****

حلقة بحث في مادّة الفيزياء

بعنوان

Nanotechnology

(الجزيئات المتناهية الصّغر)

للعام

2015/2016

تقديم الطّالب: سليمان علي محمود

الصّف: الحادي عشر

المدرّس المشرف: عبدالرّحمن الهاشم

مخطط البحث

* المقدّمة.
* إشكاليّة البحث.
* الباب الأوّل: مدخل إلى عالم النّانو.
* الفصل الأوّل: بدايات علم النّانو.
* الفصل الثّاني: التّعريف بتقنية النّانو.
* الفصل الثّالث: عالم وتكنولوجيا النّانو.
* الباب الثّاني: المواد النّانويّة.
* الفصل الرّابع: طرق إنتاج المواد النّانويّة.
* الفصل الخامس: أنواع المواد النّانويّة.
* الفصل السّادس: خواص المواد النّانويّة.
* الفصل السّابع: الكربون في علم النّانو.
* الفصل الثّامن: أشكال المواد النّانويّة.
* الخاتمة.
* النّتائج والمقترحات.
* الفهرس.
* **المقدّمة:**

أصبحت تقنية النانو في طليعة المجالات الأكثر أهمية وإثارة في الفيزياء، الكيمياء، الأحياء والهندسة ومجالات عديدة أخرى. فقد أعطت أملاً كبيراً لثورات علمية في المستقبل القريب ستغير العديد من التطبيقات. لذا فمن المهم إعطاء فكرة عامة وموجزة لغير المختصين عن هذه التقنية. ويعود الاهتمام الواسع بتقنية النانو إلى الفترة ما بين 1996 إلى 1998م عندما قام مركز تقييم التقنية العالمي الأمريكي (WTEC) بدراسة تقويمية لأبحاث النانو وأهميتها في الإبداع التقني. وأدّت الدراسة إلى نقاط من أهمها أن لتقنية النانو مستقبلاً عظيماً في جميع المجالات الطبية والعسكرية والمعلوماتية والإلكترونية والحاسوبية والبتروكيميائية والزراعية والحيوية وغيرها، وأن تقنية النانو متعددة الخلفيات فهي تعتمد على مبادئ الفيزياء والكيمياء والهندسة الكهربائية والكيميائية وغيرها إضافة لتخصص الأحياء والصيدلة.

* **إشكالية البحث:**

هل تخيّلنا يوماً أن نستطيع ارتداء ملابس لا تتسخ؟

نعم إنّها تقنيّة النّانو... فما هو النّانو ... وماهي تقنية النّانو...

إنّ الهدف الأساسي من البحث هو:

1\_ التّعريف بعلم النّانو.

2\_ التّعرّف على أشكال المواد النّانويّة.

3\_ كيفيّة تصنيع المواد النّانويّة.

الباب الأوّل

مدخل إلى عالم النّانو

* الفصل الأوّل: بدايات علم النّانو.
* الفصل الثّاني: التّعريف بتقنيّة النّانو.
* الفصل الثّالث: عالم وتكنولوجيا النّانو.

الباب الأوّل

الفصل الأوّل

* بدايات علم النّانو:

التّطور التّكنلوجيّ هو من أهم سمات القرن الماضي، وقد كان أهم تطوّر تكنولوجيّ هو اختراع الإلكترونيّات في النّصف الأخير من القرن الماضيّ، وحتى الخمسينيّات من القرن الماضي لم يكن هناك غير التّلفاز الأبيض والأسود، ولم توجد إلّا عشرة حواسب في العالم أجمع تقريباً، ولم يكن هناك هواتف نقالة أو إنترنت.

حيث كان لتقنيّة النّانو قفزة نوعيّة في مجال التّقدّم والتّطوّر التكنلوجيّ.

وتعود بداية علم النّانو لمحاضرة ألقاها الفيزيائيّ المشهور ريتشارد فينمان عام 1959 في الاجتماع السنويّ للجمعيّة الفيزيائيّة الأميركيّة الّذي عقد في معهد كاليفورنيا للتّكنولوجيا في الولايات المتّحدة الأميركيّة.

حيث ذكر في محاضرته مقدّمة للموضوع:

"أودّ أن أصف مجالاً لم يعمل به إلّا القليل ولكن من حيث المبدأ من الممكن أن يكون العمل به واسعاً، لن يخبرنا هذا الحقل كثيرا عن المبادئ الأساسية في الفيزياء لكن من الممكن أن يخبرنا عن ظواهر غريبة مثيرة للاهتمام تحدث في الحالات المعقدة، إن ما أرغب في الحديث عنه هو مشكلة التّحكم والمعالجة لأشياء على المقياس الصغير، إنّه عالم صغير ومدهش."

الفصل الثّاني

* التّعريف بتقنيّة النّانو:

ما معنى النّانو؟

كلمة نانو(Nano) هي كلمة مشتقّة من الّلغة اليونانيّة القديمة، وهي تعني (قزم)، تزايد اهتمام العالم بها خلا الفترة الأخيرة، وذلك لما لها من اكتشافات عظيمة وتطبيقات تكنولوجيّة وإنجازات مختلفة متعلّقة بها.

وهي واحد من مليار جزء، ويساوي النانومتر الواحد من المتر أي.

أمّا تقنيّة النّانو (Nanotechnology) فلها عدّة مفاهيم منها، بأنّها التّقنيّة الّتي لها قدرة على تحقيق درجات عالية من الدقة في وظائف وأحجام وأشكال المواد ومكوناتها وهذا بدوره يساعد على التحكم في وظائف الأدوات المستعملة في ميادين الطب والصناعة والهندسة والزراعة والعقاقير والاتصالات والدفاع والقضاء وغيرها...

ومنها، أنّها علم التّعامل متناهية في الصّغر، وتقنيّة النّانو معناها التّقنيّات الّتي تُصنع على مقياس النّانومتر، وهي أصغر وحدة قياس متريّة وتعادل واحد من ألف مليون من المتر، أي واحد من مليار من المتر، ويمثل ذلك أدقّ وحدة قياس متريّة معروفة حتى الآن، وحجم النانو أصغر بحواليمرّة من قطر شعرة الرأس.

يعتمد مفهوم تقنية النانو على اعتبار أن الجسيمات التي يقل حجمها عن مائة نانومتر (النانومتر هو جزء من ألف مليون من المتر) تُعطي للمادة التي تدخل في تركيبها خصائص وسلوكيات جديدة. وهذا بسبب أن هذه الجسيمات (والتي هي أصغر من الأطوال المميَزة المصاحبة لبعض الظواهر) تُبدي مفاهيم فيزيائية وكيميائية جديدة مما يقود إلي سلوك جديد يعتمد على حجم الجسيمات. فقد لوحظ، كمثال لذلك، أن التركيب الإلكتروني، التوصيلية، التفاعلية، درجة الانصهار والخصائص الميكانيكية للمادة تتغير كلها عندما يقل حجم الجسيمات عن قيمة حرجة من الحجم.

ولإعطاء مفهوم لتقنيّة النّانو، على أنها مجموعة من الأدوات والتقنيَات والتطبيقات التي تتعلّق بتصنيع بنية معيَنة وتركيبها باستخدام مقاييس غاية في الصغر.

الفصل الثّالث

* علم وتكنولوجيا النّانو:

ربما لم تحظ أي تكنولوجيا سابقة باهتمام وترقّب كمثل الذي حظيت به تكنولوجيا النانو (Nanotechnology) التي تعد وبحق تكنولوجيا القرن الحادي والعشرين، والمفتاح السحري للتقدم والإنماء الاقتصادي المبني على العلم والمعرفة.

ويقصد بعلم النانو ( Nanoscience ) ذلك العلم الذي يعتني بدراسة وترصيف مواد النانو وتعيين خواصها وخصائصها الكيميائية والفيزيائية والميكانيكية مع دراسة الظواهر المرتبطة الناشئة عن تصغير أحجامها.

وبينما يبدو تعريف علم النانو أمراً سهلاً، فإنَّ وضع تعريف محدّد لتكنولوجيا النانو بعد أمراً أكثر صعوبة، وذلك نظراً لتشعبّها ودخولها في المجالات التطبيقية المختلفة، حيث انَّ كلّاً من هذه المجالات التطبيقيّة المختلفة، حيث أنّ كلّاً من هذه المجالات ينظر إلى هذه التكنولوجيا من وجهة النّظر الخاصّة به، وعامّةً فإنَّ تكنولوجيا النانو يمكن تعريفها بأنّها تلك التكنولوجيا المتقدّمة القائمة على تفهّم و دراسة علم النانو و العلوم الأساسيّة الأخرى تفهّماً عقلانيّاً وإبداعيّاً مع توافر المقدرة التكنولوجيّة على تخليق المواد النانويّة والتحكّم في بنيتها الداخليّة عن طريق إعادة هيكلة وترتيب الذرّات والجزيئات المكوّنة لها، ممّا يضمن الحصول على منتجات متميّزة و فريدة توظَّف في التطبيقات المختلفة.[[1]](#footnote-1)

الباب الثّاني

المواد النّانويّة

* الفصل الرّابع: طرق إنتاج المواد النّانويّة.
* الفصل الخامس: أنواع المواد النّانويّة.
* الفصل السادس: خواص المواد النّانويّة.
* الفصل السّابع: الكربون في علم النّانو.
* الفصل الثّامن: أشكال المواد النّانويّة.

الباب الثّاني

الفصل الرّابع

* طرق إنتاج المواد النّانويّة:

سأوضّح طريقتين من طرق إنتاج المواد النّانويّة:

الطّريقة الأولى وهي الطّحن الميكانيكيّ:

هذه الطّريقة تتألّف من وعاء اسطوانيّ الشّكل مصنوع من سبائك صلبة، توضع فيه حبيبات المادّة المراد طحنها، مع كرات تفوقها صلابة، وذلك بعد إفراغ الهواء منها، وحقنها بغاز خامل لمنع التّأكسد، وبعدها تدار طاحونة الكرات بسرعة كبيرة جدّاً تصل إلى 800 دورة في الدّقيقة الواحدة، وذلك بغية تسهيل طحن الحبيبات الكبيرة وتنعيمها وتصغير أبعادها إلى أقل من مئة نانو متر خلال فترة زمنيّة محدّدة، يتوقف مقدارها على نوع المادة المطحونة، وأبعادها النانوية المطلوبة. وقد تصل الفترة الزمنية اللازمة لإتمام عملية الطحن إلى عدة ساعات، بعدها يتم دمج وتجميع المادة الناتجة، بواسطة مكابس هيدروليكية وبمراحل عدة لنحصل في النهاية على حبيبات منتظمة متماسكة، تناسب التطبيقات الصناعية المطلوبة.

الطّريقة الثّانية وهي طريقة التجميع والترتيب:

 وهي تكبير الذّرّات والجزيئات الصغيرة بتجميعها وترتيبها أليا باستخدام أنواع من الميكروسكوبات الالكترونية تعمل على فحص وتحليل البنية الداخلية للمواد، وتكبيرها أكثر من مليون مرّة، حتى يستطيع الباحث أن يرى الذّرّات والجزيئات من خلالها.

الفصل الخامس

* أنواع المواد النّانويّة:

هناك أنواع مختلفة من المواد النّانويّة، حيث لدينا بلّورات نانويّة أو جسيمات نانويّة، وتدعى عادة الجسيمات النانوية الصغيرة بالنقاط الكوانتيّة أو الكمومية Quantum Dots هذه المواد لها أبعاد نانوية في الاتجاهات الثلاثة (x,y,z).

حيث لدينا ثلاثة أقسام من المواد النّانويّة:

1\_ المواد الأحاديّة البعد.

2\_ المواد الثّنائيّة البعد.

3\_ المواد الثّلاثيّة البعد.

القسم الأوّل: المواد النّانويّة الأحاديّة البعد:

وهي مجمل المواد الّتي يقلّ أحد مقاييس أبعادها عن المئة نانو متر، وهي على شكل رقائق، وتستخدم لطلاء المواد من أجل تحسين خواصّها الميكانيكيّة، الحراريّة، البيولوجيّة.

 من حيث التّحسينات الميكانيكّية حيث تصبح المواد مقاومة للخدش بشكل جيّد، وتحميها من التآكل النّاتج عن الاحتكاك، وتمنع التصاق الغبار بها وهي غالباً تستخدم في زجاج ناطحات السّحاب العالية، فتصبح ليست بحاجة للتّنظيف.

أمّا الحراريّة فممكن أن تستخدم بعزل أسطح المحرّكات من الحرارة العالية النّاتجة عن الاستخدام المستمر.

أمّا البيولوجيّة فتساعد بمنع التصاق البكتريا والجراثيم والفيروسات بالأدوات الجراحيّة لذلك لا تحتاج للتّعقيم.

وهناك استخدامات عديدة لم نذكر منها إلّا القليل.

القسم الثّاني: المواد النّانويّة الثّنائيّة البعد:

وهي المواد الّتي يقل مقاييس بعدين منها عن المئة نانو متر، كالأسلاك والأنابيب النّانويّة، وأهمّها أنابيب الكربون.

وهي أنابيب متعدّدة الجدران أبعادها حوالي (5,1) نانومتر، أمّا المواد الثّنائيّة فتتمتّع بخصائص ميكانيكيّة وفيزيائيّة فريدة.

حيث لها ناقليّة للحرارة والكهرباء تفوق ناقليّة النّحاس 1000 مرّة تقريباً.

أمّا أهمّ مجالات المواد الثّنائيّة البعد هي:

تخزين الطّاقة الشمسيّة وتحويلها إلى طاقة كهربائيّة.

صناعة الحسّاسات بأنواعها.

صناعة الشّاشات المسطّحة.

القسم الثّالث: المواد النّانويّة الثّلاثيّة البعد:

حيث أنّ هذه المواد مقاييس أبعادها الثّلاثة تقل عن 100 نانومتر، الجدير بالذكر أنّ هذه الفئة من المواد النّانويّة ثلاثيّة الأبعاد، سواء أكانت على هيئة حبيبات أم مساحيق فائقة النّعومة، تتصدّر قائمة الإنتاج العالميّ من المواد النّانويّة بوجه عام، وذلك نظراً إلى تعدد استخداماتها في المجالات والتطبيقات التكنولوجيّة الحديثة.

الفصل السّادس

* خواص المواد النّانويّة:
* الانصهار:

تتأثر قيم درجات حرارة انصهار المادة بتصغير أبعاد مقاييس حبيباتها.

مثلا درجة حرارة انصهار فلز الذهب النقي هي 1064 درجة مئويّة، حيث تختلف باختلاف مقاييس أبعاد أقطار حبيباته، فتتناقص بتناقص مقاييس أبعاد أقطار حبيباته لتصل إلى نحو 500 درجة مئوية عند تدنّيّ مقاييس أبعاد أقطار حبيباته إلى نحو 13،5.

* الخواص البصريّة:

استحوذت المواد النّانويّة على اهتمام الباحثين والعاملين في مجال البصريّات، وذلك نظراً إلى خواص غير مسبوقة تمتلكها هذه المواد، حيث تختلف في خواصّها البصريّة عن نظائرها من المواد التّقليديّة كبيرة الحبيبات.

فعلى سبيل المثال الّلون المعروف لحبيبات الذّهب النّقي الّتي تزيد أقطارها عن 200 نانومتر هو الّلون الذّهبيّ الأصفر الّذي نعرفه نحن لكن إذا تمّ تصغير هذه الحبيبات إلى أقل من 20 نانومتر، فإنّها تكون عديمة الّلون أو شفّافة، ومع زيادة التّصغير تظهر الحبيبات بألوان مختلفة من الأخضر إلى البرتقالي فالأحمر، وذلك وفقاً لمقاييس أبعاد أقطارها، وذلك بسبب تغيير الخواص البصريّة للمادة منها التّشتت أو التّكسير الضوئيّ لسطح المادة.

* الخواص الكهربائيّة:

أثّر صغر الحبيبات النانويّة بالإيجاب على خواصّها الكهربائيّة، حيث تتمثّل بقدرتها الفائقة على توصيل التّيّار الكهربائيّ، وتستخدم المواد النّانويّة الآن في صناعة أجهزة الحسّاسات الدّقيقة والشّرائح الإلكترونيّة بمختلف الأجهزة الحديثة، وفي صناعة مكوّنات الهواتف الخلويّة والحاسبات، ممّا مكّن هذه القطّاعات الصّناعيّة من إنتاج أجهزة خفيفة الوزن عالية المواصفات التّقنيّة وفي الوقت نفسه منخفضة التّكلفة.

الفصل السّابع

* الكربون في علم النّانو:

ليس ثمّة شك في أن عنصر الكربون يدخل في تكوين نحو  من كتل أوزان أجسامنا، يعد عنصراً أساسياً و مهمّاً ترتبط به حياتنا على سطح هذا الكوكب، فهو يدخل في تركيب البروتينات و الكربوهيدرات , والدّهون و الأحماض النوويّة، وفي كل مكان من حولنا. و توجد مركّبات الكربون في الصّور الثلاث للمادّة , وتتميّز بتنوّع خواصها و بتباين سماتها، و في إطار هذه الخواص الفريدة و المتميزة لهذا العنصر، لم يكن من الغريب أن يستأثر الكربون بشغف و اهتمام علماء تكنولوجيا النانو، و يميّز أيضاً بصوره المغايرة والمختلفة التي يتم عليها ترتيب ذرّات الكربون النقي، بحيث تشكّل مجموعة متنوّعة من الصّور، فقد استخدم في مجال تخليق المواد الجديدة خلال الفترة السّابقة، والتي تبلورت في توظيف الكربون في إنتاج مواد شديدة القوّة والبأس، مثل ألياف الكربون التي تم استخدامها كمواد مقويّة وداعمة للبوليميرات و المواد الفلزيّة و ذلك بغرض تأليف مواد متراكبة تجمع في خواصها الصّلادة و القوّة، بجانب تمتّعها بالمتانة، اللّدانة و القابليّة للتشكيل، وقد خرج الكربون من دائرته الضّيقة التي كان فيها مجرّد مصدراً من مصادر الوقود، فقد وجد لنفسه وظائف مرموقة في قطّاعات صناعيّة كثيرة مثل صناعة السّيارات، والطائرات و المركبات الفضائيّة و الالكترونيّات، وصناعة الأدوات و الأجهزة الرياضيّة، و لم يعد غريبا اليوم أن نسمع بالكربون كمادّة رئيسة لإنتاج العديد من الأجهزة الحديثة و المتقدّمة التي تعبر عن روح هدا القرن الذي نعيش فيه، وأحسب أن ذرّة الكربون سوف تلقى الاهتمام البحثي نفسه و التّقدير التطبيقيّ، وربما أكثر مما هو عليه الآن، خلال المراحل المتعاقبة لحقبة تكنولوجيا النّانو من هذا القرن . [[2]](#footnote-2)

الفصل الثّامن

* أشكال المواد النّانويّة:

يمكن تصنيع المواد النّانويّة بعدة أشكال بناءً على الاستخدام المقرر لتلك المواد، ومنها:

1\_ النّقاط الكميّة:

عبارة عن تركيب نانوي ثلاثي الأبعاد تتراوح أبعاده بين 2 إلى 10 نانومتر، وتقوم النّقطة الكميّة بتقييد إلكترونات شريط التّوصيل وثقوب شريط التّكافؤ، وعندما يكون قطر النّقطة الكميّة يساوي 10 نانومتر فإنّه يمكن رصف 3 ملايين نقطة كميّة بجانب بعضها البعض بطول يساوي عرض إصبع إبهام الإنسان.

2\_ الفولورين:

تركيبٌ نانويّ غريب آخر للكربون وهو عبارة عن جزئ مكوّن من 60 ذرّة من الكربون ويرمز له بالرّمز c60، وقد اكتشف عام 1985 م، وهو كرويّ المظهر.

ومنذ اكتشاف كيفيّة تصنيع الفولورين عام 1990 م، وهو يحضَّر بكميّات تجاريّة، كما أمكن الحصول على جزيئات بعدد مختلف من ذرّات الكربون مثل c36 وc70 إلا أن العلماء أبدوا اهتماماً خاصَّاً ب c60، ولقد سمي هذا التّركيب بالفولورين نسبة للمخترع والمهندس فولر.

3\_ الجسيمات النّانويّة:

فإنّ الجسيمات النّانويّة على أنها عبارة عن تجمّع ذرّي أو جزئي ميكروسوبي يتراوح عددها من بضع ذرّات (جزئيّ) إلى مليون ذرّة، مرتبطة ببعضها البعض بشكل كرويّ تقريباً بنصف قطر أقل من 100 نانومتر.

عندما يصل حجم الجسيمات النّانويّة إلى مقياس النّانو في بعد واحد فإنّها تسمى البئر الكمّي، وأمّا عندما يكون حجمها النّانويّ في بعدين فتسمّى السّلك الكمّي، وعندما تكون هذه الجسيمات بحجم النّانو في ثلاثة أبعاد فإنّها تسمّى بالنّقاط الكميّة.

ولا بد من الإشارة إلى أن هذا التّغيير في الأبعاد الناّنويّة في التّركيبات الثّلاثة السّالفة الذّكر، سوف يؤثّر على الخصائص الالكترونيّة لها، ممّا يؤدّي إلى حدوث تغيير كبير في الخصائص الضَّوئيّة للتركيبات النّانويّة.

4\_ المركبات النّانويّة:

هي عبارة عن مواد يضاف إليها جسيمات نانويّة خلال تصنيع تلك المواد ونتيجة لذلك فإنّ المادّة النّانويّة تبدي تحسّناً كبيراً في خصائصها.

فعلى سبيل المثال، يؤدّي إضافة أنابيب الكربون النانويّة إلى تغيير الخصائص التّوصيليّة، الكهربائيّة، والحراريّة للمادة.

 وقد يؤدّي إضافة أنواع أخرى من الجسيمات النّانويّة إلى تحسين الخصائص الضّوئيّة، وخصائص العزل الكهربي وكذلك الخصائص الميكانيكيّة مثل الصّلابة والقوّة.

* **الخاتمة:**

لعل تقنية النّانو هي من أهم ما توصل إليه العلم الحديث على أمل أن تتم الاستفادة منه في معالجة شتّى المشاكل الّتي تواجه المجتمع البشريّ والّتي ستواجهه مستقبلاً حيث ستكون تقنية النّانو هي من أهم الحلول المثلى لتلك المشاكل، على أمل أن يتمّ استغلالها بالطّريقة الإيجابيّة لئلّا تعود بالضرر على البشريّة.

* **النّتائج والمقترحات:**

1\_التّعرّف على بدايات اكتشاف عالم النانو.

2\_التّعرف على تقنيّة النّانو وأشكال المواد النّانويّة.

3\_التّعرف على طرق إنتاج المواد النّانويّة.

4\_الكربون من أهم المواد في تقنيّة النّانو.

5\_علم النّانو من أهم العلوم الّتي تطلّع إليها البشريّة وإلى مستقبلها.

* **المصادر والمراجع:**

إلكترونيّة

<https://nano.ksu.edu.sa/ar/nanotech-introduction>

28\9

5:00 pm

<http://nano.ksu.edu.sa/ar/nanotech-world>

28/9

5:00 am

<http://nano.ksu.edu.sa/ar/nanotech-applications-medicine>

28/9

5:00 pm

<http://nano.ksu.edu.sa/ar/nanotech-applications-general>

28/9

5:00 pm

الورقيّة

\_الأبعاد الأخلاقية للتكنلوجيا النانو مترية.... موسى فيربر.

\_ هذا زمان النانو... المهندس: عبد الحفيظ أحمد العمري.

\_تكنولوجيا النّانو من أجل غدٍ أفضل، د. الإسكندراني، محمّد شريف، العدد ، إبريل  م .

* **الفهرس**

|  |  |
| --- | --- |
| العنوان | الصّفحة |
| مخطط البحث | 1 |
| المقدمة | 2 |
| إشكاليّة البحث  | 3 |
| الباب الأوّل مدخل إلى عالم النانو | 4 |
| الفصل الأوّل بدايات علم النانو | 5 |
| الفصل الثّانيتعريف تقنية النانو | 7 |
| الفصل الثالثعلم وتكنولوجيا النانو  | 9 |
| الباب الثّانيالمواد النّانويّة | 11 |
| الفصل الرابع طرق انتاج المواد النّانوية | 12 |
| الفصل الخامسأنواع المواد النّانوية | 14 |
| الفصل السادس خواص المواد النانوية | 17 |
| الفصل السابعالكربون في علم النانو | 19 |
| الفصل الثامنأشكال المواد النانوية | 21 |
| الخاتمة  | 23 |
| النتائج والمقترحات | 24 |
| المصادر والمراجع | 25 |

1. د. الإسكندراني – محمّد شريف – تكنولوجيا النّانو من أجل غدٍ أفضل , العدد  , إبريل  م . ص 24 [↑](#footnote-ref-1)
2. د. الإسكندراني – محمّد شريف – تكنولوجيا النّانو من أجل غدٍ أفضل، العدد، إبريل م، ص 95

 http://saudinanocenter-sa.com/index.php/joomla-home [↑](#footnote-ref-2)