

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра медичної фізики та біомедичних нанотехнологій

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Директор навчально-наукового інституту

«Фізико-технічний факультет»

(вказати назву структурного підрозділу)

Кузнецов П.Е.

(вказати П.І.Б керівника)

“ 28 ” серпня 2023 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Біомедичні нанотехнології (Біонанотехнології в медичній діагностиці)

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти перший (бакалавр)

галузь знань 10 – "Природничі науки"

спеціальність 105 – "Прикладна фізика та наноматеріали"

освітня програма освітньо-професійна програма "Біомедичні нанотехнології"

вид дисципліни обов'язкова

факультет ННІ «Фізико-технічний факультет»

2023 / 2024 навчальний рік

ВСТУП

1. Опис навчальної дисципліни

Робочу програму навчальної дисципліни «Біомедичні нанотехнології в медичній діагностиці» укладено відповідно до вимог стандарту вищої освіти України: перший (бакалаврський) рівень, галузь знань 10 – «Природничі науки», спеціальність 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали», затвердженого і введеного в дію наказом Міністерства освіти і науки України від 16.06.2020 р. № 804.

Навчальна дисципліна «Біомедичні нанотехнології в медичній діагностиці» є необхідною складовою циклу професійної підготовки фахівців першого освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр». Необхідність викладання студентам навчальної дисципліни «Біомедичні нанотехнології в медичній діагностиці» обумовлене сучасними викликами суспільства та призначена надати студентам здатностей використовувати сучасні уявлення про біомедичні нанотехнології та наноматеріали у фармацевтичній, медичній та біомедичній галузях, оцінювати вплив на оточуюче середовище неорганічних біонаноматеріалів фармацевтичного та біомедичного походження, а також знань про застосування на практиці принципів побудови екологічно чистих виробництв у біомедичній сфері.

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни є формування цілісної системи знань щодо теоретичних і практичних основ нанобіотехнології. У процесі вивчення курсу студенти отримують знання про структуру і властивості основних наноб'єктів та їх практичне застосування. В курсі буде наведено різні класифікації наночастинок і наноматеріалів на їх основі, надано детальну характеристику наноб'єктів, розкрито головні аспекти їх практичного використання, розглянуто проблеми біобезпеки наноб'єктів.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни:

- узагальнення і систематизація знання про сучасні напрями і перспективи розвитку біонанотехнологій;
- характеристика основних біонанооб'єктів та біонаноматеріалів на їх основі;
- формування комплексу знань про області практичного застосування біонанооб'єктів;
- знайомство студентів з проблемами біосумісності та токсичності біонанооб'єктів.

Вивчення дисципліни «Біомедичні нанотехнології в медичній діагностиці» спрямовано на забезпечення таких загальних (ЗК) та фахових компетентностей (ФК) за спеціальністю, затвердженого Стандартом вищої освіти:

ЗК 1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях

ЗК 2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності

ЗК 6. Здатність до проведення досліджень на відповідному рівні

ЗК 7. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел

ФК 1. Здатність брати участь у плануванні та виконанні наукових та науково-технічних проектів

ФК 3. Здатність брати участь у виготовленні експериментальних зразків, інших об'єктів дослідження

ФК 4. Здатність брати участь у впровадженні результатів досліджень та розробок

ФК 6. Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем

ФК 9. Здатність працювати із науковим обладнанням та вимірювальними приладами, обробляти та аналізувати результати досліджень

ФК 10. Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв'язування фізичних задач і моделювання фізичних систем

ФК 13. Здатність працювати з біологічними агентами, що використовують у біотехнологічних процесах, зокрема: з білками, нуклеїновими кислотами, мембранами, клітинами, тощо

ФК 14. Розвинуте відчуття особистої відповідальності за достовірність результатів досліджень та дотримання принципів академічної доброчесності разом з професійною гнучкістю. Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних досліджень

1.3. Кількість кредитів: 10

1.4. Загальна кількість годин: 300

| 1.5. Характеристика навчальної дисципліни | |
|-------------------------------------------|------------------------|
| | Нормативна |
| | Денна форма навчання |
| | Рік підготовки |
| | 3-й |
| | Семестр |
| | 5,6-й |
| | Лекції |
| | 64 год. |
| | Лабораторні заняття |
| | 48 год. |
| | Практичні заняття |
| | 48 год. |
| | Самостійна робота |
| | 140 год. |
| | Індивідуальні завдання |
| | 3 год. |

1.6 Заплановані результати навчання

Очікувані результати навчання відповідають програмним результатам навчання ОП «Біомедичні нанотехнології» за спеціальністю 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали»:

ПРН-1. Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики

ПРН-2. Знати цілі сталого розвитку та можливості своєї професійної сфери для їх досягнення, в тому числі в Україні

ПРН-3. Розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв'язанні екологічних проблем

ПРН-4. Знати, розуміти та вміти застосовувати основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, механіки суцільних середовищ, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та геометричної оптики, фізики атома та атомного ядра для встановлення, аналізу, тлумачення, пояснення й класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів для розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем з теоретичної та прикладної фізики

ПРН-5. Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій

ПРН-6. Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів

ПРН-7. Застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв'язанні практичних проблем прикладної фізики

ПРН-8. Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій

ПРН-9. Вибирати ефективні методи та інструментальні засоби проведення досліджень у галузі прикладної фізики

ПРН-10. Відшукувати необхідну науково-технічну інформацію в науковій літературі, електронних базах, інших джерелах, оцінювати надійність та релевантність інформації

ПРН-11. Класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики

Зокрема, відповідно до вимог ОКХ бакалавра прикладної фізики та наноматеріалів, студенти будуть:

знати та розуміти: а) основні поняття, терміни та принципи біонанотехнології; б) структуру, основні властивості і напрями практичного застосування біонанооб'єктів; в) актуальні проблеми біосумісності та токсичності біонанооб'єктів.

вміти: правильно вибирати і застосовувати на практиці базові методи нанобіотехнології для створення нанооб'єктів залежно від поставленого завдання; включати отримані знання про нанобіотехнологію у вже існуючу систему знань і застосовувати їх в самостійних розробках; самостійно планувати проведення досліджень і експериментів з використанням нанооб'єктів; генерувати нові плідні науково-технічні і інноваційні ідеї з використанням об'єктів біонанотехнології.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Тема 1. Вступ до курсу «Біомедичні нанотехнології у медичній діагностиці»

Біонанотехнологія як наука. Її мета і задачі. Взаємозв'язок з іншими дисциплінами. Об'єкти біонанотехнологій. Сходні риси і відмінності від біонанотехнології. Історія становлення нанотехнології як самостійної науки.

Тема 2. Наноматеріали. Технології отримання наноматеріалів.

Основні класи наноматеріалів. Основні властивості наночастинок. Отримання нанооб'єктів за допомогою технології «bottom-up». Отримання нанооб'єктів за допомогою технології «top-down».

Тема 3. Наночастинки металів. Магнітні наночастинки

Основні характеристики наночастинок металів. Сучасні технології отримання наночастинок металів. Фізико-хімічні властивості наночастинок металів. Переваги магнітних наночастинок. Класифікація магнітних наночастинок. Магнітні рідини. Будова та кристалохімія магнетиту. Стабілізатори та дисперсійні середовища для створення магнітних рідин. Загальна характеристика наночастинок заліза. Фізико-хімічні та структурні властивості наночастинок заліза.

Тема 4. Наночастинки благородних металів

Наночастинки золота: властивості, форма, будова, реакційна здатність. Поверхневий плазмонний резонанс. Застосування нанозолота в медицині. Наночастинки срібла: характеристика, будова, властивості, механізм дії. Використання наночастинки міді, оксиду титану, оксиду кремнію у фармації та медицині.

Тема 5. Біоматеріали

Визначення та характеристика біоматеріалів. Натуральні та синтетичні біоматеріали. Класифікація біоматеріалів за відкликом живого організму. Хімічні, фізико-механічні та біологічні властивості біоматеріалів. Трансплантати та імплантати. Біосумісність біоматеріалів

Тема 6. Вуглецеві наноматеріали.

Стани атома вуглецю. Класифікація вуглецевих структур. Алотропи вуглецю. Типи просторових ґраток кристалів. Наноалотропи вуглецю.

Тема 7. Графен

Визначення та основні відмінності графену. Історія отримання графену. Особливості електронної фізики графену. Застосування графену у біомедицині.

Тема 8. Вуглецеві нанотрубки як нові алотропні модифікації вуглецю

Одношарові та багатошарові вуглецеві нанотрубки. Хіральність нанотрубок. Функціоналізовані вуглецеві нанотрубки. Властивості вуглецевих нанотрубок. Отримання вуглецевих нанотрубок. Застосування вуглецевих нанотрубок. Вуглецеві нанотрубки у біомедицині. Токсичність вуглецевих нанотрубок.

Тема 9. Фулерени: структура, методи отримання та властивості

Відкриття фулеренів. Їх будова та властивості. Гіперфулерени, фулериди та фулерити як різновиди фулеренів. Застосування фулеренів. Антиоксидантна активність фулеренів. Методи створення проб фулеренів C₆₀ для біологічних досліджень. Розподіл в організмі та токсичність in vivo.

Тема 10. Квантові точки.

Класифікація нанооб'єктів за геометричним принципом. Квантові точки як напівпровідникові нанокристали. Квантово-розмірні ефекти. Оптичні властивості квантових точок. Фізичні методи синтезу квантових точок. Особливості біологічного синтезу кадмій-вмісних квантових точок. Використання квантових точок як люмінесцентних міток для візуалізації структур та процесів у живих клітинах.

Тема 11. Молекулярні пристрої.

Класи молекулярних пристроїв. Біоміметика. Джерела енергії для біомолекулярних двигунів. Фотоіндуковані реакції з переносом заряду в супрамолекулярних структурах. Ротаксани і катенани. Оптичні молекулярні пінцети. Штучний мускул.

Тема 12. Мікро- і наноелектромеханічні системи.

Конструктивні особливості мікроелектромеханічних (МЕМС) та наноелектромеханічних систем (НЕМС). Типи наноактуаторів. Матеріали і методи для виготовлення МЕМС та НЕМС. Застосування МЕМС технологій. Нанобіоелектроніка.

Тема 13. Нанороботи

Конструкція медичного наноробота. Класифікація медичних нанороботів. Біологічні мікро електромеханічні системи (БіоМЕМС). Типи та технології отримання БіоМЕМС. Функції БіоМЕМС в організмі людини. Наноконструкції з функціями нанороботів. Біомедичні застосування нанороботів.

Тема 14. Лабораторії на чипі.

Переваги мікроаналітичних лабораторій (мікросистем повного аналізу, МПА). Типи та принципи дії біочипів. ДНК-мікроареї. Технології створення лабораторій на чипі. Застосування МПА у медицині. Медична нанотехніка. Смарт-терапія.

3. Структура навчальної дисципліни

| Назви розділів і тем | Кількість годин | | | | | |
|----------------------|-----------------|--------------|------|------|------|---|
| | денна форма | | | | | |
| | усього | у тому числі | | | | |
| л | | п | лаб. | інд. | с.р. | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |

| | | | | | | |
|---------------------|------------|-----------|-----------|-----------|----------|------------|
| Тема 1 | | 4 | 2 | | | 10 |
| Тема 2 | | 4 | 2 | 4 | | 10 |
| Тема 3 | | 4 | 4 | | 1 | 10 |
| Тема 4 | | 4 | 4 | | | 10 |
| Тема 5 | | 5 | 4 | 4 | | 10 |
| Тема 6 | | 5 | 4 | 6 | | 10 |
| Тема 7 | | 5 | 4 | 6 | | 10 |
| Тема 8 | | 5 | 2 | 4 | | 10 |
| Тема 9 | | 5 | 2 | 4 | 2 | 10 |
| Тема 10 | | 5 | 4 | | | 10 |
| Тема 11 | | 5 | 4 | 4 | | 10 |
| Тема 12 | | 5 | 4 | 6 | | 10 |
| Тема 13 | | 4 | 4 | 6 | | 10 |
| Тема 14 | | 4 | 4 | 4 | | 10 |
| Усього годин | 300 | 64 | 48 | 48 | 3 | 140 |

4. Теми лабораторних занять

| | Назва теми | Кількість годин |
|-----|----------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 1. | Приготування розчину заданої концентрації | 4 |
| 2. | Синтез наночастинок заліза | 4 |
| 3. | Синтез наночастинок срібла | 6 |
| 4. | Синтез наночастинок золота та міді | 6 |
| 5. | Синтез гідроксиапатиту та дослідження його фізико-хімічних властивостей | 4 |
| 6. | Отримання графену та оксиду графену | 4 |
| 7. | Отримання та детекція вуглецевих наночастинок | 4 |
| 8. | Отримання фулеренів | 6 |
| 9. | Синтез квантових точок і вимірювання їх оптичних спектрів | 6 |
| 10. | Оптичні пінцети (optical tweezers): принцип дії та біомедичні застосування | 4 |
| | Разом | 64 |

5. Теми практичних занять

| | Назва теми | Кількість годин |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 1. | Хроматографічні методи аналізу | 4 |
| 2. | Рідинна хроматографія | 2 |
| 3. | Технологія тонкошарової хроматографії | 2 |
| 4. | Фракціонування амінокислот, пептидів та ліпідів бактерій і дріжджів методом тонкошарової хроматографії | 4 |
| 5. | Електрохроматографія | 4 |
| 6. | Використання різних видів електрофорезу в біотехнології | 4 |
| 7. | Електрохімічні методи досліджень | 4 |
| 8. | Методи спектрального аналізу в біотехнології | 4 |
| 9. | Різноманітність об'єктів біотехнології та їх особливості | 2 |
| 10. | Приготування основних видів живильних середовищ для | 2 |

| | | |
|-----|-------------------------------------------------------|----|
| | біотехнологічних процесів | |
| 11. | Методи виділення кінцевого біотехнологічного продукту | 4 |
| 12. | Культивування аеробних мікроорганізмів | 4 |
| 13. | Культивування анаеробних мікроорганізмів | 4 |
| 14. | Отримання чистих культур мікроорганізмів | 4 |
| | Разом | 48 |

5. Завдання для самостійної роботи

| | Назва теми | Кількість годин |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 1. | Головні принципи молекулярного дизайну багатофункціональних наноматеріалів біомедичного застосування | 10 |
| 2. | Доставка ліків в клітини-мішені за допомогою синтетичних наноматеріалів | 10 |
| 3. | Біофункціоналізація наноносіїв ліків антиоксидантами | 10 |
| 4. | Використання фулеренів як наноплатформи для доставки лікарських препаратів | 10 |
| 5. | Застосування полімерних наноматеріалів для доставки нуклеїнових кислот у клітини різного походження | 10 |
| 6. | Біосумісність та екотоксичність нанокompозитних матеріалів | 10 |
| 7. | Приклади застосування наноматеріалів для терапевтичних цілей | 10 |
| 8. | Вплив наночастинок на структуру і функцію біомембран | 10 |
| 9. | Неорганічні наноматеріали: їх структура та використання для відновлення навколишнього середовища | 10 |
| 10. | Карбонові наноматеріали для відновлення довкілля | 10 |
| 11. | Імунологічні ефекти наночастинок | 10 |
| 12. | Наноантиоксиданти: нові типи, переваги та перспективи | 10 |
| 13. | Біомедичне застосування наноантиоксидантів | 10 |
| 14. | Біогенний синтез наночастинок різних елементів з використанням рослин, грибів, бактерій | 10 |
| | Разом | 140 |

6. Індивідуальні завдання

Курсова робота обсягом 1 год. за темою №3 «Наночастинки металів. Магнітні наночастинки», зображувально-графічна робота обсягом 2 год. за темою №9 «Фулерени: структура, методи отримання та властивості».

7. Методи контролю

Поточний контроль на практичних заняттях (домашні завдання). Виконання контрольних робіт. Письмовий екзамен в 5 та 6 семестрах.

8. Схема нарахування балів

5-й семестр

| Домашні завдання | Лабораторні роботи | Контрольна робота | Екзамен | Сума |
|------------------|--------------------|-------------------|---------|------|
| 16 | 24 | 20 | 40 | 100 |

6-й семестр

| Домашні завдання | Лабораторні роботи | Контрольна робота | Екзамен | Сума |
|------------------|--------------------|-------------------|---------|------|
| 16 | 24 | 20 | 40 | 100 |

- Для допуску до підсумкового семестрового контролю студент повинен виконати всі лабораторні та розрахункові роботи, домашні завдання, виконати (дистанційно або письмово) контрольну роботу.
- Рейтинг кожної роботи, термін її виконання, та подання оформлених робіт визначається викладачем, який веде практичні та лабораторні заняття.
- Семестровий залік вважається зданим, якщо сума балів за залік ≥ 10 балів. Якщо сума отриманих студентом на заліку балів виявляється меншою ніж 10, необхідно перескладання заліку.
- Семестровий екзамен вважається складеним, якщо сума балів за екзамен ≥ 10 балів.

Для допуску до складання підсумкового контролю (екзамену) здобувач вищої освіти повинен набрати не менше 30 балів з навчальної дисципліни під час поточного контролю, самостійної роботи, індивідуального завдання.

Шкала оцінювання

| Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру | Оцінка заліку | Оцінка екзамену |
|----------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
| 90 – 100 | зараховано | відмінно |
| 70 – 89 | | добре |
| 50 – 69 | | задовільно |
| 1 – 49 | не зараховано | незадовільно |

9. Методичне забезпечення

- Робоча програма навчальної дисципліни.
- Підручники, навчальні посібники.

10. Рекомендована література

1. Герасименко В.Г., Герасименко М.О., М.І. Цвіліховський, І.Я. Коцюмбас, М.О. Захаренко, А.Ф. Ображей, А.М. Головка, Біотехнологія: Підручник. - К.: Фірма «ІНКОС», 2006. – 647 с.
2. Шуаїбов О.К., Грицак Р.В. Біомедична інженерія. Вступ до спеціальності.: Навчальний посібник. – Ужгород: ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Видавництво «Говерла», 2019. – 177 с.
3. І.С. Чекман, З.Р. Ульберг, В.О. Маланчук, Н.О. Горчакова, І. А . Зупанець, Нанонаука, нанобіологія, нанофармація. Монографія. - К.: Поліграф плюс, 2012. - 328 с .
4. С.В. Горобець, О.Ю. Горобець, П.П. Горбик, І.В. Уварова. Функціональні біо- та наноматеріали медичного призначення: монографія – Київ: Видавничий дім «Кондор», 2018. – 480 с.
5. О. М. Завражна, О. О. Пасько, А. І. Салтикова. Основи нанотехнологій – Суми: Вид-во СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2016. – 184 с.
6. Є. Г. Афтанділянц, О. В. Зазимко, К. Г. Лопатько. Наноматеріалознавство - Херсон : ОЛДІ - плюс, 2015. - 550 с.
7. Поплавко Ю.М., Борисов О.В., Якименко Ю.І. Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка - Київ : НТУУ "КПІ", 2012. - 300 с.
8. Уварова І.В., Максименко В.Б. Біосумісні матеріали для медичних виробів / Навчальний посібник ФБМІ НТУУ «КПІ» – Київ: КІМ, 2013. – 232 с.
9. Боровий М.О., Куницький Ю.А., Каленик О.О., Овсієнко І.В., Цареградська Т.Л. Наноматеріали, нанотехнології, нанопристрої – Київ: «Інтерсервіс», 2015. – 350 с.
10. Вимірювання у нанотехнологіях: методи і засоби: навч. посіб. / П. Р. Гамула [та ін.] ; за ред. Б. І. Стадника, Нац. ун-т «Львів. політехніка». — Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2016. – 186 с.
11. О. М. Назаров, М. М. Нищенко Наноструктури та нанотехнології: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. - Нац. авіац. ун-т. – К. : НАУ, 2012. — 245 с.
12. Ю. М. Поплавко, О. В. Борисов, Ю. І. Якименко. Нанофізика, наноматеріали, наноелектроніка: навч. посіб, Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін-т». — К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 299 с.
13. В. Малишев, Н. Кущевська, О. Папроцька, О. Терещенко. Наноматеріали та нанотехнології /, вид. Університет «Україна», 2018. – 140 с.
14. Хорошилова Т. І., Хромишев В.О., Рябов С.В., Хромишева О.О. Нанохімія - Мелітополь, 2014.- 206 с.

Додаткова література

1. Біоматеріали та покриття : навчальний посібник / Л. Ф. Суходуб. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – 300 с.
2. Наноструктурні системи і матеріали. Навчально-методичний посібник / В. А. Литвин – Черкаси: ЧНУ, 2015. – 86 с.
3. Нові речовини. Частина 3. Нано та біоматеріали і матеріали з унікальними властивостями: Під загальною редакцією О.Т. Богороша, Навчальний посібник. – Київ, НТУУ «КПІ», 2015. – 403 с.
4. І.С.Чекман, Н.О. Горчакова, К. Б. Раслін, Нанокарбон: фармакологічні та токсикологічні властивості // Вісн. НАН України.- 2015.- № 7.- С. 41-52.
5. W. Bainbridge. Nanoconvergence: The Unity of Nanoscience, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science, June 27, 2007, Prentice Hall.

6. L.E. Foster. Nanotechnology: Science, Innovation, and Opportunity. December 21, 2005, Prentice Hall.
7. H. Nalwa. Encyclopedia of Nanoscience and Nanotechnology (10-Volume Set), American Scientific Publishers. 2004.
8. A. Lakhtakia (ed) (2004). The Handbook of Nanotechnology. Nanometer Structures: Theory, Modeling, and Simulation. SPIE Press, Bellingham, WA, USA.
9. F. Wang & A. Lakhtakia (eds) (2006). Selected Papers on Nanotechnology—Theory & Modeling (Milestone Volume 182). SPIE Press, Bellingham, WA, USA.
10. J. Boussey, G. Kamarinos, L. Montès (editors) (2003), Towards Nanotechnology, «Nano et Micro Technologies», Hermes Sciences Publ., Paris.
11. Наноструктури та нанокapsули / О. М. Сорочан.- Маріуполь : ПДТУ, 2019. – 86 с.
12. Наноматеріали і нанотехнології в приладобуванні / Ткач О.П. – Суми: СДУ, 2014.- 127 с.
13. Д. В. Щур, З. А. Матисіна, С. Ю. Загинайченко, Н. П. Боцьва, О. В. Єліна, Фулерени: перспективи практичного застосування в медицині, біології та екології, Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. – 2012. – Вип. 20, т. 1. – С. 139–145.
14. О. П. Матишевська, С. В. Прилуцька, І. І. Гринюк, Фулерени C60 - біологічно активні молекули і. Фізико-хімічні властивості та біодоступність, Біотехнологія, Т. 3, №1, 2010, с. 18-26.