

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Факультет радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

Затверджую
Голова приймальної комісії,
ректор Харківського національного
університету імені В.Н. Каразіна
_____ **Віль БАКІРОВ**
_____ 2021 р.



ПРОГРАМА

вступного екзамену з прикладної фізики

спеціальність: 105 «Прикладна фізика та наноматеріали»

за освітньо-науковою програмою

підготовки доктора філософії

за спеціалізаціями:

1. Радіофізика та електроніка;
2. Біофізика

Третій (освітньо-науковий) рівень вищої освіти

Харків 2021

Спеціалізація Радіофізика та електроніка

I. СПЕЦІАЛЬНІ РОЗДІЛИ МАТЕМАТИЧНОЇ ФІЗИКИ

1. Постановка крайових задач.
2. Метод розділення змінних (метод Фур'є).
3. Метод функцій джерела рівнянь еліптичного та параболічного типів (метод функції Гріна).
4. Гама-функція, її властивості.
5. Циліндричні функції. Основні властивості.
7. Інтеграл типу Коші.
8. Ряди Тейлора та Лорана.
9. Теорія відрахувань.
10. Інтегрування функцій комплексного змінного, ізольовані особливі точки.
11. Конформне відображення.

II. ЕЛЕКТРОДИНАМІКА

1. Постулати мікроскопічної електродинаміки.
2. Релятивістські коваріантні рівняння руху. Тензор електромагнітного поля.
3. Перетворення Лоренца для електромагнітного поля. Інваріанти поля.
4. Перша і друга пари рівнянь Максвелла. Рівняння безперервності.
5. Граничні умови. Теорема Умова-Пойнтінга. Теорема єдиності розв'язків рівнянь Максвелла.
6. Хвильове рівняння. Плоскі хвилі. Плоскі однорідні і неоднорідні монохроматичні хвилі.
7. Рівняння Максвелла комплексної форми.
8. Густина та потік енергії електромагнітного поля.
9. Дисперсія діелектричної проникності. Співвідношення Крамерса-Кроніга.
10. Граничні умови Леонтовича-Щукіна.
11. Відбиття плоскої хвилі від плоскої межі розділення двох середовищ. Закони Снеліуса. Формули Френеля.
12. Методи розв'язання граничних задач електродинаміки.
13. Наближення геометричної оптики і межі його застосування. Рівняння ейконала, принцип Ферма.
14. Основні положення теорії хвильоводів.
15. Порожні металічні хвильоводи.
16. Лінії передачі поверхневих хвиль.
17. Квазіоптичні (відкриті) резонатори та хвильоводи.
18. Функція Гріна в електродинаміці.
19. Лема Лоренца та теорема взаємності.
20. Задача дифракції плоскої хвилі на нескінченній решітці з ідеально провідних стрічок.
21. Метод задачі Римана-Гільберта, розв'язання задач дифракції.

III. СТАТИСТИЧНА РАДІОФІЗИКА

1. Основні поняття теорії випадкових процесів. Стаціонарні й нестаціонарні випадкові процеси та способи їх опису.
2. Кореляційно-спектральна теорія стохастичних процесів.
3. Статистичні характеристики огинаючої та фази вузькосмугового нормального стохастичного процесу.
4. Стохастичні поля. Однорідні та ізотропні поля скалярних і векторних величин. Кореляційна функція та спектри.
5. Теплові флуктуації в електродинаміці.

6. Статистичні явища в радіофізиці. Статистична теорія антен. Статистична теорія розповсюдження радіохвиль.

IV. ФІЗИЧНА ЕЛЕКТРОНІКА

1. Види емісії.
2. Елементарні процеси в іонізованому газі. Основні поняття фізики атомних зіткнень. Переріз розсіювання.
3. Фундаментальні методи теоретичного дослідження плазми. Кінетичні рівняння для електронів у слабоіонізованому газі.
4. Методи діагностики розрядної плазми. Електричні зонди. Рефракційний, інтерференційний та лазерний методи діагностики.
5. Зонна теорія напівпровідників. Ефективна маса.
6. Статистика електронів та дірок в напівпровідниках, концентрація носіїв.
7. Кінетичні явища в напівпровідниках. Кінетичне рівняння Больцмана. Ефект Хола. Електропровідність.
8. Рівняння неперервності. Контактні явища, p-n перехід.
9. Дифузійний та дрейфовий транзистори. МДН, МОН- транзистори.
10. Прилади НВЧ-діапазону – тунельний діод. Лавинно-пролітний діод, діод Ганна.
11. Поглинання та випромінювання в напівпровідниках, прямі та непрямі переходи.
12. Світлодіод. Напівпровідниковий лазер. Критерій виникнення лазерного випромінювання.
13. Фотоелектричні прилади – фоторезистор, фотодіод, фототріод, оптрон. Оптоелектроніка.

V. КВАНТОВА РАДІОФІЗИКА

1. Атом водню і воднеподібні атоми.
2. Атоми з багатьма електронами.
3. Стаціонарні стани молекул.
4. Взаємодія електромагнітного поля речовини в дипольному наближенні. Лінійні та нелінійні тензори діелектричного сприйняття.
5. Напівкласична теорія випромінювання.
6. Імовірність однофотонних і багатофотонних процесів. Спонтанні та індуковані переходи.
7. Форма та інтенсивності спектральних ліній. Форма спектральних ліній в атомарних і молекулярних газах, електронні, коливальні та обертальні переходи. Правила відбору.
8. Однорідне і неоднорідне розширення спектральних ліній. Природня ширина, зштовхувальне і доплерівське розширення. Поперечний та поздовжній час релаксації.
9. Принципи роботи приладів квантової електроніки. Методи створення інверсії населеності та негативного поглинання.
10. Молекулярний генератор. Рівняння для поля в квантовому генераторі.
11. Оптичні резонатори, несталий резонатор.
12. Гаусівські пучки. Розповсюдження у вільному просторі. Граничні умови резонатора.
13. Поздовжні та поперечні типи коливачів, спектр частот та розбіжність (спрямованість) випромінювання. Добротність.
14. Будова та параметри лазера.
15. Лазери на вимушеному комбінаційному розсіянні. Режим роботи лазерів. Надкороткі імпульси.
16. Методи стабілізації частоти лазерів.
17. Гільберт-оптика. Фазові дифракційні елементи для виконання перетворювання Гільберта хвильового пучка.
18. Формування профілю розподілу інтенсивності лазерного пучка дифракційними структурами.

19. Атомна спектроскопія. Методи дослідження рідбергівських станів атомів.
20. Квантові стандарти частоти.

VI. НЕЛІНІЙНА РАДІОФІЗИКА

1. Загальні відомості про нелінійні явища.
2. Методи нелінійної радіофізики.
3. Самодія та взаємодія електромагнітних хвиль.
4. Ударні хвилі. Солітони.
5. Самофокусування пучків хвиль.
6. Нестійкості, їх типи.
7. Нелінійні явища в квантовій радіофізиці.
8. Нелінійні явища в плазмі та навколоземному просторі.
9. Нелінійні явища в статистичній радіофізиці.
10. Детермінований хаос в радіофізиці.
11. Самоорганізація в радіофізиці.

Спеціалізація Біофізика

1. МОЛЕКУЛЯРНА БІОФІЗИКА

1.1. Особливості хімічного складу живої матерії. Основні типи біомолекул, відмінності їх структури та функцій. Аномальні фізичні властивості води. Структурні моделі води. Водні розчини електролітів. Гідратація іонів. Біологічна роль води та іонів.

1.2 Фізичні властивості макромолекул.

Міжмолекулярні взаємодії і сили, які стабілізують будову біологічних макромолекул: кулонівська взаємодія, сили Ван-дер-Ваальса, водневий зв'язок і його основні властивості, гідрофобні взаємодії. Метод атом-атомних потенціалів і методи вивчення міжмолекулярних взаємодій, емпіричні потенціали міжчасткової взаємодії. Внутрішнє обертання та поворотна ізомерія. Конформації макромолекул: гаусові клубки, персистентні ланцюжки, спіральні конфігурації; зв'язок між параметрами реальних і модельних ланцюжків. Конформаційні перетворення: конформаційна статистична сума; теорії кооперативних переходів, ширина температурного інтервалу переходу; вплив іонізації макромолекул. Макромолекули у розчинах: вираження термодинамічних функцій через статистичну суму; рівняння стану макромолекулярних розчинів (граткова модель), віріальні коефіцієнти, тета-точка; виключений об'єм, набухання макромолекули; макроіони, рівняння стану у випадку іонізації макромолекули.

1.3. Фізика білків.

Основні типи вторинної структури поліпептидів та білків. Стабілізація вторинної структури білка, роль водного середовища. Проблема зв'язку первинної структури білка з його просторовою структурою; "самозбирання" білків. Структура та властивості мембранних білків, фібрилярних білків, колагенових білків.

1.4. Фізика нуклеїнових кислот.

Основні типи спіральної структури ДНК і полінуклеотидів. Стабільність подвійної спіралі ДНК, роль взаємодії з водою та іонами. Комплекси нуклеїнових кислот з іонами металів. Взаємодія нуклеїнових кислот з барвниками й антибіотиками. Взаємодія ДНК з білками, білково-нуклеїнове впізнавання.

2. БІОФІЗИКА КЛІТИНИ

2.1. Фізика біомембран.

Хімічний склад і моделі структурної організації біомембран. Роль води в організації структури біологічних мембран. Ферменти біомембран, алостеризм. Обертальна, латеральна та міжмоношарова дифузія мембранних компонентів. Ліпідні рафти та кластери. Фліпази та

скрамблази. Асиметрія біологічних мембран. Природа мембранних потенціалів. Поверхнева активність мембран. Пружні властивості біомембран. Теорія локальних дефектів (пор). Електричний пробій та середній час життя біомембран. Реконструкція біомембран.

2.2. Мембранний транспорт.

Проникність мембран та методи її дослідження. Дифузія води та розчинених речовин. Вільна дифузія нейтральних молекул та іонів. Полегшена дифузія. Моделі транспорту з переносником. Селективні фільтри. Кінетичні моделі активного транспорту. Термодинаміка мембранного транспорту.

2.3. Фізичні аспекти нервової провідності.

Мембранні електричні потенціали. Мембрани, що збуджуються електричним струмом. Фізико-хімічні моделі збудження. Механізми виникнення і розповсюдження нервових імпульсів по аксонах. Молекулярні механізми іонної проникності. Іонні струми та розповсюдження електричних імпульсів. Теорія постійного поля Гольдмана. Моделі Ходжкіна-Хакслі й Нобла та їх аналіз.

2.4. Міжклітинні взаємодії та рецепція.

Види міжклітинних взаємодій: мембранні рецептори, активні центри рецепторів, кінетичні теорії взаємодії речовин з мембранними рецепторами. Молекулярна рецепція. Вторинні посередники та signal transduction. Синаптична передача. Механізми ендо- та екзоцитозу. Спряження збудження з реакцією відповіді. Регуляція мембранних та клітинних функцій.

2.5. Механохімічні процеси.

Термодинамічний опис механохімічного процесу. Структура м'язових білків. Фізико-хімія м'язового скорочення й теоретичні моделі процесу. Механохімічні системи.

2.6. Основні поняття біоенергетики.

Енергетичні функції біомембран. Електрон-транспортні ланцюги. Енергетика окислювально-відновних реакцій. Структура та властивості мітохондрій. Мембранне окислювальне фосфорилування в мітохондріях. Хеміосмотичне спряження. АТФ-синтаза.

3. РАДІАЦІЙНА БІОФІЗИКА

3.1. Взаємодія радіації з речовиною.

Види іонізуючих випромінювань, їх властивості. Джерела випромінювань. Фізичні ефекти при взаємодії іонізуючої радіації з речовиною. Одиниці доз іонізуючих випромінювань та методи дозиметрії. Природна та штучна радіоактивність.

3.2. Вільно-радикальні реакції при взаємодії радіації.

Вільні радикали, фізичні властивості, методи визначення, вільно-радикальні реакції. Радіоліз води, інтермедіати кисню, гідратований електрон. Комірка Франка-Рабиновича. Первинні процеси в опроміненому організмі. Виходи радіаційно-хімічних реакцій, механізми посилення первинних процесів. Кисневий ефект, міграція енергії, утворення перекисів, ланцюгові реакції, ушкодження мембран. Радіопротектори. Антиоксидантна система.

3.3. Вплив іонізуючої радіації на біологічні об'єкти.

Пряма дія іонізуючої радіації на біологічні об'єкти. Теорія "мішені". Радіохімічний вплив іонізуючої радіації на біомолекули (білки, нуклеїнові кислоти, вуглеводи, ліпіди). Вплив іонізуючої радіації на організм. Гостре, хронічне опромінення, локальне пошкодження, наслідки аварії на ЧАЕС, Фукусімі.

4. КРІОБІОФІЗИКА

4.1. Мета та задачі кріобіофізики.

Кріопошкодження біологічних об'єктів, існуючі моделі. Проблема заморожування біологічних об'єктів. Холодова адаптація. Природний та штучний кріозахист. Сучасні уявлення про механізми кріопошкодження клітин: гіпотеза Ловелока, гіпотеза Левітта, двофакторна теорія Мейзура, теорія мінімального об'єму Меримена тощо.

4.2. Властивості води і водних розчинів при температурах нижче 0°C.

Умови рівноваги фаз, правило фаз Гіббса, вплив тиску на температуру фазового переходу, рівняння Клайперона-Клаузіуса. Зниження температури замерзання розчинів відносно чистого розчинника, кінетика кристалізації, склоподібний стан речовини. Вплив швидкості охолодження рідких органічних речовин на перехід до твердоаморфного стану. Властивості льоду, поліморфізм, фазова діаграма льоду. Діаграми фізичного стану розчинів кріозахисних речовин. Механічні властивості заморожених біологічних об'єктів та льоду. В'язко-пружні тіла. Модель Максвелла та модель Кельвіна в'язко-пружних тіл.

4.3. Мембранні процеси в кріобіологічних системах.

Біологічні мембрани та нейтральні молекули в розчині. Трансмембранний перенос речовин. Використання рівняння Кедем-Качальського для аналізу кріозахисних систем.

4.4. Системи складних розчинів.

Біологічні макромолекули в розчині. Всолювання і висолювання. Зв'язування малих молекул з біологічними макромолекулами та мембранами. Метод Скетчарда визначення константи зв'язування.

5. ВПЛИВ ВИПРОМІНЮВАННЯ НА БІОСИСТЕМИ

5.1. Вплив електромагнітних полів на біооб'єкти.

Вплив постійних електричних та магнітних полів на біологічні об'єкти різного рівня організації. Вплив сантиметрових та міліметрових хвиль на біооб'єкти. Фізичні механізми впливу електромагнітного поля на біосистеми на молекулярному рівні. Поведінка води при впливі НВЧ та КВЧ полів.

5.2. Фотобіологічні процеси.

Фотосинтез – енергетична основа життя, дві фотохімічні системи, механізм фотосинтезу. Бактеріородопсин. Зір, будова та робота ока, молекулярний механізм рецепції світла.

6. ТЕОРЕТИЧНА БІОФІЗИКА

6.1. Динамічні моделі біологічних систем.

Особливості біологічної кінетики і методи побудови кінетичних моделей біосистем. Методи редукції і якісний аналіз динамічних моделей. Граничні цикли та аттрактори. Моделі росту популяції. Математичні моделі в мікробіології. Вплив біологічної інерційності на динаміку росту популяції. Моделі Вольтерра і Лоткі. Біологічні тригери, їх характеристики та способи переключення. Генетичний тригер, модель Жакоба і Моно. Математичні моделі конвергентної та дивергентної еволюції. Моделювання реакцій імунної системи. Моделі взаємодії пухлини з організмом.

6.2. Автохвильові процеси в біологічних об'єктах.

Класифікація автохвильових процесів, базові моделі. Росповсюдження збуджень у активних середовищах, модель Тюрінга. Моделі автохвильових процесів типу біжучого імпульсу та біжучої хвилі. Автохвильові режими типу ведучих центрів та умови їх виникнення, ревербератори. Реакції Білоусова - Жаботинського та їх моделі. Основні положення теорії біфуркацій та катастроф. Дисипативні структури і самоорганізація матерії. Базові моделі та типи дисипативних структур.

6.3. Основи біологічної термодинаміки.

Біологічні об'єкти як термодинамічно відкриті та нерівноважні системи. Другий закон термодинаміки й зміна ентропії у відкритих системах. Основний постулат термодинаміки необоротних процесів. Вироблення ентропії та спорідненість хімічної реакції. Рівняння балансу маси. Рівняння балансу ентропії для нерівноважних систем. Лінійні феноменологічні рівняння. Принципи симетрії Кюрі та Кюрі-Пригожина. Співвідношення Онзагера й термодинамічне спряження. Дисипація енергії в скалярних та векторних необоротних процесах. Біологічна еволюція гіперциклів; модель Ейгена. Електрокінетичні явища в процесах переносу, рівняння потоків Кедем-Качальського.

6.4. Стаціонарні стани в нерівноважних системах.

Теорема Пригожина про мінімум вироблення ентропії. Спряження в стаціонарному стані. Зміна ентропії поблизу рівноважного стану. Критерії стійкості та еволюції лінійних нерівноважних систем. Постулати нелінійної термодинаміки; зв'язок між кінетикою та термодинамікою. Стійкість стаціонарних станів, далеких від рівноваги. Спільні закономірності еволюції нерівноважних систем. Роль флуктуацій в еволюції нерівноважних процесів.

7. МЕТОДИ БІОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

7.1. Методи визначення розмірів та форми біомолекул.

Методи визначення щільності та об'єму біомолекул. Визначення молекулярної маси макромолекул методом осмометрії. Залежність характеристичної в'язкості від молекулярної маси та форми біополімерів. Способи вимірювання в'язкості розчинів біополімерів. Метод швидкості седиментації. Метод седиментаційної рівноваги. Метод Арчибальда. Седиментація в градієнті щільності.

7.2. Оптичні методи дослідження біологічних молекул.

Коефіцієнти дифузії біополімерів. Залежність від молекулярної маси та форми біополімерів. Визначення форми, розмірів та поляризованості біомолекул методом подвійного променезаломлення. Визначення молекулярної маси за даними світлорозсіювання малими частками. Сутність динамічного світлорозсіювання. Визначення коефіцієнта дифузії за спектральною інтенсивністю розсіювання. Розсіювання світла великими частками. Малокутове розсіювання рентгенівського проміння.

7.3. Дифракційні методи дослідження структури біополімерів у кристали.

Розсіювання рентгенівського проміння атомами, молекулами, кристалічною ґраткою. Умова дифракції Бреґга-Вульфа. Поняття зворотної ґратки. Умова дифракції Лауе. Рівняння структурного фактора. Проблема фаз у рентгеноструктурному аналізі та методи її вирішення. Особливості кристалографії глобулярних білків. Етапи дослідження структури. Дифракція рентгенівських променів на фібрилярних структурах. Структура нуклеїнових кислот за рентгенографічними даними. Особливості електронної мікроскопії біооб'єктів. Принцип дії тунельного мікроскопа.

7.4. Спектроскопія біооб'єктів.

Ультрафіолетова абсорбційна спектроскопія. Особливості УФ-спектрів білків та нуклеїнових кислот. Коливальні спектри біомолекул. Інфрачервона спектроскопія біополімерів. Метод матричної ізоляції. Спектроскопія комбінаційного розсіювання. Типи взаємодії поляризованого світла з речовиною. Метод дисперсії оптичного обертання. Визначення ступеню спіральності білків методом ДОО. Метод кругового дихроїзму. Основні параметри спектрів КД. Спектри КД білків та нуклеїнових кислот. Фізичні основи ядерного магнітного резонансу. Застосування методу ЯМР у молекулярній біофізиці та біології. Метод електронного парамагнітного резонансу в біофізиці. Діелектрична спектроскопія біополімерів. Мас-спектрометрія біомолекул.

7.5. Методи дослідження гідратації біомолекул.

Визначення ізотерм гідратації методом гравіметрії. ІЧ-спектроскопічні дослідження гідратації біомолекул. Визначення ступеня гідратації біомолекул у розчинах методом НВЧ-діелектрометрії. Калориметричні дослідження енергетики гідратації. Застосування методу ЯМР для дослідження гідратації біомолекул. Ультразвукова велосиметрія як метод визначення гідратації біомолекул.

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

1. Виконання кожного завдання білета оцінюється балом за таблицею:

№ з/п	Кільк. балів	При оцінці відповіді на теоретичні питання	При оцінці розв'язання задачі
1	0	Виявлено, що студент виявив академічну недобросовісність	

2	1-20	Наведено лише визначення термінів, які входять до формулювання питання	Записано коротку умову, наведено діаграму або рисунок до задачі, записано основні закони з цієї теми
3	21-40	Наведено лише загальні відомості	Додатково до п. 2 вказано метод розв'язання задачі
4	41-60	Наведено нечітку відповідь	Додатково до п. 3 при правильному виборі методу розв'язання допущено грубі помилки
5	61-80	Наведено відповідь з незначними помилками	Додатково до п. 3 при правильному виборі методу розв'язання не доведено до кінця
6	81-90	Наведено правильну в цілому відповідь з порушеннями логіки викладення матеріалу або без належних ілюстрацій чи оформлення відповіді ускладнює розуміння тексту	Задачу доведено до правильної кінцевої формули і на тому припинено розв'язання
7	91-100	Повна бездоганна відповідь	Здобуто правильну кінцеву формулу та проведено її аналіз, перевірку на розмірність, вірно визначено числове значення.

2. Загальна оцінка вступного випробування за 100-бальною шкалою розраховується за формулою:

$$\text{Оцінка} = (\text{П1} + \text{П2} + \text{П3}) / 3,$$

де П1, П2, П3 – бали за відповіді на окремі завдання екзаменаційного білета.

3. Якщо «Загальна оцінка» не є цілим числом, то оцінка округлюється з урахуванням правил округлення.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Мигулин В.В. Теория колебаний. М., Наука, 1987.
2. Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику. Часть 1. Наука, 1976.
3. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. Часть 2. М., Наука, 1978.
4. Гинзбург В.Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. М., Физматгиз, 1967.
5. Ярив А. Квантовая электроника и нелинейная оптика. М., Советское радио, 1973.
6. Пантел Р., Путхоф Г. Основы квантовой электроники. М., Мир, 1972.
7. Микаэлян А.Л., Тер-Микаэлян М.Л., Турков Ю.Г. Оптические квантовые генераторы на твердом теле. М., Советское радио, 1967.
8. Карлов Н.В. Лекции по квантовой электронике. М., Наука, 1983.
9. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М., Наука, 1984.
10. Додд Р., Эйлбек Дж., Гиббон Дж., Моррис Х. Солитоны и нелинейные волновые уравнения. М., Мир, 1988.
11. Шустер Г. Детерминированный хаос. М., Мир, 1988.
12. Соболев В.Д. Физические основы электронной техники. М., Высшая школа, 1979.
13. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М., Наука, 1987.
14. Сипкевич О.А., Стаханов Н.П. Физика плазмы, стационарные процессы в частично ионизированном газе. М., Высшая школа, 1991.

15. Ржевкин К.С. Физические принципы действия полупроводниковых приборов. М., МГУ, 1986.
16. Чорногор Л.Ф. Нелінійна радіофізика. Підручник. Харків, ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2016.
17. Лазоренко О.В., Черногор Л.Ф. Нелинейные явления в радиофизике: Сборник задач. Харьков, ХГУ, 1998.
18. Григоруک В.І., Коротков П.А., Хижняк А.І. Лазерна фізика. Київ, МП "Леся", 1997.
19. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. М., Мир, т.т. 1,2, 1984.
20. Викулин Н.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. М., Радио и связь, 1990.
21. Светличный В.Н. Твердотельная электроника, тексты лекций. Харьков, ХГУ, ч.1, ч.2, 1990.
22. Прохоров Э.Д. Твердотельная электроника, тексты лекций. Харьков, ХГУ, ч.3, 4, 1993.
23. Kraus, J.D. Electromagnetics. 4th ed., McGraw-Hill, 1992. XIX.
24. Kraus, J.D. Antennas, McGraw-Hill, 1988. XXV.
25. Baker, G.L., and J.P. Gollub. Chaotic Dynamics. Cambridge University Press, 1996.
26. Нолтинг Б. Новейшие методы исследования биосистем. М.: Техносфера, 2005. - 256 с.
27. Микрофлюидные системы для химического анализа. ред.: Ю. А. Золотов, В. Е. Курочкин. Москва : Физматлит, 2011. - 528 с.
28. Пул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. М.: Техносфера. 2006. 336 с.
29. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. М.: Физматлит. 2005. 416 с.
30. Ашихмин В. Н. Введение в математическое моделирование. Учебное пособие - Москва: Логос, 2004.
31. Schlick T. Molecular Modeling and Simulation. An Interdisciplinary Guide. – N.Y.: Springer, 2006. – 635 p.
32. Малеев В.Я. Методы биофизических исследований. Харьков.: Изд. ХНУ имени В.Н. Каразіна, 2014. – 457 с.
33. Рубин А.Б. Биофизика (в 2 томах). - М.: МГУ, 2004. – 442 с., 463 с.
34. Біофізика / П.Г.Костюк, В.Л.Зима, І.С.Магура та ін. - К. : Обереги, 2001. - 544 с.
35. Малеев В. Я. Методы биофизических исследований. – Харьков : Издательство ХНУ им. В.Н. Каразіна, 2014 . – 457 с.
36. Фізика біомембран: підруч. для студ. вищ. навч. закл. / Є. О. Гордієнко, В. В. Товстяк. - К.: Наукова думка, 2009. - 271 с.
37. Nölting B. Methods in Modern Biophysics. – Berlin, Springer-Verlag, 2006. – 257 p.
38. Nelson P. Biological physics. Energy, Information, Life. – NY, W.H. Freeman and Company, 2004. – 598 p.
39. Cotterill R. Biophysics. An Introduction. – John Wiley & Sons, 2003. – 395

Голова предметної комісії



Вячеслав МАСЛОВ

Затверджено на засіданні приймальної комісії,
протокол № 2 від 8 лютого 2021 р.

Відповідальний секретар
приймальної комісії



Ольга АНОЩЕНКО