بسم الله الرحمن الرحيم

فهم المواد النانوية

تأليف

Malkiat S. Johal **Lewis E. Johnson**

ترجمة

د. عبدالله بن محمد الصويلح

أستاذ الكيمياء الفيزيائية المشارك

قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة الملك سعود

دار جامعة الملك سعود للنشر
KING SAUD UNIVERSITY PRESS

ص.ب ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ المملكة العربية السعودية

ح دار جامعة الملك سعود للنشر، ١٤٤٥هـ (٢٠٢٣م)

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

جوهال، مالكيات س.

فهم المواد النانوية. / مالكيات س. جوهال؛ لويس إ. جونسون؛ عبدالله محمد الصويلح. - الرياض، ١٤٤٥هـ

٥٩١ ص؛ ١٧سم × ٢٤ سم

ردمك: ٩ - ١٠٥ - ٥١٠ - ٦٠٣ - ٩٧٨

١- تقنية النانو ٢- الكيمياء الفيزيائية أ. جونسون، لويس إ. (مؤلف مشارك)

ب. الصويلح، عبدالله محمد (مترجم) ج. العنوان

ديوي ٦٢٠,٥ ١٤٤٥/٤٨٦

رقم الإيداع: ١٤٤٥/٤٨٦

ردمك: ٩ - ١٠٥ - ٥١٠ - ٦٠٣ – ٩٧٨

هذه ترجمة عربية محكمة صادرة عن مركز الترجمة بالجامعة لكتاب:

Understanding Nanomaterials

By: Malkiat S. Johal and Lewis E. Johnson

© Taylor and Francis Group, LLC, 2018

وقد وافق المجلس العلمي على نشرها في اجتماعه السادس للعام الدراسي ١٤٤٣هـ، المعقود بتاريخ ١٤٤٤/٤/١٣هـ، الموافق ٢٠٢٢/١١/٧م. ليكون مرجعًا علميًّا في مجاله.

جميع حقوق النشر محفوظة. لا يسمح بإعادة نشر أي جزء من الكتاب بأي شكل وبأي وسيلة سواء كانت إلكترونية أو آلية بما في ذلك التصوير والتسجيل أو الإدخال في أي نظام حفظ معلومات أو استعادتها بدون الحصول على موافقة كتابية من دار جامعة الملك سعود للنشر.

دار جامعة الملك سعود للنشر
KING SAUD UNIVERSITY PRESS

مقدمة المترجم

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين، سيدنا وحبيبنا محمد صلى الله عليه وسلم، وبعد:

يعد علم النانو مجالًا سريع التغير، حيث تُجرى الكثير من الابتكارات والاكتشافات الجديدة بشكل دوري، إن إعداد كتابٍ يجسد ما أنتجته الأدبيات العلمية خلال السنوات القليلة الماضية، يتطلب الكثير من الجهد والوقت؛ ليكون مرجعًا مُهمًّا وذا قيمة علمية هائلة، إن الموضوعات المقدمة في هذا الكتاب اختيرت بعناية؛ وذلك لمعرفة أساسيات هذا العلم، شمل هذا الكتاب على العديد من الموضوعات القيّمة مع التركيز على المبادئ الأساسية التي تحكم تصنيع وتوصيف واستخدام المواد النانوية، وقد تجنب مؤلفو الكتاب التفاصيل الرياضية الزائدة وقدموا الكتاب بأسلوب سهل وجذاب، يناسب جميع القراء بغض النظر عن خلفيتهم العلمية في الفيزياء، أو الكيمياء، أو الهندسة، يحتوي هذا المرجع على موضوعات أساسية في الكيمياء الفيزيائية، والفيزياء المتعلقة بخواص المواد الكهربائية، والميكانيكية، والبصرية مع الأخذ في الاعتبار أساسيات الديناميكا الحرارية، والحركية، وميكانيكا الكم وفيزياء الحالة الصلبة، كما يتضمن المواد الصلبة، وأشباه الموصلات للإلكترونيات النانوية، والمواد البصرية غير الخطية.

تجدر الإشارة إلى أن موضوعات هذا الكتاب تلاقي اهتمامًا كبيرًا لدى الكثير من الباحثين، وطلبة الدراسات العليا، الذين يرغبون في استكشاف هذا المجال، وكذلك المؤسسات، والمصانع المتخصصة في مجال علم المواد، لذلك فقد وقع الاختيار على هذا الكتاب لترجمته؛ لما لمسناه من أهمية هذا العلم، نأمل أن نكون قد وفقنا في اختيار هذا

الكتاب، والذي قد يكون بمثابة حافز للقيام بأبحاث على مستوى عالٍ في عالمنا العربي، بالإضافة إلى الإسهام في إثراء المكتبة العربية بهذا الكتاب القيم.

نسأل الله عز وجل التوفيق والسداد.

المترجم

إهداء المؤلفيْن

إلى زوجتي الحبيبة، لويزا Luisa، وبناتي، سيمي Simi وبيانكا Bianca.

م. س. ج. .M. S. J

إلى ريني Renee، وواين Wayne، وبروس Bruce، الذين ألهموني في الكيمياء والتدريس.

ل. إ. ج. .L. E. J

شكر وتقدير المؤلفيْن

لم تكن كتابة هذا الكتاب ممكنة بدون دعم الأصدقاء والعائلة، وأنا ممتن لدعم زملائي في قسم الكيمياء في كلية بومونا Pomona College، ولاسيما الأساتذة: سينثيا سيلاسي Cynthia Selassie، ودانييل أوليري Daniel O'Leary، الذين كانوا مصدرًا دائمًا للدعم، كان طلابي وأعضاء فصلي في مجال المواد النانوية اللينة على مدار السنوات حاسمة في مساعدتي على تطوير كتاب مدرسي، يلبّي احتياجات الطلاب المهتمين بهذا المجال، أود أن أعرب عن امتناني الصادق لصديقي العزيز والمؤلف المشارك: الدكتور لويس جونسون Lewis Johnson، الذي كانت مساهمته وتفانيه أمرًا حاسمًا في تطوير الإصدار الثاني، كما أود أن أشكر الدكتور: بول ديفيز Paul Davies (جامعة كامبريدج University of Cambridge)، والدكتورة: جين روبنسون Jeanne Robinson (مختبر لوس ألاموس الوطني Los Alamos National Laboratory) ؛لتوفير فرص لا تقدر بثمن طوال مسيرتي المهنية، أنا ممتن للبروفيسور: بروس روبنسون Bruce Robinson (جامعة واشنطن University of Washington) لتعليقاته المفيدة على الفصول: ٢ و٣ و٤، وأود أن أشكر المحرر التنفيذي: لو م. هان Lou M. Han، على التزامه الدؤوب منذ البداية، والإيمان في الطبعة الثانية، أخيرًا وليس آخرًا، أود أن أشكر زوجتي: لويزا لوسيا جوهال Luisa Lucia Johal، على حبها ودعمها وتشجيعها على مر السنين.

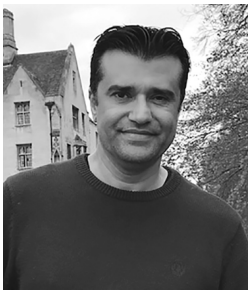
م. س. ج. M. S. J.

أنا ممتن تمامًا للدكتور مالكيات جوهال Malkiat Johal على الفرص المتاحة للتعاون في هذا الكتاب المدرسي، وللتدريس في بومونا Pomona ولأكثر من عقد من الإرشاد والصداقة، وكذلك لمحررنا التنفيذي: لو م. هان Lou M. Han، لنصيحته وصبره أثناء عملية الكتابة، كما أنني أقدر بشدة المشورة والإرشاد من العديد من الزملاء ، بما في ذلك على سبيل المثال لا الحصر: الدكتور بروس روبنسون Bruce Robinson، والدكتور: لاري دالتون Larry Dalton، والدكتور ديلوين إلدر Delwin Elder، والدكتور: تشارلي كامبل Charlie Campbell، والدكتور: توم إنجل Tom Engel (يو دبليو UW)، والدكتور موكيش أرورا Mukesh Arora، والدكتورة: سينثيا سيلاسي Cynthia Selassie، والدكتور: واين شتاينميتز Wayne Steinmetz، والدكتور: ريتشارد هازليت Richard Hazlett (بومونا Pomona)، والدكتور: سيمون روجي Simone Raugei، وبوجانا جينوفسكا Bojana Ginovska، والدكتور: بيتر سوشكو Peter Sushko، والدكتور: نيري جوفيند Niri Govind، والدكتور: كريس موندي Chris Mundy، والدكتور: جريج شنتر Greg Schenter، والدكتور: شون كاثمان Shawn Kathmann، والدكتور: جون جافي John Jaffe (بي إن إن إل PNNL)، والدكتور: جيمس فار James Farr (إن أو أ أ NOAA)، كما أشكر الدكتور: نيكولاس بيجلو Nicholas Bigelow (إنتل Intel) على سنوات عديدة من الصداقة والتعاون العلمي، وعلى النصيحة فيما يتعلق بالأقسام المتعلقة بالطباعة، وتصنيع أشباه الموصلات، وكذلك الدكتورة: ستيفاني بينيت Stephanie Benight (المعرض)، والدكتور: أندرياس تيلاك Andreas Tillack (أو آر إن إل ORNL) والدكتور: جايسون كينجسبري .Jason Kingsbury (كال لوثران Cal Lutheran)، والدكتور: جايسون سيلرز Jason Sellers (آر إي سي سيلكون REC Silicon) للمناقشة المفيدة، وسنوات عديدة من التعاون والصداقة، كما أنني ممتن لطلابي والمتدربين في كل من بومونا Pomona وجامعة واشنطن University of Washington، وخاصة: هانا وايمنت-ستيل Hannah Wayment-Steele، وكونر كوميرلو Conner Kummerlowe، والدكتور: لوك لاتيمر Luke Latimer. كما أشكر كاتي لين Katie Lane على المناقشة المفيدة، ومحرر الإنتاج جوناثان أكورن Jonathan Achorn وموظفيه في إم تي سي MTC؛ لعملهم

الصبور والدقيق في تنضيد الكتاب، وويورد كوفيهاوس Wayward Coffeehouse في سياتل Seattle لتوفير مكان رائع للكتابة، أخيرًا أنا ممتن لعائلتي، والعديد من الأصدقاء الآخرين على صبرهم أثناء عملية الكتابة.

ل. إ. ج. .L. E. J

نبذة المؤلفيْن



مالكيات س. جوهال Malkiat S. Johal أستاذ الكيمياء الفيزيائية في كلية بومونا Pomona College، كليرمونت Claremont، كاليفورنيا California، حصل على مرتبة الشرف من الدرجة الأولى في الكيمياء من جامعة وارويك University of Warwick بالمملكة المتحدة، بعد حصوله على درجة الدكتوراه في الكيمياء الفيزيائية من جامعة كامبريدج University of Cambridge، تحت إشراف البروفيسور: بول ديفيز Paul Davies. التحق الدكتور جوهال Johal بمختبر لوس ألاموس الوطني Los Alamos National Laboratory، كباحث مشارك في مرحلة ما بعد الدكتوراه مع الدكتورة جين روبنسون Jeanne Robinson، حيث عمل على الإجراءات البصرية غير الخطية للتجمعات النانوية. ويركز مختبر أبحاثه في كلية بومونا Pomona College على استخدام عمليات التجميع الذاتي، والامتزاز الأيوني لتصنيع المواد النانوية للتطبيقات البصرية والكيميائية الحيوية، يستكشف مختبر البروفيسور جوهال Johal أيضًا الظواهر الأساسية، مثل: معقد الأيونات، والامتصاص، والتبلل السطحي، والتجاذبات غير التساهمية بين الجزيئات في المواد في الأسطح البينية، نشر أكثر من ٦٠ ورقة بحثية، شارك في تأليف أغلبها طلابه الجامعيين، يقوم بتدريس مقررات في الكيمياء الفيزيائية، والكيمياء العامة، والمواد النانوية اللينة.

لويس إ. جونسون Lewis E. Johnson عالم أبحاث في جامعة واشنطن University of Washington، سياتل Seattle، واشنطن Washington، حصل على درجة البكالوريوس في الكيمياء من كلية بومونا Pomona College، كليرمونت Claremont، كاليفورنيا California، حيث أجرى بحثًا بتوجيه من البروفيسور: مالكيات جوهال Malkiat Johal، بالإضافة إلى بحثه كمتدرب في إن أو أ أ NOAA مع الدكتور: جيمس فار James Farr، حصل على درجة الدكتوراه في الكيمياء وتكنولوجيا النانو من جامعة واشنطن University of Washington، تحت إشراف البروفيسور: بروس روبنسون Bruce Robinson، قام بالتدريس في كلية بومونا Pomona College (جامعته التي تخرج منها) كمحاضر ما بعد الدكتوراه، وعمل باحثًا مشاركًا لما بعد الدكتوراه في مختبر شمال غرب المحيط الهادئ الوطني Pacific Northwest National Laboratory، حيث أجرى بحثًا حول تكوين الزجاج من أشباه موصلات ألومينات الكالسيوم الكتريدية، مع الدكتور بيتر سوشكو Peter Sushko وعلى التعديل الألولستيري لنقل الإلكترون في نيتروجيناز (allosteric modulation of electron transfer in nitrogenase) مع الدكتور: سيمون ريجي Simone Raugei، يتضمن بحثه الحالي تصميم، وتوصيف أصباغ بصرية غير خطية جديدة، ونمذجة تكوين، وبناء المواد غير البلورية المعقدة، من بين مشاريع أخرى.

تمهيد السلسلة

تقدم هذه السلسلة من الكتب الدراسية موردًا تربويًّا للعلوم الفيزيائية، ينشر نصوصًا عالية الجودة، وعالية التأثير؛ لتحسين فهم الموضوعات الأساسية والمتطورة، فضلًا عن تسهيل التعليمات، شُجّعَ المؤلفون على دمج المسائل العددية والأمثلة العملية، بالإضافة إلى إتاحة كتيبات الحلول لاعتماد المقرر على مستوى البكالوريوس والدراسات العليا، تم أيضًا جعل تنسيق هذه النصوص مفيدًا كدليل احترافي للدراسة الذاتية، وتجديد المعلومات، كما تغطي هذه السلسلة موضوعات: فيزياء المادة المكثفة، وعلوم الكم، والفيزياء الذرية، والجزيئية، والبلازما، وعلوم الطاقة، وعلم النانو، والتحليل الطيفي، والفيزياء الرياضية، والجيوفيزياء، والفيزياء البيئية، وما إلى ذلك، من الناحية النظرية والتجريبية.

بالنسبة للكتب الجديدة في هذه السلسلة يُكلّف مدعوون لها، كذلك فإن الكُتابَ مدعوون للاتصال بالناشر (لو م. هان Lou M. Han، المحرر التنفيذي: lou.han@taylorandfrancis.com) لمناقشة أفكار عناوين جديدة.

مقدمة المؤلفيْن للطبعة الثانية

منذ إصدار الطبعة الأولى من فهم المواد النانوية، استمرت مجالات تكنولوجيا النانو وعلم النانو في النمو والتطور بوتيرة مذهلة. تمت زيادة البرامج الرئيسة على المستوى الوطني التي تمول إمكانات المستخدمين، مثل: مسبك الجزيئات في بيركلي Berkeley، كاليفورنيا California، ومختبر العلوم الجزيئية البيئية في ريتش لاند Richland، واشنطن Washington، ومراكز تكنولوجيا النانو في جامعات الأبحاث الكبيرة من خلال الاهتمام المتزايد بتقنية النانو عبر طيف مرحلة ما بعد التعليم الثانوي، وفقًا لدليل برنامج مبادرة النانو الوطنية[1]، هناك في الوقت الحالي ٣٣ برنامجًا جامعيًّا، و٢٢ برنامجًا للماجستير، و٢٠ برنامجًا للدكتوراه في تكنولوجيا النانو، أو علوم النانو، أو الهندسة الجزيئية في الولايات المتحدة وحدها، كما جُرِّب برنامج على مستوى كلية المجتمع في كلية شمال سياتل North Seattle College.

مع تطور تقنية النانو وعلم النانو إلى مجالات أكبر وأكثر انتشارًا، تزداد أهمية التدريس الجامعي في الأنظمة النانوية، قُدّمت برامج علوم النانو في وقت مبكر في المناهج الدراسية، وهي جاذبة للطلاب بشكل كبير من مجموعة متنوعة من البرامج الأكاديمية، لتلبية هذه الحاجة، قمنا بتوسيع مفهوم فهم المواد النانوية بشكل كبير ليشمل مجموعة واسعة من المواد الأساسية التي تغطي العناصر الأساسية للكيمياء الفيزيائية، والفيزياء الكلاسيكية، لفهم النظم النانوية، وكذلك التوسع إلى عدد أكبر من المواد والتطبيقات.

(1) https://www.nano.gov/education-training/university-college.

أُعيدت هيكلة محتويات الطبعة الأولى إلى فصول أقصر وأكثر قابلية للفهم، مما جعلها أكثر سلاسة وتنظيمًا، ورُتبت الطبعة الثانية بحيث يكون لها استخدام مزدوج، من ناحية يمكن استخدامه كنص تمهيدي، بدءًا من الوحدة الجديدة في الكيمياء الفيزيائية الأساسية للنظم النانوية (الفصول: ٢-٤) لتوفير الانتقال من الكيمياء العامة/الفيزياء إلى مواد أكثر تخصصًا في التركيب، توصيف وتطبيقات المواد النانوية، من ناحية أخرى يمكن استخدامه في المقررات المتقدمة بالبدء بالفصل الخامس، والانتقال إلى الأدبيات الأساسية في منتصف المقرر، إن المواد الجديدة في الفصول الأولى، بالإضافة إلى ارتباطها بالمصطلحات التي تستخدم في كثير من الأحيان للمواد الصلبة، تهدف أيضًا إلى تحسين إمكانية تداولها خارج أقسام الكيمياء.

أخيرًا، هذه الطبعة الثانية هي نتيجة تعاون غير عادي طويل الأمد، كان الدكتور لويس جونسون Lewis Johnson، الذي انضم إلى فريق الكتابة لهذه الطبعة، طالبًا للبروفيسور جوهال Johal في كلية بومونا Pomona College في ٢٠٠٦-٢٠٠٧م، أثناء تطوير المنهج الذي أدى إلى الطبعة الأولى من هذا النص، بعد التخرج انجذب الدكتور جونسون Johnson إلى جامعة واشنطن University of Washington جزئيًا من خلال برنامج النانو القوي، واستمر في التعاون مع البروفيسور جوهال Johal، وعاد في النهاية إلى كلية بومونا Pomona College كمحاضر ما بعد الدكتوراه، حيث قام بتدريس مقرر المواد النانوية في قسم الكيمياء في عام ٢٠١٣م، أدى تجدد التعاون والنقاش حول المقرر إلى تطوير النص الحالي.

مالكيات س. جوهال Malkiat S. Johal

لويس إ. جونسون Lewis E. Johnson

مقدمة المؤلف للطبعة الأولى

إلى الطالب

علم النانو: هو مجال سريع التغير حيث يتم فيه ابتكارات واكتشافات جديدة كل يوم، إن كتابة كتاب يحتوي على جزءٍ بسيطٍ مما أنتجته الأدبيات العلمية خلال السنوات القليلة الماضية، سيكون مهمة ضخمة للغاية، مع وضع ذلك في الاعتبار، اختِيرت موضوعات في هذا الكتاب بعناية؛ لتوفير فهم أساسي للمجال، أُعطيت تغطية محدودة للعديد من الموضوعات المهمة، مثل: الكيمياء الحاسوبية، وفيزياء الحالة الصلبة، ويرجع ذلك إلى حد كبير إلى أنني أريد أن يكون هذا الكتاب متاحًا لأي طالب درس مقررات تمهيدية في العلوم على مستوى الكلية.

كُتِب هذا الكتاب لمقررات دراسية كاملة، أو نصف فصل دراسي في علم النانو مع التركيز على فهم المواد النانوية، إن التشديد على "الفهم" هو المفتاح وراء هذا العمل؛ لتقديم نظرة ثاقبة أساسية للقوة الدافعة الجزيئية الكامنة وراء عمليات التجميع الذاتي، وكذلك شرح كيفية توصيف المواد النانوية الناتجة، إن معرفة التجميع الذاتي، والتوصيف أمر ضروري لفهم هذه الأنظمة المثيرة للاهتمام.

وتجدر الإشارة إلى أن هذا الكتاب لا يعتمد بشكل كبير على الأوراق العلمية، رغم أنه ينبغي استخدامه جنبًا إلى جنب مع الأدبيات الأولية.

إلى المرشد

لقد استخلصت المواد ذات الصلة من العديد من التخصصات العلمية، بافتراض مستوى أساسي فقط من الكفاءة في الفيزياء والكيمياء وعلم الأحياء، اقتصرت الدقة الرياضية على تقديم النتائج الرئيسة، والبراهين البسيطة، يجب على المدربين استخدام تقديرهم في التركيز على أو "سد الثغرات" في النقط التي قد تبدو غير كافية إلى حد ما، أو محدودة النطاق، اقتُرح نموذج نصف المقرر لتدريس المواد مباشرة من الكتاب، وحل أمثلة نهاية الفصل لمقرر فصل دراسي كامل، يجب استخدام الكتاب في مقرر يتطلب من الطلاب الرجوع إلى الأدبيات الأولية، قد يكون الأخير أكثر ملائمة للفصول ذات المستوى المتوسط إلى المتقدم، على الرغم من أنني أقترح بشدة تدريب الطلاب على قراءة الأوراق في وقت مبكر من حياتهم المهنية.

يتمثل النهج المتبع في هذا الكتاب في التركيز على إعداد الطالب لقراءة الأوراق البحثية في هذا المجال، لذا فقد قمت بتحديد أمثلة لأوراق متميزة، أن هذا الكتاب يوفر الخلفية اللازمة لتمكين الطالب من فهم المقالات من المجلات العلمية، أقوم بتدريس مادة من هذا الكتاب بالاقتران مع سلسلة ندوات للطلاب، يختار فيها الطلاب أوراقًا شيقة لعرضها ومناقشتها خلال الفصل، يجمع هذا النهج بين المهارات القائمة على المناقشة ومهارات حل المسائل، ويوفر التعرض لمجال دراسة متعدد التخصصات للغاية.

مالكيات س. جوهال Malkiat S. Johal

المحتويات المختصرة

مقدمة المترجم ..... هـ
إهداء المؤلفيْن ..... ز
شكر وتقدير المؤلفيْن ..... ط
نبذة المؤلفيْن ..... م
تمهيد السلسلة ..... س
مقدمة المؤلفيْن للطبعة الثانية ..... ف
مقدمة المؤلف للطبعة الأولى ..... ق

الفصل الأول: مقدمة موجزة لعلم النانو ١
الفصل الثاني: الديناميكا الحرارية وعلم النانو ٢١
الفصل الثالث: الحركية والنقل في علم النانو ٨٣
الفصل الرابع: التأثيرات الكمية على مقياس النانو ١٢٧
الفصل الخامس: التجاذبات البينية والتجميع الذاتي ١٧٥
الفصل السادس: تقنيات التوصيف الإجمالية للمواد النانوية ٢٣٥
الفصل السابع: أساسيات علم نانو السطوح ٢٧٧
الفصل الثامن: طرق توصيف وتصوير السطح ٣٢٥
الفصل التاسع: مقدمة في المواد النانوية الوظيفية ٤١٩
الفصل العاشر: تصنيع وخصائص تطبيقات الأفلام الرقيقة ٤٨١

مسرد المصطلحات..... ٥٤٥
ثبت المصطلحات..... ٥٧٣
كشاف الموضوعات..... ٥٨٣

المحتويات

مقدمة المترجم ..... هـ
إهداء المؤلفيْن ..... ز
شكروتقدير المؤلفيْن ..... ط
نبذة المؤلفيْن ..... م
تمهيد السلسلة ..... س
مقدمة المؤلفيْن للطبعة الثانية ..... ف
مقدمة المؤلف للطبعة الأولى ..... ق

الفصل الأول: مقدمة موجزة لعلم النانو ١
(١,١) مجال علم النانو ١
(١,٢) الحاجة إلى تعليم علم النانو ٥
(١,٣) البُعد النانوي ٦
(١,٤) الأبعاد وآثارها ٩
(١,٥) التجميع الذاتي ١١
(١,٦) علم الجزيئات الفائقة ١٣
(١,٧) نظرة عامة على المتن ١٥
(١,٨) مصادر المعلومات عن علم النانو ١٦
أسئلة نهاية الفصل ١٧

الفصل الثاني: الديناميكا الحرارية وعلم النانو ٢١
نظرة عامة ٢١
(٢,١) المصطلحات في الديناميكا الحرارية ٢٢
(٢,١,١) النظام ومحيطه ٢٢
(٢,١,٢) بعض المتغيرات الديناميكية الحرارية ٢٣
(٢,١,٣) التغييرات العكسية وغير العكسية ٢٥
(٢,٢) درجة الحرارة والمواد النانوية ٢٦
(٢,٢,١) الديناميكا الحرارية وتأثيرات الحجم ٢٦
(٢,٢,٢) درجات حرارة انصهار المواد النانوية ٢٨
(٢,٣) القانون الأول للديناميكا الحرارية ٣٦
(٢,٣,١) الشغل ٣٦
(٢,٣,٢) التبادل الحراري والسعة الحرارية ٤٤
(٢,٣,٣) القانون الأول بدلالة الشغل والحرارة ٤٤
(٢,٣,٤) المحتوى الحراري ٤٦
(٢,٤) الإنتروبي كدالة حالة: القانونان الثاني والثالث ٤٨
(٢,٤,١) التفسير الكلاسيكي للإنتروبي ٤٨
(٢,٤,٢) التفسير الإحصائي للإنتروبي ٥٢
(٢,٥) طاقة جيبس Gibbs كتابع حالة ٥٥
(٢,٥,١) اتجاه التغير التلقائي ٥٥
(٢,٥,٢) طاقة جيبس Gibbs والتوتر السطحي ٥٩
(٢,٥,٣) الأنظمة متعددة المكونات والجهد الكيميائي ٦٢
(٢,٦) التوازن الفيزيائي والكيميائي ٦٤
(٢,٦,١) ثابت التوازن ٦٤
(٢,٦,٢) التوازن غير المتجانس ٦٥
(٢,٦,٣) العلاقة بين طاقة جيبس Gibbs وثابت التوازن ٦٧

(٢,٦,٤) اعتماد ثابت التوازن على درجة الحرارة ٧٠
(٢,٦,٥) التوازن الطوري في المواد الكتلية ٧٢
(٢,٦,٦) التوازن الطوري في الجسيمات النانوية ٧٤
أسئلة نهاية الفصل ٧٩
المراجع المستشهد بها ٨٠
المراجع والقراءة الموصى بها ٨١

الفصل الثالث: الحركية والنقل في علم النانو ٨٣
نظرة عامة ٨٣
(٣,١) معدلات سرعة التفاعلات الكيميائية ٨٤
(٣,١,١) معدل سرعة التفاعل ٨٤
(٣,١,٢) قوانين معدل سرعة التفاعل ورتبه ٨٦
(٣,١,٣) ملحوظة حول التفاعلات الانعكاسية ٩٢
(٣,١,٤) دمج قوانين السرعة ٩٤
(٣,٢) النماذج النظرية لمعدلات التفاعل ٩٧
(٣,٢,١) اعتماد ثابت المعدل على درجة الحرارة ٩٧
(٣,٢,٢) نظرية التصادم ٩٩
(٣,٢,٣) الحفز ١٠٢
(٣,٣) نمذجة الآليات البسيطة ١٠٤
(٣,٤) حركيات ربط ثنائي الجزيء ١٠٧
(٣,٤,١) حركيات الربط الانعكاسي ١٠٧
(٣,٤,٢) معادلات سكاتشارد Scatchard وهيل Hill: الارتباط التعاوني ١١١
(٣,٥) حركيات المحلول والتحكم في الانتشار ١١٤
(٣,٥,١) بعض أسس فيزياء انتشار المواد النانوية في المحلول ١١٥
(٣,٥,٢) حركية التحكم في الانتشار ١١٧

أسئلة نهاية الفصل ١٢٢
المراجع والقراءة الموصى بها ١٢٦

الفصل الرابع: التأثيرات الكمية على مقياس النانو ١٢٧
(٤,١) التقييد الكمي في المواد النانوية ١٢٨
(٤,٢) مقدمة أساسية لميكانيكا الكم ١٢٩
(٤,٢,١) الإشعاع الكهرومغناطيسي ١٢٩
(٤,٢,٢) موجات المادة ومبدأ عدم التَّيَقُّن ١٣٠
(٤,٢,٣) النظم المقيدة والتكميم ١٣٢
(٤,٢,٤) الدالة الموجية ١٣٤
(٤,٢,٥) معادلة شرودنجر Schrödinger ١٣٥
(٤,٣) تقييد الإلكترونات في صناديق ١٣٨
(٤,٣,١) النموذج أحادي البُعد ١٣٨
(٤,٣,٢) النماذج ثنائية وثلاثية الأبعاد ومفهوم الانحلال ١٤٩
(٤,٤) التقييد النانوي على الحلقات والكرات ١٥٥
(٤,٤,١) الجسيم في نموذج الحلقة ١٥٥
(٤,٤,٢) الجسيم في نموذج الكرة ١٥٨
(٤,٥) تكميم الاهتزاز والدوران ١٦٠
(٤,٥,١) تكميم الحركة الاهتزازية: المتذبذب التوافقي ١٦٠
(٤,٥,٢) تكميم الحركة الدورانية: الدوار الصلب ١٦٤
(٤,٦) النفق الميكانيكي الكمي ١٦٧
(٤,٦,١) تداعيات حواجز الطاقة المحدودة ١٦٧
(٤,٦,٢) تداعيات المتذبذب التوافقي الميكانيكي الكمومي ١٦٩
(٤,٧) ملخص ١٧٠
أسئلة نهاية الفصل ١٧١
المراجع والقراءة الموصى بها ١٧٣

الفصل الخامس: التجاذبات البينية والتجميع الذاتي ١٧٥
نظرة عامة على الفصل ١٧٥
(٥,١) القوى البينية والتجمع الذاتي ١٧٥
(٥,١,١) تجاذبات أيون-أيون ١٧٨
(٥,١,٢) تجاذبات أيون-ثنائي القطب ١٨٠
(٥,١,٣) تجاذبات ثنائي القطب-ثنائي القطب ١٨٤
(٥,١,٤) تجاذبات تضم ثنائيات القطب المستحثة ١٨٦
(٥,١,٥) الغربلة العازلة ١٩٠
(٥,١,٦) قوى التشتت ١٩٤
(٥,١,٧) التنافر المتداخل ١٩٥
(٥,١,٨) إجمالي جهد القوى البينية ١٩٨
(٥,١,٩) الروابط الهيدروجينية ٢٠٠
(٥,١,١٠) تأثير الكارهية للماء ٢٠٢
(٥,٢) القوى الكهروستاتيكية بين الأسطح: الطبقة الكهربائية المزدوجة ٢٠٣
(٥,٢,١) الطبقة الكهربائية المزدوجة ٢٠٤
(٥,٢,٢) طول ديباي Debye ٢٠٧
(٥,٢,٣) التجاذبات بين الأسطح المشحونة في سائل ٢٠٨
(٥,٣) القوى البينية والتكتل ٢١٠
(٥,٤) نماذج بسيطة تصف الهيكل الإلكتروني ٢١٣
(٥,٤,١) تطبيقات نموذج الجسيمات في صندوق ٢١٣
(٥,٤,٢) الاقتران في الجزيئات العضوية ٢٢٠
(٥,٤,٣) التحلل اللوني ٢٢٤
(٥,٤,٤) التكتل والبنية الإلكترونية ٢٢٥
(٥,٤,٥) تجاذبات π–π المتراصة ٢٢٧
أسئلة نهاية الفصل ٢٢٩
المراجع والقراءة الموصى بها ٢٣٣

الفصل السادس: تقنيات التوصيف الإجمالية للمواد النانوية ٢٣٥
نظرة عامة على الفصل ٢٣٥
(٦,١) طرق طيفية ٢٣٥
(٦,١,١) التفاعلات بين الضوء والمادة ٢٣٧
(٦,١,٢) مطياف الأشعة فوق البنفسجية-المرئية ٢٤٣
(٦,١,٣) امتصاص فيلم نانوي للضوء المرئي ٢٤٧
(٦,١,٤) مطياف التألق الجزيئي ٢٥٠
(٦,١,٥) طرق التحليل الطيفي الاهتزازي ٢٥٤
(٦,٢) طرق تشتيت الضوء ٢٥٨
(٦,٢,١) التشتيت والامتصاص ٢٥٨
(٦,٢,٢) تشتت رايلي Rayleigh ورامان Raman ٢٦٠
(٦,٢,٣) مطيافية رامان Raman ٢٦١
(٦,٢,٤) تشتت الضوء بواسطة الجسيمات النانوية ٢٦٢
(٦,٢,٥) تحديد حجم الجسيمات باستخدام الضوء المشتت ٢٦٣
(٦,٢,٦) تشتت الضوء الديناميكي ٢٦٦
(٦,٣) مطيافية الأشعة السينية ٢٧١
(٦,٣,١) الامتصاص ٢٧١
(٦,٣,٢) التألق ٢٧٢
(٦,٣,٣) الحيود ٢٧٢
أسئلة نهاية الفصل ٢٧٤
المراجع والقراءة الموصى بها ٢٧٦

الفصل السابع: أساسيات علم نانو السطوح ٢٧٧
(٧,١) أساسيات علم السطح ٢٧٨
(٧,١,١) الطاقة السطحية للمواد الصلبة والسوائل ٢٧٨
(٧,١,٢) طاقة السطح الحرة للطبقات الأحادية الممتزة ٢٧٨

(٧,١,٣) زوايا التلامس وظاهرة الترطيب ٢٨٤
(٧,١,٤) المواد النانوية والأسطح شديدة الكراهية للماء ٢٨٦
(٧,٢) ظاهرة الامتزاز: الطبقات الأحادية ذاتية التجميع ٢٩٢
(٧,٢,١) الامتزاز البسيط متساوي درجة الحرارة ٢٩٧
(٧,٢,٢) أنواع أخرى مفيدة من الامتزاز متساوي درجة حرارة ٣٠٣
(٧,٣) كيمياء العامل السطحي النشط ٣٠٥
(٧,٣,١) تكوين المذيلات والمستحلب الدقيق ٣٠٧
(٧,٣,٢) تحديد فائض السطح: CMC ومساحة المقطع العرضي لكل جزيء ٣١١
أسئلة نهاية الفصل ٣١٦
المراجع والقراءة الموصى بها ٣٢٣

الفصل الثامن: طرق توصيف وتصوير السطح ٣٢٥
نظرة عامة على الفصل ٣٢٥
(٨,١) قياس توتر السطح: مقياس توتر السطح ٣٢٥
(٨,٢) ميزان بلورة الكوارتز الدقيق ٣٣٠
(٨,٢,١) تأثير الكهروضغطي ٣٣٠
(٨,٢,٢) مبادئ QCM ٣٣٢
(٨,٢,٣) QCM والتبديد (D) ٣٣٤
(٨,٢,٤) تجهيز QCM-D الحديث ٣٣٦
(٨,٣) قياس الإهليجية ٣٣٧
(٨,٣,١) المبادئ الأساسية لنظرية الكهرومغناطيسية والضوء المستقطب ٣٣٨
(٨,٣,٢) المبادئ الأساسية لقياس الإهليجية ٣٤٣
(٨,٣,٣) الحصول على سمك الأفلام: المعاملات البصرية (Δ) Del و (ψ) Psi ... ٣٤٦
(٨,٣,٤) مقياس الإهليجية ٣٤٨
(٨,٤) تقنيات أخرى لقياس السُمك ومعامل الانكسار ٣٥٢

(٨,٤,١) ظواهر الانعكاس في الأسطح البينية ٣٥٢
(٨,٤,٢) رنين البلازمون السطحي ٣٥٤
(٨,٤,٣) قياس التداخل ثنائي الاستقطاب (DPI) ٣٥٩
(٨,٥) طرق التنظير الطيفي الحساسة للأسطح ٣٦٦
(٨,٥,١) مطياف التوهين الانعكاسي الكلي بالأشعة تحت الحمراء ٣٦٦
(٨,٥,٢) مطيافية امتصاص الانعكاس بالأشعة تحت الحمراء ٣٦٩
(٨,٥,٣) مطيافية رامان Raman المعززة بالسطح ٣٦٩
(٨,٦) طرق الطيف غير الخطية ٣٧١
(٨,٦,١) مقدمة في البصريات اللاخطية ٣٧١
(٨,٦,٢) التوليد الثاني التوافقي ٣٧٩
(٨,٦,٣) التحليل الطيفي لتوليد التردد الكلي ٣٨٣
(٨,٧) تصوير الهياكل النانوية ٣٨٧
(٨,٧,١) التصوير الإهليجي ٣٨٧
(٨,٧,٢) طرق المجس الماسح ٣٩١
(٨,٧,٣) المجهر الإلكتروني النافذ ٤٠٠
(٨,٧,٤) المجهر البصري الماسح القريب من المجال ٤٠٥
أسئلة نهاية الفصل ٤١٢
المراجع والقراءة الموصى بها ٤١٨

الفصل التاسع: مقدمة في المواد النانوية الوظيفية ٤١٩
نظرة عامة على الفصل ٤١٩
(٩,١) الآلات النانوية ٤١٩
(٩,٢) نقل الشحنة ٤٢٢
(٩,٢,١) نموذج ماركوس Marcus لنقل الشحنة ٤٢٤
(٩,٢,٢) نظرية النطاق ٤٢٦

(٩,٢,٣) الخلايا الشمسية والثنائيات الباعثة للضوء ٤٣١
(٩,٢,٤) ترانزستور التأثير المجالي ٤٣٣
(٩,٣) نقل الإثارة ٤٣٥
(٩,٣,١) تجميعات الصبغ الوظيفية ٤٣٦
(٩,٣,٢) الاسترخاء الضوئي ٤٣٩
(٩,٣,٣) نقل الطاقة الرنيني ٤٤١
(٩,٣,٤) تكوين وخصائص الإكسيتونات ٤٤٢
(٩,٤) النقط الكمومية ٤٤٧
(٩,٤,١) الخصائص البصرية للنقط الكمومية ٤٤٨
(٩,٤,٢) تحضير النقط الكمومية ٤٤٩
(٩,٤,٣) التصوير بالنقاط الكمومية في الجسم الحي ٤٥٢
(٩,٤,٤) العلاج الضوئي الديناميكي ٤٥٥
(٩,٥) الأسلاك النانوية ٤٥٦
(٩,٥,١) التأثيرات الكمية على توصيلية الأسلاك النانوية ٤٥٧
(٩,٥,٢) نقل الإلكترون في الأسلاك النانوية ٤٥٩
(٩,٥,٣) تصنيع الأسلاك النانوية ٤٦٠
(٩,٥,٤) ملخص ٤٦١
(٩,٦) أنابيب الكربون النانوية ٤٦٣
(٩,٦,١) بنية الأنابيب النانوية الكربونية ٤٦٣
(٩,٦,٢) بعض خصائص الأنابيب النانوية ٤٦٥
(٩,٦,٣) طرق بناء الأنابيب النانوية ٤٦٦
(٩,٦,٤) آلية النمو بِحَثِّ المحفز ٤٦٨
(٩,٧) الجرافين ٤٦٩
(٩,٨) الهياكل النانوية ٤٧٢
أسئلة نهاية الفصل ٤٧٤

المراجع المستشهد بها ٤٧٥
المراجع والقراءة الموصى بها ٤٧٨

الفصل العاشر: تصنيع وخصائص وتطبيقات الأفلام الرقيقة ٤٨١
نظرة عامة على الفصل ٤٨١
(١٠,١) أفلام لانجمير-بلودجيت Langmuir-Blodgett ٤٨١
(١٠,١,١) أفلام لانجمير Langmuir ٤٨٢
(١٠,١,٢) أفلام لانجمير-بلودجيت Langmuir-Blodgett ٤٨٥
(١٠,٢) عديد الإلكتروليت ٤٨٧
(١٠,٢,١) التجميع الذاتي الإلكتروستاتيكي ٤٨٩
(١٠,٢,٢) عكس الشحنة والتغلغل ٤٩٢
(١٠,٢,٣) تكوين متعدد الطبقات ٤٩٥
(١٠,٣) تكوين وتوصيف نموذج طبقة فوسفوليبيد ثنائية ٤٩٦
(١٠,٣,١) الأغشية الدهنية السوداء ٤٩٧
(١٠,٣,٢) طبقات ثنائية دهنية صلبة مدعمة ٤٩٨
(١٠,٣,٣) طبقات ثنائية فوسفوليبدية مبطنة ببوليمر ٥٠٢
(١٠,٣,٤) استعادة التألق بعد التبييض الضوئي ٥٠٣
(١٠,٣,٥) نقل طاقة طنين التألق ٥٠٥
(١٠,٣,٦) الفحص المجهري لتداخل التباين التألقي ٥٠٦
(١٠,٣,٧) تكوين طبقة ثنائية من الدهون بمساعدة المذيبات ٥٠٧
(١٠,٤) الطبقات الأحادية ذاتية التجميع ٥٠٨
(١٠,٤,١) الثيول على الذهب ٥٠٩
(١٠,٤,٢) سيلانات على الزجاج ٥١٠
(١٠,٥) أفلام قطبية غير متبلورة ٥١٢
(١٠,٥,١) طلاء بالدوران ٥١٢

(١٠,٥,٢) التقطيب (التدعيم بالأعمدة) ٥١٤
(١٠,٦) الزخرفة ٥١٥
(١٠,٦,١) الطباعة بالحزمة الضوئية والإلكترونية ٥١٦
(١٠,٦,٢) الطباعة اللينة ٥١٨
(١٠,٦,٣) الطباعة بالكرات النانوية ٥١٩
(١٠,٦,٤) الطباعة باستخدام AFM ٥٢٠
(١٠,٦,٥) ملخص ٥٢٣
(١٠,٧) المصفوفات الدقيقة للحمض النووي والليبد ٥٢٣
(١٠,٧,١) استخدام المصفوفات الدقيقة للحمض النووي ٥٢٤
(١٠,٧,٢) تصنيع المصفوفة ٥٢٥
(١٠,٧,٣) تحسين المصفوفات الدقيقة للحمض النووي ٥٢٧
(١٠,٧,٤) تطبيقات المصفوفات الدقيقة للحمض النووي ٥٢٨
(١٠,٧,٥) مصفوفات الطبقات الثنائية ومنصات ميكروفلويديك المدعمة ٥٢٩
(١٠,٧,٦) ملخص ٥٣٣
(١٠,٨) الضوئيات المهجنة النانوية ٥٣٣
(١٠,٨,١) التأثير الكهربائي البصري ٥٣٤
(١٠,٨,٢) البصريات الكهربائية الهجينة العضوية وغير العضوية ٥٣٥
أسئلة نهاية الفصل ٥٣٧
المراجع المستشهد بها ٥٣٩
المراجع والقراءة الموصى بها ٥٤٢

مسرد المصطلحات ٥٤٥
ثبت المصطلحات ٥٧٣
كشاف الموضوعات ٥٨٣