

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

Інститут фізики НАН України



ЗАТВЕРДЖУЮ

Директором Інституту фізики НАН
України, член-кор. НАНУ, д.ф.-м.н.

М.В. Бондар

М.В. Бондар

(підпис)

« 27 » жовтня 2023 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ВК.02

Біофізика: сучасний стан і проблеми

для аспірантів

спеціальності: 104 Фізика і астрономія

третього (освітньо-наукового) рівня
вищої освіти – доктор філософії

Київ - 2023

Розробник:

Завідувач відділу фізики біологічних систем Інституту фізики НАН України,
доктор фіз.-мат. наук., проф.  /Г.І. Довбешко/

Робочу програму узгоджено науково-методичною радою

Протокол № 10-1 від 24 жовтня 2023 р.

Головою науково-методичної ради  /М.В. Бондар/

Робочу програму затверджено Вченою радою Інституту фізики НАНУ

Протокол № 10 від 26 жовтня 2023 р.

Голова Вченої ради  /М.В. Бондар/

Робочу програму погоджено з гарантом освітньо-наукової програми зі спеціальності 104 «Фізика та астрономія» 27 жовтня 2023р.

Гарант освітньої програми  /М.В. Бондар/

Пролонговано Вченою радою Інституту фізики НАН України:

навчальні роки продовження	Голова Вченої ради ІФ НАН України	підпис	№ протоколу	дата протоколу
20____/20____				
20____/20____				
20____/20____				
20____/20____				

1. Загальні відомості

Найменування показників	Характеристика дисципліни за денною формою навчання
Вид дисципліни	нормативна
Мова викладання, навчання та оцінювання	українська
Загальний обсяг кредитів / годин	4/120
Курс	2
Семестр	2
Кількість змістових модулів з розподілом	1
Обсяг кредитів	4
Обсяг годин, В тому числі:	120
Лекції	30
Практичні заняття	15
Самостійна робота	75
Форма підсумкового контролю	екзамен

2. Мета, завдання та очікувані результати навчальної дисципліни

Робоча програма навчальної дисципліни ВК.02 «Біофізика: сучасний стан і проблеми» є нормативним документом, який розроблений на основі освітньо-наукової програми, далі ОП, (затверджена Вченою радою Інституту фізики НАН України, протоколом № 10 від 26 жовтня 2023 року) підготовки здобувача третього рівня відповідно до навчального плану спеціальності 104 «Фізика та астрономія»

Передумова вивчення. Навчальний курс ВК.02 «Біофізика: сучасний стан і проблеми» є складовою циклу професійної підготовки фахівців третього освітньо-кваліфікаційного рівня “доктор філософії”. Програма курсу орієнтована на аспірантів, які вже знайомі з загальним курсом фізики, термодинаміки, квантової фізики та біології.

Мета навчальної дисципліни. ВК.02 «Біофізика: сучасний стан і проблеми» є вдосконалення базових знань, набутих в галузі фізики та біології, вміння їх застосовувати для задач біофізики, ознайомлення з сучасними експериментальними методами дослідження біологічних молекул, органел та клітин, ознайомлення з сучасними біонанотехнологіями та перспективами їх впровадженнь.

Зміст навчальної дисципліни. Теоретичні та практичні знання, набуті при вивченні дисципліни ВК.02 «Біофізика: сучасний стан і проблеми»: формування систематичних знань з окремих розділів сучасної біологічної фізики. Ознайомлення з експериментальними методами дослідження структури та складу біологічних полімерів та клітин, вміння застосовувати ці методи у науковій та практичній роботі.

Предметом навчальної дисципліни ВК.02 «Біофізика: сучасний стан і проблеми» є вибрані розділи сучасної біофізики. Основна увага приділена експериментальним методам молекулярної біофізики. Завдання, підготовка об'єктів і методи сучасної експериментальної молекулярної біофізики. Біологічні молекули, біополімери, органели, клітини, їх структура. Рентгеноструктурні, оптичні, акустичні, теплофізичні, комп'ютерне моделювання та інші методи дослідження біологічних структур. Конформаційний аналіз біологічних полімерів. Ентропія в задачах біофізики. Взаємодія біологічних молекул та клітин з наночастинками різної природи та електромагнітним випромінюванням. Задачі біофізики в сучасній наноауці. Нові фізичні прилади та нові фізичні принципи для біофізичних досліджень.

Основними завданнями навчальної дисципліни ВК.02 «Біофізика: сучасний стан і проблеми» є ознайомлення аспірантів з сучасним станом біофізичних проблем, вивчення експериментальних методів та підходів до розв'язання сучасних біофізичних задач, набуття фізичного розуміння як працювати з біологічними об'єктами і як ці методи та знання необхідно використовувати.

- 1) Вивчення аспірантами основних задач в галузі сучасної біофізики, ознайомлення з основними експериментальними методами молекулярної біофізики та набуття розуміння фізичних та математичних підходів та методів до розв'язання біофізичних задач.
- 2) Набути здатність застосовувати ці знання у практичних ситуаціях
- 3) Підвищити здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями в галузі біофізики, здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел, в тому числі, електронних ресурсів, та здатність студентів до абстрактного мислення, аналізу та синтезу матеріалу з всіх біофізичних дисциплін.
- 4) Формування фізичного мислення у аспірантів в межах матеріалу, що вивчається. Дисципліна готує аспірантів до сприймання матеріалу спецкурсів, передбачених програмою спеціалізації.

Фахові програмні результати навчання (вимоги до знань та вмінь)

В результаті вивчення навчальної дисципліни аспірант повинен

Знати: задачі сучасної біофізики, експериментальні методи та підходи для їх розв'язання та практичного застосування.

Вміти: застосовувати набуті знання в науково-дослідних та навчальних установах. Зокрема:

- 1) вміти вибрати експериментальні та теоретичні підходи для поставлених біофізичних задач
- 2) вміти приготувати біологічні зразки в лабораторних умовах, визначити їх концентрацію, рН, характеризувати конформаційний склад для біополімерів та наявність певних молекулярних груп для інших молекул
- 3) вміти працювати на оптичному мікроскопі та фарбувати біологічні молекули для їх розпізнавання в клітині
- 4) вміти працювати в програмах Origin, Peak Feat, Opus та Omnic для обробки спектральної інформації

Завданням навчальної дисципліни (відповідно до переліку ОП) ВК.02 «Біофізика: сучасний стан і проблеми» набути компетентності:

Загальні: ЗК1, ЗК2, ЗК3.

Спеціальні: СК1, СК2, СК5, СК6

Програмні результати навчання: РН1, РН4, РН5, РН6, РН7, РН8, РН9.

3. Тематичний план
(структура залікового кредиту)
з навчальної дисципліни ВК.02 «Біофізика: сучасний стан і проблеми»
(2 курс – 1 семестр)

№	Зміст	Лекції, год.	Практичні, год.	Самостійна робота, год.	Разом, год.
1.	Тема 1. Біофізика, її предмет, задачі, розділи.	3	0	7	10
2.	Тема 2. Основні класи біополімерів: фізичні уявлення про їхню просторову будову, моделі та фізичні властивості.	3	3	7	13
3.	Тема 3. Конформація- основне структурне поняття молекулярної біофізики. Основні фізичні методи дослідження біологічних структур.	3	0	8	11
4.	Тема 4. Оптичні методи дослідження фізичних властивостей біополімерів та їх складових.	3	0	7	10
5.	Тема 5. Оптичні лінійні і нелінійні методи дослідження фізичних властивостей біополімерів та їх складових (продовження) . .	3	3	7	13
6.	Тема 6. Акустична спектроскопія, спектроскопія ЯМР та ЕПР, гель-електрофорез. Теплофізичні методи. Методика «плавлення» біополімерів. Комп'ютерне моделювання.	3	3	8	14
7.	Тема 7. Задачі нанотехнологій в сучасній біології та медицині. Тераностика. Взаємодія біологічних молекул та клітин з електромагнітним випромінюванням.	3	3	8	14
8.	Тема 8. Ентропія як важлива термодинамічна характеристика біологічних систем.	3	0	8	11
9.	Тема 9. Взаємодія біологічних молекул та клітин з наночастинками різної природи.	3	3	8	14
10.	Тема 10. Нові фізичні прилади та нові фізичні принципи для	3	0	7	10

	біофізичних досліджень. Нобелівські премії в області фізики, хімії, медицини та фізіології, що сприяли науковому прогресу в біофізиці.				
Всього		30	15	75	120

Методичне забезпечення навчальної дисципліни:

опорні конспекти лекцій, мультимедійні презентації лектора, бібліотечні та електронні джерела зі списку рекомендованої літератури, довідково-інформаційні інтернет-джерела тощо.

3. Зміст навчальної дисципліни

ВК.02 «Біофізика: сучасний стан і проблеми»

1. **Тема 1.** Біофізика, її предмет і задачі. Чим молекулярна біофізика відрізняється від молекулярної фізики. Основні властивості живого. Розділи сучасної біофізики. Провідні вчені-біофізики та проблеми, які вони розробляли на початку 20 сторіччя та сьогодні.

Література: 1 – 4, 12,13

Завдання для самостійної роботи (7 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.

2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення:

Елементний склад живих організмів в протиставу елементному складу неживої природи. Відомі українські вчені- біофізики та фізики дотичні до біофізичних проблем, їх внесок у світовий прогрес. Які проблеми в сучасній біофізиці бачити ви і навіщо вам потрібна біофізика.

2. **Тема 2.** Основні класи біополімерів: фізичні уявлення про їхню просторову будову, моделі та фізичні властивості. Білки, ДНК, полісахариди- структура, функції в клітині, властивості. Структура та функції ліпідів.

Література: 1,5, 6, 7, 9, 10

Завдання для самостійної роботи (7 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.

2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення:

До якого класу молекул відносять ліпіди и чому. Які відкриття останніх років були по'язані з функціонуванням біополімерів, які проблеми були вирішені і які залишилися нерозв'язаними **та практичне заняття** на тему "Знайомство з приладами для приготування біологічних зразків"- центрифуга, прес, ультразвукова мішалка, аналітичні ваги, рН та йоно -метр, прилад для приготування гігантських ліпосом.

3. **Тема 3.** Конформація- основне структурне поняття молекулярної біофізики.

Основні фізичні методи дослідження біологічних структур. Дифракційні методи вивчення просторової будови біополімерів та їхніх комплексів: електронографія, рентгенографія, нейтронографія.

Література: 1, 6,14

Завдання для самостійної роботи (8 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.

2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення:

Що таке амілоїдні фібрили. Яка конформація білку в амілоїдах. Якими фізичними методами можна визначити наявність амілоїдів у зразку. Як моделювати процес утворення амілоїдів. Пріони.

4. **Тема 4.** Оптичні методи дослідження фізичних властивостей біополімерів та їх складових. Релеївське розсіювання світла та фотонно-кореляційна спектроскопія, коливальна спектроскопія (Раманівська та ІЧ-поглинання), спектроскопія УФ та видимого діапазону.

Література: 1, 8, 9, 15.

Завдання для самостійної роботи (7 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.

2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення- Фур'є ІЧ спектроскопія, оптична схема інтерферометра Майкельсона, методи ІЧ аналізу, рівняння Бугера-Бера-Ламберта, програма Peak Fit, Origin та **практичне заняття** під назвою «Визначення конформаційного складу білку лізоциму методом інфрачервоної спектроскопії та наявність амілоїдів в приготовленому заздалегідь зразку»:

5. **Тема 5.** Оптичні лінійні і нелінійні методи дослідження фізичних властивостей біополімерів та їх складових (продовження). Люмінесценція, підсилена поверхнею спектроскопія, методи нелінійної оптики - когерентне антистоксове розсіювання та генерація другої гармоніки, конфокальна мікроскопія, поверхневий плазмонний резонанс

Література: 1, 5,8, 10,15

Завдання для самостійної роботи (7 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції та **практичне заняття** на тему «Підсилена поверхнею спектроскопія для біологічних задач».

2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення для практичного заняття:

Опанувати спектроскопічною програмою OMNIC, OPUS. Приготувати розчини білку заданої концентрації, зареєструвати ІЧ спектри та зробити обробку та аналіз спектрів.

Розрахувати фактор підсилення ІЧ коливань білку лізоциму на різних поверхнях - золота шорстка поверхня та графеновий шар. Пояснити отримані результати.

6. **Тема 6.** Акустична спектроскопія, спектроскопія ЯМР та ЕПР, гель-електрофорез. Теплофізичні методи- методика плавлення ДНК. Комп'ютерне моделювання-емпіричні (молекулярна механіка і молекулярна динаміка), напівемпіричні (AM1, PM3, INDO тощо), неемпіричні (*ab initio*) квантово-механічні методи.

Література:1,11 відкриті джерела

Завдання для самостійної роботи (8 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції

2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення:

Які квантово-механічні методи використовують в біофізиці і для яких задач- навести приклади з літератури. Рівняння Шредінгера, метод Хартрі-Фока.

7. **Тема 7.** Задачі нанотехнологій в сучасній біології та медицині-біодетектори, адресна доставка ліків, діагностика онкологічних захворювань, нові методи введення ліків. Тераностика. Взаємодія біологічних молекул та клітин з електромагнітним випромінюванням. Вплив високоінтенсивного іонізуючого випромінювання на властивості біологічних систем. Проблеми Чорнобиля, реальність та перспективи. Вплив слабких доз радіаційного випромінювання на функціонування та структуру біологічних систем. Вплив низькоінтенсивного надвисокочастотного електромагнітного випромінювання на властивості біологічних систем. Мобільні телефони: переваги і недоліки

Література: 8 – 10, 11

Завдання для самостійної роботи (8 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції та **практичного заняття** на тему «Приготування гігантських ліпосом з та без ліків» та їх характеристика оптичними методами».

2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення після практичного заняття:

Роль мембрани в транспорті ліків. Фазовий склад та форма мембрани клітини. Моделі мембрани клітини. Ліпіди, що входять в склад еукаріотичних та прокаріотичних клітин.

8. **Тема 8.** Ентропія як важлива термодинамічна характеристика біологічних систем.

Література: 1, 7, 10

Завдання для самостійної роботи (8 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення: основні термодинамічні величини, відкриті та закриті системи, 1 та 2 закони термодинаміки. Демон Максвелла. Чи порушується 2 закон термодинаміки при функціонуванні живих систем. Різні визначення ентропії.

9. **Тема 9.** . Взаємодія біологічних молекул та клітин з наночастинками різної природи. Онкологія як один з сучасних напрямків активного застосування різного типу наноструктур: успіх чи невдача.

Література: 13 – 15, відкриті джерела

Завдання для самостійної роботи (8 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції та **практичного заняття** на тему «Взаємодія наночастинок з біологічними молекулами».
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення після лекції та до практичного заняття: як приготувати розчин наночастинок для біологічного експерименту, як приготувати зразок з біологічними молекулами та наночастинками, як охарактеризувати тип взаємодії між частинками та молекулами, які фізичні методи та які прилади треба застосовувати.

10. **Тема 10.** Нові фізичні прилади та нові фізичні принципи для біофізичних досліджень. Нобелівські премії в області фізики, хімії, медицини та фізіології, що сприяли науковому прогресу в біофізиці.

Література: відкриті джерела

Завдання для самостійної роботи (7 год.)

1. Вивчення матеріалу лекції.
2. Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення: премія Стефана Хелла та інших (2014)- за флуоресцентне STED надрозділення; Річард Ернст (1991)- за відкриття високороздільної ЯМР спектроскопії, Джеффри Холл, Майкл Росбаш і Майкл Янг за ланцюжок механізму циркадних ритмів (2017), Вільям Кейлін молодший, Грегг Семенза, Пітер Редкліфф механізм гіпоксії- 2019.

5. Практичні заняття

з навчальної дисципліни ВК.02 «Біофізика: сучасний стан і проблеми»

Практичне закріплення лекційного матеріалу та наукові доповіді аспіранта пов'язані з темами лекцій і є частиною змісту дисципліни.

6. Самостійна робота

з навчальної дисципліни ВК.02 «Біофізика: сучасний стан і проблеми»

№	Зміст самостійної роботи аспірантів	Обсяг, годин
1.	Вивчення матеріалу лекції	30
2.	Опрацювання матеріалу, що винесений на самостійне вивчення	45
Усього за навчальну дисципліну		75

7. Методи викладання

з навчальної дисципліни ВК.02 «Біофізика: сучасний стан і проблеми»

У процесі викладання дисципліни використовуються такі методи:

- 1) методи організації та здійснення навчально-пізнавальної діяльності (бесіда, лекція; ілюстрація; лабораторні роботи, реферати; самостійна робота студентів);
- 2) методи стимулювання й мотивації навчально-пізнавальної діяльності (навчальні дискусії, модульно-рейтингова система знань);

3) методи контролю (самоконтролю, взаємоконтролю), корекції (самокорекції, взаємокорекції) за ефективністю навчально-пізнавальної діяльності.

8. РЕЙТИНГОВА СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ

з навчальної дисципліни ВК.02 «Біофізика: сучасний стан і проблеми»

Основними формами організації контролю у процесі вивчення студентами даної дисципліни є індивідуальна, групова та фронтальна перевірка знань, вмінь та навичок студентів (усна та письмова). Рейтинг аспіранта складається з наступних отриманих балів:

1. Експрес-контроль – 20 балів. (усне опитування чи самостійні роботи під час навчального процесу)
2. Практичні заняття та самостійна робота – 40 балів.
3. Екзамен – 40 балів.

Заохочувальні та штрафні бали

1. При відсутності на лекції/практичному занятті без поважних причин -2 бали
2. Подана в журнал стаття чи виступ на конференції за темою курсу +10 балів.

Сума як штрафних так і заохочуваних балів розраховується за формулою $0,1R$, де R – загальна кількість балів, і не має перевищувати в цілому 10 балів.

Шкала рейтингів.

Загальна кількість балів, яку аспіранта може отримати під час вивчення курсу складається із суми вагових балів отриманих протягом вивчення дисципліни

$$R=20+40+40=100 \text{ (балів)}$$

Шкала відповідності оцінок

Рейтингова оцінка	Значення оцінки	Рейтинг у відсотках, %
A	Відмінно – відмінний рівень знань (умінь) в межах обов'язкового матеріалу з, можливими незнаесними недоліками.	90-100
B	Дуже добре – достатньо високий рівень знань (умінь) в межах обов'язкового матеріалу без суттєвих (грубих) помилок.	82-89
C	Добре – добрий рівень знань (умінь) в межах обов'язкового матеріалу з незначною кількістю помилок.	75-81
D	Задовільно – посередній рівень знань (умінь) в межах обов'язкового матеріалу із значною кількістю недоліків, достатній для подальшого навчання або ж професійної діяльності.	69-74
E	Достатньо - мінімально можливий допустимий рівень знань (умінь) в межах обов'язкового матеріалу.	60-69
FX	Незадовільно з можливістю повторного складання – незадовільний рівень знань (умінь) в межах обов'язкового матеріалу з можливістю повторного перескладання після самостійного доопрацювання.	35-59
F	Незадовільно з з обов'язковим повторним вивченням курсу – низький рівень знань (умінь) в межах обов'язкового матеріалу, що вимагає повторного вивчення матеріалів курсу.	1-34

9. Орієнтовний перелік екзаменаційних питань

з навчальної дисципліни ВК.02 «Біофізика: сучасний стан і проблеми»

1. Біофізика, її предмет і задачі. Чим молекулярна біофізика відрізняється від молекулярної фізики
2. Провідні вчені-біофізики та проблеми, які вони розробляли на початку 20 сторіччя та сьогодні.
3. Основні класи біополімерів: їх роль в клітині та фізичні властивості.
4. Проблеми сучасної біофізики і навіщо вам потрібна біофізика.
5. Структура та функції ДНК. З чого ви почнете фізичні експерименти з ДНК.
6. Структура та функції білків. Що є найбільш важливим в експериментах з білками.
7. До якого класу молекул відносять ліпіди і чому. Структура та функції ліпідів. Що потрібно знати щоб ваші експериментальні дані з ліпідами публікувались в зарубіжних журналах.
8. Загальна характеристика основних фізичних методів дослідження біологічних молекул та клітин.
9. Конформація – основне структурне поняття молекулярної біофізики. Чим конформаційні стани біологічних молекул відрізняються від конформацій молекул неживої природи.
10. Оптичні методи дослідження фізичних властивостей біополімерів та їх складових. Нові підходи до оптичних досліджень.
11. Методи коливальної спектроскопії, характеристика, базові формули і яку інформацію про біологічні молекули можна отримати використовуючі ці методи.
12. Що вам відомо про амілоїди, основні фізичні методи для їх визначення.
13. Розсіяння світла-що це та в яких експериментальних задачах з біофізики без цього не можна обійтись.
14. Закон Бугера-Бера- Ламберта. В яких задачах його потрібно використовувати і що ви знаєте про порушення цього закону.
15. Нелінійні оптичні методи в дослідженнях біологічних молекул та клітин.
16. Спектроскопія ЯМР та ЕПР в задачах біофізики.
17. Задачі нанотехнологій в сучасній біології та медицині.
18. Що ви знаєте про вплив низькоінтенсивного надвисокочастотного електромагнітного випромінювання на властивості біологічних систем. Мобільні телефони- ваше відношення.
19. Наночастинки та їх взаємодія з біологічними системами. Позитивні та негативні приклади застосувань наночастинок в живих системах.
20. Нобелівські премії з фізики, хімії, медицини та фізіології, що сприяли прогресу в біофізиці.
21. Ентропія як важлива характеристика біологічних систем і чи порушується 2 закон термодинаміки при функціонуванні живих систем.
22. Вплив високоінтенсивного іонізуючого випромінювання на властивості біологічних систем.

10.РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА:

з навчальної дисципліни ВК.02 «Біофізика: сучасний стан і проблеми»

Основна:

1. Волькенштейн М.В. Биофизика. М.: Наука. 1988 г.
2. Лазарев П. П. Современные проблемы биофизики. — М.—Л. : Изд-во АН СССР, 1945. — 152 с. <http://books.e-heritage.ru/book/10076512>
3. Эрвин Шредингер. Что такое жизнь с точки зрения физики. Из-во Римис, 2009.-176 с.
4. Чаговец В. Ю. Избранные труды. — К. : Изд-во АН УССР, 1957. — 514 с.
5. Зенгер В. Принципы структурной организации нуклеиновых кислот. - М.: Мир, 1987. — 584 с.
6. Кантор Ч., Шиммел П. Биофизическая химия. М.: Мир. – 1984.
7. Костюк П.Г., Гродзинський Д.М., Зима В.Л., Магура І.С., Мірошніченко М.С., Шуба М.Ф. Біофізика. –К.:Обереги. 2001. –544 с.
8. Малеев В.Я. Методы биофизических исследований. Харьков: Изд-во. ХНУ имени В.Н. Каразина. 2014. 457 с.
9. Сиволоб А.В. Фізика ДНК. –К.: ВПЦ «Київський університет», 2011. – 335 с.
10. Финкельштейн А.В. Введение в физику белка.
11. Schlick T., Molecular Modeling and Simulation. An Interdisciplinary Guide. New York: Springer-Verlag, Inc. – 2002. – 634 p.
12. Франк-Каменецкий, М. Д. Век ДНК / М. Д. Франк-Каменецкий. – М.: КДУ, 2004
13. Біофізика сенсорних систем : навч. посіб. / М. В. Бура, Д. І. Санагурський ; М-во освіти і науки України, Львів. нац. ун-т ім. І. Франка. – Львів : Вид-во ЛНУ, 2014. – 192 с. : іл. – (Серія "Біологічні Студії"). – Бібліогр.: с. 190-191. – ISBN 978-617-10-0144-2

Додаткова:

1. (14).А.И. Гусев,Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии, М.:Физматлит,2005, 416 с.
2. (15) Г.И.Довбешко, Е.М.Фесенкл, Е.П.Гнатюк, Усиленная поверхностью колебательная спектроскопия, К.:Наукова Думка, 2014, 176 с.