

مرجع الصورة: مجموعة هينكل، مُرخّصة بموجب نسب المُصنّف - غير تجاري - منع الاستئقاق ٢٠٠

المواد النانومترية: تطبيق مبدأ الاحتياط

الأبعاد النانومترية - اكتشافات جديدة عن مواد مألوفة

مُنحت جائزة نوبل في الكيمياء لعام ٢٠١٦ إلى جين بيبير ساوفاج، والسير. جي فريزر ستودارت وبرنارد إل. فيرينغا لجهودهم على مدار ثلاثة عقود في تعلّم تصميم وتوليف الآلات الجزيئية، والتي تجلّت من خلال 'سيارة' يبلغ طولها أربعة نانو مترات ولها أربع عجلات تعمل بمحرك جزيئي.^١ وقد استمر العلماء في توسيع الدائرة واستكشاف التقنيات الجديدة، وفي هذه الحالة كان ذلك بحثًا عن ابتكارات تتجاوز القيود المادية وتحقق إمكانية تطبيقات لا حصر لها في الحياة اليومية. استحدث التقدم الذي أحرز مؤخرًا في تكنولوجيا النانو وعلوم النانو موادًا نانومترية ذات خواص مادية وكيميائية ناشئة لتغيير العالم.^{٢،٣}

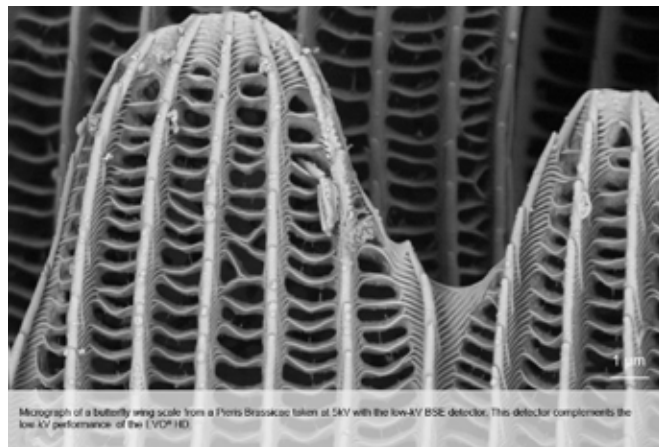
تتألف المواد النانومترية من جزيئات في حجم النانو، يقلُّ أحد أبعادها على الأقل عن ١٠٠ نانومتر: النانومتر هو جزء من مليار جزء من المتر، أو ما هو أصغرُ تقريبًا بـ ٨٠ ألف مرة من الشعرة البشرية. المواد النانومترية ليست جديدة وليست جميعها مُخلّقة؛ فهي توجد في الطبيعة وفي كل مكان. لكنّ الجديد هو قدرتنا على تصميمها هندسيًا من مواد شائعة لأغراض وظيفية.

في العالم الطبيعي، تظهر المواد النانومترية في هياكل العوالق البحرية والشعاب المرجانية؛ وفي مناقير الطيور وريشها، بما في ذلك التنوع البشري، وشبكات العنكبوت والحشفيات والأجنحة؛ وحتى في الورق والحبر والقطن. كما توجد أيضًا مواد نانومترية غير عضوية في الطبيعة، مثل بعض أنواع الطين والرماد البركاني والسخام والغبار البينجمي وبعض المعادن. وتعدّ المواد النانومترية الطبيعية بصفة أساسية نواتج لعمليات كيميائية وكيميائية ضوئية وميكانيكية وحرارية وبيولوجية.^{٦،٥} وتشير الأبحاث إلى أنّ بعض طرق التحضير المستخدمة في الطب التقليدي، مثل التكلّيس، تُنتج بصورة عَرَضِيَّة موادًا نانومترية وخواصها الفريدة.^{٨،٧} وبالإضافة إلى ذلك، يفحص الباحثون أسلحة من العصور الوسطى، مثل شفرات دمشق الحديدية، لاختبار نظرية تقضي بأن تقنيات تلدين محددة وطقوس أجنبية كانت تستخدم إنتاج المواد النانومترية لتحسين صلابة الحديد وليونته.^{١٠،٩}

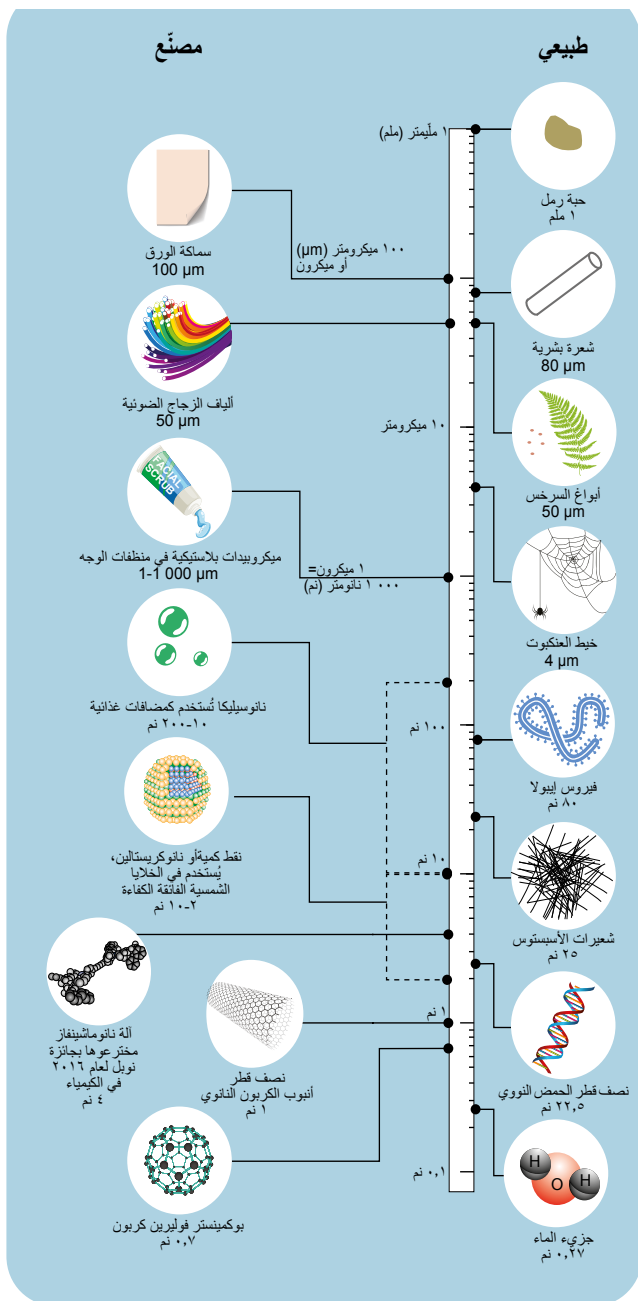
في العالم المصنّف هندسيًا، تُصمم المواد النانومترية عمدًا وتُخلَق من أجل تطبيقات ضوئية وإلكترونية وميكانيكية وطبية وإنزيمية مُحددة باستخدام نطاق من أساليب التصنيع المتناهي الصغر. واليوم، تُستخدم المواد النانومترية على نطاق واسع في العديد من المنتجات، مثل الطعام ومستحضرات التجميل ومنتجات العناية الشخصية والعوامل المضادة للميكروبات والمطهرات والملابس والأجهزة الإلكترونية.



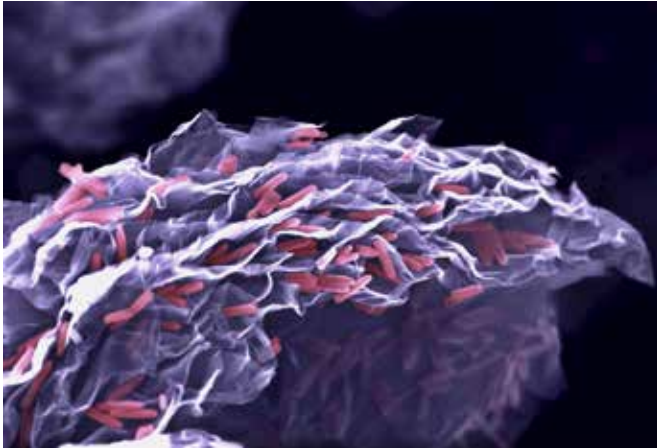
وبالإضافة إلى الإثارة المرتبطة بالفرص التي يمكن أن تقدمها المواد النانومترية المصممة هندسيًا، فقد ظهرت أسئلة بشأن السلامة البيئية للمواد النانومترية، بالإضافة إلى إنتاجها وتطبيقاتها. ولا تزال هناك فجوات كبرى بين معرفتنا بما يمكن أن تقوم به المواد النانومترية وبين أثارها المحتملة. وعلى الرغم من كثرة المواد النانومترية التي يجري تطويرها حاليًا، فهناك خطر شديد بنجم عن عدم معرفتنا ما يكفي عن أثار هذه المواد على المدى الطويل على صحة الإنسان أو على البيئة لكي نستخدمها دون سبل حماية إضافية.



حُرشفة الجناح النانومترية لفراشة الكرنب البيضاء، ببيريس براسيكاي
مرجع الصورة: شركة زايس للتصوير الميكرويكوبي، مُرخّصة بموجب نسب المُصنّف - غير تجاري - منع الاستفاد ٢٠٠



أشكال وتطبيقات وأثار محددة



قضبان نانومترية من أكسيد الحديد الثلاثي (Fe_2O_3)، مُصنَّعة فوق أكسيد غرافين مُختزل لتصنيع المكثفات فائقة السعة.

مرجع الصورة: ديليك أوزغ/الهندسة في كامبريدج، مُرخَّصة بموجب نسب المُصنَّف - غير تجاري - منع الاستفاد ٢٠٠

الإنزيمات النانومترية هي عبارة عن مواد نانومترية لها خصائص طبيعية مشابهة للإنزيمات، تُصنع للاستشعار البيولوجي والتصوير البيولوجي وتشخيص الأورام وعلاجها.^{١٧} كما توجد لها تطبيقات في مكافحة الحشف البحري وإزالة الملوثات والرصد البيئي.

ويمكن أن تظهر المواد النانومترية الكربونية في أشكال وصور مختلفة. الجرافين عبارة عن لوح من الكربون بسمكة ذرَّة واحدة. تعد أنابيب الكربون النانومترية في الأساس ألواحاً من الجرافين ملفوفة لتصبح في شكل أسطوانات مُفرغة متصلة ذات قطر في حدود النانومتر.^{١٨} ومادة الباكمينستر فولرين، أو الباكيبول، التي اكتُشفت عام ١٩٨٥، هي عبارة عن هيكل كروي مكون من ٦٠ ذرة كربون، وقد سُمِّيت باسم آر. باكمينستر فولر، المشهور بتصميمه للقباب الجيوديسية.

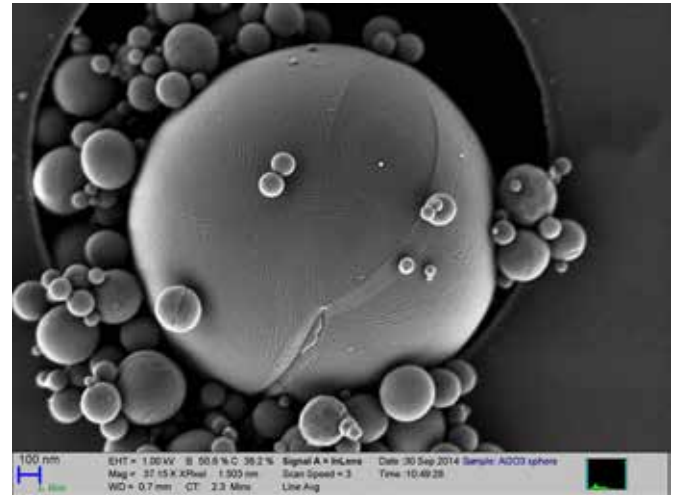
وتتميز أنابيب الكربون النانومترية بخصائص مذهلة، فهي أقوى من الصلب، وقدرتها على التوصيل الكهربائي أفضل من النحاس، وتوصليها الحراري أعلى من الماس. تُستخدم أنابيب الكربون النانومترية على نطاق واسع في بطاريات الليثيوم أيون المستخدمة في أجهزة الحاسب المحمول والهواتف المحمولة، وفي شفرات توربينات الرياح الخفيفة الوزن، وفي صناعة أبدان القوارب وكابلات البيانات والمستشعرات البيولوجية والأجهزة الطبية.^{١٩} وقد تخطت قدرة الإنتاج التجاري لأنابيب الكربون النانومترية في الوقت الحالي عدة آلاف من الأطنان سنوياً.

ومع حلول المواد النانومترية المُصمَّمة هندسياً محل المواد التقليدية في منتجات الحياة اليومية، من الضروري أن نعرف الآثار العكسية لمثل هذه المواد. وإذا أردنا الاستفادة من كامل إمكانات المواد النانومترية، فيجب أيضاً أن نتنبأ بآثارها على البيئة وعلى صحة الإنسان؛ وإلا فإننا نخطر بتعرض أنفسنا لمخاطر أكبر بكثير في المستقبل.^{٢٠}

في قصة آليس في بلاد العجائب التي كتبها لويس كارول، تبتلع آليس جرعة تجعلها متناهية الصغر. وفي حجمها الجديد، تستطيع الدخول إلى عالم من الحيوانات والشخصيات التي لها تصرفات غير مألوفة تختلف تماماً عن مثيلاتها في نسخ العالم الأكبر حجماً. على المقياس النانومتري، تتغير الخواص والسلوكيات المادية والكيميائية والضوئية والمغناطيسية والكهربائية للمواد بشدة بالمقارنة بنفس المواد عند أحجام أكبر. ويحدث هذا نتيجة الزيادة الهائلة في النسبة بين السطح والحجم وظهور الآثار الكمّية مع صغر حجم المادة. إن إنتاج نسخة بحجم النانو من مادة ما يمكن أن يُنتج قدراتٍ في مواد تعدّ خاملة في غير هذا الحجم. على سبيل المثال، الذهب الخام معاكس للمغناطيسية - أي أن استجابته للمجال المغناطيسي ضعيفة للغاية - ولكن جزيئات الذهب النانومترية لها خواص مغناطيسية غير عادية.^{٢١}

وتستخدم الأشكال النانومترية من معادن مثل الفضة والتيتانيوم والزنك وأكاسيدها، كما هو الحال بالنسبة لمثيلاتها من الأحجام الكبيرة، في الحماية من الشمس ومعاجين الأسنان ومستحضرات التجميل والأطعمة والطلاء والملابس^{٢٢} ونظراً لخصائصها المضادة للميكروبات، فإن الفضة النانومترية تُدمج على نطاق واسع في العديد من المنتجات الاستهلاكية مثل المنسوجات الرياضية والأحذية ومزيلات العرق وأغراض العناية الشخصية ومساحيق الغسيل والغسالات.

ويُظهر الماس النانومتري خصائص وظيفية تتيح له اختراق الحواجز بين الدم والمُخ وتتيح توصيل التدابير العلاجية إلى أنواع عديدة من الأورام السرطانية.^{٢٣، ٢٤} ونظراً لخصائصه التألقية والضوئية والكهروكيميائية، فإن الماس النانومتري يُستخدم في أساليب التصوير الحيوي المتطورة وهو من المواد الواعدة في مجال نقل الإشارات التي تشير إلى صحة وظائف المخ.^{٢٥، ٢٦}



كرات نانومترية من أكسيد الألومنيوم (Al_2O_3)

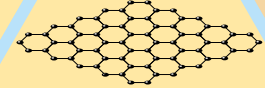
مرجع الصورة: شركة زانيس للتصوير الميكروسكوبي، مُرخَّصة بموجب نسب المُصنَّف - غير تجاري - منع الاستفاد

المواد النانومترية

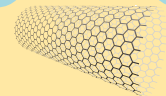
تطبيقات



توجد المواد النانومترية التي خضعت للهندسة في مواد استهلاكية متنوعة، وعلى سبيل المثال في منتجات الأطعمة، ومستحضرات التجميل، والمطهرات، وأدوات المطبخ، وسلع الأطفال، والملابس، والأقمشة، والأدوات الإلكترونية، والأجهزة.



الغرافين هو صفيحة سميكة أحادية الذرة من ذرات الكربون. وتشمل استخداماته المحتملة أنظمة توصيل الأدوية، والناقلات الجزيئية، وهندسة الأنسجة والاستزراع.



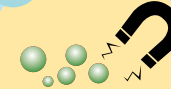
الأنابيب النانومترية الكربونية هو طبقة كربونية بسماكة ذرة واحدة ملفوفة إلى شكل أسطواني انسيابي. وهو أقوى بمقدار ١١٧ مرة من الفولاذ من نفس القطر وذو ناقلية أفضل من النحاس.



تُستخدم أنابيب الكربون النانوية على نطاق واسع في بطاريات أيون الليثيوم، وفي ريش توربينات الرياح الخفيفة الوزن، وفي كيابل البيانات. تشمل الاستخدامات المحتملة هندسة الأنسجة وإعادة توليدها، والعلامات البيولوجية للسرطان.



توفّر الخصائص الفريدة الميكانيكية والمغناطيسية والكهربائية والبصرية للمواد النانومترية استخدامات لا تحصى في الصناعات الدوائية والطبية الحيوية والإلكترونية وهندسة المواد.



بسبب خصائصها المغناطيسية، فإنّ **للجزيئات النانومترية من أكسيد الحديد** إمكانات كبيرة في التوصيل الموجّه للذواء في علاج السرطان، وتقنيات التصوير الطبي، ونزع الزرنيخ من الماء.



إنّ قفصاً شبيهاً بملعب كرة القدم يتألف من ٦٠ ذرة كربون، يُعرف باسم **بوكمينستر فوليرين (كربون)** أو باكيبول، له القدرة على معالجة العظام وتفتّخ الغضاريف، والاعتلالات العظمية العضلية ونخاع العظم.



وثمة حاجة إلى وضع أطر تنظيمية تكرارية واستجابية تطبّق مبدأ التحوُّط لتقليل المخاطر إلى أدنى حد وضمان صحة الإنسان وسلامة البيئة.



الفضّة النانومترية أوسع الانتشار في المنتجات، مثل المنسوجات، والذمى، ومنتجات الرعاية الشخصية والصحية، والأجهزة الطبية، والأطعمة، بسبب **الخصائص المضادة للميكروبات**.



يُستخدم **الماس النانومتري** في تطبيقات التصوير الطبي الحيوي بسبب خصائصه المضئية، وارتفاع درجة استقراره الكيميائي، وتوافقه الحيوي.



ومتى ما أردنا تحقيق الإمكانيات الكاملة للمواد النانومترية المهندسة، فلا بُدّ لنا كذلك أن **نتنبأ بآثارها**، وإلاّ فسوف نخاطر بتعرض أنفسنا لآثار أكبر بكثير في المستقبل.



يبلغ معدّل نموّ سوق المواد النانومترية العالمية ٢٠,٧٪



ومن المتوقع أن يصل إلى ٥٥ مليار دولار أمريكي بحلول عام ٢٠٢٢



مادة سائبة



مادة غير نانومترية

مع انخفاض حجم المادة، تزيد نسبة مساحة السطح إلى الحجم، بما يجعل المادة أكثر تفاعلاً كيميائياً مع البيئة المحيطة بها.

كذلك تعمل الأبعاد الضئيلة ونسبة السطح إلى الحجم المرتفعة التي تمنح المواد النانومترية المصممة هندسياً خصائص مذهشة على **تبدّل كيفية تفاعلها** مع النظم البيولوجية وتراكُمها فيها، وتتراوح بين البيئة والكائنات الحية والأعضاء والخلايا وحتى مستوى الحمض النووي.



يمكن لتغيير خصائص المادة بتصغيرها إلى حجم متناهٍ الدقة أن **يزيد بشدّة أثارها الصحية والبيئية**.

الآثار العكسية

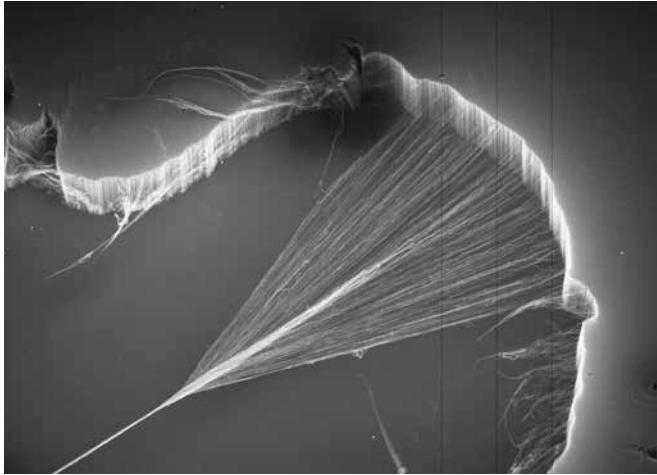
ما هي المادّة النانومترية؟

المادّة النانومترية هي مادة يكون قياس أيّ من أبعادها الخارجية **أقل من ١٠٠ نانومتر** النانومتر الواحد يساوي جزءاً واحداً من بليون من المتر

المواد النانومترية قد توجد طبيعياً، أو بشكل اصطناعي عن طريق تغيير حجم المواد الشائعة الاستخدام إلى حجم متناهٍ في الدقة، ومنها الكربون، وأكسيدات الفلزّات، والمعادن النفيسة.

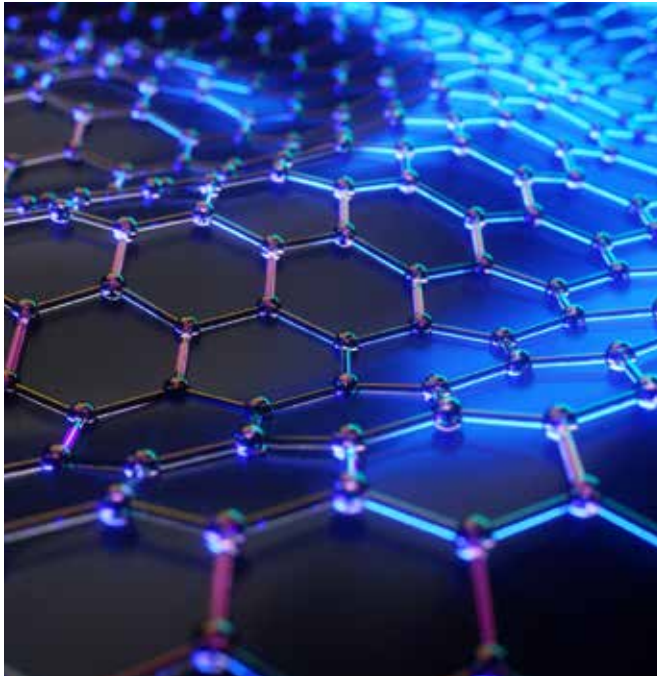
على مقياس النانو، تتغيّر **خصائص وسلوكيات** المادّة بشكل كبير مقارنة بالأشكال السائبة من المادّة نفسها. ويعود ذلك إلى **الزيادة في نسبة السطح إلى الحجم وإلى الآثار الكميّة**.

الآثار العكسية



لف أنابيب الكربون النانومترية لتحويلها إلى خيوط
مرجع الصورة: منظمة الكومنولث للأبحاث العلمية والصناعية (CSIRO)

◀ مقطع فيديو: الجرافين - مادة المستقبل



© DW برنامج "غداً اليوم"

رابط الفيديو: https://www.youtube.com/watch?v=TFo*xShvtj0
مرجع الصورة: شجرة زيتون/Shutterstock.com

يمكن أن يؤدي تغيير خواص مادة ما من خلال تحويلها إلى الحجم النانومتري إلى زيادة شدة آثارها البيئية والصحية. وفي حالة الفضة النانومترية، فإن سُمِّيَّتها يمكن أن تُسبب مرض التصبُّع بالفضة، الذي يحول البشرة إلى اللون الأزرق المعدني بصفة دائمة؛ والالتهابات الرئوية؛ والتغيرات في وظائف الأعضاء واختلال الجهاز المناعي والتعبير الجيني.^{٢٢,٢١,١٢} ويمكن أن يؤدي التعرض إلى جزيئات الفضة النانومترية إلى استجابة للضغط وتغيرات جينية في البكتيريا، التي قد تُسهم في تطوير الجينات المقاومة للميكروبات.^{٢٣,١٢} ويمكن لثاني أكسيد السيليكون وثاني أكسيد التيتانيوم أن يسببا الالتهاب الرئوي.^{٢٤}

وبالتوازي مع الاكتشافات المستمرة لتطبيقات طبية بيولوجية وعلاجية جديدة للفوليرين، بما في ذلك الباكيبول C₆₀، فإن هذه المواد النانومترية الخارقة تخضع للدراسة أيضاً لاستكشاف آثارها المحتملة على الخلايا، والتعبير الجيني، والوظائف المناعية، والتمثيل الغذائي والخصوبة.^{٢٥} وتظهر أنابيب الكربون النانومترية واللياف الكربون النانومترية قدرتها على إحاق الضرر بالجلد والعين والرئة وخلايا المُخ، والتراكم داخل الجسم.^{٢٧,٢٦}



المعروفة جيدًا يمكن أيضًا أن يساعدنا على الاستعداد بصورة أفضل لهذه المواد النانومترية المفهومة بدرجة أقل.

وقد وُجد أن أنابيب الكربون النانومترية تشترك في خصائص مشابهة مع ألياف الأسبستوس^{٣٨} إذ أنها ذات شكل يشبه الإبر، وكلاهما ثابت بيولوجياً. ويمكنها اختراق أنسجة الرئة والتسبب في الالتهابات.^{٣٩} وترد الأدلة على المخاطر الصحية التي ينطوي عليها العمل مع الأسبستوس منذ عام ١٨٩٨ من لوسي ديان، إحدى أوائل مفتشي المصانع في المملكة المتحدة^{٤٠} وقد لاحظت أن أعمال الأسبستوس تمثل "خطرًا واضحًا على صحة العمال... نظرًا لوجود حالات إصابة موثقة في الشعب الهوائية والرئتين تُعزى طبيًا إلى وظيفة المريض".

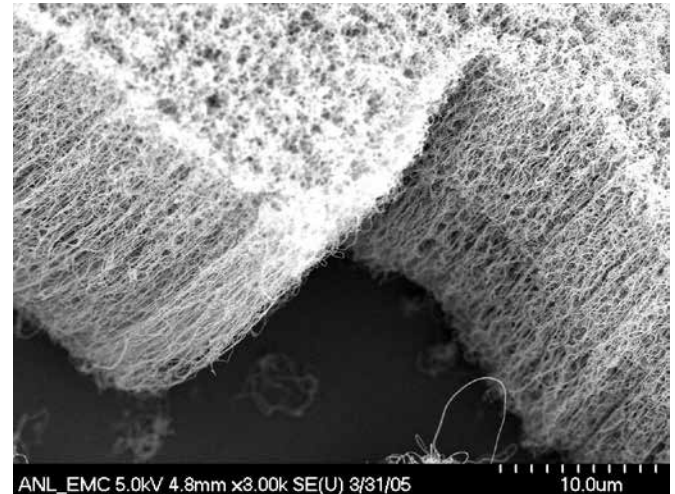
التعرض البيئي والصحي للمواد النانومترية المُصمَّمة هندسيًا

من المتوقع أن ينمو السوق العالمي لتكنولوجيا النانو بمقدار ١٨ في المائة تقريباً بشكل سنوي وأن تصل قيمته إلى ١٧٤ مليار دولار أمريكي بحلول عام ٢٠٢٥.^{٢٨} ومن المحتمل أن تؤدي زيادة إنتاج واستخدام المواد النانومترية المُصمَّمة هندسيًا من قبل صناعات متباينة إلى انبعاثها غير المقصود في البيئة عند أي نقطة في دورة حياة المنتج^{٢٩} على سبيل المثال، تنبعث الفضة النانومترية من الملابس والأقمشة أثناء الغسيل؛ وتنبعث جزيئات ثاني أكسيد التيتانيوم النانومترية من الطلاء ومواد البناء إلى الهواء والمياه نتيجة عوامل التعرية؛ وتصبح أنابيب الكربون النانومترية محمولة جواً أثناء الإنتاج أو تنطلق من بطاريات الليثيوم أيون التي يتم التخلص منها إلى التربة والمياه الجوفية.^{٣١،٣٢،٣٣}

لتقييم المخاطر المحتملة على صحة الإنسان والبيئة، من المهم للغاية فهم التعرض والآثار الضارة للمواد النانومترية المُصمَّمة هندسيًا.^{٣٤} وفي الوقت الحالي، هناك عدد محدود من الدراسات المتاحة لتفسير مصير المواد النانومترية المُصمَّمة هندسيًا بمجرد انبعاثها في الغلاف الجوي والتربة والرواسب والمياه والكائنات الحية، بما في ذلك سلوكها وتركيزها وانتقالها وتوزيعها وتحولها وإتاحتها البيئية وتراكمها البيئي في سلاسل الغذاء، وتفاعلاتها الكيميائية الحيوية مع المجتمعات الإيكولوجية.^{٣٦-٣٣،٣٩} وفي المقابل، تتوسع المعرفة والأدلة على الآثار السمية للمواد النانومترية. تشير النتائج إلى أن المواد النانومترية يمكن أن تسبب نطاقاً واسعاً من الآثار الصحية. تقدّم دراسات السُميّة المقارنة للمواد والجزيئات والألياف المألوفة، ذات الخصائص الشكلية والكيميائية المماثلة مع المواد النانومترية، مثل الأسبستوس والجزيئات الدقيقة للغاية وأبخرة عادة الديزل، مفاهيم تتعلق بإمكانية حدوث تهديد للصحة من جراء التعرض للمواد النانومترية.^{٣٧} وبالإضافة إلى ذلك، فإن ما تعلمناه من إدارة هذه المواد الخطرة



ألياف الأسبستوس مكبرة ١٥٠٠ مرة تحت المجهر الإلكتروني الماسح
مرجع الصورة: المراكز الأمريكية لمكافحة الأمراض والوقاية منها / جون ويلر / جانيس هاني كار



أنابيب كربون نانومترية متر أكية

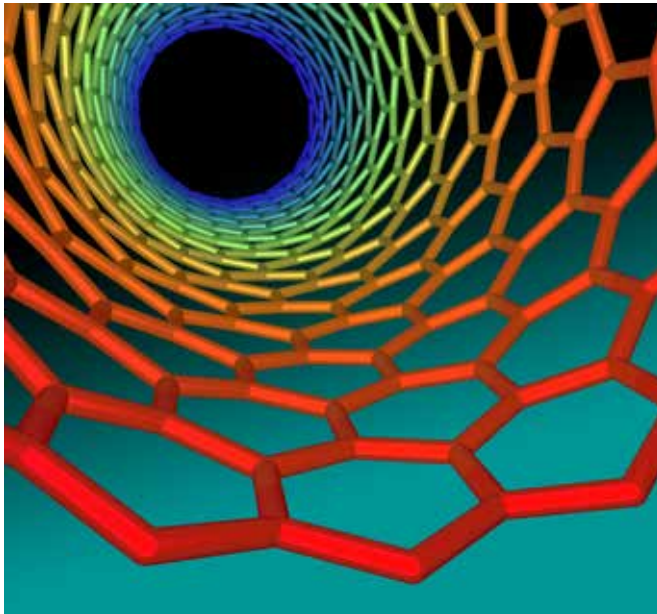
مرجع الصورة: جانينغ يانغ/معمل أريغون الوطني، مُرخَّصة بموجب نَسَب المُصنَّف - غير تجاري - منع الاستشراق ٢٠٠

اللوائح الملائمة من أجل السلامة الصحية والبيئية

ومن تجاربنا مع الأسبستوس وغيره من المواد الخطرة، نعلم أن قائمة التهديدات المحتملة طويلة. ويُعتبر التعرض البيئي للمواد النانومترية المصممة هندسياً أمراً حتمياً. إذ يمكن أن يكون لأثارها العكسية واستدامتها عواقب وخيمة على الكائنات المجهرية والنظم الإيكولوجية والسلاسل الغذائية.^{٤٤,٤٣,٢٥,٢٢} وقد يؤدي التعرض الفموي والجلدي والرئوي لها إلى الالتهابات والتليف، واضطراب التمثيل الغذائي ووظائف الأعضاء، والتسبب في تلف الحمض النووي وعدم الاستقرار الجيني.^{٤٦,٤٥,٢٦,٢٢}

وتتجاوز سرعة التطور الصناعي بكثير معدل التطور التنظيمي. في غياب الرصد الطويل الأمد والمعلومات العلمية بشأن الجوانب العديدة من سُميّة المواد النانومترية وعلم السموم الخاص بها، فقد اتسم ظهور اللوائح المحددة لهذا الغرض بالبطء على الرغم من المؤشرات المتراكمة على إمكانية التعرض والمخاطر.^{٤٧}

مقطع فيديو: هل تكون أنابيب الكربون النانومترية هي الأسبستوس الجديد؟



© متحف الحياة والعلوم

رابط الفيديو: <https://www.youtube.com/watch?v=6L7xXgWcbrQ>

مرجع الصورة: جيوف هنتيسون، مرخصة بموجب رخصة المشاع الإبداعي لنسب المصنف غير تجاري. ٢٠٠٠.



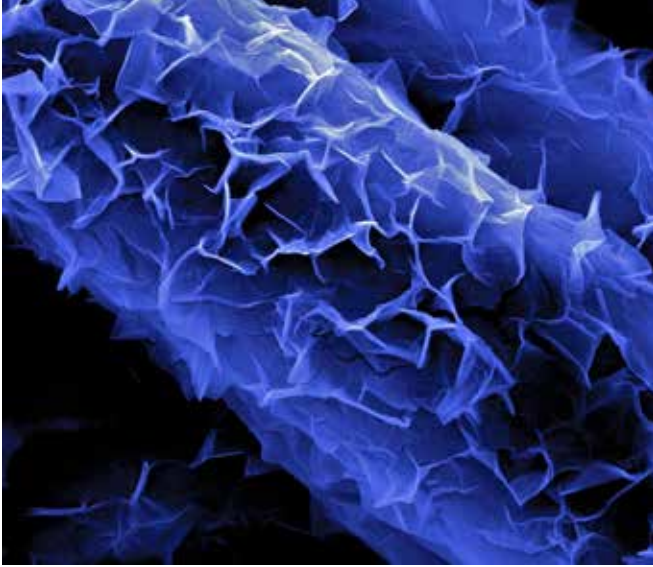
عاملات مستلقيات فوق مراتب من الأسبستوس صنعها في مصنع لانكشاير، المملكة المتحدة، أيلول/سبتمبر ١٩١٨

مرجع الصورة: © متحف الحرب الإمبراطوري (Q 28250)

في عام ١٩٨٢، أبردَ فيلم وثائقي تلفزيوني، بعنوان 'أليس، صراع من أجل الحياة' قصة أليس جيفرسون، وهي امرأة عمرها ٤٧ عاماً أصيبت بَوَرَمِ المُتوسِّطة، وهو شكل قاتل من أشكال السرطان، بسبب عملها لمدة عدة أشهر في منشأة محلية للأسبستوس في المملكة المتحدة.^{٢٠} وقد كان لقصة أليس هذه أثر مباشر على الرأي العام البريطاني. استجابت الحكومة عن طريق استحداث لوائح للترخيص بالأسبستوس أدت إلى تخفيض حدود التعرض له. وتبع ذلك بعد وقتٍ قليل نظام طوعي لوضع الملصقات. واستمر تراكم الضغوط، كما تواصل كذلك تراكم الأدلة العلمية على وباء وَرَمِ المُتوسِّطة نتيجة التعرض السابق للإسبستوس^{٤١}

وقد استغرق الأمر حتى عام ١٩٩٩ لكي يُفرض الحظر على جميع أنواع الأسبستوس في المملكة المتحدة: بعد ١٠١ عام من بدء تراكم الأدلة على حدوث الضرر وبعد موت آلاف الأشخاص من الأسبستوس أو أنواع السرطان المرتبطة به. واليوم، لا تزال الجهود تُبذل من أجل خفض مخاطر التعرض للإسبستوس بالنسبة للعمال المشاركين في ترميم المباني التي تحتوي على الإسبستوس وصيانتها.^{٤٢}

والسؤال هو، "ما هي الدروس المستفادة من قرنٍ كامل من الكفاح لفهم المخاطر القاتلة التي يمثلها التعرض للإسبستوس والتصدي لها عند إدارة المواد النانومترية وضمان سلامتها في المستقبل؟"



ألياف النانو في القشرة الأساسية للبناء الهرمي للغرافين-الكربون
مرجع الصورة: رانجيث شانموجام/ شركة زايس للتصوير الميكروسكوبي، مُرخّصة بموجب رخصة المشاع الإبداعي نَسَبُ المصنّف-غير تجاري. ٢٠٠.

وكما في حالة الأسبستوس، فإن أول من يتعرض للمواد النانومترية هم العمّال. مهدت الدراسات القليلة الأولى التي أجريت في نهاية التسعينات وأوائل الألفية الثالثة لتقييم التعرض المهني لأنابيب الكربون النانومترية الطريق نحو المزيد من التحقيقات في أماكن العمل، ومهدت الطريق لاحقاً لإصدار أول مبادئ توجيهية صادرة عن المنظمة الدولية لتوحيد المقاييس بشأن تحديد قيم التعرض المهني للأيروسولات النانومترية في عام ٢٠٠٧.^{٤٩،٤٨}

بناءً على دراسات للحيوانات المُعرّضة لأنابيب الكربون النانومترية وألياف الكربون النانومترية، يعتبر معهد الولايات المتحدة الوطني للسلامة المهنية والصحة أن النتائج مثل التهاب الرئة وحبيبات الرئة والتليف الرئوي في الحيوانات المُعرّضة هي على قدر كافٍ من الأهمية يستلزم اتخاذ إجراء لوضع توصية بحدّ التعرض.^{٥٠} وقد شرعت منظمة التعاون والتنمية في الميدان الاقتصادي في برامج متعددة السنوات بغية توليد بيانات السُميّة لمختلف المواد النانومترية لتعديل المبادئ التوجيهية الاختبارية القائمة.^{٥١}

ونظراً لاتساع التطبيقات، فإن الجهات التنظيمية في حاجة إلى الاعتماد على اللوائح القائمة التي تحكم مجالات المواد الكيميائية والمستحضرات الصيدلانية ومستحضرات التجميل والغذاء والتلوث والنفايات ووضع الملصقات سعياً للعثور على أحكام تخص المواد النانومترية.^{٥٢} ولكن هناك أيضاً تحديات تكمن في تطبيق أطر اللوائح القائمة على المواد ذات الحجم النانومتري.^{٥٣} على سبيل المثال، قد لا يستلزم انخفاض حجم أي مادة مراجعة اللوائح أو التشريعات القائمة إذا كانت المواد كبيرة الحجم والمواد النانومترية من نفس المادة الكيميائية. أو قد لا تخضع بعض المنتجات الاستهلاكية لمتطلبات لسلامة ويمكن دخولها السوق دون اختبارها.

في الاتحاد الأوروبي، تُستخدم 'لوائح تسجيل المواد الكيميائية وتقييمها والتصريح بها وحظرها' (REACH) لضمان سلامة صحة الإنسان والبيئة من أي مادة كيميائية تُصنّع أو تُسوّق في الاتحاد الأوروبي. ويتوجّب على الشركات تسجيل المواد الكيميائية التي تنوي تصنيعها والتجارة فيها، بناءً على المبادئ التوجيهية المحددة في 'لوائح تسجيل المواد الكيميائية وتقييمها والتصريح بها وحظرها' لبيان كيف يمكن إدارة المخاطر المتعلقة بالمواد من أجل الحفاظ على صحة الإنسان والبيئة.^{٥٤،٥٣}

وعلى المستوى العالمي، وبموجب إطار سياسات النهج الاستراتيجي للإدارة الدولية للمواد الكيميائية (SAICM) الذي تديره الأمم المتحدة للبيئة، فإن المواد النانومترية تعد إحدى قضايا السياسات الناشئة لهذا الإطار. وهي تعمل مع الحكومات وأصحاب المصلحة الدوليين لتيسير تبادل المعلومات بشأن تكنولوجيات النانو والمواد النانومترية المُصنّعة هندسياً ولوضع إرشادات فنية وقانونية قابلة للتطبيق دولياً بشأن الإدارة السليمة للمواد النانومترية المُصنّعة.^{٥٥}

عند العمل مع التكنولوجيات الجديدة، تواجه الهيئات التنظيمية مزيجاً من الفرص الواعدة والمخاطر وعدم اليقين.^{٥٦} وسوف يلزم للتوسع في أبحاث المواد النانومترية المُصنّعة هندسياً وإنتاجها واستخدامها في شتى أنحاء العالم سياسات تحويلية لتشجيع الابتكار والتطبيقات الصناعية للكيمياء الخضراء، والأمر الأكثر أهمية، لتشجيع الأطر التنظيمية المتتالية والمستجيبة التي تطبّق مبدأ التحوط لضمان سلامة النواتج وعدم تسببها في التلوث. إن العالم لا يملك رفاهية تجاهل دروس الماضي بشأن المخاطر والأضرار على الصحة البشرية والبيئة عند الاستجابة للفرص الواعدة التي تخلقها المواد الجديدة.

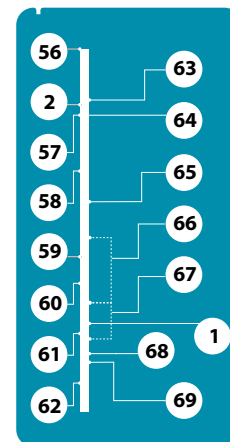
1. Nobel Media AB (2016). *The Nobel Prize in Chemistry 2016 - Popular Information*. Nobel Prize website. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2016/popular.html
2. UNEP (2007). *GEO Year Book: An Overview of Our Changing Environment*. United Nations Environment Programme, Nairobi. <http://staging.unep.org/yearbook/2007/>
3. UNEP (2010). *UNEP Year Book: New Science and Developments in Our Changing Environment*. United Nations Environment Programme, Nairobi. <http://staging.unep.org/yearbook/2010/>
4. UNEP (2013). *UNEP Year Book: Emerging Issues in Our Global Environment*. United Nations Environment Programme, Nairobi. <http://staging.unep.org/yearbook/2013/>
5. Hochella Jr., M.F., Spencer, M.G. and Jones, K.L. (2015). Nanotechnology: nature's gift or scientists' brainchild? *Environmental Science: Nano*, 119-114 ,2. <http://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2015/EN/C4EN00145A>
6. Sharma, V.K., Filip, J., Zboril, R. and Varma, R.S. (2015). Natural inorganic nanoparticles – formation, fate and toxicity in the environment. *Chemical Society Reviews*, 8423-8410 ,44. <http://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2015/CS/C5CS00236B>
7. Pavani, T., Venkateswara Rao, K., Chakra, Ch. S. and Prabhu, Y.T. (2015). Ayurvedic synthesis of $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ nanoparticles and its Characterization. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 324-321 ,(1)5. <http://inpressco.com/wp-content/uploads/02/2015/Paper324-57321.pdf>
8. Sumithra, M., Raghavendra, Rao, P., Nagaratnam, A. and Aparna, Y. (2015). Characterization of SnO_2 Nanoparticles in the Traditionally Prepared Ayurvedic Medicine. *Materials Today: Proceeding*, 9(2), Part A., 4639-4636. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785315009074>
9. Reibold, M., Paufler, P., Levin, A.A., Kochmann, W., Pätzke, N. and Meyer, D.C. (2006). Materials: Carbon nanotubes in an ancient Damascus sabre. *Nature*, 286 ,(7117)444. <https://www.nature.com/nature/journal/v444/n7117/pdf/444286a.pdf>
10. Sanderson, K. (2006). Sharpest cut from nanotube sword. *Nature News*, 15 November 2006. <http://www.nature.com/news/061113/2006/full/news11-061113.html>
11. JASRI (2012). Clarifying the hidden magnetism of gold (Au). Press Release, 23 January 2012. Japan Synchrotron Radiation Research Institute, Kouto. http://www.spring8.or.jp/en/news_publications/press_release/2_120123/2012/
12. SCENIHR (2013). *Opinion on Nanosilver: safety, health and environmental effects and role in antimicrobial resistance*. The Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks of the European Union, Luxembourg. http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_o_039.pdf
13. Mochalin, V.N., Shenderova, O., Ho, D. and Gogotsi, Y. (2011). The properties and applications of nanodiamonds. *Nature Nanotechnology*, 23-11 ,7. <https://www.nature.com/nnano/journal/v7/n1/pdf/nnano.2011.209.pdf>
14. Xi, G., Robinson, E., Mania-Farnell, B., Vanin, E.F., Shim, K.W., Takao, T., Allender, E.V., Mayanil, C.S., Soares, M.B., Ho, D. and Tomita, T. (2014). Convection-enhanced delivery of nanodiamond drug delivery platforms for intracranial tumor treatment. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 391-381,(2)10. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23916888>
15. Bačáková, L., Brož, A., Lišková, J., Staňková, L., Potocký, S. and Kromka, A. (2016). The Application of Nanodiamond in Biotechnology and Tissue Engineering. In *Diamond and Carbon Composites and Nanocomposites*, M. Aliofkhazraei (ed.). InTech, Rijeka. <https://www.intechopen.com/download/pdf/51099>
16. Waddington, D.E.J., Sarracanie, M., Zhang, H., Salameh, N., Glenn, D.R., Rej, E., Gaebel, T., Boele, T., Walsworth, R.L., Reilly, D.J. and Rosen, M.S. (2017). Nanodiamond-enhanced MRI via in situ hyperpolarization. *Nature Communications*, 15118. http://walsworth.physics.harvard.edu/publications/2017_Waddington_NatureComm.pdf
17. Gao, L., and Yan, X. (2016). Nanozymes: an emerging field bridging nanotechnology and biology. *Science China: Life Science*, 402-400 ,59. <https://link.springer.com/content/pdf/2%10.1007Fs3-5044-016-11427.pdf>
18. Aqel, A., El-Nour, K.M.M.A., Ammar, R.A.A. and Al-Warthan, A. (2010). Carbon nanotubes, science and technology part (I) structure, synthesis and characterisation. *Arabian Journal of Chemistry*, 23-1 ,5. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535210001747>
19. De Volder, M.F.L., Tawfick, S. H., Baughman, R. H. and Hart, A. J. (2013). Carbon nanotubes: Present and future commercial applications. *Science*, 539-535 ,(6119)339. <http://science.sciencemag.org/content/535/6119/339/tab-pdf>
20. EEA (2001). *Late lessons from early warnings: the precautionary principle 2000-1896*. EEA Report No. 22. European Environment Agency, Copenhagen. https://www.eea.europa.eu/publications/environmental_issue_report_22_2001/Issue_Report_No_22.pdf
21. De Jong, W.H., Van Der Ven, L.T.M., Sleijffers, A., Park, M.V.D.Z., Jansen, E.H.J.M., Van Loveren, H. and Vandebriel, R.J. (2013). Systemic and immunotoxicity of silver nanoparticles in an intravenous 28 days repeated dose toxicity study in rats. *Biomaterials*, 8343-8333 ,34. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142961213007631>
22. Johnston, H.J., Hutchison, G., Christensen, F.M., Peters, S., Hankin, S. and Stone, V. (2010). A review of the in vivo and in vitro toxicity of silver and gold particulates: Particle attributes and biological mechanisms responsible for the observed toxicity. *Critical Reviews in Toxicology*, 346-328 ,(4)40. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10408440903453074/10.3109?journalCode=itxc20>



23. Graves Jr., J.L., Tajkarimi, M., Cunningham, Q., Campbell, A., Nonga, H., Harrison, S.H. and Barrick, J.E. (2015). Rapid evolution of silver nanoparticles resistance in *Escherichia coli*. *Frontiers in Genetics*, (42)6 13-1. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4330922/pdf/fgene00042-06-.pdf>
24. Weir, A., Westerhoff, P., Fabricius, L., Hristovski, K. and von Goetz, N. (2012). Titanium dioxide nanoparticles in food and personal care products. *Environmental Science and Technology*, 2250-2242:(4)46. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es204168d>
25. Aschberger, K., Johnston, H.J., Stone, V., Aitken, R.J., Tran, C.L., Hankin, S.M., Peters, S.A. and Christensen, F.M. (2010). Review of fullerene toxicity and exposure--appraisal of a human health risk assessment, based on open literature. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 473-455 ,58. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20800639>
26. NIOSH (2013). *Occupational Exposure to Carbon Nanotubes and Nanofibers*. Current Intelligence Bulletin 65. The Centers for Disease Control/The National Institute for Occupational Safety and Health, Atlanta. <https://www.cdc.gov/niosh/docs/145-2013/pdfs/145-2013.pdf>
27. Oberdörster, E. (2004). Manufactured Nanomaterials (Fullerenes, C₆₀) Induce Oxidative Stress in the Brain of Juvenile Largemouth Bass. *Environmental Health Perspectives*, 1062-1058 ,(10)112. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1247377/pdf/ehp001058-0112.pdf>
28. Business Wire (2016). Global Nanotechnology Market Worth USD 173.95 Billion by 2025 - Analysis, Technologies & Forecasts Report 2025-2016 - Key Vendors: Acusphere, Glonatech, Isotron - Research and Markets. *Business Wire*, 28 September 2016. <http://www.businesswire.com/news/home/20160928005566/en/Global-Nanotechnology-Market-Worth-USD-173.95-Billion>
29. Lowry, G.V., Bernhardt, E.S., Dionysiou, D.D., Pedersen, J.A., Wiesner, M.R. and Xing, B. (2010). Environmental Occurrences, Behavior, Fate, and Ecological Effects of Nanomaterials: An Introduction to the Special Series. *Journal of Environmental Quality*, 1874-1867 ,39. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21284284>
30. Geranio, L., Heuberger, M. and Nowack, B. (2009). The behavior of silver nanotextiles during washing. *Environmental Science & Technology*, 8118-8113 ,(21)43. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es9018332>
31. Shandilya, N., Le Bihan, O., Bressot, C. and Morgeneyer, M. (2015). Emission of Titanium Dioxide Nanoparticles from Building Materials to the Environment by Wear and Weather. *Environmental Science & Technology*, 2170-2163 ,49. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es504710p>
32. Gottschalk, F. and Nowack, B. (2011). The release of engineered nanomaterials to the environment. *Journal of Environmental Monitoring*, 1155-1145 ,13. https://www.researchgate.net/profile/Bernd_Nowack/publication/50349175_The_release_of_engineered_nanomaterials_to_the_environment/links/54c75fc30cf238bb7d0a7d1a/The-release-of-engineered-nanomaterials-to-the-environment.pdf
33. Batley, G.E., Kirby, J.K. and McLaughlin, M.J. (2012). Fate and risks of nanomaterials in aquatic and terrestrial environments. *Accounts of Chemical Research*, 862-854 ,(3)46. https://www.researchgate.net/publication/228113803_Fate_and_Risks_of_Nanomaterials_in_Aquatic_and_Terrestrial_Environments
34. Gardea-Torresdey, J.L., Rico, C.M. and White, J.C. (2014). Trophic Transfer, Transformation, and Impact of Engineered Nanomaterials in Terrestrial Environments. *Environmental Science & Technology*, 2540-2526 ,(5)48. <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es4050665>
35. Garner, K.L. and Keller, A.A. (2014). Emerging patterns for engineered nanomaterials in the environment: a review of fate and toxicity studies. *Journal of Nanoparticle Research*, 2503 ,16. <https://link.springer.com/content/pdf/2%10.1007Fs2-2503-014-11051.pdf>
36. Peijnenburg, W. J. G. M.; Baalousha, M.; Chen, J.; Chaudry, Q.; Von der kammer, F.; Kuhlbusch, T. A. J.; Lead, J.; Nickel, C.; Quik, J. T. K.; Renker, M.; Wang, Z.; Koelmans, A. A. A Review of the Properties and Processes Determining the Fate of Engineered Nanomaterials in the Aquatic Environment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 2134-2084 ,45. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/1064338/10.10809.2015.1010430>
37. Xia, T., Li, N. and Nel, A.E. (2009). Potential Health Impact of Nanoparticles. *The Annual Review of Public Health*. 50-137 ,30. <http://annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev.publhealth.031308.100155>
38. Poland, C.A., Duffin, R., Kinloch, I., Maynard, A., Wallace, W.A., Seaton, A., Stone, V., Brown, S., Macnee, W. and Donaldson K. (2008). Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot study. *Nature Nanotechnology*, 428-423 ,3. <http://www.nature.com/nano/journal/v3/n7/pdf/nnano.2008.111.pdf>
39. Nagai, H. and Toyokuni, S. (2012). Differences and similarities between carbon nanotubes and asbestos fibers during mesothelial carcinogenesis: Shedding light on fiber entry mechanism. *Cancer Science*, (8)103 1390-1378. https://www.researchgate.net/publication/224924547_Differences_and_similarities_between_carbon_nanotubes_and_asbestos_fibers_during_mesothelial_carcinogenesis_Shedding_light_on_fiber_entry_mechanism
40. Deane, L. (1898). *Report on the health of workers in asbestos and other dusty trades*. In HM Chief Inspector of Factories and Workshops, 1899, Annual Report for 172-171 ,1898.
41. Peto, J., Hodgson, J.T., Matthews, F.E. and Jones, J.R. (1995). Continuing increase in mesothelioma mortality in Britain. *The Lancet*, (8949)345 539-535. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7776771>
42. HSE (2017). Asbestos health and safety. The Health and Safety Executive website. <http://www.hse.gov.uk/asbestos/index.htm>
43. Delay, M. and Frimmel, F.H. (2012). Nanoparticles in aquatic systems. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 592-583 ,(2)402. <https://link.springer.com/content/pdf/2%10.1007Fs-5443-011-00216z.pdf>

44. Du, J., Wang, S., You, H. and Zhao, X. (2013). Understanding the toxicity of carbon nanotubes in the environment is crucial to the control of nanomaterials in producing and processing and the assessment of health risk for human: A review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 462-451 ,36. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/labs/articles/23770455/>
45. Schulte, P.A., Roth, G., Hodson, L.L., Murashov, V., Hoover, M.D., Zumwalde, R., Kuempel, E.D., Geraci, C.L., Stefaniak, A.B., Castranova, V. and Howard, J. (2016). Taking stock of the occupational safety and health challenges of nanotechnology: 2015–2000. *Journal of Nanoparticle Research*, ,18 21–1. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5007006/pdf/nihms812231.pdf>
46. Trouiller, B., Reliene, R., Westbrook, A., Solaimani, P. and Schiestl, R.H. (2009). Titanium dioxide nanoparticles induce DNA damage and genetic instability in vivo in mice. *Cancer Research*, 8789-8784 ,(22)69. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19887611>
47. Seaton, A., Tran, L., Aitken, R. and Donaldson, K. (2010). Nanoparticles, human health hazard and regulation. *Journal of The Royal Society Interface*, 7, S-119S129. http://rsif.royalsocietypublishing.org/content/7/Suppl_1/S119.long
48. Kuhlbusch, T.A.J., Asbach, C., Fissan, H., Göhler, D. and Stintz, M. (2011). Nanoparticle exposure at nanotechnology workplaces: A review. *Particle and Fibre Toxicology*, 18-1 ,(22)8. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3162892/pdf/22-8-8977-1743.pdf>
49. ISO (2007). ISO/TR 27628:2007 Workplace atmospheres - Ultrafine, nanoparticle and nano-structured aerosols - Inhalation exposure characterization and assessment. International Organization for Standardization, Geneva. <https://www.iso.org/standard/44243.html>
50. OECD (2016). *Single walled carbon nanotubes (SWCNTs): Summary of the dossier*. OECD Environment, Health and Safety Publications – Series on the safety of manufactured nanomaterials No.70. The Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris. [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono\(22\(2016&doclanguage=en](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono(22(2016&doclanguage=en)
51. Charitidis, C.A., Trompeta, A.F., Vlachou, N. and Markakis, V. (2016). Risk management of engineered nanomaterials in EU-The case of carbon nanotubes and carbon nanofibers: A review. *Transactions of the Materials Research Society of Japan*, 11-1 ,(1)41. https://www.jstage.jst.go.jp/article/tmrj/1_41/1/41/_pdf
52. OECD (2016). *Single walled carbon nanotubes (SWCNTs): Summary of the dossier*. OECD Environment, Health and Safety Publications – Series on the safety of manufactured nanomaterials No.70. The Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris. [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono\(22\(2016&doclanguage=en](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=env/jm/mono(22(2016&doclanguage=en)
53. OECD (2017). Alternative testing strategies in risk assessment of manufactured nanomaterials: current state of knowledge and research needs to advance their use. Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials No. 80. The Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris. [http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV/JM/MONO\(63\(2016&doclanguage=en](http://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=ENV/JM/MONO(63(2016&doclanguage=en)
54. UN Environment (2017). Strategic Approach to International Chemicals Management website. UN Environment, Geneva. <http://www.saicm.org/>
55. Hamburg, M.A. (2012). FDA's approach to regulation of products of nanotechnology. *Science*, 336(6079), 299-300. <http://science.sciencemag.org/content/336/6079/299>
56. Alden, A. (2017). All About Sediment Grain Size. *ThoughtCo*, 5 June 2017. <https://www.thoughtco.com/all-about-sediment-grain-size1441194->
57. Walker, W.F., Yatskevych, G., Mickel, J.T., and Wagner, W. (2016). Fern. *Encyclopædia Britannica*, 18 October 2016. <https://www.britannica.com/plant/fern/Shape>
58. Du, N., Liu, X.Y., Narayanan, J., Li, L., Lek, M., Lim, M. and Li, Q. (2006). Design of Superior Spider Silk: From Nanostructure to Mechanical Properties. *Biophysical Journal*, 4535-4528 ,(12)91. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000634950672164658>
59. Aleksandrowicz, P., Marzi, A., Biedenkopf, N., Beimforde, N., Becker, S., Hoenen, T., Feldmann, H. and Schnittler, H.J. (2011). Ebola virus enters host cells by macropinocytosis and clathrin-mediated endocytosis. *Journal of Infectious Diseases*, Supplement 3, S-957S967. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21987776>
60. WHO (2000). *Air quality guidelines for Europe—Second edition*. WHO Regional Publication, European Series No. 91. World Health Organization, Copenhagen. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/74732/0005/E71922.pdf

مراجع الرسوم





61. Nano.gov (2017). Size of the nanoscale. United States National Nanotechnology Initiative. <https://www.nano.gov/nanotech101-/what/nano-size>
62. D'Arrigo, J.S. (1978). Screening of membrane surface charges by divalent cations: an atomic representation. *American Journal of Physiology*, 3(235), C117-109. <http://bionumbers.hms.harvard.edu/bionumber.aspx?id=103723&ver=0>
63. Yes Paper (2017). Paper glossary. Yes Paper. <http://www.yes-paper.com/index.php?yespaper=yespaper-paper-glossary>
64. FOA (2015). Guide to fiber optics and premises cabling. The Fiber Optic Association. <http://www.thefoa.org/tech/ref/basic/fiber.html>
65. UNEP (2015). Plastic in cosmetics: Are we polluting the environment through our personal care? United Nations Environment Programme, Nairobi. http://apps.unep.org/redirect.php?file=/publications/pmtdocuments/-Plastic_in_cosmetics_Are_we_polluting_the_environment_through_our_personal_care_2015-Plas.pdf
66. Athinarayanan, J., Periasamy, V.S., Alsaif, M.A., Al-Warthan, A.A. and Alshatwi, A.A. (2014). Presence of nanosilica (E551) in commercial food products: TNF-mediated oxidative stress and altered cell cycle progression in human lung fibroblast cells. *Cell Biology and Toxicology*, 100-89,30. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s-014-10565-8-9271.pdf>
67. Webb, B. (2006). Quantum dots. <http://ion.chem.usu.edu/~tapaskar/Britt-Quantum20%Dots.pdf>
68. Khan, I., Saeed, K. and Khan, I. (2017). Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabian Journal of Chemistry* (in press). <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878535217300990>
69. Locke, W. (1996). Buckminsterfullerene, C₆₀. <http://www.chm.bris.ac.uk/motm/buckyball/c60a.htm>
70. Allied Market Research (2016). Nanomaterials Market by Type (Carbon Nanotubes, Fullerenes, Graphene, Nano Titanium Dioxide, Nano Zinc Oxide, Nano Silicon Dioxide, Nano Copper Oxide, Nano Cobalt Oxide, Nano Iron Oxide, Nano Manganese Oxide, Nano Zirconium Oxide, Nano Silver, Nano Gold, Nano Nickel, Quantum Dots, Dendrimers, Nanoclay, Nanocellulose) and End-user - Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2022-2014. Allied Market Research website. <https://www.alliedmarketresearch.com/nano-materials-market>
71. Nicomel, N.R., Leus, K., Folens, K., Van Der Voort, P. and Laing, G.D. (2016). Technologies for Arsenic Removal from Water: Current Status and Future Perspectives. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 24-1, (62)13. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4730453/pdf/ijerph00062-13-.pdf>
72. Wu, W., Wu, Z., Yu, T., Jiang, C. and Kim, W.S. (2015). Recent progress on magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis, surface functional strategies and biomedical applications. *Science and Technology of Advanced Materials*, 023501,16. <http://iopscience.iop.org/article/023501/2/16/6996-1468/10.1088/pdf>



73. Kostarelos, K. and Novoselov, K.S. (2014). Graphene devices for life. *Nature Nanotechnology*, 745-744,9. <http://www.nature.com/nnano/journal/v9/n10/full/nnano.2014.224.html>
74. Liu, Q., Cui, Q., Li, X.J. and Jin, L. (2014). The applications of buckminsterfullerene C₆₀ and derivatives in orthopaedic research. *Connective Tissue Research*, 79-71, (2)55. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4124742/pdf/nihms608096.pdf>
75. Chang, C.C., Hsu, I.K., Aykol, M., Hung, W.H., Chen, C.C. and Cronin, S.B. (2010). A new lower limit for the ultimate breaking strain of carbon nanotubes. *ACS Nano*, 5100-5095, (9)4. <https://pdfs.semanticscholar.org/d072/eaf8c9c9c1730bb211346ac2d1902da369fe.pdf>
76. Eatemadi, A., Daraee, H., Karimkhanloo, H., Kouhi, M., Zarghami, N., Akbarzadeh, A., Abasi, M., Hanifehpour, Y. and Joo, S.W. (2014). Carbon nanotubes: properties, synthesis, purification, and medical applications. *Nanoscale Research Letters*, 13-1, (393)9. <https://neuraldevelopment.biomedcentral.com/track/pdf/276-1556/10.1186X-393-9?site=neuraldevelopment.biomedcentral.com>