

ОРИГІНАЛЬНА СТАТТЯ

УДК 541.182.024:530.145.61

**ЗАСТОСУВАННЯ НАНОМАТЕРІАЛІВ У МЕДИЦИНІ
ТА ФАРМАЦІЇ: ПОГЛЯД З ПОЗИЦІЙ КЛАСИЧНОЇ
ТА КВАНТОВОЇ ФІЗИКИ**

Комарова Тетяна Михайлівна,
e-mail: lmts1@mail.ru

Комарова Т.М., Стучинська Н.В., Чекман І.С.

Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м. Київ, Україна

Резюме. Наукову галузь, яка досліджує закономірності фізико-хімічних процесів у об'єктах нанометрових розмірів з метою створення матеріалів та пристроїв зі специфічними фізичними, хімічними та біологічними властивостями називають нанотехнологією, а матеріали, створені за допомогою нанотехнологій – наноматеріалами. До наноматеріалів відносять об'єкти, один з характерних розмірів яких лежить в інтервалі від 0,1 нм до 100 нм. Нанометровий діапазон розмірів відкриває нові властивості речовини і потребує принципово нових підходів до їхнього вивчення. Справа в тому, що фізичні та хімічні властивості наноматеріалів значно відрізняються від властивостей вільних атомів або молекул, а також від властивостей об'ємних речовин, що складаються з цих же атомів або молекул. Нині в дослідженні наноматеріалів накопичено значний теоретичний та практичний досвід, що й зумовило формування науки про наноматеріали як окремої міждисциплінарної області з численними розгалуженнями та застосуваннями. Можна стверджувати, що ніде так тісно не переплітаються фізика, хімія, біологія, медицина, як у дослідженні об'єктів нанометрових розмірів.

Ключові слова: наноматеріали, нанотехнології, хвильові властивості, тунелювання, фармація, фізика.

На початку ХХ століття стало зрозуміло, що класична механіка не в змозі дати адекватний опис законам взаємодії мікрочастинок, які рухаються в надзвичайно малому об'ємі. Потреба у встановленні таких законів зумовила появу “нової” фізики, яка одержала назву квантової.

Квантова механіка – фундаментальна фізична теорія, яка є теорією атомних явищ, вивчає закономірності мікросвіту і встановлює закони руху елементарних частинок, атомних ядер, атомів, молекул та їх сукупностей [2]. Закони квантової механіки також дали змогу з'ясувати будову атомів і атомних ядер, природу хімічного зв'язку, пояснити періодичну систему елементів; вони є основою для вивчення і макроскопічних тіл як системи взаємодіючих частинок (метали, діелектрики, на-півпровідники, квантові рідини, плазма). Квантова механіка пояснює такі основні явища довколишнього світу: 1. Наявність корпускулярно-хвильового дуалізму у речовинах, тобто існування хвильових та корпускулярних властивостей в усіх навколишніх предметах. 2. Наявність змішаних квантових станів

у матеріалах. 3. Квантування деяких фізичних явищ. Прикладами квантових параметрів є момент імпульсу, повна енергія обмеженої у просторі системи, а також енергія електромагнітного випромінювання певної частоти [7]. Лише квантова механіка змогла дати пояснення таким явищам, як феромагнетизм, надплинність, надпровідність. Провідною є роль квантової механіки також і у розумінні властивостей наноматеріалів

Перехід від класичних уявлень до квантових вимагає від людини певної психологічної перебудови, адже багато понять, які міцно усталені в класичному світі, не можна застосовувати у світі квантовому. Наприклад, в класичній фізиці положення тіла цілком однозначно задається в тривимірному просторі, а для опису його руху (тобто зміни положення з часом) використовується поняття траєкторії. При цьому, яким би складним не був рух тіла в класичній механіці (рівномірним, обертальним, кочивальним, чи комбінацією цих видів руху), знаючи рівняння його траєкторії, завжди можливо передбачити положен-

ня тіла в наступний момент часу. Причому, коли говорять, що тіло рухається вздовж деякої траєкторії, висувають припущення, що воно не може здійснювати переміщення у просторі яким-небудь іншим чином в один і той самий момент часу (автомобіль або літак не здатні рухатися одночасно у двох напрямках). На відміну від цього, у квантовій фізиці користуватися поняттям єдино можливої траєкторії частинки не є можливим взагалі, оскільки закони квантової механіки мають ймовірнісний характер, що не дозволяє однозначно і точно описувати рух частинок у мікросвіті. В класичній фізиці все елементарно і зрозуміло – якщо кинути камінь (частинку) у воду, то на поверхні води з'являються хвилі. Квантова механіка ж стверджує, що сам квантовий об'єкт одночасно здатен мати хвильові та корпускулярні властивості. Без використання квантової механіки не можливо зрозуміти як окремі атоми комбінуються між собою й формують молекули конкретних хімічних сполук, як утворюються наночастинки, мікро- та макроструктури.

Нанофізика, використовуючи апарат квантової фізики, охоплює великий розділ науки, де дотикаються різні розділи фізики, хімії, фармакології і навіть біології. Дійсно, чимало біологічних структур є нанорозмірними, наприклад, біологічна мембрана має товщину (5–10) нм, подвійна спіраль ДНК має діаметр близько 2 нм, а рибосоми – 25 нм. Сучасні фахівці у галузі медицини та фармації повинні мати уявлення про розвиток нанонауки, її основні закони та закономірності, напрямки розвитку.

У останні десятиліття нанофізика стала ареною активних досліджень [1, 3-7, 9-19]. Це обумовлено насамперед тим, що наноструктури мають великий потенціал для практичного застосування. На сьогодні розроблені такі молекулярні технології, які дають змогу створювати структуру матеріалу поатомно (атом за атомом) і очікуються подальші великі "прориви" у технологіях створення наноматеріалів. Найяскравішим прикладом може бути **графен** – одна з алотропних форм вуглецю, окремий моноатомний шар у структурі графіту. Відокремити атомарний шар від кристала графіту уперше вдалося А. Гейму та К. Новосьолову (Манчестерський університет), за що вони були нагороджені *Нобелівською премією з фізики у 2010 році*. Атоми вуглецю утворюють стільникову (гексагональну) структуру з міжатомною відстанню 0,142 нм. Основною особливістю чистого графена – двовимірної модифікації вуглецю – є відсутність у ньому забороненої зони, ширина якої дорівнює нулю. На основі графену вже створено надчутливі сенсори (здатні виявляти присутність одного електрона), біосенсори, мініатюрні конденсатори високої ємності, швидкодійні елементи енергонезалежної пам'яті нового покоління, модулятори випромінювання, прозорі сенсорні екрани з діагоналлю понад 80 см. Обнадійливими є перші спроби застосування графену в медицині, зокрема, при лікуванні пухлин [17], виготовленні контактних лінз, очистці води. Фірмою IBM створено польові транзистори на основі графену зі швидкодією в 100 ГГц.

Великий інтерес до дослідження матеріалів у нанорозмірному стані зумовлений тим, що фізичні, хімічні та біологічні властивості речовин істотно змінюються, коли їх

складові елементи зменшуються до нанометрових розмірів (саме завдяки їх величині, формі, хімічним властивостям поверхні й топології). Наприклад, шестинанометрові гранули міді мають у п'ять разів вищу твердість, ніж звичайна мідь; напівпровідник селенід кадмію CdSe може набувати різного забарвлення залежно від розмірів його наногранул. Очевидно, що при цьому в CdSe змінюється ширина забороненої зони. Отже, властивості малих частинок речовини істотно відрізняються від властивостей масивного матеріалу. Для деяких властивостей нанорозмірних об'єктів природа їх матеріалу може бути другорядною порівняно з їх формою (квантова точка, сферичний кластер, трубка, дріт або моношар) і залежить від топологічної розмірності: наприклад, 0D – квантова точка; 1D – дріт, нитка; 2D – плоский моно- чи бiшар, такою структурою є біологічні мембрани, а також вищезгаданий графен; 3D – тривимірна струкура; фрактальна структура.

Спробуємо проаналізувати головні причини відмінностей властивостей наноматеріалів від звичайних, виокремивши два типи ефектів: ті, що описуються законами класичної фізики і такі, що підпорядковуються законам квантової фізики. Насамперед йдеться про так звані розмірні ефекти, під якими розуміємо комплекс явищ, пов'язаних зі зміною властивостей речовини внаслідок безпосередньої зміни розміру частинок; внеску меж поділу у властивості системи; сумірності розміру частинок з фізичними параметрами, що мають розмірність довжини [9].

Прояв класичних розмірних ефектів. Важлива особливість наноматеріалів полягає в тому, що в таких речовинах дуже велике значення коефіцієнта відношення кількості атомів на поверхні до кількості атомів в об'ємі. Скориставшись відомими з шкільного курсу фізики формулами, оцінимо такий коефіцієнт для кристалів з кубічною кристалічною ґраткою, наприклад, срібла чи міді. Для простоти міркувань, будемо вважати, що кристали маю форму куба зі стороною a . Так, за розміру зерна $a=10-100$ нм відношення кількості атомів на поверхні до їхньої кількості у об'ємі нанокристалічного твердого тіла становить приблизно 50 %. Для зерна діаметром $a=0,1$ мм це відношення має значення порядку 0,05%. Очевидно, чим менший розмір нано об'єкта, тим більшим є вплив поверхневих ефектів на властивості речовини. У граничному випадку можна розглядати найпростішу модель, у якій один атом оточений 12 атомами-сусідами (ми виходимо з того, що 12 – максимальне координаційне число). Очевидно, що всього у такому об'єкті утримується 13 атомів. У такому випадку відсоткове відношення кількості атомів на поверхні (12) до кількості атомів в об'ємі (13) дорівнює 92 %. Таким чином, змінюючи розміри і форми нанокластерів, можна цілеспрямовано посилювати роль поверхневих ефектів у наноматеріалах.

При зменшенні розмірів істотно змінюється і структурний стан самого зерна нанокластера. Як відомо типовими для монокристалів і великих (понад 100 мкм) кристаліків у полікристалах є дефекти кристалічної структури: дислокації (які зазвичай мають густину близько 10^4 см⁻²), а також вакансії і дефекти пакування (з густо-

ною порядку 10^6 – 10^{10} см⁻³). У наноматеріалі такі дефекти не можуть утримуватись усередині зерна і часто виходять на поверхню, перетворюючи структуру зерна у майже бездефектну. Таким чином, хоча зерна нанометрових розмірів і можуть мати різні дефекти, наприклад, вакансії або їхні комплекси, дисклінації та дислокації, але кількість і розподіл їх якісно інший, ніж у великих зернах (розміром 5–10 мкм і більше).

Ще однією причиною унікальних особливостей наноматеріалів є та, що поверхневі атоми мають надлишок вільної енергії [14]. Якщо нанодисперсна система складається з частинок з середнім розміром 10 нм, то поверхнева енергія наближається до ентальпії плавлення багатьох металів. Надлишкова вільна енергія забезпечує високу хімічну активність структур, отже наночастинки діють як своєрідний хімічний каталізатор.

Експериментальні дані свідчать, що наночастинки мають тенденцію до накопичення на межі розділу фаз газ-рідина: концентрація наночастинок на/біля поверхні рідина-газ буде вищою, ніж у середині краплі [18]. Ця особливість може бути використана задля підвищення ефективності лікарських препаратів і має широкі перспективи для використання у фармації.

Фізико-хімічні властивості речовин у нанорозмірному стані змінюються також і через дію на них поверхневого тиску [14], тут йдеться про додатковий тиск, обернено пропорційний розмірові частинок, що зумовлює збільшення енергії Гібса та підвищення тиску насиченої пари на поверхні наночастинок й, як наслідок, зміну температур кипіння рідкої фази і плавлення твердої.

Таким чином, основні прояви класичних розмірних ефектів – це зміна параметрів решітки, зростання роді поверхневих ефектів, температури плавлення, поверхневого натягу.

Квантові розмірні ефекти. Квантово-механічна поведінка нано систем контролюється їхніми малими розмірами, хоча б один із яких має бути близькими до довжини хвилі де Бройля для електрона в цій речовині.

Згідно з гіпотезою де Бройля, не тільки світло, а й будь-яка рухома матеріальна частинка або тіло мають як корпускулярні, так і хвильові властивості і можуть бути охарактеризовані довжиною хвилі, яка пов'язана з швидкістю руху v та масою частинки m

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mE}},$$

де $h=6,67 \times 10^{-34}$ Дж·с – стала Планка.

Намагаючись провести розрахунки довжини хвилі де Бройля для електронів у різних речовинах, слід використувати не значення маси вільного електрона m_0 , а його ефективну масу, яка залежить від природи речовини. Для металів ефективна маса електронів близька до маси вільних електронів m_0 , їхня кінетична енергія E складає декілька електронвольт, а довжина хвилі де Бройля буде дорівнювати 0,1–1,0 нм (тобто прояв квантових ефектів може спостерігатися лише для дуже малих кристалів або в дуже тонких плівках). Для напівметалів (вісмут) і напівпровідників, що відзначаються невеликими значеннями ефективної маси ($m^* \sim 0,01 m_0$) та енергії носіїв ($E \approx 0,1$ eV), зна-

чення хвилі де Бройля λ_d буде наближатися до 100 нм. Таким чином, саме у напівпровідниках технологічно легше створити умови для прояву квантоворозмірних ефектів.

Електронні властивості наноструктур, зумовлені квантовими ефектами, стають тим суттєвішими, чим меншими є розміри частинок, які в цьому випадку починають підпорядковуватись законам квантової механіки. Істотних змін зазнає структура енергетичних рівнів. В масивному матеріалі енергетичний спектр кристала складається з декількох смуг, які називають енергетичними зонами, кожна з яких виникає внаслідок розщеплення енергетичних рівнів окремих атомів внаслідок їхньої взаємодії. В процесі розщеплення беруть в основному участь валентні електрони. Через надзвичайно велику кількість атомів, енергія кристала у межах кожної зони змінюється практично неперервно. Сусідні енергетичні зони можуть бути розділеними проміжками скінченної ширини, які називають забороненими зонами. На противагу цьому, в обмежених системах з відносно невеликою кількістю атомів проявляється дискретність енергетичних рівнів.

Хвиля, що відповідає вільному електрону в твердому тілі значних розмірів, може безперешкодно поширюватися у будь-якому напрямку. Проте ситуація кардинально змінюється, коли електрон потрапляє у тверде тіло, розмір якого (принаймні в одному напрямку) обмежений і порівнюється з довжиною електронної хвилі. Розглянемо для прикладу 0D – об'єкт, квантову точку. В середині квантової точки потенціальна енергія електрона нижча, ніж за її межами, таким чином рух електрона обмежений у всіх просторових напрямках. Зазвичай квантові точки мають розмір від 2 нм до декількох десятків нанометрів. Як зазначалося вище, граничні розміри квантової точки обумовлюються значеннями ефективної маси електрона у даній речовині. Наприклад, для системи *InAs–AlGaAs* мінімальний розмір складає 4 нм, а максимальний не повинен перевищувати 30 нм. Тобто квантові точки мають 10–50 атомів у діаметрі і містять від 100 до 1000 електронів. В такій системі електрон поводить себе як у тривимірній потенціальній ямі. Електронний спектр квантової точки являє собою набір дискретних енергетичних рівнів, що формально відповідає електронному спектру окремого атома, тому стосовно них вживають термін “штучні атоми”. Важливим є те, що на відміну від справжніх атомів, частотами переходів між енергетичними рівнями квантової точки легко керувати, змінюючи її розміри або навіть лише форму. Така особливість дає змогу проектувати системи і пристрої, які по суті є видом фізичних макромолекул з повністю налагоджуваними властивостями. Історично першими квантовими точками, були мікрочастинки селеніду кадмію *CdSe*.

Перехід до наноструктур від крупнокристалічних напівпровідників супроводжується збільшенням ширини забороненої зони: нижній дозволений рівень енергії в зоні провідності збільшується, а верхній енергетичний рівень у валентній зоні понижується. Наприклад, для звичайного гребозернистого селеніду кадмію ширина забо-

роненої зони *CdSe* становить 1,8 eV, а для наночастинок розміром 3,0-3,5 і 1,0-1,2 нм вона збільшується до 2,3 і 3,0 eV [9]. Коли речовину беруть у достатньо малих кількостях, її навіть не можна однозначно вважати ізолятором, провідником або напівпровідником. Наприклад, прості хімічні елементи – метали, взяті у кількості 20, 50 і 100 атомів, будуть послідовно проходити стадію ізолятора, напівпровідника й провідника відповідно. Це зумовлює модифікацію цілої низки фізичних властивостей. Також у забороненій зоні на поверхні з'являються нові електронні рівні через наявність незаповнених валентностей. Окремим проявом зміни таких властивостей може бути зміна кольору, яка спостерігається, наприклад, для міді та золота при зміні розмірів наночастинок.

За умови, що розмір нанооб'єкту досягає певної критичної величини (яка, як зазначалося раніше, співмірна з довжиною хвилі де Бройля) на перше місце виходять квантові ефекти, які ініціюються не лише дискретністю енергетичних рівнів, а й появою квантової інтерференції і тунельних ефектів. Тунелювання є суто квантовомеханічним ефектом, в класичній фізиці йому аналогів немає. Ефект базується на корпускулярно-хвильовому дуалізмі – подвійній природі елементарних частинок. З боку класичної механіки зрозуміло, що жодне тіло, яке має енергію E , не може подолати бар'єр висотою H_0 , якщо $H_0 > E$. Наочну аналогію з механічними уявленнями наводить автор у роботі [15]. Наприклад, якщо м'яч розглядати як тіло, а за бар'єр взяти дуже високий бетонний паркан, то зрозуміло, що якщо м'яч кинути у бік паркану недостатньо високо – так, що його енергії не вистачить на переліт даного бар'єру, то він відскочить, вдарившись об перешкоду. Але електрон, власна енергія якого нижча, ніж висота бар'єру з певною ймовірністю може долати цей бар'єр і виявитися з іншої сторони, при цьому енергія електрона лише трохи зміниться, тобто складається враження наче у “паркані” виявився тунель. Тунелювання є наслідком того, що для електрона характерні корпускулярні та хвильові властивості. [15]

Наслідком цього явища є наявність над поверхнею будь-якого провідника або напівпровідника певної кількості вільних електронів, які “вийшли” за його межі завдяки тунельному ефекту. Якщо взяти дві речовини, що проводять струм, розташувати їх на відстані 0,5 нм одна від одної і прикласти до них порівняно малу різницю потенціалів (0,1-1 В), то між даними речовинами виникне електричний струм, що зумовлений тунельним ефектом (тунельний струм). Даний факт можна використати для дослідження поверхні тіла. Рухаючи гострий предмет (дуже тонку голку з кінчиком завтовшки декілька атомів) над досліджуванним об'єктом (скануючи його поверхню), можна отримати інформацію про будову об'єкта на атомарному рівні. У 1981 році співробітники компанії IBM Г. Бінінг і Г. Рорер на основі даного дослідження побудували перший скануючий тунельний мікроскоп (СТМ) і в 1982 р. з його допомогою вперше в історії отримали зображення поверхні золота, а потім кремнію з атомарною роздільною здатністю.

Використовуючи об'єкти нанометричних розмірів сучасна фізика ефективно використовує електричні,

оптичні та ядерні дослідження для розширення меж нашого розуміння квантової механіки, квантових критичних явищ, квантового транспорту та нелінійної динаміки у конденсованих середовищах. До того ж, кристалічне твердотільне середовище з притаманними йому виродженими симетріями може забезпечувати нетривіальний топологічний ландшафт для електронів та інших елементарних частинок і колективних збуджень, що має широкі практичні перспективи, дає змогу досліджувати структурні і динамічні ефекти близькості між різними цікавими матеріалами і станами речовин, такими як надпровідність, різні магнітні стани, низьковимірні системи на основі вуглецю, топологічні ізолятори та інші емергентні фази, які були відкриті за останні десятиріччя та роки.

З розвитком нанотехнології тісно пов'язаний якісно новий напрямок медичної науки – молекулярна наномедицина. З нею пов'язують такі унікальні речі, як: лабораторії на чіпі, адресна доставка ліків до уражених клітин, нові бактерицидні та противірусні лікарські засоби, діагностика захворювань за допомогою квантових точок, нанороботи для ремонту пошкоджених клітин, нейроелектронні інтерфейси та багато іншого. [4]

На сьогоднішній день подібні проекти вже не тільки плід уяви письменників-фантастів, але і реальні засоби сучасної медицини.

По-перше, наночастинок можуть використовуватися в медицині для точної доставки ліків і управління швидкістю хімічних реакцій. Нанокapsули з мітками-ідентифікаторами зможуть доставляти ліки безпосередньо до вказаних клітин і мікроорганізмів, зможуть контролювати і відображувати стан пацієнта, стежити за обміном речовин і багато що іншого. Це дозволить ефективніше боротися з онкологічними, вірусними і генетичними захворюваннями [6].

По-друге, можливе створення нанороботів-лікарів, які здатні “жити” всередині людського організму, усуваючи всі виникаючі пошкодження або запобігаючи їх виникненню. Послідовно перевіряючи і, якщо треба, “виправляючи” молекули, клітину за клітиною, орган за органом, наномашини повернуть здоров'я будь-якому хворому, а потім просто не допустять жодних захворювань і патологій, у тому числі генетичних. Теоретично це дозволить людині жити сотні років [6].

По-третє, з'явиться можливість швидкого аналізу і модифікації генетичного коду, просте конструювання амінокислот і білків, створення нового вигляду ліків, протезів, імплантантів. У цій галузі рядом дослідників вже проводиться перевірка різних наноматеріалів на сумісність з живими тканинами і клітинами [6].

Важлива роль належить спіновим ефектам у біохімічних та фармакологічних реакціях, які потребують подальших ґрунтовних досліджень. При цьому принципово важливим є врахування можливості переходів зі зміною спіну в металокластері, що неможливо здійснити при використанні звичайних медикаментів, які являють собою діамгнітні молекули в основному синглетному стані. Такі препарати також здатні впливати на перебіг біохімічних процесів у клітині шляхом хімічних реакцій, типових для традиційної біоорганічної хімії. Хімічні реакції можна

розглядати як такі, що протікають за участю спінової перебудови. Якщо наночастинка здатна легко змінювати спіновий стан, то тим самим відкриваються великі можливості для так званого спінового каталізу, тобто її вплив на біохімічні реакції значно посилюється. Як приклад, це явище можна пояснити реакцією зв'язування молекулярного кисню гемоглобіном. Активним центром гемоглобіну є залізорпорфірин в оточенні білкових молекул, який має 4 неспарених електронних спіни (квінтетний стан). Молекула кисню, як відомо, також є парамагнітною і має триплетний основний стан. При зв'язуванні кисню гемоглобіном основний стан всього комплексу (оксигемоглобіну) є синглетним, тобто при такому зв'язуванні обов'язково повинна проходити зміна спінового стану [19]. Зміна спінових станів в біомолекулах є однією з невід'ємних властивостей живої матерії, здатної до самоорганізації. Тому квантово-хвильові властивості наночастинок з їх високою здатністю до зміни спінових станів можуть бути вельми корисними при розгляді фармакологічної дії препаратів, виготовлених за допомогою нанотехнологій.

Висновки. З позицій квантової механіки та класичної фізики можна зрозуміти широкий спектр властивостей наноматеріалів, багато з яких є унікальними і мають багатообіцяючі перспективи практичного використання. Чимало їх ще не вивчені в повному обсязі, інші, можливо, і не відкриті. Ці властивості відкривають перед людством можливості принципової зміни сучасного стану медицини та фармакології.

Рецензент: д.мед.н., професор Я.В. Цехмістер

Конфлікт інтересів.

Автор заявляє, що не має конфлікту інтересів, який може сприйматися таким, що може завдати шкоди неупередженості статті.

Джерела фінансування.

Ця стаття не отримала фінансової підтримки від державної, громадської або комерційної організації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Андреев О.А. Основы нанотехнологий. Навчальний посібник (за загальною редакцією Віднічука М.А.) / Андреев О.А., Віднічук М.А., Єгізарян А.М. // Рівне: видавець О. Зень – 2011. – 49 с.
2. Вакарчук І.О. Квантова механіка. – 4-е видання, доповнене. – Л.: ЛНУ ім. Івана Франка, 2012. – 872 с.,
3. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. / Гусев А. И. // М.: Физматлит. – 2005. – 416 с.
4. Елецкий А.В. Углеродные нанотрубки и их эмиссионные свойства / Елецкий А.В. // УФН. – 2002. – Т. 172. – 401 с.
5. Кобаяси Н. Введение в нанотехнологию. Пер. с японск. / Кобаяси Н. // М.: БИНОМ. Лаборатория знаний – 2005. – 134с.
6. Калинина Н.Е. Наноматериалы и нанотехнологии: получение, строение, применение. / Калинина Н.Е., Калинин В.Т., Вилищук З.В., Калинин А.В., Ковац О.А. // Дн – вск: Изд – во Маковецкий – 2012. – 192с.
7. Ландау Л.Д., Лифшиц Е. М. Квантовая механика. Нерелятивистическая теория. Теоретическая физика. – М.: Физматлит, 2008. – Т. 3. – 800 с.].
8. Нолтинг Б. Новейшие методы исследования биосистем. / Нолтинг Б. // Москва: Техносфера – 2005. – 256с.
9. Поплавко Ю.М., Борисов О.В., Акименко Ю.И. Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка: навч. посібн. / Поплавко Ю.М. Борисов О.В., Акименко Ю.И. // Київ, НТУУ “КПІ” – 2012. – 300 с.
10. Пул Ч. Нанотехнологии. / Пул Ч., Оуэнс Ф. // Москва: Техносфера – 2005. – 336с.

11. Ратнер М. Нанотехнология: простое объяснение очередной гениальной идеи.: Пер. с англ./ Ратнер М., Ратнер Д. // М.: Издательский дом “Вильямс” – 2004. – 240 с.
12. Рыбалкина М. Нанотехнологии для всех. / Рыбалкина М / М.: Nanotechnology News Network – 2005. – 444 с.
13. Суздальев И.П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов./ Суздальев И.П. // М.: КомКнига – 2006. – 592с.
14. Уварова І.В. Наноматеріали та їх використання у медичних виробках. / Уварова І.В., Максименко В.Б., Ярмола Т.М. // Київ, КІМ – 2013. – 171 с.
15. Харрис П. Углеродные нанотрубы и родственные структуры. Новые материалы XXI века. / Харрис П. // Москва: Техносфера – 2003. – 336с.
16. Чекман І.С. Квантова фармакологія. / Чекман І.С. // Київ, НВП “Видавництво “Наукова думка” НАН України. – 2012. – 181 с.
17. Kai Yang, Shuai Zhang, Guoxin Zhang, Xiaoming Sun, Shuit-Tong Lee, Zhuang Liu. Graphene in Mice: Ultrahigh In Vivo Tumor Uptake and Efficient Photothermal Therapy. // Nano Letters. Article ASAP. Publication Date (Web): August 4, 2010. DOI: 10.1021/nl100996u.
18. Vafaei S. Effect of nanoparticles on sessile droplet contact angle / S. Vafaei, T. Borca-Tasciuc, M.Z. Podowski [et al.] // Nanotechnology – 2006. Vol. 17. P. 2523–2527. Vafaei S. The effect of nanoparticles on the liquid-gas surface tension of Bi(2)Te(3) nanofluids / S. Vafaei, A. Purkayastha, A. Jain [et al.] // Nanotechnology – 2009. Vol. 20. P. 27–35
19. B.F. Minaev, V.A. Minaeva. Spin dependent binding of dioxygen to heme and charge transfer mechanism of spin orbit coupling enhancement // Ukrainica Bioorganica Acta. – 2008. – Т. 2. – С. 56–64.

REFERENCES

1. Andreev O.A. Osnovi nanotekhnologiy. Navchalnyy posibnik (za zagalnoyu redaktsiyu Vidnichuka M.A.) / Andreev O.A., Vidnichuk M.A., Egizaryan A.M. // Rivne: vidavets O. Zen – 2011. – 49 s.
2. Vakarchuk I.O. Kvantova mekhanika. – 4-e vidannya, dopovnene. – L.: LNU im. Ivana Franka, 2012. – 872 s.,
3. Gusev A. I. Nanomaterialy, nanostrukturny, nanotekhnologii. / Gusev A. I. // M.: Fizmatlit. – 2005. – 416 s.
4. Yeletskiy A.V. Uglerodnye nanotrubki i ikh emissionnye svoystva / Yeletskiy A.V. // UFN. – 2002. – T. 172. – 401 s.
5. Kobayasi N. Vvedenie v nanotekhnologiyu. Per. s yaponsk. / Kobayasi N. // M.: BINOM. Laboratoriya znaniy – 2005. – 134s.
6. Kalinina N.Ye. Nanomaterialy i nanotekhnologii: poluchenie, stroenie, priminenie. / Kalinina N.Ye., Kalinin V.T., Vilishchuk Z.V., Kalinin A.V., Kovats O.A. // Dn – vsk: Izd – vo Makovetskij – 2012. – 192s.
7. Landau L.D., Lifshits Ye. M. Kvantova mekhanika. Nerelyativisticheskaya teoriya. Teoreticheskaya fizika. – M.: Fizmatlit, 2008. – T. 3. – 800 s.].
8. Nolting B. Novyeshie metody issledovaniya biosistem. / Nolting B. // Moskva: Tekhnosfera – 2005. – 256s.
9. Poplavko Yu.M., Borisov O.V., Akimenko Yu.I. Nanofizika, nanomateriali, nаноелектроніка: navch. posibn. / Poplavko Yu.M. Borisov O.V., Akimenko Yu.I. // Kіiv, NTUU “KPI” – 2012. – 300 s.
10. Pul Ch. Nanotekhnologii. / Pul Ch., Ouens F. // Moskva: Tekhnosfera – 2005. – 336s.
11. Ratner M. Nanotekhnologiya: prostoe obyasnienie ocherednoy genialnoy idei.: Per. s angl./ Ratner M., Ratner D. // M.: Izdatelskiy dom “Vilyams” – 2004. – 240 s.
12. Rybalkina M. Nanotekhnologii dlya vsekh. / Rybalkina M // M.: Nanotechnology News Network – 2005. – 444 s.
13. Suzdalev I.P. Nanotekhnologiya: fiziko-khimiya nanoklastertov, nanostruktur i nanomaterialov./ Suzdalev I.P. // M.: KomKniga – 2006. – 592s.
14. Uvarova I.V. Nanomateriali ta ikh vikoristannya u medichnikh virobakh. / Uvarova I.V., Maksimenko V.B., Yarmola T.M. // Kіiv, KIM – 2013. – 171 s.
15. Kharris P. Uglerodnye nanotruby i rodstvennyye struktury. Novye materialy XXI veka. / Kharris P. // Moskva: Tekhnosfera – 2003. – 336 s.
16. Chekman I.S. Kvantova farmakologiya. / Chekman I.S. // Kіiv, NVP “Vidavnistvo “Naukova dumka” NAN Ukraini. – 2012. – 181 s.

17. Kai Yang, Shuai Zhang, Guoxin Zhang, Xiaoming Sun, Shuit-Tong Lee, Zhuang Liu. Graphene in Mice: Ultrahigh In Vivo Tumor Uptake and Efficient Photothermal Therapy. // *Nano Letters. Article ASAP. Publication Date (Web): August 4, 2010. DOI: 10.1021/nl100996u.*

18. Vafaei S. Effect of nanoparticles on sessile droplet contact angle / S. Vafaei, T. Borca-Tasciuc, M.Z. Podowski [et al.] // *Nanotechnology* – 2006. Vol. 17. R. 2523–2527. Vafaei S. The effect

of nanoparticles on the liquid-gas surface tension of Bi(2)Te(3) nanofluids / S. Vafaei, A. Purkayastha, A. Jain [et al.] // *Nanotechnology* – 2009. Vol. 20. R. 27-35

19. B.F. Minaev, V.A. Minaeva. Spin dependent binding of dioxygen to heme and charge transfer mechanism of spin orbit coupling enhancement // *Ukrainica Bioorganica Acta.* – 2008. – T. 2. – S. 56–64.

ПРИМЕНЕНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ В МЕДИЦИНЕ И ФАРМАЦИИ: ВЗГЛЯД С ПОЗИЦИЙ КЛАССИЧЕСКОЙ И КВАНТОВОЙ ФИЗИКИ

Комарова Т.Н., Стучинская Н.В., Чекман И.С.

Национальный медицинский университет
имени А.А. Богомольца, г. Киев, Украина

Резюме: Наноматериалы – материалы, созданные с использованием наночастиц или с помощью нанотехнологий, имеющих определенные уникальные свойства, обусловленные присутствием этих частиц в материале. К наноматериалам относят объекты, один из характерных размеров которых лежит в интервале от 1 до 100 нм. Нанометровый диапазон измерений открывает новые свойства и подходы к изучению вещества. В этом диапазоне меняются немало физических и химических свойств, и нигде так близко не сходятся физика, химия и биология. Сейчас здесь накоплен столь значительный теоретический материал, благодаря которому возникла необходимость рассмотрения науки о наноматериалах как об определенной междисциплинарной области, которая имеет многочисленные разветвления и применение.

Ключевые слова: наноматериалы, нанотехнологии, волновые свойства, туннелирование, фармация, физика.

APPLICATIONS OF NANOMATERIALS IN MEDICINE AND PHARMACY: A VIEW FROM THE STANDPOINT OF CLASSICAL AND QUANTUM PHYSICS

T. Komarova, N. Stuchinska, I. Chekman

Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

Summary. Nanotechnology deals with the investigation of the principles that govern physical and chemical processes taking place in the objects of nanometric size. As a science it is involved in the creation of new materials and devices with specific physical, chemical and biological properties. These newly designed advanced materials are referred to as nanoproductions. The nano-object size ranges between 0,1 and 100 nanometers. The size of the nanoscale contributes to the discovery of the new properties of the substances the study of which requires principally another approach. In fact, physical and chemical properties of nanomaterials significantly differ from those of free atoms or molecules as well as of dimensional substances composed of these atoms and molecules. Currently, the investigation of nanomaterials has resulted in the acquirement of substantial theoretical knowledge and practical experience. It has led to the foundation of the science involved in the nanomaterials research. Nanotechnology is a separate interdisciplinary field with numerous branches and applications. It may be stated that nowhere else but in the study of nanometric objects physics, chemistry, biology and medicine are intertwined to such a great extent.

Key words: nanomaterials, nanotechnologies, wave properties, tunneling, pharmacy, physics.