السابق هو ارتباط جزيء النشادر بالبروتون؛ ليتكوّن أيون الأمونيوم.

(١-١-٣-١-٣) الرابطة الفلزية (Metallic Bond)

هي رابطة كيميائية تحصل بين عنصرين من الفلزات، وهي قوى التجاذب الكهربائي الناتجة بين الأيونات الموجبة والإلكترونات السالبة للفلز. وهي التي تربط البلورة الفلزية (المعدنية) بكاملها. وعندما ترتبط الفلزات ببعضها بعضًا، فإنها لا تكتسب التركيب الإلكتروني للغازات النبيلة؛ لأنه من السهل أن تفقد ذرات الفلزات، مثل: الصوديوم، والبوتاسيوم إلكترونات تكافئها، ومن ثمّ تصبح أيونات موجبة؛ لأنّ سالبيتها الكهربائية منخفضة. وتتأثر قوة الرابطة الفلزية بعدة عوامل هي:

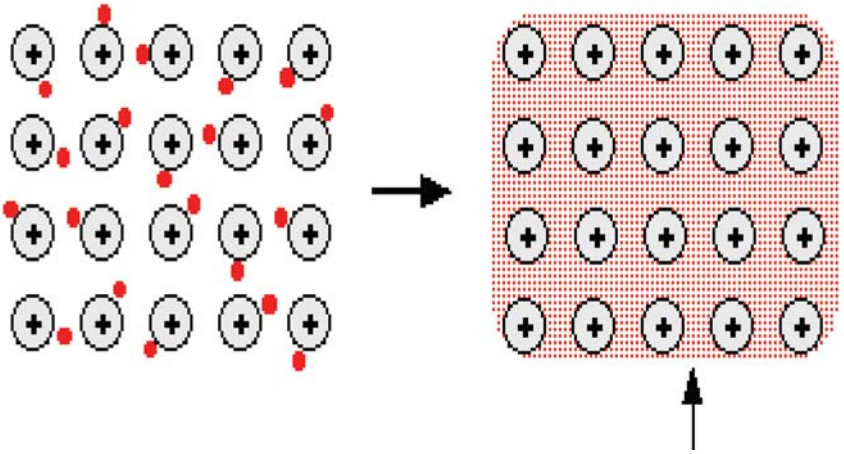
- كثافة الشحنة: تساوي شحنة الأيون حجمه، حيث إنّ شحنة الأيون هي الشحنة التي يكتسبها الفلز بعد أن يفقد كل الإلكترونات الموجودة في المدار الأخير(+١، +٢، +٣).



شكل رقم(١-١٠) الرابطة التساهمية التناسقية؛ لإنتاج كلوريد الأمنيوم(٩٣).

- حجم الأيون: يتناسب حجم الأيون تناسبًا طرديًّا مع عدد المدارات.
- كلما كانت كثافة الشحنة على الأيون أعلى زادت قوة الرابطة الفلزية، ونتيجة لذلك تكون درجة الانصهار أعلى.

الخصائص التي تمنحها الرابطة الفلز: تُرجع الكثير من خصائص الفلزات إلى طبيعة هذه الرابطة، فالتوصيل الكهربائي والتوصيل الحراري للفلزات سببه يرجع إلى حركة الإلكترونات الحرة بين الذرات. كذلك حركة الإلكترونات الحرة داخل المعدن تنتظم عند تمرير التيار الكهربائي من خلاله، وتتقدم الإلكترونات من القطب السالب إلى الموجب. جميع الفلزات (ماعدا الزئبق) توجد في الحالة العنصرية الصلبة؛ ولعل سبب ذلك راجع إلى تلك الروابط القوية التي تربط بين ذرات الفلز (المعدن)، حيث يمكن النظر إلى الفلز في الحالة الصلبة على أنه بحر من الشحنات الموجبة (الأنوية) التي تتحرك بينها الإلكترونات بحرية، وتنتقل من ذرة إلى أخرى(انظر:الشكل رقم ١-١١) . توجد بعض الفلزات، مثل: الذهب، والنحاس، والفضة في الصخور كعناصر حرة. معظم الفلزات لها واحد أو اثنان أو ثلاثة إلكترونات في الغلاف الخارجي قابلة للمشاركة بسهولة مع ذرات أخرى.



شكل رقم(١-١١) الفلز في الحالة الصلبة يحمل بحرًا من الشحنات الموجبة(٣).

وترتبط ذرات الفلزات ببعضها بعضًا برابطة فلزية، وتكون ذرات الفلزات متلاصقة بشدة؛ لذلك إلكترونات هذه الذرات تكوّن سحابة تدور حول هذه الذرات.

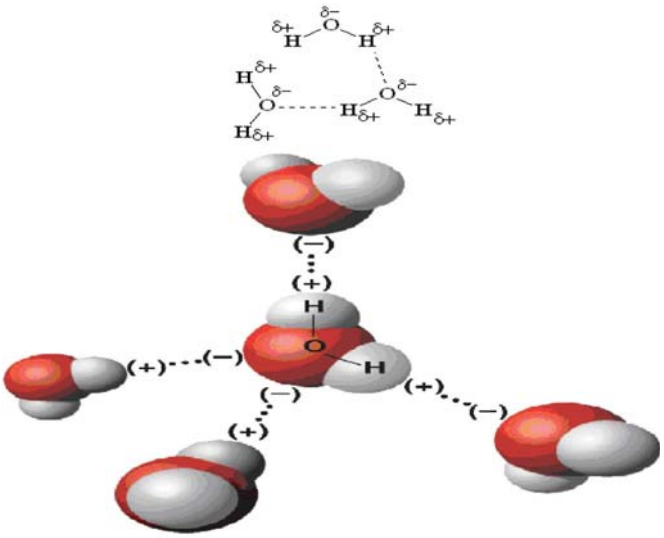
(١-١-٣-٢) الروابط الفيزيائية (Physical Bonds)

أهم الروابط الفيزيائية:الرابطة الهيدروجينية، ورابطة فان دير فال.

(١-١-٣-١-١) الرابطة الهيدروجينية (Hydrogen bond)

الآصرة الهيدروجينية تتكوّن عند اتحاد الهيدروجين مع عناصر ذات كهروسالبية عالية، مثل: الهالوجينات، والأوكسجين. وهذه العناصر ذات قطبية عالية نظرًا للفارق الكبير في الكهروسالبية؛ مما يؤدي إلى ظهور شحنة جزئية موجبة على ذرة الهيدروجين، بحيث يتكوّن قطب موجب، وشحنة جزئية سالبة على ذرة العنصر الآخر. وبسبب وجود هذه القطبية العالية، فإنّ أحد طرفي الجزئية المستقطبة سيتجاذب مع طرف جزئية مجاورة يحمل شحنة جزئية مغايرة، وهكذا فإنّ أطراف الجزئيات التي تحمل شحنة سالبة ستتجاذب مع أطراف جزئيات تحمل شحنة جزئية موجبة، والعكس صحيح، ويرمز لها عادة بخط منقط (انظر:الشكل رقم ١-١٢). وتؤثر الروابط الهيدروجينية في الخواص الطبيعية للمادة، فدرجات غليان وانصهار المواد المحتوية على روابط هيدروجينية أعلى من درجات غليان وانصهار مثيلاتها من المواد الأخرى التي لا تحتوي على هذه الرابطة. ويبرز هذا الأثر

بروزًا واضحًا في خواص الماء؛ لأنّ للماء صفات خاصة ترجع إلى الروابط الهيدروجينية المميزة التي تربط بين جزيئاته، فدرجة غليان الماء ١٠٠ درجة م ، وهذه الدرجة مرتفعة جدًّا إذا قورنت بدرجات غليان مركبات عناصر المجموعة السادسة مع الهيدروجين، وذلك على الرغم من أنّ وزن جزيء الماء أقل من وزن جزيء هذه المركبات. كما أن للروابط الهيدروجينية التي تربط بين جزيئات الماء تأثيرًا مباشرًا في القيمة العليا للكثافة التي يتخذها الماء، والتي تساوي ١ جم / سم مكعب عند ٤ درجات مئويّة ، في حين تكون كثافة الماء أقل من ١جم/سم مكعب عند أعلى وأقل من ٤ درجات مئويّة؛ وهذا ما يجعل الجليد يطفو على سطح التجمعات المائية عند تجمد الماء[٣].



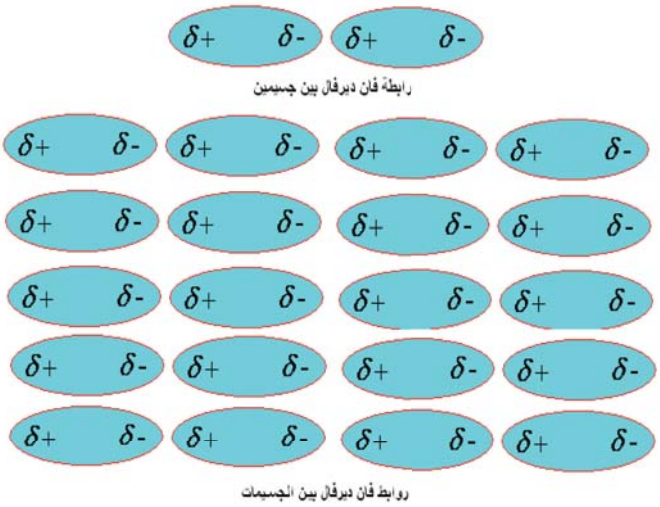
شكل رقم(١-١٢)الرابطة الهيدروجينية لجزيئات ماء (٣).

(١-١-٣-٢-٢) قوى فان دير فال (Van der Waals forces)

ترتبط جزيئات المركبات التساهمية غير القطبية ببعضها بعضًا بروابط فيزيائية ضعيفة جدًّا، وتكون ناتجة من تجاذب أنوية الذرات في جزيء معين مع إلكترونات التكافؤ في جزيء مجاور، ويطلق على هذه القوى: روابط فان دير فال (انظر:الشكل رقم ١-١٣) .

ومثال ذلك: ارتباط جزيئات الهالوجينات في حالتها العنصرية بروابط فان دير فال، حيث نجد أنه بمجرد نزولنا إلى أسفل المجموعة من الفلور إلى اليود (انظر: الجدول الدوري للعناصر) تزداد

قوة روابط فان دير فال بسبب ازدياد العدد الذري (عدد البروتونات في الأنوية، وعدد الإلكترونات في مستويات الطاقة الإلكترونية)؛ لذلك نجد أنه كلما نزلنا إلى أسفل المجموعة تزداد كثافة الهالوجين، كما تزداد درجة غليانه، وانصهاره. وهناك عامل آخر يسبب هذه الزيادة، وهو ازدياد الوزن الجزيئي بنزولنا إلى أسفل مجموعة الهالوجينات، ففي الوقت الذي يظهر الفلور غازًا خفيفًا نجد الكلور غازًا أثقل منه، والبروم سائلاً، واليود مادة صلبة[٤] .



شكل رقم(١-١٣) رسم توضيحي لرابطة فان دير فال بين جسمين فأكثر (٤).

(١-٢) تعريف تقنية النانو (Nanotechnology definition)

تقنية المواد المتناهية في الصغر، أو تقنية النانو، أو هندسة المنتجات المتناهية في الصغر اشتق اسمها من اسم النانو متر كوحدة قياس، وهي تساوي واحدًا من مليار من المتر، أي: تساوي جزءًا من ألف مليون جزء من المتر. ولتقريب المفهوم لدى القارئ الكريم، يمكن القول: إنها مسافة أقل بثمانين ألف مرة من قطر شعرة الإنسان.

ويصف توماس كيني (Tomas Kenny) من جامعة ستانفورد حجم النانو بعدة أمثلة منها: ارتفاع قطرة ماء بعد بسطها بسطًا كليًّا على مساحة متر مربع واحد، أو معدل نمو ظفر الإنسان في الثانية الواحدة، كما أن سمك الورقة العادية المستخدمة في الكتابة يصل إلى مئة ألف نانومتر.

فتقنية النانو هي: تقنية حديثة قد يعرفها بعض الناس، وقد يجهلها بعضهم، وهي مجموعة من الأدوات والتقنيات والتطبيقات التي تتعلق بتصنيع بنية معينة، وتركيبها باستخدام مقاييس في غاية الصغر.

ومن الخطأ فعل ما يفعله الكثيرون عند سماعهم هذه التقنية، إذ إنهم يبتعدون عن معرفة المزيد عنها خوفاً من عدم فهمهم؛ أو لصعوبة تخيلهم هذه التقنية، وذلك على الرغم من أنها تقنية بسيطة جدًّا. وستكون تطبيقات هذه التقنية- شئنا أم أبينا- في محور حياتنا اليومية خلال بضع سنين.

وقد ظهرت مفاهيم مختلفة؛ لتعريف تقنية النانو، فهناك من يعرّفها بأنها:» التقنية القادرة على تحقيق درجات عالية من الدقة في وظائف وأحجام وأشكال المواد ومكوناتها، وهذا الأمر يساعد على التحكم في وظائف الأدوات المستعملة في ميادين الطب، والصناعة، والهندسة، والزراعة، والعقاقير، والاتصالات، والدفاع، والفضاء، وغيرها... «. وآخر يعرّفها بأنها:» علم التعامل مع أشياء أصغر من الصغر نفسه»[٥]. ومصطلح «تقنية النانو» مشتق في الأصل من الكلمة الإغريقية نانوس التي تعني القزم الصغير، وتعني أيضًا عالم الأقزام الخرافي المتناهي في الصغر. ونستخلص من هذه التعريفات المتعددة، أنّ تقنية النانو تعني التقنيات التي تصنع على مقياس النانومتر (انظر:الشكل رقم ١-١٤)، وهي أصغر وحدة قياس مترية، وتعادل واحدًا من ألف مليون من المتر ، أي: تعادل واحدًا من مليار من المتر، أو واحدًا من مليون من المليمتر (انظر:الجدولين رقم ١-١، و١-٢، والشكل رقم ١-١٤). والنانومتر يعادل عشرة أضعاف وحدة القياس الذري المعروفة بالأنجستروم ، وحجم النانو أصغر بحوالي ٨٠٠٠٠ مرة من قطر شعرة الرأس. فعند نزع شعرة من الرأس ثم تقطيعها طوليًّا إلى ثمانين ألف قطعة طولية بالتساوي، فإنّ كل قطعة ناتجة يصبح عرضها واحد نانو تقريباً . وواضح أنه مقدار متناهي في الصغر[٥].

وعلم النانو يتوقع له أن يغزو العالم بتطبيقاته التي قاربت الخيال، وبات يعرف في عالم الإلكترونيات بالجيل الخامس الذي ظهر مؤخرًا مع ولادة تقنية النانو، والقدرة على السيطرة على حركة الذرة الواحدة، ومن ثمّ القدرة على تصنيع المنتجات بدءًا من الذرات.

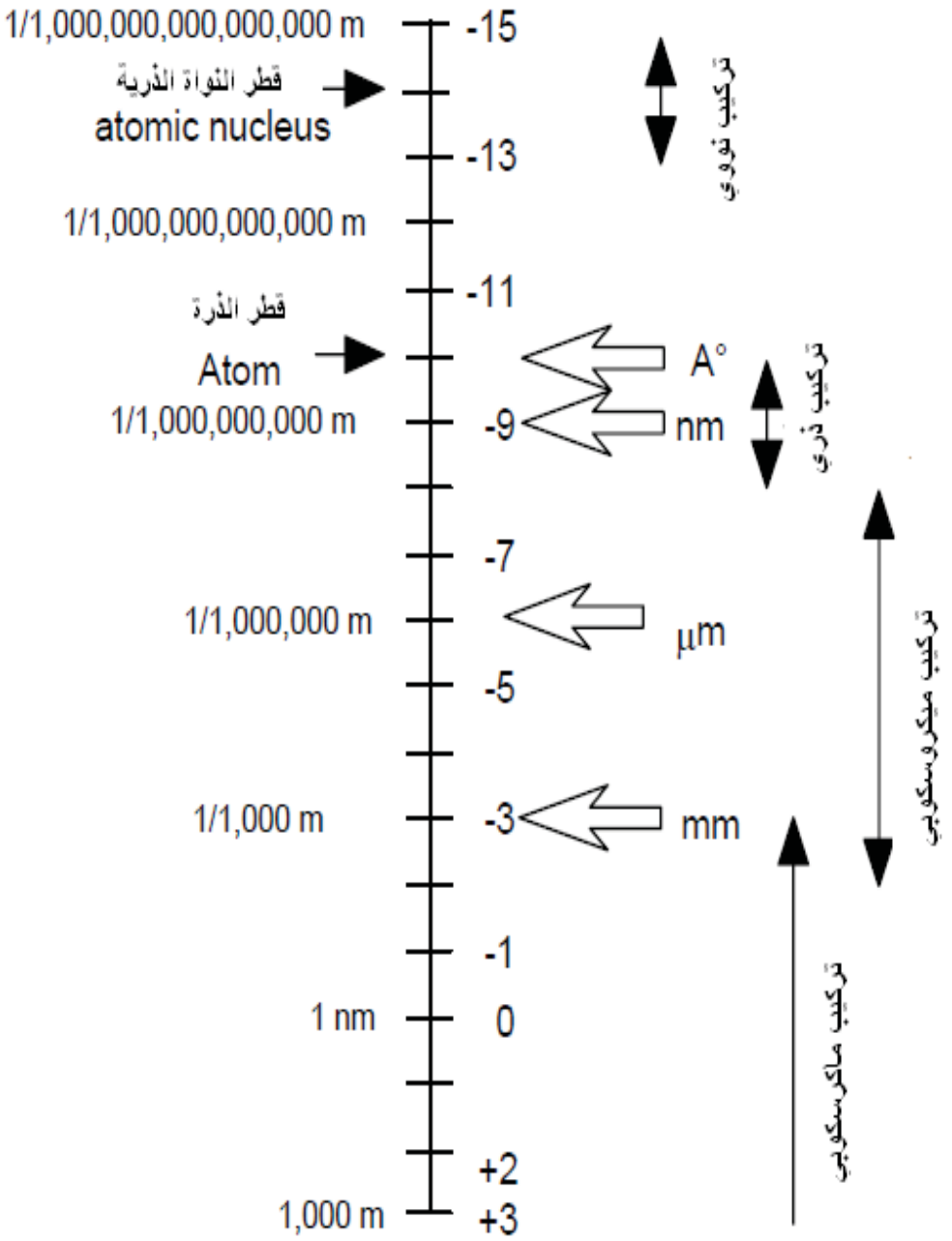
وقد سبق للبشرية الاستفادة من الجيل الأول الذي استخدم اللمبات (Lamps) بما في ذلك التلفاز، والجيل الثاني الذي استخدم جهاز الترانزيستور، ثم الجيل الثالث من الإلكترونيات الذي استخدم الذرات التكاملية (IC = Integrate Circuit) ، وهي قطعة صغيرة جدًّا

اختزلت حجم أجهزة كثيرة، بل رفعت كفاءتها، وزادت وظائفها، ثم جاء الجيل الرابع الذي استخدام المعالجات الصغيرة (Microprocessor) التي أحدثت ثورة هائلة في مجال الحاسبات الشخصية (Personal Computer)، والرقائق الحاسوبية السيليكونية التي أحدثت تقدمًا في كثير من المجالات العلمية والصناعية[١].

ويصف توماس كيني من جامعة ستانفورد حجم النانو بأمثلة كثيرة، مثل: كونه يشبه عرض الحمض النووي منقوص الأوكسجين (DNA). ويلحظ أنّ جزيء (DNA) الموجود في الشكل رقم(١-١٥) ، طوله ٢,٥ نانومتر[٧].

الوحدة	المسمى	الرمز	قيمتها
1	kilometer	(km)	10^{3}m
1	decimeter	(dm)	10^{-1}m
1	centimeter	(cm)	10^{-2}m
1	millimeter	(mm)	10^{-3}m
1	micrometer	μm	10^{-6}m
1	nanometer	(nm)	10^{-9}m
1	angstrom	(Å)	10^{-10}m
1	picometer	(pm)	10^{-12}m
1	femtometer	(fm)	10^{-15}m

جدول رقم (١-١) وحدات الأبعاد (٥).



شكل رقم(١-١٤)مقارنة بين وحدة النانومتر والطول اللوغاريتمي للتراكيب الدقيقة (٧).

شكل رقم (١-١٥) صورة توضيحية لمقارنة وحدة النانومتر بالمقاييس الأخرى (٧).

وقد يجد القارئ اختلافاً في تعريف تقنية النانو، ولكن الأهم فيها أنها منظومة ظاهرة في جميع مناحي حياتنا اليومية، فعندما يهاجم فيروس ما جسم الإنسان، فبالطبع لا يمكن قتله بأي آلة حادة، ولكن لا بدّ أن نبحث عن آلة صغيرة جدًّا تهاجم هذا الفيروس، فالنانو هي التقنية التي تصنع هذه الآلة الدقيقة. ولتقريب مفهوم تقنية النانو للقارئ العادي، نجد أنّ كلنا يعرف طعم البرتقال، ونتفق جميعًا أنه مهما اختلفت طريقة تقديم البرتقال فلن يتغير طعمه، ولو قطعناه قطعًا صغيرة، أوعصرناه عصرًا شديدًا، فلن يتغير طعمه أبدًا. أمّا في تقنية النانو فالأمر مختلف تمامًا، فقد يصبح البرتقال

شيئًا آخر مختلفاً في الشكل، والطعم، واللون.

ونستطيع الآن أن نعطي تعريفاً مختصرًا لتقنية النانو، وهو أنها:» مجموعة من الأدوات والتقنيّات والتطبيقات التي تتعلّق بتصنيع بنية معيّنة، وتركيبها باستخدام مقاييس متناهية في الصغر».

العدد	البادئة	الاختصار
10^{18}	exa-	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera-	T
10^{9}	giga-	G
10^{6}	mega-	M
10^{3}	kilo-	k
10^{-2}	centi-	c
10^{-3}	milli-	m
10^{-6}	micro-	
10^{-9}	nano-	n
10^{-12}	pico-	p
10^{-15}	femto-	f
10^{-18}	atto-	A

جدول رقم(١-٢) مضاعفات الوحدات.

(١-٣) أهمية تقنية النانو (Importance of nanotechnology)

أصبحت تقنية النانو في طليعة أكثر المجالات أهمية وإثارة في الفيزياء، والكيمياء، والأحياء، والهندسة، ومجالات كثيرة أخرى. فقد أعطت أملاً كبيرًا لظهور ثورات علمية في المستقبل القريب؛ لذا فمن المهم إعطاء فكرة عامة وموجزة لغير المختصين عن هذه التقنية.

ويعود الاهتمام الواسع بتقنية النانو إلى الفترة التي تتراوح ما بين عام ١٩٩٦م إلى ١٩٩٨م، وذلك عندما درس مركز تقويم التقنية العالمي الأمريكي (WTEC) الموضوع، وأجرى دراسة تقويمية في أبحاث النانو، وأهميتها في الإبداع التقني. وخلصت الدراسة إلى نقاطٍ من أهمها: أنّ

لتقنية النانو مستقبلاً عظيمًا في جميع المجالات الطبية، والعسكرية، والمعلوماتية، والإلكترونية، والحاسوبية، والبتروكيميائية، والزراعية، والحيوية، وغيرها. كما أنّ تقنية النانو متعددة الخلفيات، فهي تعتمد على مبادئ الفيزياء، والكيمياء، والهندسة الكهربية والكيميائية، وغيرها، إضافة إلى تخصّصي الأحياء والصيدلة.

ومن هذا المنطلق، فإنّ الباحثين في مجالٍ ما لا بدّ أن يتواصلوا مع الآخرين في مجالات أخرى؛ للحصول على خلفية عريضة عن تقنية النانو، ومشاركة فعّالة في هذا المجال المثير. كما أنّ الإداريين ذوي العلاقة، وداعمي هذه الأبحاث لا بدّ أن يُلمّوا إلمامًا عامًّا موجزًا بهذه المجالات(٨).

ويرى كثير من المتفائلين في مجال تقنية النانو- ومعهم بعض الحكومات- أنّ لتقنية النانو فوائد عديدة منها:

- وفرة المواد الحميدة بيئيًّا، والمستخدمة في توفير موارد نظيفة للمياه.
- المحاصيل والأغذية المهندسة وراثيًّا تسهم في وفرة وزيادة الإنتاج الزراعي بأقل متطلبات للعمل.
- تعزيز ودعم نواحي التغذية التفاعلية الذكية للأغذية الرخيصة والقوية.
- زيادة القدرة التصنيعية النظيفة، وذات الكفاءة العالية.
- زيادة سعة تخزين المعلومات، وإمكانات الاتصال.
- تصنيع الأجهزة التفاعلية الذكية: وذلك بزيادة الأداء البشري عبر التقنيات المتقاربة.

وحريّ بالذكر أنّ تقنية النانو لم تعد مجرد مادة للشائعات والرؤى المستقبلية، بل بدأت توليد تجارة حية، ومنتجات مفيدة، وأصبحت تلامس حياتنا بالفعل، وبطرق متعددة؛ لكونها هندسة على مستوى الجزيئات بهدف ابتكار مواد وأجهزة مفيدة. فيمكننا العثور على منتجات التقنية النانوية في السيارة التي تقودها، وفي دهان جدران المنازل التي نقطنها. كما أنها تسهم في تحسين تشخيص الأمراض، وتطوير مكونات مواد البناء والبلاستيك، وتمهد الطريق لتطورات أساسة في الإلكترونيات، وتقنية الحاسوب.

ويعتمد مفهوم تقنية النانو على إعطاء الجسيمات التي يقل حجمها عن مئة نانومتر (النانومتر جزء من ألف مليون من المتر) المادة التي تدخل في تركيبها خصائص وسلوكيات جديدة. وهذا بسبب إبداء هذه الجسيمات (التي هي أصغر من الأطوال المميِّزة المصاحبة لبعض الظواهر) مفاهيم

فيزيائية وكيميائية جديدة؛ مما يقود إلى سلوك جديد يعتمد على حجم الجسيمات. وقد لوحظ تغيّر التركيب الإلكتروني، والتوصيلية، والتفاعلية، ودرجة الانصهار، والخصائص الميكانيكية للمادة، وذلك عندما يقل حجم الجسيمات عن قيمة حرجة من الحجم. فكلما اقترب حجم المادة من الأبعاد الذرية خضعت المادة لقوانين ميكانيكا الكم بدلاً من قوانين الفيزياء التقليدية. إنّ اعتماد سلوك المادة على حجمها يمكننا من التحكم بهندسة خواصها، وبناءً على ذلك استنتج الباحثون أنّ لهذا المفهوم آثارًا تقنية عظيمة، تضمّ مجالات تقنية واسعة ومتنوعة، منها: إنتاج مواد خفيفة وقوية، واختزال زمن توصيل الدواء النانوي إلى الجهاز الدوري البشري، وزيادة حجم استيعاب الأشرطة المغناطيسية، وصناعة مفاتيح حاسوبية سريعة... إلخ.

وعلى الرغم من حداثة تقنية النانو، فإنّ وجود أجهزة تعمل بهذا المفهوم، وتراكيب ذات أبعاد نانوية ليس بالأمر الجديد، والواقع أنّ وجودها يعود إلى عمر الأرض، وبدء الحياة فيها، حيث من المعروف أنّ الأنظمة البيولوجية في الجسم الحي تصنّع بعض الأجهزة الصغيرة جدًّا، ومنها ما يصل إلى حدود مقياس النانو، فالخلايا الحية تعدّ مثالاً مهمًّا لتقنية النانو الطبيعية، حيث تعدّ الخلية مستودعًا لعدد كبير من الآلات البيولوجية التي بحجم النانو، وتصنّع البروتينات داخلها على شكل خطوط مجتمعة بحجم النانو تسمى ريبوزومات. بل إنّ الإنزيمات نفسها تعدّ آلة نانوية، حيث تفصل الجزيئات، أو تجمعها حسب حاجة الخلية. ومن ثمّ يمكن للآلات النانوية المصنّعة أن تتفاعل معها، وتؤدي الهدف المنشود، مثل: تحليل محتويات الخلية، وإيصال الدواء إليها، أو إبادتها عندما تصبح مؤذية.

وتضمّ فوائد تقنية النانو أيضًا تحسين أساليب التصنيع، وأنظمة تنقية المياه، وشبكات الطاقة، وتعزيز الصحة البدنية، والطب النانوي، وكذلك تحسين طرق إنتاج الأغذية والتغذية على نطاق واسع، والبنية التحتية لصناعة السيارات، وغير ذلك من الصناعات. والمنتجات المصنوعة مع تقنية النانو قد تتطلب عملاً قليلاً، والأرض، أو الصيانة، وتكون ذات إنتاج عالٍ، وانخفاض في التكلفة، ولها متطلبات متواضعة من حيث المواد والطاقة(٩).

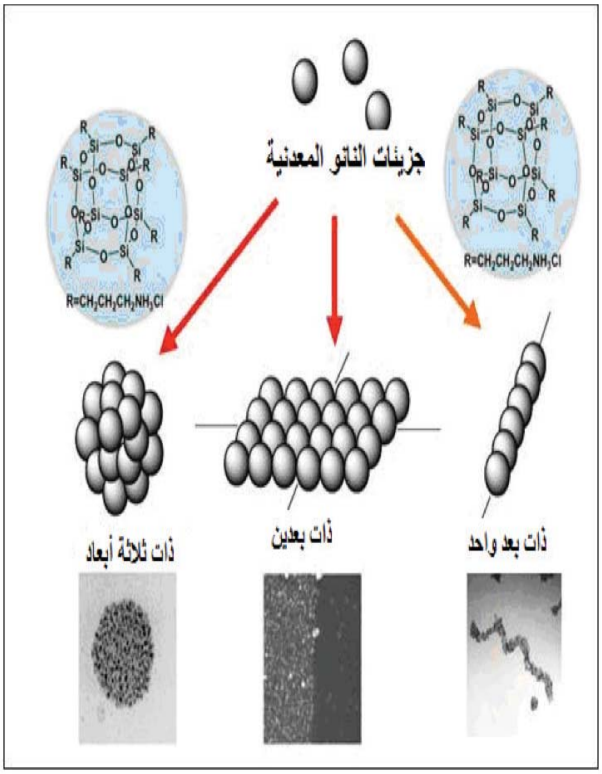
وعلى الرغم من جميع ما ذكر فإنّ هناك صعوبات كثيرة تحتاج إلى المزيد من البحث، ومن أهمها: إمكانية الوصول إلى طرق رخيصة وعملية؛ لتحضير مواد نانوية مختلفة على نحو تجاري؛ لاستخدامها في التطبيقات المختلفة. كما تكمن صعوبة أخرى في كيفية التواصل بين مفهوم عالم النانو

الحديث وعالم الماكرو المستخدم حاليًّا في تصنيع الأجهزة الإلكترونية.

(١-٤) المواد النانوية (Nanomaterials)

المواد النانوية (النانومترية) هي: المواد ذات البعد النانومتري المحصور ما بين ١ إلى ١٠٠ نانومتر. وتوجد المواد النانومترية في ثلاث صور، حيث الصورة الأولى أحادية البعد (one-dimensional) ، في حين أنّ الصورة الثانية ثنائية البعد (two-dimensional) ، أمّا الصورة الثالثة فثلاثية البعد (three – dimensional) (انظر:الشكل رقم ١-١٦).

وسنناقش في الفصل الثاني- بإذن الله- الطرق المختلفة؛ لتحضير هذه المواد.



شكل رقم(١-١٦) تقسيم المادة النانوية من حيث الأبعاد (١٠).

(١-٤-١) أين توجد المواد ذات المقياس النانوي؟

إن كثيرًا من الوظائف المهمة في حياة الكائنات الحية تحدث وفق المقياس النانوي، فأجسامنا

البشرية وأجسام جميع الحيوانات الأخرى تستخدم مواد طبيعية ذات مقياس نانوي، فالبروتينات والجزيئات تتحكم في كثير من أنظمة وعمليات جسم الإنسان. فالبروتين الأنموذجي (مثل: الهيموجلوبين) الذي يحمل الأكسجين خلال مجرى الدم، يبلغ قطره تقريبًا خمسة نانومتر، أو خمسة أجزاء من بليون من المتر.

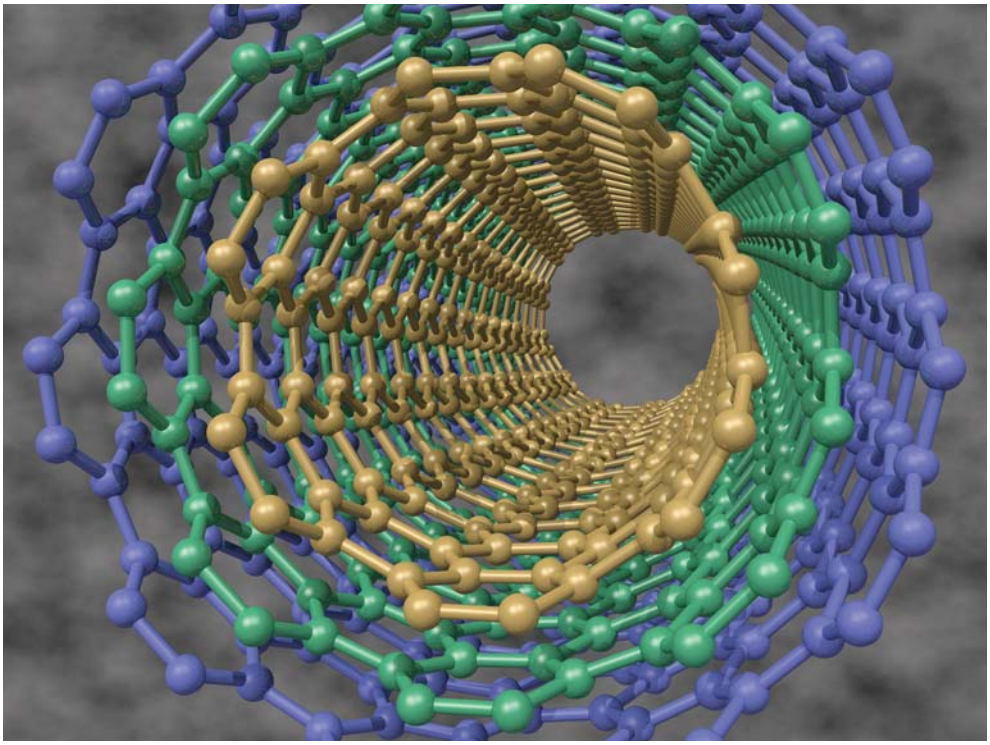
فالمواد النانوية تحيط بنا من كل جانب: في الأدخنة المتصاعدة من عوادم السيارات، أو من المصانع، أو الرماد البركاني، ، وكذلك رذاذ البحر، والمنتجات الناشئة عن عمليات الاحتراق. كما استخدمت المواد النانوية منذ قرون، فمثلاً: الذهب (النانوي) استخدم في الزجاج المصبوغ، والخزف منذ القرن العاشر، ولكن تطلب ذلك عشرة قرون أخرى قبل أن تتطور المجاهر عالية القدرة والمعدات الدقيقة؛ لكي تسمح برؤية المواد النانوية، واستدعائها. وقد نسخ باحثون بنية نانوية لأوراق نبات زهرة اللوتس؛ لإنتاج سطوح مضادة للماء، وتستخدم اليوم في صنع ملابس مضادة للتلطخ، وإنتاج أنسجة أخرى، ومواد متنوعة، في حين قلد آخرون قوة ومرونة نسيج العنكبوت، وعزّز ذلك طبيعيًّا بالبلورات النانوية (١٠).

(١-٤-٢) سلوك المواد النانومترية (Nanomaterials behavior)

تتصرّف الأجسام في المقياس النانوي تصرّفًا مختلفًا تمامًا عن تصرّفها في المقاييس الأكبر، فالذهب في المقياس الكبير (Bulk) على سبيل المثال موصل جيّد للحرارة، والكهرباء، ولكنه غير موصل للضوء. في حين أنّ جسيمات الذهب النانوية المبنية بناءً مناسبًا تمتصّ الضوء، وبإمكانها تحويل ذلك الضوء إلى حرارة كافية تجعلها تعمل كمشرط حراري مصغر، يمكن عبره قتل الخلايا غير المرغوب فيها في جسم الإنسان ، مثل: الخلايا السرطانية.

كما أنّ بعض المواد الأخرى يمكن أن تصبح أقوى على نحو ملاحظ، وذلك عندما تبنى على مقياس نانوي. فعلى سبيل المثال: نلحظ أنّ أنابيب الكربون النانوية (انظر:الشكل رقم١-١٧) التي يبلغ قطرها ٠,٠٢٥ تقريبًا من قطر شعرة الإنسان قوية على نحو لا يصدق، إذ إنها تستخدم في صناعة الدراجات الهوائية، ومضارب لعبة البيسبول، وبعض أجزاء السيارات في وقتنا الحالي. والعلماء يفكرون بإمكانية جمع أنابيب الكربون النانوية مع البلاستيك؛ لصناعة مركب أخف بكثير من الفولاذ ، وفي الوقت نفسه أكثر قوة منه. تخيل كيف يمكن توفير الطاقة إذا استبدلنا بعض المعادن

المستخدمة في صناعة السيارات بهذا المركب؟! . إن أنابيب الكربون النانوية (انظر: الفصل الثالث)، موصلة للحرارة والكهرباء أفضل من أي معدن آخر؛ لذا يمكن استخدامها في حماية الطائرات من ضربات البرق، كما يمكن استخدامها في دوائر الحاسوب الكهربائية.



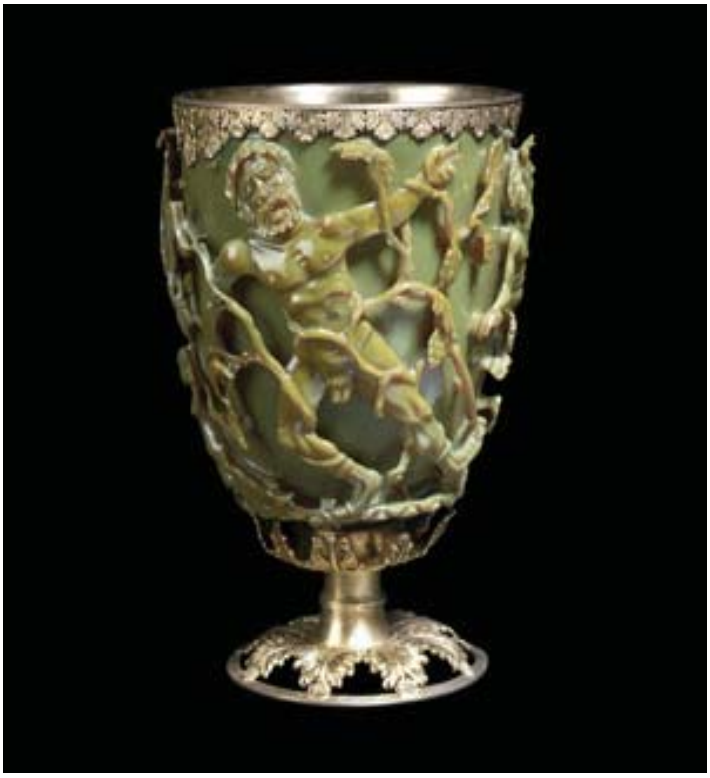
شكل رقم(١-١٧) صورة تخيليلة لأنبوب الكربون النانومتري متعدد الجداران (١٦).

(١-٥) نبذة تاريخية (Brief History)

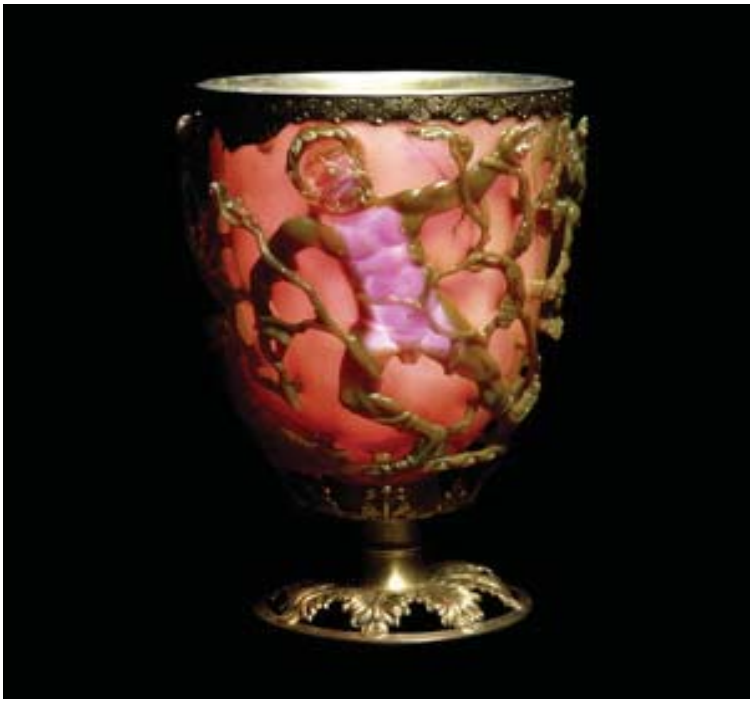
منذ آلاف السنين قصد البشر استخدام النانو دون أن يعرفوا هذا المصطلح ، فاستخدمت في صناعة الصلب، والمطاط، والفلكنة، وكلها تمت اعتمادًا على خصائص عشوائية للأحجام الذرية لتلك المواد. ولا يمكن تحديد حقبة أو عصر بعينه لاستخدام هذه التقنية. فقد ذُكر أنّ صانعي الزجاج في العصور الوسطى كانوا يستخدمون حبيبات الذهب النانوية الغروية في تلوين الزجاج،

ويعضد ذلك كأس الملك الروماني لايكورجوس (Lycurgus) الموجود في المتحف البريطاني منذ القرن الرابع الميلادي (انظر: الشكلين رقم ١-١٨ ، و١-١٩)، حيث يحتوي على جسيمات من الذهب والفضة نانوية الحجم؛ لأنه يلحظ تغير لون الكأس من اللون الأخضر إلى اللون الأحمر الغامق عندما يتعرض لمصدر ضوئي(٨).

كما عرف عن المحاربين القدامى في اليابان (الساموراي) استخدامهم المواد المعدنية في الصورة النانوية لطلاء سيوفهم؛ للحصول على الخصائص المطلوبة لتلك السيوف (١١). ويعدّ مايكل فراداي (Michael Faraday) أحد العلماء الأوائل الذين كتبوا تقريرًا عن كيفية إيجاد جزيئات الذهب الغروية في عام ١٨٥٧م(١٢). وفي عام ١٩٤٠ م دُرس استخدام محفزات (Catalysts) المواد النانوية لأول مرة(٥)



شكل رقم(١-١٨) الضوء المنعكس (٨).



شكل رقم(١-١٩) الضوء النافذ (٨).

وفي عام ١٩٥٩م ألقى الفيزيائي الأمريكي الشهير ريتشارد فينمان (R.Feynman) محاضرة أمام الجمعية الفيزيائية الأمريكية تحت عنوان « هناك مساحة واسعة في الأسفل» (There's Plenty of Room at the Bottom) ، حيث وضح فيها أنّ المادة عند المستويات المتناهية في الصغر (ما يعرف بالنانو حاليًّا) بعدد قليل من الذرات، تتصرّف تصرّفًا مختلفًا عن حالتها عندما تكون بالحجم المحسوس. كما أشار إلى إمكانية إيجاد طرق؛ لتحريك ذرات وجزيئات المادة على نحو مستقل؛ للوصول إلى الحجم المطلوب(٨). وقد طوّرت التقنية ما بين عامي ١٩٦٠م-١٩٧٠م، حيث استخدم المسحوق المعدني النانوي (metallic nanopowders) في شرائط التسجيل المغناطيسي (٥).

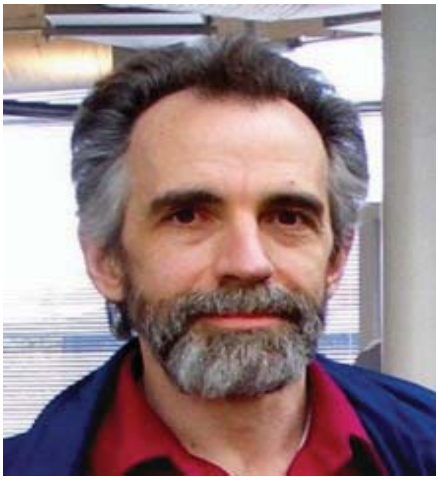
شكل رقم (١-٢٠) العالم الأمريكي ريتشارد فينمان (R. Feynman)

وفي عام ١٩٧٤م استخدم العالم الياباني نوريو تانقيشي (Norio Taniguchi) مصطلح تقنية النانو لأول مرة، حيث قال:»إنّ تقنية النانو هي مجموعة من عمليات الفصل، والتكوين، والدمج للمواد على مستوى الذرات، أو الجزيئات»(١٣).

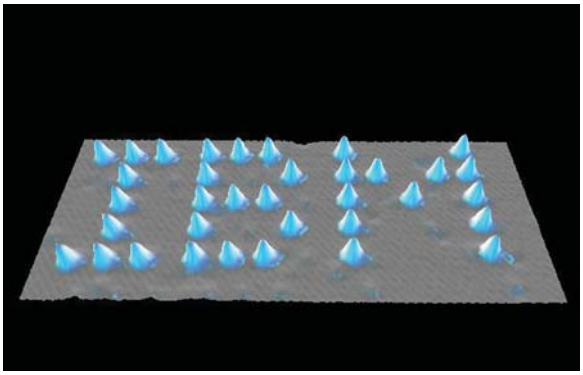
شكل رقم(١-٢١)العالم الياباني نوريو تانقيشي (Norio Taniguchi)

وفي عام ١٩٨٦م ألف العالم الأمريكي إريك دريكسلر (Eric Drexler) كتابًا أسماه: محركات التكوين(Engines of Creation)، وبسط فيه الأفكار الأساسة لعلم النانو(١٤).

ووضع دريكسلر تخيلاً مفاده أنه يمكن تغيير ترتيب الذرات داخل المادة، كما وضع فكرة حول شيء يسمى المُجمع (Assembler) ، وقد تخيله على صورة آلة صغيرة جدًّا بحجم الفيروس، وله يدان يستطيع بهما الإمساك بالجزيئات والذرات، وإعادة ترتيبها حسب البرنامج المحمل عليه، وهو قابل لإعادة البرمجة حسب نوع المهمة المطلوبة منه.



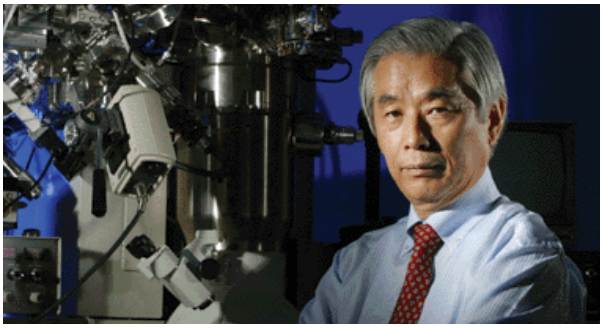
شكل رقم (١-٢٢) العالم الأمريكي إريك دريكسلر (E. Drexler) (٨)



شكل رقم(١-٢٣) صورة توضح اسم شركة (IBM) كتبت بواسطة الذرات.

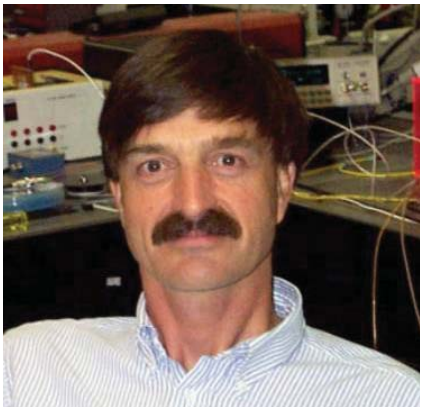
يعدّ بعض الباحثين أنّ سنة ١٩٩٠م هي البداية الحقيقية لعصر التقنية النانوية، ففي ذلك العام تمكن الباحثون في مختبر فرعي تابع لشركة (IBM) من صنع أصغر إعلان في العالم(انظر:الشكل رقم ١-٢٣)، حيث استخدموا ٣٥ ذرة من عنصر الزينون في كتابة اسم الشركة ذي الحروف الثلاثة على واجهة مقر فرعها بالعاصمة السويسرية(٨).

وفي عام ١٩٩١م اكتشفت أنابيب الكربون النانوية في شركة (NEC) للصناعات الإلكترونية في اليابان بواسطة العالم الياباني سوميو إيجيما (Sumio Iijima)، وذلك حينما كان يدرس الرماد الناتج عن عملية التفريغ الكهربي بين قطبين من الكربون باستخدام ميكروسكوب إلكتروني عالي الكفاءة، وكانت النتيجة إيجاده أنّ جزيئات الكربون تأخذ ترتيبًا يشبه الأنابيب في داخل بعضها بعضًا (١٥).



شكل رقم(١-٢٤) العالم الياباني سوميو إيجيما (Sumio Iijima) (٨)

وفي عام ١٩٩٣م تمكن العالم الأمريكي دونالد بثيون(Donald Bethune) من شركة IBM لتكنولوجيا الحاسبات في الولايات المتحدة الأمريكية من رصد نانوتيوب مكوّن من طبقة واحدة (single-wall) يبلغ قطرها ١٢ نانومتر(٨).



شكل رقم (١-٢٥) العالم الأمريكي دونالد بثيون (Donald Bethune)(٩١)

ثم انطلق العلماء بعد ذلك في مجال النانوتيوب، حتى استطاع فريق من العلماء الصينيين حديثاً رصد أصغر نانوتيوب في العالم، حيث يصل قطره إلى ٠,٥ نانومتر فقط.

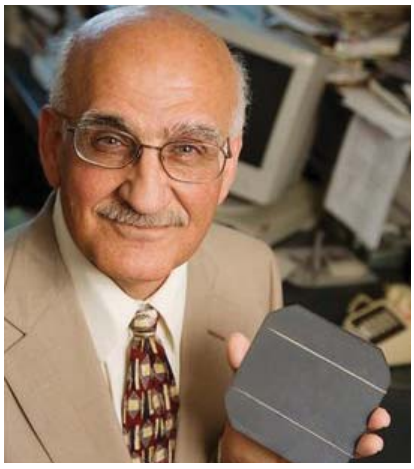
وفي عام ١٩٩٦م أنشئت الوكالة الوطنية لتقنية النانو في الولايات المتحدة الأمريكية، وهي منظمة حكومية أمريكية هدفها عمل الأبحاث والتجارب في مجال تقنية النانو.

وفي عام ٢٠٠٣م عرفت أسرار هذه التقنية، وتُحكم في عالم المواد النانوية(٨). وفي عام ٢٠٠٤م بدأت مرحلة التطبيقات الصناعية لهذه التقنية، حيث استخدمت المواد النانوية في صناعة المطاط الماليزي، وكانت النتائج مذهلة، فقد قفزت الخصائص الميكانيكية للمطاط من ١٢ إلى ٢٠ ضعفاً، وذلك بإضافة أجزاء بسيطة من المواد النانوية.

ولقد حظيت تقنية النانو في الوقت الحاضر بالاهتمام الكبير نظرًا لتطبيقاتها المتوقعة في المجالات المختلفة، وخاصة المجالات الطبية، والعسكرية، والحوسبة، والاتصالات(١٦).

وفي عام ١٩٩٧م تمكن العالم الفيزيائي العربي المسلم منير نايفه من اكتشاف وتصنيع عائلة من حبيبات السليكون التي أصغرها ذات قطر واحد نانو متر، وتتكوّن من ٢٩ ذرة سليكون، سطحها على شكل الفولورينات الكربونية ، بيد أنّ داخلها غير فارغ، وإنّما تتوسطها ذرة واحدة منفردة، وهذه الحبيبات عند تعريضها لضوء فوق بنفسجي، فإنها تعطي ألواناً مختلفة حسب قطرها، بحيث تتراوح ما بين الأزرق والأخضر والأحمر.

أمّا التجمّع الذاتي (self-assembly) للجزيئات، أو ربطها تلقائيًّا بسطوح فلزية فقد أصبحت في الوقت الحاضر ممكنة؛ لتكوين صف من الجزيئات على سطح ما: كالذهب، وغيره(١٧).



شكل رقم (١-٢٦) العالم الفيزيائي العربي المسلم منير نايفه (٩١).

(١-٥-١) تواريخ مهمّة (Important Dates)

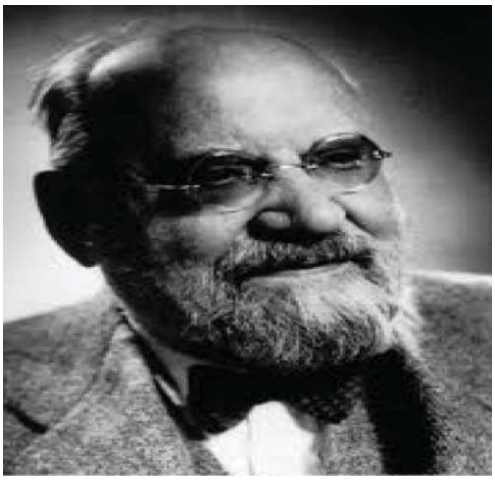
١٦٦١م: روبرت بويل(Robert Boyle) ينشر بحثاً يرى فيه أنّ المادة تتكوّن من جزيئات صغيرة (clusters) يمكن تكوينها بطرق مختلفة؛ لتعطي ما يسمى بالجسيمات(٨).

شكل رقم(١-٢٧)العالم الكيميائي روبرت بويل (Robert Boyle) (٩١).

شكل رقم(١-٢٨)عالم الكيمياء الإنجليزي مايكل فارادي (Michael Faraday) (٩١).

١٨٥٧م: مايكل فارادي (Michael Faraday) يكتب تقريرًا عن كيفية إيجاد جزيئات الذهب الغروية(١٢).

١٩٠٨م: جوستاف ماي (Gustav Mie) يعطي تفسيرًا لاعتماد لون الزجاج على حجم ونوع المعدن(٨).



شكل رقم(١-٢٩)العالم الألماني جوستاف ماي (Gustav Mie) (٨)

١٩٦٠م: طوّر المسحوق المعدني النانوي (metallic nanopowders)، واستخدم في شرائط التسجيل المغناطيسي(١٨).

١٩٦٠م: استطاع وليام ماكللان (William Mclellan) محاكاة ما يسمى المحرك البروتيني (motor protein) الموجود داخل أغلب الكائنات الحية، والذي يبلغ قطره ٥٠٠ نانومتر(١٩).

١٩٨١م: اخترع العالمان جيرد بينج وهنريك الميكروسكوب النفقي الماسح(Scanning Tunneling Microscopy، STM) (انظر:الشكل رقم ١-٣٠) الذي يصوّر الأجسام بحجم النانو. ومنذ ذلك التاريخ زادت الاهتمامات البحثية المتعلقة بتصنيع ودراسة التركيبات النانوية للمواد(٢٠).

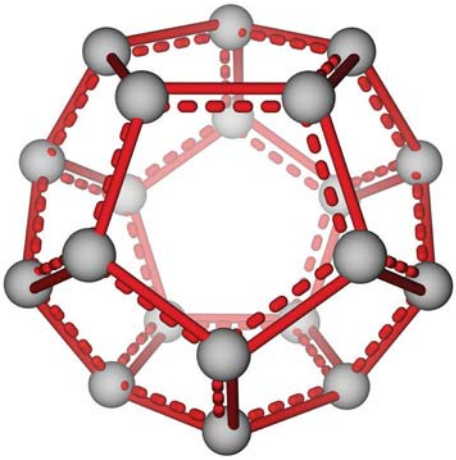
شكل رقم(١-٣٠)) العالمان هينريك روهرر وجيرد بينينج (٨).

شكل رقم(١-٣١)الميكروسكوب النفقي الماسح (STM)

١٩٨٥م:اكتشاف الفوليرين (Fullerene). وقد أعطي هذا الاسم تخليدًا للعالم المعماري الأمريكي باكمنستر فوليرين (Buckminster Fullerene) المشهور بتصميماته الهندسية

للقباب التي تشبه في تصميماتها شكل الكربون ٦٠ (٢١). والفوليرين هو بمنزلة كرة مجوّفة ذات بعد نانوي مكوّنة من ٦٠ ذرة كربون (انظر:الشكل رقم١-٣٣).

شكل رقم(١-٣٢) العالم المعماري الأمريكي باكمنستر فوليرين (٢١).



شكل رقم(١-٣٣) الفوليرين C_{60} في الصورة الجزيئية (٢١).

الفصل الثاني

المواد المتناهية في الصغر وطرق تحضيرها (Nanomaterials Synthesis and Processing)

(٢-١) مقدمة

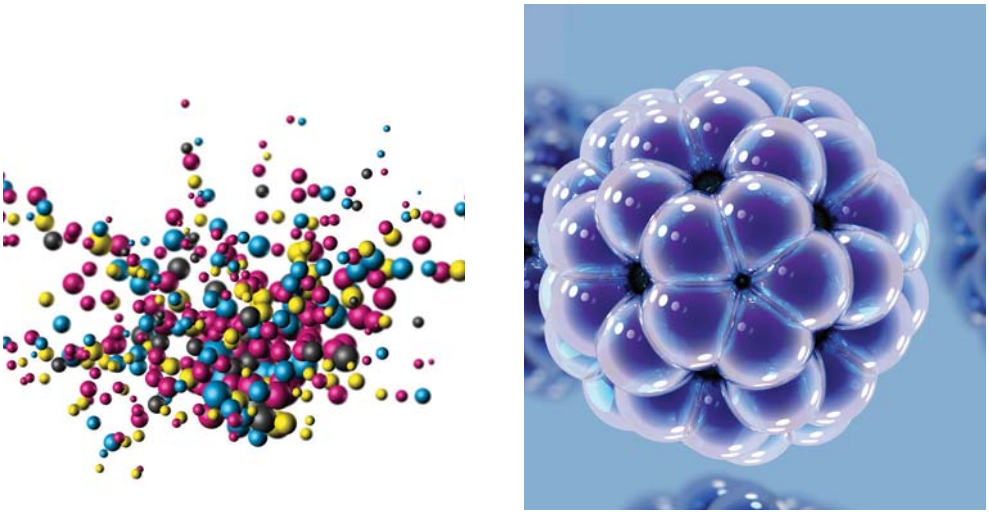
المواد المتناهية في الصغر (النانوية) هي مواد ذات خصائص شكلية على حجم النانومتر، ولها خصائص نابعة من أبعادها النانومترية(بعدها النانومتري أقل من ١٠٠nm). وتنقسم المواد النانوية عمومًا إلى قسمين هما: الفوليرينات (انظر:الشكل رقم ٢-١)، والجسيمات النانوية غير العضوية (انظر:الشكل رقم ٢-٢). ويهتم علم المواد المتناهية في الصغر بدراسة المواد في السلم الذري أو الجزيئي.

وقد تطور علم تقنية النانو، والمواد النانوية المرتبطة به بسرعة كبيرة؛ وذلك نظرًا لاهتمام الباحثين في مجال تقنية النانو بهذه المواد النانوية. وقد أنتجت آليات وتجهيزات تسمح للباحثين باكتشاف أسرار المادة على المستوى النانومتري. ومما عزّز الاهتمام بالمواد النانوية تطبيقاتها المتعددة التي تغطي جلّ المجالات العلمية، مثل: تقنيات الإعلام والاتصال، والصحة، والبيئة، والطاقة، والنسيج، والكيمياء، ومواد التجميل والعطور، والسيارات، والفضاء وعلم الطيران، والزجاج والمواد المصنوعة منه، والخزف ومواد البناء، والمطاط، والمواد البلاستيكية (انظر: الفصل الرابع).

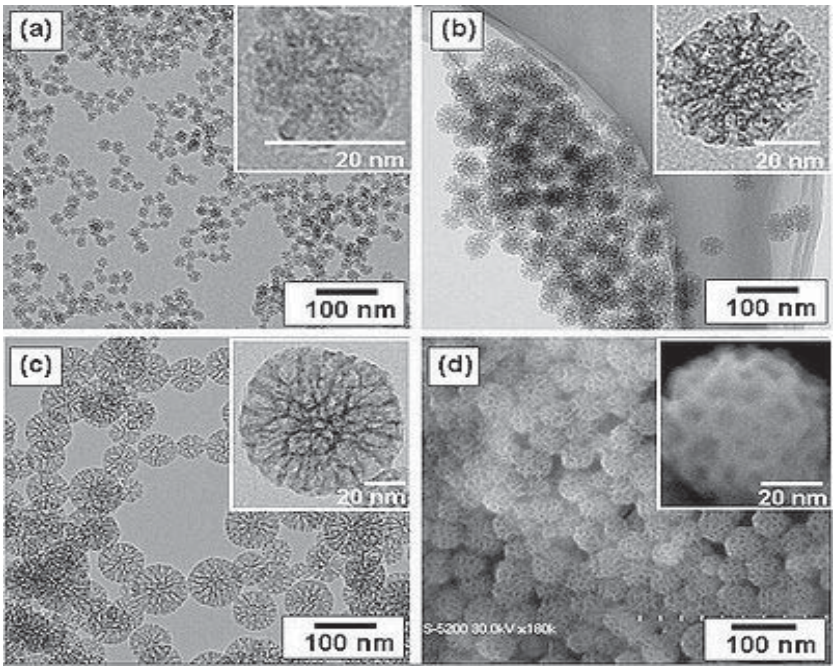
وسنناقش في البنود التالية تصنيفات تلك المواد، وبعض طرق تحضيرها، والمجاهر المستخدمة في رؤية تلك المواد المتناهية في الصغر التي يصعب رؤيتها بالعين المجردة؛ وذلك لأهميتها في التطبيقات الحديثة لتقنية النانو.

(٢-٢) تعريف المواد المتناهية في الصغر (Nanomaterials definition)

تعدّ علوم المواد المتناهية في الصغر والتقنيات المنبثقة عنها ميادين واعدة للبحث العلمي والتقني. فهي تستعمل آليات وتجهيزات متطورة. وقد فتح هذا الميدان العلمي الباب أمام تطبيقات خارقة للعادة في مختلف الميادين العلمية والتقنية، حيث إنها تغطي إشكالات علمية وتقنية متنوعة، وتجيب عن أسئلة تقليدية، مثل: كيفية تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية بتكلفة منخفضة.



شكل رقم(٢-١) الفوليرينات (٥).



شكل رقم(٢-٢) الجسيمات النانوية غير العضوية : الصور (a، b، c) تمثل جزيئات السليكا النانوية ذات الأقطار الخارجية [(a)20nm, (b) 45nm, and (c) 80nm] (٧٩).

ولقد انطلق هذا التطور منذ عام ١٩٩٠م، وذلك بعد أن اكتشف العالمان هوفمان (D.Huffman) وكراتشمير (W.Kratschmer) طريقة تركيب كمية ماكروسكوبية من الجزيئات والبلورات انطلاقًا من الفوليرين الذي اكتشف في ثمانينيات القرن الماضي، واكتشاف العالم الياباني سوميو إيجيما (S. Iijima) أنابيب الكربون المتناهية في الصغر بواسطة المجهر الإلكتروني. وتلت هذه الأبحاث الكشف عن طرق أخرى متعلقة بتركيب المواد، ومن ثمّ أصبح من الممكن دراسة الخصائص الفيزيائية والكيميائية لأجسام متناهية في الصغر.

ولإيجاد أبسط تعريف لعلم المواد المتناهية في الصغر لا بدّ من دراسة المواد في السلم الذري أو الجزيئي، حيث تختلف خواصها اختلافًا ملحوظاً عن خواص المواد نفسها في سلم أكبر (الحجم العادي). وعلم المواد متعدد التخصصات، ويغطي مجالات علمية كثيرة، مثل: الكيمياء، والفيزياء، والأحياء، والطب، وعلوم الهندسة، والإلكترونيات.

وتغطي الأبحاث في هذا المجال تحضير المواد المتناهية في الصغر، واكتشاف مميزاتها بأشكال وبنى وخصائص فيزيائية وكيميائية خاصة. ويمكن أن تكون هذه المواد عضوية، أو غير عضوية، أو هجينًا من المواد العضوية وغير العضوية.

وتتراوح أبعاد المواد النانوية ما بين عشرة إلى مئة نانومتر ($1nm = 10\text{-}3\mu = 10\text{-}9m$). ولكي نتخيل أبعاد هذه المواد دعنا نقارنها بأبعاد أجسام أخرى، فمثلا: بعد الذرة يتراوح ما بين 0.1 nm إلى 0.4nm ، في حين يقدر سمك جزيء الحامض النووي (DNA) بحوالي 2nm، أمّا طول هذا الجزيء فيصل إلى 10 أمتار. كما يتراوح طول فيروس ما بين 10 nm إلى 100 nm . في حين أنّ سمك شعرة الإنسان تتراوح ما بين 50000 nm إلى 100000 nm .

وتكمن أهمية المواد المتناهية في الصغر في خصائصها الكمية المتميزة؛ وذلك نظرًا لصغر حجمها، وكبر سطحها، كما أنّ نسبة مساحة سطح المادة المتناهية في الصغر على كتلتها أكبر من النسبة نفسها في السلم العادي؛ مما يؤدي إلى ارتفاع التفاعل الكيميائي، ومنه إلى التأثير في الخصائص الكهربائية والميكانيكية للمواد المتناهية في الصغر. ومن جهة أخرى يصبح المفعول الكمي أكثر أهمية في مواد النانو، حيث يؤثر في خواص المادة الضوئية، والكهربائية، والمغناطيسية، ويظهر هذا جليًّا في النقط الكمية، والليزر الكمي المجهّز بالتجهيزات الإلكتروضوئية(٥).

فالمواد المركبة انطلاقاً من الجزيئات المتناهية في الصغر تكون أشدّ صلابة، وأكثر مرونة من

المواد العادية(في الحجم الطبيعي). فكلما تقلص حجم الجزيئات ارتفعت صلابة المادة . ويفترض أنّ تقليص حجم الجزيئات يؤدي إلى تغيير الأواصر الذرية المبنية على تشارك الإلكترونات، أمّا مرونة مواد النانو فتأتي من جهة صغر حجم الجزيئات، حيث يسمح لها بالانزلاق على بعضها بعضًا عند بداية الكسر، وهكذا يصنع الخزف القوي في صلابته، والشديد في مقاومته الصدمات في الوقت نفسه.

ومن الخواص المهمّة للمواد المتناهية في الصغر أنّ نسبة سطح المواد على حجمها أكبر من هذه النسبة في المواد العادية. ولهذه الخاصية تطبيقات ذات أهمية كبيرة، مثل: أكثر الحوافز امتصاصًا للمادة. فالحوافز المركبة من مواد متناهية في الصغر لها تطبيقات متعددة، مثل: جزيء البترول. والمواد المسامية المتناهية في الصغر تستعمل في امتصاص المواد الكيماوية الملوثة، أو في تخزين الهيدروجين بأمان . كما تستعمل الجزيئات المتناهية في الصغر في مواد التجميل والمراهم؛ لحماية البشرة من أشعة الشمس (جزيئات أكسيد التيتانيوم، وأكسيد الزنك) . أمّا الأنابيب المتناهية في الصغر (العضوية أو غير العضوية) فلها خواص ميكانيكية مهمّة. كما أن الكريات والحبات البلورية المتناهية في الصغر تستعمل في التشحيم شأنها في ذلك شأن الدهون، كما تستعمل في تركيب المواد المغناطيسية (١٩).

ولقد حدث تطور سريع للآليات المستعملة في التقنيات المتناهية في الصغر في مدة قصيرة من الزمن، وسمحت هذه الآليات برؤية الأجسام على مستوى النانومتري(١٧).

وتشكل تقنيات النانو حقلاً خصبًا للبحث العلمي، والتطور التكنولوجي، حيث تهدف إلى صنع بنى، وأجهزة، وأنساق، وذلك انطلاقاً من وسائل تسمح بهيكلة المادة على المستوى الذري والجزيئي في سلم يتراوح ما بين ١ إلى ١٠٠ نانومتر. ونخلص في النهاية إلى تمثل المواد المتناهية في الصغر بالمواد التي لها بعد واحد على الأقل في سلم النانومتر، أي: التي يكون حجمها أقل من ١٠٠nm.

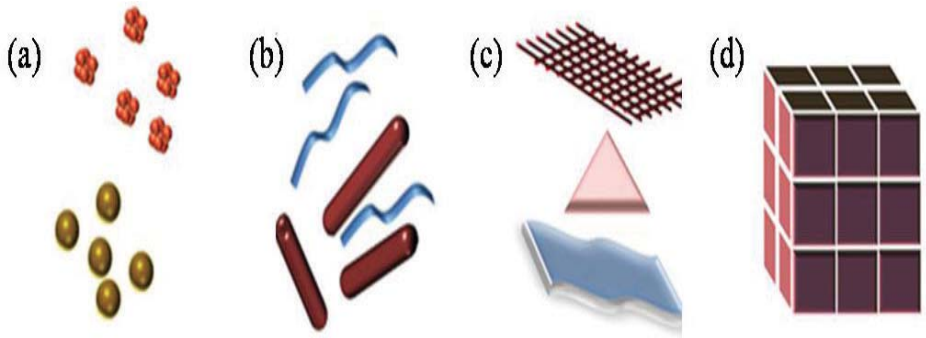
(٢-٣) تصنيف المواد المتناهية في الصغر(Nanomaterials Classifications)

يمكن الحصول على أجسام متناهية في الصغر على هيئة أشكال مختلفة، مثل: جزيئات، وألياف، أو قنوات (تسمى شحنة، أو تقوية)، وتمثل طبقات رقيقة، أو مركبات بنيوية. ويمكن تصنيف المواد المتناهية في الصغر إلى ثلاث عائلات (انظر:الشكل رقم٢-٣):

أ-المواد المقواة، أو المشحونة بمواد متناهية في الصغر (Reinforced material)

ب-المواد المتناهية في الصغر المهيكلة في السطح (Structured in surface).

ج-المواد المتناهية في الصغر المهيكلة في الحجم (Structured in size).



شكل رقم(٢-٣) تقسيم المواد النانوية: (a) الكرات والمجموعات النانوية (غير البعدية). (b) الألياف والأسلاك والقضبان النانوية (ذات البعد الواحد). (c) الأفلام والصفائح والشبكات النانوية (ذات البعدين). (d) المواد النانوية ثلاثية الأبعاد (٢٣).

أولاً: المواد المقواة، أو المشحونة بمواد متناهية في الصغر (Reinforced materials)

تدمج الأجسام المتناهية في الصغر في مادة ما؛ لإعطاء وظيفة جديدة لهذه المادة، أو لتغيير خواصها الميكانيكية. وتستعمل في منتجات التجميل، والصباغة، والإسمنت المقوى، وحبر الطباعة. والمركبات المحملة بأنابيب الكربون المتناهية في الصغر أفضل مثال على هذا الصنف، وهناك أمثلة أخرى، مثل: إدماج دخان السيليس في الإسمنت المقوى؛ لتحسين سيولته، وخواصه الميكانيكية، وإدماج جزيئات الفحم في الحبر والعجلات، وكذلك إدماج جزيئات ثاني أكسيد التيتانيوم في المراهم؛ للحفظ من الأشعة فوق البنفسجية. كما توجد في الطبيعة مواد كثيرة مشحونة بمواد متناهية في الصغر، مثل:الصلصال، والميكا، والحجر الكلسي(٢٣).

ثانيًا: المواد المتناهية في الصغر المهيكلة في السطح (Structured in surface)

إن طلاء مادة ما بطبقة أو عدة طبقات متناهية في الصغر يعطي سطح هذه المادة خواص جديدة (مقاومة التعرية، والتأكسد، والتآكل...إلخ)، أو وظائف جديدة منها ما يتعلق بالمظهر، مثل:الصلابة، والالتحام... إلخ.

وهناك طرق كثيرة: فيزيائية وكيميائية؛ لتحضير هذه المواد (الاقتلاع بالليزر، والقذف بحزمة إلكترونات، وتثبيت الجزيئات على السطح انطلاقًا من البخار بطرق فيزيائية وكيميائية). وقد تطورت تطوّرًا ملحوظاً صناعة هذه المواد في السنوات الأخيرة.

ثالثاً: المواد المتناهية في الصغر المهيكلة في الحجم (in size Structured)

وهي مواد ذات خواص فيزيائية متميزة (خزف أكثر ليونة، وخواص ضوئية، وعوازل كهربائية أكثر جودة...إلخ)؛ وذلك نظرًا لبنيتها الداخلية على المستوى النانومتري (بنية مجهرية، ومسامية، وشبكات بلورية متناهية في الصغر)، كما تتوفر في بعض الحالات على سطح كبير للتبادل. ومن المواد التي تنتمي إلى هذا النوع المواد البيولوجية، مثل: المرجان، والصدف (٢٠، ٢٤).

(٢-٤) طرق تحضير المواد المتناهية في الصغر (Nanomaterials Synthesis)

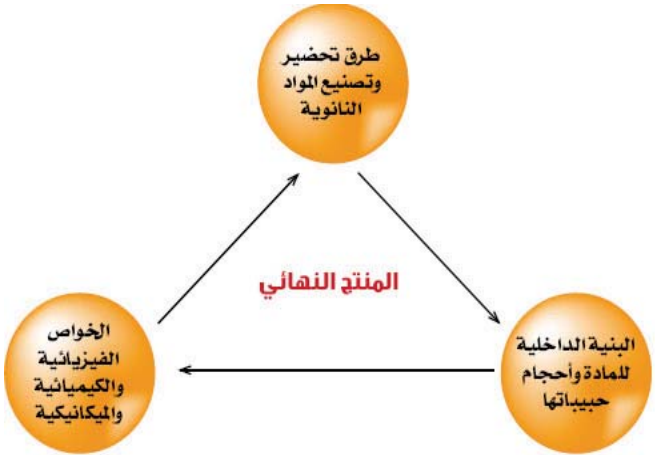
إنّ للخواص الفيزيائية والكيميائية للمادة الخام المستخدمة في تحضير المواد النانوية دورًا مهمًّا، وذلك خلافاً لما يحدث عند تحضير وتصنيع المواد المحسوسة (الحجمية). فقد اكتشف العلماء أنّ بعض المركبات عندما تصنع بأحجام نانومترية فإنها تكتسب خواص فريدة، لا تتوافر لها عندما تكون في الحجم المحسوس، وعلى الرّغم من تطابق التكوين الكيميائي في الحالتين فإنّ المادة النانومترية المتناهية في الصغر تكتسب صفات وخواص كهربية وضوئية ومغناطيسية استثنائية بسبب الترتيب الجديد الذي تأخذه الذرات، فالبورسلين مثلا يعدّ مادة مهمة، ولكنها هشة، وسبب هشاشتها يرجع إلى الفراغ الذي بين جزيئاتها (المكوّنة من الرمل)، وهو كبير نسبيًّا؛ مما يقلل تماسكها. كما يمكن أخذ البورسلين الموجود في الصحون المكسورة مثلاً، وتفكيكه إلى مكوناته الذرية الصغرى، ثم إعادة ترتيب هذه المكونات؛ لنحصل على بورسلين أقوى من الحديد، بحيث يمكن استعماله في البناء، أو في صناعة سيارات خفيفة الوزن، ولا تحتاج إلى وقود كثير. وهناك مثال آخر مفاده أنّ البترول يتشابه في تركيبه مع مواد عضوية كثيرة؛ لذا فإنّ تقنية النانو تمكننا من صناعة مكونات بترولية من أي نفايات، أو مخلفات عضوية بعد تفكيكها إلى مكوناتها الذرية، ثم إعادة تجميعها؛ لنحصل على بترول !. وبناء على هذا المفهوم يمكن صناعة التيتانيوم (الذي يعدّ أشد المعادن صلابة على الأرض، وتصنع منه مركبات الفضاء)، من أي خردة معدنية. كما يمكن صناعة ملابس عادية واقية من الرصاص من النفايات، والمخلفات، وغيرها من التطبيقات التي تعدّ بمنزلة انقلاب جذري في العلاقة بين الصناعة

والمواد الأولية، بل لدى مجمل نظام التبادل الاقتصادي العالمي(٢٤).

وتتوقف الخواص المختلفة للمنتج النانوي على كيفية التحكم في البنية المجهرية الداخلية للمادة المستخدمة في تصنيع المنتج، وحجم حبيباتها، كما يتوقف ذلك على الطريقة والأسلوب المستخدم في إنتاج المادة النانوية (انظر:الشكل رقم ٢-٤).

وهناك طرق كثيرة؛ لتصنيع المواد النانوية، وقد قسّمت إلى قسمين رئيسين(انظر:الشكل رقم٢-٥): أحدهما من القمة إلى أسفل (Top-down) ، حيث تكسر المادة الأصلية (الكبيرة) شيئاً فشيئاً حتى الوصول إلى الحجم النانوي. وتستخدم عدة طرق؛ لتحقيق ذلك منها: الحفر الضوئي، والقطع ، والطحن، والتفتيت. واستخدمت هذه التقنيات في الحصول على مركبات إلكترونية مجهرية: كشرائح الحاسب، وغيرها. أمّا الطريقة الثانية فتبدأ من أسفل إلى أعلى(Bottom –up) ، بعكس الطريقة الأولى ، حيث تبنى المادة النانوية انطلاقاً من ذرات وجزيئات ترتب؛ للوصول إلى الشكل والحجم النانوي المطلوب. وتدخل هذه الطريقة في الغالب ضمن طرق كيميائية، وتتميز بصغر حجم المواد المنتجة، وقلة الفاقد، والحصول على روابط قوية للمادة النانوية المنتجة.

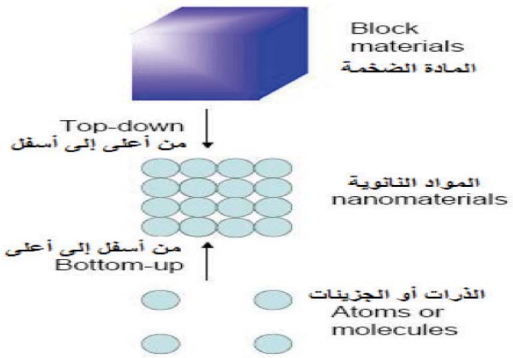
ولو نظرنا إلى القسم الأول(من القمة إلى الأسفل)، لوجدنا أنّ بعض التقنيات التي ظهرت منذ أكثر من ٥٠ سنة تمكنت من تحضير حبات من المادة ذات أبعاد صغيرة جدًّا. ومن هذه التقنيات: تقنيات التبريد السريع، والكيمياء العذبة، أو تقنيات صول- جل (sol-gel)



شكل رقم(٢-٤) دورة تصنيع المنتج النانوي (٢٤).

كما توجد تقنيات أخرى تسمح بتحضير جزيئات بأبعاد صغيرة جدًّا، مثل:القوس الكهربائي، والليزر، والبلازما، أو المويجات. وهكذا حُصل على حبات ذات أبعاد مقاربة لأبعاد العيوب التي تتحكم في بعض خواص المادة، مثل: الانفكاك (الخواص الميكانيكية) ، وحواجز بلوك (Block) ، والخواص المغناطيسية، والظواهر التي ليس لها مفعول إلا في الحجم النانومتري (مفعول النفق، ومفعول الحصر).

وأمّا بشأن القسم الثاني (من الأسفل إلى الأعلى) فتبنى الهياكل والمواد بطريقة مضبوطة، وذلك انطلاقاً من الذرات، أو الجزيئات. ويمكن تصنيف طرق تحضير مواد النانو إلى ثلاثة أصناف هي: التحضير بطرق فيزيائية، والتحضير بطرق كيميائية، والتحضير بطرق ميكانيكية(٥).



شكل رقم(٢-٥) رسم توضيحي؛ لوصف طرق تحضير المواد النانوية (٢٤).

أ- التحضير بالطرق الفيزيائية (Physical methods)

الطرق الفيزيائية كثيرة منها:

١-التحضير انطلاقاً من الحالة البخارية للمادة التي يحصل عليها بتسخينها، أو بقذفها بحزمة إلكترونات، أو حلها حراريًّا بأشعة الليزر.

وفي أغلب الأحيان يبرد البخار بصدمه بغاز محايد، فيصبح أكثر إشباعًا، فيوضع بعد ذلك بسرعة على سطح بارد؛ لتجنب البناء البلوري، أو التحام الأكوام.

٢- تحضّر المساحيق المتناهية في الصغر باستعمال المويجات على مساحيق من أبعاد ميليمترية. ومن مميزات هذه التقنية أنها ليست ملوثة.

٣- تحضّر أنابيب الكربون المتناهية في الصغر عن طريق استئصالها بالليزر، وبتفريغ البلازما، أو

التفكيك بحافز.

٤-أمّا الطبقات الرقيقة بسمك النانومتر فيمكن الحصول عليها عن طريق (PVD)، أو (Epitaxie)

ب- التحضير بالطرق الكيميائية (Chemical methods)

ومن أهم طرق التحضير الكيميائية:

١- طريقة ترسيب الأبخرة الكيميائية (Chemical Vapor Deposition(CVD)

يدخل بخار المادة التي يراد تحضيرها في مفاعل مصنع خصيصًا، حيث تمتز جزيئات المادة على سطح أساس بدرجة حرارة ملائمة. والجزيئات الممتزة إمّا تتفكك، أو تتفاعل مع غازات أخرى، أو البخار؛ لتكوين شريط صلب على الأساس. تستعمل هذه الطريقة في تحضير بعض المواد المتناهية في الصغر، مثل: كميمات أشباه النواقل، والخزف، وأنابيب الكربون المتناهية في الصغر (٢٤).

٢-طريقة التفاعلات في وسط سائل (Interaction in solution medium method)

من أكثر السوائل استعمالاً الماء، أو السوائل العضوية. وترسّب الجزيئات المتناهية في الصغر بتغيير شروط التوازن الكيميائي. ويمكن أن نذكر من بين هذه التفاعلات ما يلي:

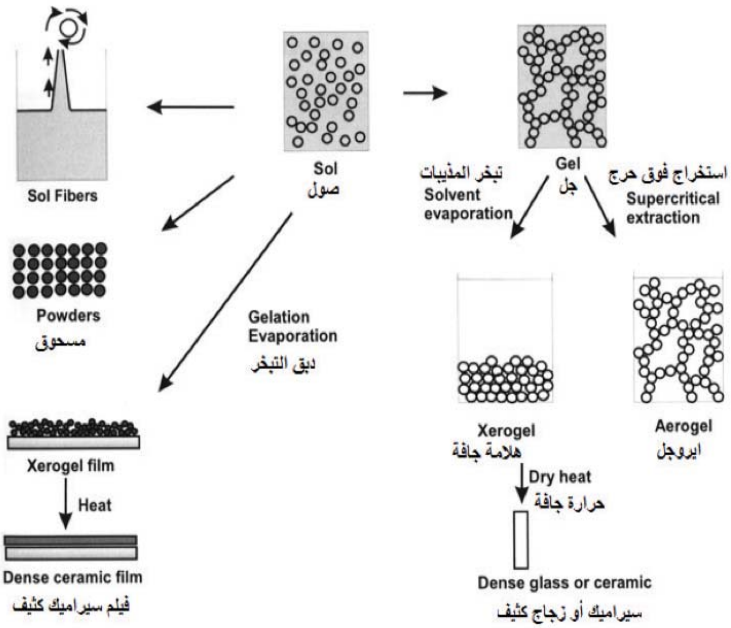
-الترسيب الكيميائي المزدوج: وهو الأكثر استعمالاً صناعيًّا بتكلفة منخفضة.

-التحليل بالماء: وهو الذي يسمح بالحصول على جزيئات دقيقة كروية أكثر نقاء، وتتجانس كيميائيًّا، مع القدرة على التحكم في أبعاد الجزيئات(٢٤).

٣- طريقة الصول-جل (Sol-gel Method)

وهذه الطريقة تمر بطورين (انظر:الشكل رقم ٢-٦) هما: طور السائل (sol) ، ثم بعد فترة من الزمن تتبخر المادة، فتتحول إلى طور الجل(gel)؛ ولذلك سميت هذه الطريقة طريقة الصول – جل، وهذه الطريقة تستخدم في صنع قضبان ضوئية يمكن أن تكون وسطاً ليزريًّا. وقد صنعت قضبان ليزرية من مواد نانوية، ولكن الجزيئات غير مستقرة، وجاري البحث الآن في جعلها مستقرة (هذا الكلام يخص السيلكون نانو(. كما تسمح هذه التقنيات بإنتاج مواد متناهية في الصغر، وذلك انطلاقاً من محاليل غروية، والارتكاز على تفاعلات الشناظة غير العضوية. ومميزات هذه الطريقة تكمن في إمكانية التحكم في تجانس وهيكلة المادة في السلم النانومتري في المراحل الأولى للتحضير، وتوزيع الجزيئات. كما أنها تحضّر في درجة حرارة منخفضة بالمقارنة مع التقنيات الأخرى. وتسمح هذه التقنية أيضًا بتحضير قطع ضخمة، أو سطحية على ألواح ، أو ألياف. كما تستعمل في صنع ألياف متعددة العناصر.

والمواد الناتجة عن هذه الطريقة تغطي معظم مجالات المواد الوظيفية، مثل: الضوء، والمغناطيس، والإلكترونيك، والناقلية العليا في درجات الحرارة المرتفعة، والمحفزات، والطاقة، والملتقطات... إلخ(٢٥).



شكل رقم(٢-٦) رسم توضيحي؛ لوصف طريقة الصول-جل (٥)

ج – التحضير بالطرق الميكانيكية (Mechanical methods)

أهم طرق التحضير الميكانيكية هي:

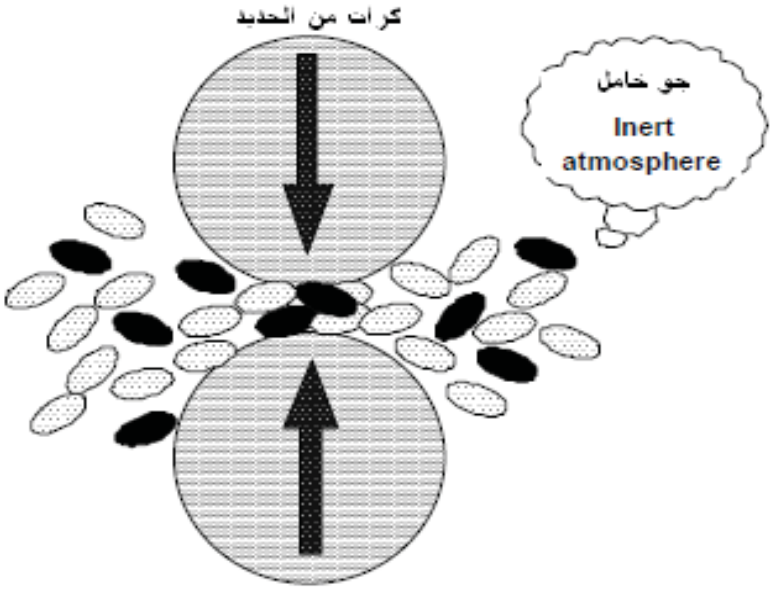
١-طريقة الطحن (Ball milling method)

وهذه الطريقة تنتج مواد نانوية على شكل مسحوق (بودر)، حيث توضع المادة تحت طاقة عالية جدًّا، ثم تطحن عن طريق كرات مصنوعة من الفولاذ تتحرك إمّا على نحو كوكبي، أو اهتزازي، أو رأسي (انظر:الشكل رقم ٢-٧). ويمكن صنع مسحوق يتراوح حجمه ما بين ٣ إلى ٢٥ نانو متر(٥).

٢- طريقة التركيب الميكانيكي (Mechanical structure)

وتعتمد هذه الطريقة على سحق مادة مكونة من جزيئات ميكرومترية (من ١ إلى ٣٠μm) لعدة مخالط؛ لمزجها. الميزة الأساسة لهذه الطريقة أنها تسمح بالحصول على رواسب نانومترية، أو

أجسام متناهية في الصغر موزعة على نحو متجانس داخل المادة. كما تسمح بإنتاج مواد ضخمة من عدة كيلوغرامات، أو حتى أطنان(٥).



شكل رقم(٢-٧) رسم توضيحي؛ لوصف طرق تحضير المواد النانوية بالطحن (٥).

ويمكن التفصيل فيما سبق ذكره على النحو التالي:

١-عملية الرصد والتزجيج الأولي: تمكن هذه العملية من تحويل مادة ذرية إلى قطعة ضخمة، وترتكز على مرحلتين:

أ-عملية الرص الميكانيكي.

ب-عملية إذابة مسحوق المعادن؛ لتكثيفه بعد التبريد، والمسماة تزجيج أولي بالضغط، أو بدونه.

٢- تقنيات التشوهات القوية: تسمح هذه التقنيات بتحضير مواد مكونة من حبات بأبعاد نانومترية، وذلك بتشويه مادة بلورية (معدن أو خزف) بقوة. وتستعمل تقنيات كثيرة لهذا الغرض منها: اللي، أو النبط، وتسمح هذه التقنيات بتحسين خواص التصلب، واللدانة للمواد.

وجدير بالذكر أنّ هناك طرقاً كثيرة لا يمكن شرحها بالتفصيل في هذا الكتاب، وسنكتفي بذكر

أهمها على النحو التالي:

١- (Manipulation method)
٢- (Nanolithography)
٣- (Physical Vapor Deposition-PVD)
٤- (Chemical Vapor Deposition- CVD)
٥- (Chemical routes)
٦- (Hydrothermal method)
٧- (Template-based Methods)

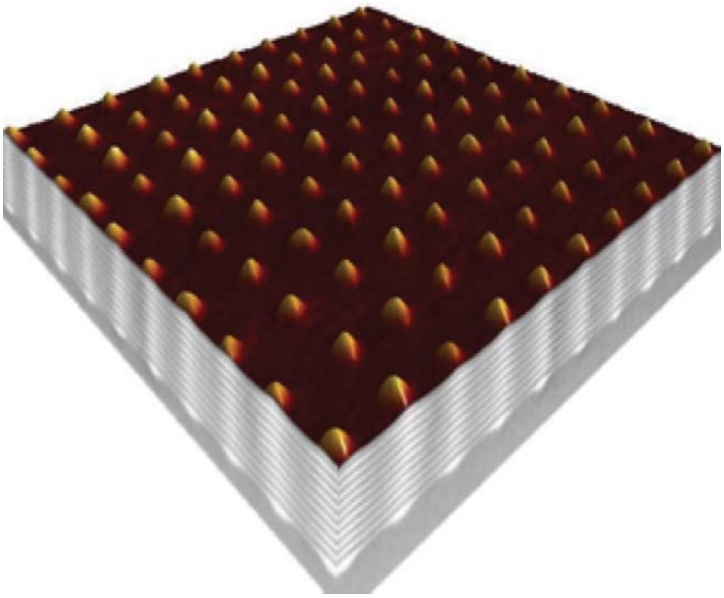
وكلها طرق تستخدم في تحضير المواد النانوية بأشكالها المختلفة، وقد يجد القارئ الكريم متسعًا من الوقت يمكنه من الاطلاع على المزيد من تفاصيل الطرق الكيميائية؛ لتحضير المواد النانوية، وذلك عبر قراءته «كتاب كيمياء المواد النانوية» (The Chemistry of Nanomaterials) الذي يحتوي على طرق كثيرة مستخدمة في تحضير هذه المواد (٢٦) .

(٢-٥) أشكال المواد النانومترية (Forms of nanomaterials)

تحضّر المواد النانوية على أشكال مختلفة منها:

(٢-٥-١) النقاط الكمية (Quantum Dots)

وهي بمنزلة نانوي شبه موصل ثلاثي الأبعاد، حيث تتراوح أبعاده ما بين ٢ إلى ١٠ نانومترات. وعندما يكون قطر النقطة الكمية ١٠ نانومترات فإنه يمكن صف ٣ ملايين نقطة كمية بجوار بعضها بعضًا بطول يساوى عرض إبهام الإنسان (انظر:الشكل رقم ٢-٨).

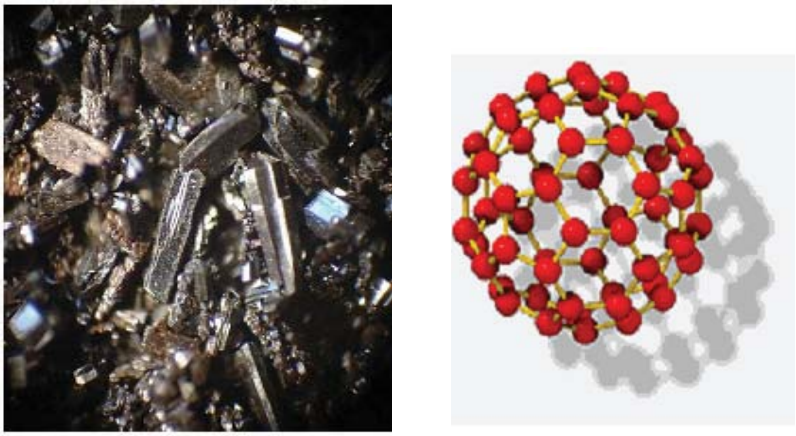


شكل رقم(٢-٨) نقط كمية ثلاثية الأبعاد من الكريستال (٢٦).

(٢-٥-٢)الفوليرين (The Fullerene)

جزيئات نانوية مكوّنة من ذرات كربون مترابطة ثلاثيًّا، تعطي شكل كريات لها بناء يماثل الجرافيت، ولكن بدلاً من احتوائها على الشكل السداسي النقي، فإنها تحتوي على أشكال خماسية (ويحتمل سباعية) من ذرات الكربون؛ مما يؤدي إلى انثناء الطبقات، وتحوّلها إلى كريات، أو أسطوانات. ويعدّ الجزيء $C_{٦٠}$ أكثر الفوليرينات شهرة، حيث تترتب ستون ذرة كربون على رؤوس مجسم عشريني ناقص. وشكل المجسم العشريني الناقص يشبه كرة القدم (انظر:الشكل رقم ٢-٩)، ويتميز بأنه جزيء ممغنط، وغير قابل للاحتكاك.

وقد اكتشف الفوليرين في عام ١٩٤٤م عندما لحظ أوتوهان وجود سلاسل من الكربون أثناء إجرائه تجارب كانت تستهدف تكوين ذرات ثقيلة من ذرات أخف عن طريق امتصاصها النيوترونات؛ إذ إنّ بحثه كان منصبًّا في الكشف عن الفروق الصغيرة في الوزن بين بعض ذرات العناصر الثقيلة التي يبخّرها في قوس كربوني (١٠).



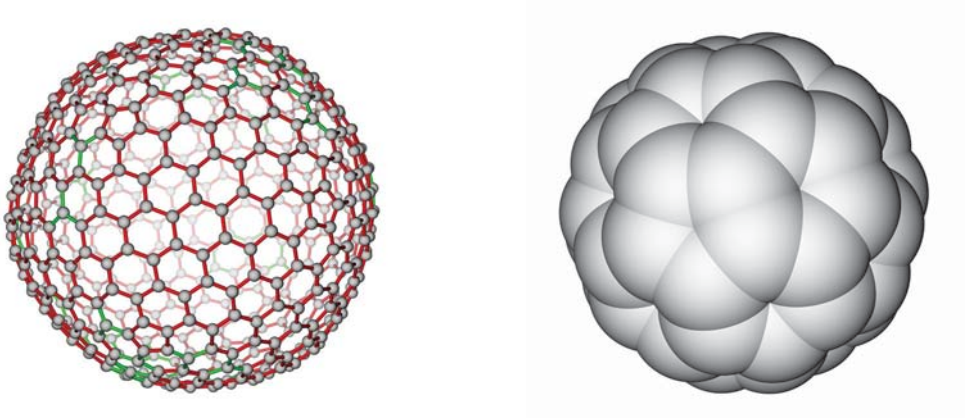
(ب) (أ)

شكل رقم(٢-٩) (أ) فوليرين C_{60} في الصورة الجزيئية. (ب) فوليرين C_{60} في الصورة البلورية (٢٧).

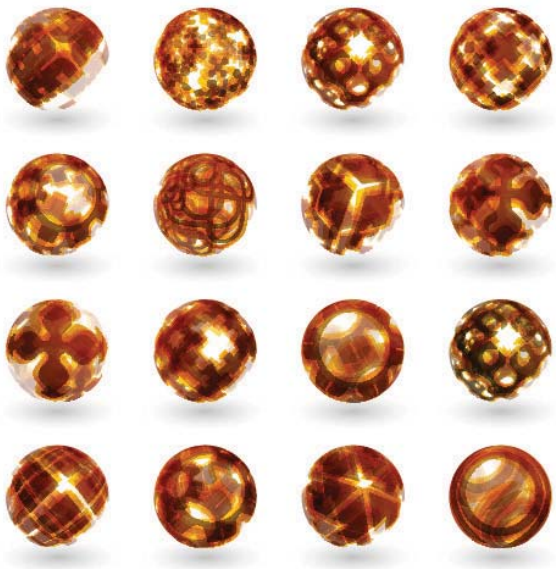
وأثناء مشاهدة أوتوهان تلك النتائج، لحظ أن القوس أنتج أيضًا سلاسل من الكربون كان لها الوزن الجزيئي نفسه للمعدن، وحيث إنه لم يكن مهتمًّا بسلاسل الكربون فقد دوَّن ملاحظاته بشأنها في نهاية تقريره، ثم انطلق وراء الهدف الرئيس من بحثه، ولم تتابع النتائج التي توصل إليها بشأن سلاسل الكربون إلا في عام ١٩٨٥م عن طريق هارولد كروتو، وروبرت كيرل، وريتشارد سمالي، حيث توصلوا إلى أنّ سلاسل الكربون تلك ما هي إلاّ صورة جديدة من صور الكربون(٢٧).

(٢-٥-٣)الكرات النانوية أو كرات الكربون النانوية (Nanoballs)

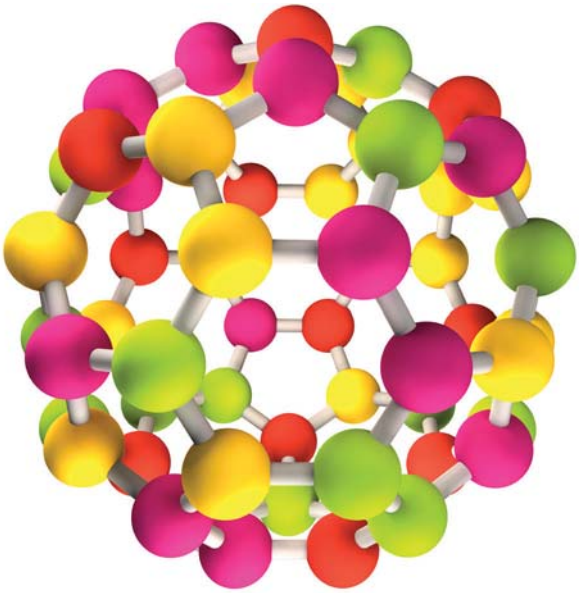
تنتمي الكرات النانوية إلى فئة الفوليرينات (C_{60})، مع الاختلاف في التركيب شيئاً قليلاً؛ وذلك لكونها متعددة القشرة، وخاوية المركز. وبسبب تركيبها الذي يشبه البصل، فقد أطلق عليها العلماء اسم (bucky) ، أي: البصل. وقد يصل قطرها إلى ما يزيد عن ٥٠٠ نانومتر (انظر:الأشكال التالية: ٢-١٠، ٢-١١، ٢-١٢) (٢٨).



شكل رقم(٢-١٠) رسم توضيحي لكرة نانوية (٩٢).



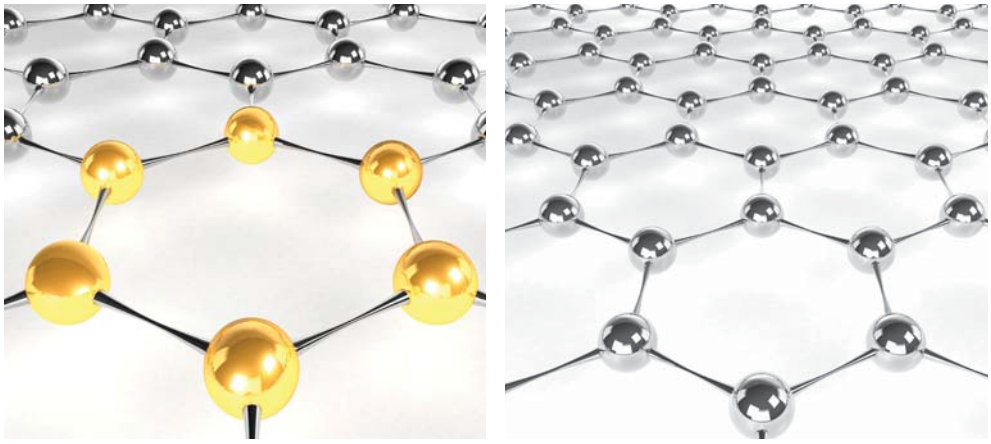
شكل رقم(٢-١١) صورة توضيحية لكرات نانوية (٩٢).



شكل رقم(٢-١٢) صورة توضيحية لكرات نانوية (٩٢).

(٢-٥-٤) الجسيمات النانوية (Nanoparticles)

يعرف الجسيم (الجزيء) في تقنية النانو بأنه أصغر وحدة لها الخواص الكيميائية والفيزيائية للمادة الحجمية (الكبيرة). والجسيمات النانوية لها أبعاد تتراوح ما بين ١ إلى ١٠٠ نانومتر (انظر: الشكل رقم ٢-١٣).

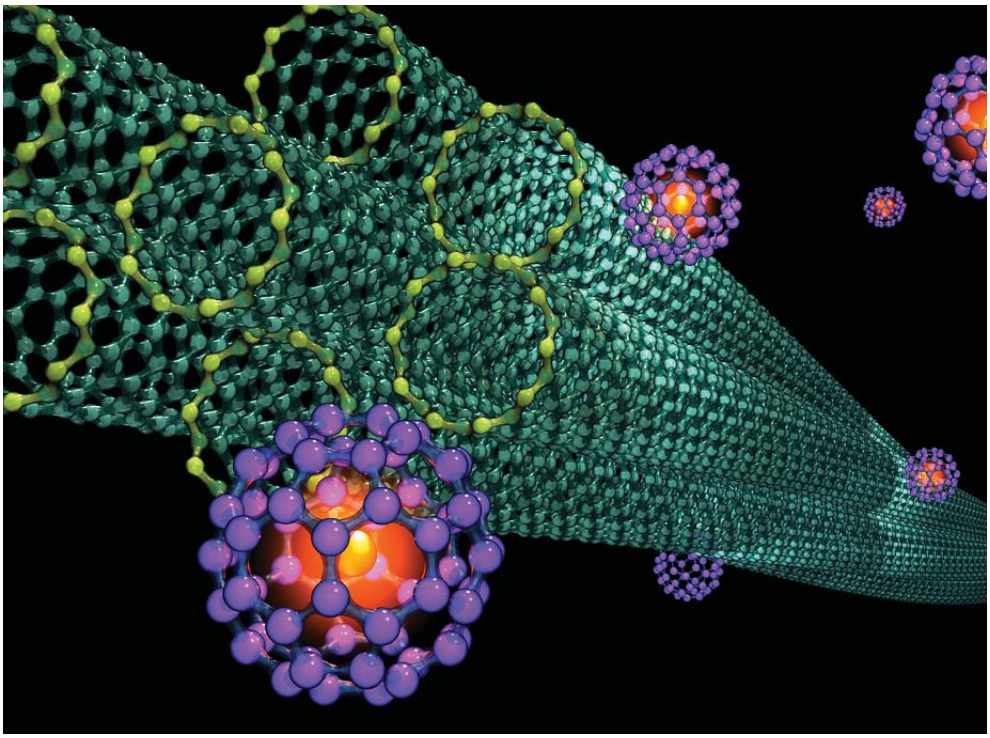


شكل رقم(٢-١٣) أشكال مختلفة لجسيمات نانوية (٩٢).

(٢-٥-٥) الأنابيب النانوية (Nanotubes)

المواد المستخدمة في تقنية النانو تخضع لشرط أساس، وهو أنّ أحجامها تتراوح ما بين ١إلى ١٠٠ نانومتر؛ لذلك فإنّ المواد المستخدمة يجب تقطيعها إلى أجزاء لا تزيد أقطارها عن ١٠٠ نانومتر. فالأنابيب النانوية تتكوّن من خليط من مواد موصلة، ومواد أخرى أشباه موصلة أسطوانية الشكل مجوفة، و يتراوح قطر الأنبوب فيها ما بين ١ إلى ١٠٠ نانومتر(٢٩).

ويمكن إدخال عدة أنابيب ذات أنصاف أقطار متدرجة في الصغر؛ لتصبح على الشكل التالي(انظر:الشكل رقم ٢-١٤):



شكل رقم(٢-١٤) مجموعة من الأنابيب النانوية المتداخلة ذات الخواص المختلفة (٩٢).

وكل أنبوب من هذه الأنابيب يؤدي وظيفة مختلفة عن الأخرى. وأشهر الأنابيب النانوية أنابيب الكربون النانوية (Carbon Nanotubes). ولأهمية أنابيب الكربون النانوية في التطبيقات الطبية والعلمية، سنفرد لها الفصل الثالث من هذا الكتاب؛ لتوضيح كيفية تصنيعها، واستخداماتها في شتى مناحي الحياة.

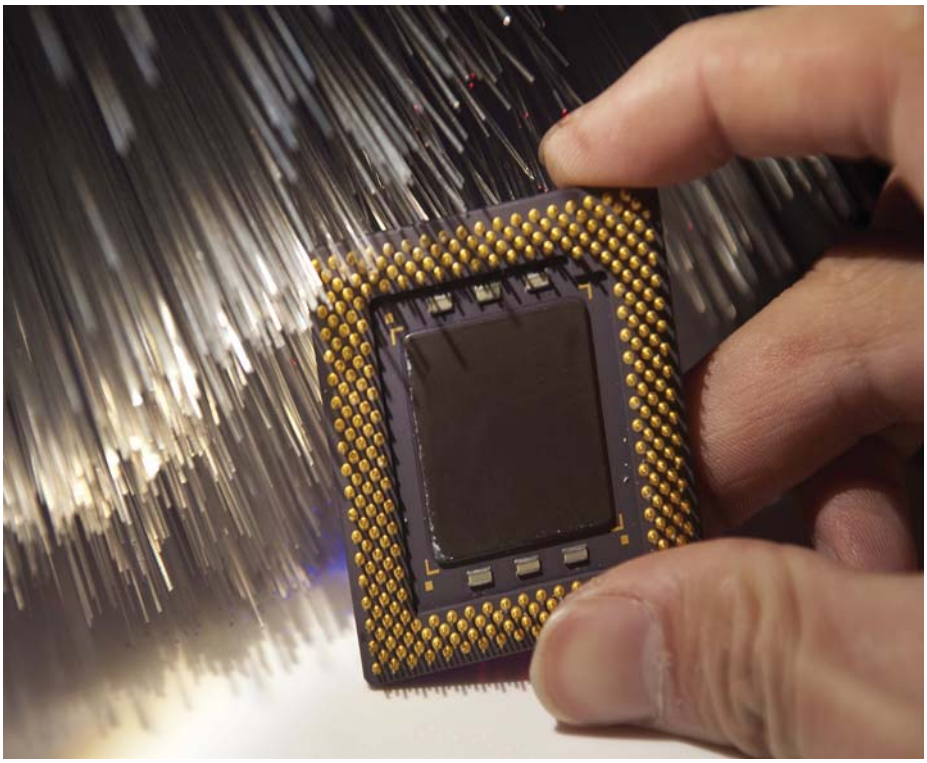
(٢-٥-٦) الأسلاك النانوية (Nanowires)

نلحظ هنا أنّ الأسلاك التي تظهر في الشكل رقم (٢-١٥) لها أقطار تزيد عن نانومتر واحد، وبأطوال مختلفة، وتكون في الغالب نسبة طولها إلى عرضها أكثر من ١٠٠٠ مرة. وتتميز عن الأسلاك العادية (ثلاثية الأبعاد) بقوة التوصيل الكهربي؛ لحصر الإلكترونات كميًّا في اتجاه جانبي واحد؛ مما يجعلها تحتل مستويات طاقة محددة تختلف عن المستويات العريضة في المادة الحجمية(٢٠، ٢٨).

شكل رقم(٢-١٥) صورة ميكروسكوبية لأسلاك نانوية مصنوعة من السليكون (٩٢).

(٢-٥-٧) الألياف النانوية (Nanofibers)

من أشهر الألياف النانوية الألياف المصنوعة من البوليمرات. ويكون عدد ذرات سطح الألياف كبيرًا مقارنة بالعدد الكلي، وهذا يكسب الألياف خواص ميكانيكية (كالشدة، والصلابة...إلخ) تؤهلها للاستخدام كمرشحات في تنقية السوائل والغازات، وفي كثير من التطبيقات الطبية والعسكرية (انظر:الشكل رقم ٢-١٦) (٢٩).

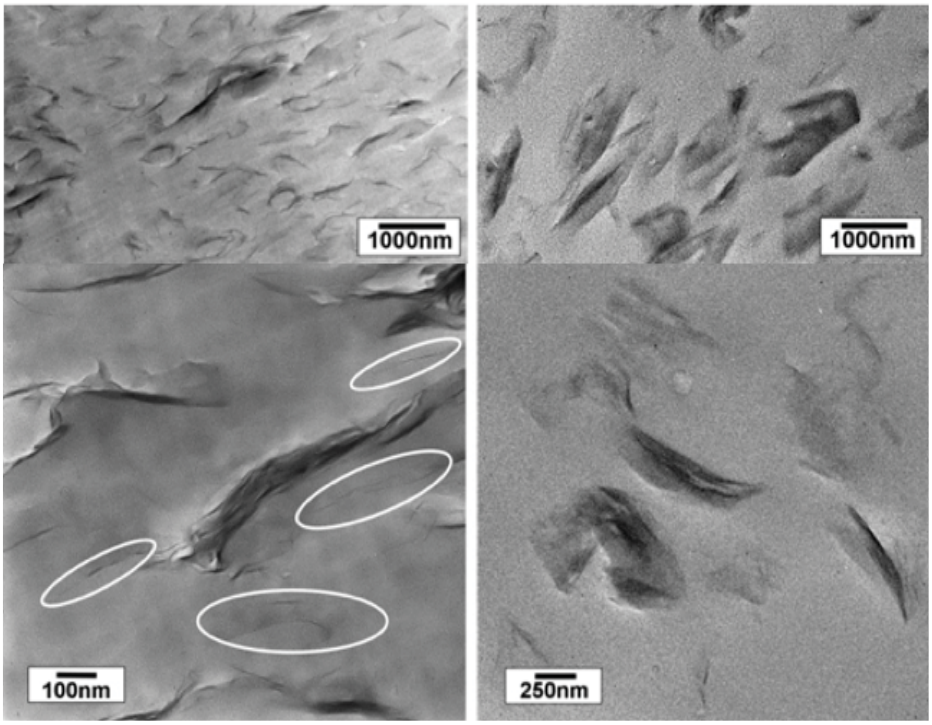


شكل رقم(٢-١٦) ألياف نانوية (٩٢).

(٢-٥-٨) المركبات النانوية (Nanocomposites)

هي مواد تضاف إليها مواد نانوية تكسبها خواصًا مميزة إضافية. فعند إضافة أنابيب نانوية (الكربون مثلاً) إلى مادة ما، تزداد خواص التوصيل الكهربي والحراري لتلك المادة؛ لإضافة أنابيب الكربون النانوية إليها. وقد يحدث أيضًا تحسن في الخصائص الضوئية والميكانيكية (الصلابة ،

والشدة)؛ لإضافة مواد نانوية معينة إلى بعض المواد. ومن أشهر المركبات النانوية الموجودة حاليًّا المركبات البوليمرية(٣٠).



شكل رقم(٢-١٧) مركب نانوي (٩٢).

(٢-٦) نمذجة المواد النانوية (Nanomaterials modeling)

لقد أصبحت نمذجة الأنساق عنصرًا أساسًا من عناصر فيزياء المواد. فدراسة ظاهرة فيزيائية ما لم تعد تنحصر على القيام بالتجربة، وتحليل نتائجها، أو وضع نظرية؛ لشرحها، بل أصبحت المحاكاة الرقمية عنصرًا أساسًا في شرح الظواهر الفيزيائية، بحيث أصبح من الممكن بواسطة هذه النمذجة الرقمية التنبؤ بنتائج تجربة ما بدقة كبيرة، إذ يمكن استخراج الخواص الميكانيكية، والضوئية، والإلكترونية، أو الكيميائية للمادة من الحاسوب؛ مما يسمح بتوجيه التجارب، وتطويرها.

وعلى الرّغم من تطور تقنيات الحوا سيب، وتعدد شبكاتها التي تغطي العالم، فإنّ التجارب

الرقمية على المواد الماكروسكوبية تبقى بعيدة المنال، بل مستحيلة، حيث إنّ ميكروناً مكعبًا من المادة يحتوي على مليار ذرة. ويجب نمذجتها خلال عدة ثوانٍ، مع العلم أنّ كل ذرة تهتز حول وضع توازنها بدور يقدر بـ ١٠-١٢ ثانية؛ لهذا نقتصر في الحساب على عدد قليل من الذرات نحو ١٠٠ أو ٢٠٠ ذرة في منطقة متجانسة، ونربطها بنماذج أقل دقة في سلم أكبر.

وتسمح النمذجة والتجارب الرقمية بدراسة الأجسام المتناهية في الصغر. ومن مميزات السلم النانومتري أنّ الطبيعة الكمية والفيزياء الكيميائية للأجسام، وكذلك وجهات أجهزة القياس تؤدي إلى ترجرج داخلي للخواص الفيزيائية المقاسة. ولرفع رهانات النمذجة والتجارب الرقمية في هذا السلم يجب تطوير مقاربات رقمية مبدعة، بحيث تكون مبنية على الدقة الذرية، وعلى واقعية الأجسام والتجهيزات التي نريد تمثيلها (أنساق بعدد كبير من الذرات). وعلى وجه الخصوص في الأجسام غير المتجانسة، أو المترجرجة الناتجة عن التجهيزات المتناهية في الصغر، والتي تنتج وظائف جديدة.

وللبناء البلوري دور مهمّ في بنية الأجسام المتناهية في الصغر. ويمكن القيام بتجارب رقمية في هذا الميدان. ومن أهم المقاربات الديناميكية الجزيئية (Molecular Dynamics) ، وطريقة (Monte Carlo). والتجارب الرقمية في إطار الديناميكية الجزيئية تسمح باستخراج أهم البارمترات في بناء البلورات، مثل: معامل الانتشار، وطاقة اجتياز الحواجز، وتتبع الديناميكية الجزيئية بكونها دينامكية تحديدية حسب معادلات نيوتن الكلاسيكية. وهكذا يمكن تتبع حركة كل جزيء أثناء البناء البلوري للمادة(٣١).

كما تعدّ طريقة (Monte carlo) أنّ النمو البلوري يتم بطريقة اعتباطية، ويمكن وصفها بواسطة نظرية الاحتمال. ونهتم في هذه الحالة بالمقادير الفيزيائية التي تميز أشكال السطح، مثل: العدد المتوسط للذرات الممتزة، والحجم المتوسط لأكوام الذرات، والخشونة، وكثافة العتبات...إلخ.

ومن بين أهداف المحاكاة الرقمية على مستوى الذرات إيجاد معطيات تساعد الباحثين والصناعيين على توجيه أبحاثهم التجريبية، أو صناعتهم. وتضمّ التجارب الرقمية دينامكية الشوائب، وحسابات البنى الصناعية...إلخ.

(٢-٧) المجاهر المستخدمة في رؤية المواد النانوية (Microscopes)

شكل رقم(٢-١٨) المجاهر الإلكترونية (٩٢).

عند تصنيع المواد بحجم النانوفإنّ التركيب الفيزيائي والتركيز الكيميائي للمواد الخام المستخدمة في التصنيع دور مهمّ في خصائص المادة النانوية الناتجة، وهذا الأمر بخلاف ما يحدث عند تصنيع المواد العادية؛ لأنّ المواد في الحجم العادي تتكوّن من مجموعة من الحبيبات التي تحتوي على عدد من الذرات، وقد تكون هذه الحبيبات مرئية، أو غير مرئية بالعين المجردة بناء على حجمها، بيد أنّ المواد النانوية لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة، بل يمكن رؤيتها فقط بمجاهر خاصة. ويستخدم في الوقت الحاضر عددٌ من المجاهر الإلكترونية في تطبيقات كثيرة خاصة بمجال تقنية النانو. وبواسطة هذه المجاهر يمكن رؤية المواد النانوية، وفحصها، وتصويرها في مقاسات نانوية.

وسنستعرض هنا بعض المجاهر الأساسة التي لا بدّ أن تتوفر في المختبرات المهتمة بتقنيات النانو. ومنها على سبيل المثال لا الحصر:

(٢-٧-١) المجهر الإلكتروني النفاذ (Transmission Electron Microscope -TEM)

يمثل هذا المجهر تقنية ميكروسكوبية (انظر:الشكل رقم ٢-١٩) يستخدم فيها شعاع من الإلكترونات؛ لفحص العينات، واختبارها. وتتكوّن الصورة بواسطة الإلكترونات النافذة خلال العينة، والتي تكبّر وتركز بواسطة عدسة شيئية، ثمّ تعرض على شاشة تصوير، وتكون هذه الشاشة في أغلب المجاهر النفَّاذة على هيئة شاشة تفلور مع شاشة مراقبة، أو تعرض الصورة على فيلم تصوير، أو يكشف عن الصورة بواسطة كاشف حسّاس، مثل: كاميرا (CCD).

وحريّ بالذكر أنه في عام ١٩٣٩م نجح العالمان فون بورس (Von Borris) وروسكا (Ruska) في تطوير مجهر إلكتروني نفاذ، حيث حصلا على تحليل قدره ١٠ نانومترات؛ مما شجّع شركة سيمنس الألمانية على تصنيع هذا الجهاز، ونشره تجاريًّا. وفي عام ١٩٤١م استطاع العالمان فانس (Vance) وهلير(Hillier) التوصل إلى حدود تحليل مقداره ٢,٥ نانومتر؛ وذلك بالاستعانة ببعض المفاهيم الفيزيائية التي طوّرها روسكا (Ruska). وقد انتشر مجهرهما تجاريًّا وغزا أمريكا الشمالية(٢٤).

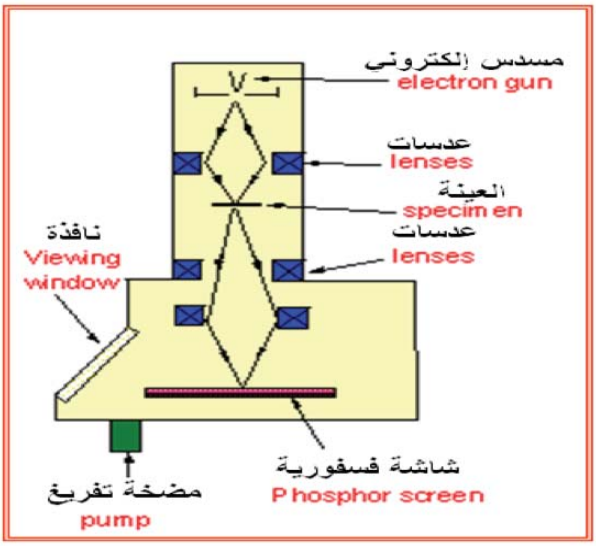
ويقع مصدر الجهد العالي (High Voltage) في أعلى المجهر الإلكتروني النفّاذ القديم، وتركز العدسات الكهرومغناطيسية الإلكترونات الصادرة من مصدر الجهد العالي خلال العينة، ومن ثم على شاشة المراقبة (تقع في الأسفل). ويمكن وضع فيلم فوتوغرافي حسّاس في أسفل القاعدة؛ لغرض التصوير.

ولو نظرنا من الناحية النظرية، لوجدنا أنّ أقصى دقة تحليل يمكن الحصول عليها من المجهر الضوئي ستكون مقيدة بالطول الموجي للفوتونات المستخدمة في جسّ العينة، وكذلك في الفتحة العددية للنظام. وقد وضع العلماء في بداية القرن العشرين طرقاً نظرية؛ للوصول إلى حدود الطول الموجي الطويل نسبيًّا للضوء المرئي (أطوال الموجات في المدى تتراوح ما بين ٤٠٠- ٧٠٠ نانومتر) باستخدام الإلكترونات. وتمتلك الإلكترونات- كغيرها من المواد- الخاصية الموجية والجزيئية (حسب تفسير دي برولي). وتعني الخصائص شبه الموجية للإلكترونات، أنّ حزمة من الإلكترونات يمكن أن تتصرّف تصرّف حزمة من الأشعة الكهرومغناطيسية.

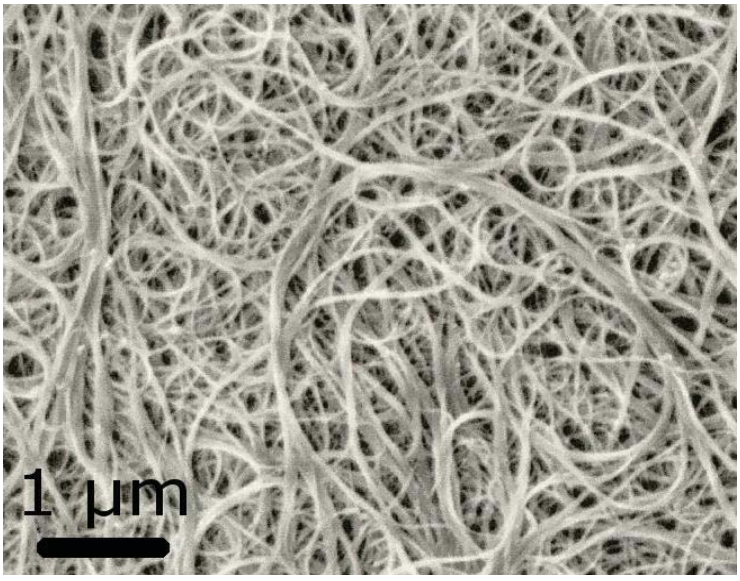
وتتولد الإلكترونات عادة في المجهر الإلكتروني عن طريق عملية تعرف بالانبعاث الأيوني الحراري من سلك دقيق جدًّا يصنع في الغالب من التنجستن، وبطريقة مصباح الإنارة نفسها، أو تتولد بواسطة الانبعاث المجالي. ثمّ بعد ذلك تُعجّل الإلكترونات بواسطة جهد كهربي (يقاس بالفولت)، ويركز على العينة بواسطة عدسات كهروستاتيكية، أو كهرومغناطيسية. ويتعامل الشعاع مع العينة بطرق مختلفة؛ وذلك للاختلاف في الكثافة، أو التركيب الكيميائي للمواد المدروسة.

يحتوي الشعاع النافذ من العينة على معلومات واضحة عن تلك الاختلافات التي تستخدم في تكوين صورة العينة. وكما هو الحال في المجهر الضوئي، حيث تحسّن تفاصيل الصورة بإدخال بعض الشوائب في العينة، فكذلك يمكن استخدام الشوائب في المجهر الإلكتروني؛ لتوضيح الاختلافات في العينة. كما يمكن استخدام مركبات الفلزات الثقيلة، مثل: الأزميوم، والرصاص، واليورانيوم في ترسيب ذرات ثقيلة على نحو انتقائي في مناطق من العينة؛ وذلك من أجل تحسين التفاصيل التركيبية للمادة.

والشكل رقم (٢-٢٠) يوضح صورة أخذت بواسطة المجهر الإلكتروني النفاذ عالي الدقة، وهي خاصة بالتركيب الداخلي لجزء من أداة حفر. ويلحظ في هذه الصورة أنّ التركيب الداخلي يتألف من عدة حبيبات نانوية الحجم، ولا تتعدي أقطارها ٥ نانوميترات. ويوضح هذا الشكل أيضًا وجود معظم ذرات المادة على الحدود الخارجية للحبيبات؛ مما كان السبب الرئيس في تمتعها بخواص ميكانيكية متميزة، لا توجد في نظيرتها من المواد المؤلفة من حبيبات كبيرة(٢٤).



شكل رقم(٢-١٩) المجهر الإلكتروني النفّاذ (TEM) (٢٤).



شكل رقم(٢-٢٠))صورة مأخوذة بواسطة المجهر الإلكتروني النفّاذ (TEM) (٩٢).

(٢-٧-٢)المجهر الإلكتروني الماسح (Scanning Electron Microscope - SEM)

يعدّ المجهر الإلكتروني الماسح (انظر: الشكلين رقم ٢- ٢١ ، و٢-٢٢) أحد المجاهر الإلكترونية الذي يصوّر فيه سطح العينة عن طريق مسحها بواسطة أشعة من الإلكترونات عالية الطاقة، بحيث تتعامل الإلكترونات مع الذرات المكوّنة سطح العينة؛ فتنتج عنها إشارات تتضمّن معلومات عن طبوغرافية السطح، وتركيبه، وخصائص أخرى، مثل: التوصيلية الكهربية. وتحتوي أنواع الإشارات الناتجة عن إلكترونات ثانوية، وأخرى متشتتة إلى الخلف، وأشعة أكس المميزة، والضوء (التفلور المهبطي). وتنشأ هذه الإشارات من شعاع الإلكترونات الذي يصطدم بالعينة، ويتعامل معها عند سطحها.

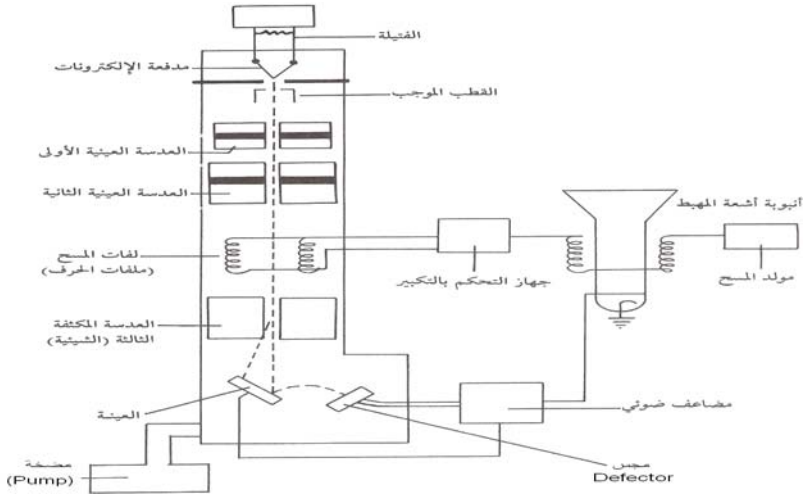
ويلحظ في نمط الكشف الرئيس، أي: التصوير بالإلكترونات الثانوية، أنّ المجهر الماسح يستطيع إنتاج صور ذات تحليل عالٍ جدًّا لسطح العينة، وإظهار تفاصيل دقيقة له، قد تصل إلى حجم يتراوح ما بين ١- ٥ نانومترات. وتظهر الطريقة التي تتكوّن بها هذه الصور، أنّ الصور المجهرية للماسح تكون ثلاثية الأبعاد، فتساعد على فهم التركيب السطحي للعينة.

وجدير بالذكر أنّ مزايا عمق المجال الكبير، والمدى الواسع للتكبير(عادة يتراوح ما بين ٢٥ مرة إلى ٢٥٠٠٠٠ مرة) تكون متوفرة في أغلب أنماط تصوير العينات في المجهر الماسح، وخاصة في التصوير بواسطة الإلكترونات الثانوية. أمّا النمط الثاني من أنماط التصوير الشائعة في المجهر الماسح فهو نمط أشعة أكس المميزة، حيث تنبعث أشعة أكس عندما يعمل شعاع الإلكترونات على نزع إلكترون من الغلاف الداخلي في العينة، وجعله فارغًا؛ مما يؤهّل إلكترونًا آخر ذا مستوى طاقة أعلى من الهبوط، وملء الغلاف السابق الفارغ، والتخلص من طاقته على شكل أشعة أكس. وهذه الأشعة المميزة تستخدم في تعيين تركز عناصر العينة. والصور الناتجة عن الإلكترونات المتشتتة إلى الخلف، والتي تنشأ من العينة قد تستخدم أيضًا في تكوين الصور. كما يلحظ في المجهر الماسح انبعاث الإلكترونات انبعاثاً أيونيًّا حراريًّا من سلك رفيع من التنجستن (قطب سالب)، ومن ثمّ تتسارع الإلكترونات إلى القطب الموجب. ويستخدم معدن التنجستن عادة في قاذفات الإلكترون الأيونية الحرارية؛ وذلك لكونها أعلى نقطة انصهار، وأقل ضغط بخاري مقارنة بالفلزات الأخرى. كما يمكن أن تنبعث الإلكترونات أيضًا بواسطة قاذفة الانبعاث المجالي، والتي تعدّ من نوع الكاثود- البارد، أو من نوع شوتكي المحسّن حراريًّا. وقد استخدم المجهر الماسح على نطاق واسع في عام ١٩٦٥م، ومنذ ذلك الوقت أصبح له دور بارز في عمل الأبحاث الحيوية، والجيولوجية، والصناعية(٢٤) .

ويوضح الشكل رقم (٢-٢٢) طريقة عمل المجهر الإلكتروني الماسح، ويلحظ ما يلي:

- يشبه العمود ذلك الموجود في المجهر النافذ.
- يحتوي على المواد المنتجة أشعة الإلكترونات فقط؛ لمسح العينة.
- تتمثل هذه المواد بالمدفعة كما في المجهر النافذ.
- وجود العدسات المكثفة يعمل على تكوين حزمة ضيقة من الإلكترونات.
- يصل القطر الحقيقي لبقعة المسح حوالي 5nm.
- توجد فيه مجموعة من الملفات الحارفة، مع دائرة تعطي القدرة على جعل الشعاع يمسح العينة.
- عمود المجهر الماسح مفرغ تمامًا ، في حين يوجد مسرح العينة وملحقاته (أجهزة مالة للعينة) عند قاعدة عمود المجهر.

شكل رقم(٢-٢١) صورة للمجهر الإلكتروني الماسح (SEM) (٢٤).



شكل رقم(٢-٢٢) رسم توضيحي؛ لطريقة عمل المجهر الإلكتروني الماسح (SEM)(٢٤).

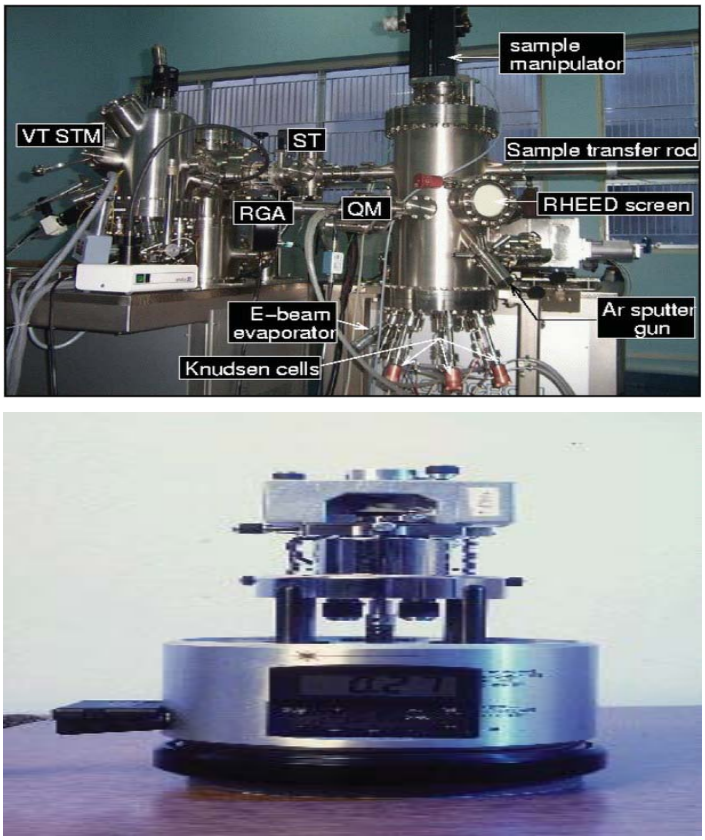
(٢-٧-٣)المجهر النفقي الماسح (Scanning Tunneling Microscope-STM)

في عام ١٩٨١م اخترع العالمان جيرد بينج وهنريك ردهر المجهر النفقي الماسح (انظر:الشكل رقم ٢-٢٣)، الذي يصوّر الأجسام بحجم النانو، ومنذ ذلك التاريخ ازدادت الاهتمامات البحثية المتعلقة بتصنيع ودراسة التركيبات النانوية للمواد. فعندما نتحدث عن الميكروسكوب فإنّ أول ما نفكر فيه هو جهاز الميكروسكوب الذي نعرفه في مختبرات المدارس، والذي يكوّن صورة ضوئية عن العينة المراد النظر إليها وهي مكبرة. ومع تقدم العلم وتطوره أصبح بالإمكان أن نحصل على تكبير يفوق أي توقع. وفي بدايات القرن العشرين، وتزامنًا مع اكتشاف الفيزياء الحديثة، والخاصية المزدوجة للإشعاع الكهرومغناطيسي، والجسيمات المادية ، ونظرية ميكانيكا الكم التي تدرس الأجسام على المستوى الذري الدقيق، أصبح بالإمكان تصميم ميكروسكوب يكبّر العينة بدرجة عالية جدًّا قد تصل إلى مئات الآلاف من المرات، وهي تعتمد على استخدام موجة الإلكترون. وقد تحدثنا عن الميكروسكوب الإلكتروني الماسح (SEM)، والميكروسكوب الإلكتروني النفاذ (TEM) .

ثمّ توالت الاكتشافات حتى ظهر لنا في عام ١٩٨١م ميكروسكوب جديد من حيث فكرة عمله، وإمكاناته، وقدراته، واستخداماته المتنوعة، ويعرف هذا الميكروسكوب باسم الميكروسكوب النفقي الماسح. ويعدّ جهاز الميكروسكوب النفقي الماسح من الأجهزة الأساسة في علم تقنية النانو، حيث

ساعد في دراسة المواد على المستوى الذري، وفي بناء التراكيب النانوية وفحصها. وتعتمد فكرة عمله على مبدأ النفق الكمي (quantum tunneling) ، فعندما يقترب طرف المجسّ الموصل للكهرباء من السطح المراد فحصه يطبق فرق جهد بين السطح وطرف المجس، بحيث يسمح بمرور الإلكترونات عبر نفق بينهما يعرف باسم التيار النفقي .(tunneling current) ويعتمد التيار النفقي على موضع المجسّ للسطح، كما يعتمد على فرق الجهد المطبق، والكثافة الإلكترونية الموضعية للعينة.

وسنشرح في السطور التالية فكرة عمل جهاز الميكروسكوب النفقي (STM) ، وأنماط تشغيله(٢٤).



شكل رقم(٢-٢٣) المجهر النفقي الماسح (STM) (٢٤).

إنّ المجهر النفقي الماسح الذي يعرف اختصارًا بـ (STM) أداة قوية؛ للحصول على صور خاصة بأسطح المواد على المستوى الذري.

وقد اخترع هذا الجهاز في عام ١٩٨١م على يدي العالمان جرد بينج (Binnig Gerd) وهينرش روهر (Heinrich Rohrer) في شركة (IBM) ، وحصلا على جائزة نوبل في عام ١٩٨٦م؛ لاختراعهما هذا الجهاز الذي سمح لأول مرة برؤية الذرة في أبعادها الثلاثة. ويتمتع جهاز (STM) بقدرة تحليلية عالية تصل إلى ٠,١نانومتر، وعمق يصل إلى ٠,٠١ نانومتر، وبهذه القدرة التحليلية العالية يمكن أن نحصل على صور الذرات على أسطح المواد، بالإضافة إلى التحكم في الذرات، وتحريكها. كما أنّ المعلومات التي نحصل عليها من جهاز (STM) ناتجة عن مراقبة التغير في التيار النفقي عند مسح سطح العينة بالمجسّ، ومن ثمّ عرض البيانات في شكل صورة. ويتطلب تشغيل جهاز (STM) درجة عالية من نظافة سطح المادة واستقرارها؛ ولهذا يشغل الميكروسكوب في غرفة مفرغة من الهواء (vacuum chamber) ، ويكون المجسّ حادًّا جدًّا، بحيث يكون طرفه بسمك ذرة، أو ذرتين، ويتصل المجسّ بأجهزة تحكم دقيقة؛ لتحريكه في الأبعاد الثلاثة للعينة، وتستخدم أيضًا إلكترونيات متطورة؛ لرصد التيار، وتحويل التغيرات فيه إلى صورة.

ويوضح الشكل التخطيطي رقم (٢-٢٤) كيفية عمل جهاز (STM) . وتعتمد القدرة التحليلية للجهاز على نصف قطر تحدب المجسّ الماسح، حيث للمجسّ الماسح دور أساس في الحصول على صورة نقية، وتبلغ دقة المجسّ الماسح درجة متقدمة؛ وذلك حين احتواء نهايته على ذرة واحدة فقط.

ويصنع المجسّ الماسح من مادة التنجستن، أو من البلاتينيوم، والأريديوم، أو الذهب. وتستخدم طريقة النحت الكهروكيميائي (electrochemical etching) في حالة مجسّات التنجستن، في حين تستخدم طرق ميكانيكية في حالة المجسّات المصنوعة من البلاتينيوم، والأريديوم.

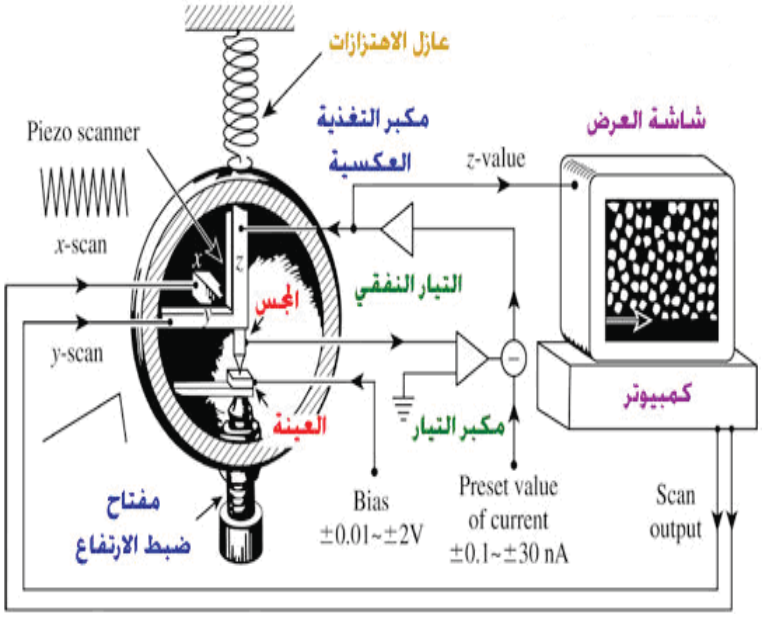
ونظرًا لحساسية التيار النفقي المتغيرة؛ للتغير في الارتفاع، توجّب عزل المجسّ عن الاهتزازات، أو تثبيت الجهاز على قاعدة صلبة؛ للحصول على نتائج مفيدة. وقد استخدمت في أول جهاز نفقي صمّمه العالمان بينج وروهر رافعة مغناطيسية؛ للحفاظ على الجهاز، وإبعاده عن أي اهتزازات. وتستخدم حاليًّا زنبركات ميكانيكية، أو زنبركات غازية. كما تستخدم أيضًا وسائل أخرى؛ للتقليل من التيارات الدوامية (Eddy currents)، ومن ثمّ الحفاظ على موضع المجسّ للعينة، والتحكم في عملية مسح سطح العينة. وللحصول على البيانات تستخدم حاسبات دقيقة. كما أنّ الحاسبات تستخدم؛ لتحسين الصورة الملتقطة بالجهاز عن طريق برامج معالجة الصور، والقيام بالقياسات الكمية على العينة.

(٢-٧-٣-١) طريقة عمل جهاز (STM)

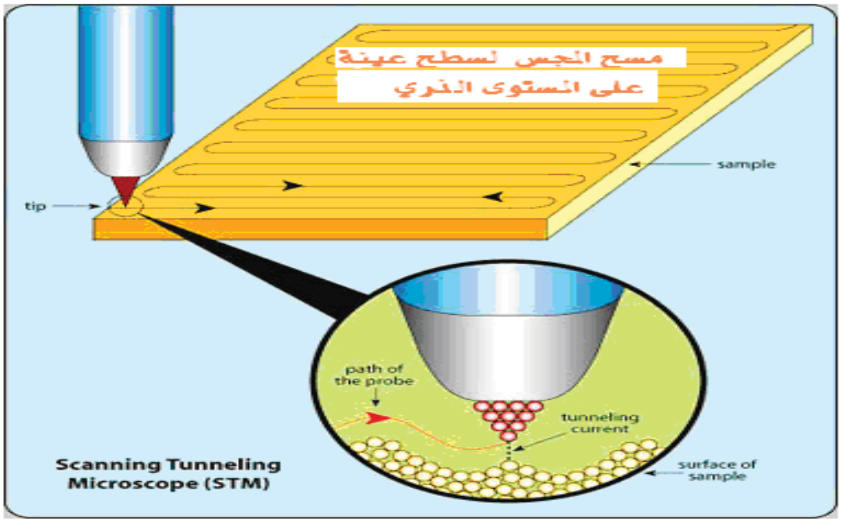
في البداية يطبق فرق جهد على المجسّ الماسح؛ ليتحرك عموديًّا في اتجاه سطح العينة، وعندما يصبح على بعد مسافة صغيرة جدًّا من سطح العينة يتوقف المجسّ. ثم تبدأ بعد ذلك مرحلة التحكم الدقيق في حركة المجسّ في الأبعاد الثلاثة، وذلك بالقرب من العينة. ويستخدم بيزوإلكترك؛ للحفاظ على ثبات المسافة بين المجسّ والعينة، وذلك في حدود ٤ إلى ٧ إنجستروومات. وفي هذه الحالة يعمل فرق الجهد على دفع الإلكترونات إلى التحرك النفقي بين رأس المجسّ والعينة (انظر: الشكل رقم ٢-٢٥)؛ فينتج عنه تيار نفقي يمكن قياسه. وعندما يبدأ التيار النفقي بالسريان، يمكن أن يتغيّر موضع رأس المجسّ لسطح العينة، ثمّ ترصد التغيرات في التيار النفقي الناتج. فإذا تحرك رأس المجسّ عبر العينة في المستوى x-y، فإنّ التغيرات التي في ارتفاع السطح وكثافته تحدث تغيرات في التيار النفقي، وهذه التغيرات ترصد ثمّ ترسم على شكل صورة. ويمكن أن تتم عملية رسم الصورة، إمّا بقياس التغيرات في التيار النفقي لسطح العينة عند ارتفاع ثابت بين رأس المجسّ والعينة، وإمّا أن تتم برصد التغير في ارتفاع z عند جعل التيار النفقي ثابتاً عبر تغير ارتفاع رأس المجسّ لسطح العينة. وهذان النمطان من أنماط التشغيل يعرفان باسم نمط الارتفاع الثابت (constant height mode) ، أو نمط التيار النفقي الثابت .

ويلحظ في نمط التيار الثابت إعادة ضبط أجهزة التغذية العكسية الإلكترونية ارتفاع رأس المجسّ بتعديل قيمة الجهد على البيزروإلكتريك الذي يتحكم في الارتفاع. وهذا يؤدي إلى الحصول على تغيرات في الارتفاع. والصورة التي نحصل عليها من رأس المجسّ تمثل صورة تضاريس سطح العينة، وتعطي كثافة شحنة سطحية ثابتة، ومن ثمّ فإنّ التباين في الصورة ناجم عن التغيرات في كثافة الشحنة. وكذلك في نمط الارتفاع الثابت يثبت فرق الجهد والارتفاع، في حين تقاس التغيرات في التيار النفقي أثناء مسح رأس المجسّ سطح العينة؛ وهذا يؤدي إلى الحصول على صورة التغيرات في التيار النفقي على السطح، والتي ترتبط بكثافة الشحنة.

وكل الصور التي نحصل عليها عن طريق جهاز المسح النفقي تمثل صورًا بتدرجات رمادية. وللحصول على صورة ملونة لا بدّ من استخدام برامج حاسوبية؛ لإبراز الميزات المهمة المراد إظهارها في الصورة.

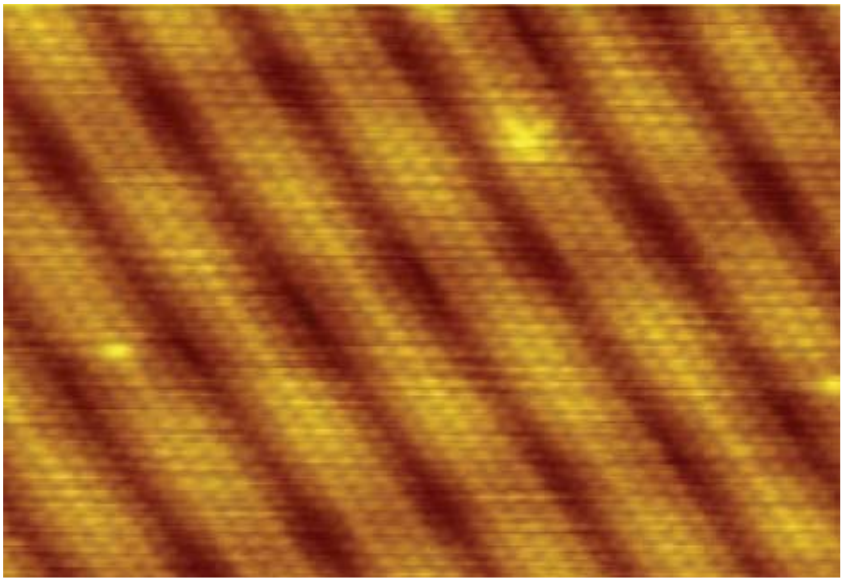


شكل رقم(٢-٢٤) رسم توضيحي للمجهر النفقي الماسح (STM) (٢٤).



شكل رقم(٢-٢٥) مسح المجسّ سطح العينة على المستوى الذري في جهاز (STM) (٢٤).

وممّا يجد ذكره في عملية مسح سطح العينة، أنّ المعلومات التي ترصد بواسطة الأجهزة الإلكترونية تكون دالة على موضع سطح العينة، وعند كل موضع من مواضع سطح العينة يحدث تغير في الجهد الكهربي، ثمّ يتبعه تغير في التيار. وهذه القياسات تعرف باسم طيف المسح النفقي (scanning tunneling spectroscopy)، كما تعرف اختصارًا بـ (STS) ، وتنتج عنها مخططات توضح كثافة المستويات، وتكون دالة على الطاقة داخل العينة. وتتميز تقنية (STM) عن أجهزة قياس كثافة المستويات الأولى في قدرتها على أخذ قياسات موضعية على نحو دقيق، فعلى سبيل المثال لا الحصر: يمكن قياس كثافة المستويات في موضع توجد فيه شوائب في العينة، ومن ثمّ مقارنتها بموضع آخر لا توجد فيه شوائب على سطح العينة نفسه.



شكل(٢-٢٦) صورة لسطح من الذهب مأخوذة بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح (STM) توضح كيفية التفاف الذرات الفردية مكونة السطح (٩٢).

وهناك مجاهر كثيرة طوّرت اعتمادًا على فكرة عمل الميكروسكوب النفقي. ومنها: ميكروسكوب الماسح الفتوني(Photon Scanning Microscopy) الذي يعرف اختصارًا بـ (PSTM) ، ويجد فيه مجسّ ضوئي يشكل النفق الذي تنتقل عبره الفوتونات. وهناك ميكروسكوب

الجهد النفقي الماسح (Scanning Tunneling Potentiometry) الذي يعرف اختصارًا بـ STP، ويقيس الجهد الكهربي عبر العينة. وهناك أيضًا ميكروسكوب غزل الاستقطاب النفقي الماسح (Spin Polarized Scanning Tunneling Microscopy) الذي يعرف اختصارًا بـ (PSTM)، ويستخدم مجسًّا فرومغناطيسيًّا؛ ليعمل كنفق للإلكترونيات المغزلية المستقطبة في المجال المغناطيسي للعينة. كما يوجد ميكروسكوب القوة الذرية (Atomic Force Microscope) الذي يعرف اختصارًا بـAFM ، وسنناقشه في البند التالي، وتقاس فيه القوة الناتجة عن التفاعل بين المجسّ وسطح العينة على المستوى الذري.

(٢-٧-٤)مجهر القوة الذرية (Atomic Force Microscopy-AFM)

يعدّ مجهر القوة الذرية، أو مجهر القوة الماسح(انظر:الشكلين رقم ٢-٢٧ ، و٢-٢٨) أحد مجاهر المجسّ المسحية ذات التحليل العالي جدًّا، ولها قدرة تحليل تصل إلى أجزاء من النانومتر. ويمكن بواسطته الحصول على صور طبوغرافية ثلاثية الأبعاد للعينة المدروسة.

كما يعدّ من الأدوات الرئيسة في تصوير وقياس وتحريك المادة عند مستويات النانو. ويحتوي مجهر القوة الذرية على ذراع طولها في حدود الميكرو، وفي نهايتها يوجد رأس حاد منحني (مجسّ) ذو نصف قطر انحناء في حدود نانومتر، ويصنّع هذا الرأس عادة من مادة السليكون، أو نترات السليكون، ويستخدم في مسح سطح العينة المدروسة. وعندما يقترب الرأس الحاد؛ ليتلامس مع سطح العينة تنشأ قوى بين الرأس والسطح؛ فيؤدي ذلك إلى إحداث انحراف في ذراع المجهر طبقاً لقانون هوك. وتقاس هذه القوة عن طريق انعكاس شعاع ليزر على سطح الذراع عند انحرافها، ومن ثم يسقط هذا الشعاع على شبكة من الكاشفات الثنائية الضوئية؛ لتكوين صورة دقيقة للسطح(٣٢). وعند تحريك الرأس الحاد للمجهر على السطح، وبارتفاع ثابت، فقد يؤدي ذلك إلى تصادم الرأس بالسطح المتعرج للعينة؛ مما يتسبب في إحداث تلف للرأس؛ ولذلك تعمل تغذية راجعة - في أغلب الحالات- في الجهاز، بحيث تضبط المسافة بين الرأس وسطح العينة، وتحافظ على وجود قوة ثابتة بين الرأس والعينة. وتثبت العينة عادة على قضيب كهروضغطي ماسح؛ مما يمكّن العينة من الحركة إلى أعلى

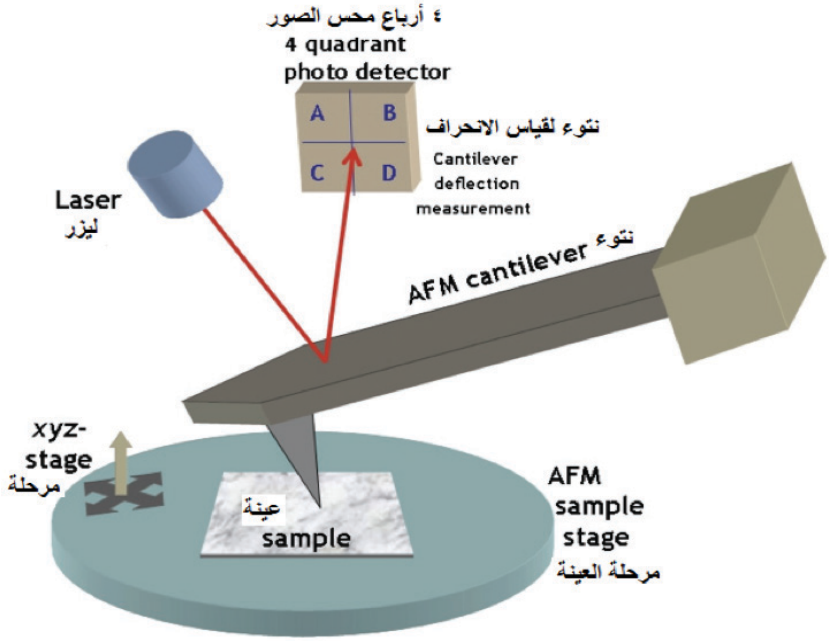
(باتجاه محور Z)؛ للحفاظ على إحداث قوة ثابتة، وتمسح العينة باتجاهي x و y. وكبديل آخر

يمكن استخدام حامل للعينة يتمثل بثلاث بلورات ضغطية، بحيث تكون كل بلورة مسؤولة عن تحريك العينة في أحد الاتجاهات الثلاثة (X، Y، Z). وهذا البديل يعمل على إزالة بعض تأثيرات التشويه التي تحدث في حالة القضيب الماسح.

ويمتاز مجهر القوة الذرية بدقة عالية في قياس ارتفاع يصل إلى نصف إنجستروم، حيث تعتمد دقته على مدى دقة الإبرة، ولكنه قد يفشل في دراسة الأسطح ذات الخشونة الظاهرة، والتي تزيد خشونتها عن ١٠ ميكرونات. وبعكس المجهر الإلكتروني الماسح، أو النفّاذ، فإنّ مجهر القوة الذرية لا يعطي معلومات عن نوع الفلزات، أو تركيزها في العينة. ولكنه في المقابل يمكن بواسطته التمييز بين المواد عن طريق خصائصها الفيزيائية، مثل: الالتصاق، والاحتكاك، والخصائص الكهربية الساكنة، والمغناطيسية، والتوصيلية.

كما لا يحتاج مجهر القوة الذرية إلى خطوات معينة؛ لتجهيز العينات المدروسة وتحضيرها، وإنما توضع مباشرة تحت إبرة المجسّ. وتتفاوت طبيعة المواد المدروسة، حيث تتضمّن الفلزات، والمركبات، والمواد البلاستيكية، والبيولوجية.

شكل رقم(٢-٢٧) مجهر القوة الذرية (AFM)(٣٢).



شكل رقم(٢-٢٨) صورة توضيحية؛ لطريقة عمل مجهر القوة الذرية (AFM) (٣٢).

الفصل الثالث

أنابيب الكربون النانوية (Carbon nanotubes)

(٣-١) مقدمة

منذ اكتشاف أنابيب الكربون عام ١٩٩١م بمدينة تسكوبا باليابان بواسطة العالم سوميو لوجيما (Sumio Lijima)، والأبحاث لم تتوقف؛ لمعرفة أسرار هذه الأنابيب، حيث إنها تتميز بصلابتها، وخواصها الكهربية غير العادية. ومازالت الأبحاث تتوالى؛ لمعرفة المزيد عن الخواص الميكانيكية لتلك الأنابيب. وتعدّ أنابيب الكربون المتناهية في الصغر من أهم المواد النانوية. ومع اكتشاف الأنابيب الكربونية النانومترية شدت الإمكانات الكبيرة التي تقدمها هذه الأنابيب انتباه العلماء العاملين في مجال أبحاث تقنية النانو؛ لخفة وزنها، ومرونتها، وقوتها، وصلابتها في الوقت نفسه.

كما تعدّ أنابيب الكربون النانوية شكلاً من أشكال الكربون، فالأنابيب أحادية الجدار (SWCNTs) بمنزلة صفيحة من الكربون مستوية، يبلغ سمكها ذرة واحدة ملتفة؛ لتشكل أسطوانة قطرها بمقدار قياس نانومتري، ولها نسبة طول إلى قطر يتراوح ما بين ١٠٠ إلى ١٠٠٠٠. ولهذه الأسطوانات خواص فريدة لا تتوافر في الأشكال الأخرى من الكربون، أو المواد الأخرى؛ مما جعلها تتربع على قمة التطبيقات المستقبلية المهمّة لتقنية النانو في مجالات الإلكترونيات، والبصريات، وعلوم المواد. ومن هذه الخواص خاصية الصلابة الهائلة التي تفوق صلابة الحديد بحوالي ٣٠ إلى ١٠٠ مرة، على الرغم من أنّ كثافة الكربون أقل من كثافة الحديد بست مرات. ولهذه الأنابيب أيضًا خواص كهربائية مميزة، إضافة إلى كونها موصلاً جيّدًا للحرارة، بحيث يفوق معدن النحاس ذي التوصيل الحراري العالي.

ونظرًا لأهمية أنابيب الكربون النانوية، وما ينتظرها من مستقبل واعد في كثير من التطبيقات المهمّة، خصّص هذا الفصل؛ لمعرفة ماهية هذه الأنابيب، وكيفية تصنيعها، وخواصها، وإلقاء الضوء على بعض تطبيقاتها الحالية والمستقبلية. وبما أنّ المكون الوحيد لأنابيب الكربون هو عنصر الكربون، فسنعرض في البند التالي تاريخ هذا العنصر، وبعض خواصه، وصوره المختلفة.

(٣-٢) الكربون (Carbon)

(٣-٢-١) تاريخ الكربون (History of carbon)

اكتشف الكربون في عصور ما قبل التاريخ، وكان معروفاً عند القدماء الذين حصلوا عليه عن

طريق حرق المواد العضوية بمعزل عن الأكسجين؛ لتصنيع الفحم. و كلمة كربون جاءت من كلمة «كربو» التي تعني باللغة اللاتينية "فحمًا». ويوجد عنصر الكربون في الشمس، والنجوم، والمذنبات، وغلاف معظم الكواكب. كما يوجد في الغلاف الجوي للأرض، وذلك باتحاده مع الأكسجين؛ ليكوّن ثاني أكسيد الكربون، وهو مركب له أهميته الحيوية في عملية البناء الضوئي التي يقوم بها النبات. وعند اتحاده مع الهيدروجين، فإنه ينتج مركبات كثيرة معروفة بالهيدروكربونات، وهذه المركبات لها أهميتها في الصناعة، كما تستخدم كوقود عضوي .

ويوجد الكربون أيضًا كمادة مذابة في الأجسام المائية، وبكميات قليلة من الكالسيوم، والمغنسيوم، والحديد، كما أنه المكوِّن الأساس للكربونات، وبعض الصخور (كالحجر الجيري، والرخام).

لم يصنف الكربون كعنصر حتى عام ١٧٨٩م، وذلك عندما أعلن أنتوين لافويسر (Antoine Lavoisier) في باريس أنّ الكربون عنصر لا فلزي قابل للتأكسد، وتكوين الأحماض. ويعدّ الكربون عنصرًا مميزًا؛ لأسباب عديدة منها: أنه يتضمن صورًا مختلفة، حيث إنّ مادة الجرافيت من أنعم المواد، في حين أنّ الماس من أقسى المواد، وأكثرها صلابة. ولذرة الكربون قابلية كبيرة للترابط بالذرات الأخرى الصغيرة، بما فيها ذرات الكربون نفسه، وحجمه الصغير يمكنه من تكوين روابط كثيرة. ونظرًا لذلك يكوّن الكربون ما يقرب من ١٠ ملايين مركب، أي: معظم المركبات الكيميائية تقريبًا.

وقد عُرف الكربون في صورته النقية على هيئة جرافيت، وماس، بالإضافة إلى الفوليرينات التي تعدّ إحدى صور الكربون المكتشفة حديثاً ، وكذلك الجرافين، وأنابيب النانو، وفقاعات الكربون النانوية.

كما أنّ الكربون عنصر مميز؛ لأسباب عديدة منها: أشكاله المتعددة. بالإضافة إلى أنّ مركباتة تمثل أساس الحياة على الأرض.

(٣-٢-٢) صور الكربون (Carbon forms)

للكربون نظيران طبيعيان مستقران هما: الكربون ١٢، ويشكل ٩٨,٨٩٪ من مجموع الكربون في الطبيعة. ونظيره الكربون١٣ الذي يشكل ١,١١٪ فقط. كما أنّ للكربون نظيرًا غير مستقر يظهر في الطبيعة، وهو الكربون١٤ الذي له نصف عمر حوالي ٥٧١٥ عام، وهو يستخدم استخدامًا كبيرًا في

قياس الزمن الإشعاعي للحفريات، وتحديده. كما يوجد له نظير آخر، وهو الكربون ١٥. أمّا الكربون ٨ فيعدّ أقلهم عمرًا.

وفي عام ١٩٦١م أعلن الاتحاد الدولي للكيمياء المجردة، والتطبيقية (IUPAC)، أنّ الكربون١٢ أساس؛ لقياس الكتل الذرية.

ظاهرة التآصل:

تعرف ظاهرة التآصل بأنها: وجود العنصر في عدة صور مختلفة في الخواص الفيزيائية، ومتشابهة في الخواص الكيميائية. ويتميز الكربون بهذه الظاهرة، إذ يوجد منفردًا في الطبيعة في عدة صور، منها ما هو بلّوري، مثل: الجرافيت، والماس. ومنها ما هو غير بلّوري، مثل: الفحم النباتي، والفحم الحجري، وفحم الكوك.

الصور التآصلية غير البلّورية:

توجد أنواع كثيرة من الكربون غير النقي، وتنتج عن تفاعلات كيميائية مصحوبة بالحرارة، وتتجمّع على هيئة كتل سوداء تُعرف بالفحم.

وهناك أنواع مختلفة من الفحم تتمثل بالآتي:

١-فحم الكوك : ويحضّر بتقطير الفحم تقطيرًا ائتلافيًّا.

٢-فحم الخشب: ويحضّر بتسخين الخشب في معزل عن الهواء نحو دفنه في حفرة، ومن ثمّ طمرها.

٣- فحم العظام (الفحم الحيواني) : ويحضّر بتسخين العظام بعد تنظيفها، وتنقيتها من المواد الدهنية. و يمتاز هذا الفحم بقدرته على إزالة الألوان من المحاليل؛ لذا فإنه يستخدم في صناعة الطلاء الأسود المستخدم في صناعة الجلود.

٤-السناج : ويتكوّن عند التحليل الحراري لكثير من الهيدروكربونات الغازية، ويستخدم هذا الفحم في صناعة حبر الطابعات.

٥-فحم المعوجات : ويتكوّن من مادة متخلفة عن عمليات تفحيم المواد المختلفة، كما ينتج عن التقطير الائتلافي للفحم الحجري.

٦-الفحم الحجري : ويتكوّن على إثر الضغط الشديد، ودرجة الحرارة الشديدة، حيث يؤثران في بقايا النباتات المطمورة في باطن الأرض ... وتحدث هذه التغيرات بالتدريج، وبمعزل عن الهواء. ويستخدم الفحم الحجري كوقود، حيث يتميز بعدم توليده دخاناً.

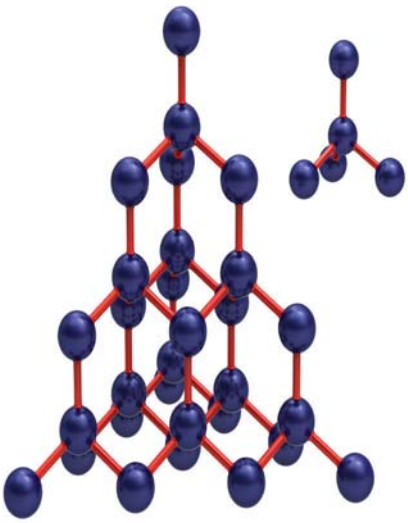
الصور التآصلية البلّورية :

١ - الماس (Diamond)

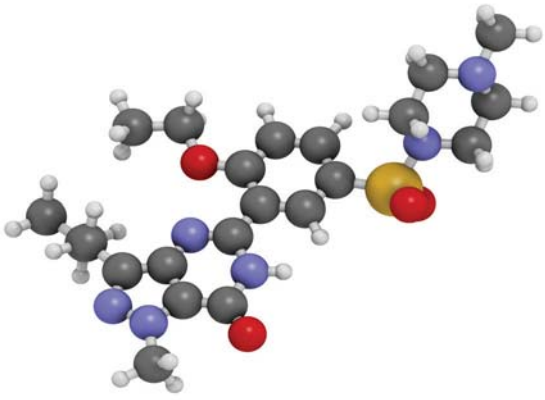
يكوّن الكربون في الضغوط العالية صورة من صوره ذات التركيب البلّوري المتآصل تسمى الماس، وهو أقسى (أصلب) المعادن المعروفة، وتتوزع فيه ذرات الكربون على زوايا هرم ثلاثي، وذرة كربون في المركز (انظر:الشكلين رقم ٣-١، و٣-٢). وترتبط فيه الذرات بتوزيع أربعة إلكترونات في مدارات SP^3 ؛ ممّا يشكل بناء قويًّا جدًّا مترابطاً في ثلاثة أبعاد. كما أنّ الماس له نقطة انصهار مرتفعة جدًّا تصل إلى ٤٠٠٠ درجة مئوية؛ وذلك بسبب قوة الروابط بين ذرات الكربون التي تكوّن الماس. كما لا يذوب الماس في الماء، ولا المذيبات العضوية؛ لصعوبة كسر الروابط القوية بين ذرات الكربون التي تكوّنه.

وعلى عكس الجرافيت، فإنّ الماس لا يوصل الكهرباء؛ لأنّ الإلكترونات مقيدة بشدة بين الذرات، ولا تملك حرية الحركة. ويعدّ الماس أفضل موصل للحرارة بأقل فقد ممكن للطاقة، كما أنّ الماس لا يتفاعل مع معظم الأحماض، والقلويات. ويعدّ الماس أيضًا من المواد النادرة، ولكنه لم يعدّ صورة من صور الكربون حتى أعلن أنتوين لافويسر (Antoine Lavoisier) في عام ١٧٧٢م أنّ الماس صورة أخرى من صور الكربون، وذلك عندما أحرق كمية من الماس، وأخرى من الكربون غير المتبلور(الفحم)، ولحظ أنّ كلتا المادتين لم تنتجا بخار ماء، وإنما كان الناتج ثاني أكسيد الكربون في الحالتين.

ويشتهر الماس بصفات فيزيائية فائقة، وأبرزها صلابته العالية، وتحليله الضوء تحليلاً عاليًا. ولهذا السبب يعدّ الماس مادة ذات قيمة مهمة في صناعة الجواهر، بالإضافة إلى الاستعمالات الأخرى. ويستخرج معظم الألماس من الفوّهات البركانية، حيث تلقي به الحمم البركانية التي تحضره من أعماق الأرض، ومن مسافات قد تصل إلى ١٥٠ كيلومترٍ. وتهيئ الحرارة والضغط العاليين عند هذا العمق ظروفًا مناسبة؛ لتشكيل الماس(٣٣).



شكل رقم(٣-١) التوزيع الهرمي لذرات الكربون في جزيء الماس (٩٢).



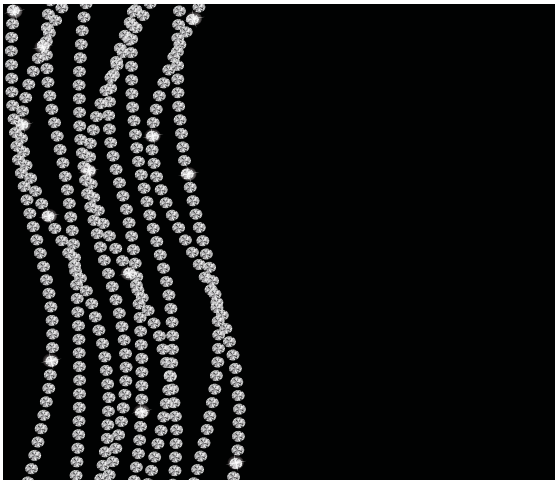
شكل رقم(٣-٢)أنموذج جزيئي للماس في الصورة النانوية (٩٢).

وتقع معظم مناجم الماس في وسط وجنوب إفريقية. كما اكتشفت كميات لا بأس بها في كندا، وروسيا، والبرازيل، وأستراليا. ويستخرج ما يعادل ١٣٠ مليون قيراط(٢٦,٠٠٠ كيلوجرام) من الماس سنويًّا، وهو ما يعادل ٩ مليارات دولار أمريكي تقريبًا. كما ينتج الماس صناعيًّا بكميات تقارب أربعة أضعاف الكمية المستخرجة من الماس الطبيعي(٢٧).

وللماس استخدامات كثيرة منها :

استخدامه في أسنان المناشير؛ لقطع حجارة المقالع، واستخراجها.

كما يستخدم في المناشير؛ لقطع الزجاج، وفي المثقب؛ لكسر الصخور. كذلك يستخدم الماس في المشارط الجراحية؛ نظرًا لكونه لا يصدأ، بالإضافة إلى صلابته . ويظهر الشكل رقم(٣-٣) الطرف الحاد للجزء اللولبي الدوار لهذا المثقب الذي يحوي الآلاف من قطع الماس الصغيرة الموزعة على سطحه.



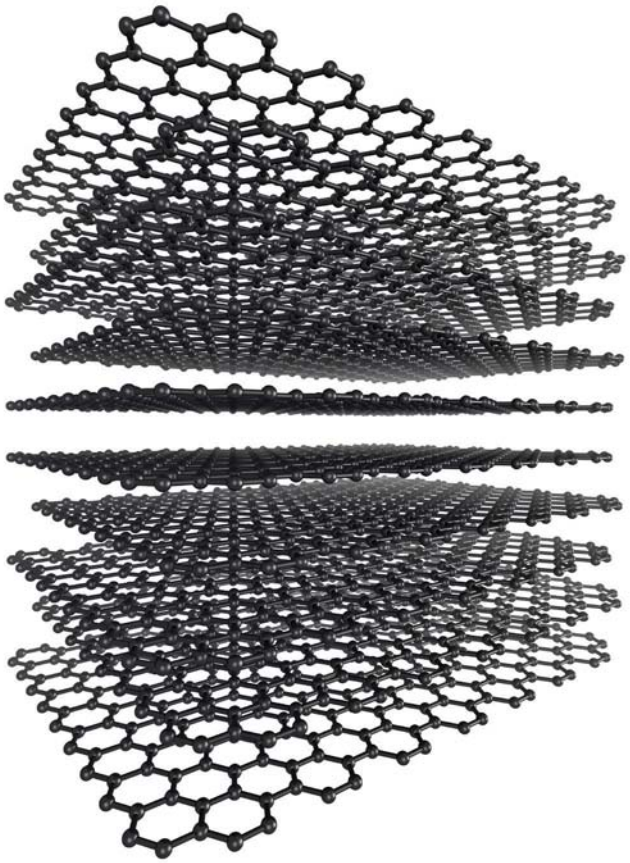
شكل رقم(٣-٣) قطع من الماس موزعة على سطح المثقب (٩٢).

٢- الجرافيت (Graphite)

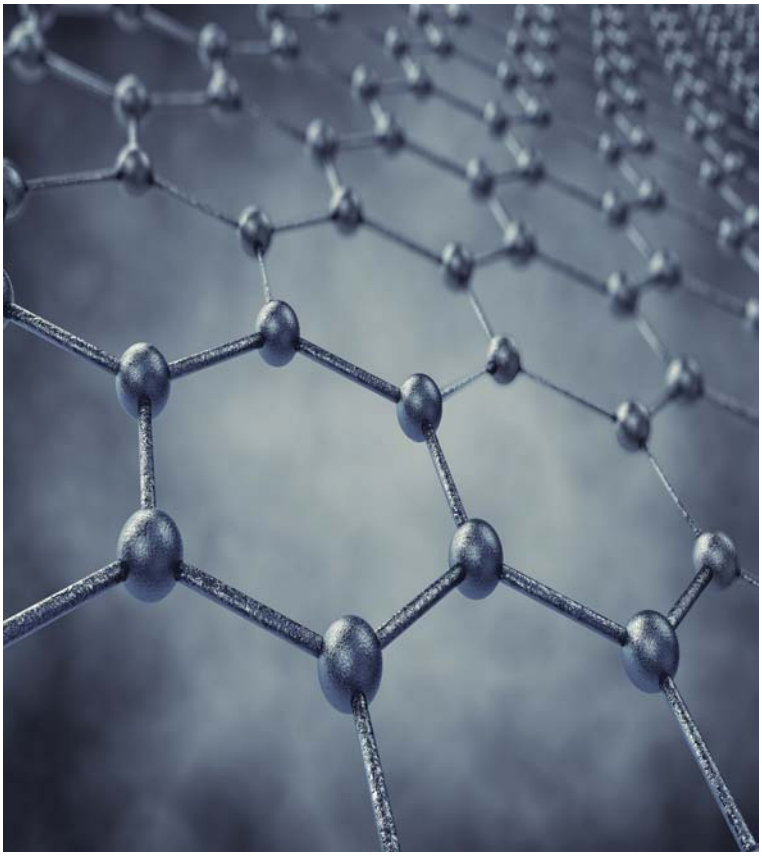
كان يُعتقد سابقًا أنّ الجرافيت صورة من صور عنصر الرصاص، وظل هذا الاعتقاد سائدًا حتى عام ١٧٧٩م، وذلك حين أعلن كارل سشيل (Carl Scheele) أن ناتج احتراق الجرافيت هو ثاني أكسيد الكربون كما هو الحال في احتراق الكربون غير المتبلور، ومنذ ذلك التاريخ عدّ الجرافيت صورة أخرى من صور الكربون(انظر:الشكل رقم ٣-٤) (٣٤).

ويأخذ الكربون في الضغط الجوي العادي شكل الجرافيت، وفيه ترتبط كل ذرة بثلاث ذرات في مستوى يتكوّن من شكل سداسي في كل الحلقات، مثل: الحلقات الموجودة في الهيدروكربونات الأروماتية.

ويعدّ الجرافيت من أكثر المواد ليونة، حيث ترتبط فيه ذرات الكربون بثلاثة إلكترونات في مدار SP2، ويكون شكلها مسطحًا في بُعدين؛ ممّا يشكل ما يشبه الصفائح الممتدة، والمتراصة فوق بعضها بعضًا. وحلقات الكربون هذه متصلة ببعضها بعضًا على شكل صفائح مسطحة تنزلق فوق بعضها بعضًا (انظر:الشكل رقم ٣-٥). ولهذا السبب يكون الجرافيت طريًّا وزيتيًّا من حيث المظهر والملمس.



شكل رقم(٣-٤)الجرافيت بمنزلة طبقات مستوية ومتوازية ومرتبة الواحدة فوق الأخرى (٩٢).



شكل رقم(٣-٥)ارتباط ذرات الكربون ببعضها بعضًا مكونة صفائح الجرافيت (٩٢).

وللجرافيت خواص تعتمد على تركيبته الذرية؛ لأنّ كل ذرة كربون تتصل فقط بثلاث ذرات أخرى في حلقة تاركة إلكتروناً حرًّا بين هذه الذرات؛ لحمل التيار الكهربائي، ومن ثمّ فإنّ هذه المادة الصلبة قاتمة اللون من بين غير الفلزات، وفي الوقت نفسه قادرة على إيصال التيار الكهربائي .

وللجرافيت استخدامات كثيرة في الصناعة، حيث يستعمل كزيت التزليق (مخفف الاحتكاك)؛ لأنه طريّ وزلق. كما يستخدم الجرافيت في صناعة أقلام الرصاص الخشبية، وذلك بمزجه بمادة طينية. كما يستخدم مسحوق الجرافيت أيضًا في الطبخ كالفحم، وكذلك في الأعمال الفنية، وذلك بعد إعادة قولبته.

٣-١الفوليرينات (Fullerenes)

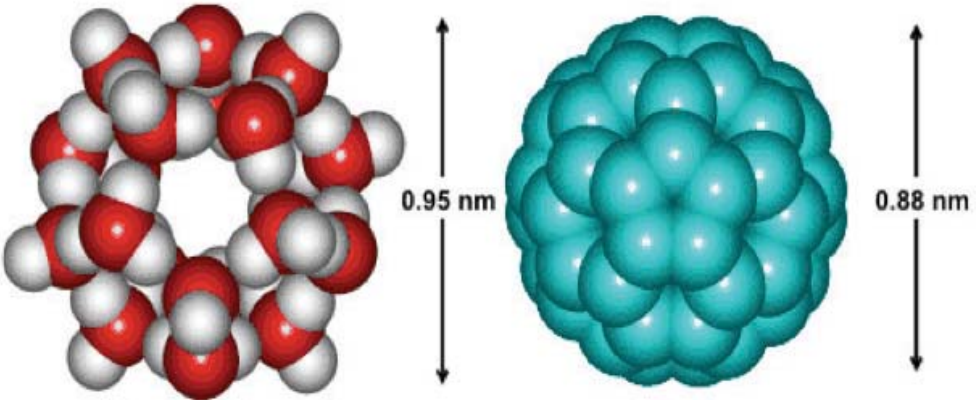
وهي جزيئات كبيرة تتكوّن من ذرات كربون مترابطة ترابطاً ثلاثيًّا، حيث تعطي شكل كريات، ولكن بدلاً من الشكل السداسي النقي، فإنها تحتوي على أشكال خماسية، وسباعية من ذرات الكربون، ممّا يؤدي إلى انثناء الطبقات إلى كريات، أو أسطوانات. وبدأ اكتشاف الفوليرين (الأنابيب فائقة الدقة) بالصدفة في عام ١٩٤٤م، وذلك عندما لحظ أوتوهان وجود سلاسل من الكربون أثناء إجرائه تجارب كانت تستهدف تكوين ذرات ثقيلة من ذرات أخفّ عن طريق امتصاصها النيوترونات، حيث كان بحثه منصبًّا في الكشف عن الفروق الصغيرة في الوزن بين بعض ذرات العناصر الثقيلة التي يبخرها في قوس كربوني . وأثناء مشاهدته تلك النتائج، لحظ أنّ القوس أنتج أيضًا سلاسل من الكربون، كان لها الوزن الجزيئي نفسه للمعدن. وبما أنه لم يكن مهتمًّا بسلاسل الكربون فقد دوَّن ملحوظة بشأنها في نهاية تقريره، ثم انطلق وراء الهدف الرئيس من بحثه. وقد اكتشف أوتوهان الانشطار النووي أيضًا - صدفة- أثناء إجرائه تلك التجارب(٣٥).

ولم تتابع النتائج التي توصل إليها أوتوهان بشأن سلاسل الكربون بعده مباشرة؛ ولذا فقد تأخر اكتشاف C60 لسنوات عديدة. وفي الثمانينيات من القرن العشرين جاء هارولد كروتو(Harold Kroto) بصحبة روبرت كيرل (Robert Curl)، وريتشارد سمولي (Richard Smalley) ، فاهتمّوا بتلك الجزيئات الكربونية، حتى توصلوا إلى أن سلاسل الكربون تلك، ما هي إلاّ صورة جديدة من صور الكربون.

ويعدّ الجزئ C60 من أكثر الفوليرينات شهرة، حيث تترتب الـ ٦٠ ذرة كربون بداخلها على رؤوس مجسم عشريني ناقص، وهو يشبه شكل كرة القدم(انظر:الشكل رقم ٣-٦)، ويتميّز بأنه جزيء ممغنط، وغير قابل للاحتكاك(٣٦).

وأنتج العلماء في الولايات المتحدة وألمانيا أصغر جزيء فوليرين ممكن، وهو C20. وهذا الجزيء ليست فيه أشكال سداسية، بل يحتوي فقط على ١٢ شكلاً خماسيًّا.

وقد كان من المعروف منذ فترة أنّ جزيئات C20 يمكن وجودها من الناحية النظرية، ولكن كان من الصعب إنتاج جزيء واحد منها. ويرجع سبب ذلك إلى صغر حجمه(٣٦).



شكل رقم(٣-٦) فوليرين C_{60} في الصورة الجزيئية (٣٦).

وبمقارنته بجزيئات الفوليرين الأخرى، يلحظ أنّ انحناء سطحه سيكون أكبر، وسيكون أكثر ميلاً إلى التفسخ ، كما سيكون نشاطه التفاعلي عاليًا أيضًا؛ ولذا سيميل إلى الاتحاد مع عناصر أخرى؛ لتكوين جزيئات جديدة .

ومن المرجح أن يكون للفوليرينات دور مهمّ في إنتاج الأجيال القادمة من زيوت التشحيم المخففة للاحتكاك، وكذلك في إنتاج المواد المحفزة، والصناعات الدوائية، كما يتوقع أن يكون لهذه الجزيئات دور في تصميم آلات رقائق النانو التي تمثل تكنولوجيا المستقبل.

(٣-٣) أنابيب الكربون النانوية (Carbon nanotubes)

سنعرّف في البنود التالية أنابيب الكربون النانوية، ثمّ نعرض كيفية تصنيعها، وتركيبها الهندسي، وخواصها الفيزيائية، ثم استخداماتها العملية.

(٣-٣-١) تعريف أنابيب الكربون النانوية

تعرّف أنابيب النانو الكربونية (Carbon nanotubes) التي يرمز لها اختصارًا بـ (CNT) بأنها: " جزيئات كربون، وهي كيميائيًّا من عائلة الجرافيت والماس». وهذه الأنابيب الكربونية شأنها شأن جسيمات النانو الأخرى، حيث تظهر الكثير من الخواص الكهربائية، والضوئية،

والميكانيكية الاستثنائية والمميزة. ومن أهم خواص هذه الجسيمات قوتها الميكانيكية العالية جدًّا، والتي يتوقع استخدامها استخدامًا كبيرًا جدًّا في تطبيقات إلكترونيات النانو (Nano-electronics) ،مثل:الأسلاك الكمية (quantum wire) أحادية البعد(one-dimensional) ، وكذلك في تقنيات تقوية مواد البوليمر.

وأنابيب الكربون النانوية بمنزلة أسطوانات فارغة في شكل أنابيب بحجم النانومتر، وتتكوّن من مجموعة ضخمة من الهياكل السداسية التي تتكوّن من ذرات الكربون.

كما تعدّ أنابيب الكربون النانوية ظاهرة فيزيائية رصدت أول مرة في عام ١٩٩١م في شركة (NEC) للصناعات الإلكترونية في اليابان، وذلك بواسطة العالم سوميو إيجيما(Sumio Iijima)، حينما كان يدرس الرماد الناتج عن عملية التفريغ الكهربي بين قطبين من الكربون باستخدام ميكروسكوب إلكتروني عالي الكفاءة (High-resolution transmission electron microscope) ، حيث لحظ ليجيما (انظر:الشكل رقم ٣-٧) وجود بعض اللمعان أو البريق داخل هذا الرماد، فاعتقد أنّ الكربون تحوّل إلى ألماس، فقرر فحصه بطريقة جيدة.

استخدم سوميو إيجيما الميكروسكوب الإلكتروني في فحص الرماد، فوجد أنّ جزيئات الكربون في وضع غير طبيعي، حيث إنه من المفترض أن يكون ترتيب جزيئات الكربون كما هو موضّح في الشكل رقم(٣-٨).

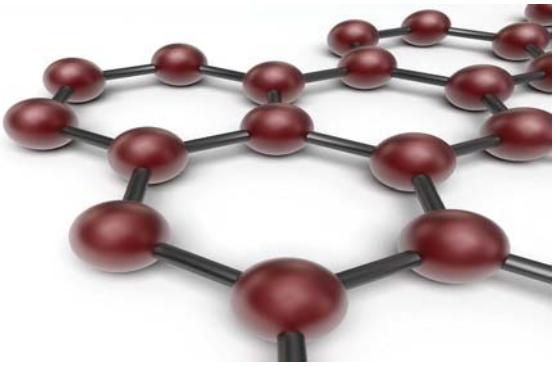
ولكنه فوجئ بشيء آخر، وهو أنّ جزيئات الكربون قد التفت؛ لتتصل ببعضها بعضًا مكونة ما يشبه الأنبوب (انظر:الشكل رقم٣-٩). وبعد تكرار التجربة عدة مرات، ظهر بعد كل فحص أمر جديد. وكان مجمل ما توصل إليه سوميو ليجيما على النحو التالي:

١- جزيئات الكربون تأخذ ترتيبًا يشبه الأنابيب.

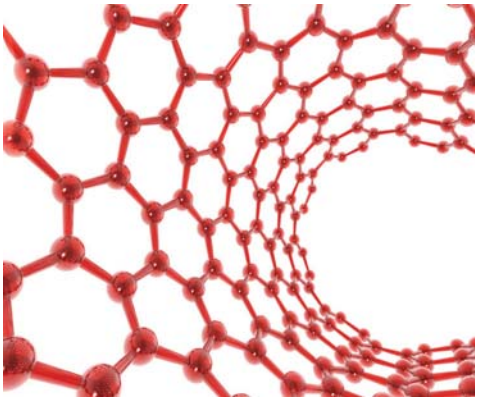
٢- أنابيب الكربون الناتجة غير متساوية في الحجم.

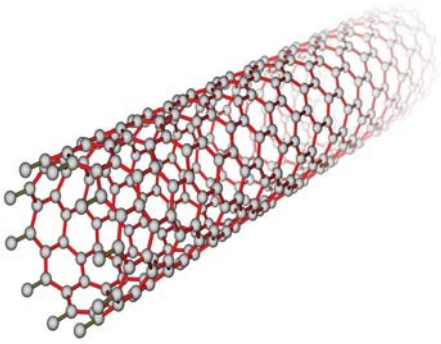
٣-إنتاج أنابيب متعددة الطبقات (انظر:الشكل رقم ٣-١٠)، بمعنى أنها مجموعة من الأنابيب المتداخلة (Multi-Wall) ذات الخواص المختلفة.

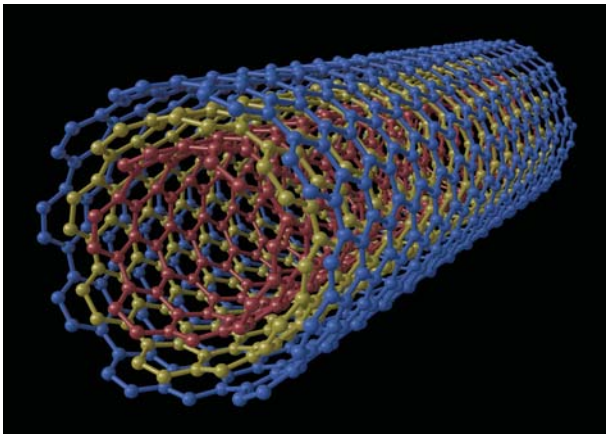
شكل رقم(٣-٧) صورة للعالم سوميو إيجيما في معمله (٩١).



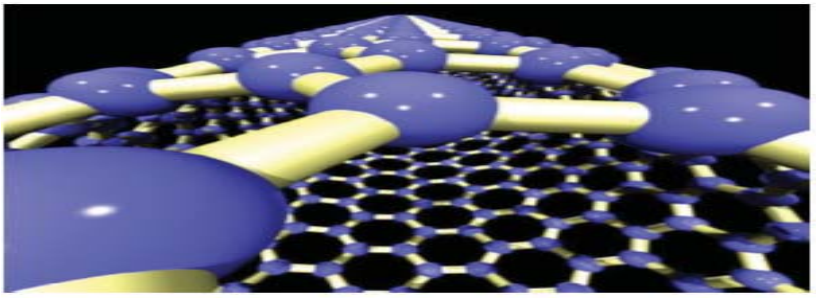
شكل رقم(٣-٨) ترتيب جزيئات الكربون (٩٢).

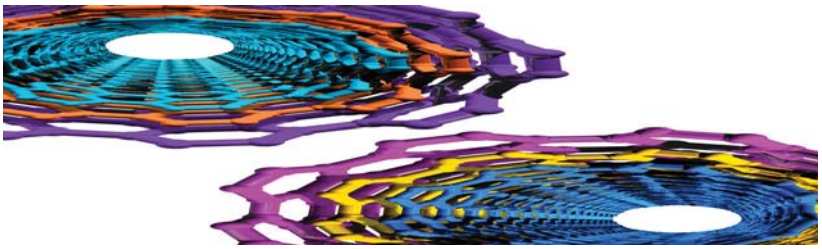






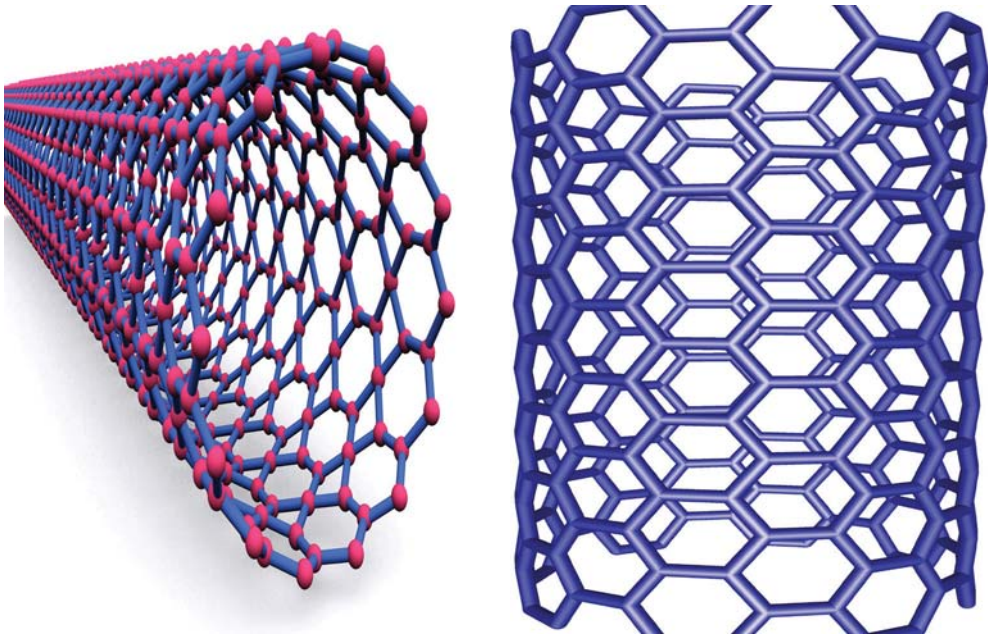
شكل رقم(٣-٩) جزيئات كربون ملتفة مكونة أنبوب كربون نانوي (٩٢).





شكل رقم(٣-١٠) مجموعة من أنابيب الكربون النانوية المتداخلة ذات الخواص المختلفة (٩٢).

وهذا الاكتشاف لفت انتباه شركة (IBM)، فقررت الدخول إلى هذا المجال، ففي عام ١٩٩٣م تمكن العالم دونالد بثيون (Donald Bethune) من شركة IBM لتكنولوجيا الحاسبات في الولايات المتحدة الأمريكية من رصد أنابيب كربون نانوية ذات جدار واحد (single-wall)، يبلغ قطر الأنبوب الواحد منها ١٢ نانومتر (انظر:الشكل رقم٣-١١) (٣٧، ٣٨). ثم انطلق العلماء بعد ذلك في مجال النانوتيوب، حتى استطاع فريق من العلماء الصينيين في عام ٢٠٠٧م رصد أصغر نانوتيوب في العالم، حيث يصل قطره إلى ٠,٥ نانومتر فقط، مع العلم أنّ أقل قطر لأي شيء

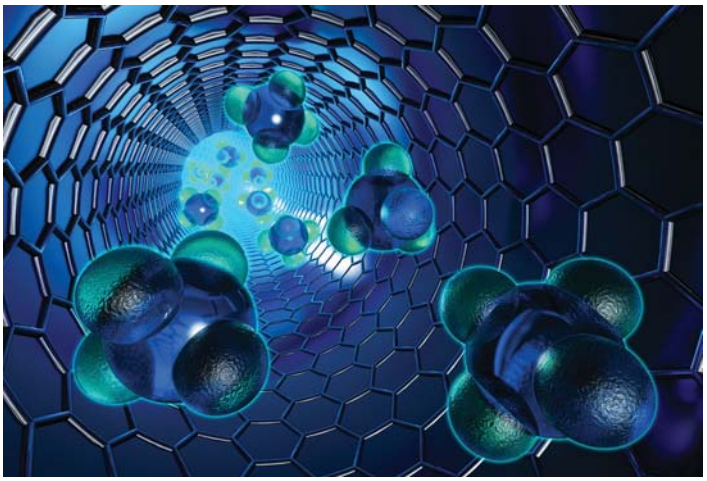


شكل رقم(٣-١١) أنبوب كربوني نانوي ذو جدار واحد (٩٢).

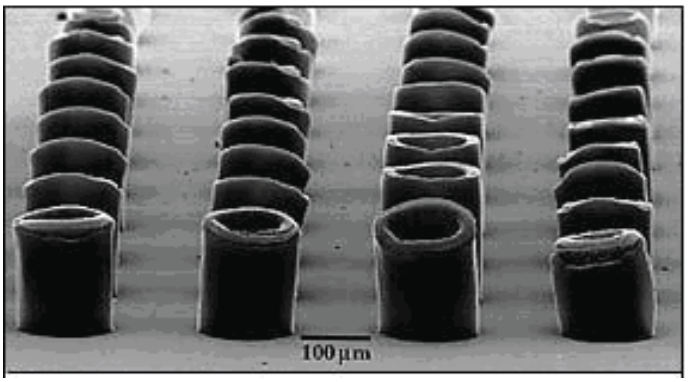
في العالم نظريًّا يبلغ ٠,٤ نانومتر. ورصد هذا الأنبوب الصغير جدًّا بعد تطوير العلماء الصينيين طرقاً جديدة في تقنية النانو(٣٩).

وعند دراسة الخواص الفيزيائية لأنابيب الكربون النانوية كانت النتائج مبشرة جدًّا؛ فقد وجد أنّ مقدار مقاومة الشد لأنابيب الكربون النانوية (باستخدام ميكروسكوب القوة الذرية) تساوي ١٠٠ ضعف قيمة مقاومة أقصى أنواع الصلب؛ لإجهاد الشدّ ! وذلك على الرغم من خفة أوزانها، حيث تتدنى كثافتها إلى سدس $(\frac{1}{6})$ قيمة كثافة الصلب (٢٤).

ولأنابيب الكربون خواص فيزيائية وميكانيكية فريدة، حيث يمكنها أن تكون موصلاً جيّدًا جدًّا للكهرباء، كما يمكن أن تكون شبه موصل (Semi-conductor)، وهذا يعتمد على طريقة تصنيعها، وكيفية ترتيب الذرات داخل الهيكل الذري. وعند قياس درجة توصيلها الكهرباء، وجد أنها أعلى من النحاس في درجة حرارة الغرفة، أمّا توصيلها الحرارة فيلحظ أنه أعلى من درجة توصيل الماس. ويمكن دمج مواد أخرى (نحاس ، وكوارتز...إلخ) داخل أنابيب الكربون؛ للحصول على خواص إضافية، أي: تصنيع أنبوب واحد ذي وظائف متعددة(انظر:الشكل رقم٣-١٢) (٤٠).



شكل رقم(٣-١٢) مواد مدمجة داخل أنبوب كربون نانوي (٤٠).



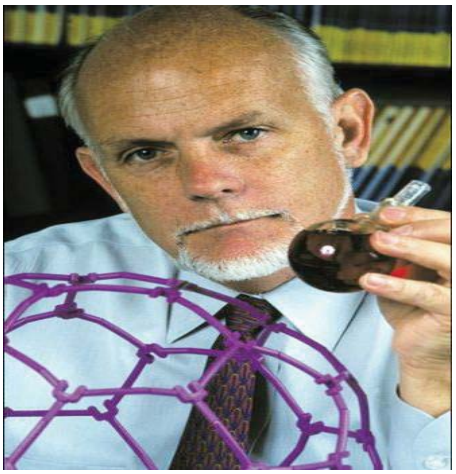
شكل رقم (٣-١٣) صورة من وكالة ناسا لأنابيب الكربون المجمّعة تجميعًا مرتّبًا (٤٠).

(٣-٣-٢) تاريخ أنابيب الكربون النانوية (History of carbon nanotubes)

بتتبع المراجع العلمية، والصحف، والمجلات، وحتى الدوريات الأكاديمية، يخيل للمرء أن أنابيب الكربون النانوية اكتشفت حديثاً، ولكن الحقيقة غير ذلك. فقد حصل عالمان بريطانيان على براءة اختراع من الولايات المتحدة في عام ١٨٨٩م عن صناعة أنابيب الكربون الدقيقة، وذلك باستخدام غاز الميثان الذي كان معروفاً آنذاك باسم "غاز مارش"، وهي طريقة تشبه إلى حد كبير النظم الصناعية الحالية. وقد نجحوا في إنتاج أسلاك رفيعة جدًّا من الكربون في حجم الشعرة؛ للإضاءة الكهربية، وهذه الشعيرات الكربونية تعود إلى شكلها الأصلي بعد ثنيها ولفها في أشكال متعددة. ولم

تكن تلك المحاولة الحالة الوحيدة التي عرف فيها العالم الكربون نانوتيوب، ففي عام١٩٦٠م .... والتاريخ الحقيقي لاكتشاف أنابيب الكربون النانوية بدأ في عام ١٩٧٠م، وذلك عندما كان العالم الياباني إندو(Morinobu Endo) يحضّر خيوط الكربون(٤١).

وإذا نظرنا من الناحية التاريخية، لوجدنا أنّ اكتشاف جزيء الكربون المسمى التركيب "شبيه القفص"، والذي أطلق عليه الفوليرين، وسمي بعد ذلك «كربون-ستون» C60 من الباحث سمولي ((Smalley، وفريقه في الوليات المتحدة الأمريكية، وكذلك العالم كروتو (Kroto)، وفريق بحثه في بريطانيا في عام ١٩٨٥م، كان له الفضل في اكتشاف أنابيب النانو الكربونية CNTs.



شكل رقم(٣-١٤) العالم الكيميائي ريتشارد سمولي (٩١).

وبعد ذلك التاريخ توالت الأبحاث من أجل دراسة واكتشاف تركيبات جديدة للكربون. وفي عام ١٩٩١م، أنتج الباحثون اليابانيون بمعمل الإلكترونيات بمدينة تسوكوبا اليابانية في شركة "إن إي سي» (NEC) بقيادة العالم سوميو إيجيما(Sumio Iijima) (انظر:الشكل رقم ٣-٧) أنابيب الكربون النانوية، وجاء اكتشاف إيجيما ورفاقه بعد سنوات قليلة من مفاجأة اكتشاف شكل جديد لذرة الكربون على الشكل البيضاوي، وبعد نشر الكتاب المثير للعالم الأمريكي إريك دريكسلر (Eric Drexler) الذي بعنوان»ماكينات الإبداع».

ولحظ سوميو إيجيما (Sumio Iijima) خلال تحضيره تركيبات جزيئات الكربون تكوّن جزيئات كربونية ذات أشكال أنبوبية مفرغة، ومغلقة بتركيبات ذات شكل نصف كروي، حيث

استخدم في تحضيرها تقنية القوس الكهربي (Direct-current arc discharge)، وقطبين كربونيين مغمورين في غاز الهليوم عند درجة حرارة تبلغ ٣٠٠٠ درجة مئوية، وقد أطلق على هذه الأنابيب بعد ذلك: أنابيب النانو الكربونية.

وجدير بالذكر أنّ هذه الأنابيب التي اكتشفت في عام ١٩٩١م هي أنابيب النانو الكربونية متعددة الجدار، والتي يطلق عليها باللغة الإنجليزية Multi-Walled Carbon Nanotubes، ويرمز لها اختصارًا (MWCNTs) ولم يقف الأمر عند هذا الحدّ، بل في عام ١٩٩٣م حضّر الباحث الياباني نفسه أنابيب النانو الكربونية وحيدة الجدار، أو ما يسمى باللغة الإنجليزية Single-walled Carbon Nanotubes ، ويرمز لها اختصارًا (SWCNTs) وفي العام نفسه تمكن العالم دونالد بثيون (Donald Bethune) من شركة تكنولوجيا الحاسبات في الولايات المتحدة الأمريكية من رصد نانوتيوب مكونة من طبقة واحدة (single-wall) يبلغ قطرها ١٢ نانومتر(٤٢).

(٣-٣-٣) تصنيع أنابيب الكربون النانوية (Synthesis of carbon nanotubes)

تتكوّن أنابيب الكربون عمومًا من تفكك مادة هيدروكربونية بالحرارة، وإعادة اتحاد الذرات عند درجات حرارة أقل مكونة أنابيب الكربون النانوية. فأنابيب الكربون الدقيقة تترابط فيها الذرات ترابطاً ثلاثيًّا في رقائق منحنية تشكل أسطوانات مفرغة، ويحصل عليها بطريقة القوس الكربوني ذي التيار المستمر بدلاً من المتردد، ومن ثمّ يمكن الحصول على هياكل أنبوبية الشكل في أحد الرواسب على القطب. وهذه الأنابيب مكوَّنة بكاملها من الكربون، وسميت الأنابيب النانومترية؛ وذلك نظرًا لقطرها الصغير الذي يبلغ بضع نانوميترات.

وتوجد طرق كثيرة؛ لإنتاج جزيئات الكربون المكونة من الأنابيب النانومترية. وسنقدم عرضًا مختصرًا عن أهمّ ثلاث تقنيات؛ لتصنيع وتحضير أنابيب النانو الكربونية، مع العلم بوجود عدد من التقنيات التي ستختبر من أجل توفير طرق غير مكلفة في تصنيع وتوفير هذه الأنابيب ذات الخواص غير العادية؛ ممّا يؤدي إلى إمكانية دراستها، واستخدامها على نحو واسع؛ لأن أنابيب النانو الكربونية ذات سعر مرتفع جدًّا، كما أنّ تقنيات التصنيع مازالت تحتاج إلى الكثير من الدراسة والتطوير؛ للحصول على الخواص المطلوبة في أنابيب النانو الكربونية التي تنتج. ولأهمية هذه التقنيات الثلاثة سنشرحها على النحو التالي:

طريقة قوس التفريغ الكهربي (Arc discharge Method)

إن تقنية أو طريقة قوس التفريغ هي من أولى التقنيات استخدامًا في تصنيع وتحضير تركيبات الكربون «الفوليرين»، حيث طوّرت على يد الباحث كرتشمر (Krätschmer) وفريقه. وفي عام ١٩٩١م استخدمت في إنتاج أول أنبوب من أنابيب النانو الكربونية، وذلك على يد الباحث الياباني إيجيما. ويستخدم في هذه التقنية قطبان من الجرافيت أحدهما: يمثل الأنود، والآخر يمثل الكاثود، حيث يوضعان في حيّز مغلق، ويطبق بينهما جهد كهربائي يبلغ ٢٠ فولتاً.

وجدير بالذكر أنّ الكاثود يحتوي جزئيًّا على عدد من المعادن، مثل: الكوبولت، والنيكل، والحديد، والتي تعمل كمحفزات لعملية الإنتاج، ويملأ في هذه العملية الحيّز المغلق بغاز خامل، ثم يوضع النظام تحت التفريغ، حيث يقرّب القطبان من بعضهما على نحو يظهر تكيفهما؛ مما يسمح بحدوث قوس تفريغ كهربائي تتراوح شدة تياره ما بين ٥٠- ٢٠٠ أمبير، وتصل درجة الحرارة إلى ٤٠٠٠ درجة مئوية، حيث ستؤدي إلى التسامي الجزيئي للكربون على الأنود، ويرسب بعد ذلك ناتج العملية على جدار الحيّز على شكل يشبه شبكة العنكبوت. وهذه التقنية استخدمت في إنتاج أنابيب النانو الكربونية متعددة الجدار. أمّا اليوم فيمكن -على نحو محدد- إنتاج أنابيب النانو الكربونية أحادية الجدار من نوع كتف الكرسي(Arm chair) ، وذلك بالتحكم في الغازات، والمحفزات المضافة.

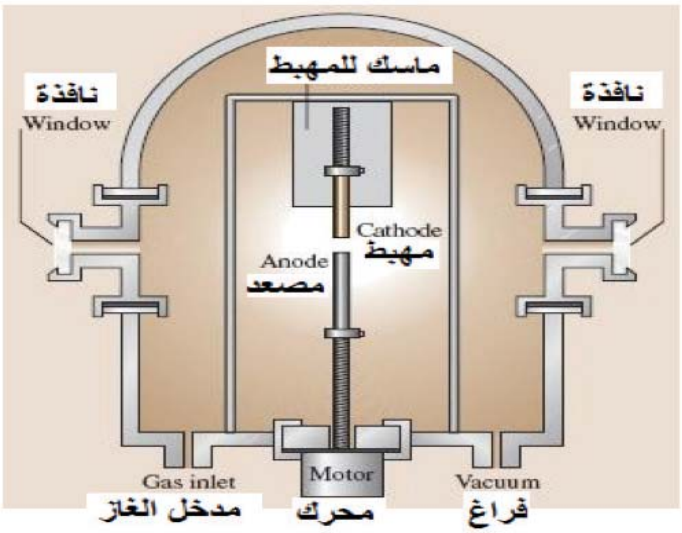
وجدير بالذكر أنّ نواتج هذه التقنية لا تمثل أنابيب نانو نقية، بل إنّ النواتج قد تحتوي على صيغ أخرى من تركيبات الكربون، مثل: الجرافيت، والفوليرين، وبودرة الكربون الناعمة (انظر: الشكل رقم ٣-١٥) (١٠).

٢-طريقة الترسيب البخاري الكيميائي (Chemical Vapor Deposition method)

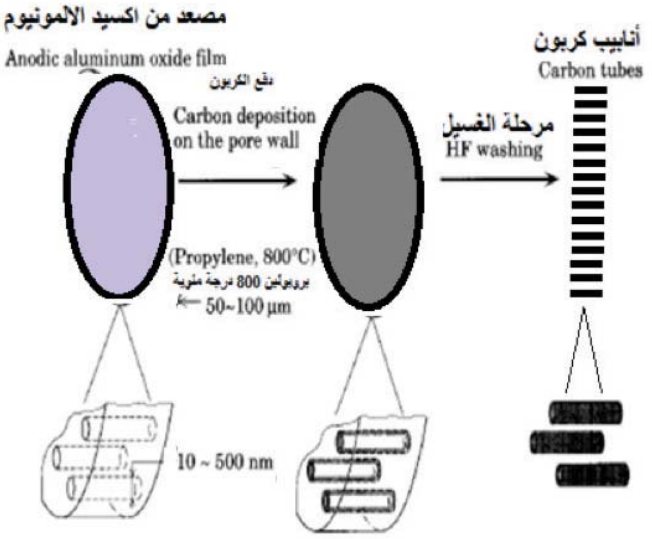
وتشغّل فيها المفاعل لمقدار يصل إلى حوالي ٣٠ دقيقة، وذلك مع درجة حرارة تتراوح ما بين ٥٠٠ إلى ١١٥٠ درجة مئوية؛ ممّا يسمح بتفكك ذرات الهيدروكربون الموجودة، ثم يمرّر عبر المفاعل تيار من غاز الأرجون، أو الهيدروجين، أو خليط من الاثنين. ثم يحمل هذا التيار الغازي ذرات الكربون الناتجة عن تفكك الهيدروكربون. ثم يعاد تشكيل وترتيب ذرات الكربون على صورة أنابيب كربون نانوية (انظر: الشكل رقم ٣-١٦).

وتقنية ترسيب الأبخرة الكيميائية تعدّ من أحدث الطرق التي طوّرت؛ لتتغلب على عيوب الطريقة السابقة من حيث انخفاض تكلفتها، واستخدام درجة حرارة أقل في الإنتاج، كما تتميّز بوفرة الإنتاج،

وبقدرتها على إنتاج كلا النوعين، أي: أنابيب النانو الكربونية أحادية الجدار، ومتعددة الجدار. ويوضع في هذه الطريقة داعم تفاعل (substrate) يكون في الغالب رقاقة سيلكون في وسط حيّز التفاعل الذي يشبه الفرن (oven-like)، وترفع درجة حرارة الحيّز إلى ٦٠٠ درجة مئوية، ثم يضاف غاز الهيدروكربون، أو أي غازات كربونية إلى نظام التفاعل الذي ينتج عنه فصل ذرات الكربون، ثم تشكل أنابيب الكربون على الرقاقة السيلكونية، وكذلك تشكل الكثير من تركيبات الكربون الأخرى إلى جانب أنابيب النانو الكربونية، مثل: مسحوق الكربون، وشرائحه السميكة والرقيقة، وغيرها. وعلى الرغم من بعض العيوب التي قد توجد في الأنابيب المنتجة بهذه الطريقة فإنّ هذه الطريقة تعدّ من أكثر الطرق انتشارًا بين المجموعات البحثية؛ لإنتاج أنابيب النانو الخاصة بهم؛ وذلك لسهولة عملها، وتوفر تجهيزاتها. ويمكن تصنيع أنابيب الكربون النانوية بواسطة هذه الطريقة على شكل مسحوق (بودر) أيضًا، وذلك باستخدام محفزات على شكل مسحوق، مثل: الحديد، أو الكوبالت، أو النيكل، وليست هذه الطريقة محصورة على ترسيب أنابيب الكربون النانوية على شكل شرائح من السيلكون، بل تعدّ من أهم الطرق؛ لإنتاج أنابيب الكربون بكميات كبيرة وتجارية(٢٤).



شكل رقم(٣-١٥) صورة توضيحية للمفاعل المستخدم في تصنيع أنابيب الكربون النانوي باستخدام القوس الكهربي (٢٤).



شكل رقم(٣-١٦) مخطط توضيحي لعمليات تصنيع أنابيب الكربون النانوية باستخدام طريقة الترسيب البخاري في مسامات أكسيد الألمونيوم (٢٤).

٣-الاستقطاع (الاستئصال) الليزيري (Laser ablation)

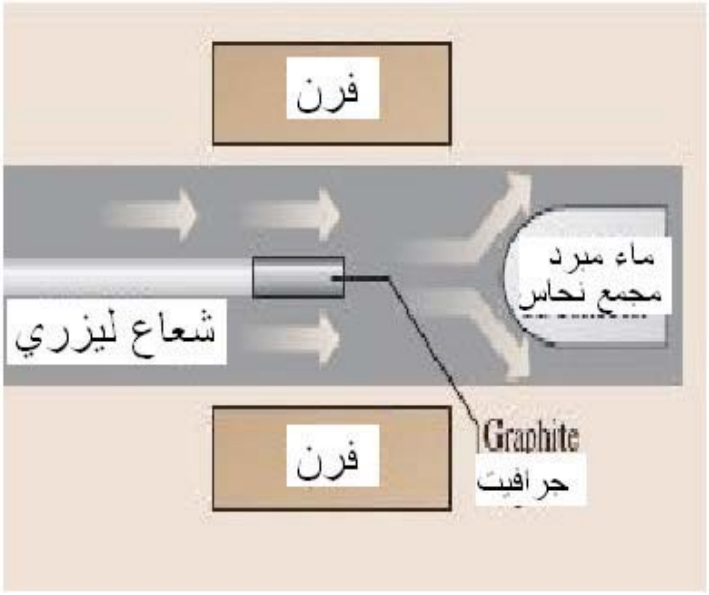
تقنية التبخير بالليزر (Laser Ablation Method) أو «طريقة الاستئصال الليزيري» تعدّ التقنية الثانية بعد تقنية «قوس التفريغ». وقد طوّرت في عام ١٩٩٢م على يد الباحث سمالي (Smalley) ، وزملائه؛ وذلك بغرض تحضير كميات كبيرة من تركيبات الكربون. وفي عام ١٩٩٦م استخدمت في إنتاج أنابيب النانو الكربونية أحادية الجدار، وذلك على يد الفريق نفسه. وهذه التقنية تستخدم درجة حرارة عالية شأنها في ذلك شأن تقنية قوس التفريغ التي تحدثنا عنها سابقاً، وفيها يستخدم إشعاع ليزر عالي الطاقة، بحيث يركز هذا الإشعاع على هدف من الجرافيت يقع في مركز نظام تسخين مغلق(Furnace) ذي درجة حرارة مرتفعة تصل إلى ١٢٠٠ مئوية، ويعمل الليزر على تبخير هذا الهدف في محيط يحتوي على غاز الأرجون

(Argon Gas) وبعض العناصر، مثل: الكوبالت، والنيكل كعناصر محفزة لهذا التبخير، ثمّ بعدها تجمّع أنابيب النانو التي تكون على شكل بودر ناعم ذي لون أسود بواسطة المجمع النحاسي، كما يظهر ذلك في الشكل التوضيحي رقم....

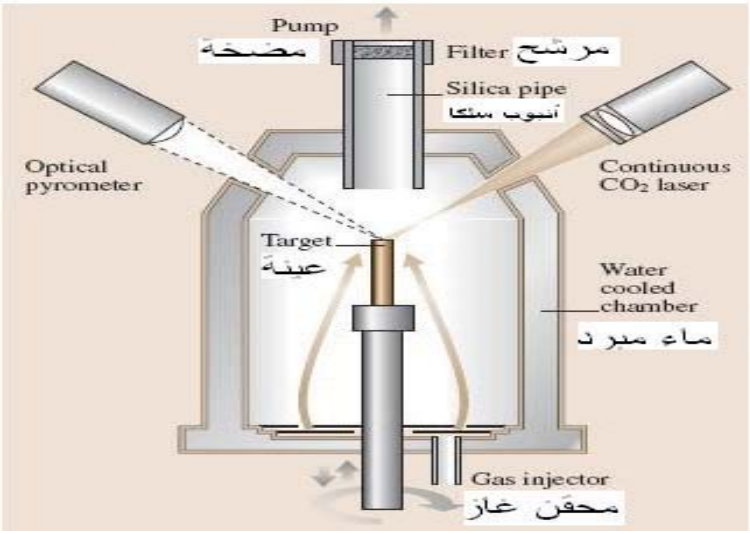
وجدير بالذكر أنّ هذه التقنية تساعد على إنتاج كمية كبيرة من أنابيب النانو الكربونية أحادية

الجدار ذات الجودة العالية، حيث تصل كميتها المنتجة بواسطة هذه التقنية إلى أكثر من ٨٥٪ من الناتج الكلي للعملية، والذي قد يحتوي على الفوليرين كجزيء كربوني ناتج. كما يمكن متابعة نمو أنابيب النانو عن طريق كاميرة فيديو عالية السرعة (انظر: الأشكال رقم ٣-١٧ ، و٣-١٨، و٣-١٩).

ومن أهم التعديلات في هذا الصّدد استخدام شعاعين من الليزر حتى إذا بقيت أية تجمعات من الجرافيت لم يبخّرها الشعاع الأول، بخّرها الشعاع الثاني؛ ممّا يزيد كفاءة الإنتاج، حيث إنّ المستهدف هو خليط من الجرافيت، والعامل الحفاز، فكلما تبخر جزء من الجرافيت كان الجزء المتبقي أغنى بالعامل الحفاز؛ ممّا يقلل أنابيب الكربون النانوية من حيث الجودة والإنتاجية، ولكن بعد التعديل يفصل العامل الحفاز والجرافيت؛ ليصبح كلاهما ملاصقاً بالآخر، ولكن ليس على شكل خليط، ومن ثمّ تزداد كفاءة الإنتاج (٢٤).



شكل رقم(٣-١٧) صورة توضيحية لطريقة عمل جهاز الاستقطاع الليزري المستخدم في تصنيع أنابيب الكربون النانوية (٢٤).



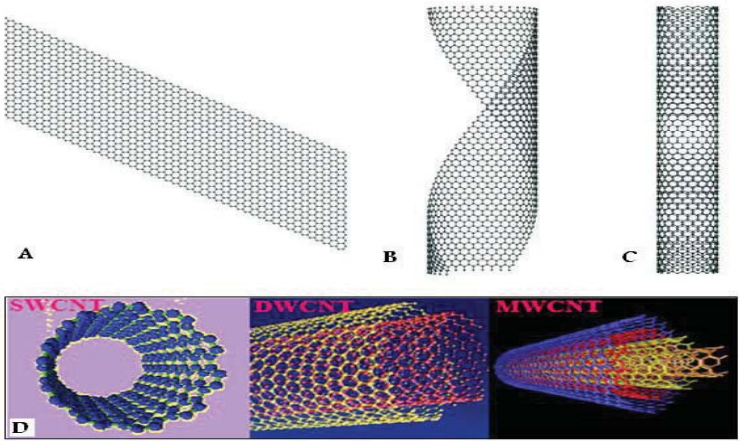
شكل رقم(٣-١٨) صورة توضيحية لطريقة عمل جهاز الاستقطاع الليزري المعدل المستخدم في تصنيع أنابيب الكربون النانوية (٢٤).

شكل رقم(٣-١٩) جهاز الاستقطاع الليزري (٢٤).

(٣-٣-٤) أنواع أنابيب الكربون النانوية (Types of carbon nanotubes)

هناك نوعان من أنابيب النانو الكربونية، وهما- كما ذكرنا سابقاً- أنابيب النانو الكربونية وحيدة الجدار (Single-walled Carbon Nanotubes) ، وأنابيب النانو الكربونية متعددة الجدار (Multi-walled Carbon Nanotubes).

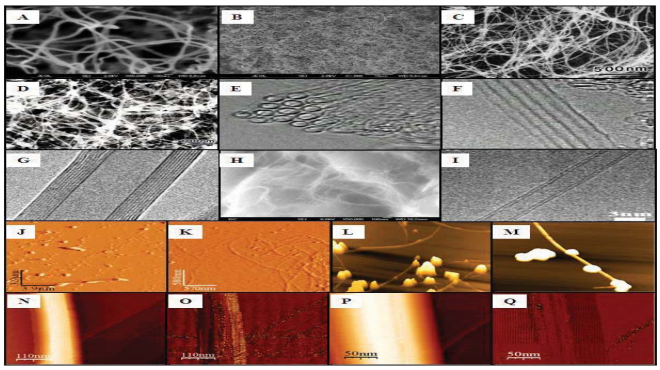
يتراوح قطره أنبوب النانو الكربوني وحيد الجدار ما بين ٠,٧ نانو متر إلى ١٠ نانومترات، وفي أغلب الحالات يكون معدل قطره في حدود نانومترين، في حين يصل طوله إلى عدة ميكرومترات، وله نهاية واحدة مغلقة على الأقل، وذلك بتركيب نصف كروي يشبه القبعة، وسمك جدار هذا الأنبوب بمقدار ذرة كربون واحدة، فهو بمنزلة شريحة كربون (شريحة جرافين) بسمك ذرة واحدة تطوى على شكل أسطوانة. أمّا أنبوب النانو الكربوني متعدد الجدار فهو بمنزلة مجموعة من أنابيب النانو المتداخلة وحيدة الجدار، وذات المركز المتحد، ويتراوح قطر هذا الأنبوب ما بين ١٠ نانومترات إلى ٣٠ نانومتر، في حين يتراوح عدد الأنابيب وحيدة الجدار المكونة له في الغالب ما بين ٧ إلى ٢٠ أنبوبًا (انظر:الشكلين رقم ٣-٢٠ ، و٣-٢١).



شكل رقم(٣-٢٠) رسم توضيحي يوضح أنواع أنابيب الكربون المختلفة : (A) لوح من الجرافيت. (B) يوضح ثنيًا جزئيًا للوح الجرافيت. (C) أنبوب كربون وحيد الجدار. (D) يوضح أشكال ثلاثة أنواع من أنابيب الكربون :أنبوب وحيد الجدار، وأنبوب ذو جدارين، وأنبوب متعدد الجدار (٢٨).

ويظهر في الشكل رقم(٣-٢٠) رسم توضيحي يوضح الأشكال الثلاثة لأنواع أنابيب الكربون النانوية (أنبوب وحيد الجدار، وأنبوب ذو جدارين ، وأنبوب متعدد الجدار) . والشكلان (A،B)

يوضّحان صورة مسحية باستخدام (SEM) (انظر: الفصل الثالث). أمّا الشكلان (C،D) فيوضّحان صورة مسحية باستخدام (SEM) لأنبوب كربون نانوي ذي جدارين. في حين أنّ الشكل (E) يوضّح صورة مسحية باستخدام (TEM) (انظر: الفصل الثالث)، وهي خاصة بقطاع عرضي (cross-section) لأنبوب نانوي وحيد الجدار. أمّا الشكل (F) فيوضّح صورة مسحية باستخدام (TEM) وهي لمنظر مستعرض (transfer view) لأنبوب نانوي وحيد الجدار. في حين أنّ الشكل (G) يوضّح صورة مسحية عالية الوضوح باستخدام (TEM) لأنبوب متعدد الجدار. وأمّا الشكل(H) فيوضّح صورة مسحية باستخدام (TEM) لأنبوب كربوني ذي جدارين. في حين أنّ الشكل(I) يوضّح صورة مسحية باستخدام (AFM) (انظر: البنود رقم ٣و٦و٤ في الفصل الثالث) لأنبوب كربوني متعدد الجدار. أمّا الشكل(J) فيوضّح صورة مسحية باستخدام (AFM) لأنبوب كربوني متعدد الجدار على سطح من الذهب. في حين أنّ الشكلين (K،L) يوضّحان صورًا مسحية باستخدام (AFM) لأنبوب كربوني وحيد الجدار. وأمّا الشكلان (M،N) فيوضّحان صورًا مسحية باستخدام (STM) (انظر: الفصل الثاني) لأنبوب كربوني متعدد الجدار. في حين أنّ الشكلين (O،Q) يمثلان تكبيرًا للأشكال الموجودة في الشكلين (N،P). مع العلم أنّ كل أنبوب كربون نانوي له قطر يبلغ حوالي ١,٤ نانومترات، وارتفاع يبلغ أيضًا حوالي ١,٤ نانومترات، وعرض يبلغ حوالي ١٢٠ نانومتر(٢٨).



شكل رقم(٣-٢١) رسم توضيحي يوضّح الأشكال الثلاثة لأنواع أنابيب الكربون :أنبوب وحيد الجدار، وأنبوب ذو جدارين، وأنبوب متعدد الجدار. (C،D) رسم توضيحي يوضّح شكل أنبوب كربون نانوي ذي جدارين باستخدام جهاز (SEM). (C،D) رسم توضيحي يوضّح شكل أنبوب كربون نانوي وحيد الجدار باستخدام جهاز (SEM). (E، F) قطاع عرضي ومستعرض لأنبوب كربون نانوي وحيد الجدار باستخدام جهاز (TEM) (٢٨).

(٣-٣-٥) أشكال أنابيب الكربون النانوية (Structures of carbon nanotubes)

أنابيب الكربون النانوية بمنزلة صفائح مطوية من الجرافيت، ولها شكل أسطواني مجوف، وأبعاده الجانبية تصل إلى عدة نانوميترات. وبالطبع سيكتسب الأنبوب النانوي خواصه الفيزيائية من خواص الجرافيت ذي البعدين.

وبالنظر إلى التركيب المجهري على مستوى التركيب البنائي الدقيق لأنبوب النانو الكربوني، نجد أنّ هذا الأنبوب له وحدة بناء (شبيكة) سداسية الشكل (Hexagonal lattices)، وهي مكوّنة من ست ذرات كربون تتخذ الشكل السداسي.

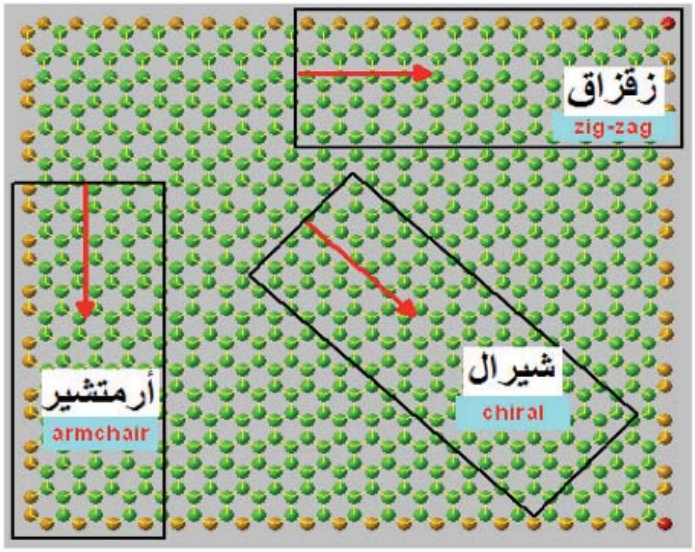
وجدير بالذكر أنّ أنابيب النانو الكربونية تنقسم إلى ثلاثة أنواع هي: تركيب كتف الكرسي(Armchair) والتركيب المتعرج (Zigzag) و تركيب تشرال (Chiral) ويعود السبب في تكوّن هذه الأنواع الثلاثة إلى عاملين مهمين هما :

أولاً: متجه تشرال لأنبوب النانو الكربوني (Chiral vector)، ويرمز له بالرمز (Ch) كما يعرف رياضيًّا بالعلاقة التالية (٤٣، ٤٤):

$$\vec{Ch} = n\vec{a}_1 + m\vec{a}_2$$

حيث $\vec{a}_1, \vec{a}_2$ يمثلان المتجهين الأحاديين ضمن الشبيكة ثنائية الأبعاد، n, m أرقام صحيحة.

ثانيًا: زاوية تشرال (Chiral angle) ويرمز لها بالرمز θ، وهي الزاوية المحصورة بين معامل تشرال، والمتجه $\vec{a}_1$. وهناك معامل آخر له تأثير في اختلاف تركيب أنبوب النانو الكربوني، وهو محور طيّ شريحة الجرافيت المكوّنة أنبوب النانو الكربوني؛ وذلك لأن اختلاف مواضع التقاء متجه تشرال يؤدي إلى اختلاف نوع الأنبوب. وبناء على ذلك، فإنّ أنبوب النانو الكربوني من نوع كتف الكرسي (Armchair CNT) يتكوّن عندما تكون زاوية تشرال تساوي ٣٠ درجة، ومعامل n يساوي معامل m ، أي: (n=m). وأمّا أنبوب النانو الكربوني من النوع المتعرج (Zigzag CNT) فيتكوّن عندما تكون قيمة n أو m تساوي الصفر، أي: n= ٠ أو m = ٠، وزاوية تشاورل تساوي صفرًا. وأخيرًا، فإنّ أنبوب النانو الكربوني من نوع



شكل رقم(٣-٢٢)يوضّح المعاملات المؤثرة في تكوين الأنواع الثلاثة لأنابيب النانو الكربونية(٤٥).

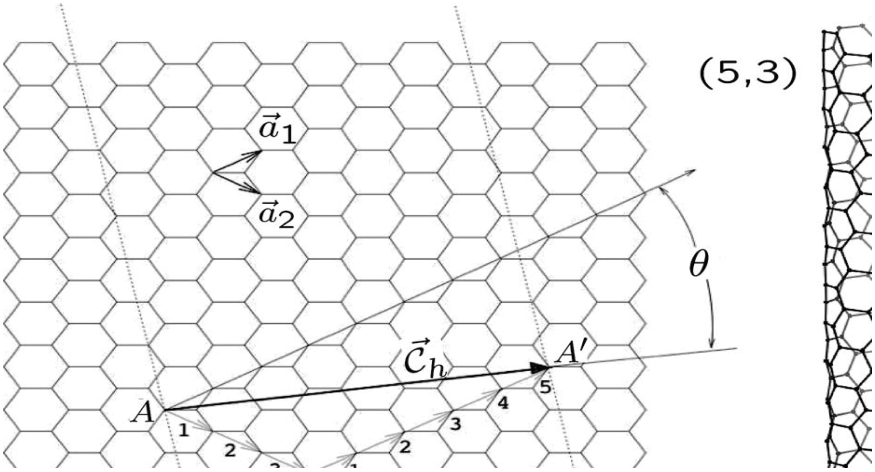
تشرال(Chiral CNT) يتكوّن عندما تأخذ زاوية تشرال أيّ قيمة ما بين صفر إلى ٣٠ درجة (انظر:الشكل رقم ٣-٢٢)(٤٥).

والأشكال الهندسية لأنابيب الكربون النانوية (انظر: الأشكال رقم ٣-٢٣، و٣-٢٤ ، و٣-٢٥) تعتمد على طريقة ثني (roll up) لوح الجرافيت؛ للحصول على الشكل الأسطواني، وهي:

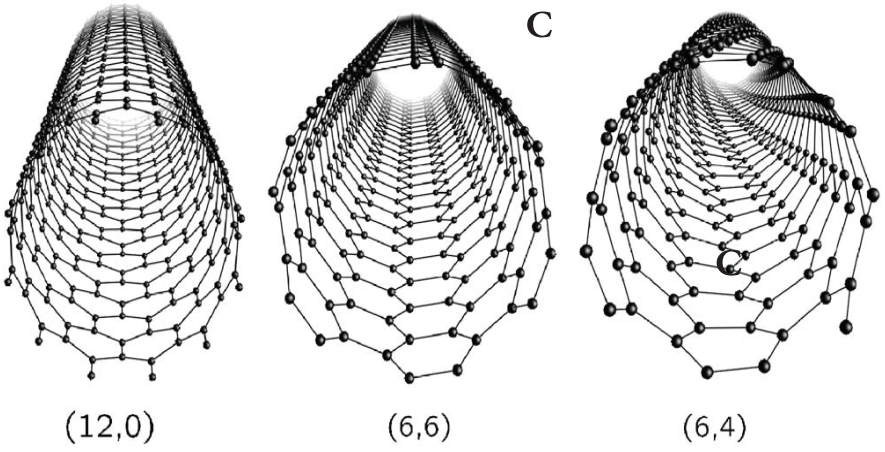
١- zigzag: وله بعدا $(n,0)$.

٢- chiral: وله بعدا (n,m).

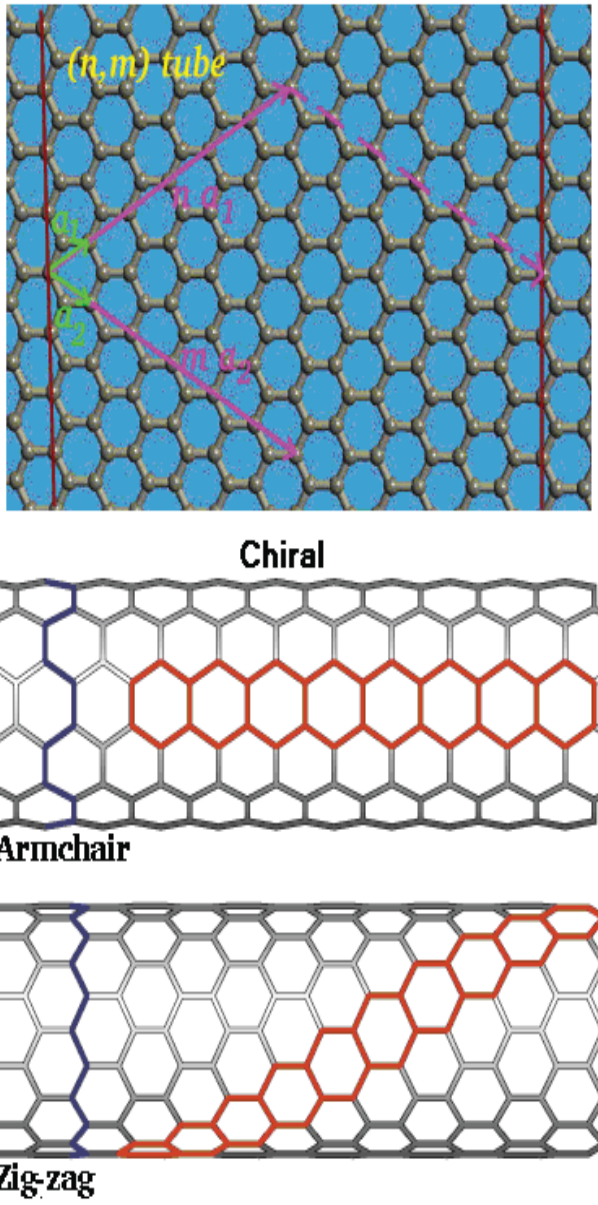
٣- armchair: وله بعدا (n,n).



شكل رقم (٣-٢٣)أنبوب كربون نانوي من نوع chiral ناتج عن ثني لوح جرافيت (٤٥).



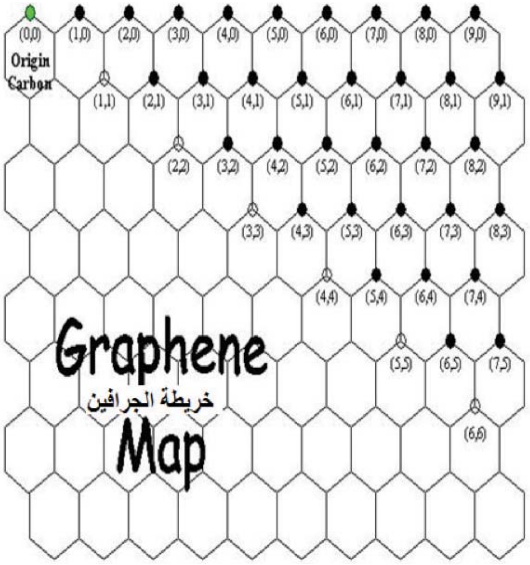
شكل رقم(٣-٢٤) (يسار) Zigzag ، (وسط) Armchair، (يمين) Chiral (٤٥).



شكل رقم (٣-٢٥) رسم توضيحي يبيّن الأشكال الهندسية لأنابيب الكربون النانوية (٤٥).

أمثلة على تكوين أنابيب الكربون النانوية:

الشكل رقم(٣-٢٦) مثال للوح من الجرافيت، مع ملاحظة كيفية احتواء ذرات الكربون على أرقام تشير إلى وضعها داخل لوح الجرافيت.



شكل رقم (٣-٢٦) ذرات الكربون محتوية على أرقام تشير إلى وضعها داخل لوح جرافيت (٤٥).

الشكل رقم(٣-٢٧) مثال لطيّ لوح من الجرافيت مكوّناً أنبوب كربون نانوي من النوع المتعرج. فبقطع الخطوط السوداء حول أحرف السداسيات نحصل في النهاية على أنبوب كربون نانوي من النوع المتعرج.

والشكل رقم (٣-٢٨) مثال لطيّ لوح من الجرافيت مكوّناً أنبوب كربون نانوي من نوع كتف الكرسي. وبالخطوات السابقة نفسها، سنحصل على الأنبوب النانوي.

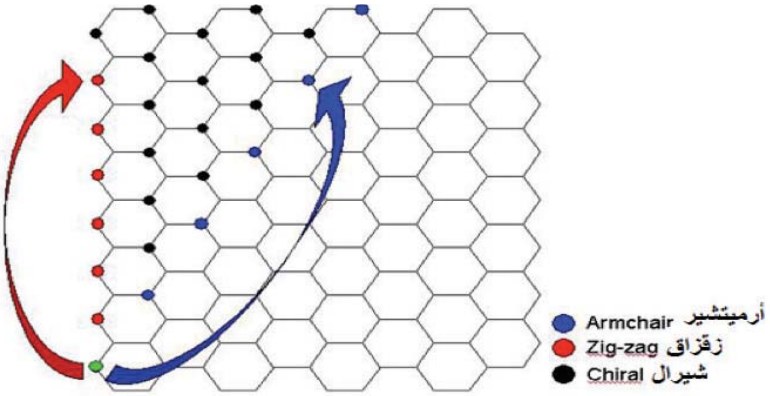
شكل رقم (٣-٢٧) أنبوب كربون نانوي من نوع الزقزاق ناتج عن طيّ لوح من الجرافيت (٤٥).

شكل رقم(٣-٢٨) أنبوب كربون نانوي من نوع كتف الكرسي ناتج عن طيّ لوح من الجرافيت (٤٥).

الشكل رقم(٣-٢٩) مثال لطيّ لوح من الجرافيت مكوّناً أنبوب كربون نانوي من نوع تشرال. وبالخطوات السابقة نفسها، سنحصل على الأنبوب النانوي.

والشكل رقم (٣٠٣٢) يوضّح كيفية طيّ لوح من الجرافيت مكوّناً أنبوب كربون نانوي في الحالات الثلاث.

شكل رقم (٣-٢٩) أنبوب كربون نانوي من نوع شاروول ناتج عن طيّ لوح من الجرافيت (٤٥).



شكل رقم (٣-٣٠)مخطط توضيحي لكيفية تكوين أنبوب كربون نانوي في الحالات الثلاث (٤٥).

(٣-٣-٦) خواص أنابيب الكربون النانوية (Properties of carbon nanotubes)

(٣-٣-٦-١) الخواص الميكانيكية (Mechanical properties)

إنّ الخواص الميكانيكية المذهلة لأنابيب النانو الكربونية تعود إلى قوى الربط غير العادية بين جزيئاتها. فمعامل ينج (معامل صلابة المادة) الذي يمثل نسبة الإجهاد الميكانيكي إلى الانفعال الميكانيكي لأنبوب النانو الكربوني يصل إلى حوالي١٠٠٠ جيجا بار (GPa) ، وهذه القيمة أكبر من قيمة معامل ينج للفولاذ (الذي يعدّ من أصلب المعادن المعروفة حتى الآن) بأكثر من خمس مرات. كما يبلغ إجهاد الكسر لأنابيب النانو الكربونية حوالي ٦٣ ميجا بار (MPa) ، وهذا الرقم أكبر من إجهاد الكسر للفولاذ بخمسين مرة(٣٩، ٤٦).

كما أنّ من الخواص الفريدة لأنابيب النانو الكربونية انخفاض كثافتها، حيث تتراوح كثافة هذه الأنابيب ما بين ١,٢٢ إلى ١,٤ جم/ سم٣، في حين تبلغ كثافة الألمونيوم(وهو من أخف المعادن المعروفة حتى اليوم) ٢,٧ جم/ سم٣، وهذا يعني أنه سيكون لهذه الأنابيب تطبيقات كبيرة جدًّا في مجال تقنيات الفضاء والطيران؛ وذلك لكونها ذات كثافة منخفضة جدًّا، أي: أنها خفيفة الوزن، وفي الوقت نفسه ذات قوة وصلابة عاليتين جدًّا تفوق صلابة المعادن.

وتعدّ أنابيب الكربون النانوية من أقوى المواد المعروفة على الإطلاق، حيث تمتلك متانة شدّ (Tensile Strength) عالية جدًّا، وهذا يعني أنّ قوة مقاومتها عالية لأي جهد أو ضغط

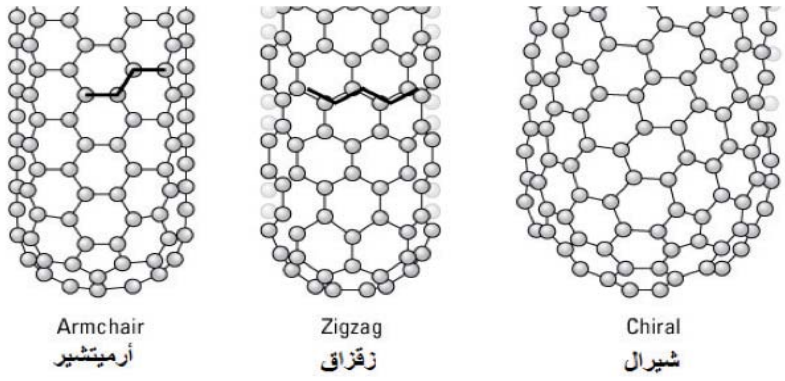
يقع عليها(Resist stress) ، كما أنها قوية جدًّا، ومن الصعوبة كسرها. وكذلك لها معامل مرونة(Elastic modulus) عالٍ جدًّا، ويعني هذا مقاومتها العالية لأي تغير في طولها، أو مساحة مقطعها عند تحميلها وزناً كبيرًا ، وتنشأ هذه الميزة بسبب وجود الروابط التساهمية القوية (Covalent sp2 bonds) بين ذرات الكربون، وبعضها بعضًا.

وأمّا الأكثر إثارة في هذا السياق، فهو أنّ أنابيب الكربون الدقيقة أقوى خمسين مرة من أسلاك الصلب، في حين تصل إلى ربع كثافة الصلب. والعجيب في الأمر أنها مهما تعرضت للكبس، فإنها تنثني وتلتوي دون أن تكسر، ثمّ تعود إلى شكلها الأصلي فور السماح لها بذلك. فبعد هذه الخواص الفيزيائية المبهرة، أليس من حق المحللين أن يتخيلوا سيارات بلا خدوش، وسترات واقية للحرائق في سمك الحرير؟!

كما أنّ أنابيب الكربون النانوية لها خواص حركية، حيث تمتلك أنابيب الكربون النانوية متعددة الجدار خاصية تسمى (Telescoping Property) ؛ ممّا يعني سهولة انزلاق الطبقة الداخلية على الطبقة الخارجية تقريبًا بدون احتكاك، سواء أكان ذلك على شكل انزلاق خطي (liner) أم دوراني (rotational) (٣٩).

(٣-٣-٦-٢) الخواص الكهربية (Electrical properties)

ذكرنا من قبل أنّ ترتيب الذرات على قدرة الأنبوبة يؤثر في توصيل الكهرباء، فنجد أنّ أنابيب الكربون النانوية ذات التركيب (Armchair) لها خواص الموصلات الفلزية (Metallic) ، في حين أنّ نوعي zigzag و Chiral يعدّان أشباه موصلات(Semi conductors).



شكل رقم (٣-٣١)مخطط توضيحي لأنبوب كربون نانوي في الحالات الثلاث (٢٩).

وتمتلك أنابيب الكربون النانوية خاصية تسمى النقل الإلكتروني القذفي (Ballistic electron transport) ، وهذا يعني أنها موصلات ممتازة على طول الأنبوب. كما تستطيع أنابيب الكربون الفلزية (Metallic) أن تحمل تيارًا كهربيًّا كثافته حوالي 109A/cm2×4 (٤٨)، وهذا أعلى ١٠٠٠ مرة من قدرة موصل جيّد الكهرباء، مثل: النحاس(106A/×3.1 cm2)(٢٤، ٤٩). فالأسلاك التقليدية موصلة الكهرباء تتركب عادة من سلك نحاس يحيط به مطاط يعزل الكهرباء. أمّا بعد اكتشاف أنابيب الكربون النانوية، ومعرفة خواصها الكهربية، فقد فكر العلماء بإمكانية عمل موصل كهرباء كامله من أنابيب الكربون النانوية، حيث تتكوّن من طبقتين: حيث الداخلية موصلة الكهرباء، في حين أنّ الخارجية عازلة الكهرباء. وأنابيب النانو الكربونية لها خصائص إلكترونية غير اعتيادية، فيمكنها أن تكون موصلة، كما يمكنها أن تكون شبة موصلة، وذلك بناء على تركيبها، فبعض هذه الأنابيب تمتلك موصلية كهربائية أعلى من النحاس، حيث إنّ بعض الحسابات تشير إلى استطاعة هذه الأنابيب حمل تيار كهربائي بقوة مليار أمبير لكل سم مربع، مع العلم أنّ النحاس ينصهر تمامًا إذا مرّ فيه تيار بقوة مليون أمبير لكل سم مربع. وبعض هذه الأنابيب لها خصائص السيلكون، أي: أنها تتصرّف تصرّف أشباه الموصلات. والخواص الكهربية لأنابيب الكربون الدقيقة تفيد بإمكانية إنتاجها في المعادن، وأشباه الموصلات، وذلك بالتطابق مع طريقة تشكيل ذرات ألواح الكربون، فإذا لففنا الكربون على الشكل الأسطواني، حيث يتصل طرفا الأنبوب الكربوني، سنحصل على أنبوب نانوي موصل الكهرباء تمامًا، وشأنه في ذلك شأن سلك معدني بالغ الدقة. أمّا إذا التوت الأنبوبة بميل معين فإننا سنحصل على نسخة مصغرة من أشباه الموصلات، والتي يمكن أن تحل محل ترانزستورات السيلكون، وهي قاعدة بناء الرقائق الإلكترونية. والأغرب من ذلك أنّ الأنبوب النانوي موصل الكهرباء أفضل من النحاس؛ ممّا يجعله بديلاً ملائمًا للتوصيلات الكهربية الدقيقة داخل رقائق الحاسوب، بل إنّ الأنبوب ينقل الحرارة أفضل من الماس.

(٣-٣-٦-٣) الخواص الحرارية (Thermal properties)

أنابيب الكربون النانوية موصلات حرارية ممتازة على طول الأنبوبة، وعازلة عموديًّا تقريبًا على محور الأنبوبة، وهو ما يسمى التوصيل القذفي.(ballistic conduction) ومن المتوقع أن تبلغ قدرة أنابيب الكربون النانوية على توصيل الحرارة حوالي ٦٠٠٠ وات/متر/كلفن في درجة حرارة الغرفة العادية، وهذا مقارنة بالنحاس، وهو موصل جيّد الحرارة، وتبلغ قدرته على التوصيل حوالي ٣٨٥ وات/ متر/كلفن فقط.

ويبلغ الثبات الحراري (Thermal stability)لأنابيب الكربون النانوية حوالي ٢٨٠٠

درجة مئوية في الفراغ، وحوالي ٧٥٠ درجة مئوية في الهواء. وهذا يعني أنها تظل محتفظة بخواصها، وبناء مادتها حتى تصل إلى درجات الحرارة المرتفعة تلك. وأنابيب النانو الكربونية لها أيضًا خواص حرارية غير اعتيادية، فهي تملك موصلية حرارية أعلى مرتين من الماس الذي يعدّ أكثر المواد توصيلاً الحرارة، وكل هذه الخواص وغيرها تعتمد على طبيعة تركيب هذه الأنابيب.

ويظهر الجدول التالي أهم خصائص أنابيب الكربون النانوية على النحو التالي:

جدول رقم (٣-١)

الحجم	نصف قطرها يتراوح ما بين ٠,٦ إلى ١,٨ نانومترات.
الكثافة	تتراوح ما بين ١,٣ إلى ١,٤٠ جم/ سم^3.
قوة الشدّ	45 بليون باسكال.
المرونة	يمكن ثنيها بزاوية كبيرة دون أن تنكسر.
سعة التيار المحمول	يقدر ببليون أمبير /سم^2.
التوصيل الحراري	يتوقع أن يوجد عند ٦٠٠٠ وات/ متر/ كلفن.
درجة حرارة الثبات	تكون مستقرة (ثابتة) حتى ٢٨٠٠ درجة مئوية في الفراغ.

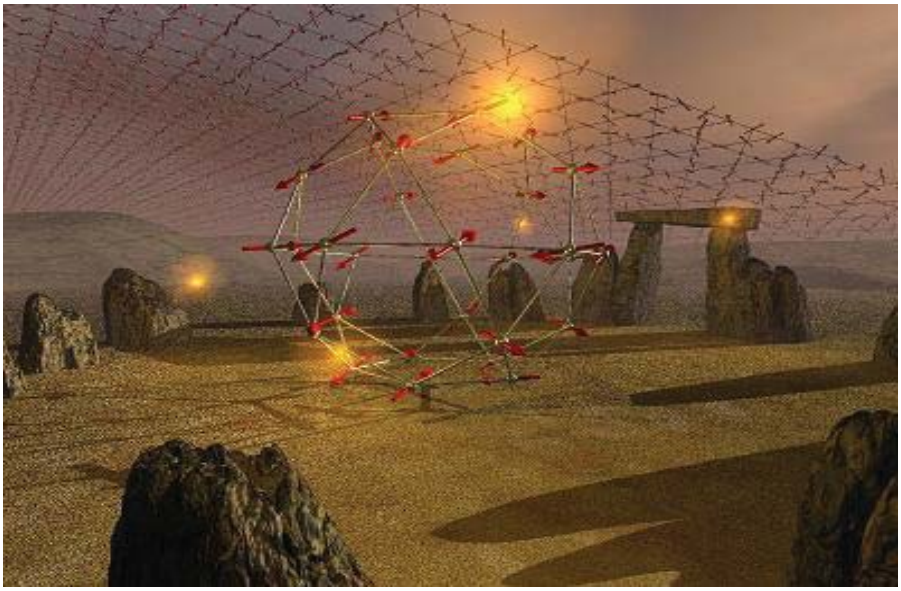
(٣-٣-٧) استخدامات أنابيب الكربون النانوية (Using of carbon nanotubes)

تواجه الاستفادة من خواص أنابيب الكربون النانوية الميكانيكية بعض الصعوبات، فأطول أنبوب كربوني أنتج لم يزد طوله عن ٢٠ سنتيمترًا، كما أنّ وضعها داخل المواد الأخرى، مثل: الخرسانة أدى إلى نتائج عكسية. بالإضافة إلى كون ثورة النانوتيوب في الوقت الحالي في مراحلها الأولى، فالبلاستيك المزوج بأنبوب النانو متعدد الطبقات منخفض الثمن، وإضافة أنبوب النانو إلى البلاستيك يجعله موصلاً التيار الكهربي أفضل من النحاس. ويقول ديفيد كارول من جامعة كليمسون في جنوب كارولينا:» إنه عند إضافة أنبوب كربوني نانوي إلى بعض أنواع البلاستيك موصل الكهرباء، مثل: بولي أنيلين(Polyaniline) ، يجعله أفضل من الموصلات النحاسية، ويمكن استبدال الموصلات النحاسية السميكة في الطائرات بموصلات بلاستيكية خفيفة الوزن؛ ممّا يؤدي إلى تخفيض استهلاك الوقود»(٥٠).

وأكثر مجالات النانوتيوب إثارة هو تأثيرها في المواد البلاستيكية المنتجة الجهد الكهربي حال تعرضها لمؤثر خارجي: كالضغط، أو الحرارة، والمعروفة علميًّا باسم «بيرو بلاستيك». واكتشف كارول أيضًا أنّ فلوريد البولي فينيلايدين (Polyvinylidenefluoride) ، والمستخدم على نطاق واسع داخل أجهزة الأشعة الصوتية، قد لوحظ تضاعف حساسيته للضغط ثلاث مرات بعد رش

النانوتيوب على سطحه. والمثير أنّ كمية النانوتيوب المطلوبة قليلة جدًّا، وتكفي قطعة واحدة لكل ٨٠٠٠ قطعة بوليمر. إنّ أحد التفسيرات العلمية للتحسن في خواص «بيزوبلاستيك" الكهربية يظهر أنّ النانوتيوب تثبت جزيئات البلاستيك التي تفقد هيكلها أثناء إنتاجه، وتعرضه للسحب، والضغط، والثني.

كما أضاف كارول وزملاؤه نانوتيوبًا إلى الخلايا الشمسية البلاستيكية، ووجدوا أنّ كفاءتها زادت بمقدار ٥٠ ألف مرة في تحويل الطاقة الشمسية إلى تيار كهربي عن نظيرتها بدون وجود النانوتيوب. ويحرص الباحثون على صناعة الخلايا الشمسية من البلاستيك؛ لأنّ البوليمر منخفض الثمن، ويمكن إنتاجه بكميات كبيرة، حيث إنّ أشعة الشمس عندما تسطع على ألواح البوليمر تحرّر الإلكترونات، والثقوب موجبة الشحنة؛ لتتوجه إلى الأقطاب الكهربية من أجل توليد التيار الكهربي. وإلى الآن لم تستطع الشحنات الكهربية المتكوّنة على سطح البوليمر من أشعة الشمس الحركة عبر مادة البوليمر بسهولة؛ لأنها تتجمّع مرة أخرى، فتولد إضاءة قبل وصولها إلى الأقطاب الكهربية، وبقياس ذلك وجد أنه يولد من كل مليون فوتون واحد فقط تيار كهربي، وليس هذا فحسب، بل عمره قصير أيضًا، فبعد ساعتين من تعرضه لأشعة الشمس، يتسلل الأكسجين إليه، فيبدد شحنته الكهربية. بيد أنّ وضع شبكة من النانوتيوب على سطح البوليمر يفتح للشحنات الكهربية الطريق إلى الأقطاب الكهربية. وقد نجح كارول وزملاؤه في رفع كفاءة الخلايا الشمسية من البوليمر إلى ٥٠ ألفاً في المليون بدلاً من واحد؛ ممّا أطال عمرها، وأعطاها جدوى اقتصادية. ومن المعلوم أنّ الخلايا الشمسية من السيلكون تفوقها بمرات كثيرة، ولكن كارول يتوقع الاهتمام بالخلايا المزودة بالنانوتيوب؛ لأنها تستخدم في عمل مجموعات من الخلايا المولدة التيار الكهربي.



شكل رقم (٣-٣٢) الخلايا الشمسية البلاستيكية المطعمة بأنابيب الكربون النانوية (١٠).

وقد استفاد مصنعو السيارات من كفاءة النانوتيوب في التوصيل الكهربي، وكذلك فعل مصنعو الإلكترونيات، حيث استفادوا من خواص النانوتيوب في جراب حفظ الرقائق، وأقراص التخزين المصنوعة من البلاستيك المطعم بالنانوتيوب؛ ليبدّد أيّ شحنة كهربية قبل وصولها إلى الرقائق.

في حين تسعد شركات الإلكترونيات باستخدام أنابيب الكربون الدقيقة؛ لتغليف منتجاتها، وستسعد أكثر حينما تنجح في استخدامها في صناعة الرقائق الإلكترونية، ففي كل ١٨ شهرًا يضاعف المهندسون عدد المفاتيح الكهربية (switches) للترانزستورات المكوّنة من طبقات تعدّ من أشباه الموصلات والإلكترونات الموصلة داخل رقائق المعالجات. وللاستمرار في هذا الاتجاه، لا بدّ من تكوين ترانزستورات دقيقة من السيلكون، حيث إنه من المؤكد أننا خلال سنوات معدودة سنصل إلى جعل الترانزستورات صغيرة جدًّا، وذلك على نحو يمكن الإلكترونات من اختراق طبقاتها العازلة، ومن ثمّ تؤدي إلى تعطيل عمل الرقائق؛ لذلك نحن بحاجة إلى ثورة إلكترونية. وأحد مقترحات هذه الثورة الإلكترونية المطلوبة هي: أخذ ترانزستورات من النانوتيوب، بحيث تكون متصلة بأسلاك من النانوتيوب، وهذا يعتمد على النانوتيوب وحيدة الجدار

(single walled)، والتحدي الرئيس يكمن في السعر المعقول لهذه الأنابيب النانوية (٥١).

ومن أهم استخدامات أنابيب الكربون النانوية ما يلي :

(٣-٣-٧-١) أجهزة الانبعاث الإلكتروني (Electric field emission system)

إنّ تقنية الانبعاث الإلكتروني من التقنيات المهمّة جدًّا، وهي أساس كثير من التطبيقات الصناعية، مثل: صناعة شاشات العرض التلفازية، والمسطحة ، وكذلك تقنيات الأشعة الطبية المختلفة. وللوقوف على أهمية أنابيب النانو الكربونية في هذا المجال، لك أن تعرف أنه إذا وضع أنبوب النانو الكربوني في مجال كهربائي، فإنه يبعث سيلاً من الإلكترونات من أحد طرفية مباشرة، وكأنه خرطوم ماء ذو طاقة عالية، يقذف الماء من فوّهته. وهذه الخاصية الفريدة لأنابيب النانو الكربونية جعلت منها أداة عالية الكفاءة، بحيث تحل محل تقنية المدفع الإلكتروني القديمة، وذلك في مجال صناعة شاشات العرض الفسفورية لأجهزة التلفاز. وبالفعل سوّقت بعض الشركات حاليًّا لجيل جديد من شاشات العرض الفسفورية.

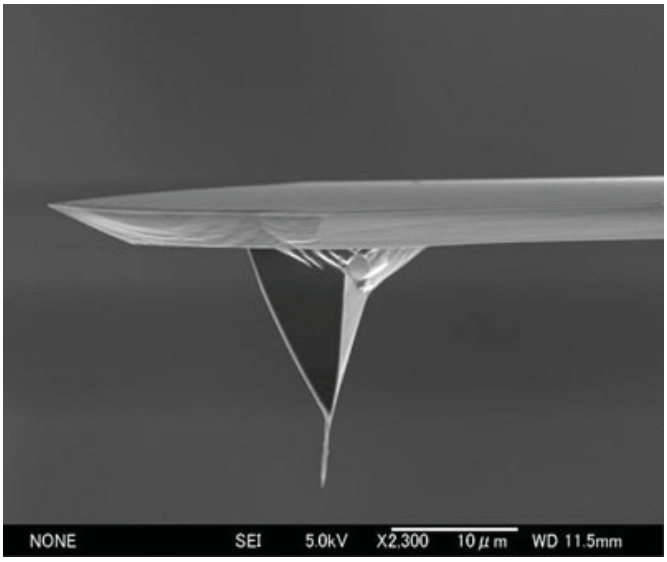
وجدير بالذكر أنه باتباع المبدأ السابق نفسه، يمكن استخدام أنابيب النانو الكربونية في تطبيقات الأشعة الطبية، والمصابيح الكهربائية، وفي إنتاج موجات الميكرو. وأخيرًا، فإنّ هذا التطبيق(أي: استخدام هذه الأنابيب في أجهزة الانبعاث الإلكتروني) مازال يحتاج إلى المزيد من الدراسة؛ للوقوف على خاصية الانبعاث لأنابيب النانو الكربونية التي تنشأ من حزم الطاقة المنفصلة، لا من حزم الطاقة المستمرة كما هو الحال في المواد الكبرى، وكذلك تعتمد اعتمادًا كبيرًا على التركيب الدقيق لهذه الأنابيب(١٠).

(٣-٣-٧-٢) مجهر القوة الذرية (Atomic Force Microscopy)

إن دقة وكفاءة مجاهر القوة الذرية التي تعدّ أحد مجاهر المجسّات الماسحة تعتمد اعتمادًا كليًّا على خصائص وأبعاد مجسّاتها التي تستخدم في دراسة أسطح المواد، كما تعتمد على طبيعة المواد التي تصنع منها هذه المجسّات. وفي الغالب تصنع هذه المجسّات المستخدمة في دراسة أسطح المواد من التنجستن، أو البلاتينيوم، أو السيلكون، وتأخذ شكلاً مدبّبًا (مخروطيًّا تقريبًا)، وتتراوح سماكتها ما بين ١٠ إلى ٥٠ ميكرومتر، بحيث تعطي قوة تمييز تصل إلى المستوى الذري كما ذكرنا ذلك في «قسم تقنيات النانو».

وقد استخدمت حديثاً أنابيب النانو الكربونية في تحسين كفاءة هذا المجسّ «المسار»، وذلك بإضافة أنبوب في النهاية الدقيقة لهذا المجسّ (Probe tip)؛ ليمثل رأسًا له، ومن ثمّ القيام بعملية دراسة أسطح المواد. وقد رفعت هذه التقنية قوة تمييز المجسّ التقليدي إلى أكثر من عشر مرات. كما ساعد

المجسّ الجديد الذي يستخدم أنبوب النانو الكربوني على زيادة عمر استخدام هذا المجسّ، وكذلك قلل من مشكلة تشويه سطح العينة المدروسة؛ وذلك للخصائص الميكانيكية العالية التي تتميز بها أنابيب النانو الكربونية. ويظهر الشكل رقم (٣-٣٥) مجسّ مجهر القوة الذرية المحسّن بأنابيب النانو الكربونية، وواضح من الشكل أيضًا دقة مجسّ النانو، وذلك مقارنة بالمجسّ القديم الذي تقل سماكته عن ٥٠ ميكرومتر(١٠).



شكل رقم(٣-٣٣)مجسّ مجهر القوة الذرية المحسّن بأنابيب الكربون النانوية (١٠).

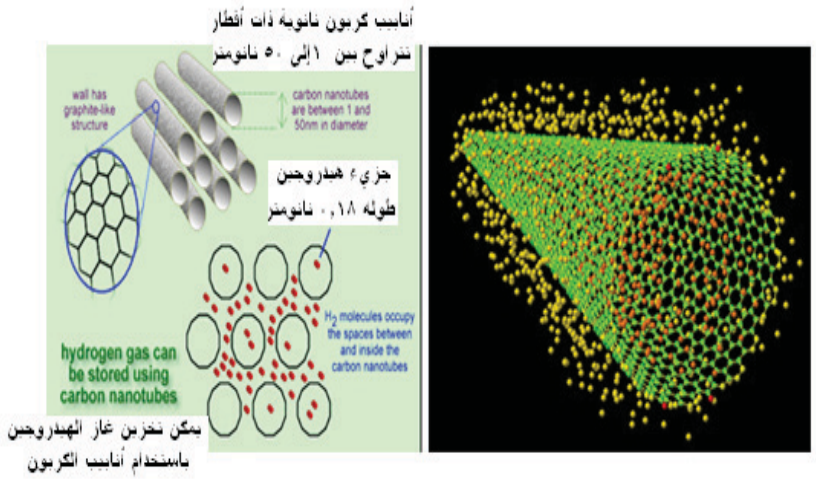
(٣-٣-٧-٣) تخزين الهيدروجين (Hydrogen storage)

إنّ خلايا الطاقة الهيدروجينية بمنزلة أجهزة كهروكيميائية، ويستخدم غاز الهيدروجين، وغاز الأكسجين كمواد كيميائية في تشغيل هذه الخلايا. وخلايا الطاقة هذه تعطي مصدرًا للطاقة الكهربائية التي يمكن أن تستخدم في تشغيل السيارات الكهربائية، وأجهزة الحواسيب المحمولة (اللابتوب).

وتعدّ هذه التقنية من التقنيات الحديثة التي مازال الباحثون يواصلون فيها البحث والدراسة أملاً في تطويرها، وتحسينها؛ لتصبح مصدرًا نظيفاً وآمناً للطاقة الكهربائية. وقد قدمت أنابيب النانو الكربونية حلاًّ كبيرًا لمشكلة تخزين غاز الهيدروجين، حيث تعدّ صعوبات تخزينه من أكبر المعوقات التي تقف في طريق تقدم تقنية خلايا الطاقة الهيدروجينية؛ إذ تتميز هذه الأنابيب بقدرتها الفائقة

على امتصاص كمية كبيرة من غاز الهيدروجين، ومن ثمّ يمكن إضافة أنابيب النانو الكربونية إلى خزانات وقود غاز الهيدروجين التي توفر مستودعات ذات قدرة عالية التخزين لغاز الهيدروجين ذي الطبيعة الخطرة.

وفكرة التخزين هذه موضّحة في الشكل رقم (٣-٣٤) (١٠).



شكل رقم(٣-٣٤)فكرة استخدام أنابيب الكربون النانوية في تخزين غاز الهيدروجين (١٠) .

(٣-٣-٧-٤) أجهزة الاستشعار عالية الحساسية (Highly sensitive sensors)

عندما تتعرض أنابيب النانو الكربونية شبه الموصلة لبعض الغازات، مثل: القلويات، والهلوجين، وذلك في درجة حرارة الغرفة، فإنّ مقاومتها الكهربائية تزداد ازديادًا كبيرًا. وهذه الخاصية المميزة لأنابيب النانو الكربونية تجعل منها مواد مثالية في تقنيات الاستشعار. إنّ أنابيب النانو الكربونية تستطيع رفع حساسية أجهزة الاستشعار التقليدية عالية الكفاءة إلى ١٠٠٠ مرة تقريبًا(١٠).

(٣-٣-٧-٥) التشخيص بأشعة أكس (X-ray diagnoses)

معلوم أنّ استخدام أشعة أكس؛ للحصول على صور تشخيصية لجسم الإنسان تظهر صور العظام بدون الأنسجة الحيّة؛ وذلك بسبب التباين الكبير بين مادة العظام والأنسجة في جسم الإنسان من منظور أشعة أكس. وتحقن مواد ذات تباين عالٍ، مثل: الأيودين (iodine) في جسم الإنسان؛ للحصول على صور للأغشية الحيّة، مثل: تصوير المعدة، أو الأوعية الدموية، أو في أي مكان يتوقع فيه وجود خلايا سرطانية. ولكن مادة الأيودين تتحرك في الأوعية الدموية لجسم الإنسان؛ ممّا يجعل

توجيهها إلى منطقة بدقة في جسم الإنسان أمرًا صعبًا.

وتوجد حاليًّا وسيلة متطوّرة، تجعل استخدام أشعة أكس في تصوير الأنسجة الحية للجسم أفضل من ذي قبل. واكتشف هذه الوسيلة لون ويلسون (Lon Wilson) في جامعة رايس في هيوستن بالولايات المتحدة الأمريكية مع زملائه. وتعتمد فكرته على استخدام الأنابيب النانوية الكربونية التي تزرع في الخلايا الحيّة.

لقد عبّأ فريق البحث بقيادة ويلسون أنابيب الكربون النانوية بالأيودين، ثمّ وضعوها على غشاء رقيق من البروتين الذي يتحد مع خلايا محددة في جسم الإنسان، وبهذا تصبح أنابيب الكربون النانوية المعبأة بالأيودين داخل الخليّة الحيّة المراد تشخيصها (انظر: الشكل رقم ٣-١٢). وبالإضافة إلى دقة توجيه الأيودين بهذه الطريقة إلى خلايا محددة، فإنها تمكث فترة أكبر؛ لمزيد من الفحوصات إن تطلب الأمر ذلك؛ لأنّ مادة الأيودين أصبحت الآن في داخل الخليّة، وليست مارة بجانبها عبر الأوعية الدموية(٥٢).

(٣-٣-٧-٦) مصعد الفضاء (Space elevator)

إنّ إحدى المشكلات التي تمنع تطور مصعد الفضاء تكمن في كون الفولاذ المستخدم عادة في المصاعد ثقيلاً جدًّا، على الرّغم من عدم قوته بما يكفي. كما أنّ معظم الوزن الذي يحمله كيبل (cable) المصعد في بناء مرتفع هو وزن الكيبل نفسه. ولألياف الأنابيب الكربونية الرفيعة جدًّا تركيب يشبه الفوليرين، وهي تفوق الفولاذ في قوة تحملها بمئات المرّات.

ويتحمل خيط واحد من ألياف أنبوب رفيع جدًّا(وقطره يقل عن قطر قلم الرصاص) ٢٠ سيارة بالحجم الطبيعي (أي: حوالي ٤٠٠٠٠ كيلوغرام). وقد أصبحت ألياف الأنابيب الكربونية الرفيعة جدًّا القوة المحركة الأساسة في فكرة مصعد الفضاء (انظر:الشكل رقم ٣-٣٥).

ومايزال إنتاج ألياف النانوتيوب الكربونية الرفيعة جدًّا بكميات كبيرة أمرًا ذا صعوبة عالية.

وجدير بالذكر أنّ التقنيات الحالية (مثل: تبخير قضبان الكربون، أو جلب غازات الكربون الساخنة، وربطها؛ لتشكيل هذه الأنابيب الجزيئية) تنتج كميات ضئيلة، قد تكفي متطلبات تجارب المختبرات، ولكنها لا تكفي متطلبات صنع شرائط طويلة. ومع هذا فإنّ التطورات الجديدة في تكنولوجيا الإنتاج تمرّ بتقدم سريع.

وهناك الكثير من تطبيقات أنابيب النانو الكربونية التي تعدنا بها تقنية النانو، ولعلّ من أبرزها استخدام هذه الأنابيب في تنقية المياه والهواء، وكذلك في تحسين الخواص الكيمائية والحرارية لمواد البلاستيك (البوليمر). إنّ فهم هذه الأنابيب فهمًا دقيقاً، والتحكم في تصنيعها، وتركيبها سيزيد-

بإذن الله- مجالات تطبيقاتها، وهذا بالطبع سينعكس انعكاسًا إيجابيًّا على تطوير جوانب حياتية كثيرة للإنسان في المستقبل القريب.

(٣-٤) فقاعات الكربون الدقيقة (Carbon nanofoam)

اكتشفت الصورة الخامسة للكربون في عام ١٩٩٧م، وذلك من العالم الأسترالي أندريه رود (Andrei V. Rode)، وبالاشتراك مع فريق علمي بالجامعة الوطنية الأسترالية بكمبرا (Australian National University in Canberra).

وقد حصل على فقاعات الكربون الدقيقة عن طريق حرق كمية من الجرافيت بواسطة جهاز ليزري في جوٍّ من غاز الأرجون. وفقاعات الكربون هذه مادة مسامية سوداء، تبدو كشبكة مغناطيسية (انظر: الشكل رقم ٣-٣٦) بالغة الدقة، وقليلة الكثافة، وهي شبيهة بالجرافيت. وبحسب رؤية أندريه رود، فإنّ النانوفوم يتكوّن من حوالي ١٠٠٠٠ ذرة كربون. ويتراوح قطر كل منها ما بين ٦- ٩ نانومترات. وعلى الرغم من عدم وجود تطبيقات حالية للنانوفوم، فإنه يتوقع أن يكون لها استخدامات طبية في المستقبل القريب- بإذن الله- (٥٣).

شكل رقم (٣-٣٥) تصميم افتراضي يبين أنموذجًا لمصعد فضائي باستخدام أنابيب الكربون النانوية (٥٣).

(٣-٤-١) خواص فقاعات الكربون (Properties of carbon nanofoam)

من خواص فقاعات الكربون أنها مادة سوداء مسامية، هشة وسهلة الكسر، ولها خواص مغناطيسية، ولا تنحل بسهولة؛ لأنه يمكنها أن تتعرض لآلاف من الدرجات الفهرنهايتية قبل أن تنحل. ويمكن حفظ النانوفوم في درجات حرارة منخفضة جدًّا، بحيث تصل إلى سالب ٩ درجات مئوية (٥٣).

شكل رقم (٣-٣٦)فقاعات الكربون النانوية (٥٣).

الفصل الرابع

التطبيقات الحالية والمستقبلية لتقنية النانو (Application of nanotechnology)

(٤-١) مقدمة

تعدّ تقنية النانو من التقنيات الواعدة التي ينتظر منها أن تؤدي إلى تغييرات كبيرة في مجالات كثيرة، وخاصة المجالات الطبية والصناعية، وأن تسهم في التوصل إلى مواد ومنتجات مستحدثة.

وقد سوّقت بالفعل منتجات الجيل الأول من منتجات النانو، مثل : الدهانات، والأغلفة، ومستحضرات التجميل. وثمة المزيد من المنتجات التي قيد التحضير حاليًّا، مثل: المستحضرات الدوائية، ووسائل التشخيص، وتطبيقات تخزين الطاقة وإنتاجها. وقد حاولت دراسات كثيرة تقدير التوقعات المتصلة بسوق التقنية النانوية عبر مختلف المعطيات. وتشير التقديرات المتصلة بالإلكترونيات النانوية (الموصّلات الجزيئية، والمكثفات الكهربائية الفائقة، والتخزين النانوي، وأجهزة الاستشعار النانوية) إلى أنّ قيمة مبيعاتها ستصل إلى قرابة ٤٥٠ مليار دولار بحلول عام ٢٠١٢م. وستستحدث في المستقبل المزيد من المنتجات النانوية المرتكزة على البنى النانوية(٢١).

وتفترض تقنية النانو حاليًّا استحداث مواد جديدة، وتركيبها على مستوى الجزيئات والذرات. والرأي السائد إزاء ذلك يظهر أنّ استخدام مثل هذه التقنيات المتقدمة سيساعد البشرية على حل المشكلات العالمية المتعلقة بتوفير الطعام، والوقود، والطاقة، وكذلك التغلب على الأمراض الفتاكة، وإيجاد تقنيات معلوماتية وإعلامية ممتازة؛ ولذلك أدرجت دول كثيرة تطوير تقنيات النانو في عداد برامجها الوطنية ذات الأولوية. فالنفقات العالمية الإجمالية على المشاريع النانوية تتجاوز الآن أكثر من تسعة مليارات دولار سنويًّا(٢١).

ويعدّ علم النانو أقرب العلوم دون منازع إلى مصطلح العلوم متعددة التخصصات، حيث إنّ تقنية النانو تستخدم في مجالات متنوعة، مثل: مجال الطاقة وتقنياتها، ومجال الاتصالات والمعلومات، ومجال حفظ الأغذية وتصنيعها، وحتى في صناعة بعض الأدوات المنزلية. ولعلّ الاستخدام المكثف لتقنية النانو كان في المجالين الطبي والعلمي.

كما استطاع العلماء بناء مجهر، مثل: المجهر النفقي الماسح (انظر: الفصل الثاني) الذي يستخدم في تصوير الذرات، والجزيئات، وتحريكها من مواضعها؛ لبناء تركيبات جديدة لها، أو إنتاج مواد جديدة غير معروفة من قبل. فتقنية النانو تركز في أساسها على تعديل البناء الذري أو

الجزيئي للمادة؛ لبناء تراكيب جديدة، وبتكلفة اقتصادية منخفضة، فمثلاً: يمكن باستخدام تقنية النانو تحويل الفحم الحجري إلى ألماس.

ولتقنية النانو تطبيقات كثيرة، ومن أبرزها مجال تقنية المعلومات، حيث إنّ شركة IBM أنتجت مجهرًا؛ لتصوير الذرات، وتسجيلها باستخدام رؤوس أقراص صلبة على مستوى النانو. كما أنّ هناك حلمًا مفاده:استبدال الكهرباء بالضوء عبر إبطاء الضوء، وتخزينه، ومعالجته؛ لأنّ ذلك سيؤدي إلى تطورات جذرية في مجال أداء الحاسب الآلي، وكل الأجهزة الإلكترونية الأخرى، وسيتمكن- بإذن الله- من إنتاج أجهزة صغيرة جدًّا، وزهيدة الثمن، وسيظهر في المستقبل القريب-إن شاء الله- ما يمكن أن يسمى الحاسب الإلكتروني الضوئي.

ومن التطبيقات الطبية المحتملة لتقنية النانو، تطوير فأر إلكتروني يزرع داخل الشرايين؛ لإذابة الكتل الدهنية لدى مرضى القلب(٢٧) .

ويتساءل كثير من الناس فيطرحون أسئلة، مثل: هل من المفيد في الظروف الراهنة استثمار مليارات الدولارات في تطوير تكنولوجيا النانو؟ وهل سيجلب ذلك إلى الناس الخير أم أنه سيجلب إليهم مصائب جديدة غير متوقعة، وغير معروفة سابقاً؟ ويعلق كثير من العلماء المتفائلين آمالاً كبيرة على تقنيات النانو، حيث يعدّونها قادرة على حل مشكلات علمية كثيرة، وخاصة الطبية التي حتى الآن يقف الطب عاجزًا عن وجود علاج لها، مثل: أمراض السرطان. أمّا المتشائمون فيؤكدون على أنّ كل النجاحات في تقنيات النانو لاتزال حتى اليوم على الصعيد النظري فقط. ولا ينتظر ظهور نتائج تطبيقية قبل عشر سنوات. وبهذا الخصوص يُطرح السؤال التالي: هل من الحكمة أن نستثمر اليوم مليارات الدولارات على هذه التقنية، ونحن في ظروف الأزمات المالية العالمية؟ لا سيّما أنها قد تنطوي على مخاطر غير قليلة إلى جانب المنافع المتوقعة منها. ويرى بعض العامة والعلماء أنّ بعض المواد المستحدثة عبر هذه التقنية قد تغيّر حياة الإنسان تغييرًا لا يمكن توقعه. وسنعرض في هذا الفصل أهم التطبيقات الحالية والمستقبلية لتقنية النانو(٢٤).

(٤-٢) التطبيقات الطبية لتقنية النانو (Medical application)

تعدّ التطبيقات الطبية لتقنية المواد المتناهية في الصغر (النانو) من أهم التطبيقات الواعدة على الإطلاق، فمن المحتمل الحصول على مركبات نانوية تدخل إلى جسم الإنسان، وترصد مواقع الأمراض، وتحقن الأدوية، وتأمر الخلايا بإفراز الهرمونات المناسبة، وترمم الأنسجة. كما يمكن

لهذه المركبات الذكية أن تحقن الأنسولين داخل الخلايا بالجرعات المناسبة. أمّا أجهزة الاستشعار النانوية فيمكن زرعها في الدماغ؛ لتمكن المصاب بالشلل الرباعي من السير.

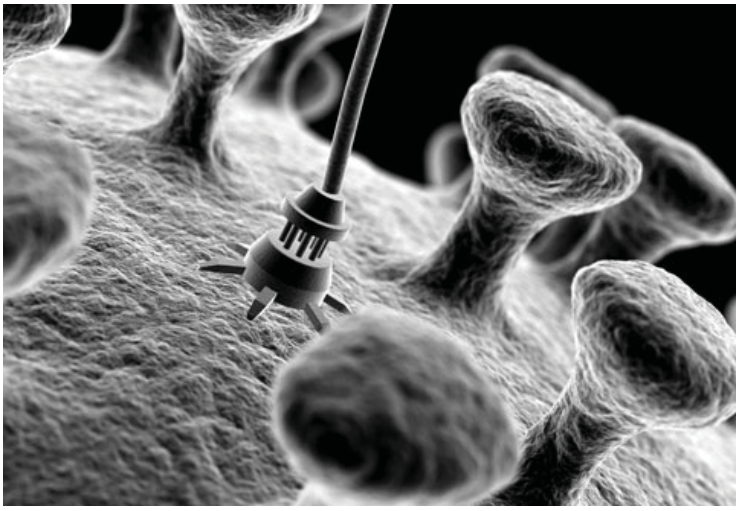
ولقد حُصل على طاقم أسنان سليكوني لا يزيد حجمه عن حجم الخلية، ويستطيع ابتلاع الكريات الحمراء، وقضمها، ثم إطلاقها مجددًا إلى الدم بمعدل عشر خلايا في الثانية، ويمكن لطاقم الأسنان هذا أن يساعد على إدخال الأدوية، أو الجينات إلى داخل الخلايا، ومن ثمّ يعزز العلاج الخلوي المركز لكثير من الأمراض(٢٧) .

(٤-٢-١) علاج السرطان (Cancer treatment)

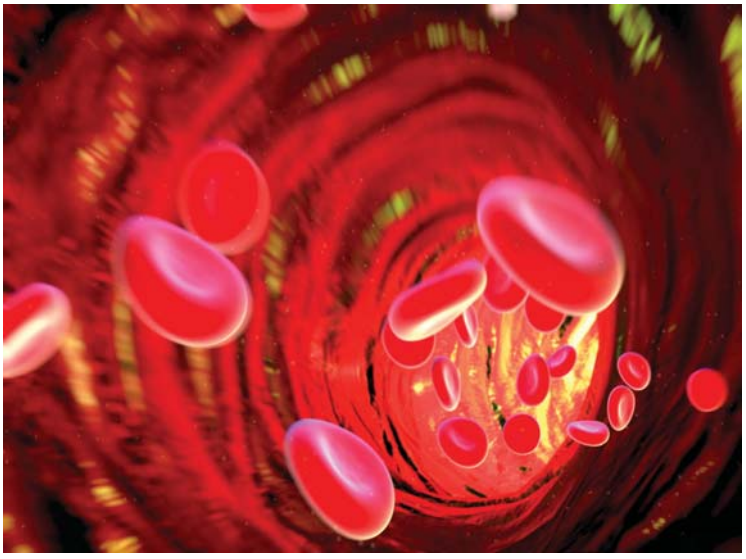
لقد طوّر علماء من مركز السرطان (ميموريان كيتيرنج) الأمريكي قنابل مجهرية ذكية تخترق الخلايا السرطانية، وتفجرها من الداخل. واستخدم العلماء بقيادة ديفيد شينبيرج التقنية النانوية في إنتاج القنابل النانوية، ومن ثَمّ استخدامها في قتل الخلايا السرطانية لفئران المختبر. وعمل العلماء على تحرير ذرات مشعة من مادة أكتينيوم ٢٢٥ التي ترتبط بنوع من الأجسام المضادة من قفص جزيئي، ونجحت هذه الذرات في اختراق الخلايا السرطانية، ثمّ قتلها. وقد استطاعت القنابل النانوية أن تطيل عمر الفئران من ٤٣ يومًا إلى ٣٠٠ يوم (انظر:الشكلين رقم ٤-١ ، و٤-٢) (٢٧).

(٤-٢-٢) الاتصال بالإنسالات(الروبوتات) النانوية

هناك عدة طرق مقترحة في هذا الشأن، وسنعرض طريقة واحدة فقط هنا بسبب سهولتها، وسهولة وصفها. وتستند هذه الطريقة إلى إرسال إشارات بموجات صوتية إلى الإنسالات، وهي داخل جسم الإنسان بواسطة مسبار يشبه ذلك المستعمل في أشعة السونار، وبتردّدات تتراوح ما بين ١ إلى ١٠ ميجاهرتزات ، وبذلك



شكل رقم (٤-١) صورة لقنابل النانو التي استخدمت في قتل الخلايا السرطانية لفئران التجارب (٢٧).



شكل رقم (٤-٢) معلمات فلوريسينية على سطح جسيمات نانوية من أكسيد الحديد، تظهر بلون أخضر براق لصورة سرطان الثدي في فأرة تجارب (٢٧).

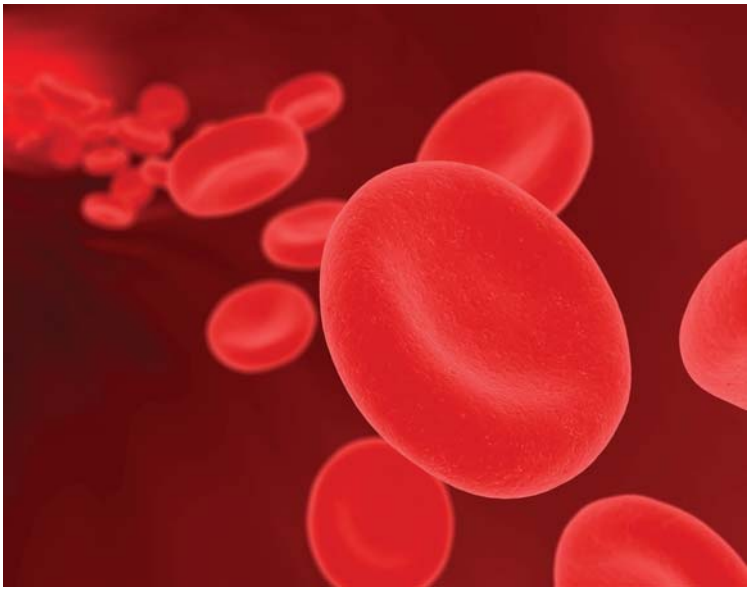
يتمكن الطبيب المشرف بكل سهولة من إرسال أوامر، أو تعليمات جديدة. وستتمكن الإنسالات من تسلم هذه الأوامر والتعليمات بواسطة مُحسّات منتشرة على سطحها، وتتعامل معها بواسطة

الحواسيب النانوية التي تحملها، وتتصرف تبعًا لذلك. أمّا الجزء الآخر من العملية فيكمن في الإجابة عن السؤال التالي: كيف يتسلم الطبيب الرسائل الصادرة عن الإنسالات؟ والجواب السريع عن ذلك يكون عبر الموجات الصوتية. ولكن الدراسات والحسابات المتاحة حاليًّا عن المولدات الصوتية الميكروية في محيط مائي، لن تسمح بمدى بث يزيد على بضع مئات من الميكومترات لكل إنسالة نانوية؛ لذلك سيكون من الملائم تأسيس شبكة اتصالات داخل جسم الإنسان، يكمن عملها في جمع الردود الواصلة من الإنسالات، وتمريرها إلى موقع مركزي، حيث يستطيع الطبيب التعامل معها، ومعالجتها. ويأمل العلماء ألا يستغرق زرع شبكة كهذه داخل جسم الإنسان أكثر من ساعة، وألا تزيد الحرارة الناتجة عنها على ٦٠ واتاً، مع العلم أنّ الحرارة الناتجة عن النشاطات الطبيعية للإنسان تصل إلى نحو ١٠٠ وات(٢٧).

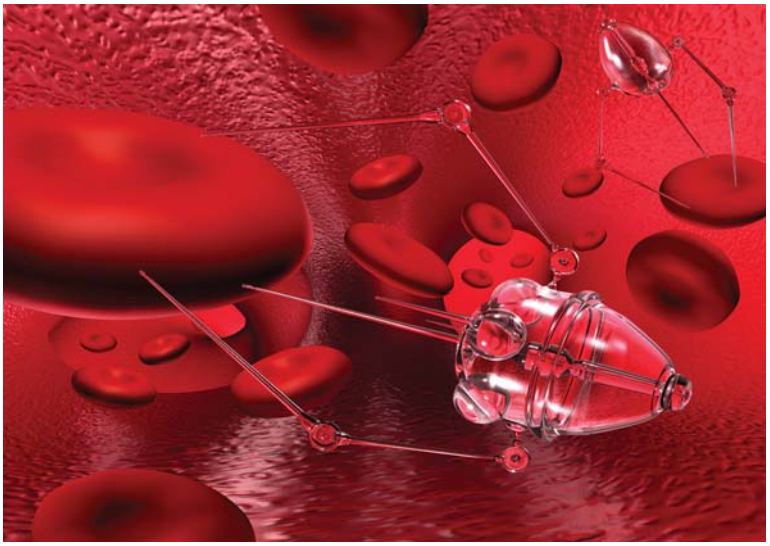
الأخطاء التي يمكن أن تحدث أثناء المعالجة بالإنسالات النانوية:

قبل الحديث عن الأخطاء الطبية، نودّ الإشارة إلى وجود تخوّف من تدمير الإنسالات الحمض النووي للخلية الحية نفسها. ولكن استخدام الإنسالات النانوية يقلل جدًّا من هذا الخطر (انظر: الشكل رقم ٤-٣). أمّا التخوف الآخر من استخدام الإنسالات النانوية فيكمن في مهاجمة جهاز المناعة الطبيعي للإنسالات النانوية الطبية حال دخولها الجسم. لكن من المعلوم أن ردة فعل جهاز المناعة على الأجسام الغريبة تكون في الأساس قائمة على غرابة سطوح تلك الأجسام الداخلية، أمّا في حالة الإنسالات النانوية فإنّ الأمر يعتمد على حجمها، بالإضافة إلى قدرتها الحركية، وطبيعة سطحها، وعوامل أخرى. وعلى الرّغم من ذلك فإنّ مشكلة رفض الجسم الإنسالات النانوية لا يختلف عن رفضه الأعضاء المزروعة، وربّما كانت أبسط من ذلك؛ لأنّ الكثير منها سيبقى في الجسم لفترة محدودة(٢٧).

ويتوقع المراقبون أن تؤدي هذه التقنية الجديدة إلى ثورة غير مسبوقة؛ للتصدي للكائنات الدقيقة، حيث يعتمد النانو بيوتكس (Nanobiothics) وهو البديل الجديد للأنتبيوتيك على الثقب الميكانيكي للخلايا الممرضة (الجراثيم، أو الفيروسات) (٢٧).



شكل رقم (٤-٣) صورة افتراضية لأنموذج إنسالات مستخدم في ترميم الخلايا (٢٧).



شكل رقم (٤-٤) قد يؤدي العلاج بالإنسالات النانوية إلى تدمير الحمض النووي للخلية الحية (٢٧).

فالنانوبيوتكس هو ببتيد حلقي ذاتي التجمع، ومُعدّ صناعيًّا، ويمكنه التجمع على هيئة أنابيب نانوية

(Nanotubes) أو دبابيس نانوية. فعند دخول ملايين من هذه الأنابيب اللزجة، والمكوّنة من الببتيدات الحلقية داخل الجذر الهلامي للبكتريا، فإنها تنجذب كيميائيًّا إلى بعضها بعضًا، وتجمع نفسها إلى أنابيب طويلة متنامية، ومتجمعة ذاتيًّا، بحيث تثقب الغشاء الخلوي، وتعمل مجموعات الأنابيب المتجاورة هذه على فتح مسام أكبر في جدار الخلية البكتيرية، وخلال دقائق معدودة تموت الخلية البكتيرية؛ لتشتيت الجهد الكهربائي الخارجي غشاءها، وهذا ما ينهي حياة الخلية عمليًّا. وقد أظهرت هذه التقنية نجاحًا ملحوظاً في القضاء على الجراثيم العنقودية الذهبية، وعصيات القيح الأزرق، وغيرها (٢٧).

ويتوقع العلماء أن تنجح هذه التقنية النانوية في القضاء على الفطريات. وجدير بالذكر أنّ النانوبيوتكس (الحلقات الملونة) تدمر خلايا البكتريا. ومن المعروف أنّ الببتيدات الحلقية طبيعية المنشأ حققت نجاحًا باهرًا في مقاومة الجراثيم، ومثال ذلك: الباستيراسين الذي يستخدم في الغالب على نحو موضعي . وبناء على ذلك نرى أنّ مبدأ النانوبيوتكس والنانوتيوب يختلف تمامًا عن طريقة عمل الصادّات الحيوية، والمطهرات؛ ولذلك يصعب على هذه الكائنات أن تطور مناعة ذاتية، أو مقاومة. وهي طريقة مختلفة تمامًا عن طريقة عمل الصادّات الحيوية، والمطهرات الكيماوية التي تؤثر غالبًا في العمليات الاستقلابية لهذه الكائنات الدقيقة. ويتوقع أن تبدأ مثل هذه التجارب السريرية على البشر في القريب العاجل، ونجاح هذه الطريقة يوفر (بحسب ما أدلت به منظمة الصحة العالمية) مبلغًا قدره عشرة بلايين دولار سنويًّا، وهي تكلفة معالجة الإصابات الناجمة عن العدوى بالبكتيريا المقاومة للمضادّات الحيوية(١٤).

والأبحاث التي نشرت حديثاً عن دور هذه التقنية في التعامل مع الملاريا، وتأثر مرونة خلايا الدم الحمراء، تضع أسس دور رائد لها في فهم الأمراض المعدية، وعلاجها. كما أثبتت الدراسات أهمية دور هذه التقنية في صنع سيراميك للعظام بدرجة متناهية في النعومة والصلابة في آن واحد، حيث تبشر بالشيء الكثير في مجال استبدال المفاصل، وتطور تقنيتها، إضافة إلى صناعة العظم نفسه. كما أنّ الدراسات التي صدرت تسلط مزيدًا من الضوء على فائدة تقنية النانو في كتابة شفرات الجينات داخل «دي أن أيه (DNA)؛ بما يوفر المال؛ لفحصه. واستخدام تقنية النانو يسخرها؛ للاستفادة حتى من بول الإنسان في صنع بطاريات طويلة العمر؛ لفحص مرضى السكر، وذلك حسب ما نشرته مجلة «آليات الهندسة الدقيقة» للدكتور «كاي بانغ ليي» من مؤسسة أبحاث النانو والكيمياء الحيوية في سنغافورة. كما أنّ باحثين من أسبانيا يتحدثون عن طريقة جديدة يستخدمها الأطباء اعتمادًا على تقنية النانو في الكشف عن خلايا السرطان بسرعة، وخاصة سرطان الثدي، وهو ما

صرّحت به«لورا ليشاجا» مديرة المركز القومي للإلكترونيات الدقيقة بأسبانيا.

كما ذكرت الأبحاث أيضًا دور هذه التقنية في صنع الأجهزة الطبية المستخدمة في غرف العمليات، والعناية المركزة؛ لتسلط ضوءًا ساطعًا على فائدتها في تقليل العدوى الناجمة عن المستشفيات، وانتقال الجراثيم إلى المرضى، وهو ما طرَحَه الدكتور «بروس غيبينس» في مؤتمر أبحاث النانو بولاية أريجون الأميركية، حيث وضّح الفكرة بوضعه طبقة رقيقة على مستوى النانو من الفضة فوق أسطح الأدوات الطبية، وذلك على نحو لا يعطي مجالاً للمكروبات أن تلتصق بها، وتعدّ هذه الخطوة من أولى الخطوات الصحيحة؛ للحد من العدوى الناجمة عن المستشفيات حسب قوله.

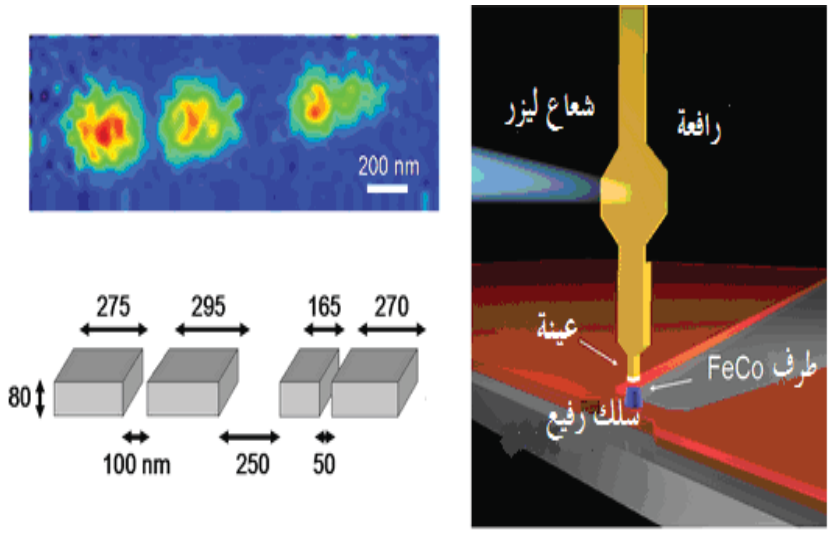
وقد بدأت فعلاً بعض الشركات اليابانية طرح منتجاتها في السوق الخليجية (غسالات مطلية بطبقة من الفضة بسماكة نانو متر واحد، مستفيدة من اجتذاب البكتيريا إلى الفضة، وخنق معدن الفضة البكتيريا الملتصقة به) (٥٤).

(٤-٢-٣) التشخيص بتقنية النانو (Diagnostic by nanotechnology)

إنّ هدف الطب الأساس هو اكتشاف المرض في مراحل مبكرة قدر المستطاع، حتى يمكن القضاء عليه قبل أن يتسبب في أعراض جانبية، أو مضاعفات. وباستخدام تقنية النانو تصبح الاختبارات الحيوية لقياس وجود أو نشاط المواد المختبرة أسرع، وأكثر دقة ومرونة. فيمكن دمج جزيئات النانو المغناطيسية مع الأجسام المضادة المناسبة، واستخدامها كعلامات على وجود جزيئات محددة، أو ميكروبات، وكذلك استخدام جزيئات الذهب المدمجة مع مقاطع قصيرة من الحمض النووي؛ للتعرف على تسلسل من الجينات في عينة ما. وهناك أيضًا تقنية ثقوب النانو المستخدمة في تحليل الحمض النووي، وتحوّل تسلسل وحداته مباشرة إلى إشارات كهربية، فتتوهج بعض الجسيمات النانوية (انظر:الشكل رقم ٤-٥)مثل: سيليناید الكاديوم (وهي نقاط كمية)، وذلك عندما تتعرض لضوء الأشعة فوق البنفسجية، وبذلك يستطيع الطبيب الجرّاح أن يرى التوهج في المنطقة المصابة بالسرطان، فيستفيد من ذلك في التحديد الدقيق للمنطقة المصابة المراد استئصالها. كما يمكن للطبيب الاستفادة من رقائق محسّات الاختبار النانوية التي تمتلك قابلية على تحسين البروتينات، والمعلمات الحيوية الأخرى التي تخلفها الخلايا السرطانية، ويأمل الأطباء الاستفادة من هذه المحسّات في التشخيص المبكر لمرض السرطان، وذلك بواسطة فحص بضع قطرات من بول المريض(٢٧).

شكل رقم(٤-٥) رسم توضيحي يبين كيفية علاج منطقة مصابة بالسرطان بواسطة جسيمات نانوية تحقن في جسم المصاب (٥٥).

وباستخدام جزيئات النانو كعوامل للتباين (كبديل عن الصبغة)، نحصل على صور بالرنين المغناطيسي (انظر:الشكل رقم ٤-٦) ، بالأشعة فوق الصوتية ذات تباين وتوزيع أفضل من ذي قبل، بل إنّ جزيئات النانو المضيئة تستطيع أن تساعد الجرّاح أثناء العملية الجراحية في التعرف على مكان الورم، ومن ثمّ تجعل عملية استئصاله أمرًا أكثر سهولة. وهذا الجهاز أكثر دقة من الجهاز التقليدي بحوالي ٦٠٠٠٠ مرة(٥٥).



شكل رقم(٤-٦) ميكروسكوب الرنين المغناطيسي بتقنية النانو (٥٤).

(٤-٢-٤) تقنية النانو والصيدلة (Nano and pharmaceutical)

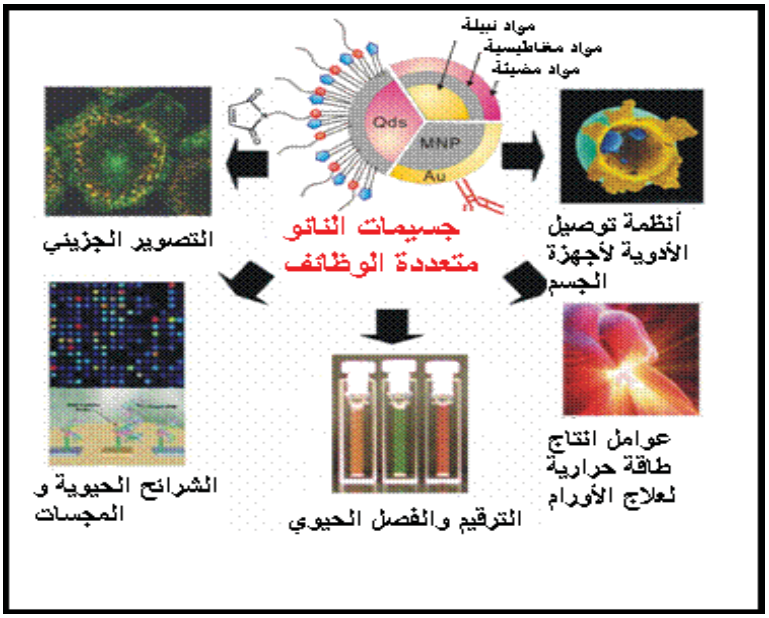
تقنية النانو في عالم الصيدلة واسعة الاستخدام، وذلك بدءًا من طرق إنتاج الدواء، ومرورًا بوسائل حفظه، ثمّ انتهاءً بكيفية إعطائه المريض في هيئة تتفوق بمراحل على الطرق الحالية. فتقنية النانو توصلت في أبحاثها اليوم إلى وضع طرق أفضل لفاعلية الأدوية المستخدمة، وطريقة توصيلها داخل أنسجة الإنسان(٢٧).

(٤-٢-٤-١) توصيل الأدوية إلى الأنسجة

إنّ إحدى مزايا تقنية النانو التي أفادت فروعًا كثيرة من فروع الحقل الطبي، وتعدّ من أولويات البحث في مجال طب النانو، وتعتمد على تصنيع مواد دقيقة في حجم النانو؛ لتحسين التوافر الحيوي للدواء(Bioavailability)، هي وجود جزيئات الدواء في المكان المستهدف من الجسم، حيث تعمل بأقصى فاعلية، ومن ثمّ ينخفض معدل استهلاك الدواء، وأعراضه الجانبية، والتكلفة الإجمالية للعلاج. مثال على ذلك: المواد التي تحتوي على ثقوب بحجم النانو، وتستطيع أن تحمل جزيئات الدواء إلى المكان المرغوب فيه (انظر:الشكل رقم ٤-٧).

كما أنّ أحد التطبيقات المهمّة لتلك التقنية علاج السرطان باستخدام جزيئات الحديد، أو الذهب

التي تتراكم في الخلايا السرطانية دون غيرها من الخلايا، وتتسبّب في موتها دون تأثير في الخلايا الطبيعية متلافية أضرار العلاج الكيميائي، والإشعاعي، الأمر الذي مازال في طور البحث، ويمثل أملاً كبيرًا في وجود علاج آمن للسرطان(٢٧).



شكل رقم (٤-٧) بعض تطبيقات النانو في الحقل الطبي (٢٧).

(٤-٢-٥) هندسة الأنسجة (Tissue engineering)

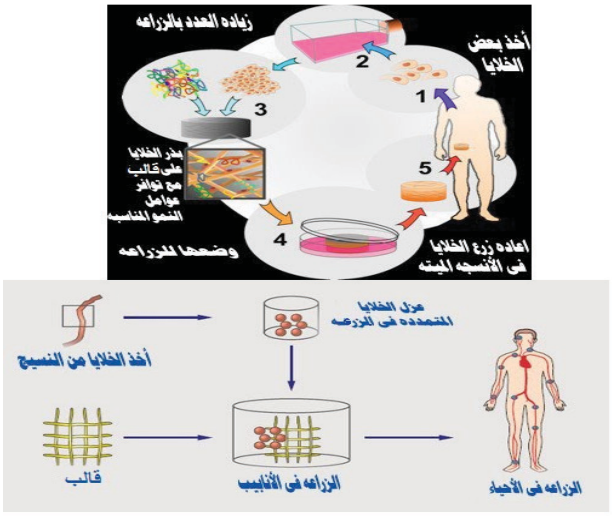
تستطيع تقنية النانو الإسهام في عملية إعادة تصنيع، أو إصلاح الأنسجة التالفة؛ لأنّ هندسة الأنسجة تستغل عملية تكاثر الخلايا المثارة صناعيًّا بواسطة جزيئات النانو، وعوامل النمو. وقد تصبح تلك التقنية في يوم ما بديلاً عن نقل الأعضاء، أو الأعضاء الاصطناعية.

كما تظل هندسة الأنسجة من جهة أخرى أسيرة الجدال الأخلاقي المتعلق باستخدام الخلايا الجذعية (انظر:الشكل رقم٤-٨) (٥٦). وبحسب رؤية العالم كريلمان فإنّ علم النانو يوحّد جميع أنواع العلوم، ويضمّها إلى احتمالات لا حدّ لها، ولا يمكن التنبؤ بنتائجها. وقد تمكن العلماء اليابانيون من نحت ثور يمكن عدّه من أصغر منحوتة في العالم، بحيث يمكن وضع ثلاثين من أقرانه في حيّز لا يزيد قطره عن قطر النقطة، واستخدموا من أجل تحقيق ذلك التقنيات الليزرية، وكان الهدف من ذلك الحصول على مركبة نانوية؛ لاستخدامها في الجراحة الروبوتية الخلوية.

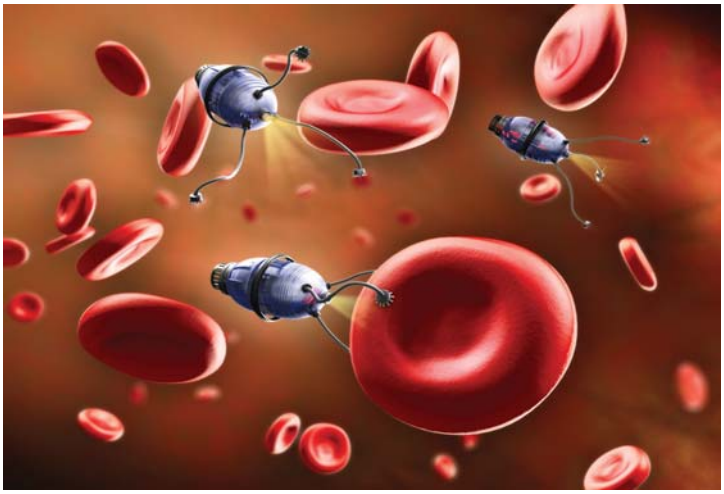
كما يستخدم المجهر الإلكتروني الماسح (انظر: الفصل الثاني) في تكبير الأشياء الصغيرة مليون مرة، بحيث يمكن للباحث دراستها بتفاصيلها الدقيقة عن طريق الحصول على صورة رقمية مفصلة عنها، وكذلك طوّر جهاز بتقنية النانو، يزرع في الجسم، بحيث يغني الأشخاص المصابين بمرض السكري عن استخدام حقن الأنسولين، وهذا مجرد مثال على أحد الاستخدامات المبدئية لتقنية النانو(٢٤).

(٤-٢-٥) ربوتات النانو (Nanorobots)

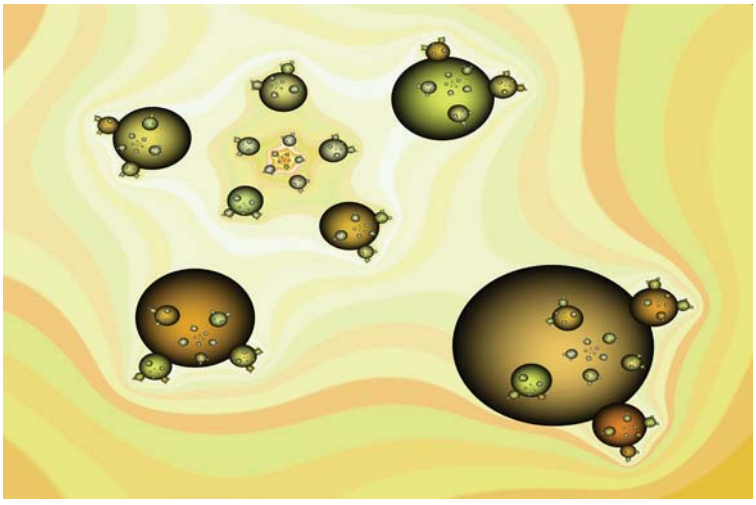
وهناك مثال آخر يدلّ على استخدام هذه التقنية في المجالات الطبية العلاجية والوقائية، وهو استخدام أجهزة، مثل: نانو ربوت (انظر:الشكلين رقم ٤-٩، و٤-١٠) حيث ستمكن الجرّاحين من السيطرة على الأجهزة الدقيقة أثناء إجراء العمليات الجراحية الدقيقة والحرجة، إذ يستخدم الجرّاح عصاة التحكم التي تمكنه من التحكم بذراع الروبوت الذي يحمل الأجهزة الدقيقة، وكاميرا مصغرة؛ وذلك ليحوّل التحركات الكبيرة إلى تحركات صغيرة، وهذا يتيح مزيدًا من الدقة الجراحية(٢٧).



شكل رقم (٤-٨) هندسة الأنسجة التي تعدّ من تطبيقات تقنية النانو (٢٧).



شكل رقم (٤-٩)نانو ربوت طبّي (٩٢).



شكل رقم (٤-١٠) صورة افتراضية لنانو ربوت يحمل حيوانًا منويًّا (٩٢).

(٤-٣) أغذية النانو (Nano foods)

يحتل الغذاء أهمية بارزة، حيث يعدّ التحدي الأول للإنسان منذ الأزل، وفي عصرنا الراهن. ومع التطورات الكبيرة في مجال الزراعة والازدياد المطرد في عدد السكان، صارت قضية الأمن الغذائي من أهم القضايا التي تهم جميع الشعوب؛ لذا فانّ التطورات العلمية الحديثة تجد في الغالب تطبيقات في هذا المجال الحيوي، فاستخدمت الأشعة في إطالة حفظ الأغذية، وأنتجت الأغذية المحوّرة وراثيًّا.

كما أدلت تقنيات النانو بتطبيقاتها المختلفة دلوها في مجال الأغذية، حيث إنّ أغذية كثيرة معتمدة على تقنية النانو (Nano-based foods) أصبحت موجودة في الأسواق، كما أنّ المئات منها في طور الإنتاج، فهناك كبسولات النانو؛ لتنشيط نكهة الأغذية، وصهر الإستيرويدات النباتية؛ لاستبدال كلسترول اللحوم بأنابيب وجزيئات النانو، مثل: الجيلاتين، ومواد اللزوجة، وجزيئات النانو؛ لإزالة الكيميائيات، والمسببات المرضية في الغذاء.

وإذا نظرنا إلى ما يخصّ عبوات الحفظ للأغذية، فالنانو تكنولوجيا أيضًا لها تطبيقاتها في هذا المجال، ومن ذلك إيجاد أغلفة مزودة بجزيئات نانو مضادة للميكروبات والفطريات من معادن الفضة، والماغنسيوم، والزنك، حيث إنها أغلفة أخف وزناً، وأكثر متانة، وأكثر مقاومة للحرارة من جزيئات النانو المأخوذة من السليكا.

كما توجد مستشعرات كهربائية كيميائية، تعتمد على تكنولوجيا النانو؛ لتقدير غاز الإيثلين، وكذلك تمثل شرائح النانو مواد عازلة؛ لمنع فساد الغذاء، وامتصاص الأكسجين(٥٧).

لقد أنشأت شركة كرافت المتخصصة في الأغذية اتحادًا لأقسام البحوث العلمية؛ لاختراع مشروبات مبرمجة لا لون لها، ولا طعم. إذن يمكننا قريبًا شراء مشروب لا لون له، و لا طعم، بحيث يتضمن نانو يحمل جزيئات للون والطعم، وعندما نضعه في الميكروويف على تردد معين يصبح لدينا عصير ليمون، وعلى تردد آخر يصبح هو نفسه عصير تفاح، وتسمى هذه الأنواع من الأغذية بالأغذية الجذابة (Attractive food) حيث يغيّر الغذاء وفقاً للحاجة والمبدأ في هذه الأغذية؛ لأنّ بها الآلاف من كبسولات النانو التي تحتوي على محفزات النكهة واللون، أو عناصر تغذية مضافة، مثل: الفيتامينات التي تكون سائدة في الغذاء، وتحرر فقط عند رغبة المستهلك.

والأغذية الذكية تستطيع أن تستشعر الشخص المتحسّس من مكون غذائي معيّن، بحيث تحجز عنه المكونات الضارة. وقد دخلت الأسواق العبوات الذكية، أي: الأغلفة المضادة للميكروبات (Anti microbial films) التي تحتوي على مستشعرات ومضادات ميكروبية نشطة قد طورت؛ لتمديد فترة حفظ الأغذية، كما أنّ المستشعرات يمكن أن تتبع الأغذية من الحقل إلى المصنع ثمّ إلى السوق حتى تصل إلى المستهلك.

أمّا كبسولات النانو فستمكننا من تسويق الشيكولاتة، والكعكات الصغيرة، وصلصة الطماطم كأغذية صحية.

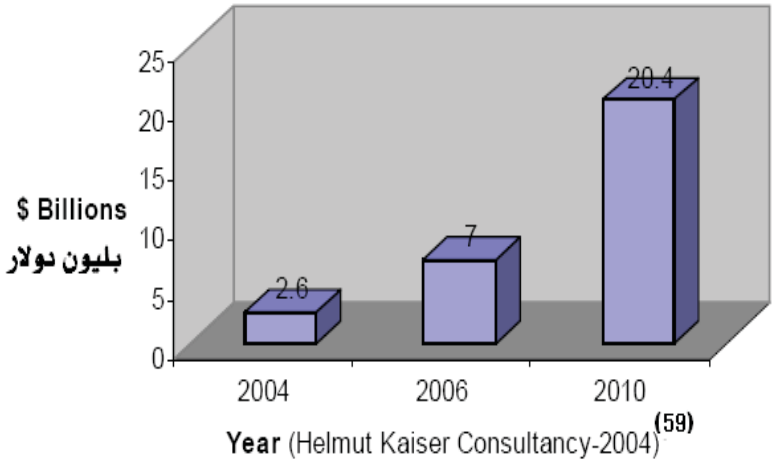
ويرى كبار علماء الأغذية في بعض الشركات المشهورة أنه بإمكانهم تفتيت نظام الإنتاج الطبيعي غير النافع، ويتقبلون قيام نظام الرجل الآلي المتناهي في الصغر (المستقبلي)، والذي سينتج الغذاء

عوضًا عن جني الحبوب، وتربية المواشي؛ بهدف الحصول على الكربوهيدرات، والبروتينات، وذلك باستخدام النانوبوت (Nano bot) التي تستطيع أن تجمع شرائح اللحم أو الطحين من ذرات الكربون، والهيدروجين، والأكسجين الموجودة في الهواء بصورة ماء، وثاني أكسيد الكربون. كما تعدّ النانوبوتات أحد داعمات ومقويات الأغذية، بالإضافة إلى أنّ النانوبوتات الموجودة في الغذاء تستطيع التحرك في الدورة الدموية، وتنظف رواسب الدهون، كما تسهم في قتل المسببات المرضية. ومن تطبيقات النانو إنتاج عبوات زجاجية، وكرتونية، وأغلفة رقائق تحتوي على مركبات النانو الطينية (clay nano composite) التي تعمل كحاجز يمنع مرور الغازات والنكهات.

كما تستخدم الرقائق البلاستيكية التي تحتوي على جزيئات نانو سيلكاتية (Silicate nano particles) كحاجز يمنع دخول الغازات والرطوبة. وهناك جزيئات النانو التي توزع الفيتامينات والعناصر الغذائية الموجودة في الأغذية، أو المشروبات دون التأثير في طعمها، أو مظهرها. وقد طوّر باحثون أوروبيون جهاز استشعار محمول (Portable nano sensor) يستشعر السّموم والكيميائيات والميكروبات الممرضة في الأغذية (٥٧).

إنّ بعض الشركات أصبحت مدركة أثر تقنية النانو؛ فقدمت تسهيلات بحثية كثيرة. وهناك تطبيقات واعدة لازالت في إطار البحث والدراسة. وعلى الرّغم من وجود بعض أغذية النانو في السوق فإنّ الاحتمالات الكبيرة الواعدة ستجذب متنافسين كثيرين في هذا الحقل البكر (٥٧).

وبينت إحدى الدراسات أنّ سوق أغذية النانو تطوّر على النحو المبين في الشكل رقم (٤-١١)، حيث ارتفع من ٢,٦ بليون دولار عام ٢٠٠٤م إلى ٧ بلايين دولار عام ٢٠٠٦م، ثمّ إلى ٢٠,٤ بليون دولار عام ٢٠١٠م؛ وهذا الأمر دفع شركات أغذية كثيرة إلى عدم التردّد في الإعلان عن برامجها البحثية في مجال أغذية النانو، حيث شرعت في الإعلان عن نشاطاتها للجمهور من أجل تطوير الأغذية الموجودة حاليًّا، وكذلك تطوير أغذية جديدة؛ للحفاظ على السوق، والسيطرة عليه (٥٨).



شكل رقم (٤-١١) سوق أغذية النانو (Nano food market) (٥٨)

(٤-٤) تقنية النانو وتنقية المياه (Nano and water purification)

يعدّ النقص في المياه من المشكلات الخطيرة التي تواجه دولاً نامية كثيرة؛ لذا فإنّ استخدام تقنية النانو في تطوير تقنيات معالجة المياه التقليدية التي تضمّ المعالجات الكيميائية، وتحلية المياه، والتنقية والمعالجة بالأشعة فوق البنفسجية، وغيرها من وسائل تقنية المياه، سيؤدي إلى رفع كفاءة هذه التقنيات، حيث سيوفر المياه للمحتاجين إليها. وتقدم تقنية النانو حاليًّا إلى هذا المجال الحيوي ثلاثة تقنيات معالجة تضمّ: أغشية أنابيب النانو الكربونية (CNT membranes)، وشباك النانو (Nano mesh)، ومسام الخزف النانوية (Nano porous ceramics) وتعمل هذه التقنيات بطرق مختلفة، وذلك وفقاً للمميزات الخاصة بكل تقنية، فعلى سبيل المثال: تعمل تقنية مسام الخزف النانوية على حجز ومنع مرور العوالق الدقيقة، والفطريات، والطفيليات، والكائنات الحية الدقيقة، والفيروسات، والمواد الضارة من مصادر المياه العذبة: كالأنهار، والبحيرات، والبرك.

ويجري العمل حاليًّا على تسويق مرشحات نانو (Nano filters) عملية، تنقي المياه تنقية سريعة، بحيث يستطيع الشخص شرب الماء المرشح مباشرة من مختلف مصادره: كالمياه الجوفية، والمياه الراكدة، ومياه الوحل. كما تتميز تقنيات النانو الحديثة بانخفاض كمية الطاقة المستخدمة في تنقية المياه، بالإضافة إلى ارتفاع جودة المياه المعالجة.

كما أعلنت مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية السعودية، وشركة آي بي أم (IBM) العالمية في عام ٢٠٠٩م، التوصّل إلى اختراع جديد في مجال تحلية المياه باستخدام تقنية النانو، ويتمثل ذلك في تطوير أغشية جيّدة بإمكانها تنقية الماء من الأملاح، والمواد السامة بكفاءة وسرعة عاليتين(٦٠).

وقرر الجانبان في بيان مشترك تسجيل حقوق هذا الاختراع باسمهما، إذ اتفقا على الإعلان عنه في وقت واحد في السعودية والولايات المتحدة.

وأوضح بوب ألين المسؤول في مركز أبحاث شركة آي بي أم بمدينة سان خوسيه في كاليفورنيا أنّ هذا البحث الذي أسفرت عنه نتائج واعدة سيضع الأساس لتطبيقات أكثر ذكاء، وصحة، بحيث ستسهم في المحافظة على استمرار الكوكب، والنظام البيئي حاضرًا للأجيال المقبلة(٦٠).

ويهدف المركز الدولي المشترك بين المدينة وشركة آي بي أم للأبحاث في تطبيقات النانو إلى إيجاد الحلول التي تقلل تكلفة تحلية المياه، إذ يضمّ المركز عددًا من الباحثين المتميزين من بينهم سعوديين متخصصين في تقنية النانو.

وتعدّ الأغشية الجديدة التي تعتمد على الضغط الإسموزي العكسي من أهم الاكتشافات في مجال تنقية وتحلية المياه، إذ تمكن الفريق المشترك بين المدينة والشركة من وضع مفهوم جديد للأغشية، والمواد التي بإمكانها مقاومة الكلور، بالإضافة إلى قيامها بمهامها بجودة أعلى، ودقة أفضل؛ مما يجعلها ملائمة لاستخدامها في إزالة المواد السامة، كما أنها لا تسمح بتراكم البكتيريا. وأطلق على الغشاء الجديد اسم (I-Phobe) وذلك نظرًا لتركيبته الكيميائية الفريدة من الهيدروفوبات المؤينة التي تمكنه من التغير الجذري عند مواجهته ظروفاً مختلفة، فيتحوّل إلى غشاء هيدروفيلي، كما أنّ كفاءة تمرير الماء عبر الغشاء تتحوّل إلى كفاءة عالية في الظروف البسيطة؛ مما جعل الباحثين يسمّونه الطريق السريع للماء.

كما تقدم مؤلف هذا الكتاب مع مجموعة من الباحثين في معهد علوم المواد (NIMS، Japan) بمدينة تسكوبا اليابانية بمشروع « بناء وتصميم جهاز استشعار بصري بيولوجي نانومتري ذي كفاءة عالية؛ لإزالة الملوثات البيئية والبيولوجية من مياه الشرب بالمملكة العربية السعودية(٦١).

والهدف العام لهذا المشروع البحثي في دولة رائدة مثل المملكة العربية السعودية، حيث تقوم فيها صناعات مختلفة، تنتج عنها ملوثات، مثل: البتر، والكيماويات، والمشتقات النفطية المختلفة، هو الاستفادة من معادن وأكاسيد الأنابيب النانومترية (النانوتيوب)، وكذلك المعادن المثالية، مثل:

الذهب، والفضة، والبلاتين في هيئة النانوجزئية، والتي تستخدم في داخل النانوتيوب كقاعدة تحميل أجهزة الاستشعارات البصرية، والنانوتكنولوجية؛ لفصل وتحليل ثم تنقية المياه من المواد البيولوجية، وكذلك المواد السامة، مثل: المعادن، والأيونات، والغازات، والمواد العضوية الضارة الناتجة عن الصناعات البتروكيماوية، والنفطية.

ولقد سعى الباحثون إلى فصل عنصر الزرنيخ السام جدًّا في جزء من البليون (ppb)، ولكن لم تستطيع أحدث الأجهزة الحديثة المستخدمة في التوصل سوى فصل جزء من المليون فقط (ppm). بيد أنه بعد استخدام المواد النانوتيوبية، فقد تمكن الباحثون بمعهد علوم المواد باليابان(NIMS، Japan) من فصل هذا العنصر السام معمليًّا بجزء من التريليون (ppt) (كجهاز بصري استشعاري).

ومن المميزات التي تجعل هذه المواد ذات قابلية تطبيقية سعة التجويف بالحجم النانومتري بطول القناة، وقدره حوالي ٩٠٠ نانومتر، وكذلك الشكل البلوري في الإطار الخارجي للنانوتيوب. وتمثل أكاسيد المعادن التي تحتوي على النانوتيوب أول نظام يطبق على ديناميكية النانو في المفاعلات؛ لتزيل الجزيئات السامة من أيونات، ومواد عضوية ضارة موجودة في المياه الجوفية التي تعدّ المصدر الرئيس لمياه الشرب في كثير من دول العالم، ومنها المملكة العربية السعودية. وتعدّ الغازات السامة المتطايرة في الهواء من الصناعات

شكل رقم (٤-١٢)تنقية المياه الجوفية من أهم أهداف تقنية النانو المستقبلية.

البتروكيماوية هي المصدر الرئيس للملوثات البيئة. وفي هذا المجال أجرى الفريق البحثي أبحاثاً ودراسات سابقة في بيئات تختلف عن بيئة المملكة، حيث أثبتت كفاءة منقطعة النظير لهذه المواد. بيد

أنّ هذه الدراسة تعدّ الأولى من نوعها على مستوى العالم من حيث الدقة، والكفاءة، وسهولة التحليل، وترشيد نفقاته. وفي هذا المشروع المقترح ستستخدم- بإذن الله- الأنابيب الجزئية القادرة على دمج جميع المراحل التكاملية للاستشعار التحليلي، بما في ذلك أخذ العينات، والمعالجة العامة، والكشف عن البيانات وتجهيزها في إطار فعّال. ومن المتوقع أن تمثل نتائج هذا المشروع إنجازًا رائعًا للمملكة العربية السعودية في ريادة هذا المجال في العالم.

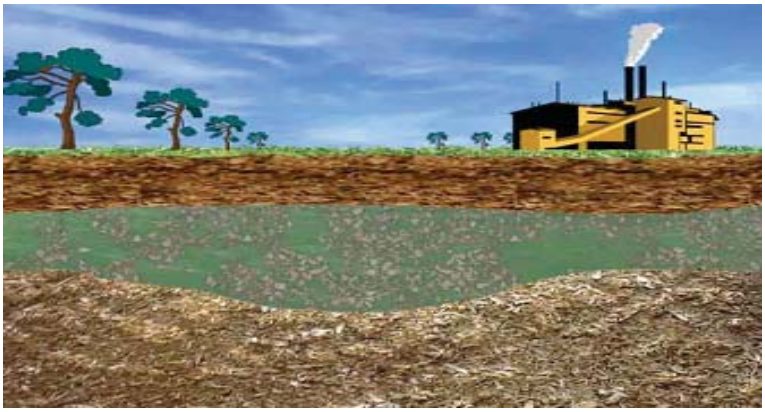
وجدير بالذكر أنّ التقنية الحالية لأجهزة الاستشعار الضوئي للمواد السامة والبيولوجية تعتمد على طرق تقليدية، ومعقدة، وباهظة التكاليف، على الرّغم من أنها قد تعطي حساسية وديناميكية معقولة، ولكنها لا يمكن أن تطبق بكثافة لوقت طويل على نطاق واسع في مجالات التحليل المختلفة. أمّا التصميم باستخدام تقنية النانو لأجهزة الاستشعار الكيميائي المعتمد على استخدام أكاسيد المعادن النانومترية، فقد أثبت كفاءة عالية في معاملنا الخاصة باستشعار المواد السامة، وتحليلها بسرعة ودقة فائقتين، حتى عند التركيزات المتناهية في الصغر(١٠ $^{-١٥}$ مولار) (٦٢).

ومن هذا المنطلق، يتوقع أن يكون التصميم النانومتري، والنانو تكنولوجي المقترح ذا أهمية قصوى، وفي متناول اليد، شأنه في ذلك شأن الأجهزة المحمولة، وبنظم استشعارية تعمل في المنازل؛ للكشف عن الملوثات الكيميائية، والبيولوجية. وسيكون لها تطبيق واسع في مجالات شتى، وليس ذلك فقط في المملكة العربية السعودية، بل في العالم أجمع.

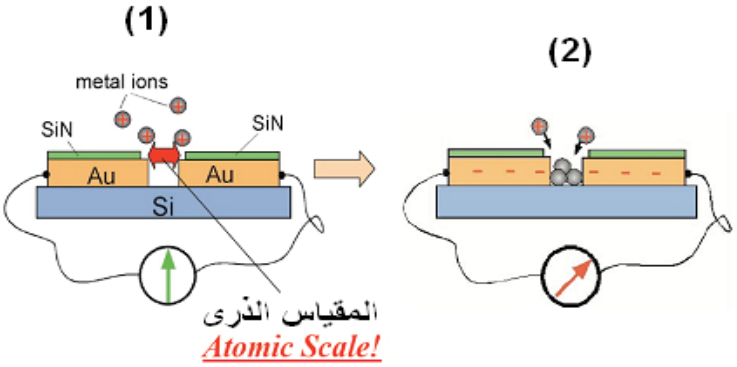
(٤-٥) النانو واكتشاف تلوث الهواء (Nano and the Air Pollution)

يواجه الإنسان في عصرنا الحالي مشكلة تلوث الهواء في كل مكان من حوله؛ ممّا يؤثر سلبًا في صحته، حيث أصبح يواجه خطر التلوث في مسكنه، وأماكن عمله، وفي كثير من المرافق العامة. ولعل أكثر أنواع التلوث خطورة يكمن في تلوث الهواء بالعناصر، والغازات السامة التي تكون في كثير من الحالات غير مرئية، وغير محسوسة. وعلى الرّغم من وجود عدد من التقنيات التقليدية التي تعمل على اكتشاف هذا التلوث فإنّ تقنية النانو تقدم كواشف ذات حساسية عالية جدًّا، وتسمى كواشف النانو، حيث تستطيع اكتشاف أي تلوث في الهواء بدقة متناهية جدًّا، قد تصل إلى حدّ اكتشاف بضعة جزيئات من الغازات، أو الأبخرة الملوثة. وتعتمد هذه التقنية على استخدام أنابيب النانو الكربونية CNTs، أو جسيمات البلاديوم النانوية (Palladium nanoparticles)، أو أسلاك النانو لأكسيد الزنك (zinc oxide nanowires)، حيث تتغير الخواص الكهربائية: كالمقاومة والسعة الكهربائية لهذه الكواشف، وذلك عند امتصاصها جزيئات الغاز الملوث. كما أنه

عند التقاط كواشف النانو جزيئات الغاز الملوث توصّل الدائرة الكهربائية؛ ممّا يؤدي إلى تشغيل كاشف النانو. ونلحظ أنّ دقة هذه الكواشف تصل إلى حدّ اكتشاف بضع أيونات؛ ممّا يجعلها ذات حساسية فائقة (انظر:الشكل رقم ٤-١٤) (١٠).



شكل رقم(٤-١٣) تلوث الهواء من الأشياء الخطيرة على صحة الإنسان (١٠).



شكل رقم (٤-١٤) تنقية الهواء باستخدام كواشف النانو(١٠).

(٤-٦) تقنية النانو والزراعة (Nano and Agriculture)

تؤدي تقنية النانو دورًا كبيرًا في القطاع الزراعي، وذلك بتوفير عدد ضخم من مواد نانوية متعددة، تستخدم كأسمدة كيميائية تعمل على زيادة نمو المزروعات، وتحسين التربة؛ ممّا ينعكس إيجابًا على جودة المحاصيل، وزيادة إنتاج الأراضي الزراعية. كذلك تستخدم تقنية النانو في تصنيع أنواع خاصة من المبيدات الحشرية الآمنة، والمتوافقة بيئيًّا وبيولوجيًّا؛ وذلك بهدف المقاومة الفعّالة

والسريعة للآفات الضارة، واستهدافها.

ومن المتوقع أن يزداد دور تلك التقنية في السنوات القادمة، حيث تسهم مع تقنية الهندسة الوراثية في ابتكار سبل اقتصادية، وطرق جديدة وفريدة ترمي إلى تحسين المحاصيل الزراعية، ورفع جودتها، وذلك بالتحكم والتلاعب الجيني الآمن للمزروعات؛ ممّا يضمن زيادة في إنتاج وجودة المحاصيل الزراعية. وتقدم الشركات المنتجة المواد النانوية عددًا كبيرًا من المواد الكيميائية الزراعية القائمة على تصغير حجم حبيبات المواد الداخلة في تركيب المستحلبات التي يقل قطرها عن ١٠٠ نانومتر؛ ممّا يضمن زيادة هائلة في نشاطها وفاعليتها؛ وذلك نظرًا لتعاظم قيم مساحة سطوح تلك الحبيبات(٥٩).

(٤-٧) التطبيقات الصناعية (Industrial application)

تتلخص فكرة استخدام تقنية النانو في إعادة ترتيب الذرات التي تتكوّن منها المواد في وضعها الصحيح، وكلما تغيّر الترتيب الذري للمادة تغيّر الناتج منها إلى حدّ كبير. وبمعنى آخر، فإنّ المنتجات المصنعة من الذرات تصنع مرة أخرى، وتعتمد خصائص هذه المنتجات على كيفية ترتيب هذه الذرات، فإذا أعدنا ترتيب الذرات في الفحم، فإنه يمكننا الحصول على الماس، أمّا إذا أعدنا ترتيب الذرات في الرمل، وأضفنا إليه بعض العناصر القليلة، فإنه يمكننا تصنيع رقائق الحاسوب. وإذا أعدنا ترتيب الذرات في الطين والماء والهواء، فإنه يمكننا الحصول على البطاطس. وما يعكف عليه العلم الآن أن يغيّر طريقة ترتيب الذرات في البناء، وذلك باستخدام تقنية النانو من مادة إلى أخرى.

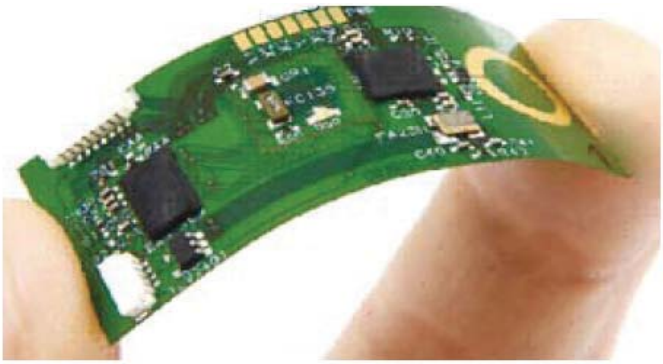
(٤-٧-١) تقنية النانو والحاسوب (Nano and computer)

لقد كان أول تطبيق لعلم تقنية النانو على مجال علم الحاسوب، وخاصة الأقراص الصلبة، ففي عام ١٩٨٨م توصّل العالم (فير) الفرنسي والعالم (جرونبرج) الألماني عبر بحوث مستقلة إلى اكتشاف نظرية عن المقاومة، تظهر عند التعامل مع التيار الكهربائي، والحقل المغناطيسي على مستوى الذرات، وسمياها «المقاومة المغناطيسية العملاقة». وقد طبّقت عمليًّا على تخزين المعلومات في الأقراص الصلبة. ويعمل الحاسوب على تحويل المجالات المغناطيسية إلى تيار كهربائي، حتى يتمكن من قراءتها، والمعلومات الرقمية تحفر حفرًا على المادة المخزنة فيها، على هيئة حقول مغناطيسية، وتكون على مستوى الذرة، وأقل من ذلك بكثير، وفي الوقت نفسه، تحتاج إلى آليات دقيقة جدًّا؛ لقراءتها، حيث تحوّل عملية القراءة الحقول المغناطيسية إلى تيار كهربائي، وبذلك يتمكن جهاز الحاسوب من التعرف عليها، وفهمها. وفي حال تمكّن العلماء من تصغير الأجهزة إلى حدود فائقة في

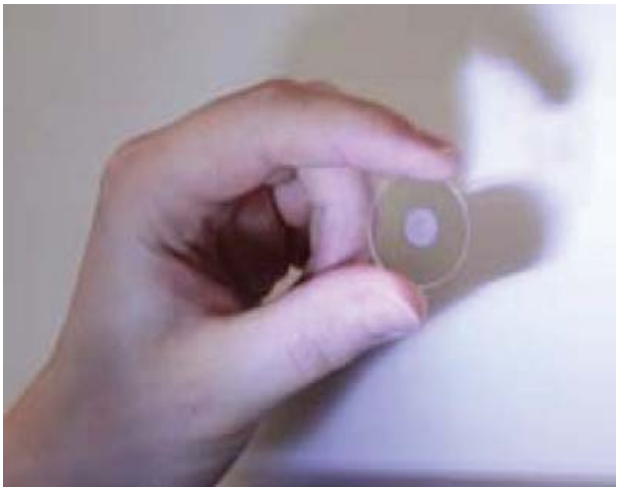
الصغر باستخدام تقنية النانو، فقد يصل الأمر إلى استخدامات مثيرة، مثل: صناعة أجهزة قياس صغيرة جدًّا، تدخل في عروقنا؛ لنسافر فيها، وتشخص كل ما تراه، ثم ترسل تقاريرها إلى حاسوب يثبت على الجسم من الخارج(٢٧).

استطاعت شركة آي بي إم (IBM) إيجاد طريقة لاستخدام طرق التصنيع التجاريّ المستخدمة الآن في صنع أنظمة تحكّم في مجموعات من أسلاك صغيرة. وهو التطوّر الذي تأمل الشركة أن يؤدي إلى إيجاد شرائح ذاكرة للحاسب الآليّ ذات كثافة تبلغ أربعة أضعاف الكثافة الحاليّة (انظر:الشكلين رقم ٤-١٥، و٤-١٦). وعلى الرّغم من ازدياد كثافة الذاكرة حاليًّا، فإنها ستزداد أيضًا بمقدار ثابت (خطيّ)، وهذه التقنيّة الجديدة ستسمح بالقفز تقنيًّا إلى الأمام بعشرات السنين في لحظة واحدة، وستقلّص تكاليف التصنيع تقليصًا كبيرًا جدًّا. والتقنية هذه تتكوّن من إيجاد نمط لنظام تحكّم يتكوّن من ثلاثة عناصر، بحيث يوضع أحدها على نهاية مجموعة من الأسلاك المتوازية، ويمدّ الإلكترونيات. في حين يوضع العنصران المتبقيان على جانبي المجموعة، ويكوّنان معًا مجالات كهربائيّة عبر مجموعة الأسلاك انتقائيًّا، ويمكنهما إيقاف التيّار في كلّ الأسلاك، باستثناء سلك واحد مختار. ومجموعة الأسلاك التي استطاعت شركة آي بي أم استخدامها إلى الآن تتكوّن من أربعة أسلاك، ولكنّ المبدأ نفسه يمكن تطبيقه على ثمانية أسلاك. ووجود القدرة على انتقاء سلك معيّن تعني أنّه من الممكن إيجاد عناوين محدّدة للإشارات الكهربائيّة التي تعدّ العنصر المهمّ جدًّا والرئيس في تصميم الذاكرة العشوائيّة وعملها (Random Access Memory- RAM).

وسيطرح عملاق الحاسوب (هاولت باكارد) في السوق رقاقات تدخل في صناعة مكونات الحاسوب، حيث تدخل في صنعها إلكترونات النانو القادرة على حفظ المعلومات أكثر بآلاف المرات ممّا لدى الذاكرة الموجودة حاليًّا. وقد تمكن أيضًا باحثون في



شكل رقم (٤-١٥) ذاكرة الحاسب المستخدمة الآن سيحدث لها تطور هائل في عالم النانو (٢٧).



شكل رقم (٤-١٦) ذاكرة الحاسب بتقنية النانو (٢٧).

شركة آي بي أم (IBM) وجامعة كولومبيا، وجامعة نيو أورليانز من جمع جزيئين غير قابلين للاجتماع، وتحويلهما إلى بلور ثلاثي الأبعاد. وبذلك اخترعت مادة غير موجودة في الطبيعة « ماغنسيوم مع خصائص مولدة للضوء مصنوعة من نانو "، و» أكسيد الحديد محاطاً برصاص».

وسيصبح بالإمكان إيجاد استخدامات أكثر تعقيدًا من هذه النماذج في السنوات القادمة، مثل: معالجات الحاسب الآليّ، فتطبيقات المبدأ كثيرة، وستُحدث ثورة في عالم الإلكترونيّات. (٢٧).

وفي تطوّر آخر لشركة آي بي أم (IBM)، استطاع مجموعة من الباحثين(يوري فلاسوف، ومارتن أوبويل، وهيندريك هامان، وشاري مكناب) من الاقتراب أكثر من حلم استبدال الكهرباء بالضوء في إيصال سيل المعلومات بين أجزاء الذارات. وهم من مركز تي جيه واتسون للأبحاث بدعم جزئيّ من وكالة مشاريع أبحاث الدفاع المتقدّمة (DARPA) والمؤسسة المسؤولة عن التطوير والأبحاث المركزيّة التابعة لوزارة الدفاع الأميركيّة، وذلك عن طريق برنامجها المتعلق بإبطاء وتخزين ومعالجة الضوء.

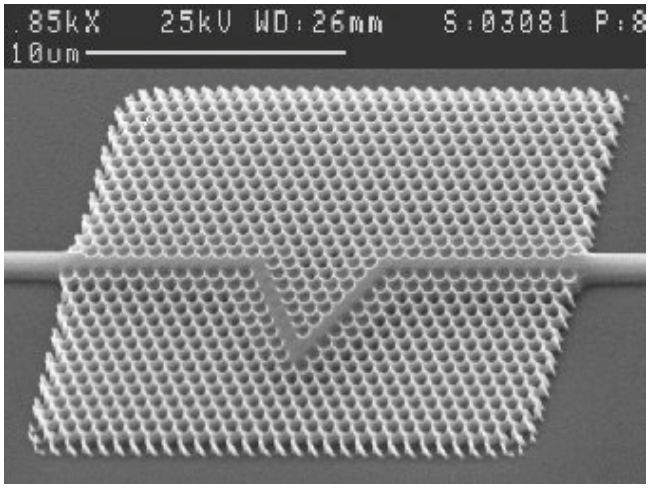
وهذا الأمر سيؤدّي إلى تطوّرات جذريّة في أداء الحاسب الآلي، وكلّ الأنظمة الإلكترونيّة الأخرى، فالباحثون استطاعوا إبطاء سرعة الضوء من واحد إلى٣٠٠ من سرعته المعتادة، وذلك عن طريق تمريره عبر قنوات من السليكون المصنّع بعناية بالغة (انظر:الشكل رقم٤-١٧) يسمّى موجّه موجات الكريستال الفتوني(Photonic Crystal Waveguide PCW) .

وهذا التصميم للقنوات يسمح بتغيير سرعة الضوء عن طريق تمرير تيّار كهربائيّ عبر موجّه الموجات .

وجدير بالذكر أنّ باحثين كثر في السابق استطاعوا إبطاء سرعة الضوء في ظروف مخبرية، ولكنّ تحكّمهم في سرعة الضوء على شرائح سليكونيّة باستخدام وسائل تصنيعيّة تعتمد على النانو تكنولوجيًّا يعدّ سابقة جديدة. وحجم هذا الجهاز الذي استطاع العلماء تصنيعه صغير جدًّا، ويمكن استخدام المواد شبه الموصلة فيه، مثل: المواد التي تُستخدم عادة في تصنيع الذارات الكهربائيّة، والقدرة على التحكّم بسرعة الضوء، أو إبطائه في هذه الحالة، بحيث تمكن هذه التقنية من صناعة ذارات بصرية (Optical Circuits) متناهية في صغر حجمها، وعمليّة في آن واحد؛ لوضعها في الأدوات الإلكترونيّة(٢٧).

ويعتقد العلماء أنّ المستقبل سيحفَل بالتّفاعل المباشر بين الإلكترونيات، ومن بينها أجهزة الحاسوب والإنسان. ومن المرجّح أن تختفي لوْحة المفاتيح، وتستبدل بداية بوسائل أخرى تعتمِد على المخاطبة الكلامية، أو التحكّم بواسطة العيْن، أو حتى بواسطة الانفِعالات العصبية، ثم تأتي بعد ذلك مرحلة التواصل المباشر مع النُّظم المعلوماتية بواسطة الواجهة العصبية، أي: الإشارات العصبية الصّادرة عن الدِّماغ.

فإذا تعيّن علينا الاستمرار في هذه التوجهات، توجب علينا تطوير تكنولوجية تصنيع جيدة، بحيث تسمح لنا ببناء أنظمة حاسوب غير مكلفة، وذلك بواسطة كميات من العناصر المنطقية التي تكون جزيئية من حيث الحجم والدقة، ومرتبطة ببعضها بعضًا، وباستخدام أنماط معقدة وبالغة الحساسية، وهو ما ستسمح تقنية النانو بالقيام به.



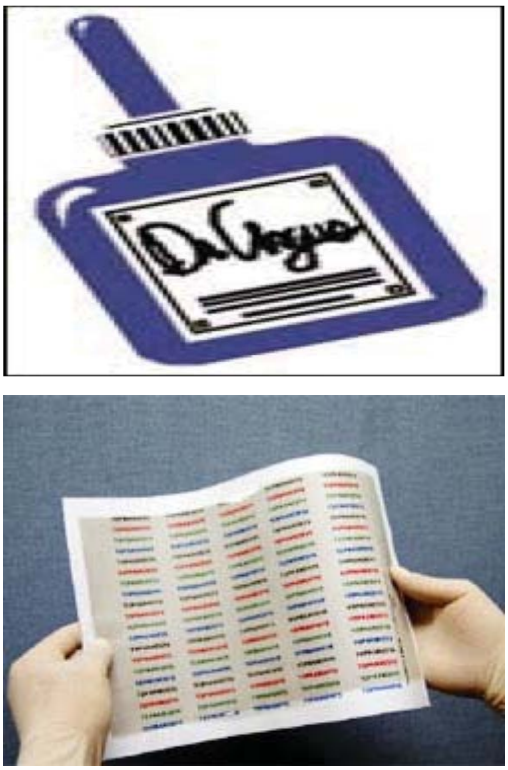
شكل رقم(٤-١٧) شريحة رقيقة من السليكون بها ثقوب تغيّر مسار الضوء المارّ بها (٢٧).

شكل رقم (٤-١٨)تقنية النانو ستساعد على استبدال الحواسيب الضخمة بحواسيب دقيقة ذات كفاءة عالية (٩١).

(٤-٧-٢) الحبر الذكي (Intelligent ink)

يعدّ أنبوب النانو الكربوني المكوّن من الحبر من التطبيقات الجديدة لتقنية النانو، وهو حبر طوّر بواسطة الدكتور لي جن وونج من معهد كوريا للتكنولوجيا الكهربائية للبحوث. وهذه التقنية شديدة التطور، حيث تتضمن طلاء أسطح البلاستيك بذلك الحبر؛ لجعل السطح الرقيق قادرًا على توصيل الكهرباء. ويمكن تطبيق هذه التقنية على مجالات متنوعة منها: شاشات اللمس، وشاشات العرض القابلة للثني، وإن كان الدكتور لي قد اختار مجال شاشات اللمس؛ لعدم وجود تقنية خاصة بالطلاء الدائم لأسطح البلاستيك. وتطوير أنبوب كربوني من الحبر (انظر:الشكل رقم٤-١٩) ، يمثّل بداية مرحلة جديدة من التفوّق المذهل في مجال تقنية النانو، وسيكون ذلك بمنزلة ثورة تكنولوجية هائلة.

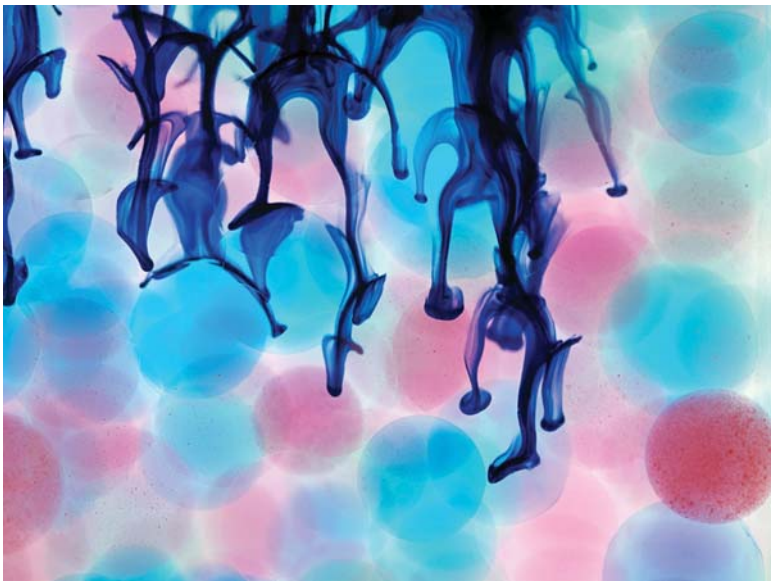
كما تمكن مؤخرًا الخبير الكيميائي «جيفري برنكر» الذي يعمل بالمختبرات القومية التابعة لجامعة نيومكسيكو الأمريكية من ابتكار نوع من الأحبار الذكية التي تصلح للاستخدام بجميع طرازات الطابعات التقليدية (١٦).



شكل رقم (٤-١٩)صورة توضيحية لحبر كربوني نانوي (٩١).

وأضاف «برنكر» جزيئات من بعض المواد، مثل: البروتينات، والفطريات، والمواد البلاستيكية إلى أحد المذيبات العضوية، وعندما تبخر السائل المذيب، تفاعلت هذه الجزيئات مع بعضها بعضًا تلقائيًّا مكوّنة رسومات وأشكالاً فنية متناهية في الصغر، مثل: خلايا شمع العسل، والخطوط المتشابكة، والزخارف.

والطريف في هذا الأمر أنّ هذه الرسومات والأشكال الزخرفية يمكن طباعتها على الخامات الطبيعية أو الاصطناعية كافة، مثل: الورق، أو السليكون، أو الزجاج العادي. ومن المنتظر أن ينتهي «برنكر» في المستقبل القريب من تصميم طابعة ملونة ذات كفاءة عالية، وتكلفة أقل، وتتميز هذه الطابعة الجديدة بإمكانية طبع جميع الألوان بدرجاتها المختلفة، وذلك بعد تزويدها بشريحة إلكترونية تضمّ مجموعة كبيرة من الرؤوس المتناهية في الصغر التي تحتوي على مئات الألوان، بحيث يحمل كل رأس لوناً واحدًا يندمج تلقائيًّا مع الألوان الأخرى، وبمجرد النقر على أمر «الطباعة»، تخلط الطابعة الألوان آليًّا، وبالطريقة نفسها التي شرحت آنفا؛ لتنتج أشكالاً وألواناً ذات جودة تفوق الخيال (انظر:الشكل رقم ٤-٢٠) (٦٣).



شكل رقم (٤-٢٠) صورة توضيحية للحبر الذكي (٩٢).

(٤-٧-٣) الطاقة النانوية (Nano Energy)

جرت مساعي حثيثة على مدى العقود القليلة الماضية في مجالات العلوم والهندسة؛ لتطوير أنواع جديدة ومحسّنة لتقنيات الطاقة التي قد تؤدي إلى القدرة على تحسين الحياة في جميع أنحاء العالم.

ويعدّ التصنيع النانوي أحد الحقول الفرعية المهمّة من تقنية النانو المرتبطة بالطاقة. وهو عملية تصميم وتصنيع أجهزة حسب المقياس النانوي، حيث يساعد تصنيع أجهزة أصغر من ١٠٠ نانومتر على إيجاد وتطوير طرق جديدة؛ للحصول على الطاقة، وتخزينها، ونقلها. وسيقدم ذلك إلى العلماء والمهندسين مستوى جيّدًا من التحكم، بحيث يؤهلهم لحل مشكلات كثيرة متعلّقة بالجيل الحالي من تقنيات الطاقة التي يواجهها العالم اليوم. وقد بدأ العاملون في حقول العلوم والهندسة العمل على تطوير طرق استخدام تقنية النانو في تطوير منتجات استهلاكية. ومن مزايا تصميم تلك المنتجات زيادة فاعلية الإنارة والتدفئة، وزيادة سعة التخزين الكهربائية، وإنقاص التلوث الناجم عن استخدام الطاقة؛ ممّا أعطى استثمار رأس المال في بحث وتطوير التقنية النانوية أولوية قصوى (٦٤).

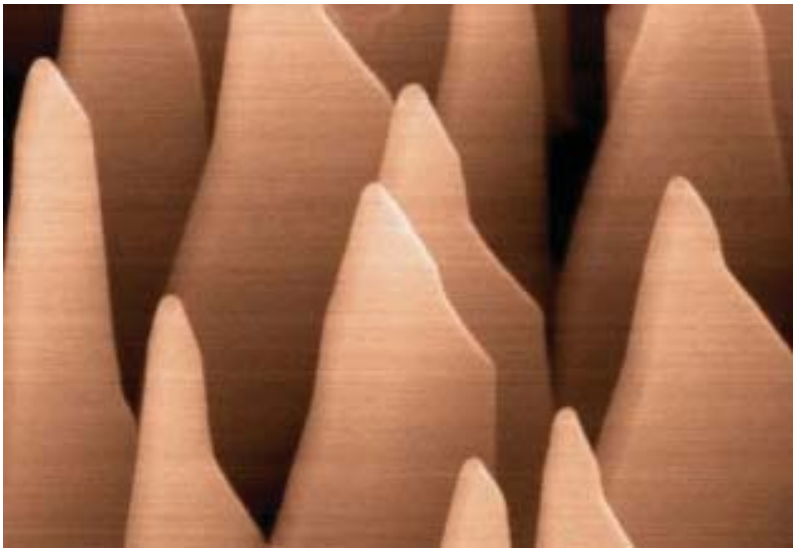
(٤-٧-٤) النانو والطاقة الشمسية (Nano and Solar Energy)

تعدّ الشمس مصدرًا مهمًّا جدًّا للطاقة لجميع أشكال الحياة على سطح الأرض، ومنذ اكتشاف الظاهرة الكهروضوئية بدأ الإنسان ينظر إلى الشمس كمصدر للطاقة الكهربائية، يتميز بالاستمرارية، وبالوفرة والنقاء. وبناء على ذلك، بدأ العلماء تصميم خلايا الطاقة الشمسية، وتطويرها؛ لتحويل طاقة الشمس الضوئية إلى كهرباء. ومنذ أوائل القرن العشرين عكف الباحثون على تطوير الخلايا الشمسية من أجل رفع كفاءتها، وخفض تكلفة إنتاجها، ولكن للأسف مازال استخدام تقنية الطاقة الشمسية محدودًا جدًّا، وذلك لعدة أسباب منها: انخفاض كفاءة الخلايا الشمسية التقليدية، بالإضافة إلى ارتفاع تكلفة إنتاجها.

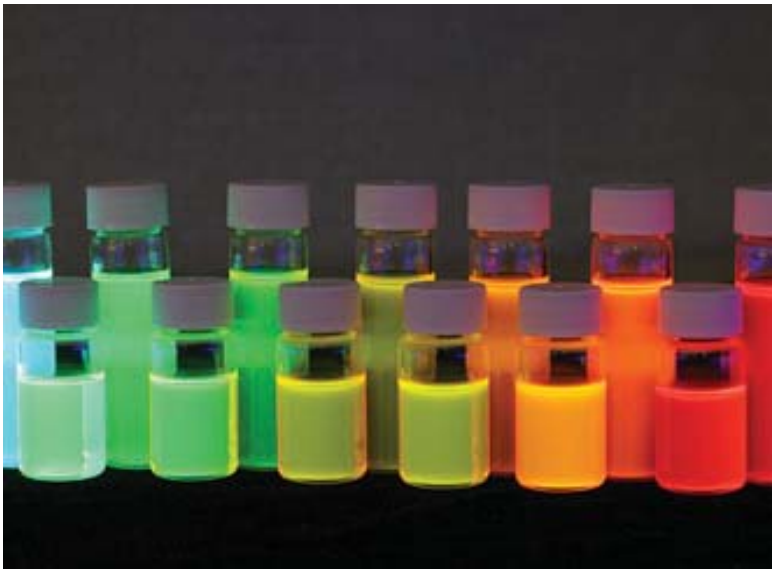
ولكن في عصرنا الحالي، نجد أنّ تقنية النانو القادمة تعد بتقديم حلول جذرية لهذه المشكلة، فالخصائص المذهلة لجسيمات النانو تمكنها من ريادتها في استغلال الطاقة الشمسية، فعلى سبيل المثال لا الحصر: تعدّ رقائق النانو (Nano-flakes) إحدى تراكيب النانو البلورية التي ستكون قادرة على تحويل أكثر من ٣٠٪ من الطاقة الشمسية إلى كهرباء (انظر: الشكل رقم ٤-٢١)، والسبب في ذلك الأبعاد الدقيقة (أبعاد النانو) التي تتميز بها هذه التراكيب.

ومن التطبيقات المستقبلية الفريدة التي تعد بها تقنية النانو تحويل أكثر من ٦٦٪ من الطاقة الشمسية إلى كهرباء، وذلك حسب ما صرّحت به الحسابات النظرية، وباستخدام النقاط الكمية (Quantum Dots) أحد جسيمات النانو شبه الموصلة، والتي تتراوح أبعادها ما بين ٢ نانومتر إلى ١٠ نانو مترات، أي: ما يعادل ١٠ إلى ٥٠ ذرة. وتتميز النقاط الكمية بقدرتها على تحويل نطاق واسع من الطيف الكهرومغناطيسي إلى طاقة كهربائية، كما تتميز أيضًا بقدرتها على إنتاج شحنات كهربائية أكثر (إلكترونات)، وذلك بالتفاعل مع طاقة فوتون واحد (١٠).

كما استخدم باحثون في معهد علوم المواد بمدينة تسكوبا باليابان، وعلى رأسهم العالم المصري المسلم البروفيسور شريف الصفتي أنابيب النانومترية كضوء حسّي؛ لزيادة كفاءة الخلايا الشمسية في تحويل الطاقة الشمسية وتخزينها. ونظرًا لمحدودية عمر مصادر الطاقة الرئيسة في العالم، مثل: الغاز الطبيعي، والفحم، فإنّ التوقعات والأبحاث الحالية تشير إلى وجود بدائل عن تلك الطاقة التقليدية، حيث سيكون لهاإسهامات على نحو كبير في المستقبل القريب. ويتجه العالم في العصر الحالي إلى الطاقة الشمسية كمصدر ثابت، وغير ملوث للبيئة. وقد شهد العالم في العقد الماضي



شكل رقم (٤-٢١) رقائق النانو يمكنها تحويل أكثر من ٣٠٪ من الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية (١٠).



شكل رقم(٤-٢٢)النقاط الكمية التي يمكنها تحويل أكثر من ٦٠٪ من طاقة الشمس إلى طاقة كهربائية، ولها القدرة على تغيير لونها وفقاً لتغيّر أبعادها (١٠).

تقدمًا كبيرًا في تقنية تصنيع الخلايا الشمسية بالاعتماد على الأصباغ. والخلايا الشمسية (DSSC) من الوسائل المهمّة؛ لتحويل الضوء المرئي الشمسي إلى طاقة كهربية باستخدام المواد شبه الموصلة(٦٥).

وقد نجم عن تطوير المواد النانومترية تصنيع خلايا شمسية متطورة، ومصنعة من مواد تعتمد على المواد النانومترية التي أثبتت أنها أكثر كفاءة وحساسية؛ لحرية حركة المواد والأصباغ المستخدمة في تحويل الطاقة الشمسية في داخل الفراغ النانومتري لتلك المواد.

ولقد بلغ اهتمام العالم بتحسين تصنيع تلك الصباغ الجديدة إلى مرحلة متقدمة؛ ممّا أدى إلى الحصول على المحفزات الضوئية في الخلايا الشمسية بكفاءة كهروضوئية تصل إلى ١١٪ (٦٦).

وهدفت دراستهم إلى وضع رؤية متكاملة حول تصنيع واستخدام الطاقة الشمسية استخدامًا اقتصاديًّا وصديقاً للبيئة عن طريق تطوير عدة أصباغ محفزة؛ لامتصاص الطاقة الشمسية داخل الأنابيب والأسلاك النانومترية ثلاثية الأبعاد. وتوضّح دراستنا هذه المبنية على أكاسيد المعادن التي تبطن بها الأنابيب أو الأسلاك النانومترية ، أنّ لها قدرة فائقة في تقنية تصنيع الخلايا الشمسية من أجل استخدامها كمصدر بديل واعد للطاقة، حيث إنها تولد طاقة كهربائية بكفاءة عالية، وبأسعار منخفضة، وذلك مقارنة بمثيلاتها من الخلايا التقليدية، وهذه المميزات مهمّة جدًّا في مجال صناعة الخلايا الشمسية(٦٦).

ومن أهم الفوائد التي تعطيها الأكاسيد البلورية داخل الأنابيب، أو الأسلاك النانومترية، مثل: أكسيد التيتانيوم($Tio2$) استطاعتها امتصاص الأشعة فوق البنفسجية، وزيادة الانبعاث الطيفي في المنطقة المرئية، حيث يؤدّي ذلك إلى كفاءة عالية في تصنيع وتطوير الخلايا الشمسية التي تستخدم كمصدر واعد؛ لإنتاج الطاقة البديلة.

ويعدّ حاليًّا البروفيسور الصفتي وفريقه مشروعًا بحثيًّا؛ لتصميم وتشييد أنابيب وأسلاك نانومترية مبطنة داخليًّا بأصباغ محفزة؛ لامتصاص الطاقة الشمسية؛ ممّا سيؤدى إلى طفرة في صناعة الخلايا الشمسية، وفتح آفاق جديدة في هذا المجال من حيث تحويل الضوء المرئي إلى كهربائي على أساس امتصاص واسع النطاق داخل الأكاسيد شبه الموصلة في الأنابيب، والأسلاك النانومترية.

ويتوقع من خلال هذا التصميم المقترح سهولة امتصاص الضوء الشمسي، وتحويله إلى طاقة ضوئية بكفاءة عالية، تزيد على ما هو موجود حاليًّا، وبنسبة قد تصل إلى حوالي ٢١ ٪.

وستكون نتائج هذا المشروع عالية في المناطق التي تتمتع بنسبة سطوع عالية للشمس خلال العام

،ومن بينها المملكة العربية السعودية؛ لما تتمتع به من طقس دافئ، وشمس ساطعة طوال أيام العام. كما يتوقع من هذا البحث أن يشهد نجاحًا كبيرًا على أرض المملكة.

وكذلك يتوقع من هذا المشروع البحثي المقترح أن يساعد على عدم اقتصار التطوير على صناعة الخلايا الشمسية، وأن يتضمّن ذلك التطوير مجالات تصنيع الإلكترونيات، والأجهزة الكهربائية والكهروميكانيكية.

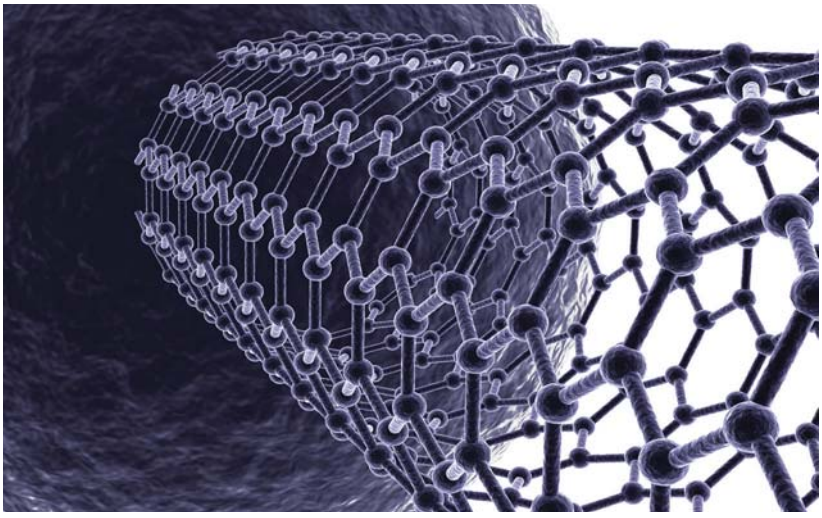
شكل رقم(٤-٢٣) الخلايا الشمسية الجديدة باستخدام النانو(٦٦).

(٤-٧-٥) تقنية النانو والصناعات النفطية (Nano and Petroleum)

لايزال النفط السلعة الرئيسة في عمليات توليد الطاقة والتصنيع في معظم دول العالم. كما أنّ التوقعات العلمية لاتزال تشير إلى وجود احتياطات كبيرة منه في الدول المنتجة، وعدد من الأقاليم الواعدة.

وتتعاون الشركات النفطية مع معاهد البحوث العلمية؛ للاستفادة من كل التطورات الحديثة في مجال استخدام التقنية المتطورة جدًّا في الصناعة النفطية؛ وذلك بهدف دعم وتعزيز هذه الصناعة الحيوية. ومن هذه التقنيات الحديثة تقنية النانو التي يمكن استخدامها في عدد من المراحل في الصناعة النفطية، إضافة إلى استخدام تطبيقاتها في المنشآت النفطية(٢٧).

شكل رقم(٤-٢٤)تقنية النانو والصناعات النفطية(٦٦).



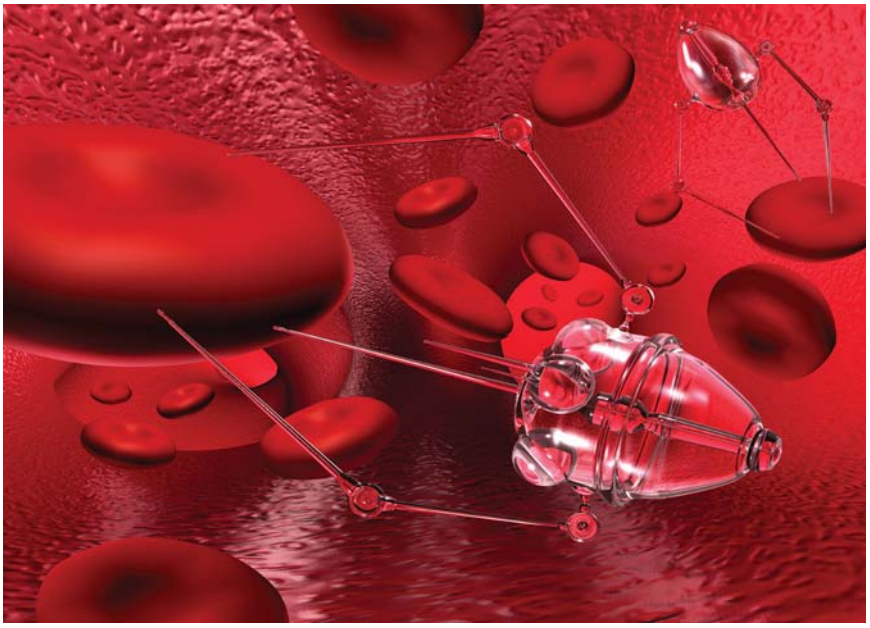
شكل رقم(٤-٢٥)تطبيقات النانو في الصناعات النفطية كثيرة ومتعددة (٩٢).

(٤-٧-٥-١) إنسالات لكشف المخزون النفطي (Nano robot)

تسعى بعض الشركات إلى استخدام تقنيات حديثة، مثل: مجسّات الإنسالات النانوية (النانو ربوت)؛ للكشف عن مستوى المخزون النفطي، ومواقعه في الحقول. وهذا المجسّ بمنزلة إنسالة (ربوت) في غاية الصغر، ولا يتعدى حجمه بضع مئات فقط من النانومتر، ويتمكن من المرور خلال الفسحات

المسامية، والمجازات الضيقة جدًّا في الصخور التي تمثل مكامن النفط في باطن الأرض.

وتصنع هذه المجسّات بأعداد كبيرة، وتضخ بكثرة إلى باطن الأرض مع الماء الذي يحقن في المكمن؛ لدفع النفط . وتمضي هذه المجسّات محمولة بالماء والنفط عبر المكمن، وتجمع خلال رحلتها معلومات عن الضغط، وحرارة السوائل، ونوعها، كما تخزّن هذه المعلومات في ذاكرة حاسوبية. ومع مضي عمليات الإنتاج قدمًا، سيحمل النفط هذه المجسّات إلى الآبار المنتجة للنفط، ومن ثمّ ستلتقط من النفط المنتج، ثمّ تستخلص المعلومات من ذاكرتها. وبهذه الطريقة يمكن رسم خريطة دقيقة لخواص المكمن بصورة لا يمكن تخيلها في الوقت الراهن، ومن ثمّ إحداث نقلة نوعية في مجال القدرة على رصد ما يحصل في باطن المكمن(٢٧).



شكل رقم(٤-٢٦) ربوت نانوي Nano robot (٩٢).

(٤-٧-٦)تقنية النانو والسيف الدمشقي (Nano and Damascus Sword)

شكّل السيف الدمشقي عبر القرون الماضية لغزًا في الصناعة الحربية، إذ رويت عنه الأساطير، حيث قيل: إنّ الشعرة كانت تنشطر إلى نصفين لدى سقوطها علي نصله، وأنه كان من عوامل انتصار "صلاح الدين الأيوبي" على الصليبيين في المعارك التي خاضها ضدهم، وأنّ القادة الأوروبيين كانوا يرسلون التجار إلى دمشق؛ لشراء تلك السيوف المميزة ،وبأغلى الأثمان؛ للتباهي بها، واستخدامها

في المبارزات، والمعارك المهمّة. وروي أن الإسكندر الأكبر ما كان ليقطع عقدة "غورديان" لو لم يمتلك سيفاً دمشقيًّا. وعلى الرّغم من محاولة الحرفيين الغربيين تقليده عبر العصور فإن صناعته ظلت لغزًا حتى يومنا هذا(٢٧).

كما امتازت السيوف الدمشقية عن غيرها بظاهرة فنية عرفت باسم «جوهر السيف» أو «فرندة»، وللجوهر أسماء منها: «الدمشقي»، أو «الشامي»، وله أشكال كثيرة تظهر على النصال، وتشاهد له تموجات ، وبقع. ومن أهم خصائص الجوهر الدمشقي أنه يمتاز بأشكال البقعة المحكمة: كتموجات رائعة، كما يمتاز بإشراق يميل إلى البياض مع عدم قابليته للصدأ كسائر أنواع الجوهر، كما يمتاز بلينه، ولدانته، وثباته، فالجوهر الدمشقي إذا طرق نصله وأعيد تحضيره ظهر فيه الجوهر(٢٧).

أين السر؟

أعلن «بيتر بوفلر» الباحث بالجامعة التكنولوجية بمدينة دريسدن الألمانية أنّ الفريق البحثي قد اكتشف عند تحليله إحدى شفرات السيوف الدمشقية دقيقة التكوين عن وجود آثار لأنابيب متناهية في الصغر بمنزلة أسطوانات دقيقة من الكربون ذات مواصفات خاصة. وأوردت جريدة «القبس الإلكترونية» إضافة«بوقلر» إلى ما سبق ذكره، أنّ تلك الأنابيب المتناهية في الصغر المصنوعة من الكربون صارت اليوم قمة تكنولوجيا النانو، أو علم المواد المتناهية في الصغر، كما أنه من المحتمل احتواء بقايا ‹لأسلاك المتناهية في الصغر› من الكربيد، والمصنوعة من مادة شديدة الصلابة في داخلها على أنابيب متناهية في الصغر من الكربون، وهي التي أعطت السلاح قوته غير الطبيعية، وشكله الأخاذ. وأشار إلى أنّ الحدادين قد استطاعوا من خلال تطوير معالجة الشفرة لأقصى حدّ ممكن عمل أنابيب متناهية في الصغر قبل أكثر من ٤٠٠ سنة. ويمكن للعلماء الآن بمزيد من دراسة وتحليل السيوف الدمشقية معرفة المكونات الأساسة لتلك السيوف؛ ممّا يعطيهم القدرة على إعادة إنتاج هذه الوصفة التي طال نسيانها الصلب الدمشقي، حيث ظلت الكيفية التي تمكن بها حدادو العصور الوسطى من التغلب على ضعف المادة الصلبة؛ لإخراج هذا المنتج النهائي القوي سرًّا من الأسرار حتى الآن(٢٧).

(٤-٧-٧) النانو والصناعات الأخرى (Nano and other industries)

هناك صناعات كثيرة سيكون لتقنية النانو دور كبير في تطويرها في المستقبل القريب، ومن أهمها: تقنيات الإعلام والاتصال، والبيئة، والطاقة، والنسيج، والكيمياء، ومواد التجميل والعطور، والخزف، ومواد البناء، والمطاط، والمواد البلاستيكية، والزجاج والمواد المصنوعة منه، والسيارات، والطائرات(١٠).

شكل رقم(٤-٢٧)سيف دمشقي قديم (١٠).

شكل رقم(٤-٢٨) سيف روسي من القرن التاسع عشر بنصل من حديد دمشقي (١٠).

ففي صناعة السيارات والطائرات تقدّم تقنية النانو الكثير؛ لتحسين الصناعة في هذين المجالين، فمثلا: تتدخل هذه التقنية في صناعة الأبواب، والمقاعد، والدعامات، ومن أهم مميزات هذه القطع المحسّنة صلابتها، ومرونتها العالية في الوقت نفسه، وكذلك تتميّز بخفة وزنها. كما تدخل تقنية النانو أيضًا في تحسين الزجاج على وجه العموم، وتحسين زجاج النوافذ على وجه الخصوص، حيث يصبح عالي الشفافية، وذلك باستخدام نوع معيّن من جسيمات النانو في صناعة نوع من الزجاج يعرف باسم «الزجاج النشط»، حيث إنّ هذه الجسيمات تتفاعل مع الأشعة فوق البنفسجية، فتهتز؛ ممّا

يزيل الرواسب، والأوساخ، والغبار الملتصق بالسيارات. كما تتميّز هذه الجسيمات أيضًا بتشكيلها سطحًا طاردًا للماء؛ ممّا يجعل تنظيفها أمرًا سهلاً لدرجة أنه أطلق عليه اسم «زجاج التنظيف الذاتي».

وكذلك من ميزات القطع المحسنة المستخدمة في صناعة الأجزاء الداخلية، أنها تقلل استهلاك الوقود، وستساعد على صنع محركات نفاثة تتميز بهدوئها، وأدائها العالي.

كما تستخدم تقنية النانو في المجال الرياضي عمومًا في تحقيق هدفين هما: تقوية الأدوات الرياضية، وإكسابها المرونة والخفة، حيث إنّ بعض جسيمات النانو أقوى بمئة مرة من المعدن الصلب، وأخف منه. ومن المنتجات التي حسّنت: مضارب الهوكي، ومضارب البيسبول، ومضارب كرات التنس، وكرات الجولف.

وتستخدم تقنية النانو أيضًا في مجال الدهانات، حيث تتميز هذه الدهانات بقدرتها على مقاومة الخدش، والتآكل، والتفتت؛ ممّا سيجعلها مناسبة تمامًا لدهن السفن، والمراكب. وفي صناعة الشاشات التلفازية، وشاشات الحاسوب، فإنّ تقنية النانو لها تأثير ملحوظ في تحسين أدائها، وتوفير الطاقة اللازمة لتشغيلها، كما أنها ستتميّز بوضوح ودقة عاليتين. أمّا بشأن حجمها فتتميّز بصغر سماكتها، وخفة وزنها (١٠).

كما توجد استخدامات كثيرة تخدم مجال الصناعات الإلكترونية، مثل: مجال صناعة الترانزستورات، حيث بدأ مصنعو الترانزيستور الوصول إلى الحدود الطبيعية لمدى صغر رقائق السيلكون، والنحاس التي تصنع منها مثل هذه المواد. وقد ساعدت هذه التقنية هؤلاء العلماء على الوصول إلى طريقة مبتكرة؛ لتصنيع ترانزستورات أصغر بكثير من الرقائق الحالية، وليس ذلك عبر تقليل حجم الرقائق الحالية، ولكن بتصنيعها من الجزيئات الفردية. فقد ساعدت الأبحاث التي أجراها أربعة علماء يعملون في مركز الأبحاث التابع لوكالة الفضاء الأمريكية (ناسا) على تمهيد الطريق؛ لبناء ترانزستورات من الأنابيب الكربونية المتناهية في الصغر، والتي صنعت من طبقة واحدة من الذرات الكربونية التي تقاس من خلال النانومتر. واستنتج العلماء إمكانية تصنيع الترانزستورات من الأنابيب المتناهية في الصغر.

وتضمّنت اكتشافاتهم الغوارتيمية تشكيل هذه التطبيقات، والتقنيات الجديدة؛ لإرسال المعلومات، والمكونات الكربونية التي تعمل مثل المحطات الطرفية لمفتاح تشغيل الترانزيستور، ووسائل استخدام سلاسل أنابيب النانو بالأنظمة الإلكترونية (١٠).

ويتوقع المراقبون أن تُشعل تكنولوجيا النانو سلسلة من الثورات الصناعية خلال العقدين القادمين،

حيث ستؤثر في حياتنا تأثيرًا كبيرًا. ويشير بعض الباحثين إلى أنّ تقنية النانو ستصبح في المستقبل القريب أكبر من تقنية الإنترنت، وأبعد مدى منها، وستجلب ثروة هائلة جديدة تحطم الكثير من الثروات المالية القديمة، وستهزّ كل ما هو قائم من أعمال في كوكبنا.

(٤-٨) النانو في المجال الحربي (Nano in military field)

لقد بدأت التطبيقات العسكرية لهذا الفرع الجديد من المعرفة في الظهور بصورة متسارعة لدى عدد من وزارات الدفاع، والمؤسسات العسكرية الأخرى في الدول المتقدمة، وذلك مع زيادة البحوث في علم تقنية النانو. وعلى سبيل المثال لا الحصر تسعى بعض المؤسسات العسكرية إلى تصنيع ما يعدّ خرقاً هائلاً لمنظومات نانوية هجومية، ولها شكل وحجم حشرة اعتيادية تطير في الأجواء، ولها القدرة أيضًا على مطاردة الخصم، ومتابعته، وتصويره، بل وحتى قتله.

ومن أهم تطبيقات المنظومات الإلكتروميكانيكية الميكروووية، أو النانوية في المنظومات العسكرية، العتاد، والوقود، والطعام، وطرق دعم لوجستي أكثر ذكاء وكفاءة. وحجم هذه الحشرة يبلغ ٢٠٠ مايكرون، وهذا يمثل الحجم المناسب للأسلحة القادرة على تعقب الأشخاص غير المحميين، وحقن السموم في أجسادهم(٢٠).

ومن الأفكار المطروحة، وتوجهات التوظيف العسكري الراهن لتقنية النانو ما يلي:

-إيجاد بديل إلكتروني للجزء الحيوي من الأدمغة البشرية المعروف باسم (قرن مون)؛ للوصول إلى وضع يستطيع معه صاحب الدماغ المعدّل إلكترونيًّا تحميل الذاكرة بمئات أضعاف ما هو متاح طبيعيًّا، وتخزين التعليمات المعقدة، والقدرة على تحقيق الاتصال والتواصل بين دماغ بشري وآخر.

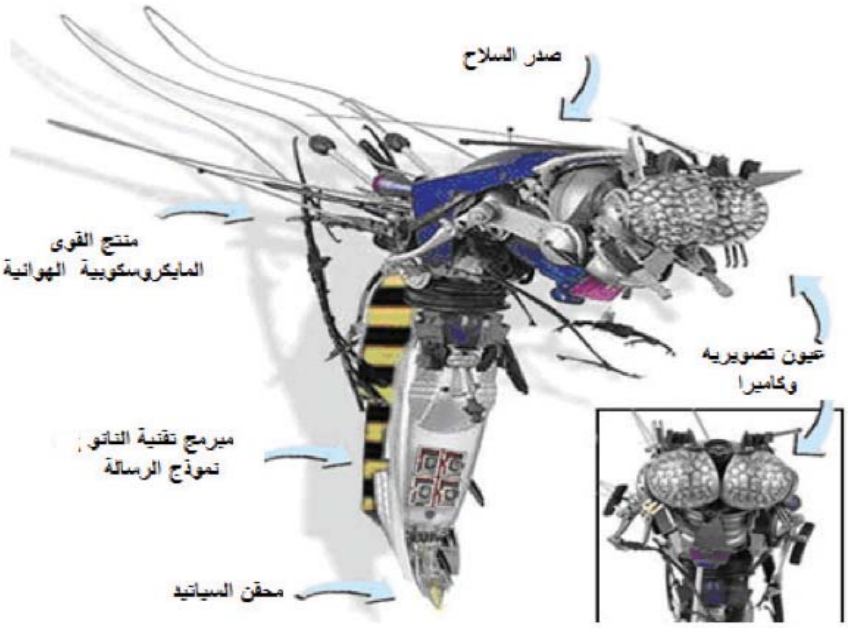
-ابتكار أعضاء وبدائل مصنعة لأجزاء من الجسم؛ لرفع مستوى وقدرات الأداء البشري.

- صناعة أقراص تغيّر عمليات الاستقلاب في خلايا أجسام الجنود؛ لمنحهم القدرة على البقاء لعدة أيام بدون نوم وطعام.

- صنع ربوتات تكاد تطابق الكائنات الحية، بحيث تصمّم على غرار الصراصير، وتستطيع التسلق على الجدران، والسلالم، والتضاريس الصخرية المختلفة.

-استخدام نحل قادر على اكتشاف المتفجرات.

- صنع أنظمة ترصد من مسافة بعيدة الحالة الذهنية للأشخاص المشكوك بهم، أو المرغوب في مراقبتهم، والتجسّس على أفكارهم، وذلك باستخدام تقنية قريبة من التصوير بالرنين المغناطيسي، وسواه، بحيث تتمكن هذه الأنظمة من كشف نوايا الشخص، وقراءة أفكاره مسبقاً.



شكل رقم(٤-٢٩)صورة افتراضية لمنظومة نانوية هجومية بحجم الحشرة الاعتيادية (٢٧).

شكل رقم(٤-٣٠)صورة أخرى لمنظومة نانوية هجومية بحجم الحشرة الاعتيادية (٢٧).

ومن المتوقع أن يستفيد المجال العسكري، وخاصة مجال التجسّس، حتى إنّ بعض الناس يخشون أن تكون الحياة المدنية للأشخاص مكشوفة للعيان، مع هذه التقنية المخيفة، فماذا لو سقطت في أيدي العامة؟! حيث لن تكون هناك خصوصية لأحد في منزله. والدول المتقدمة توصلت إلى صنع طائرات تجسّسية بحجم راحة اليد، وذلك بواسطة تقنية النانو. وفي مجال صناعة الأسلحة والقنابل فالميدان خصب؛ لإنتاجها بتقنية النانو(٢٧).

(٤-٨-١) النانو والأسلحة القذفية

ستساعد تقنية الأجسام المتناهية في الصغر (نانو) على تصنيع أسلحة قذفية، ذات أوزان خفيفة ، ومتانة أكثر، وكفاءة عالية، وأكثر راحة، وذلك مقارنة بالأسلحة القذفية المستخدمة في السابق. وقد وضع الباحثون في المجال العسكري نصب أعينهم على هذه الأهداف؛ لتحوير الألياف، والمنسوجات، والمعادن، والمواد غير العضوية، وذلك بإضافة مواد نانوية إليها؛ لتحقيق بعض هذه الأهداف. فمثلاً : يطور باحثون في إحدى الجامعات مزيجًا من مواد نانوية مع بوليمرات تنتج عند ارتطامها بالهدف بسرعة عالية جدًّا مادة جديدة لها ضغط هائل. وهذا التفاعل يساعد على وقف مقذوفات العدوّ عبر امتصاص طاقتها. واستعمالها في التفاعلات الكيميائية يؤدي إلى تكوين منطقة صلبة، وقوية، وقادرة على وقف تلك القذيفة.

وطوّر باحثون آخرون مائعًا يحتوي على جسيمات نانوية تتصلب عند الارتطام.

(٤-٨-٢) النانو والقوة الجوية (Nano and Air forces)

تمثل القوة الجوية عصب الجيوش، ودرعها الواقي؛ لذا لم تتراجع القوة الجوية يومًا عن البحث؛ لتطوير كل ما يتعلق بالطائرات، سواء أكان ذلك متعلقاً بمحركات أم أبداناً أساطيلها من الطائرات المقاتلة. وجاءت تقنية النانو؛ لفتح آفاق جديدة للمهتمين بتطوير القوة الجوية، بل يتوقع أن تحدث ثورة تقنية في عالم القوة الجوية، بحيث تؤدي إلى تطوير لافت في هذا المجال(٢٧).

(٤-٨-٣) تقنيات الطاقة النانوية

الطاقة مهمة جدًّا للمؤسسات العسكرية وغير العسكرية؛ ولذلك تعمل عدة مؤسسات رسمية وشركات خاصة على الاستفادة من بعض الجسيمات النانوية في شؤون تخص الطاقة، مثل: خزن

الطاقة، وتوليدها، وكذلك تعمل على تطويعها؛ لكي تستعملها في معالجة المياه، ومنحها صفات ميكانيكية أفضل من ذي قبل. وعملهم ينصب على تركيب جسيمات نانوية تتحلل في السوائل؛ أو لتحضير طلاء،أو لتشكيل أشكال صلبة مجسّمة (٢٧).

(٤-٨-٤) كفاءة الأسلحة النانوية

يتوقع خبراء الدراسات المستقبلية أنّ استخدام تقنية النانو في التطبيقات العسكرية سيغيّر ميزان القوى العالمي؛ لأنّ تنوع وتوسع التجهيزات العسكرية حينها سيتيح خيارات أكثر تتعلق بطريقة الردّ على أي اعتداء. ويعلق أحد الخبراء على ذلك بقوله:» إن التقانات الإلكترونانوية ستزيد قوة الولايات المتحدة الأمريكية في وقت السلم، وفي وقت الأزمات والحروب؛ لأنّ الحواسيب النانوية، وسرعة المعلومات المتدفقة، وكثرتها ستسهم إسهامًا أكفأ وأسرع في البحث عن النشاطات المعادية، وستسهم محسّات المخابرات، ومنظومات العزل في عزل حركة الخصوم. وفي ساحة معركة تقليدية قد تسهم التقانات النانوية في تصنيع أسلحة مقاومة للدروع، وستكون صغيرة الحجم، ورخيصة الثمن، وفائقة الدقة، وهذا سيتيح تغلب جيش صغير نسبيًّا على جيش كبير مسلح بالكثير من الأسلحة التقليدية. وفي مستوى الصراعات النووية، فإنّ التوجيه والقيادة بواسطة حاسوب نانوي، وتصنيع مكائن نانوية، سيجعل الأسلحة النانوية أسلحة ذكية، توجه نحو أهداف محددة فتصيبها بدقة عالية. كذلك فإنّ عملية إثراء الصواريخ والقذائف بالتقنيات النانوية، سيجعلها تصيب أهدافها بدقة عالية»(٢٧).

(٤-٩) تقنية النانو والفضاء (Nano and Space)

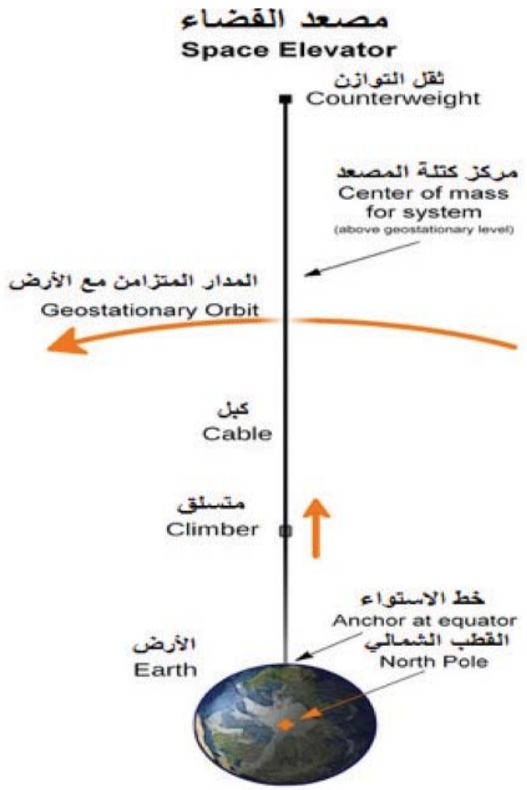
ذكر ميابان مدير مركز تقنية النانو في مركز أميس للأبحاث التابع لناسا ما يلي:«لقد تحقق تقدم مؤكد في هذا المجال "، وذلك مقارنة بالأبحاث الرئيسة التي كانت تجرى قبل أعوام. وأضاف ما يلي:» لقد بدأنا التوصل إلى بعض الاستنباطات».

فقد صنع مجسّ كيميائي باستخدام أنابيب نانو كربونية. ومثل هذا الجهاز مثالي للاستخدام في مهام ناسا المتعلقة بكيمياء الفضاء.

كما صمّم جهاز لقياس الموجات باستخدام تقنية النانو، وأداؤه أعلى بكثير من الأجهزة التجارية المتوفرة، في حين يستخدم طاقة أقل، كما أنه أخف وأصغر حجمًا مقارنة بغيره. وقال ميابان أيضًا:» إنه يمكن وضع الجهاز في كف يده». كما ذكر ميابان «أنّ على ناسا أن تنظر نظرة بعيدة المدى بكل ما يتعلق بقدرات تقنية النانو التي يمكن أن تكون فعّالة في القمر، والمريخ، والخطط الخاصة بفترة تتراوح

ما بين ١٠ إلى ١٥ سنة». وكان ميابان قد قاد ورشة التحدي العظيم لمبادرة تقنية النانو التي تمت تحت رعاية ناسا، ومن المرجح أن يكون لتقنية النانو دور في جهود الفضاء. ويعدّ المصعد الفضائي إحدى الأفكار العظيمة؛ لتطبيق تقنية النانو، حيث يتخيل فيه أنّ كابلاً مرتبطاً بالأرض على منصة عائمة في خط الاستواء، وفي الناحية الأخرى معلقة في الفضاء فيما بعد المدار. ويستخدم المصعد الفضائي مصاعد كهربائية تتحرك على الكابل؛ لوضع صواريخ، ومحطات فضائية، ومعدات في مدار الأرض. وستتيح أنابيب النانو للمهندسين بناء مصاعد فضائية، والتحرك بسرعة في الفضاء. ويمكن للمادة نفسها خفض كلفة نقل المعدات عبر المصاعد، وتخفيف وزن الأقمار التي تعمل بالطاقة الشمسية، ومحطات الفضاء.

وسيوفر مصعد الفضاء حال إتمامه طريقة سهلة ومخفضة التكاليف؛ لنقل الناس والبضائع إلى الفضاء. كما أنّ قوة الطرد المركزي الناشئة عن الحركة عند قمة المصعد، قد تساعد على قذف السفن الفضائية إلى المريخ، والكواكب الأخرى.

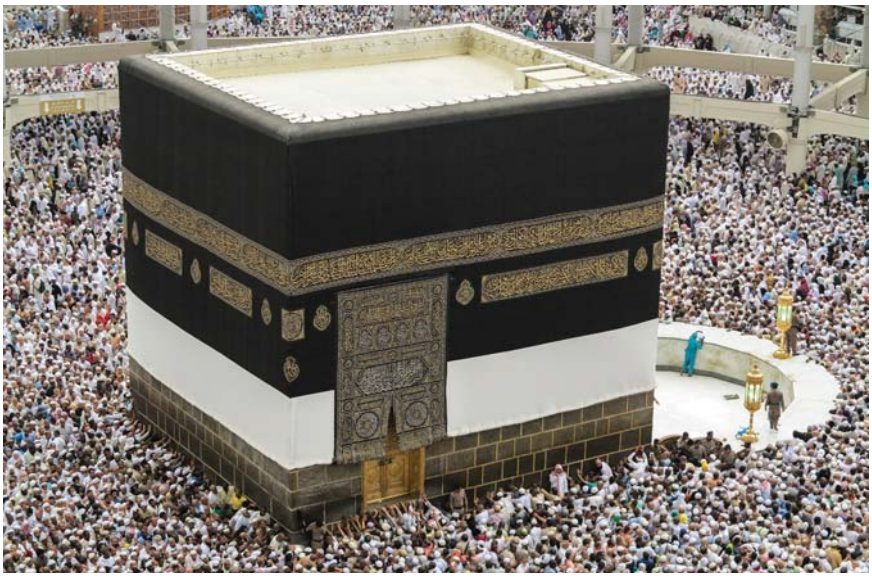


شكل رقم (٤-٣١) صورة تخيلية لمصعد الفضاء باستخدام تقنية النانو(٩٢).

(٤-١٠) تقنية النانو والحج (Nanotechnology and Hajj)

كشف أمين العاصمة المقدسة (مكة المكرمة) لجريدة الرياض السعودية في عددها الصادر بتاريخ ٢٠٠٨/١٢/١٢م الدكتور أسامة البار عن قيام الأمانة باستخدام تقنية النانو في خدمة ضيوف الرحمن لأول مرة في موسم حج ذلك العام. وبين أمين العاصمة المقدسة استخدام مادة مصنعة بتقنية النانو مضادة للبكتيريا والفطريات كتجربة استطلاعية، وبحثية، وعلى نحو مبسط؛ للتأكد من مدى فائدتها بالتعاون مع بعض الباحثين في مركز أبحاث الحج، حيث طبّقت التجربة في المسجد النبوي الشريف بالتعاون مع أمانة المدينة المنورة.

كما قال الباحث بمركز أبحاث الحج بجامعة أم القرى الدكتور عاطف أصغر: «إنّ النانو هي عبارة عن مادة مضادة للبكتيريا، والفطريات، والفيروسات، وهي ترش على السجاد، والأقمشة، والجدران مع الدهان، ولديها أنواع مختلفة». وقد أشار إلى أنّ المادة التي رشّت على سجاد المسجد النبوي بتركيز معيّن موصى بها من الشركة المصنعة. وقال أيضًا: «إنّ أمراض الجهاز التنفسي هي الأكثر شيوعًا بين الحجاج بسبب ارتفاع نسبة الميكروبات في الهواء، وتزايد النشاط الآدمي بحسب الحشود البشرية». وقد وضّح أنّ رشّ هذه المادة على السجاد، والخيام، والإحرام يمنع انتقال الميكروبات إلى الآخرين(٦٧).



شكل رقم (٤-٣٢) زحام الحجيج للطواف حول الكعبة المشرفة (٩٢).

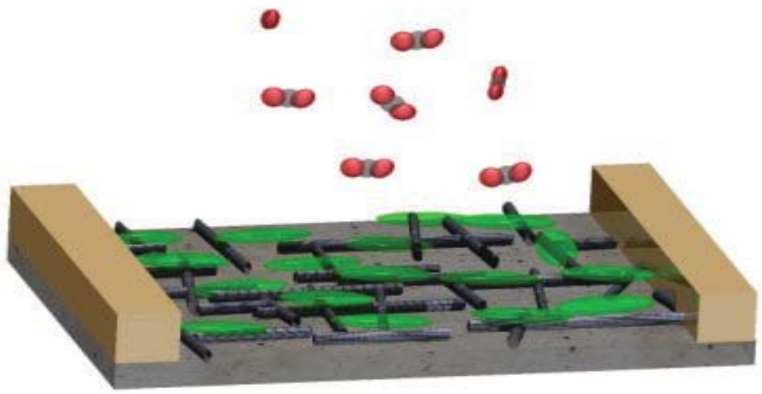
(٤-١١) بعض التطبيقات المستقبلية لتقنية النانو

سنعرض بعض الأفكار والتطبيقات التي يتوقع أن ترى النور في المستقبل القريب على النحو التالي:

(٤-١١-١) جهاز لمراقبة التنفس أثناء العمليات الجراحية

يكون هذا الجهاز عادة ضخمًا، بحيث يحتل غرفة كاملة، ويستخدم في مراقبة تنفس المريض أثناء إجراء العمليات الجراحية، ولكن بفضل الله-سبحانه وتعالى- ثمّ بهذه التقنية أمكن تصغير حجمه إلى حجم كف اليد، ويمكن استعماله داخل حجرة العمليات، ولكن الاستعمال الأهم له يكون في مواقع الحوادث، والكوارث، حيث تستطيع الفرق الإسعافية حمل هذا الجهاز معها إلى موقع الحادث، أو الكارثة، واستخدام هذا الجهاز في مراقبة تنفس المصاب، واتخاذ اللازم في حال ملاحظة مشكلات في التنفس.

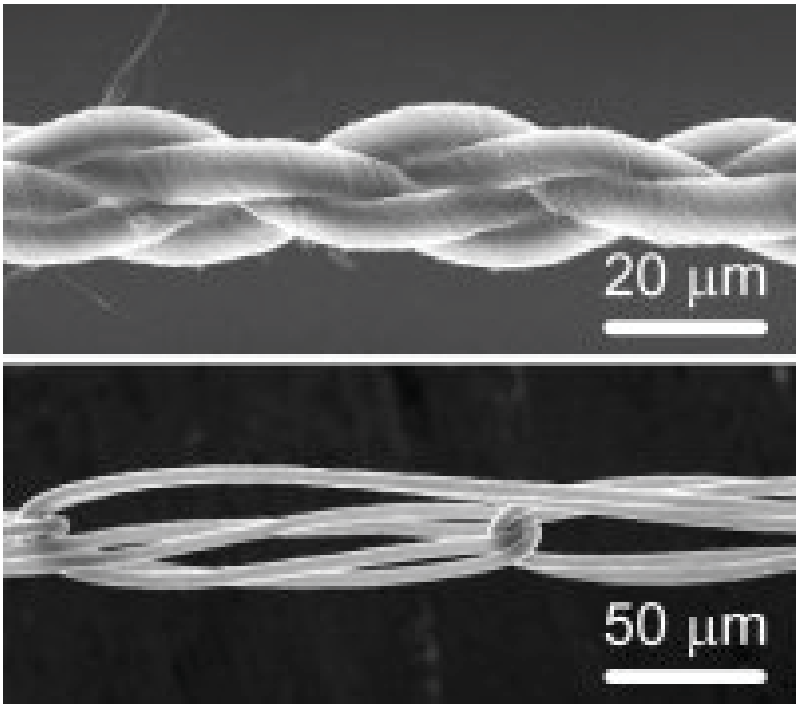
والشكل رقم (٥-٣٣) يمثل صورة مبسطة لمبدأ عمل الجهاز، وهو يتكون من شبكة من الأنابيب الدقيقة المصنوعة من ذرات الكربون، ومغطاة بطبقة من مادة عضوية، وهذا المزيج يتفاعل تلقائيًّا مع ثاني أكسيد الكربون الذي يفرزه الإنسان عند التنفس. وهكذا يمكن مراقبة تنفس المريض عن طريق قياس تركيز ثاني أكسيد الكربون الذي يفرزه المريض.



شكل رقم (٤-٣٣) جهاز لمراقبة التنفس أثناء العمليات الجراحية (٦٨).

(٤-١١-٢) الحياكة النانوية (Knitting nanomaterials)

استطاع فريق من العلماء أن يتوصل إلى صناعة ألياف طويلة من سلاسل الكربون، ويمكن تجميعها معًا، ولفها بعضها ببعض؛ لتكوين ما يشبه الإبرة التي يمكن استخدامها في أمور كثيرة، مثل: صناعة ضمادات يمكن أن تساعد المصابين في الحوادث أو الحروب على المشي إلى المنطقة الآمنة، أو إلى أقرب مركز إسعاف، كما يمكنها في الوقت نفسه إيقاف النزيف، أو احتوائه إلى حين الحصول على عناية طبية كاملة. وسيكون باستطاعتنا بواسطة هذه الإبرة حفر تجاويف دقيقة في الضمادة، وتركيب أجهزة إرسال دقيقة فيها، بحيث ترسل إشارة استغاثة إلى أقرب وحدة إسعاف. والشكل رقم (٤-٣٤) يمثل صورة التقطت بواسطة الميكروسكوب لألياف الكربون الصغيرة جدًّا، والملفوفة على بعضها بعضًا(٦٨).



شكل رقم(٤-٣٤)حياكة نانوية لألياف نانوية من الكربون (٦٨).

(٤-١١-٣) المواد العضوية والحاسوب (Organic materials & computer)

يُعدّ «مجلس الأبحاث القومي الكندي» إحدى المنظمات القليلة التي تبحث في الشؤون المعقدة

تكنولوجيًّا، بما فيها تكنولوجيا النانو. وأصدر أوراقاً علمية أورد فيها مقاربة لموضوع تحضير أجهزة دقيقة جدًّا، تستطيع الإحساس والتجاوب مع المعلومات التي تأتي من محيطها. وافترضت إحدى الدراسات التي صدرت عن هذا المجلس إمكانية اللجوء إلى مواد عضوية في صناعة شرائح السيلكون؛ لكي تحل محل التوصيلات التي تنهض بأمرها الأسلاك الدقيقة. وإذا تحقق ذلك فسينفتح المجال أمام إدخال أنسجة (مثل: الخلايا العصبية) تملك القدرة على التفكير؛ لتصبح جزءًا من شريحة الحاسوب. ومن الواضح أنّ إدماج تلك الأنسجة مع الرقاقات الإلكترونية أمر يحتاج إلى تقنيات علم تقنية النانو. وتضيف تلك الدراسة أنّ هذه المواد العضوية تستطيع تشكيل خطوطٍ تنقل المعلومات بمقدار سرعة الضوء. وهناك أسباب عدة تثير الانتباه لتقنية النانو؛ وذلك لما نشهده في ظلّ اكتشافات صناعة الأجهزة الدقيقة باستخدام هذه التقنية، وأهمها ما يلي:

١ - لحظ قانون مور (Moore Law) الذي يوجّه مسارات كثيرة في صناعة الحاسوب، أنّ قوة الشرائح الإلكترونية تتضاعف كلّ ١٨ شهرًا، وذلك بفضل الله-عزّ وجلّ- ثم بتصغير المُكوّنات الدقيقة، والأسلاك الموصلة في الرقاقة. فإذا قدِّر للعلماء النجاح مع المواد العضوية، واستخدامها في تمرير الإلكترونيات، فقد يسير التضاعف في قوة الرقاقات الإلكترونية بسرعة أكبر ممّا توقّع «قانون مور»(٦٩).

٢ - ترخي الأبعاد المثيرة لتقنية النانو بظلها أيضًا على التطبيقات التكنولوجية البيولوجية، حيث يعمل بعض العلماء في «وادي السيلكون» على محاكاة الجهاز العصبي للإنسان باستخدام الأجهزة الذكية، بما فيها الربوت. ويتوقع بعضهم تكوين بدائل للأعصاب، وأنسجة الدماغ؛ لتوضع في أجهزة الحاسوب، والرجال الآليين.

وفي المقابل يمكن صنع ألياف متطورة؛ لتحل محل الأعصاب في الإنسان، كما يسعى بعضهم إلى «دعم» عمل الدماغ البشري بأنواع متطورة من الرقاقات الإلكترونية.

(٤-١١-٤) تقنية النانو والظواهر البيئية (Nano and environmental)

إذا نظرنا إلى المستقبل، فإنّ الخطوة التالية ستكون ربْط شبكات الاتصالات، مثل: الإنترنت بأجهزة نانوية؛ كي تُساعدنا على فهْم ما يحدُث داخل الكائن الحيّ، أو في البيئة. ولعلّ مراقبة المحيطات، تمثل أبسط الأمثلة المشاهَدة، حيث أنشئت بالفعل شبكة نانوية من أجهزة الاستشعار الزلزالية، وتوجد حاليًّا أجهزة استِشعار تُتيح إمكانية التنبُّؤ بأمواج تسونامي، بيد أنّ المطلوب هو

تعميم هذه التقنية.

وباستخدام «نانو تيرا» على سبيل المثال يمكن تطوير أجهزة استشعار؛ لرصْد الأنهار الجليدية، إذ مع ارتفاع درجة حرارة الأرض، ووجود كُتَل جليدية معلَّقة، يُمكن أن تشكل خطرًا حقيقيًّا يتهدّد بعض المدن. ومن المعلوم أيضًا أنه يكفي سقوط الأمطار ليوميْن متتاليين؛ لتُحدِث فيضانات، قد تتسبّب في خسائر كبيرة، ومنها خسائر في الأرواح؛ الأمر الذي يستدْعي إنشاء شبكة من المجسّات الاستِشعارية التي ترصد الرطوبة، والجفاف، وبعض البيانات الخاصة بالغِلاف الجوي، بحيث يُمكننا عبرها التنبُّؤ بالأحوال المَناخية، ثمّ رفع المعلومات على الشبكة الإلكترونية، ومراقبة كاملة لأحوال الطقس في دولة ما. ويمكن في المستقبل إمداد الشبكة الإلكترونية بمعلومات حوْل المحاذير البيولوجية. كما يمكن أن تنشَأ خلال السنوات القادمة آلية رقابة على حدود الدول، بحيث تكون مهمَّتها الحيْلولة دون عبُور الجراثيم التي تنشر الأوبِئة، وتهدّد سلامة الإنسان(١٠).

الفصل الخامس

أهم الجهود الدولية والعربية؛ لدعم أبحاث تقنية النانو، المحاذير والتحديات التي تواجه هذه التقنية المتقدمة.

(٥-١) الجهود الدولية لدعم أبحاث تقنية النانو

لا شك أنّ «تقنية النانو»ستدفع بالبشرية نحو عالم مثير ومذهل، ومن أبرز التوقّعات المستقبلية لهذه التقنية إحداث سلسلة من الثورات الصناعية، والاكتشافات العلمية خلال العقدين القادمين، وما سيرافقها من تغير هائل في كثير من ملامح الحياة، وفي مجالات شتى؛ ولذا بدأ السباق المحموم في أبحاث وتطبيقات «النانو» على المستوى العالمي، ويُتوقّع أن تكون الأبحاث والتقنيات «النانوية» أكبر المشروعات العلمية في هذا القرن، حيث يعتقد العلماء أنّ تقنية النانو ستجد حلاً لمجموعة من التحديات التي تواجه البشرية: كعلاج الأمراض، وتوفير المياه النظيفة للجميع، فضلاً عن الزراعة، والصناعة، ومجالات الطاقة البديلة، والبيئة، وتكنولوجيا الاتصالات الضوئية، ونقل المعلومات، وكذلك في المجال الحربي والعسكري، وغيرها.

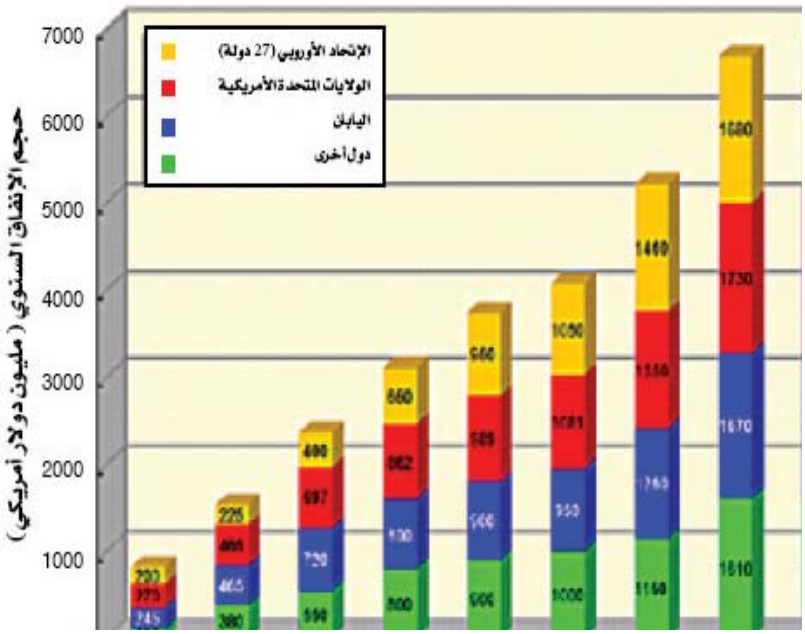
وتعدّ تقنية النانو تقنية مساعدة، وينتظر منها أن تؤدي إلى تغيّرات كبرى في الكثير من القطاعات الصناعية، وأن تسهم في التوصل إلى مواد وأجهزة ومنتجات مستحدثة. ومجال التطبيق في هذه التقنية مرهون بأطر زمنية مختلفة؛ للبدء بإنتاج أنموذج صناعي لتسويق منتجاتها. وقد سوّقت بالفعل منتجات الجيل الأول منها، مثل: الدهانات، والأغلفة، ومستحضرات التجميل. وثمة المزيد من المنتجات قيد التحضير حاليًّا، مثل: المستحضرات الدوائية، ووسائل التشخيص، وتطبيقات تخزين الطاقة. وقد حاولت دراسات كثيرة تقدير التوقعات المتصلة بسوق التكنولوجيا النانوية عبر مختلف المعطيات. وتشير التقديرات المتصلة بالإلكترونيات النانوية (الموصّلات الجزئية، والمكثفات الكهربائية الفائقة، والتخزين النانوي، وأجهزة الاستشعار النانوية) إلى أنّ سوق تكنولوجيا النانو يتوقع أن تبلغ قرابة ٤٥٠ مليار دولار بحلول عام ٢٠١٢م. وستستحدث في المستقبل المزيد من المنتجات النانوية المرتكزة على البنى والنظم ذات الحجم النانوي. وستتناول هذه التطورات التحديث التقني، والتغيرات الطارئة على الوجهة التي تصل بين الإنسان والآلة.

وهناك جهود فائقة تبذل من دول العالم؛ للنهوض بتطبيقات تقنية النانو في المجالات المختلفة . وسنعرض في السطور التالية جهود بعض الدول في هذا المجال على النحو التالي:

لم يكن غريبًا أن تتنافس دول العالم على زعامة النشاطات البحثية، والتطبيقات الخاصة بتقنية

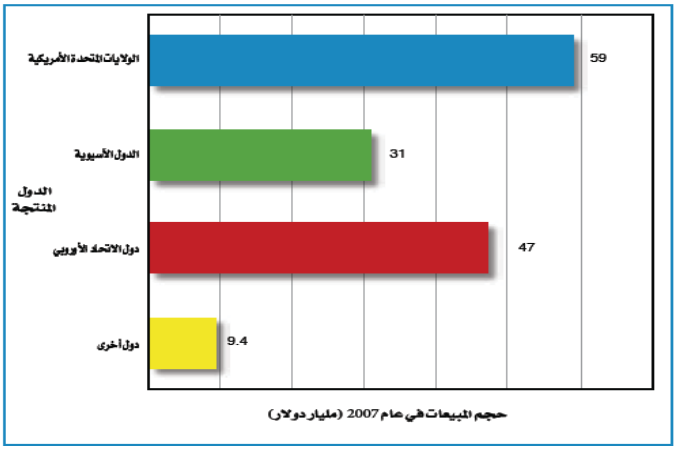
النانو، وأن تحتكر أكبر عدد من براءات الاختراع؛ ممّا يؤهلها لتبوّؤ مكانة اقتصادية مرموقة في هذا القرن الذي ستتحكم هذه التقنية في مجرياته، وآلياته، ومن ثمّ إعادة تصنيف الدول وفقاً لتقدمها في علومها. ومن أجل الوصول إلى الهدف كان لزاماً على تلك الدول التي تنبهت لأهمية هذا العلم، ودور تلك التقنية أن تنفق بسخاء؛ لإنشاء برامج ومراكز تميز هذه التقنية.

وتفيد المصادر المؤكدة والبيانات المستقاة من عدد من المصادر الدولية أنّ مقدار ما أنفق منذ عام ٢٠٠٠م، وحتى نهاية عام ٢٠٠٨م بلغ ٣٥ مليار دولار، حيث المبلغ موزّع على السنوات الثماني كما هو موضح في الشكل رقم (٥-١) (٢٧) التالي:



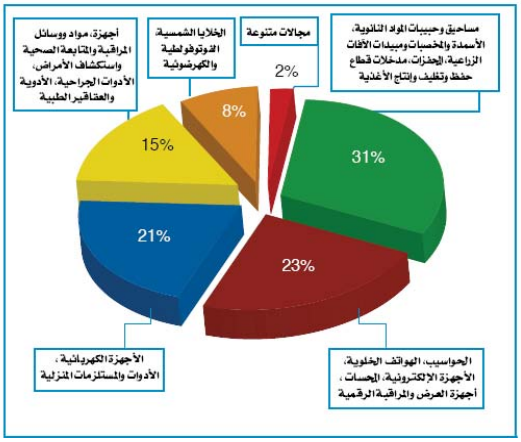
شكل رقم (٥-١) الدول المنتجة المواد النانوية وحجم الإنفاق السنوي بالمليون دولار (٢٧).

ونتيجة للدعم الحكومي لبرامج التقنية النانوية في تلك الدول، فقد ازداد عدد الأبحاث العلمية الخاصة بهذه التقنية المنشورة في الدوريات المتخصصة، والمؤتمرات الدولية (٤١٧٥ دورية ومؤتمر)، لتصل في فترة زمنية قصيرة (٢٠٠٠-٢٠٠٨م) إلى ٢٠٥١٧٠ بحثٍ نشرتها نحو ٢٤٤٦٨ مؤسسة بحثية وتعليمية، وكذلك شركات تكنولوجية دولية(وصل عددها في عام ٢٠٠٨م إلى نحو ١٦٦١ شركة) تتبع ١٥٦ دولة من دول العالم(٢٧) .



شكل رقم (٥-٢) الدول المنتجة المواد النانوية وحجم المبيعات بالمليار دولار (٢٧).

وقد احتكرت تلك المؤسسات مخرجات إبداعاتها واختراعاتها التكنولوجية في هذا المجال، وذلك عن طريق قوانين الملكية الفكرية الصارمة، حيث وصل عدد براءات الاختراع في الموضوعات المتعلقة بالمواد النانوية والتقنية القائمة عليها خلال الفترة نفسها إلى نحو ٤٤٨٦٧ براءة اختراع. وبدأت تلك الدول المهتمة بهذه التقنية مرحلة جني الثمار، إذ بلغ حجم مبيعات منتجاتها القائمة على تقنية النانو خلال عام ٢٠٠٧م نحو ١٤٦,٤ مليار دولار) انظر:الشكل رقم ٥-٢) (٢٧) .



شكل رقم (٥-٣) تصنيف المواد النانوية المنتجة، ونسبتها العلمية لعام ٢٠٠٧م (٢٧).

ويتوقع تحالف أعمال النانو (Nano Business Alliance) الذي يمثل منظمة صناعية تجارية، أن يبلغ حجم السوق العالمية للمنتجات والخدمات النانونية تريليون دولار في عام ٢٠١١م.

وسنعرض واقع تقنية النانو في بعض دول العالم على النحو التالي:

(٥-١-١) واقع تقنية النانو في الولايات المتحدة

تتوقع المؤسسة العلمية الوطنية الأمريكية، أن يصل حجم السوق الأمريكية وحدها إلى تريليون دولار بحلول عام ٢٠١٦م، حيث أسست معظم الولايات الأمريكية برامج أو وكالات؛ لتشجيع بحوث التقنية النانوية، وتطوير تجارتها. كما رفعت الحكومة الاتحادية الأمريكية التي تنظر إلى التقنية النانوية على أنها مسألة أمن قومي، تمويلها هذه التقنية من ٤٢٢ مليون دولار لعام ٢٠٠٠م إلى ما مجموعه ٣,٨ مليار دولار مخصصة للبحوث بين عام ٢٠٠٥ م

و٢٠٠٨م. ويوزع هذا التمويل على وكالات أمريكية متعددة تضمّ وزارة الدفاع، ووزارة الطاقة، ووكالة الفضاء ناسا، وكذلك المبادرة الوطنية للتقنية النانوية، وهي برنامج خصّص؛ لترويج وتمويل المشاريع في أمريكا. كما تتنبأ مؤسسة العلوم القومية الأمريكية أنّ سوق خدمات تقنيات النانو ومنتجاتها سيصل إلى تريليون دولار بحلول عام ٢٠١٥م، ومَن يحظى بقيادة تقنيات النانو سيتحكم في الاقتصاد العالمي في القرن الحادي والعشرين. وتشير التقديرات الاقتصادية إلى أنّ ما بيع في عام ٢٠٠٦م من المنتجات المصنعة بتقنية النانو، وصل إلى ١٥ مليار دولار، ويتوقع أن يزيد هذا الرقم ليصل إلى نحو ٤٠ مليار دولار في الأعوام القادمة.

(٥-١-٢) واقع تقنية النانو في روسيا

نقلت مصادر إخبارية روسية في عام ٢٠٠٨م عن نائب رئيس الحكومة الروسية سيرغى إيفانوف أنّ شركة «روس نانو تكنولوجيا» الوطنية ستخصص أكثر من ١٤ مليون دولار أميركي؛ لإنتاج عدسات بصرية فريدة من نوعها باستخدام تقنية النانو، وقد أشار إلى أنّ شركات أخرى ستخصص مبالغ مماثلة؛ للغرض نفسه. وقال إيفانوف «إن تطبيق مثل هذه التقنية الحديثة سيشمل طائفة واسعة من الأجهزة، بما فيها كاميرات التصوير، ومختلف الوسائل الفضائية». كما أشار إلى أنّ المشروع سينفذ على مرحلتين، وأنّ المرحلة الأولى ستبدأ بين عامي ٢٠٠٨م و ٢٠١٠م، وستنتهي من تصنيع وتجهيز المعدات الجديدة اللازمة، وذلك قبل أن يبدأ إنتاجها الصناعي المتسلسل في المرحلة الثانية الممتدة

ما بين عامي ٢٠١٠م و ٢٠١٢م.

وقد كانت تكنولوجيا النانو سمة مميزة لمعرض تقنيات القرن الـ ٢١ الذي أقيم في روسيا في عام ٢٠٠٨م. وضمّ هذا المعرض اختراعًا يتعلق بتلك التكنولوجيا من إنتاج مؤسسة روسية(أحد العارضين)، وهي مؤسسة أنتجت في وقت سابق منتجًا يستطيع إخفاء المنشآت المهمّة المطلوب حمايتها، والسفن، والطائرات عن طريق رادارات العدوّ. وتنتج هذه المؤسسة الآن أقمشة تحمي الإنسان من موجات كهرومغناطيسية شديدة. وما يُكسب الأقمشة القدرة على مقاومة الموجات غير المرغوب فيها هي تكنولوجيا النانو. ويمكن أن تستخدم أقمشة النانو في المستشفيات، والمباني القريبة من شبكة الهاتف الخلوي، كما يمكن استخدامها في الغرف المكتظة بأجهزة الحاسوب الشخصي، وأيضًا في ضرب ستار من السرّيّة على مواقع المفاوضات السياسية والتجارية.

(٥-١-٣) واقع تقنية النانو في إسرائيل

اهتمت إسرائيل كثيرًا بتطوير وإنتاج تقنيات النانو، حيث أسس معهد أبحاث النانو بتكلفة بلغت ٨٨ مليون دولار، وكذلك معهد إسرائيل التكنولوجي في مدينة حيفا، وبرأسمال قدره ٤ ملايين دولار، وحشدت فيه ٢٠٠ عالم من كل التخصصات. كما أنشأت إسرائيل في عام ٢٠٠٣م "هيئة أبحاث النانو»، ورصدوا في نهاية عام ٢٠٠٨م ما يقرب من ٩٠مليون دولار لأبحاث النانو، بالإضافة إلى الدعم غير المحدود من الولايات المتحدة. وقد أنشئ ما يقرب من ٨٠ شركة في الكيان الصهيوني، وذلك من إجمالي ٨٢٠ شركة حول العالم؛ لإنتاج وتسويق منتجات تقنية النانو.

(٥-١-٤) واقع تقنية النانو في تايوان

قامت الاستراتيجيه العلمية في تايوان على الحوافز المقدمة إلى الشركات الصغيرة والمتوسطة؛ لكون عدد السكان محدودًا.

وأنشأت الحكومة المعهد الصناعي للبحوث التكنولوجية (ITRI) في عام ١٩٧٣م؛ ليدعم البحوث الصناعية على وجه العموم، والصناعات الإلكترونية على وجه الخصوص، وكانت رؤية هذا المعهد أن يكون من أكبر معامل الأبحاث المتميزة، ويوظف الإبداع التكنولوجي؛ لجعل تايوان قادرة على مواجهة التحديات المستقبلية. وهذا المعهد يضمّ سبعة معامل متخصصة، وخمسة مراكز للبحوث مركزة حول جامعتين في مجمع هينشو العلمي (Hinchu Science Park). وتمتلك تايون عدة مصانع للرقائق السيلكونية، بل تمتلك شركتين عالميتين في هذا المجال (TSMC and UMC).

(٥-١-٥) واقع تقنية النانو في كوريا

تعدّ كوريا أكبر منتج الدوائر المتكاملة، وخصوصًا في مجالي الذاكرات، والشاشات. واعتمدت كوريا على الشركات الكورية العملاقة في إنشاء صناعات إلكترونية قوية، مثل: سامسونج، وجولدستار؛ لريادة هذه الشركات العملاقة في مجال الصناعات الإلكترونية، بالإضافة إلى وجود نظام تعليمي ممتاز وجدي، والمثير في الأمر أنّ لغة التدريس هناك هي اللغة الكورية. وحسب إحصائية عام ٢٠٠٦م في السوق الصيني، يوجد حوالي ٢٤٥ شركه تعمل في مجال التصميمات الإلكترونية، وتقنية النانو، و١٩٪ منها تحقق إجمالي مبيعات تتعدى ١٥ مليون دولار أمريكي. وفي تايوان ترتفع النسبة، حيث إنّ إجمالي دخل ٣٧٪ من الشركات يتعدى ١٥ مليون دولار.

(٥-١-٦) واقع تقنية النانو في سنغافورة وماليزيا

تركز سنغافورة على التصميمات الإلكترونية الدقيقة والمعقدة، والتي تحتوى على كم كبير من الممتلكات الفكرية؛ وهو ما يجعل العائد المالي مجزيًا جدًّا. فمعهد البحوث الإلكترونية يقع في نطاق مجمع التكنولوجيا، وهي منطقه ضخمة المساحة، وترتكز فيها مراكز لأبحاث الشركات متعددة الجنسيات، وكلها تقع في محيط جامعة سنغافورة الوطنية ذات السمعة العالمية المرموقة. وتعتمد سنغافورة على الدول المجاورة، مثل: ماليزيا، والصين في التصنيع؛ لرخص العمالة في هذه الدول مقارنة بسنغافورة.

أمّا ماليزيا فتعدّ تجربه فريدة في التنمية الصناعية على وجه العموم، وتنمية الصناعات الإلكترونية على وجه الخصوص؛ وذلك بسبب النمو السريع للصناعات الإلكترونية باستخدام تقنية النانو. وكان من البديهي أن تهتم الحكومة بالتصميمات الكهربية، وإنتاج الدوائر المتكاملة، حيث استثمرت استثمارات ضخمة في مجال تصنيع رقائق السيلكون، وافتتح أول معمل؛ لإنتاج هذه الرقائق في عام ١٩٩٦م باستثمار يقرب من ٥٠٠ مليون دولار. وفي عام ٢٠٠١م افتتح معملان: أحدهما في شمال البلاد، والآخر في مقاطعة سرواك باستثمار يقارب ٣,٥ مليارات دولار، وذلك بالمشاركة مع بعض الشركات اليابانية، والأمريكية. وهذه المعامل تعدّ معامل تجارية حديثة تعمل في مجال تقنية النانو. ولتقدير حجم النجاح الذي أنجزته ماليزيا، فإنّ حجم الإنتاج المصنع الإلكتروني تجاوز ٤٠ مليار دولار سنويًّا، وهو ما يقارب، أو يتعدى قيمه الإنتاج الإلكتروني لبريطانيا. كما استطاعت ماليزيا القضاء على الفقر لقطاعات كبيرة من الشعب (نسبة السكان تحت خط الفقر لا تتعدى ٢٪).

ولقد قامت الحكومة الماليزية في السنوات العشر الأخيرة ببرامج عدة؛ لتشجيع الشركات المحلية على العمل في مجال الإلكترونيات عن طريق عدة وسائل منها: إنشاء القرية الذكية باستثمار يتعدى مليار دولار.

(٥-١-٧) واقع تقنية النانو في الصين والطفرة في صناعاتها

على الرّغم من أن الولايات المتحدة، واليابان، وألمانيا، وكوريا الجنوبية لازالت المصادر الرئيسة في مجال تطوير أبحاث تقنية النانو، فإنّ الصين وتايوان يضيقان الفجوة بسرعة؛ وذلك يعود على نحو كبير إلى الاستثمارات العامة في مجال التطوير والأبحاث، بالإضافة إلى الاستثمار في التعليم العلمي. لم يكن الإعلام الصيني قبل عام ٢٠٠٠م يتحدث عن تقنية النانو، أو أيٍّ من مظاهرها، وعلاقتها بالصناعة عالية التقنية. ولكن اليوم هناك العشرات من مراكز الأبحاث الصينية، والمئات من الشركات التي تداخلت؛ لإنتاج التقنيات، حيث وصلت إلى صناعات تقدر بالمليارات من الدولارات. وبالتركيز على المراكز الاقتصادية الصينية الكبيرة، نجد أنّ هذه المراكز المحلية تصل إلى ما يقارب ٩٠٪ من أبحاث وتطوير تقنية النانو، في حين ظلت تقنية النانو في الصين (مثلما في غيرها) مرتكزة ارتكازًا كبيرًا على مرحلة البحث والتطوير، وهناك أكثر من ٣٠ منتجًا استخدمت في إنتاجها مواد النانو في الصين، حيث تضمّن ذلك قطاعات الأقمشة، والبلاستيك، والبورسلين، والشحوم، والمطاط، بالإضافة إلى استخدام هذه التقنية في قطاع أنابيب الكربون النانوية الذي بدأ البحث فيه في عام ١٩٩٢م. وكل ذلك تحت مظلة الجهود التي بذلتها الأكاديمية الصينية للعلوم، والتي بدأت في عام ١٩٩٦م تطوير تطبيقاتها التجارية. وكانت إحدى الشركات الناجحة في هذا المجال شركة شينزين لتقنية النانو المحدودة، إذ طوّرت دهانات مضادة للصدأ، تستخدم في براميل الزيت. إن نصيب الصين من النشرات الأكاديمية عن تقنية النانو وعلومها، والموضوعات الهندسية قد ارتفع من ٧,٥٪ في عام ١٩٩٥م إلى ١٨,٣٪ في عام ٢٠٠٤م؛ ممّا نقل الدولة من المرتبة الخامسة إلى المرتبة الثانية عالميًّا. كما ارتفع نصيبها من النشرات بازدياد مطرد خلال السنوات الخمس الماضية. في حين انخفض نصيب ألمانيا واليابان باطراد. وقد قدرت الحكومة الصينية صرف مبلغ قدره ٢٥٠ مليون دولار على تقنية النانو في عام ٢٠٠٥م. ولكن بعد تعديل هذه النفقات والبنية التحتية للصين وتكاليف العمالة، فإنّ نفقات الصين تعدّ الثانية بعد الولايات المتحدة. إنّ جهود الصين نحو تحويل التقنية إلى التجارة قد تضاعفت بشدة، وخصّصت لتطبيقات أساسة خاصة بمواد النانو، والإلكترونيات، وتطبيقات العلوم الحياتية. كما أنّ الصين تملك ثلاثة مراكز وطنية لتقنية النانو،

وهي: بكين، وشنغهاي، وتيانجين. ويعدّ المركز الوطني لعلوم وتقنيات النانو الذي يقع في بكين المركز الرئيس لأكاديمية علوم النانو، ومركز الأبحاث التكنولوجية. ويتعاون مركز شنغهاي الوطني لتطوير وتسويق تقنية النانو مع سبع جامعات، وبعض المعاهد، وتسع شركات خاصة، وتموّله الجهات الحكومية، ولجنة تطوير وإصلاح الدولة، والشركات الخاصة. وقد أصبحت الصين الآن إحدى دول العالم المتقدمة في علم النانو، وذلك من حيث عدد الشركات المسجلة حديثاً في مجال صناعة النانو، وعدد براءات الاختراع المتعلقة بها.

وخلاصة ذلك :أنّ على مدى السنوات الثلاث الماضية، زاد عدد الشركات في مجال صناعة النانو في الصين إلى أكثر من ٨٠٠ شركة. وللصين ميزات فريدة عن باقي الدول الصناعية الأخرى، ومنها: انخفاض تكاليف الأيدي العاملة، وعدم وجود حواجز للتقنيات الجديدة، والكمية الكبيرة من رؤوس الأموال الاستثمارية الأجنبية، وانخفاض سعر العملة، والضرائب، ودعم الحكومة، والسوق المحلية الكبيرة، حيث يوجد أكثر من ١,٣ مليار مستهلك، وكل هذه الأسباب مجتمعة تؤدي إلى ازدهار الصناعة في الصين، ومنها صناعة النانو.

(٥-١-٨) التقنية النانوية ومراكز الأبحاث

لقد وجدت منذ ميلاد التقنية وحتى يومنا هذا العديد من مراكز أبحاث العلوم النانوية وتقنياتها، وفي مختبرات كثير من جامعات دول العالم المتقدمة، كما وجدت مراكز تعنى بهذه العلوم عناية تخصصية أكثر، فرأينا معاهد وجامعات تدرس الإلكترونيات النانوية، والضوئية، مثل: معهد التقنية النانوية في نيويورك، وجامعة كاليفورنيا، كما رأينا أنّ جامعة كورنيل في نيويورك قد خصّصت فرعًا تقنيًّا آخر من التقنية النانوية، وذلك تحت مسمّى التقنية النانوية الحيوية. وكاختصاصات أخرى، نجد معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا يدرّس أبحاث البناء والتشكيل النانوي (Nanopatterning & Assembly)، وجامعات في بينسيلفانيا وهيوستن في الولايات المتحدة أيضًا تدرس العلوم البيئية والحيوية ذات الأساس النانوي، وأخرى في ولاية كاليفورنيا كجامعة بيركلي التي تدرّس علم المواد النانوية. كما توجد غيرها من مراكز الأبحاث والمختبرات التي تعنى بهذه التقنية في العالم: كمجموعة معاهد ماكس بلانك في ألمانيا، ومركز البحث العلمي الفرنسي CNRS، والمعهد الوطني للعلوم والتقنيات الصناعية في اليابان.

(٥-٢) واقع تقنية النانو في الدول العربية

في الخمسينيات(أي: في بداية التفكير في تقنية النانو) تخيل عالم أمريكي اختراع طريقة؛ لوضع المعلومات الموجودة في مكتبة الكونجرس الأمريكي (أكبر مكتبة في العالم) على سنّ دبوس، ووقتها كان هذا الكلام محض خيال، واليوم وبعد ظهور تقنية النانو أوشك هذا الحلم الأمريكي أن يتحقق. وبدأ اهتمام الأمريكان بهذه التقنية، ورصدوا لها مبالغ خيالية. وباستخدام النانو استطاع الجيش الأمريكي صنع بدلة للجنود تتناسب مع أي طقس، فإذا كانوا في الصحراء تصيب النانو البدلة بالرطوبة، وإذا كانوا في مكان بارد تصيب النانو البدلة بالحرارة.

ولا يخفى على أحد أنّ إسرائيل بدأت فعلاً تطبيق تقنية النانو في المجالات العسكرية، وتحاول أن يكون لها السبق على الدول العربية في هذا المجال.

أمّا الدول العربية فقد اجتمعت وتحمّست وتكلمت عن تقنية النانو، ولكنها للأسف الشديد لم تفعل شيئاً ملموسًا على أرض الواقع، باستثناء بعضها. واليوم هناك فرصة ذهبية أمام الحكومات العربية؛ لامتلاك هذه التقنية، حيث إنّ لديها مقوماتها من موارد مالية، وعقول بشرية. وهذا يتطلب رصد ميزانيات للإنفاق على هذه التقنية، والتعاون المشترك فيما بينها، والاستفادة من علاقاتها الطيبة بالدول التي بدأت فعلاً تتقدم في تقنية النانو، مثل: الصين، واليابان، وكوريا الجنوبية. ولا ننكر وجود عوائق لدى دول عربية كثيرة، وأكبر عائق يقف أمام تطور تقنية النانو في تلك الدول يكمن في الموارد المالية؛ لأنّ الأجهزة المستخدمة في النانو عالية التكاليف، كما أنّ ثمة عائقاً آخر لا يقل أهمية عن الموارد المالية، ألا وهو توفير البيئة العلمية القادرة على استقطاب العلماء المتميزين في هذا المجال.

وبمناسبة انعقاد الندوة الثالثة لآفاق البحث العلمي والتطوير التكنولوجي في العالم العربي في مدينة الرياض خلال الفترة التي ما بين ٢١-٢٤ صفر لعام ١٤٢٥هـ(٢٠٠٥م)، وبتنظيم مشترك بين مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية والمؤسسة العربية للعلوم والتكنولوجيا، فقد انتهزت (مجلة الكيمياء) وجود الأستاذ الدكتور سامي الشال أستاذ الكيمياء الفيزيائية بجامعة فرجينيا بالولايات المتحدة، وهو أستاذ بحث متميز (eminent professor) في مجال تخصصه؛ ولذلك دعي؛ ليكون متحدثاً رئيسًا في هذه الندوة، كما كان رئيسًا لجلسة المواد الجديدة في الندوة. ونظرًا للمكانة العلمية الكبيرة والعالمية للدكتور سامي الشال في مجال تقنية المواد الجديدة (New-materials) والنانو تكنولوجي (Nanotechnology)، فقد سئل عن

مستقبل العلوم والتقنية في العالم العربي بناء على الواقع العلمي الجديد. فكانت إجابته على النحو التالي:

«العلماء العرب الموجودون في البلاد الغربية لهم إنجاز جيد في مجال البحث العلمي، كما أنّ نسبة العلماء العرب في أمريكا الذين لهم دور فعّال في البحث أكثر بكثير من نسبة الأجناس الأخرى، وهذا يدل على أنّ توفير الإمكانات والمناخ الملائم يؤدي إلى النجاح؛ لهذا يفترض أن يوجد دعم أكبر للبحث العلمي في العالم العربي، كما يجب على قطاع الصناعة والأعمال والاستثمار الإسهام في هذا المجال، وليس فقط؛ لدعم مستقبل البلد والشعوب، ولكن لأنّ هذا أمر له عائد مالي مربح. في التكنولوجيا الجديدة في الغرب نجد أنّ كثيرًا منها يدعمها القطاع الخاص، بل حتى الشركات الصغرى، ومستثمرون بعضهم ليس لهم أي علاقة بالعلم، ولكنهم يتوقعون الحصول على عائد جيد». وركز الدكتور الشال على أنّ العالم العربي، وخاصة دول الخليج العربي مهيأة؛ لإجراء أبحاث في تقنية النانو؛ لتوفر الإمكانات، وفرص جيدة للاستثمار، وفي الوقت نفسه وجود العلماء، وإلى حدّ ما الأجهزة العلمية. لكن المشكلة تكمن في رفع توعية المستثمرين، والمجتمع كله، أنّ الاستثمار في العلوم والتقنية قد يكون له مردود مالي مجزٍ. كما أوضح الدكتور الشال أنّ الدول الغربية استطاعت استقطاب القدرات العربية، وسنجد أنّ عددًا كبيرًا من العلماء العرب المهاجرين(وعلى وجه الخصوص الباحثين الجدد) معظمهم عنده الاستعداد؛ للرجوع إلى بلدانهم الأصلية شريطة أن تتوفر لهم الظروف الموجودة نفسها في الغرب، أو مستوى قريب من ذلك. ومثال ذلك ما حصل في تجربة الصين، حيث كان لدى طالب صيني ممتاز جدًّا عقد عمل جيّد في أمريكا، فاستطاعت الصين أن تستقطبه مرة أخرى عندما قدمت له عرضًا مماثلاً لعقد العمل يحصل في أمريكا، حيث حصل على كل التجهيزات المعملية والمال؛ ولهذا قرر الرجوع. لذلك تحتاج الدول العربية إلى أسلوب الصين نفسه؛ لكي تستقطب أبناءها العاملين في حقل البحث العلمي في الدول الغربية، وهذا في الواقع استثمار كبير وجيد؛ لأنّ رجوع الباحث إلى بلده الأصلي سيساعد على تكوين فريق من الباحثين في مجال تخصصه. كما أنّ المشكلة تكمن في عدم توفير الدعم المادي اللازم للبحث في الدول العربية، وهناك حالتان: إمّا أن يكون لديك عدد كبير من العلماء كما هو موجود في جمهورية مصر العربية، ويكون هذا مصحوبًا بقلة الإمكانات؛ ولذا لا يمكن الحصول على بحث تطبيقي جيّد. وأمّا الحالة الثانية فتتمثل بالدول العربية الخليجية التي بها وفرة من الإمكانات البحثية، ولكن لديها ندرة في عدد الباحثين والعلماء؛ لذلك ينبغي التركيز على الكوادر العلمية الموجودة في الخارج؛ لاستقطابها، وتوفير المعامل العلمية الحديثة لها، ووضع خطط بعيدة المدى؛ للاستفادة منهم، وإلا أصبحت الأموال

المستثمرة في تعليمهم ضائعة، ومهدرة. وللمقارنة نجد أنّ بلدان شرق آسيا، مثل: ماليزيا، وسنغافورة تقدمت كثيرًا على الدول العربية؛ والسبب الأساس يرجع إلى توفيرهم الإمكانات، كما أصبح التركيز على البحث العلمي من أهم سياساتهم في الوضع الراهن(انتهى كلام الدكتور الشال).

ولايزال حال العالم العربي من بحوث تقنيات النانو حال البحوث في المجالات الأخرى، إن لم يكن أسوأ من ذلك، إلا أنّ هناك اهتمامًا بعقد المؤتمرات التعليمية، إذ عقدت المدرسة العربية للعلوم والتكنولوجيا في دمشق في أكتوبر من عام ٢٠٠٢م ندوة عن "تقنيات الميكرو والنانو"، وفي سبتمبر من عام ٢٠٠٣م كانت "تقنيات النانو" محور الأسبوع العلمي الأردني، وفي مايو من عام ٢٠٠٣م عقدت في لبنان ندوة كان هذا المجال أحد محاورها المهمة، وتحديات النانو العربي. ويعاني البحث العلمي في الوطن العربي من شحّ في الإنتاج، وضعف في مجالات أساسة، وشبه غياب في حقول متقدمة، مثل: المعلوماتية، والبيولوجيا الجزئية، مع انخفاض الإنفاق عليه، وانخفاض عدد المؤهلين للعمل فيه، فلا يزيد عدد العلماء والمهندسين العاملين في الدول العربية على ٣٧ فردًا لكل مليون من السكان، وهو أقل بكثير من المعدل العالمي. وتواجه عملية ترويج نتائج البحث والتطوير صعوبات، وعقبات أساسة؛ بسبب ضعف الروابط بين مؤسسات البحث والتطوير وقطاعات المجتمع الإنتاجية، وغياب الدعم المؤسسي، وعدم توافر البيئة العلمية المواتية؛ لتنمية العلم وتشجيعه، وذلك على الرّغم من امتلاك العرب ثروة بشرية مهمّة، وقادرة على حفز صحوة معرفية.

كما أدّى اقتصار سياسات التصنيع العربية على مفهوم اقتناء وسائل الإنتاج، وعدم الاهتمام بالسيطرة على التقنيات وتوطينها إلى إضعاف فرص منافسة المؤسسات العربية عالميًّا؛ لأن استيراد البلدان العربية التقنية يحفز تنمية المعرفة في الدول المصدرة لها، في حين يخنقها على الصعيد المحلي. ومن ثَمَّ فإنّ معظم عمليات التصنيع والاقتناء التقني التي قام بها العرب خلال نصف القرن الماضي، لم تؤِّد إلى الفائدة المرجوّة.

(٥-٣) تقنية النانو والمملكة العربية السعودية

لقد أدركت المملكة العربية السعودية أهمية هذه التقنية وتطبيقاتها المستقبلية ، وكان هذا واضحاً من اهتمام خادم الحرمين الشريفين شخصياً ، وتبرعه من ماله الخاص ، وإنشاء معاهد ومراكز متخصصة في تقنية النانو ، واستقطاب الكوادر العلمية المتميزة في هذا المجال ، وإبرام العديد من الاتفاقيات المشتركة مع المعاهد العالمية المتخصصة في تقنية النانو.

وقد عنت المملكة العربية السعودية بنقل وتوطين التقنيات المتناهية الصغر لتلبية الاحتياجات الوطنية ومتطلبات التنمية في المجالات الصناعية والصحية والزراعية والبيئية وغيرها، ووضع

ألوليات واستراتيجيات البحث في مجال هذه التقنية بناءً على احتياجات المملكة الحالية والمستقبلية .

ففي عام ٢٠٠٣م تمكن فريق بحثي من جامعة الملك فهد للبترول والمعادن من معرفة أسرار تقنية النانو والتحكم بعالم المواد النانوية، وفي عام ٢٠٠٤ بدأت مرحلة التطبيقات الصناعية لهذه التقنية واستخدام المواد المنتجة في صناعة المطاط الماليزي وكانت النتائج مذهلة فقد قفزت الخصائص الميكانيكية للمطاط من ١٢ إلى ٢٠ ضعفاً بإضافة أجزاء بسيطة من المواد النانوية. وذكر أن خصائص هذه الأنابيب الكربونية فتحت آفاقاً كبيرة في صناعة المطاط في ماليزيا وفي استخداماته، وعلى ضوء ذلك تم توقيع اتفاقية مع مركز أبحاث المطاط الماليزي بحيث يقوم المركز بتزويد جامعة الملك فهد بكل التقنيات والمعدات اللازمة لإجراء البحوث على المطاط.

ولقد نجح فريق بحثي من جامعة الملك فهد للبترول والمعادن في تحقيق إنجاز علمي يتعلق ببناء جهاز لإنتاج أنابيب الكربون متناهية الصغر (حجم النانو). حيث أنه تم بالفعل إنتاج أنابيب الكربون وفحص العينات المنتجة منها، وهذا الإنجاز العلمي تم بالتعاون مع الجامعة الإسلامية العالمية بماليزيا ، والذي يمثل بداية التطوير الفعلي لتقنية النانو ويفتح الأبواب أمام الباحثين من كل التخصصات لتحقيق إنجازات جديدة في هذا الحقل الحيوي. وتعكف مراكز البحوث بالمملكة على إجراء بحوث وتطبيقات النانو في المجالات ذات الأهمية الكبيرة للمملكة مثل تحليه المياه ومعالجة المياه العادمة وتحسين مواصفات المواد البلاستيكية، وتحاول مراكز البحوث إنشاء معامل متخصصة لأبحاث النانو تستخدم فيه أنابيب الكربون والصلصال وغيرها من المواد متناهية الصغر.

ففي عام ٢٠٠٨م، طالعتنا وسائل الإعلام المحلية بتبرعٍ سخي من خادم الحرمين الشريفين بمبلغ ٣٦مليون ريال لدعم أبحاث النانو تكنولوجي في ثلاث جامعات سعودية هي جامعة الملك سعود، وجامعة الملك عبدالعزيز، وجامعة الملك فهد للبترول والمعادن(٧٠).

وفي نفس العام قد صدرت الموافقة الملكية (الخميس١٤٢٨/٣/٢٤هـ) بإنشاء مركز التقنيات متناهية الصغر (النانو) بجامعة الملك عبدالعزيز.

تحقيقاً لرؤية خادم الحرمين الشريفين لتشجيع البحوث في علوم وتقنيات النانو في الجامعات السعودية، أنشأت جامعة الملك سعود برنامجاً خاصاً بذلك، ومن ثم تم تطوير هذا البرنامج إلى معهد بمسمى «معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث التقنيات المتناهية الصغر (النانو)»، حيث وافق مجلس الجامعة على ذلك بتاريخ ١٤٢٨/٠٣/٢٦هـ، كما وافق مجلس التعليم العالي على تأسيس هذا المعهد في ٠٢ / ٠٦ / ١٤٢٨هـ، والذي سمي فيما بعد «معهد الملك عبدالله لتقنية النانو».

(٥-٣-١) تقنية النانو ومدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية

اهتمت المدينة بإجراء البحوث الوطنيّة والتطبيقية في المجالات التي يمكن فيها توظيف التقنيات متناهية الصغر لتطوير القطاعات المختلفة، ولذلك عقدت المدينة شراكات متعددة في هذا المجال، فعلى سبيل المثال لا الحصر أنشئ مركز تميّز مشترك مع شركة آي بي إم العالمية للتركيز على دراسة تقنيات النانو في مجالات الطاقة والمياه، ونتج عن هذا التعاون العديد من براءات الاختراع، وهناك تعاون مع جامعة كاليفورنيا سانتا باربرا، وجامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية، لدراسة تقنيات النانو في الإضاءة المرشدة للطاقة، كما سيُنشئ قريبًا مركز تميّز مشترك مع جامعة كاليفورنيا بيركلي لأبحاث المواد النانوية للطاقة النظيفة باستخدام الشبكات المعدنية العضوية، ويجري تعاون آخر مع جامعة أكسفورد لأبحاث البتروكيماويات الذي يركّز على تحويل الغازات الضارّة إلى مواد نظيفة، وكذلك أنشئ مركز تميّز مشترك مع جامعة كاليفورنيا سان دييغو لأبحاث النانو الطبية، بالإضافة إلى مركز تميّز مشترك مع جامعة نورثوسترن في تطبيقات النانو الحيوية، كما أن هناك مركز تميّز مشترك مع شركة إنتل في مجال تقنيات النانو وبالتعاون مع عدّة جامعات، وأنشئ مركز تميّز مشترك مع جامعة كاليفورنيا لوس أنجلوس لتقنية النانو الخضراء، لاستخدام تقنيات نانوية متقدمة في تطبيقات الاتصالات. بالرغم من أن دخول المملكة في هذا المجال يُعدُّ حديثًا، إلّا أنّه منذ بداية الأعمال البحثية في تقنية النانو حقّق باحثو المملكة نموًّا كبيرًا في عدد الأبحاث وبراءات الاختراع، إذ تُعدُّ المملكة من أكثر الدول في العالم نموًّا في معدل أبحاث النانو. من الجدير بالذكر أنّ المدينة حصلت على ١١ براءة اختراع، إضافة إلى أن هناك أكثر من ٨٠ طلبًا ما زالت قيد الدراسة أو في طور التقديم.

تعمل المدينة على عدد من المشروعات البحثية القائمة حاليًّا في مجال تقنية النانو، وذلك كما يلي(٩٤) :

١- تصنيع وتطوير جهاز لتحريك المواد ذات الأبعاد النانوية باستخدام الملاقط الليزرية:

تصنيع وتطوير جهاز لتحريك المواد ذات الأبعاد النانوية باستخدام الملاقط الليزرية ، ويهدف هذا المشروع إلى استخدام علوم البصريات وفيزياء الليزر لإنتاج وتطوير ملاقط ليزرية لاستخدامها لتحريك وعزل والتحكم في تجمع الأجسام النانوية. فعلى سبيل المثال يمكن أن يستخدم لتحريك

الخلايا والأنسجة الحيوية لأهداف علاجية و وقائية. وكذلك لترشيح الجسيمات النانوية بحسب الحجم أو غيره من الخصائص. بدأ العمل في المشروع عام ١٤٣٣هـ، وقد أُنجز في عام ١٤٣٤هـ ، حيث جرى تجربة الجهاز في عدة مجالات: في تقنية النانو للتحكم بالأجسام النانوية، في التقنية الحيوية المتعلقة بالفيروسات و البكتيريا وفي علم المناعة والجينات الجزيئية للتصنيع الخلوي، وأيضا لتغيير نفاذية وحركية أنواع عديدة من البروتينات. كما تم الحصول على عدد من براءات الاختراع ونشر العديد من الأوراق العلمية ، ويستفيد من مخرجات هذا المشروع: مراكز الأبحاث العلمية الحيوية، والمراكز الطبية.

٢- إنشاء محطة تجريبية لإنتاج مسحوق نانوي:

يهدف هذا المشروع إلى التعرّف على تقنيات إنتاج المواد النانوية باستخدام تقنية البلازما ونقلها وتوطينها. بدأ العمل في المشروع عام ١٤٣١هـ، وفي عام التقرير اكتمل استيراد الأجهزة لتركيبها، وتدريب المهندسين والفنيين عليها، ما سيكون لمخرجاته أثر في المجتمع من حيث تأهيل الكوادر في مجال التقنية، وكذلك توفير مواد نانوية لاستخدامها في مشروعات بحثية أخرى.

شكل رقم (٥-٤) محطة تجريبية لإنتاج مسحوق نانوي (٩٤).

٢- تصنيع وتطوير جهاز لتحريك المواد ذات الأبعاد النانوية باستخدام الملاقط الليزرية:

تصنيع وتطوير جهاز لتحريك المواد ذات الأبعاد النانوية باستخدام الملاقط الليزرية ، ويهدف هذا المشروع إلى استخدام علوم البصريات وفيزياء الليزر لإنتاج وتطوير ملاقط ليزرية لاستخدامها لتحريك وعزل والتحكم في تجمع الأجسام النانوية. فعلى سبيل المثال يمكن أن يستخدم لتحريك الخلايا والأنسجة الحيوية لأهداف علاجية و وقائية. وكذلك لترشيح الجسيمات النانوية بحسب الحجم أو غيره من الخصائص. بدأ العمل في المشروع عام ١٤٣٣هـ، وقد أُنجز في عام ١٤٣٤هـ ، حيث جرى تجربة الجهاز في عدة مجالات: في تقنية النانو للتحكم بالأجسام النانوية، في التقنية الحيوية المتعلقة بالفيروسات و البكتيريا وفي علم المناعة والجينات الجزيئية للتصنيع الخلوي، وأيضا لتغيير نفاذية وحركية أنواع عديدة من البروتينات. كما تم الحصول على عدد من براءات الاختراع ونشر العديد من الأوراق العلمية ، ويستفيد من مخرجات هذا المشروع: مراكز الأبحاث العلمية الحيوية، والمراكز الطبية.

٣- تطوير أغشية تناضح عكسي لتحلية المياه بالطاقة الشمسية:

يهدف هذا المشروع الذي يُنفّذ بالتعاون مع شركة آي بي إم (IBM) إلى تطوير أغشية تناضح عكسي لتحلية المياه بالطاقة الشمسية، وإلى إنتاج نوعية من الأغشية قابلة لمقاومة الاتساخ العضوي والبيولوجي وذات كفاءه عالية في تحلية المياه.

شكل رقم (٥-٥) جهاز لتقييم الأغشية الحلزونية تحت الضغط العالي SWRO-70 مشابه للموديل الصناعي (٩٤).

بدأ العمل في المشروع عام ١٤٢٩هـ، وقد تم في عام ١٤٣٤هـ الانتهاء من متطلّبات المشروع، حيث جرى التعرف إلى المواد الكيميائية المناسبة لتبطين أغشية التناضح العكسي، واختبارها معمليًّا من الناحية البيولوجية والكيميائية، والتعرف إلى كثير من العوائق التي تحدُّ من استخدامها، والشروع في تطويرها، كما تم تحضير أنواع من أغشية iphobe بتغيير طفيف في طريقة التحضير بحيث يؤدي إلى زيادة طرد الأملاح مع الإبقاء على نسبة إنتاج عالية. وتم إجراء العديد من التجارب التقييمية بهدف معرفة الظروف الكيميائية المناسبة لتحضير النوع الجديد من أغشية iphobe، بالإضافة إلى عمل دراسات مقارنة بين الاغشية المحضرة مخبريا والأغشية المتحصل عليها تجاريا من خلال التقييم العملي ، ويستفيد من مخرجات هذا المشروع: المؤسسة العامة لتحلية المياه المالحة، وزارة المياه والكهرباء، والشركة الوطنيّة للمياه.

٤- تصنيع الخلايا الشمسية التقليدية والمرنة وتطويرها:

يعمل هذا المشروع على توظيف تقنية النانو في إنتاج أفلام بجودة وإنتاجية عاليتين، إمّا عن طريق التطعيم أو الترسيب، لاستخدامها في تصنيع الخلايا الشمسية، وذلك من خلال تطوير خلايا شمسية من مادة السليكون وتصنيعها لتصل كفاءتها إلى٢١٪ ، بهدف توفير طاقة بديلة ومتجدّدة وصديقة للبيئة، إضافة إلى أهميتها في الأماكن النائية والبعيدة عن خطوط الكهرباء لبساطتها وقلّة تكلفتها، ويستفاد منها في توليد الطاقة الكهربائية لتشغيل مضخّات الماء في المجال الزراعي، وتوفير الطاقة لأجهزة الإرسال والاستقبال في مجال الاتصالات.

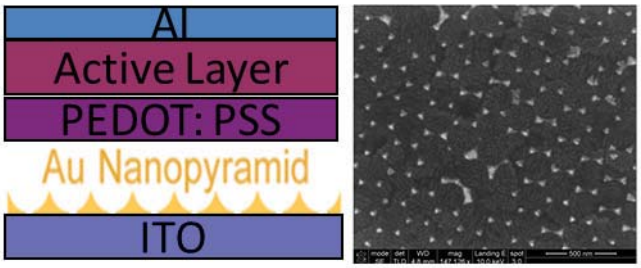
شكل رقم (٥-٦) نموذج لخلايا شمسية مرنة (٩٤).

كما تم إنتاج خلايا شمسية مرنة تستخدم مواد أوليّة تساعد في تقليل تكلفة إنتاج الخلايا الشمسية، بهدف توفير طاقة كهربائية متنقّلة سهلة الحمل والتركيب، لاستخدامها في تطبيقات مهمة.

بدأ العمل في هذا المشروع عام ١٤٣١هـ ، وقد أُنجز في عام ١٤٣٤هـ ، حيث تم تصنيع خلايا شمسية تقليديّة مصنّعة من السيليكون بكفاءة بلغت ٢١٪ ومصنّعة من ماده زرنيخ الجاليوم بكفاءة بلغت ٢٥٪ لأحادية الوصلة و ٣٠٪ لثلاثية الوصلة. كما تم تطوير خلايا شمسية مرنة من مادة زرنيخ الجاليوم السيليكون مطعّمة بالفسفور بلغت كفاءتها ٨٪، و خلايا أخرى من مادة الزرنيخ والجاليوم بكفاءة وصلت إلى ٢٨٪، إضافة إلى ذلك تم تطوير ألواح من الخلايا الشمسيّة المرنة، وذلك بهدف إنتاج طاقة قدرها ١٠٠ واط. ومن المتوقّع أن يكون لمخرجات هذا المشروع أثر في المجتمع، من حيث توفير بدائل للطاقة الأحفورية، وأيضًا في تطوير التقنية وتوطينها في المملكة ، و يستفيد من مخرجات المشروع: قطاع توليد الكهرباء المتنقلة للأماكن النائية، وأيضًا في تحلية المياه المالحة وقطاعات أخرى في المملكة.

٥- دمج المعادن متناهية الصغر في تصنيع الخلايا الشمسية العضوية:

يهدف هذا المشروع إلى دراسة مدى إمكانية رفع كفاءة الخلايا الشمسية العضوية، وذلك بإضافة جُسيمات متناهية الصغر من المعادن، للاستفادة من التأثير البلازموني لهذه الجسيمات، ودراسة تأثير تفاعل المادة الأساسية العضوية (P3HT:PCBM) مع الهواء الجوي، ما قد يقصِّر عمرها الافتراضي. وقد بدأ العمل في المشروع عام ١٤٣١هـ، وقد أُنجز في عام ١٤٣٤هـ ، حيث جرى رفع كفاءة الخلايا الشمسية العضوية من (٣٪) إلى أكثر من (٧٪)، وكذلك طُوِّرت جسيمات متناهية الصغر من الذهب مغلّفة بمادة السيليكا، حيث ستساعد هذه المادة على منع إعادة اتّحاد الإلكترون، مع الاستفادة من خاصيّة التأثير البلازموني لمعدن الذهب، وقد أدّى هذا إلى تحسين الكفاءة. كما جرى اختبار التأثير البلازموني لتوزيع جسيمات الذهب بشكل هرمي، ويؤمّل من المشروع أن يكون لمخرجاته أثر في المجتمع، من حيث توفير خلايا شمسية رخيصة الثمن.

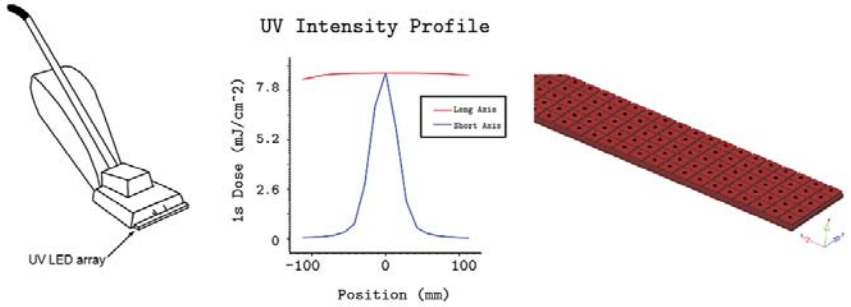


شكل رقم (٥-٧) الشكل الهرمي لجسيمات الذهب التي استخدمت، لدراسة تأثيرها البلازموني في كفاءة الخلية الكهروضوئية العضوية (٩٤).

٦- الإضاءة بالنانو:

يهدف هذا المشروع إلى بناء نظام تعقيم بالأشعة فوق البنفسجية بتقنية (LED) التي يمكنها قتل البكتيريا، وسيتم بناء نموذج أوليّ على مكنسة كهربائية للاستفادة من هذه التقنية في تعقيم سجّاد المسجد الحرام، ويُعدُّ هذا المشروع جزءًا من مبادرة المدينة التي تعود على الحرمين الشريفين بالفائدة.

بدأ العمل في المشروع عام ١٤٣٤هـ، وقد أُنجز في عام ١٤٣٤هـ ما نسبته ١٠٪ منه، تمثّلت في المسح الأدبي، ومن المتوقّع أن ينتهي العمل بالمشروع عام ١٤٣٥هـ، ما سيكون لمخرجاته أثر في المجتمع، من حيث إيجاد وسائل تقنية حديثة وآمنة في التعقيم بوساطة الأشعة فوق البنفسجية. ويستفيد من مخرجات هذا المشروع: الرئاسة العامة لشؤون المسجد الحرام والمسجد النبوي.



شكل رقم (٥-٨) دراسة الأشعة فوق البنفسجية (٩٤).

٧- إنتاج حسّاس من مادة الجرافين:

يهدف هذا المشروع إلى تطوير أقطاب من مادة الجرافين ذات اعتماديّة عالية، وكفاءة في استخدام الطاقة لاستشعار الإشعاع والضوء الكهربائي. وذلك من خلال صناعة قطب نانوي متعدد الطبقات من الجرافين، لفهم تأثير السّعة على كفاءة التقاط الأيونات في الحسّاس.

بدأ العمل في المشروع عام ١٤٣٤هـ، وقد أُنجز في عام ١٤٣٤هـ ما نسبته ١٠٪ منه، تمثّلت في طلب الأجهزة وتقييم المواد النانوية المتوقّع استخدامها في الحساس نظريًا والتنبؤ بسلوكها. كما أُجري المزيد من التجارب من خلال التصميم التجريبي المبدئي، و العمل جارٍ على تحليل نتائج التجارب، ومن المتوقّع أن ينتهي العمل بالمشروع عام ١٤٣٨هـ، ما سيكون لمخرجاته أثر في المجتمع، من حيث رفع كفاءة عمل الحسّاسات النانوية، وإضافة منتج جديد لقطاع البتروكيميائيات السعودي يمكن تسويقه

محليًا ودوليًا. ويستفيد من مخرجات هذا المشروع: قطاع البتروكيميائيات مثل الشركة السعودية للصناعات الأساسية (سابك)، و قطاع الإلكترونيات مثل شركة الالكترونيات المتقدّمة.

٨- بناء قنوات نانوية على شريحة السيلكون:

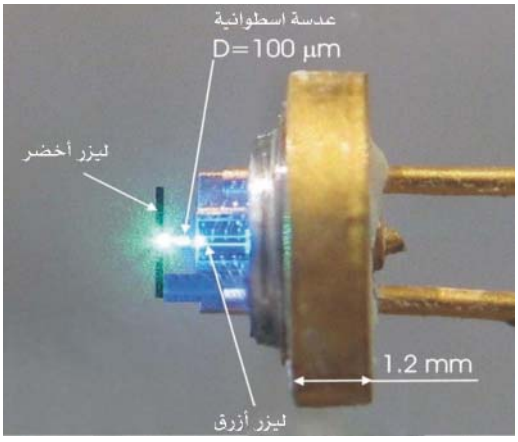
يهدف المشروع إلى إنتاج دوائر كهربائية وترانزيستورات باستخدام قنوات الكربون النانوية. ستستخدم هذه الأجهزة و الدوائر في تطبيقات الاتصال اللاسلكي.

بدأ المشروع عام ١٤٣٠هـ، وقد أُنجز في عام ١٤٣٤هـ، حيث تم في عام التقرير إنتاج ترانزيزستورات تحوي قنوات الكربون النانوية ذات أقطار كبيرة (١،٦ نانومتر) مما أدى إلى رفع التردد الأقصى إلى ٤٠ جيجاهيرتز، كما تم إنتاج دوائر كهربائية باستخدام هذه الترانزيزستورات بتردد يبلغ ٨ جيجاهيرتز. و يستفيد من مخرجات المشروع: شركات الأجهزة الإلكترونية المتقدمة، مثل: شركة الإلكترونيات المتقدمة.

٩- تصميم صمّام ثنائي باعث للضوء في نطاق (اللّونين: الأزرق والأخضر) وتصنيعه:

ويهدف هذا المشروع إلى تصنيع صمّام ثنائي باعث للضوء في نطاق اللّونين: الأزرق والأخضر، باستخدام النقاط الكميّة، بحيث يمكن استخدامه في الأجهزة المحمولة ذات التكلفة المنخفضة والحجم الصغير والاستهلاك القليل للطاقة.

بدأ العمل في المشروع عام ١٤٣٢هـ، وقد أُنجز في عام ١٤٣٤هـ ، حيث تم تحضير عدد من الصمامات الثنائية باستخدام ليزر أزرق مصنع من مواد معينة، كما أُجريت بعض التعديلات على التصاميم الأوليّة، وذلك عن طريق تغيير تراكيز المواد المستخدمة وأحجامها، وقد أمكن الحصول

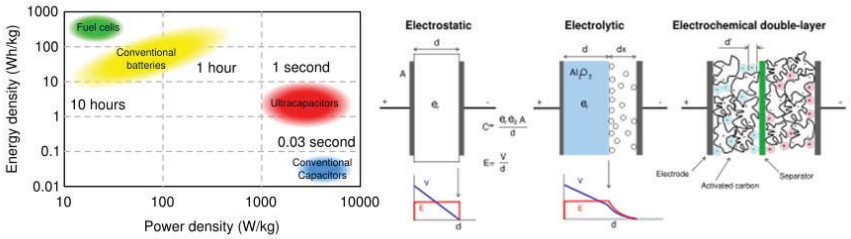


شكل رقم (٥-٩) باعث ضوء أزرق وأخضر (٩٤).

على صمّام ثنائي يعمل عند طول موجيّ مقداره ٥٢٢ نانوميتر عند ٧٤٠ مللي أمبير وقدرة تصل إلى ٧٣ مللي أمبير، وكفاءة تصل إلى ٣٪. من الجدير بالذكر هنا أن القيم التي أمكن الحصول عليها تماثل- إن لم تكن تتجاوز- تلك المتوفرة حاليًا. هذا فضلا عن بساطة تصميمه وقلّة تكلفته وصِغر حجمه. ويستفيد من مخرجات هذا المشروع: الجهات التي لها علاقه بمجال الضوئيات والأجهزة الإلكترونية، وقطاعي: الكهرباء والإلكترونيات.

١٠- تطوير أنابيب الكربون النانوية القائمة على مكثف عالي السعة:

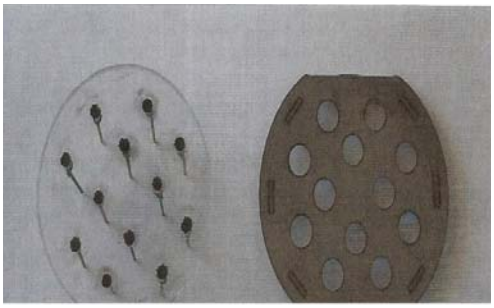
يهدف هذا المشروع إلى توطين تقنيات لتصنيع وإنتاج مكثفات عالية قائمة على أنابيب كربون نانوية بسعة ١٠ كيلوفاراد، وتطويرها لتستخدم كنظام لتخزين الطاقة. وقد بدأ العمل في المشروع عام ١٤٣٣هـ، وقد أُنجز في عام ١٤٣٤هـ ما نسبته ٦٤ ٪ منه، حيث تم في عام التقرير (١٤٣٤هـ) عمل التصاميم الأولية لتصنيع المكثف عالي الجودة، وتحديد المواد والأجهزة المطلوبة، والحصول عليها من الأسواق المحلية والعالمية للبدء في عملية التصنيع. كما أُعدّ أيضًا نموذج أوليّ مصغّر للمكثّف لدراسة واختبار التصميم وبعض التجارب الأولية عليه، ومن المتوقّع أن ينتهي العمل بالمشروع عام ١٤٣٥هـ، ما سيكون لمخرجاته أثر في المجتمع، من حيث إيجاد أنظمة عالية الكفاءة والجودة، لتخزين الطاقة، وتعريف الكادر الوطني إليها وتدريبه عليها وتصنيعها محليًا. ويستفيد من مخرجات هذا المشروع: قطاع المياه والطاقة، والقطاع الصناعي، ومشروعات تطبيقات الطاقة الشمسية في الجامعات السعوديّة، والقطاعات الحكوميّة والخاصة.



شكل رقم (٥-١٠) تطوير أنابيب الكربون النانوية (٩٤).

١١- تقنية تطوير عينات لأنابيب الكربون النانوية على حقل مصابيح البواعث المهبطية:

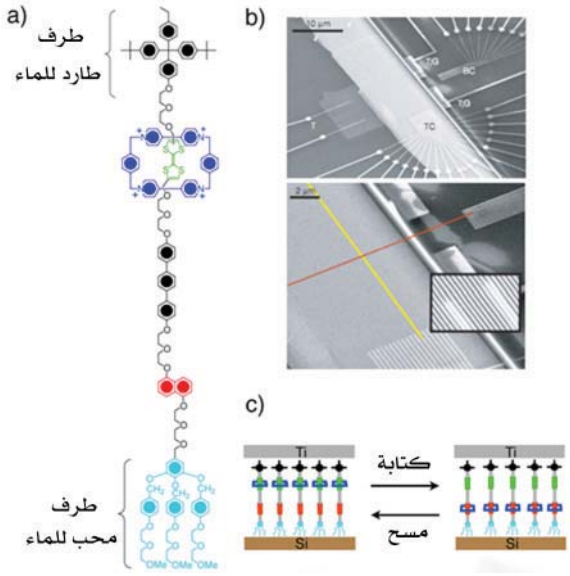
يهدف هذا المشروع إلى تطوير عينات أنابيب الكربون النانوية تعتمد على حقل مصابيح البواعث المهبطية، حيث يتم معالجة المهبط (الإلكترود) بطريقة حديثة تسهم في تحسين كفاءة هذه الأنابيب. وقد بدأ العمل في المشروع عام ١٤٣٣هـ، وقد أُنجز في عام ١٤٣٤هـ ما نسبته ٦٥٪ منه، حيث تم في عام التقرير(١٤٣٤هـ) عمل تصاميم الدائرة الالكترونية لمصدر الطاقة وأجهزة الأنابيب النانو كربونية، بالإضافة إلى عدد من التجارب والقياسات للمصابيح في ظروف تشغيلية متباينة، ومن المتوقّع أن ينتهي العمل بالمشروع عام ١٤٣٥هـ، ما سيكون لمخرجاته أثر في المجتمع، من حيث تحسين كفاءة منتجات الإنارة العامة في المباني والطرق وإشارات المرور، وكذلك شاشات العرض. ويستفيد من مخرجات المشروع: شركات ومرافق توليد الكهرباء، والمرافق التجارية والبلدية، إضافةً إلى قطاع المرور في الإشارات الضوئية واللوحات الإرشادية. و يستفيد من مخرجات المشروع: شركات ومرافق توليد الكهرباء، والمرافق التجارية والبلدية، إضافةً إلى قطاع المرور في الإشارات الضوئية واللوحات الإرشادية.



شكل رقم (٥-١١) تطوير عينات انابيب الكربون النانوية (٩٤).

١٢- أجهزة ذاكرة جزيئية تعتمد على المسامات النانوية للبوليمرات التناسقية:

يهدف هذا المشروع إلى إنتاج أجهزة ذاكرة جزيئية تعتمد على المسامات النانوية للبوليمرات التناسقية. وبدأ العمل في المشروع عام ١٤٣٤ هـ، وقد أُنجز في عام ١٤٣٤هـ ، ما نسبته ٢٥٪ منه، حيث تم في عام التقرير(١٤٣٤هـ) تصنيع المركب الأساسي مدمج به مركب يمكن التحكم في شحنته الكهربائية. سيتم لاحقًا دمج هذا المركب مع متراكب النحاس، ومن المتوقّع أن ينتهي العمل بالمشروع عام ١٤٣٦هـ ، ما سيكون لمخرجاته أثر في المجتمع، من حيث استغلال المساحات

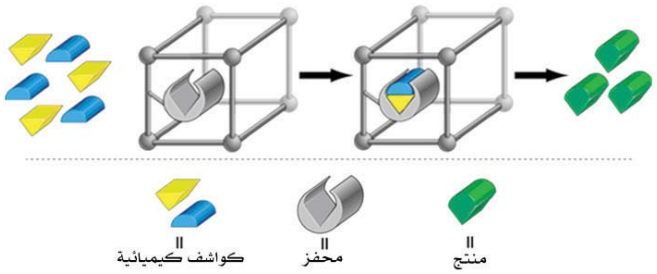


شكل رقم (٥-١١) تصميم أجهزة ذاكرة جزيئية (٩٤).

الصغيرة للشرائح الإلكترونية لإحداث خصائص عالية ومتطوّرة. ويستفيد من مخرجات المشروع: جميع شركات الاتصالات وتقنية المعلومات الوطنية. ويستفيد من مخرجات هذا المشروع: جميع شركات الاتصالات وتقنية المعلومات الوطنية. وتستفيد من مخرجات المشروع: جميع شركات الاتصالات وتقنية المعلومات الوطنية.

١٣- بوليمر بمسامات نانويّة تناسقيّة مدعّمة بمحفزات عضويّة:

يهدف هذا المشروع إلى تصنيع نوع جديد من المحفزات العضوية باستخدام بوليمرات بمسامات نانوية تناسقية.



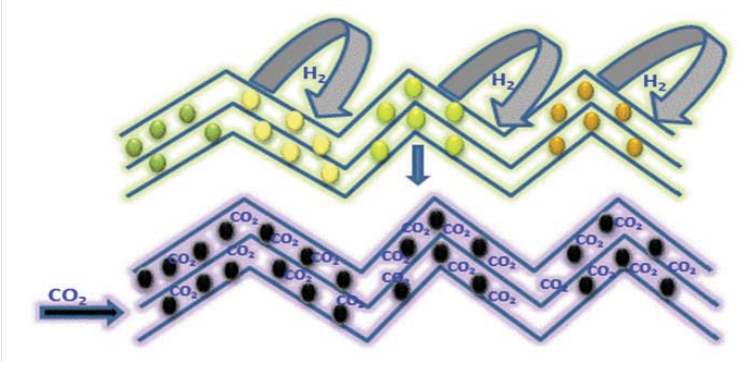
شكل رقم (٥-١١) بوليمر بمسامات نانوية تناسقية (٩٤).

بدأ العمل في المشروع عام ١٤٣٤هـ، وقد أُنجز إلى عام ١٤٣٤هـ ، ما نسبته ٢٥٪ منه، حيث تم تصنيع النوع الأول من هذه المحفّزات القابلة لإعادة التدوير، وقد نُشرت ورقة علمية في مجلّة Nature Chemistry 2013، متضمنة النتائج التي تم التوصل إليها وسوف يستمر العمل لاختبار أنواع مختلفة من هذه الحفازات وإنتاجها، ومن المتوقّع أن ينتهي العمل بالمشروع عام ١٤٣٦هـ، ما سيكون لمخرجاته أثر في المجتمع من ناحية إنتاج نوع من المحفزات التي يمكن أن تستخدم في العديد من التطبيقات الصناعية ، وتستفيد من مخرجات المشروع: وزارة الصحة.

١٤- تقويم إمكانيّة استخدام المواد المساميّة المطورة في التنقية من الغازات السامّة والأحياء الدقيقة:

يهدف هذا المشروع إلى إنتاج أنواع مختلفة من المواد التي تحتوي مسامات متناهية في الصغر لها القدرة على حجز الغازات السامّة، وإنتاج نوع من المحفّزات التي يمكنها القضاء على الكائنات الدقيقة عند تسليط الأشعة فوق البنفسجية عليها.

بدأ العمل في المشروع عام ١٤٣٢هـ، وقد أُنجز إلى عام ١٤٣٤هـ ، ما نسبته ٨٥٪ منه، حيث أُنتجت في عام التقرير أنواع مختلفة من المواد التي تتميز بمساحات سطحيّة عالية، ورُبطت جُسيمات تلك المواد بمجموعات كيميائيّة فعّالة لها القدرة على الاتحاد بغاز ثاني أكسيد الكربون، وفي المرحلة الأخيرة تم تطعيم جسيمات السليكا بجسيمات متناهية في الصغر من المعادن المختلفة، وتم اختبار قدرتها على حجز غاز ثاني أكسيد الكربون، حيث كانت النتائج أفضل من ما هو منشور في المجلات العالميّة، كما أُنتج نوع من الأغشية المطعّمة بمواد لها القدرة على حجز الغازات السامّة، وفي المرحلة الأخيرة



شكل رقم (٥-١١) استخدام المواد المسامية في التنقية من الغازات السامّة والاحياء الدقيقة (٩٤).

من المشروع سيتم اختبار قدرة طيف من جسيمات النانو في مجال القضاء على البكتريا، ويستفيد من مخرجات المشروع: شركة أرامكو السعوديّة ، ومدينة الملك عبد الله للطاقة الذريّة والمتجدّدة، ووزارة الشؤون البلدية والقروية، وجميع الجهات ذات العلاقة بالطاقة النظيفة. ويستفيد من مخرجات هذا المشروع: شركة أرامكو السعوديّة ، ومدينة الملك عبد الله للطاقة الذريّة والمتجدّدة، ووزارة الشؤون البلدية والقروية، وجميع الجهات ذات العلاقة بالطاقة النظيفة.

١٥- إنتاج اللقاحات باستخدام الجسيمات النانوية

يهدف هذا المشروع الذي يجري بالتعاون مع جامعة نورث ويسترن إلى تطوير حوامل طبيعية، مثل: المركبات متعددة التسكر بحيث تكون ذات أحجام نانوية تعمل على الارتباط بمركب اللقاح الفعال وتسهيل مروره للخلايا، بدأ العمل في المشروع عام ١٤٣٠هـ، وقد أُنجز إلى عام ١٤٣٤هـ (عام التقرير) ما نسبته ٩٥٪، حيث تم في عام التقرير متابعة إجراء تقويم كفاءة تجربة السكريات المتعددة كحوامل طبيعية للقاحات مع البكتيريا، وقد انتهي العمل بالمشروع عام ١٤٣٤هـ، ويستفيد من مخرجات المشروع الجهات البحثية والصناعية التي تهتم بتطوير وإنتاج اللقاحات والجهات الصحية.

ولا شك أن وزارة التعليم العالي تبذل جهوداً جبارة من أجل تذليل الصعاب التي تواجه ذلك التوجه والعمل على التوسع فيه للوفاء بمتطلبات رؤية خادم الحرمين الشريفين. كما أن لجامعة الملك عبدا لله للعلوم والتقنية دورا بارزا في مجال تقنية النانو حيث وقعت عدة اتفاقيات مع عدد من الجامعات العالمية للتعاون في هذا المجال الحيوي والهام والذي أصبح النجاح حليف من يحقق السبق فيه. يتضح مما سبق أن البنية التحية لأبحاث ودراسات تقنية النانو في المملكة بدأت تتبلور وأصبح لكل معهد ومركز نشاطات وتوجيهات تمثلت في المرحلة الحالية في وضع النظم واللوائح وإصدار المجلات التوعية والمتخصصة واستقطاب المتخصصين وعقدت اتفاقيات تعاون بالإضافة إلى عقد الندوات وورش العمل والمؤتمرات المحلية والدولية.

(٥-٤) تحديات تقنية النانو (Nano Challenges)

من العقبات الكبيرة التي تواجه العلماء العاملين على تطوير تقنية النانو كيفية تصنيع مواد بهذا الصغر، وبكميات كبيرة، وأسعار منافسة، حيث إنّ التقنيات المتوافرة اليوم في المعامل لا تسمح بذلك. ولكن مع الوقت، ودخول الشركات التجارية إلى هذا المجال على نحو أكبر، فإنه يتوقع أن تحلّ هذه العقبة.، كما يتوقع أن تكتشف اكتشافات كبيرة لفوائد هذه التقنية في السنوات القادمة في الطب، وعلم الأدوية، وعلم المواد(٧١، ٧٢، ٧٣).

ويقدر عدد الباحثين في مجال تقنية النانو اليوم بحوالي ٢٠,٠٠٠ باحث في جميع أنحاء العالم، وأغلبهم إن لم يكن جلهم يجرون أبحاثهم في أمريكا، وأوربا، وبعض الدول الآسيوية، مثل: اليابان، والصين، وكوريا الجنوبية.

وهناك تقدير مفاده: أنّ عدد العاملين في هذا القطاع بعد خمسة عشر عامًا سيفوق المليوني شخص!

ويقدر د.ريتشارد سمالي الحائز على جائزة نوبل في تقنية النانو أنّ هذه التقنية ستسهم في كثير من المنتجات في مجال الزراعة والغذاء، وبقيمة ملياري دولار، وستزيد إلى ٢٠ مليارًا بحول عام ٢٠١٠م. ولا يخفى علينا وجود بعض المنتجات(مثل: المضافات إلى الغذاء) التي أنتجت عن طريق تقنية النانو، ومثل هذه المنتجات موجودة في بعض أنواع الغذاء، مثل: بعض أنواع العصائر.

وكذلك من المتوقع أن تسهم تقنية النانو في تحقيق تقدم في كثير من مجالات الزراعة، والغذاء، والطاقة، وكذلك في توفير الماء النقي، وتعدّ هذه التقنية حديثة على المستوى العالمي(٧٤).

وعلى الرّغم من هذه الأمور الملموسة، فلا يزال من الصعب جعل التقنية النانوية إلزامية.

كما أنّ أحد تحديات تقنية الجزيئات هو إيجاد طريقة لتجميع الأشياء باستخدام مقياس جزيئي. وقد عالج العلماء الذرات الفردية بمجهر قوي يسمى مجهر مجسّ المسح(AFM). ويستخدم هذا الجهاز مجسّات صغيرة في مسح سطح الأشياء عند المستوى الذري. كما يمكن استخدام المجسّ أيضًا في التقاط وترتيب الذرات الفردية للجزيئات. وتستغرق عملية معالجة الذرات واحدة تلو الأخرى وقتاً طويلاً. والطريقة الأخرى تسمى التجميع الذاتي، وربّما تكون أسلوبًا أكثر فاعلية؛ لصناعة الأشياء الدقيقة، كما يطلق عليها أيضًا التركيبات الجزيئية.

ويعتقد العلماء إمكانية توجيه الجزيئات الحيوية أو العضوية عملية التجميع الذاتي للتركيبات الجزيئية (٧٥).

وهناك تحدٍّ رئيس يواجه التقنية النانوية ألا وهو كيفية صناعة البنى النانوية المرغوبة فيها، ومن ثم دمجها؛ لتكون مرئية بالعين المجرّدة، وهذا يتطلب إنشاء واجهة (Interface) بين بنى مصممة في نطاق النانومتر، وأخرى في نطاق الميكرومتر.

وهناك إستراتيجية شائعة تتجلى في استخدام ما هو معروف بطريقة «مقاربة التقسيم- التجميع»، وهذه الطريقة تستلزم صنع بنية نانوية بأدوات تستخدم في المجال النانوي، وإنشاء البنى النانوية وفق تقنيات تركيب محددة. ومن ثمّ عرضها للعالم في المجال الميكرومتري عن طريق استخدام عملية مقاربة التقسيم. ولكن توجد عوائق تقنية تواجه التقنية النانوية. فعلى سبيل المثال لا الحصر: تنتج مقاربة التجميع بلورات نانوية بحدود نانومتر واحد، وهو بعد صغير جدًّا لتقنيات التركيب والإنشاء الحالية؛ ليتعامل

معها. ومن هذا المنطلق، نلحظ أنّ عرض البلورات النانوية على العالم معقد جدًّا، وعملية مكلفة للغاية. ويجب إيجاد تدابير وإجراءات متطورة؛ للتغلب على هذه العوائق قبل أن تتمكن البنى النانوية من أن تصبح جزءًا من التطبيقات الصناعية السائدة حاليًّا.

وعندما يصبح حجم البنية النانوية أقل دقة، فإنّ منطقة سطح المادة تزداد ازديادًا مثيرًا مقارنة بالحجم الكلي للبنية. وذلك يفيد في التطبيقات التي تتطلب منطقة سطحية كبيرة، حيث تسهم هذه المنطقة في زيادة إمكانية احتكاك طبقات غير مرغوب فيها من الجزيئات بالسطح؛ فتؤدّي بذلك الأداء الكهربائي للأنابيب النانوية.

هناك قضية مهمّة أخرى ترتبط بحقيقة أنّ خواص البلورات النانوية حسّاسة جدًّا لأي تغير بأحجامها، أو بنيتها، أو خواص سطحها.

إنّ أي تغيير بسيط يمكن أن يغير الخواص الفيزيائية تغييرًا كبيرًا.

ويتطلب منع حدوث مثل هذه التغيرات دقة عالية في تطوير وإنشاء البنى النانوية، ويمكن بعد تحقق ذلك تطوير الأجهزة المعتمدة على البنى النانوية إلى المستوى المناسب.

ومن المتوقع أن يكون للتقنية النانوية تأثيرات متنوعة في الاقتصاد، والمجتمع، والبيئة، والأمن القومي.

وقد بدأت مؤسسة العلوم الوطنية الأمريكية في عام ٢٠٠٠م العمل مع المبادرة الوطنية الأمريكية للتقنية النانوية؛ لتوجيه الآثار الممكنة للتقنية النانوية، واقتراح الطرق التي تساعد على تخفيض وتقليل النتائج غير المرغوب فيها.

وعلى سبيل المثال لا الحصر: نجد أنّ تطورات التقنية النانوية قد تؤدي إلى نقص في بعض الوظائف، كما هو الحال عندما قضى تطور السيارات على معظم وسائل النقل المعتمدة على الدواب، ومن ثمّ أدى ذلك إلى فقدان أكثر وظائفهم.

إنّ المنتجات المعتمدة على التقنية النانوية ستؤدي حتمًا إلى نتائج مشابهة في بعض الصناعات المعاصرة. ومن الأمثلة على المهن المهددة بالانقراض: الأعمال في الصناعة التقليدية للتلفازات؛ لأنّ تلفازات الإصدار الحقلي المعتمدة على التقنية النانوية، أو شاشات التلفاز المسطحة ذات البلورات السائلة ستجعل هذه الأعمال مهملة. وتبشر هذه الأنواع الجديدة من التلفازات بتحسين جذري في نوعية الصورة.

فمثلاً: نجد في التلفازات الجديدة أنّ كل بكسل (عنصر صورة) مؤلف من رأس حادّ يبعث الإلكترونات بسرعة عالية عبر فجوة صغيرة داخل وميض أحمر، أو أخضر، أو أزرق .إن البيكسلات تكون أكثر سطوعًا بعكس شاشات الـ (LCD) التقليدية التي تفقد سطوعها في ضوء الشمس.

إنّ تلفازات الإصدار الحقلي تحتفظ بوضوحها في سطوع ضوء الشمس، وهي تستخدم طاقة أقل بكثير

من التلفازات العادية، ويمكن أن تكون مصنعة صناعة رفيعة جدًّا (أقل من المليمتر) ، وعلى الرّغم من ذلك فإنّ الأجهزة التجارية الحالية ستكون أضخم قليلاً من أجل الاستقرار، والثبات التركيبي، وقوة البنية.

ادعت شركة سامسونج أنها ستطلق الموديل التجاري الأول المعتمد على أنابيب الكربون النانوية القاذفة في أوائل ٢٠٠٤م، بيد أنّ منتجاتها حتى اليوم مازالت قيد التجريب.

ومن الممكن أن تكون الخسائر المحتملة الأخرى في الأعمال تتمثل بأمناء الصناديق في الأسواق التجارية في حال استبدالهم بالكومبيوترات ذات الأفلام الرقيقة المرنة المعتمدة على التقنية النانوية، والتي تكون موضوعة في أغلفة المنتجات البلاستيكية، وبذلك يمكن معرفة قيمتها كلها دفعة واحدة . كما يمكن لزبائن الأسواق التجارية ببساطة تمرير عرباتهم عبر بوابة كشف على نحو مشابه تمامًا لأنظمة الأمن المغناطيسي الموجودة عند مخارج المحال اليوم.

وهكذا فإنّ أي تحول في التقنية النانوية يتوقع منه إيجاد التقنية النانوية أعمالاً كثيرة جديدة .ويمكن أن تصبح الآثار الاجتماعية الناجمة عنها كبيرة، مثل: التحسن المعتمد على التقنية النانوية في العناية بصحة الإنسان. كما تمتلك في مجالات التقنية الحيوية والوراثية سبل تطور أساسة في التقنية النانوية لها مضمون أخلاقي.

وكذلك يمكن أن يكون للمواد النانوية آثار بيئية عكسية؛ لذلك لا بدّ من وجود تنظيم مناسب في الموقع؛ لتقليل أية آثار مؤذية. وبما أنّ المواد النانوية غير مرئية بالعين المجردة فلا بدّ من اتخاذ حيطة إضافية؛ لتجنب إطلاق هذه الجسيمات في المحيط.

وتشير بعض الدراسات التمهيدية إلى خواص مسرطنة (إمكانية التسبب بالسرطان) للأنابيب الكربونية النانوية.

وعلى الرّغم من حاجة هذه الدراسات إلى التأكيد فإنّ علماء كثر يعتقدون أنه من الحكمة اتخاذ الإجراءات؛ لمنع أية مخاطرة محتملة، يمكن أن تسببها هذه التراكيب النانوية. ولكن معظم المنتجات المعتمدة على التقنية النانوية ستحتوي على مواد نانوية متاخمة لمواد، أو عناصر أخرى أكثر من المواد النانوية محدودة الحجم ذات الحركة الحرة، وعند ذلك لن تصنف على أنها مخاطرة. وفي الوقت نفسه، فإنّ من المتوقع أن يكون لانتشار التقنية النانوية فوائد بيئية: كتقليل انبعاث ملوثات الهواء، ومنظفات قنوات نقل النفط. وتعطي مناطق السطح الواسعة في المواد النانوية قدرة هائلة على امتصاص مواد كيميائية متعددة.

فقد استخدم الباحثون الآن في المختبر الوطني لشمال غربي المحيط الهادي في ريتشلاند في واشنطن (وهو جزء من قسم الولايات المتحدة للطاقة) قالبًا نفاذاً من السليكا مع طبقة فعّالة

خاصة؛ لإزالة الرصاص والزئبق من إمدادات الماء.

وأخيرًا، يمكن أن يكون للتقنية النانوية باع في الأمن الوطني، حيث يمكنها تحسين القوى العسكرية، والسماح برقابة أفضل للسلام، وتحقيق المعاهدات.

كما يمكن أن تطور الجهود باستخدام أجهزة التقنية النانوية؛ لمنع إنتاج الأسلحة النووية، أو الكشف عن وجود أسلحة كيميائية، وبيولوجية.

وجدير بالذكر أنه من الصعب إيصال سلع تجاريّة في وقت سريع في مدينة دائمة الازدحام بالسيّارات، ومهما كان حجم الإنتاج، وسرعته. والحلّ هو إمّا توسيع الشوارع في المدينة (حيث إنّ ذلك يكون مستحيلاً غالبًا؛ بسبب وجود مبان محيطة بالشوارع)، أو إيجاد طرق بديلة (وذلك مكلف زمنيًّا). وعدم القدرة على إيصال المعلومات في الدارات الكهربائيّة تمثل أكبر «الاختناقات المروريّة» التي يمرّ فيها مصمّمو الدارات الكهربائيّة. كما أنّ من المشكلات التي تواجه مصمّمي الدارات الكهربائيّة، زيادة الناتج الحراريّ؛ بسبب ازدياد مرور الإلكترونات في الدارات الكهربائيّة؛ الأمر الذي قد يؤدّي إلى «احتراق» الدارة بكاملها، إن لم تبرّد تبريدًا مدروسًا. ومن المشكلات التي تشلّ تطوّر المعالجات والذاكرة في الحاسب الآليّ ظاهرة انتقال الإلكترونات من مسارها إلى مسار آخر، وذلك عند تقليص حجم الدارة الكهربائيّة.

فالتقنيّات المستخدمة اليوم تعتمد على تقنية ٩٠ و٦٥ و٤٥ نانو متر في التصميم، ولكنّ المصمّمين يواجهون ظاهرة انتقال الإلكترونات من مسار ما إلى آخر؛ بسبب التنافر الكهربائيّ بينها وبين إلكترونات أخرى قريبة. وهذه الظاهرة لم تكن موجودة من قبل؛ لأنّ التقنيات المستخدمة حينها كانت تستخدم مسارات إلكترونيّة أكثر عرضًا من المسارات المستخدمة حاليًّا. ولكنّ نتائج أبحاث شركة آي بي إم لن تحلّ هذه المشكلات، بل ستتجاوزها؛ لتنعدم من أساسها، إذ ستتغيّر قوانين الفيزياء في الدارات؛ لتعتمد على نظريّات وقوانين الضوء (كميّة، أو موجية، أو غيرها)؛ لتنعدم الآثار الحراريّة لمرور الإلكترونات في الأسلاك والدارات الكهربائيّة، ومن ثمّ ينعدم التنافر الإلكترونيّ. وسيصبح الضوء أساس توصيل المعلومات بين مكوّنات الحاسب الآلي.

(٥-٥)محاذير تقنية النانو (Nano risks)

لا يمثل الوجود البحت للمواد النانوية أي تهديدٍ في ذاته، بيد أنّ هناك سماتٍ معينةٍ تجعل هذه التقنية محفوفة بالمخاطر، وعلى وجه الخصوص في حركة تفاعلها المتزايدة. ففي حالة وجود خصائص معينة لبعض الجزئيات النانوية التي تكون ضارة للكائنات الحية أو البيئة، فإنّ ذلك سيسفر عن مواجهتنا

خطرًا عظيمًا . وعندئذ نستطيع القول:إنّ هناك تلوثاً نانويًّا. كما أننا في حاجةٍ إلى التمييز بين نوعين للبنية النانوية، وذلك عند مواجهة التأثير البيئي والصحي للمواد النانوية، ويتمثلان بالآتي:

١- مركبات النانو، والأسطح النانوية، ومكونات النانو (سواءً أكانت الإلكترونية، أم البصرية، أم الحسّاسة... إلخ)، حيث تدمج الجزئيات على صعيد النانو ضمن خلاصة المادة، أو المادة نفسها، أو حتى الأجهزة (الجزئيات النانوية "الثابتة").

٢- الجزئيات النانوية الحرة، حيث توجد جزئيات النانو الفردية لمادةٍ ما ضمن بعض مراحل عملية الإنتاج والاستخدام. وقد تندرج جزئيات النانو تلك ضمن أحد أصناف نطاق النانو للعناصر، أو المركبات البسيطة، وكذلك المركبات المعقدة، حيث يكون الجسيم النانوي مطليًّا بمادةٍ أخرى (جسيم نانوي "مطليّ"، أو جسيم نانوي غير مطليّ). ومن ثمّ هناك إجماع على أنّ القلق الحالي يتمثل بالجزئيات النانوية الحرة.

كما أنّ الجزئيات النانوية مختلفة بصورةٍ كبيرةٍ عن نظيراتها حاليًّا، ومن ثمّ لا يمكن اشتقاق تأثيراتها المتنوعة والمتعددة من السمية المعروفة للمواد دقيقة الحجم. وتسفر تلك النقطة عن إثارة قضايا مهمّة؛ لمواجهة التأثيرات الصحية والبيئية للجزئيات النانوية الحرة.

ووفقاً لما ذكره الاتحاد الألماني لحماية البيئة، فإنّ دراسات علمية مختلفة توصلت إلى إمكانية ضرر المواد النانوية الحمض النووي البشري، وذلك في إطار شروط معينة (انظر:الشكل رقم ٥-٤) (٧٦،٧٧). في حين قال ماريو جويتز من المعهد الفيدرالي الألماني لتقدير المخاطر في برلين : «حسب علمنا فإنّ المواد التي تحتوي على جزيئات النانو الموجودة حاليًّا في السوق، والتي خضعت لاختبارات صحة الجلد، لم تسفر عن وجود خطر مباشر على المستهلك». وأضاف جويتز أنّ القرار الجديد للاتحاد الأوروبي من شأنه أن يعزز سبل حماية المستهلك.

كما أنّ وجود مخاوف من جمعيات حماية البيئة تثير الرأي العام ضدّ تطبيقات تقنيات النانو، وذلك مثلما حصل ضدّ المحاصيل المعدلة وراثيًّا، وتمثلت هذه التحفظات في إمكانية التلويث. ومن الممكن تصميم بكتيريا جديدة، وإنتاج ماكينات يمكن برمجتها، وإدخال المعلومات الوراثية إليها بواسطة حبيبات فيروسية مصنعة.

وكذلك توجد إمكانية؛ لتحريك الذرات أو الجزيئات؛ لإحداث تفاعلات كيماوية، فيؤدي ذلك إلى تصنيع مركبات قد تكون ضارة، وكان من الصعب إنتاجها عبر تقنيات الكيمياء الحالية. ثمّ إنّ الخوف من تحوّل استخدام هذه التقنيات إلى الشؤون العسكرية، يمكن أن يجعل التكنولوجيا وحشًا يهدد البشرية قاطبة، وذلك بدلاً من استخدامها في رفع مستوى حياة الناس جميعًا، ومكافحة الفقر،

والأمراض، والجهل، والبطالة، والتصحّر، وغير ذلك، فهل تقنيات النانو سلاح ذو حدين؟ هذا ما ستكشفه مراكز الأبحاث مستقبلاً.

وتوجّه دائمًا عند كل تطور علمي أو تكنولوجي انتقادات، وتنتشر مخاوف إزاءها، كما حصل في الثورة الصناعية الأولى، وعند اختراع القنبلة الذرية، وظهور الهندسة الوراثية، وغيرها. وتتركز هذه المخاوف على عنصرين: الأول هو كون جزيئات النانو جزيئات صغيره جدًّا إلى الحدّ الذي يمكنها من التسلل إلى جهاز المناعة في الجسم البشري، وتخريبه. والأكثر إثارة للقلق هو مقدرة هذه الجزيئات على تخطي حاجز دم الدماغ!

وذلك عبر استخدام بعض منتجات التقانة النانوية: كالمراهم المضادة للشمس التي يمكن أن تصيب الحمض النووي DNA للجلد بالضرر. وأمّا الشطر الثاني من المخاوف فيكمن في كون الجزيء النانوي ذاتي التكاثر، أي: يشبه التكاثر الموجود في الحياة الطبيعية، فيمكنه أن يتكاثر بلا حدود، ويسيطر على كل شيء في الكره الأرضية.

وقد بدأت بعض المنظمات العالمية المختصّة بالبيئة والصحة تنظيم بعض المؤتمرات؛ لبحث مخاطر هذه التقانة، وسوء استخدامها. وأخيرًا، يمكننا القول: إنّ الإنسانية على

شكل رقم (٥-١٢) صورة توضيحية لتحطم الحمض النووي (٩٢).

أبواب مرحلةٍ جديدةٍ، حيث ايجابياتها لا تعدّ ولا تحصى، ومخاطرها أيضًا كبيره؛ لذا لا بدّ من حسن استخدامها وتسييسها بالاتجاه الصحيح. وكما يقول معظم العلماء: " لا يمكن لأي أحد الوقوف في وجه هذا التطور الكبير، فلنحاول تقليص السلبيات ". ولقد أثارت تِقنية النانو قَدرًا كبيرًا من الحماس، ولكنها أجَّجت أيضًا الكثير من المخاوف، فهل من مبرّر لهذه المخاوف؟ يجيب العالم جيوفاني دي ميكيلي عن ذلك قائلاً: « أعتقِد أنّ هناك ما يبرِّر جُزئيًّا بعض هذه المخاوف، ولكن لا يرى الكثير من العلماء في الوقت الحاضر أية مخاطر لتقنية النانو، إذا استُخدمت استخدامًا سليمًا. ولا ننس أنّ كل المركَّبات الكيميائية قد تكون سامّة، كما أنّ عناصر السُّموم تدخل في كل الأدوات التي نستخدِمها، كالكاميرا الرقمية على سبيل المثال، أو كعموم الدوائر الإلكترونية، ولكن لا أحد يحطِّم الكاميرا الرقمية، أو يفرك الرقاقة الإلكترونية؛ ليستخرج منهما السموم التي تسبِّب السرطان. ومع ذلك، لا بدّ لنا من أخْذ الحيطة والحذر، ووضْع نُظُم حماية قانونية، من شأنها أن تمنع بعض الأفراد من استِغلال تكنولوجيا ما في صناعة أجهزة ذات أغراض دَنيئة، أو في تحضير متفجّرات، أو في تلويث بيئي نَوَوي، يُمكن أن يصل خطره إلى السكان.

ويمكن إجمال مخاطر تطبيقات النانو ضمن المجالات التالية:

قضايا صحية: وتتمثل بتأثيرات المواد النانوية على حيوية الجسم البشري.

قضايا بيئية: وتكمن في تأثيرات المواد النانوية في البيئة.

قضايا اجتماعية: وتتمثل بالتأثيرات الناجمة عن إمكانية استخدام الأجهزة النانوية في الشؤون السياسية، والتفاعل البشري.

والنقاش في الوقت الحاضر على الفرص والتحديات الناجمة عن الجيل الأول من المنتجات النانوية لتقنية النانو والمواد النانوية المصنعة مازال على أشدّه. ومن واجب الحكومات إعداد أطر تنظيمية تفسح المجال؛ للبدء باستخدام المواد النانوية المصنعة استخدامًا يتسم بروح المسؤولية، وذلك بإجراء التقويمات العلمية، وتدبّر المخاطر المحتملة على النحو المناسب.

وقد قدم بحث بعنوان « أفكار مبدئية للتكنولوجيا النانوية والمواد النانوية المصنّعة: الأغراض والتحديات» في الدورة السادسة للمحفل الحكومي الدولي المعني بالسلامة الكيميائية بمدينة داكار السنغالية في الفترة التي ما بين ١٥ إلى ١٩ سبتمبر من عام ٢٠٠٨م(٢).

وتضمن البحث نقاطاً مهمّة كثيرة حول التحديات والمحاذير لتقنية النانو. وتقدم هذه الأفكار المبدئية لمحة عامة عن الموضوعات ذات الصلة بهذا النقاش(٣١). وسنستعرض أهم النقاط التي تعرض لها هذا البحث بخصوص أضرار ومحاذير تقنية النانو على النحو التالي:

أشار البحث إلى حمل التكنولوجيا النانوية، والمواد النانوية المصنعة منها، أوجه التقدم للمجتمع، ومنافع للبيئة، وشأنها في ذلك شأن أية تكنولوجيا جديدة، ولكنها تشكل تحديات جديدة أيضًا في مجالات الصحة، والسلامة البيئية، فقد تترك آثارًا محتملة في المجتمع. وبالنظر إلى المجال الواسع جدًّا للتطبيقات الممكنة باستخدام التكنولوجيا النانوية، والتشكيلة الواسعة من الخصائص التي تظهرها المواد النانوية المصنعة، فإنه يتعيّن إجراء نقاش تفصيلي حول المنافع والمخاطر الصحية والبيئية على مستوى تطبيقات التكنولوجيا النانوية. ومن المهم في ضوء النمو المزدهر بسرعة للتقنية النانوية، أن يشارك جميع أصحاب المصلحة المعنيين (الحكومات، والمنظمات الدولية والإقليمية والوطنية، والصناعات، وروابط المصلحة العامة، ومنظمات العمل،والروابط العلمية، والمجتمع المدني) في النقاش بغية تحديد قضايا السياسة العامة، وبحثها. ويمكن أن تتضمّن هذه القضايا الصحة، والسلامة، والهواجس المعنوية والأخلاقية والاجتماعية والقانونية، وتلك المتصلة بالمنفعة الاجتماعية. وبالنظر إلى الأثر الكبير المتوقع للتكنولوجيات النانوية في الاقتصاد العالمي، والبحوث، والمجتمع، والانتشار واسع النطاق لاستخدام المواد النانوية، فإنه يتعيّن إجراء دراسة؛ لوضع تقديرات وتقويمات شاملة واستباقية عن المخاطر المحتملة.

كما يتعين النظر إلى موضوع التقنية النانوية، والمواد النانوية المصنعة لا بوصفهما قضايا صناعة كيميائية فحسب، بل بوصفها أيضًا قضية تتصل بالقطاعات الصناعية الأخرى (كصناعة النسيج، والدهانات والطلاءات، والمعادن)، إن لم يكن كلها. ويتعيّن أيضًا أن ينصب التركيز الرئيس المتعلق بأثر المواد النانوية في صحة الإنسان والبيئة على استعمالها في سلسلة القيم بكاملها، وخصوصًا بشأن المؤسسات التجارية الصغيرة والمتوسطة في حجمها.

وقد كان الهدف من هذا البحث المعني بالسلامة الكيميائية وضع لمحة عامة عن العمل والنقاش فيما يتعلق بالتقنية النانوية. وقد ناقش البحث عددًا من الاعتبارات المتعلقة بالتقنية النانوية منها:

(٥-٥-١) الاعتبارات الأخلاقية

لم تبحث سوى قلة قليلة من اللجان المعنية بالأخلاقيات التحديات الأخلاقية المترتبة على هذه التقنية النانوية. وقد سلّمت «الجمعية الملكية» أنّ هذه المسائل لا تقتصر على التقنية النانوية، بل تبيّن التجارب الماضية مع التقانات الأخرى أنه يتعيّن الخوض في هذه المسائل وبحثها. وقد دعا عدد من التقارير المتميزة، مثل: تقرير «الجمعية الملكية» للمملكة المتحدة، والتحالفات العمالية، والبيئية، وفئات المجتمع المدني إلى اتباع أسلوب تحفظي في تطوير المواد النانوية المصنعة، وتسويقها تجاريًّا.

ويبحث هذا المبدأ التحفظي كثيرًا في اللجان الأخلاقية. وتضمّ المسائل الأخرى التي حدّدت أيضًا على أنها من أولويات النقاش: الاتفاق على المخاطر المقبولة وغير المقبولة اجتماعيًّا، وتوزع المنافع والمخاطر الاجتماعية والعالمية، ومسائل الملكية(براءات الاختراع)، والمخاطر الصحية، وذات الصلة بسلامة العمال والجمهور عمومًا، والإشراف التنظيمي، وتعليق التطبيقات التكنولوجية. وتبحث هذه الأمور كثيرًا؛ لاعتماد أسلوب تحفظي، أو رفضه في اللجان الأخلاقية.

(٥-٥-٢) المنفعة الاجتماعية للتقنية النانوية

تترك الطريقة التي تستخدم بها الموارد الطبيعية المتاحة لنا آثارها في صحتنا، والبيئة التي من حولنا، وهي تتأثر إلى حدّ كبير بالجوانب الثقافية، والخيارات الشخصية. وتشكل الموارد الطبيعية عاملاً مهمًّا في الاقتصاد، وعنصرًا حيويًّا في صلاح معيشتنا. ويمكن أن تكون للابتكارات التكنولوجية(بما فيها تلك الناجمة عن العلوم النانوية، والتكنولوجيات النانوية) دورًا أساسًا في استخدام الموارد المتوفرة لنا على نحو أكثر كفاءة.

وينبغي قبل استحداث أو استعمال أي تطبيق من تطبيقات التكنولوجيا النانوية، طرح الأسئلة عن استعمالاتها الاجتماعية. وتتطلب الإجابة عن هذه الأسئلة معرفة الإسهامات المحتملة لتطبيقات محدّدة مستمدة من التكنولوجيات النانوية في حل أي مشكلة محدّدة ذات صلة بالمجتمع، مثل: تغيّر المناخ، ونقص المياه، والمجاعات. ويجب أخذ المخاطر الصحية والبيئية وآثارها الجانبية المحتملة في المجتمع، والاقتصاد في الحسبان، إضافة إلى الحلول البديلة القائمة. وتتمثل النتيجة التي يؤدي إليها هذا التقويم دومًا باتخاذ قرار على الصعيد المحلي (القطري، والإقليمي).

ويعدّ إنتاج السلع لأغلب البلدان النامية العمود الفقري لاقتصادياتها. كما أنّ المنجزات في مجالي العلوم والتكنولوجيا كانت على الدوام مصدر تأثير عميق في إنتاج السلع والتجارة. وثمة مخاوف من تغيير التكنولوجيا النانوية أسواق السلع، وتعطيل النشاط التجاري، ومن ثمّ الإفضاء إلى البطالة. فتشريد العمال الذي يسببه بطلان استخدام السلع سيضرّ أشد الناس فقرًا، وأكثرهم عرضة للتأثر، وخصوصًا عمّال العالم النامي الذين لا تتوفر لهم المرونة الاقتصادية اللازمة؛ للاستجابة للطلب المفاجئ على المهارات الجديدة، أو المواد الخام المختلفة. وتحرك في الوقت الراهن البلدان المتقدمة بصورة رئيسة الابتكارات في مجال التكنولوجيا النانوية، وكذلك حقوق الملكية الفكرية المتصلة بها. وتسعى كبريات الشركات الوطنية في العالم، ومختبرات التكنولوجيا النانوية الأكاديمية الناشئة إلى الحصول على حقوق الملكية الفكرية للمواد وعمليات التصنيع الجديدة. ويتعيّن أن تكتسب البلدان

النامية المعتمدة على السلع فهمًا أعمق وأكمل لاتجاه وآثار التحولات التكنولوجية التي تستحث التكنولوجيا النانوية، وأن تشارك في تحديد طرق تأثير التكنولوجيات الناشئة في مستقبلها.

وثمة هواجس أيضًا بخصوص طريقة استفادة البلدان المتقدمة استفادة كبرى من التكنولوجيا النانوية، ومعاناة البلدان النامية بصورة أشدّ من المخاطر المحتملة (مثل:الصحة المهنية، واحتمال أن تكون معايير السلامة والأمان أدنى مرتبة، وعدم كفاية البنى الأساسة لإدارة النفايات، والتخلص من النفايات المتصلة بالمواد النانوية، والمنتجات المعتمدة على التكنولوجيات النانوية. وهذا يشكل عنصرًا واحدًا فقط في مجموعة من الجوانب التي يتعيّن أخذها في الحسبان التام. كما أنّ احتمال اتساع الفجوة الإنمائية يتطلب اهتمامًا خاصًّا في هذا المضمار.

(٥-٥-٣) حالة المعارف المتصلة بمخاطر المواد النانوية

كان من المعروف طوال عقود كثيرة أنّ الجسيمات المستنشقة تلحق الضرر بالرئتين، وبطانة الشرايين. وأظهرت البحوث الجارية مؤخرًا أنّ الجزء الأكبر من هذا الضرر تسببه على ما يبدو أصغر الجسيمات حجمًا. وتفحص السموميات الكلاسيكية آثار آحاد الجزيئيات في الأجهزة الحيّة. وكنا نعرف خصائص كتل المواد منذ زمن طويل، غير أنّ الحيّز القائم بينهما(أي: أنه عندما تحوّل كتل المواد إلى جزيئيات متناهية في الصغر لا تزيد عن بضع مئات من الذرات فحسب) يسفر عن حدوث تغيرات في خصائصها الفيزيائية والكيميائية. وهذا هو السبب الذي يجعل المواد النانوية المصنعة مواد مثيرة للاهتمام في تطبيقات كثيرة. ومازلنا في بداية الطريق التي تؤدّي إلى فهم كيفية تأثير المواد النانوية في صحة الإنسان، والبيئة.

وتظهر مختلف الدراسات إمكانية استنشاق المواد النانوية الطليقة، وذلك بالنظر إلى صغر حجمها. كما يمكن أن تدخل إلى مجرى الدم من خلال الرئتين، وأن تتبعثر في الجسم بكامله، وتنفذ إلى أعضاء أخرى، بيد أنّ معظم هذه الدراسات تستخدم التستيل (إدخال المواد قطرة قطرة)، وذلك عوضًا عن الاستنشاق كطريقة؛ لإعطاء المواد النانوية، ويتم ذلك عمومًا على شكل جرعة أكبر حجمًا من أن تعكس الظروف العملية الفعلية. وثبت أيضًا أنّ بعض المواد النانوية المصنفة رهن بخصائصها، حيث يمكن أن تلحق الضرر بالخلايا. ولا يتوفر سوى القليل من المعطيات حول سموميات المواد النانوية، وانطلاقها، وسلوكها البيئي، ومأمونيتها. وعلى الرّغم من عدم إجراء سوى عدد قليل من الدراسات بهذا الخصوص فإنّ النتائج التي خلصت إليها لا تعدّ كلها ذات مغزى، حيث إنّ استقصاءات كثيرة تمت باستخدام تركيزات كبيرة جدًّا من الجسيمات، وبعينات أو مواد مرجعية

لم توصف على نحو دقيق وصحيح. وقد استهلت عدة بلدان برامج بحوث ترمي إلى تعزيز البحوث المستقلة بشأن هذه المخاطر. ويمكن أن ييسر الأمر المزيد من التنسيق بين هذه البرامج باستخدام الوقت، والموارد المتاحة على نحو أكثر كفاءة .

ويلحظ في الغالب التشديد في الكتابات ذات الصلة بشأن عدم تعميم النتائج المتعلقة بالجسيمات النانوية على جميع المواد النانوية الأخرى. ويعود ذلك بصورة رئيسة إلى عدم تحديد الخصائص التي تؤثر في السميّة بعد. ومن شأن بروتوكولات الاختبارات المقيّسة، والمركبات المرجعية المقيّسة أن تمكّن من إجراء المقارنات بين مختلف المواد، والدراسات. وقد أعدت منظمات دولية، مثل: منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي (OECD)، والمنظمة الدولية لتوحيد المقاييس (ISO)، والوكالات الوطنية برامج تسهم في تدارك هذه الثغرة(٢) .

ولا يمكن استنادًا إلى المبادئ العلمية والمنهجية المتاحة حاليًّا، صياغة أية متطلبات جازمة حول مأمونية المواد النانوية المصنعة بعد. ومع ذلك، فلا بدّ من اتخاذ الاحتياطات اللازمة بناء على التقديرات التحفظية للأخطار، ومخاطر التعرض، كما يحصل في جميع المواد الخطرة. وسيتعيّن حالما تتوفر الشروط التي تسمح بوضع تقويمات للمخاطر المتصلة بالمواد النانوية المصنعة استنادًا إلى البيّنات التي تقوّيم الأطر القانونية الحالية، وتعدلها حيثما تستدعي الضرورة ذلك؛ بغية توفير الشروط الكفيلة بإبداء (مناولة) هذه المواد، وكذلك المنتجات المعتمدة على المواد النانوية طوال دورة بقائها. وعندما تتوفر المزيد من المعارف بهذا الخصوص، فسيمكن صياغة الدلائل الإرشادية؛ لإبدائها، وتنقيحها.

(٥-٥-٤) الاتصال والحوار العام

إنّ توفر المعلومات المفصّلة عن الفرص، والمخاطر المتعلقة بالتكنولوجيا النانوية، والمواد النانوية أمر مهمّ؛ لتكوين الرأي العام حولها. ويعدّ الاتصال شرطاً أساسًا مسبقاً؛ لاستخدام التكنولوجيات الجديدة. وقد تترك عملية تكوين الرأي العام هذه آثارها في تطوير التكنولوجيات وتطبيقها. وبناء على ذلك، يتعيّن أن يكون الاتصال أوسع نطاقاً من حقل المواد النانوية المصنعة، بحيث يضمّ جميع التكنولوجيات النانوية. وينبغي أن يعكس ذلك الحالة الراهنة للمعارف الاجتماعية، والعلمية، والسياسية، وعملية إشراك الجمهور. ولا بدّ أيضًا من أخذ بشائر النجاح التي تنطوي عليها التكنولوجيات النانوية، والمخاوف، أو الرفض الذي يمكن أن تثيره في الحسبان.

وينبغي أن تشكل مشاركة الصناعة والسلطات والجمهور عمومًا في النقاش الدائر حول الفرص والمخاطر جزءًا لا يتجزأ من عملية التطور التكنولوجي. ويتعيّن أن يتم هذا النقاش على أوسع نطاق ممكن، وألا يقتصر على مستويات، أو موضوعات إفرادية (سواء أكانت علمية أم نفسية أم مجتمعية). ويتمثل التحدي بإيصال المعلومات عن المخاطر والمنافع؛ لإتاحة المجال للحوار العام، واتخاذ القرارات المستنيرة، وسيكون هذا التحدي أكثر صعوبة في البلدان النامية.

كما ينبغي أن يقترن تعميم الوعي بالمخاطر المحتملة أن تترتب على استخدام التكنولوجيات النانوية، وتأثيره في الجمهور لدى البلدان المتقدمة والنامية، وكذلك الجوانب الإيجابية لهذه التكنولوجيا، لا سيّما في مجال استحداث أدوات الرصد والمراقبة.

وجدير بالذكر أنّ الجسيمات النانوية تنطلق بكميات كبيرة في العمليات الصناعية على شكل ناتج فرعي غير متعمد ناجم عن الإحراق، واللحام، والانفجار... إلخ. لكن اكتشافها محدود جدًّا في الوقت الراهن؛ بسبب نقص آليات الكشف الراسخة، ونقص الوعي بالحاجة إلى المراقبة والرصد. بيد أنه يتوقع توفر طرقاً كثيرة؛ لاكتشاف مختلف أنواع الجسيمات النانوية في المستقبل.

(٥-٥-٥) نشاطات المنظمات الدولية

شكلت منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي (OECD) في إطار لجنتها الكيميائية فريق عمل معني بالمواد النانوية المصنعة. والهدف منه النهوض بصحة الإنسان، وسلامة البيئة، بالإضافة إلى جانب الآثار المترتبة على المواد النانوية المصنعة؛ لغرض المساعدة على تطويرها بصورة مأمونة (ويقتصر ذلك بصورة رئيسة على قطاع المواد الكيميائية الصناعية). وتندرج المشاريع الثمانية التالية في خطة عمل فريق العمل المعني بالمواد النانوية المصنعة، وبيانها على النحو التالي:

وضع قاعدة معطيات تابعة لمنظمة (OECD) بشأن بحوث صحة الإنسان، وسلامة البيئة.

الإستراتيجيات المتعلقة ببحوث صحة الإنسان، وسلامة البيئة، والمتصلة بالمواد النانوية المصنعة (بما في ذلك صحة وسلامة المهنيتين).

إجراء اختبار المأمونية على مجموعة تمثل المواد النانوية المصنعة.

المواد النانوية المصنعة والدلائل الإرشادية؛ لاختبارها.

التعاون بشأن الخطط الطوعية، والبرامج التنظيمية.

التعاون بشأن تقدير المخاطر.

دور الطرق البديلة في السميات النانوية.

قياس التعرض، وتخفيفه.

وأنشأت اللجنة المعنية بالسياسة العلمية والتكنولوجية في منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي فرقة عاملة معنية بالتكنولوجيا النانوية، وهدفها تناول موضوع تطوير واستخدام التكنولوجيا النانوية على نحو يتسم بالمسؤولية، وكذلك المنافع المحتملة التي يمكن أن تقدمها هذه التكنولوجيا للمجتمع، مع مراعاة التصورات العامة المتعلقة بأوجه تقدم التكنولوجيا النانوية، وتلاقيها مع التكنولوجيات الأخرى، وذلك دون إغفال القضايا القانونية، والاجتماعية، والأخلاقية ذات الصلة. وتندرج المشاريع التالية في خطة عمل الفرقة العاملة المعنية بالتكنولوجيا النانوية، وبيانها على النحو التالي:

الإحصاءات والقياسات.

الآثار والبيئة الصالحة للأعمال التجارية.

التعاون الدولي في مجال البحوث.

التوعية وإشراك الجمهور.

الحوار حول إستراتيجيات السياسة العامة.

إسهام التكنولوجيا النانوية في التصدي للتحديات العالمية.

كما أنشأت المنظمة الدولية لتوحيد المقاييس (ISO) اللجنة التقنية رقم ٢٢٩. وتشكل حاليًّا ثلاث فرق عاملة معنية بما يلي: المصطلحات والتسميات، والقياس والتوصيف، وجوانب التقنية النانوية المتعلقة بالصحة والسلامة والبيئة. وهناك عشرة بنود عمل موزعة على هذه المجالات الثلاثة قيد الإعداد حاليًّا.

وكذلك أنشأت منظمة الأمم المتحدة للتربية والعلم والثقافة (UNESCO) "برنامج أخلاقيات العلم والتكنولوجيا(٧٨)، وذلك في عام ١٩٩٨م، حيث شكلت «لجنة عالمية لأخلاقيات المعارف العلمية والتكنولوجيا»؛ بغية إضفاء طابع أخلاقي على العلم والتكنولوجيا، وتطبيقاتهما(٢).

(٥-٥-٦) نشاطات المنظمات غير الحكومية

إنّ للشبكات الدولية التابعة للمنظمات غير الحكومية دورًا مهمًّا في دعم الإجراءات الحكومية، وتعميم المعارف، وتيسير المشاركة الديمقراطية في اتخاذ القرارات المتعلقة بالتكنولوجيات الجديدة، بما فيها التكنولوجيا النانوية. ويعترف برنامج الأمم المتحدة للبيئة بالمنظمات غير الحكومية التي تعمل على «إدارة المواد الكيميائية» التي يتمتع كثير منها بالخبرة في دعم التقدم على الأصعدة المحلية

والوطنية والدولية، وذلك بشأن تفهم الجمهور الأمر، والإسهام في الإدارة التقنية، ووضع السياسات، وتقويم المواد النانوية.

كما أنّ ثمة منظمات غير حكومية، مثل: «الجمعية الدولية للأطباء من أجل البيئة»، و«أصدقاء الأرض»، والروابط المهنية والهندسية والطبية والعلمية، وغيرها، ومنظمات العمّال، وجهات أخرى تعمل على الصعيد العالمي من أجل تأمين التعلم والتوعية للمهنيين والجمهور عمومًا، وتوفير الدعم التقني؛ لرسم السياسات للبلدان في جميع مراحل التنمية الاقتصادية. والمثال على ذلك يظهر أنّ العمل التعليمي المتعلق بالسياسات حول المواد النانوية اضطلت به «الجمعية الدولية للأطباء من أجل البيئة»، و«أصدقاء الأرض»، و«الاتحاد الأوروبي لنقابات العمّال»، وغيرها من المنظمات التي عقدت حلقات عمل، وطوّرت التشريعات، ونقحتها، ووفرت المطبوعات التقنية وغير التقنية.

ويعدّ وجود الجمهور المستنير أمرًا أساسًا في مجال التنمية المستدامة والمنصفة في جميع المجالات. وتوفر المنظمات غير الحكومية موارد متنوعة تضمّ الدعم الأساس؛ لوضع السياسات، وتثقيف الجماهير. وهي كيانات تنظيمية حاسمة في اتخاذ القرارات الديمقراطية ذات الصلة بتطوير التكنولوجيا النانوية، وإدارتها على نحو منصف(٢).

ويعدّ النهوض باستعمال التكنولوجيات الجديدة بما فيها التكنولوجيات النانوية أولوية في البلدان النامية، وخصوصًا في مجال الطب. ولكن تقويم المخاطر التي تهدد صحة الإنسان والبيئة، والناجمة عن استخدام التكنولوجيات النانوية، ليست من أولويات صانعي القرارات في الوقت الراهن. ويعود ذلك بصورة رئيسة إلى نقص المعلومات العلمية، والاستخدام المحدود نسبيًّا للتكنولوجيات النانوية، والمواد النانوية المصنعة في هذه الحقبة، وعدم وجود أدلة واضحة عن الآثار الضارة في صحة الإنسان والبيئة. ومن جهة أخرى، يثير العدد المتزايد من المطبوعات التي تتحدث عن أثر سلبي محتمل للجزيئات النانوية في صحة الإنسان والبيئة هواجس في صفوف الجماهير، وذلك بشأن الاتجار الحرّ بالمنتجات النانوية. وثمة ضرورة ملحة؛ لتيسير البحوث العلمية بشأن مزايا وأضرار المواد، والتكنولوجيات، والمنتجات النانوية، واستعمالها. وينبغي تقويم المخاطر على المستويين الوطني والدولي. ويعدّ تقاسم المعلومات والخبرات بين البلدان ذات المستويات المختلفة من التنمية الاقتصادية أولوية عليا. وينبغي أن تعمم المعلومات على نطاق واسع بشأن تعزيز استعمال التكنولوجيات الجديدة في التنمية المستدامة التي تدعم حماية صحة الإنسان والبيئة أيضًا.

ويتعيّن وفقاً للتشريعات الوطنية تضمّن المنتجات الجديدة التي يمكن أن تؤثر سلبًا في صحة الإنسان وبيئته معلومات حول مأمونيتها، أو خضوعها للاختبار؛ للحصول على إذن ببيعها في السوق

المحلية. وهناك أحكام مشابهة تغطي حماية صحة العمال في حالة تطبيق تكنولوجيات جديدة، وقد بدأ العمل على وضع إجراءات؛ لتسجيل المواد النانوية، والمنتجات النانوية بناء على تحليل المعلومات المتوفرة حاليًّا.

وأهم مجالات التعاون الدولي هي: وضع إجراءات معيارية؛ لاختبار المواد والمنتجات النانوية من حيث أثرها في الصحة، وسلامتها. ووضع إرشادات ومعايير؛ لحماية الصحة المهنية، والقواعد التي تنصّ على تقديم معلومات عن سلامة المنتجات والمواد، ومأمونيتها (وتوسيم المنتجات التي تحتوي على جسيمات نانوية، إذا دعت الضرورة إلى حماية حق المستهلكين في معرفة ذلك)[٢].

الخاتمة

لقد انطلقت ثورة تقنية النانو، وانطلقت معها بعض الدول، فأنشأت المعاهد والجامعات المتخصصة؛ للبحث عن أسرار هذه التقنية الواعدة. ونظرًا للدور الرئيس المتوقع أن تؤديه تلك التقنية المتقدمة؛ للنهوض بالاقتصاد العالمي، ودورها الرائد في تطور الصناعات الرئيسة، ومنتجاتها المختلفة، فقد لقبت بأنها تقنية القرن الحادي والعشرين، حيث بدأنا في عقده الثاني.

ومن الخطأ فعل ما يفعله كثيرون، وهو الابتعاد عن هذه التقنية؛ وذلك خوفاً من عدم فهمها، أو لصعوبة استيعابها، على الرّغم من بساطتها، وشئنا أم أبينا، فهذه التقنية قادمة، وتطبيقاتها ستكون محور حياتنا اليوميّة في المستقبل القريب.

وممّا لا شك فيه أننا بحاجة إلى مرور بعض الوقت، حتى نرى تطبيقات هذه التقنية أكثر فاعلية على أرض الواقع. ويبدو أننا أيضًا في حاجة إلى فترة زمنية تتراوح ما بين ١٠ إلى ١٥ عامًا حتى يلمس الشخص العادي النتائج الفعلية لتلك التقنية، والتي ستكون حتمًا مذهلة، ومفيدة للبشرية جمعاء- بإذن الله-.

وتقنية النانو لا ينتهي الحديث عنها، وعمّا ستقدمه للبشرية في المستقبل القريب، وعلى الرّغم من ضآلة المواد النانوية فإنها تمتلك من الخواص الفيزيائية والميكانيكية ما لا تمتلكه المواد ذات الحجم العادي. وقليل من الدول تمتلك هذه التقنية الآن، وذلك بسبب تكلفتها العالية، ولكن تطبيقاتها الرائعة تشجع الإنفاق عليها بسخاء. وفي اعتقادي الشخصي سيكون العقد القادم عقد تقنية النانو.

وبعد استطلاعنا كل ما طرح في هذا الكتاب الذي يعدّ مدخلاً ميسرًا لعلم تقنية النانو، حيث حاولت عبره أن أقدم إلى القاري فكرة عامة وشاملة عن ماهية تلك التقنية، وكيفية إنتاجها، وأهم تطبيقاتها الحالية والمتوقعة في المستقبل القريب- إنشاء الله تعالى- فما علينا إلا أنّ نقف مذهولين أمام هذه التقنية العجيبة التي تتجلى فيها قدرة الله -سبحانه وتعالى- في دقتها، وخواصها الجديدة المذهلة. وفي اعتقادي أنّ الدولة التي لا تملك زمام المبادرة للبحث في تلك التقنية خلال السنوات القادمة، ستصبح دولة متخلفة، ولن تكون ذات أهمية ، بل ستضحى عالة على غيرها من الدول الأخرى صاحبة السبق في تقنية النانو.

ومن توفيق الله -تعالى- أنّ هذه التقنية تعتمد إلى حدٍّ كبير على العامل البشري، والثروات الطبيعية، وهذان العاملان متوافران لمعظم الدول العربية، وخاصة الدول الخليجية، وهذا الأمر يعطي أملاً كبيرًا للدول العربية؛ إذ يجب أن يكون لها السبق في هذه التقنية الواعدة.

قائمة المصادر والمراجع (References)

أولاً: العربية

[١]منجزات: نانوتكنولوجي سعودي. مجلة نوافذ-مجلة تصدرها صحيفة رسالة الجامعة – جامعة الملك سعود- المملكة العربية السعودية. العدد الثاني، صفحات: ٤-١٠(يوليو ٢٠٠٩م).

[٢] فريق العمل التابع للمحفل المعني بالسلامة الكيميائية. أفكار مبدئية:

التكنولوجيا النانوية والمواد النانوية المصنّعة (الأغراض والتحديات).

المحفل الحكومي الدولي المعني بالسلامة الكيميائية: الشراكات العالمية و السلامة الكيميائية (IFCS/FORUM-VI/01.TS). داكار: السنغال(٢٠٠٨م).

[١٦] سليم ؛محمود محمد. تقنية النانو وعصرٌ علمي جديد. مبادرة الملك عبدالله للمحتوى العربي مع جامعة الملك سعود(٢٠٠٩م).

[١٧] سلامة ؛ صفات.النانو تكنولوجي: عالمٌ صغيرٌ ومستقبلٌ كبيرٌ. بيروت :الدار العربية للعلوم (ناشرون).مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم(٢٠٠٩م).

[٢٠] الحوشان؛ منصور بن صالح ، الراشد، ماهر بن محمد. ماذا تعرف عن تقنية النانو؟. مجلة النانو (مجلة يصدرها معهد الملك عبدالله لتقنية النانو) ، العدد الأول ، الصفحات -١٤-٤٧. (نوفمبر٢٠٠٨م).

[٢١]سليم ؛ محمود محمد.أنابيب الكربون النانوية. مجلة النانو – معهد الملك عبدالله لتقنية النانو – جامعة الملك سعود- المملكة العربية السعودية. العدد الثاني(فبراير٢٠٠٩م).

[٢٤] الإسكندراني؛ محمد شريف.تكنولوجيا النانو» من أجل غد أفضل.الكويت: عالم المعرفة (أبريل٢٠١٠م).

[٢٧]العلي؛ ليلى صالح، الإسكندراني، محمد شريف، القطان، محمد، عبدالحميد، أحمد. التقانة النانوية: مسيرة وتطبيقات-التقانة النانوية لدفع قاطرة التنمية-التقانة النانوية والصناعات النفطية-النانو تكنولوجي عالم صغير ومستقبل كبير. مجلة التقدم العلمي. الكويت: مؤسسة الكويت

للتقدم العلمي.العدد ٦٦، صفحات: ٢٥-٣٣(أكتوبر ٢٠٠٩م).

[٢٨]الصالحي ؛ محمد، الضويان، عبد الله. مقدمة في تقنية النانو. مطبوعات جامعة الملك سعود(٢٠٠٨م).

[٥١]مجلة علم وعالم للعلوم والاكتشاف والثقافة www.scienceandworld.com

[٥٧]الكثيري؛ محمد عاشور. تطبيقات النانوتكنولوجيا في علوم الأغذية. كلية العلوم التطبيقية -جامعة حضرموت للعلوم والتكنولوجيا. اليمن: حضرموت (٢٠٠٧م).

[٦٣] صحيفة الجزيرة السعودية. العدد ١٥ (٢٠٠٣/٤/٦م).

[٦٧] جريدة الرياض. العدد (٢٠٠٨/١٢/١٢م).

[٦٩] مغربي؛ أحمد. صحيفة الحياة. العدد ١٥٥٥١ (٢٠٠٧/١٠/١٦م).

[٧٠] جريدة الرياض. العدد١٤٠٤٠(٢٠٠٨/١٢/٢م).

[٩٣] المؤلف.

[٩٤] التقرير السنوي لمدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية ١٤٣٤/١٤٣٥هـ (٢٠١٣م).

ثانيًا: الأجنبية

[3] Jeffrey, G. A. Introduction to Hydrogen Bonding: Topics in Physical Chemistry, ISBN-13: 978-0195095494, March 13, Edition: 1, 1997.
[4]Kohler, M. and Fritzsche, W. Nanotechnology: An Introduction to Nano structuring Techniques , Wiley-VCH Second, Completely Revised Edition, 2007.
[5]Dutta, J. and Hofmann, H. Nanomaterials, Electronic Book, 2005.
[6]Wolf , E. L. Nanophysics and nanotechnology : An Introduction to Modern Concepts in Nano Science , second, updated and England edition, Willy-VCH , 2006, 2.
[7]National Nanotechnology Initiative: www.nano.gov
[8]Poole ,C. P. and Owens , F. J. Introduction to Nanotechnology, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2003.
[9]Borisenko, V. E., and Stefano, O. What is What in the Nano-world: A Handbook on Nanoscience and Nanotechnology. Weinheim: Wiley-VCH, 2005.
[10] Saudi Center for Nanotechnology: www.saudicnt.org
[11]Vinson, J. R. and Sicrakowski, R. L. The Behavior of Structures Composed of Composite Material. 2nd ed. Kluwer Academic Publishers, New York , Boston, 2002.
[12] Faraday, M. Philos. Trans. Roy. Soc. (London) 147, 1857,145.
[13]Taniguchi , N. On the Basic Concept of Nano-Technology, Proc. Intl. Conf. Prod. Eng. Tokyo, Part II, Japan Society of Preci-

sion Engineering, 1974.

[14] http://www.q8mool.com/articles_view_1157.html.

[15] Iijima, S., Nature, 354, 1991, 56-58.
[18] Kubo, R., J. Phys. Soc. Jpn., 17,1962, 975.
[19] Ozin, G. A. ; Manners, I.; Fournier-Bidoz, S. and Arsenault, A. Dream Nanomachines. Adv. Mater. 2005, 17, 3011–3018.
[22]Liu, W. K.; Karpov, E. G. and Park, H. S. Nano Mechanics and Materials: Theory, Multiscale Methods and Applications. Wiley, 2006.
[23] Shandiza, M. A., Journal of Physics and Chemistry of Solids. Vol.68,2007,1396-1399.
[25] Lechtman, H., Sci. Amer., 250(6), 56,1984.

[26] Rao, C. N.; Mueller R. A. and Cheetham , A. K. The Chemistry of Nanomaterials: Synthesis, Properties and Applications. Edited by C. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, ISBN: 3-527-30686, 2004.

[29] Brown, T. ; Lemay, H. and Bursten, B. Chemistry: The Central Science, Eighth Edition(Prentice Hall), 2002.
[30] Viernow, J. Regular Step Arrays on Silicon, Appl. Phys. Lett. 72,1998, 948.
[31]Ahadi, Z and Shadman, M. Monte-Carlo Simulation of Hydrogen Adsorption in Single-Wall Carbon Nano- Cones. Int. Nano Lett.,Vol.1, No.1, 2011, 25-29.
[32] http://www.nanoscience.com
[33] Helmenstine, A. M. Chemistry of Diamond: Part 1: Carbon Chemistry & Diamond Crystal Structure.
http://chemistry.about.com/
[34] http://www.chemicool.com/elements/carbon.html
[35] http://www.wisegeek.com/what-are-fullerenes.html

[36] Nature , Vol. 407, 7 SEPT., 2000.
[37]Bethune, D. S. ;Kiang, C.; Beyers, R. and Salem, J. R. Carbon and Metals: A path to Single-Wall Carbon Nanotubes. Physica B: Physics of Condensed Matter 323 (1-4), 2002, 90-96.
[38] www.almaden.ibm.com/st/past_projects/nanotubes/
[39] Meng, D. G. ; Zhang,S.; Hao,Y.; An, X.; Wei, Q.; Ye, M. and Zhang, L. Chem. Commun., 2007, 1733-1735
[40] www.personal.reading.ac.uk/~scsharip/tubes.htm
[41] Eklund, P.; Ajayan, P.; Blackmon, R.; Hart, A. J.; Kong, J.; Pradhan, B; Rao ,A. and Rinzler, A. International Assessment of Carbon Nanotube Manufacturing and Applications, WTEC Panel Report , June 2007.

[42] Pettes, M. T. and Shi, L. Thermal and Structural Characterizations of Individual Single-, Double-, and Multi-Walled Carbon Nanotubes. Adv. Funct. Mater.,19, 2009,3918–3925.
[43] Minot , E. D. Tuning the Band Structure of Carbon Nanotubes, A Dissertation Presented to the Faculty of the Graduate School of Cornell University (Doctor of Philosophy), August 2004.
[44] Skúlason, E. Metallic and Semiconducting Properties of Carbon Nanotubes, Modern Physics, Nov 2005.
[45]Adler; Hashibon, A.; Schreiber, N. ; Sorkin, A.; Sorkin, S. and Wagner, G. Visualization of MD and MC Simulation for Atomistic Modeling. Computer Physics Communication, 147, 665-9.
[46]Belluci, S. Carbon Nanotubes: Physics and Applications, Physica Status Solidi (c) 2 (1),19 January 2005, 34–47.
[47]http://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=1564

[48] Frank, S., Science 280,1998,1744.

http://www.pa.msu.edu/cmp/csc/ntproperties/electricaltransport.html

[49]Resistance Welding Manufacturing Alliance. Resistance Welding Manual (4th ed.). ISBN 0-9624382-0,2003,18–12.

[50] Rotkin, S. V. and Subramoney, S. Applied Physics of Carbon Nanotubes: Fundamentals of Theory, Optics and Transport Device, ISBN 978-3-540-23110-3, August 1, 2005.
[52]http://www.ruf.rice.edu/~ljwgroup
[53] Rode and Andrei, V. Structural Analysis of a Carbon Foam Formed by High Pulse-Rate Laser Ablation, Applied Physics A:Materials Science & Processing 69 (7),1999, S755–S758.
[54]http://www.arab-eng.org/vb/showthread.php?t=245337
[55] Mamin , H. J.,\ Nature Nanotechnology (2007).
[56] Nano Science and Technology Consortium(NSTC) report, India: www.nstc.in/publication/reports/pdf/
[58] Helmuth Kaiser Consultancy. Nanotechnology in Food and Food Processing Industry Worldwide, 2004.
[59]Nanotechnology in Agriculture and Food. Nanoforum Report, European Nanotechnology Gateway , May 2006.
[60] nanoroducts.blogspot.com/2009_02_01_archive.html.
[61]Selim, M. M. and El-Safty, S. Optical Nanosensor Based on Nanotube Metal Oxides for Cyclo Clean Water from Deleterious Pollutants in Saudi Arabia, Project Submitted to KACST, Saudi Arabia(2011).
[62] El-Safty, S.; Kiyozumi,Y.; Hanaoka, T. and Mizukami, F. Heterogeneous Catalytic Activity of NiO-Silica Composites Designated with Cubic Pm3n Cage Nanostructures. Appl. Catal. B: Environ. 82, 2008,169-179.
[64] http://ar.wikipedia.org/
[65]Itoa, S.; Matsuib, H.; Okadab, K.; Kusanoc, S.; Kitamurad, T.; Wadad Y. and Yanagida, S. Solar Energy. Materials & Solar Cells, 82, 2004, 421.
[66] Hao, S.; Wu , J.; Fan, L. ; Huang, Y. ; Lin, J. and Wei, Y. Solar Energy, 76, 2004, 745.
[68] Ellis-Behnke, R. G.; Liang, Y.; You, S.; Tay, D. K. ; Zhang, S. ; So, K. and Schneider, G. E. Nano Neuro knitting: Peptide Nanofiber Scaffold for Brain Repair and Axon Regeneration with Func-

tional Return of Vision. Br J Ophthalmol,90, 2006, 804-869.

[71] Harris, P. Carbon Nanotubes and Related StructuresCambridge University Press,1999.
[72] Amall, A.H. Future Technologies, Today's Choices, Greenpeace Environmental Trust: London, 2003.
[73]Allianz, A. G. Group. Small Sizes That Matter: Opportunities and Risks of Nanotechnologies. Munich., 2005.
[74] http://nano.ksu.edu.sa/index.php?lang=ar
[75] Global Arabic Encyclopedia : www.mawsoah.net
[76] Lodish, H.; Berk ,A.; Matsudaira , P.; Kaiser , C.A; Krieger, M.; Scott, M. P.; Zipursky, S. L and Darnell, J. Molecular Biology of the Cell, WH Freeman: New York, NY. 5th ed. (2004) p963.
[77]http://en.wikipedia.org/wiki/DNA_repair
[78]http://portal.unesco.org/shs/en/
[79] Flahaut, E.; Bacsa, ; Peigney, R. A. and Laurent, C. Chem. Commun. 12, 2003, 1442.

مراجع إضافية للاستزادة:

[80] Feather, J. L. and F. Aznar, M. F. Nanoscience Education, Workforce Training, and K-12 Resources. CRC Press. ISBN-13: 978-1420053944; 1st ed. 2010.
[81] Guston, D.H. Encyclopedia of Nanoscience and Society. SAGE Publications, Inc. ISBN: 9781412969871. ; 1st ed.2010.
[82] Shah, M. A. and Ahmad T. Principles of Nanoscience and Nanotechnology. Narosa Publishing House. ISBN: 978-81-8487-072-5; 1st ed. 2011.
[83] Martín, R. J. and Lakhtakia, A. Nanotechnology: A Crash Course. SPIE Press. ISBN 978-0-8194-8075-0; 1sted. 2010.
[84] Lindsay, S. Introduction to Nanoscience. Not Yet Published. ISBN13: 9780199544219; 1sted. 2009.
[85] Berger, M. Nano-Society Pushing the Boundaries of Technology. Royal Society of Chemistry (RSC). ISBN: 978-1-84755-

883-1 ; 1st ed. 2009

[86] Hornyak, G. L. Introduction to Nanoscience. CRC.ISBN: 9781420048056 ; 1st ed. 2008.
[87] Rogers, B. Nanotechnology: Understanding Small Systems. Jesse Adams, Nevada Nanotech Systems, Inc., Nevada, USA, Series: Mechanical Engineering Series. ISBN 10: 0849382076; Volume: 29, 2007.
[88] Lakhtakia, A. and Messier R. Sculptured Thin Films: Nano-engineered Morphology and Optics. SPIE Press.1st ed. 2005.
[89] Kelsall, R. Nanoscale Science and Technology. Wiley.ISBN: 978-0-470-85086-2; 1st ed. 2005.
[90] Bowles, K. Teaching Nanotechnology in the High School Curriculum: A Teacher's Guide. UCF NANOPAC. 1st ed. 2004.
[91] www.Wikipedia.org
[92] www.Shutter Stock.com

ثبت المصطلحات

أولاً : عربي – إنجليزي

أ

أمونيا	**Ammonia**
أجهزة الاستشعار عالية الحساسية	**Highly Sensitive Sensors**
أجهزة الانبعاث الإلكتروني	**Electric Emission System**
إريك دريكسيلر (اسم عالم)	**Eric Drexler**
أساس	**Fundamental**
استقطاع ليزري	**Laser Ablation**
أسلاك كمية	**Quantum Wire**
أسلاك نانوية	**Nanowires**
أشباه موصلات	**Semi-conductors**
أشكال المواد النانوية	**Forms of Nano materials**
أغذية جذابة	**Interactive Food**
أغذية النانو	**Nano Foods**
أغشية أنابيب الكربون	**CNT Membranes**
أغلفة مضادة للميكروبات	**Anti Microbial Films**
إلكترون	**Electron**
ألياف نانوية	**Nanofibers**
أنابيب الكربون	**Carbon Nanotubes(CNTs)**
أنابيب نانوية	**Nanotubes**
أنبوب نانوي ذو جدار وحيد	**(Single-wall Nanotube (SWCNTs**
أنبوب نانوي ذو جدارين	**Double-wall Nanotube(DWCNTs)**
أنبوب نانوي متعدد الجدران	**Multi-wall Nanotube(MWCNTs)**
أنتوين لافويسر (اسم عالم)	**Antoine Lavoisier**
أنجستروم	**Angstrom**
أندريه رود (اسم عالم)	**Andrei V. Rode**
إنسالات نانوية	**Nano Robot**
أنود	**Anode**
أيوديين	**Iodine**
أيون	**Ion**

ب

باكمنستر فوليرين (اسم عالم)	**Buckminster Fullerene**
بترولية	**Petroleum**

Proton	بروتون
One Dimensional	بعد واحد
Polyaniline	بولي أنيلين
Polyvinylidenefluoride)	بولي فينيلايدين
Picometer	بيكومتر

ت

Nano Business Alliance	تحالف أعمال النانو
Nano Challenges	تحديات النانو
Hydrogen Storage	تخزين الهيدروجين
Abinitio	تجارب رقمية
Self-Assembly	تجميع ذاتي
Transistor	ترانزستور
Chemical Vapour Deposition	ترسيب بخاري كيميائي
Chiral	تركيب تشارول
Armchair	تركيب كتف الكرسي
Zigzag	تركيب متعرج
Mechanical Structure	تركيب ميكانيكي
Diagnostic by Nanotechnology	تشخيص بتقنية النانو
Assembly & Nanopatterning	تشكيل نانوي
Synthesis	تصنيع
Nanomaterials Classifications	تصنيف المواد النانوية
Nanomaterials Synthesis	تصنيع المواد النانوية
Industrial Application	تطبيقات صناعية
Pharmaceutical Application	تطبيقات صيدلية
Medical Application	تطبيقات طبية
Application of Nanotechnology	تطبيقات النانو
Nanotechnology and Hajj	تطبيقات النانو في الحج
Nano in Military Field	تطبيقات النانو في المجال العسكري
Arc Discharge Technique	تقنية القوس الكهربي
Nanotechnology	تقنية النانو
Air Pollution	تلوث الهواء
Water Purification	تنقية المياه
Eddy currents	تيارات دوامية
Tunneling Current	تيار نفقي

Bioavailability	توافر حيوي
Ballistic Conduction	توصيل قذفي
Tomas Kenny	توماس كيني(اسم عالم)

ث

Thermal Stability	ثبات حراري
Three Dimensional	ثلاثي البعد
Two Dimensional	ثنائي البعد
Graphene Roll up	ثني لوح الجرافيت

ج

Graphene	جرافيت
Gerd Binnig	جرد بينج (عالم)
Molecule	جزيء
Silicate Nano Particles	جزيئات السليكا النانوية
Clusters	جزيئات صغيرة
DNA	جزيء الحمض النووي
Palladium Nanoparticles	جسيمات البلاديوم النانوية
Nanoparticles	جسيمات نانوية
Portable Nano Sensor	جهاز استشعار محمول
Scanning Tunneling Potentiometry	جهد نفقي ماسح
Gustav Mie	جوستاف ماي(اسم عالم)
Giapintzakis John	جيابنتزاكيس(اسم عالم)

ح

Personal Computer	حاسبات شخصية
Microcomputers	حاسبات صغيرة
Computer	حاسوب
Intelligent Inc	حبر ذكي
Molecule Volume	حجم الجزيء
Drilling Wells	حفر الآبار
Knitting Nanomaterials	حياكة نانوية

خ

Thermal Properties	خواص حرارية
Electrical Properties	كهربية
Mechanical Properties	ميكانيكية

د

Optical Circuits	دارات بصرية
Integrate Circuit (IC)	متكاملة
Substrate	داعم للتفاعل
Donald Bethune	دونالد بثيون (اسم عالم)
Decimeter	ديسيمتر

ذ

MRAM	ذاكرة مغناطيسية
(Random Access Memory - RAM)	ذاكرة عشوائية
Atom	ذرة

ر

Nanorobot	ربوتات النانو
Nano-Flakes	رقائق النانو
Robert Boyle	روبرت بويل (اسم عالم)
Robert Curl	روبرت كيرل (اسم عالم)
Bonds	روابط
Ionic Bonds	أيونية
Covalent Bonds	تساهمية
Physical Bonds	فيزيائية
Metallic Bonds	فلزية
Chemical Bonds	كيميائية
Hydrogen Bonds	هيدروجينية
Richard Smalley	ريتشارد سمالي(اسم عالم)
Richard Feynman	ريتشارد فيومان (اسم عالم)

ز

Chiral Angle	زاوية تشارول
Agriculture	زراعة

س

Electron Cloud	سحابة إلكترونية
Behavior	سلوك
Centimeter	سنتيمتر
Sumio Iijima	سوميو إيجيما(اسم عالم)
Damascus Sword	سيف دمشقي

ش

شبه الفرن	**Oven-like**
شباك النانو	**Nano Mesh**
شبيكة سداسية	**Hexagonal lattice**

ص

صدفات النانو	**Nano Shells**
صوديوم	**Sodium**
صور الكربون	**Carbon Forms**
صول-جل (طريقة لتحضير المواد النانوية)	**Sol-gel**

ط

طباعة النانو	**Nanolithography**
طاقة شمسية	**Solar Energy**
نانوية	**Nano Energy**
طرق فيزيائية	**Physical Methods**
كيميائية	**Chemical Methods**
ميكانيكية	**Mechanical Methods**
طيف المسح النفقي	**Scanning Tunneling Spectroscopy**

ع

علاج السرطان	**Cancer Treatment**

غ

غاز الأرجون	**Argon Gas**
غرفة تفاعل مفرغة الهواء	**Vacuum Chamber**

ف

فرن كهربائي	**Furnace**
فقاعات الكربون الدقيقة	**Carbon Nanofoam**
فلز	**Metallic**
فوليرين	**Fullerene**
فيمتومتر	**Femtometer**

ق

قوات جوية	**Air forces**
قوى فان دير فال	**Van der Waals Forces**

ك

Nanoballs	كرات نانوية
Kratschmer	كراتشمير (اسم عالم)
Carbon	كربون
Chloride	كلوريد
Electrostatics	كهروستاتيكية
Co	كوبالت
Cable	كيبل
Kilometer	كيلومتر

ل

Lycurgus	لايكورجوس (الملك البريطاني)
Lamp	لمبة
Lon Wilson	لون ويلسون (اسم عالم)

م

Diamond	ماس
Microchips	مايكرون
Tensile Strength	متانة الشدّ
Chiral Vector of the Nanotube	متجه تشارول لأنبوب النانو الكربوني
Nano Microscopes	مجاهر نانوية
Tip	مجسّ
Assembler	مجمع
Hinchu Science Park	مجمع هينشو العلمي بتايوان
Scanning Electron Microscope (SEM)	مجهر إلكتروني ماسح
Transmission Electron Microscope (TEM)	مجهر إلكتروني نفّاذ
Atomic Force Microscopy (AFM)	مجهر ذو قوة ذرية
MFM	مجهر ذو قوة مغناطيسية
Scanning Tunneling Microscope (STM)	مجهر نفقي ماسح
Nano Risks	محاذير النانو
Engines of Creation	محركات التكوين
Motor Protein	محرك بروتوني
Catalysts	محفزات
Molecular Orbital	مدار جزيئي

Atomic Orbital	ذري
Nano Filters	مرشحات النانو
Nanocomposites	مركبات نانوية
WTEC	مركز تقويم التقنية العالمي الأمريكي
Nano Porous Ceramics	مسام الخزف النانوية
Metallic Nanopowders	مسحوق معدني نانوي
Space Elevator	مصعد الفضاء
Microprocessors	معالج
Elastic Modulus	معامل المرونة
Aristotle's Belief	معتقد أرسطي
NIMS Japan	معهد علوم المواد باليابان
Concepts	مفهوم
Nanoscale	مقياس النانو
Millimeter	مليمتر
Bottom –up	من أسفل إلى أعلى
Top-down	من القمة إلى القاع
UNESCO	منظمة الأمم المتحدة للتربية والعلم والثقافة
OECD	منظمة التعاون والتنمية الاقتصادية
ISO	المنظمة الدولية لتوحيد المقاييس
Organic Materials	مواد عضوية
Reinforced Materials	مواد مدعومة (مقواة)
Nanomaterials	مواد نانومترية (نانوية)
(Photonic Crystal Waveguide-PCW)	موجّه موجات الكريستال الفتوني
High-Resolution Transmission Electron Microscope	ميكروسكوب إلكتروني عالي الكفاءة
Spin Polarized Scanning Tunneling Microscopy	ميكروسكوب غزل الاستقطاب النفقي الماسح
Photon Scanning Microscopy	ميكروسكوب ماسح فتوني
Michael Faraday	ميشيل فراداي(اسم ...)
Micrometer	ميكرومتر

ن

Nanobiothics	نانو بيوتكس
Nanometer	نانومتر
Brief History	نبذة تاريخية

Electrochemical Etching	نحت الإلكترون
Quantum Tunneling	نفق كمّي
Quantum Dots	نقاط كمّيّة
Ballistic Electron Transport	نقل إلكتروني قذفي
Norio Taniguchi	نوريو تانقيشي (اسم عالم)
Nanomaterials Modeling	نمذجة نانوية
Constant Height Mode	نمط الارتفاع الثابت
Neutron	نيترون
Ni	نيكل

هـ

Harold Kroto	هارولد كروتو(اسم عالم)
Geometry of Cells	هندسة الأنسجة
Huffman	هوفمان (اسم عالم)
Structured in Size	هيكلة حجمية
Structured in Surface	سطحية
Hydrocarbon	هيدروكربون
Heinrich Rohrer	هينرش روهر(اسم عالم)

و

Interface	واجهة
Atom Mass Unit	**وحدة الكتلة الذرية**
Mass Number	وزن ذري
NASA	وكالة الفضاء الأمريكية
DARPA	وكالة مشاريع أبحاث الدفاع المتقدّمة
William Mclellan	وليام ماكلان(اسم ...)

ثانيًا :إنجليزي – عربي

A

Abinitio	تجارب رقمية
Air forces	قوات جوية
Air Pollution	تلوث الهواء
Agriculture	زراعة
Ammonia	أمونيا
Andrei V. Rode	أندريه رود (اسم عالم)

Angstrom	أنجستروم
Anode	أنود
Anti Microbial Films	أغلفة مضادة للميكروبات
Antoine Lavoisier	أنتوين لافويسر (اسم عالم)
Application of Nanotechnology	تطبيقات النانو
Arc Discharge Technique	تقنية القوس الكهربي
Argon Gas	غاز الأرجون
Aristotle's Belief	معتقد أرسطي
Armchair	تركيب كتف الكرسي
Assembly & Nanopatterning	تشكيل نانوي
Assembler	مجمع
Atomic Force Microscopy (AFM)	مجهر ذو قوة ذرية
Atom	ذرة
Atomic Orbital	مدار ذري
Atom Mass Unit	وحدة الكتلة الذرية

B

Ballistic Conduction	توصيل قذفي
Ballistic Electron Transport	نقل إلكتروني قذفي
Behavior	سلوك
Bioavailability	توافر حيوي
Bonds	روابط
Bottom –up	من أسفل إلى أعلى
Brief History	نبذة تاريخية
Buckminster Fullerene	باكمنستر فوليرين (اسم عالم)

C

Cable	كيبل
Cancer Treatment	علاج السرطان
Carbon	كربون
Carbon Forms	صور الكربون
Carbon Nanofoam	فقاعات الكربون الدقيقة
Carbon Nanotubes(CNTs)	أنابيب الكربون
Catalysts	محفزات
Centimeter	سنتيمتر
Chemical Bonds	روابط كيميائية

Chemical Methods	طرق كيميائية
Chemical Vapour Deposition	ترسيب بخاري كيميائي
Chiral	تركيب تشارول
Chiral Angle	زاوية تشارول
Chiral Vector of the Nanotube	متجه تشارول لأنبوب النانو الكربوني
Chloride	كلوريد
Clusters	جزيئات صغيرة
CNT Membranes	أغشية أنابيب الكربون
Co	كوبالت
Computer	حاسوب
Concepts	مفهوم
Constant Height Mode	نمط الارتفاع الثابت
Covalent Bonds	روابط تساهمية

D

Damascus Sword	السيف الدمشقي
DARPA	وكالة مشاريع أبحاث الدفاع المتقدّمة
Decimeter	ديسيمتر
Diagnostic by Nanotechnology	تشخيص بتقنية النانو
Diamond	ماس
DNA	جزيء الحمض النووي
Donald Bethune	دونالد بثيون (اسم عالم)
Double-wall Nanotube(DWCNTs)	أنبوب نانوي ذو جدارين
Drilling Wells	حفر الآبار

E

Eddy currents	تيارات دوامية
Elastic Modulus	معامل المرونة
Electrical Properties	خواص كهربية
Electric Emission System	أجهزة الانبعاث الإلكتروني
Electrochemical Etching	نحت الإلكترون
Electron	إلكترون
Electron Cloud	سحابة إلكترونية
Electrostatics	كهروستاتيكية
Engines of Creation	محركات التكوين
Environmental	بيئة

Eric Drexler	إريك دريكسيلر (اسم عالم)

F

Femtometer	فيمتومتر
Forms of Nano materials	أشكال المواد النانوية
Fullerene	فوليرين
Fundamental	أساس
Furnace	فرن كهربائي

G

Geometry of Cells	هندسة الأنسجة
Gerd Binnig	جرد بينج (اسم عالم)
Giapintzakis John	جيابنتزاكيس(اسم عالم)
Graphene	جرافيت
Graphene Roll up	ثني لوح الجرافيت
Gustav Mie	جوستاف ماي(اسم عالم)

H

Harold Kroto	هارولد كروتو(اسم عالم)
Heinrich Rohrer	هينرش روهر(اسم عالم)
Hexagonal lattice	شبيكة سداسية
Highly Sensitive Sensors	أجهزة الاستشعار عالية الحساسية
High-Resolution Transmission Electron Microscope	ميكروسكوب إلكتروني عالي الكفاءة
Hinchu Science Park	مجمع هينشو العلمي بتايوان
Huffman	هوفمان (اسم عالم)
Hydrocarbon	هيدروكربون
Hydrogen Bonds	روابط هيدروجينية
Hydrogen Storage	تخزين الهيدروجين

I

Industrial Application	تطبيقات صناعية
Integrate Circuit (IC)	الدارات المتكاملة
Intelligent Inc	حبر ذكي
Interactive Food	أغذية جذابة
Interface	واجهة
Iodine	أيودين
Ionic Bonds	روابط أيونية

Ion	أيون
ISO	المنظمة الدولية لتوحيد المقاييس

K

Kilometer	كيلومتر
Knitting Nanomaterials	حياكة نانوية
Kratschmer	كراتشمير (اسم عالم)

L

Lamp	لمبة
Laser Ablation	استقطاع ليزري
Lon Wilson	لون ويلسون (اسم عالم)
Lycurgus	لايكورجوس (الملك البريطاني)

M

Mass Number	وزن ذري
Medical Application	تطبيقات طبية
Mechanical Methods	طرق ميكانيكية
Mechanical Properties	خواص ميكانيكية
Mechanical Structure	تركيب ميكانيكي
Metallic	فلز
Metallic Bonds	روابط فلزية
Metallic Nanopowders	مسحوق معدني نانوي
MFM	مجهر ذو قوة مغناطيسية
Michael Faraday	ميشيل فراداي (اسم ...)
Microcomputers	حاسبات صغيرة
Micrometer	ميكرومتر
Microprocessors	معالج
Millimeter	مليمتر
Molecular Orbital	مدار جزيئي
Molecule	جزيء
Molecule Volume	حجم الجزيء
Motor Protein	محرك بروتوني
MRAM	ذاكرة مغناطيسية
Multi-wall Nanotube(MWCNTs)	أنبوب نانوي متعدد الجدران

N

Nanoballs	كرات نانوية
Nanobiothics	نانو بيوتكس
Nano Business Alliance	تحالف أعمال النانو
Nano Challenges	تحديات النانو
Nanocomposites	مركبات نانوية
Nano Energy	طاقة نانوية
Nano Filters	مرشحات النانو
Nanofibers	ألياف نانوية
Nano-Flakes	رقائق النانو
Nano Foods	أغذية النانو
Nano in Military Field	تطبيقات النانو في المجال العسكري
Nanolithography	طباعة النانو
Nanomaterials	مواد نانومترية (نانوية)
Nanomaterials Classifications	تصنيف المواد النانوية
Nanomaterials Modeling	نمذجة نانوية
Nanomaterials Synthesis	تصنيع المواد النانوية
Nano Mesh	شباك النانو
Nanometer	نانومتر
Nano Microscopes	مجاهر نانوية
Nanoparticles	جسيمات نانوية
Nanorobot	ربوتات النانو
Nano Porous Ceramics	مسام الخزف النانوية
Nano Risks	محاذير النانو
Nano Robot	إنسالات نانوية
Nanoscale	مقياس النانو
Nano Shells	صدفات النانو
Nanotechnology	تقنية النانو
Nanotechnology and Hajj	تطبيقات النانو في الحج
Nanotubes	أنابيب نانوية

Nanowires	أسلاك نانوية
NASA	وكالة الفضاء الأمريكية
Neutron	نيترون
Ni	نيكل
NIMS Japan	معهد علوم المواد باليابان
Norio Taniguchi	نوريو تانقيشي (اسم عالم)

O

OECD	منظمة التعاون والتنمية الاقتصادية
One Dimensional	بعد واحد
Optical Circuits	دارات بصرية
Organic Materials	مواد عضوية
Oven-like	شبه الفرن

P

Palladium Nanoparticles	جسيمات البلاديوم النانوية
Personal Computer	حاسبات شخصية
Petroleum	بترولية
Pharmaceutical Application	تطبيقات صيدلية
Photonic Crystal Waveguide ((PCW	موجّه موجات الكريستال الفتوني
Photon Scanning Microscopy	ميكروسكوب ماسح فتوني
Physical Bonds	روابط فيزيائية
Physical Methods	طرق فيزيائية
Polyaniline	بولي أنيلين
Polyvinylidenefluoride)	بولي فينيلايدين
Portable Nano Sensor	جهاز استشعار محمول
Proton	بروتون

Q

Quantum Dots	نقاط كمّيّة
Quantum Tunneling	نفق كمّي
Quantum Wire	أسلاك كمّيّة

R

(Random Access Memory (RAM	ذاكرة عشوائية
Reinforced Materials	مواد مدعومة (مقواة)
Richard Feynman	ريتشارد فيومان (اسم عالم)
Richard Smalley	ريتشارد سمالي(اسم عالم)
Robert Boyle	روبرت بويل (اسم عالم)
Robert Curl	روبرت كيرل (اسم عالم)

S

Scanning Electron Microscope (SEM)	مجهر إلكتروني ماسح
Scanning Tunneling Microscope (STM)	مجهر نفقي ماسح
Scanning Tunneling Potentiometry	جهد نفقي ماسح
Scanning Tunneling Spectroscopy	طيف المسح النفقي
Self-Assembly	تجميع ذاتي
Silicate Nano Particles	جزيئات السليكا النانوية
Semi-conductors	أشباه موصلات
(Single-wall Nanotube (SWCNTs	أنبوب نانوي ذو جدار وحيد
Sodium	صوديوم
Solar Energy	طاقة شمسية
Sol-gel	صول-جل (طريقة لتحضير المواد النانوية)
Space Elevator	مصعد الفضاء
Spin Polarized Scanning Tunneling Microscopy	ميكروسكوب غزل الاستقطاب النفقي الماسح
Substrate	داعم للتفاعل
Sumio Iijima	سوميو إيجيما(اسم عالم)
Synthesis	تصنيع

T

Tensile Strength	متانة الشدّ
Thermal Properties	خواص حرارية
Thermal Stability	ثبات حراري
Tip	مجسّ
Tomas Kenny	توماس كيني(اسم عالم)
Top-down	من القمة إلى القاع

Transistor	ترانزستور
Transmission Electron Microscope (TEM)	مجهر إلكتروني نفّاذ
Three Dimensional	ثلاثي البعد
Tunneling Current	تيار نفقي
Two Dimensional	ثنائي البعد

U

UNESCO	منظمة الأمم المتحدة للتربية والعلم والثقافة

V

Vacuum Chamber	غرفة تفاعل مفرغة الهواء
Van der Waals Forces	قوى فان دير فال

W

Water Purification	تنقية المياه
William Mclellan	وليام ماكلان(اسم...)
WTEC	مركز تقويم التقنية العالمي الأمريكي

Z

Zigzag	تركيب متعرّج

عن الكتاب:

هذا الكتاب يعطي القارئ فكرة عن علم تقنية النانو، ذلك العلم الناشئ الواعد، وعن تطوراته السريعة المذهلة، لكي يكون قادراً على التفاعل والتعامل مع هذا العلم، استعدادًا للحاضر والمستقبل. والعديد من دول العالم تقوم الآن بنقل المعرفة المتعلقة بهذا العلم الحديث وبتقنياته المستخدمة حاليًا إلى جمهور واسع من مجتمعها، على اعتبار أنّ التوعية العلمية تُعَدّ جزءًا مهمًا وضروريًا من هذه التقنية المتطورة.

يتألف هذا الكتاب من خمسة فصول، صيغت بأسلوب سهل وبسيط يتناسب مع القارىء غير المتخصص في هذا المجال، كما روعي في هذا الكتاب الاستعانة بالكثير من الأشكال والرسوم التوضيحية التي تخدم موضوع الكتاب. وقد تم تجميع المصطلحات التقنية والفنية الخاصة بموضوع هذا الكتاب في صورة معجم صغير تم وضعه في نهاية الكتاب، كما جاء الكتاب مزوّدًا بالعديد من المراجع العلمية.

المؤلف:

أ.د. محمود محمد سليم صالح

حاصل على درجة الدكتوراه في فلسفة العلوم من جامعة جنوب الوادي في مصر، وبإشراف مشترك مع معهد بحوث البناء في تسوكوبا باليابان في عام ٢٠٠٠م. يعمل حالياً أستاذاً بقسم العلوم الطبيعية والتطبيقية بكلية العلوم والدراسات الإنسانية بالأفلاج - جامعة سلمان بن عبدالعزيز معاراً من كلية العلوم في جامعة السويس. شارك في العديد من المؤتمرات والندوات الإقليمية والعالمية، وله مساهمات عديدة في الأبحاث العلمية المنشورة في مجال تقنية النانو.

مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية KACST

تعمل مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية على توفير المعرفة للقارئ العربي. فقامت في هذا الإطار بنشر سلسلة من الكتب والمجلات العلمية وأتاحتها للقراء دون مقابل بصيغتيها الرقمية والورقية. فجميع إصدارات المدينة متاحة على موقعها الإلكتروني ليتمكن المتصفح من تحميلها أو قراءتها على الإنترنت.

هاتف: ٤٨٨٣٤٤٤ ٠١١ - ٤٨٨٣٥٥٥ ٠١١
فاكس: ٤٨٨٣٧٥٦ ٠١١
ص.ب. ٦٠٨٦ الرياض ١١٤٤٢
المملكة العربية السعودية
مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية
رقم الوثيقة:

الموقع الالكتروني: www.kacst.edu.sa
إصدارات المدينة: publications.kacst.edu.sa
البريد الالكتروني: awareness@kacst.edu.sa

مطابع مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية
رقم: ٣٣١٠٠١
ردمك: ٦-٦٨-٨٠٤٩-٦٠٣-٩٧٨