LECTURES ON THE
Nanophysics

محاضرات حول فيزياء النانو

For Third Year Physics
Education College of Pure Science
Mosul University

للسنة الثالثة، قسم الفيزياء
كلية التربية للعلوم الصرفة
جامعة الموصل

By

م. حلا نزار محمد

المفاهيم الأساسية وتاريخ النانو

س1: ما هو التعريف العلمي الدقيق لتقنية النانو؟

ج: تقنية النانو هي مجال علمي وتقني يهتم بدراسة وتصميم وتحضير المواد والأجهزة ذات الأبعاد ما بين 1 إلى 100 نانومتر. عند هذا المقياس، تظهر المواد خصائص فيزيائية وكيميائية جديدة تختلف تماماً عن خصائصها في الحجم العادي (الحجم المايكروي) بسبب هيمنة (سيطرة) تأثيرات ميكانيك الكم.

س2: ما هو المقياس الحقيقي للنانومتر؟

ج: النانومتر هو جزء من البليون من المتر ($1\ nm=10^{-9}\ m$). لتقريب هذا المقياس:

- قطر شعرة الإنسان ≈ 75,000 نانومتر.
- قطر ذرة الهيدروجين ≈ 0.1 نانومتر.
- قطر خلية الدم الحمراء ≈ 2,000 نانومتر.
- قطر 10 ذرات هيدروجين مرصوصة طولياً ≈ 1 نانومتر.

س3: لماذا تختلف خصائص المواد عند مستوى النانو؟

ج: بسبب عاملين رئيسيين:

- **تأثيرات ميكانيك الكم** :حيث تصبح الظواهر الكمومية مثل الحصر الكمومي والنفق الكمومي هي المسيطرة.
- **زيادة المساحة السطحية** :حيث تصل نسبة الذرات السطحية إلى 90% في الجسيمات النانوية مقارنة بأقل من 1% في المواد العادية.

1) الحصر الكمي (Quantum Confinement)

التعريف المبسط:

الحصر الكمي هو ظاهرة تحدث عندما تُحصر الجسيمات (مثل الإلكترونات) في بعد واحد أو اثنين أو ثلاثة أبعاد على مقياس نانوي (صغير جداً، بحجم النانو متر)، مما يؤدي إلى تغيير خواصها الإلكترونية والبصرية بشكل جذري.

التشبيه التوضيحي (المستحيل في عالمنا الكلاسيكي):

تخيل إلكترونًا ككرة حرة تتحرك في حوض كبير (مادة كبيرة الحجم). يمكنها التحرك في أي اتجاه وبأي سرعة (طاقة). الآن، ضع هذه الكرة في أنبوب ضيق (حصر في بعدين) أو في صندوق صغير جدًا (حصر في ثلاثة أبعاد). حركة الكرة ستُقيد بشدة، ولن تتمكن من التحرك بحرية كما كانت.

ما الذي يحدث على المستوى الكمي؟

- في المواد الكبيرة، تمتلك الإلكترونات طيفًا مستمرًا من الطاقة (أي يمكنها أن تأخذ أي قيمة للطاقة).
- عند الحصر في مساحة صغيرة جدًا (أصغر من "طول موجة" الإلكترون)، يتغير طيف الطاقة من مستمر إلى متقطع. أي أن الإلكترون لا يمكنه إلا أن يكون في مستويات طاقة محددة ومعينة، مثل درجات السلم (لا يمكنك الوقوع بين درجة وأخرى).

النتائج والتطبيقات العملية:

- **النقاط الكمومية (Quantum Dots):** أشهر مثال على الحصر الكمي ثلاثي الأبعاد. بحسب حجم النقطة الكمومية، تبعث ألوانًا مختلفة من الضوء. (النقطة الأصغر تبعث ضوء أزرق ذو طاقة أعلى، والنقطة الأكبر تبعث ضوء أحمر ذو طاقة أقل).
- **تغيير الخصائص:** يمكن للعلماء التحكم في الخصائص البصرية والكهربائية للمادة ببساطة عن طريق تغيير حجمها.
- **الخلاصة:** الحصر الكمي هو تأثير الحجم على سلوك الجسيمات دون الذرية، حيث يؤدي تقييد حركتها في حيز صغير إلى تغيير طاقاتها وخصائصها.

2) النفق الكمومي (Quantum Tunneling)

التعريف المبسط:

النفق الكمومي هو ظاهرة يمكن فيها لجسيم كمي (كالإلكترون) أن يعبر حاجزًا من الطاقة من الناحية النظرية لا يستطيع تخطيه وفقًا لقوانين الفيزياء الكلاسيكية.

التشبيه التوضيحي (المستحيل في عالمنا الكلاسيكي):

تخيل أنك تقذف كرة نحو جبل. إذا لم تمنحها طاقة كافية لتتخطى قمة الجبل، فإنها سترتد. هذا هو السلوك الكلاسيكي.

في العالم الكمومي، هناك احتمالية (ليست يقينية) أن تظهر الكرة على الجانب الآخر من الجبل دون أن تعبر القمة أبدًا، وكأنها مرت عبر "نفق" فيه. هذا هو النفق الكمومي.

ما الذي يحدث على المستوى الكمي؟

وفقًا لميكانيكا الكم، لا يمكننا تحديد موقع وسرعة الإلكترون بدقة، بل يتم وصفه بـ دالة موجية تمثل احتمالية وجوده في مكان ما.

عندما يصطدم هذا الإلكترون بحاجز طاقة، لا تنتهي دالته الموجية فجأة عند الحاجز، بل تتناقص بشكل حاد داخل الحاجز لكنها لا تصل إلى الصفر.

إذا كان الحاجز رقيقًا بدرجة كافية، فإن هناك احتمالية غير صفرية لوجود الإلكترون (أو "اختراق" دالته الموجية) على الجانب الآخر من الحاجز، وبالتالي يظهر هناك.

النتائج والتطبيقات العملية:

الاندماج النووي في النجوم: تمكن البروتونات من الاندماج في قلب الشمس بسبب النفق الكمومي، وإلا لما كانت ستتمكن من التغلب على تنافرها الكهرومغناطيسي.

المجهر الماسح النفقي (STM): يعمل على مبدأ النفق الكمومي لمسح أسطح المواد بدقة ذرية.

الديودات النفقية (Tunnel Diodes): مكونات إلكترونية تستخدم في التطبيقات عالية السرعة.

ذاكرة الفلاش (Flash Memory): تعتمد على ظاهرة النفق الكمومي لشحن وتفريغ الإلكترونات في خلايا الذاكرة.

الخلاصة: النفق الكمومي هو تأثير احتمالي بحت يسمح للجسيمات الكمومية بـ "اختراق" حواجز الطاقة المستحيلة في الفيزياء الكلاسيكية.

.4س: ما هي أقدم الأمثلة التاريخية لتطبيقات النانو؟
ج: يعود تاريخ تطبيقات النانو إلى:

- القرن الرابع الميلادي: كأس ليكورغوس الروماني الذي يحتوي على جسيمات ذهب وفضة نانوية
- العصور الوسطى: استخدام جسيمات الذهب النانوية في تلوين الزجاج
- القرن الثامن عشر: استخدام الأفلام ذات الجسيمات الذهبية النانوية في التصوير

.5س: متى ظهر مصطلح "تقنية النانو" رسمياً؟
ج: عام 1974 على يد البروفيسور نوريو تانيغوتشي في ورقته العلمية التي عرف فيها التقنية بأنها "ترتكز على عمليات فصل، اندماج، وإعادة تشكيل المواد بواسطة ذرة واحدة أو جزيء"

.6س: ما أهمية محاضرة ريتشارد فاينمان عام 1959؟
ج: في محاضرته "هناك مساحة واسعة في الأسفل"، تنبأ فاينمان بأن:

- المادة عند المستويات النانوية تتصرف بشكل مختلف
- يمكن تطوير طرق للتحكم بالذرات والجزيئاتindividually
- البحوث في هذا المجال ستغير الحياة البشرية جذرياً

.7س: ما هو دور مركز تقييم التقنية العالمي الأمريكي(WTEC) ؟
ج: قام خلال 1996-1998 بدراسة تقويمية شاملة لأبحاث النانو وأهميتها في الإبداع التقني، وخلص إلى أن تقنية النانو مستقبل حظي في جميع المجالات الطبية والعسكرية والمعلوماتية.

.8س: ما هي التوقعات المبكرة لأهمية تقنية النانو؟
ج: أشارت الدراسات المبكرة إلى أن تقنية النانو:

- متعددة الخلفيات وتجمع بين الفيزياء والكيمياء والهندسة والأحياء
- تتطلب تواصل بين الباحثين في تخصصات مختلفة
- تحتاج دعم من المدراء الفنيين والممولين

.9س: كيف تطور الاهتمام العالمي بتقنية النانو؟
ج: من خلال:

- مبادرة التقنية النانوية الوطنية الأمريكية (NNI) عام 2000
- إنشاء مراكز متخصصة في اليابان عام 2002
- استثمارات ضخمة من كوريا والصين
- تخصيص مليارات الدولارات للبحوث

.10س: ما هو حجم الاستثمار العالمي في تقنية النانو عام 2003؟
ج: بلغ الاستثمار العالمي حوالي 4 مليارات دولار، مع تخصيص 849 مليون دولار من الولايات المتحدة وحدها.

المواد والهياكل النانوية الأساسية

.11س: ما هي النقاط الكمومية(Quantum Dots) ؟
ج: هي بلورات شبه موصلة نانوية ثلاثية الأبعاد (2-10 نانومتر) تتميز بـ:

- حصر الإلكترونات في مستويات طاقة مكممة
- اعتماد لون الضوء المنبعث على حجمها وليس مادتها
- استخداماتها في الشاشات والتصوير الطبي والخلايا الشمسية

.12س: ما هي أنابيب الكربون النانوية؟
ج: اكتشفها البروفيسور سوميو ليجيما عام 1991، وهي:

- أنابيب أسطوانية مجوفة من شرائح الجرافيت
- أقوى من الفولاذ بـ 100 مرة وأخف وزناً
- موصلة ممتازة للكهرباء والحرارة
- قطرها بين 1-100 نانومتر وطولها يصل إلى 50000 نانومتر

.13س: ما هو الجرافين؟
ج: هو طبقة واحدة من ذرات الكربون مرتبطة في شكل سداسي:

- أقوى مادة معروفة على الإطلاق
- مرن للغاية وشفاف
- موصل فائق للكهرباء والحرارة
- أساس لأنابيب الكربون النانوية

.14س: ما هي الجسيمات النانوية؟
ج: هي تجمعات ذرية أو جزيئية:

- عدد ذراتها من بضعة ذرات إلى مليون ذرة
- نصف قطرها أقل من 100 نانومتر
- 25%من ذراتها على السطح عند قطر 10 نانومتر
- تختلف خصائصها حسب الحجم

.15س: ما هي الفولورينات؟
ج: هي جزيئات كربونية:

- أشهرها C60 المكون من 60 ذرة كربون
- شكلها كروي يشبه كرة القدم
- اكتشفت عام 1985
- حصل مكتشفوها على جائزة نوبل في الكيمياء

.16س: ما هي الكرات النانوية؟
ج: هي هياكل كربونية:

- متعددة القشرة وخاوية المركز

- تشبه البصل في تركيبها
- قطرها يصل إلى 500 نانومتر
- تنتمي لعائلة الفولورينات

17.س: ما هي الأسلاك النانوية؟
ج: هي أسلاك:

- قطرها أقل من نانومتر واحد
- نسبة الطول إلى العرض تتجاوز 1000 مرة
- إلكتروناتها محصورة كمياً
- تستخدم في الإلكترونيات الدقيقة

18.س: ما هي الألياف النانوية؟
ج: هي ألياف:

- ذات نسبة مساحة سطح إلى حجم عالية
- خصائص ميكانيكية مميزة (صلابة وقوة شد(
- تستخدم كمرشحات وفي الطب الحيوي
- تحضر بطريقة الغزل الكهربائي

19.س: ما هي المركبات النانوية؟
ج: هي مواد:

- تضاف لها جسيمات نانوية خلال التصنيع
- تظهر تحسناً كبيراً في الخواص
- نسبة الإضافة 0.5% إلى 5% فقط
- تحسن التوصيلية الكهربائية والحرارية

20.س: ما هي العوائق أو الفيرويدات؟
ج: هي جسيمات نانوية:

- تنتج بالفصل أو التحلل الحراري
- درست بالرنين البارامغناطيسي الإلكتروني
- أساس تطور السوائل المغناطيسية

الظواهر الفيزيائية في النانو

21.س: ما هو الحصر الكمومي؟
ج: هو ظاهرة:

- حصر الإلكترونات في حيز صغير جداً
- تكميم مستويات الطاقة (تصبح منفصلة(
- تغير الخصائص الإلكترونية والبصرية
- أساس عمل النقاط الكمومية

22.س: ما هو النفق الكمومي؟
ج: هو قدرة الإلكترونات على:

- "تسرب" عبر حواجز طاقة مستحيلة في الفيزياء الكلاسيكية
- أساس عمل المجهر النفقي الماسح
- يستخدم في تحريك الذراتindividually

23.س: ما هي البلازمونات السطحية؟
ج: هي:

- اهتزازات جماعية للإلكترونات على سطح المعادن النانوية
- تركيز الضوء في مساحات أصغر من طوله الموجي
- تستخدم في مجاهر فائقة الدقة ومجسات حيوية

24.س: ما تأثير زيادة المساحة السطحية؟
ج: يؤدي إلى:

- زيادة النشاط الكيميائي للذرات السطحية
- تحسين الخواص الحفزية
- تغير في الخواص الميكانيكية
- زيادة التفاعلية مع المحيط

25.س: كيف تتغير قوى الجاذبية عند مستوى النانو؟
ج: تصبح:

- أقل أهمية مقارنة بالقوى السطحية
- قوى فان دير فالز أكثر هيمنة
- القوى الكهروستاتيكية أكثر تأثيراً
- قوى التوتر السطحي مسيطرة

26.س: ما هو التأثير الكمي في التوصيلية؟
ج: هو:

- تكميم قيمة التوصيلية في الأسلاك النانوية
- أخذ قيم محددة تساوي مضاعفاتquantum conductance
- قيمة تقريبية 12.9 كيلو أوم$^{-1}$
- ناتج عن الحصر الكمومي

27.س: كيف تتغير الخصائص البصرية عند مستوى النانو؟
ج: من خلال:

- اعتماد اللون على حجم الجسيمات
- ظهور ألوان مختلفة لنفس المادة
- تغير في امتصاص وانبعاث الضوء
- ظواهر مثل fluorescence متغيرة

28.س: ما هو تأثير الحجم على الخواص الميكانيكية؟
ج: يؤدي إلى:

- زيادة الصلادة في بعض المواد
- تغير في قابلية الطرق والسحب
- تحسن في مقاومة الكسر
- تغير في الخواص المرنة

29.س: كيف تؤثر الأبعاد النانوية على الخواص الإلكترونية؟
ج: من خلال:

- تغير التركيب الإلكتروني للمادة
- تعديل التوصيلية الكهربائية
- تغير درجة الانصهار
- تعديل الخواص الحرارية

30.س: ما هي الأعداد السحرية في الجسيمات النانوية؟
ج: هي:

- أعداد محددة من الذرات تكون فيها الجسيمات مستقرة
- تظهر في دراسة أطياف الكتلة
- خاصة بكل مادة
- تحدد الأحجام المفضلة للتكوين

التطبيقات الطبية

31.س: كيف تستخدم تقنية النانو في علاج السرطان؟
ج: عن طريق:

- جسيمات ذهب نانوية تلتصق بالخلايا السرطانية وتسخن بتأثير الليزر
- نقاط كمومية تتجمع في الخلايا السرطانية وتضيء لتحديد موقعها
- حاملات دواء نانوية تستهدف خلايا محددة

32.س: ما هي المجسات الحيوية النانوية؟
ج: هي أسلاك نانوية:

- تطلى بأجسام مضادة محددة
- ترتبط بجزيئات حيوية مستهدفةDNA) ، بروتينات(
- يتغير توصيلها الكهربائي عند الارتباط
- تستخدم لاكتشاف الأمراض في مراحلها الأولى

33.س: كيف تعمل المولدات النانوية الحيوية؟
ج: هي أجهزة كهروكيميائية نانوية:

- تولد طاقة كهربائية من جلوكوز الدم
- تشغل أجهزة نانوية مزروعة في الجسم
- تستخدم في أجهزة ضبط النبض وروبوتات قياس السكر

34.س: ما هي تطبيقات النانو في هندسة الأنسجة؟
ج: تشمل:

- زراعة خلايا حية أو مركبات طبيعية في الجسم
- كبسولات سليكون نانوية تحجب النظام المناعي
- أغشية نانوية في شبكية العين لتحسين البصر
- أعضاء نانوية بديلة للعظام والعضلات والمفاصل

35.س: كيف تستخدم الألياف النانوية في الطب؟
ج: في:

- زراعة الأجهزة الترقيمية في الجهاز العصبي
- علاج الحروق والجروح
- صناعة المستحضرات التجميلية
- هندسة الأنسجة الحية

36.س: ما هي تطبيقات النقاط الكمومية في الطب؟
ج: تشمل:

- التصوير الطبي بتحديد مواقع الخلايا المستهدفة
- تسليط الضوء على الخلايا السرطانية
- متابعة توزيع الأدوية في الجسم
- دراسات بيولوجية خلوية

37.س: كيف تعمل حاملات الدواء النانوية؟
ج: عن طريق:

- توصيل الدواء مباشرة إلى الخلايا المستهدفة
- تقليل الآثار الجانبية
- زيادة فعالية العلاج
- تحرير الدواء بشكل مسيطر عليه

38.س: ما هي استخدامات الجسيمات النانوية في تنقية الدم؟
ج: مثل:

- جسيمات عناصر أرضية نادرة لإزالة الفوسفات
- علاج مرضى فرط الفوسفاتية في الدم
- إزالة السموم من الدم
- تنظيم تركيز المواد في البلازما