

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра медичної фізики та біомедичних нанотехнологій

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з науково-педагогічної
роботи



Олександр ГОЛОВКО

2022р.

Робоча програма навчальної дисципліни

**БІОМЕДИЧНІ НАОТЕХНОЛОГІЇ (СЕНСОРИКА ТА ЛЮМІНЕСЦЕНТНІ
МЕТОДИ В БІОЛОГІЇ ТА МЕДИЦИНІ)**

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти перший (бакалавр)

галузь знань 10 – "Природничі науки"

(шифр і назва)

спеціальність (напрям підготовки) 105 – "Прикладна фізика та наноматеріали"

(шифр і назва)

освітня програма освітньо-професійна програма "Біомедичні нанотехнології"

(шифр і назва)

спеціалізація ,

(шифр і назва)

вид дисципліни вибіркова

(обов'язкова / за вибором)

факультет ННІ «Фізико-технічний факультет»

2022 / 2023 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження вченовою радою ННІ «Фізико-технічний факультет»

“26” серпня 2022 року, протокол № 8

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

Горбенко Галина Петрівна, д.ф.-м.н., професор, професор кафедри медичної фізики та біомедичних нанотехнологій

Програму схвалено на засіданні кафедри

медичної фізики та біомедичних нанотехнологій

Протокол від “26” серпня 2022 року № 7

Завідувач кафедри медичної фізики та біомедичних нанотехнологій

(підпис)

Валерія ТРУСОВА

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньо-професійної програми "Біомедичні нанотехнології"

Гарант освітньо-професійної програми "Біомедичні нанотехнології"

(підпис)

Ольга ЖИТНЯКІВСЬКА

Програму погоджено науково-методичною комісією

ННІ «Фізико-технічний факультет»

назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “30” серпня 2022 року № 11

Голова методичної комісії ННІ «Фізико-технічний факультет»

(підпис)

Микола ЮНАКОВ

(прізвище та ініціали)

ВСТУП

1. Опис навчальної дисципліни

Робочу програму навчальної дисципліни «Сенсорика та люмінесцентні методи в біології та медицині» 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 «Сенсорика та люмінесцентні методи в біології та медицині» є необхідною складовою циклу професійної підготовки фахівців першого освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр», в якій розглядаються фізичні засади та практичні аспекти методу флуоресцентної спектроскопії, принципи дії біосенсорів та їх типи.

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни - ознайомлення з основними спектроскопічними поняттями, типами електронних переходів, законами люмінесценції та галузями її застосування, а також поглиблене вивчення фізичних зasad функціонування біосенсорів та технологій їх конструювання.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

- оволодіння методами квантово-механічного опису електронно-збуджених станів;
- засвоєння методів визначення основних характеристик люмінесценції;
- набуття здатності проведення експериментальних досліджень, вимірювання та інтерпретації спектрів флуоресценції біомолекул;
- опанування методів розробки біосенсорів різних типів.

Вивчення дисципліни «Сенсорика та люмінесцентні методи в біології та медицині» 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 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 7. Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності.

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

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

ФК 11. Здатність використовувати отримані знання для розробки та забезпечення працездатності сучасних систем медико-біологічних досліджень та діагностики із дотриманням нормативних заходів безпеки їх експлуатації.

ФК 12. Здатність використовувати комп’ютерне моделювання для дизайну біонанотехнологічних об’єктів із заданими властивостями (зокрема, лікарських засобів та їх нанотранспортерів, нанорозмірних візуалізуючих агентів для медичної діагностики).

1.3. Кількість кредитів - 7

1.4. Загальна кількість годин - 210

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
Нормативна	
Денна форма навчання	
Рік підготовки	
4-й	
Семестр	
7-й	
Лекції	
48 год.	
Лабораторні заняття	
64 год.	
Практичні заняття	
год.	
Самостійна робота	
98 год.	
Індивідуальні завдання	
1 год.	

1.6. Заплановані результати навчання

Очікувані результати навчання відповідають програмним результатам навчання ОП «Сенсорика та люмінесцентні методи в біології та медицині» 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 сущільних 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 наукових технологій.

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

ПРН-10. Відшуковувати 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.

ПРН-12. Мати навички самостійного прийняття рішень стосовно своїх освітньої траєкторії та професійного розвитку.

ПРН-13. Мати базові навички проведення теоретичних та/або експериментальних наукових досліджень з окремих спеціальних розділів фізики, що виконуються індивідуально (автономно) та/або у складі наукової групи

ПРН-14. Знати і розуміти основні вимоги техніки безпеки при проведенні експериментальних досліджень, зокрема правила роботи з певними видами обладнання та речовинами, правила захисту персоналу від дії різноманітних чинників, небезпечних для здоров'я людини.

ПРН-15. Знати, аналізувати, прогнозувати та оцінювати основні екологічні аспекти загального впливу промислово-технологічної діяльності людства, а також окремих фізичних явищ, наукових досліджень та процесів (природних і штучних) на навколоішне природне середовище та на здоров'я людини.

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

знати: основні закони та характеристики люмінесценції, принципи функціонування та основні конфігурації біосенсорів.

вміти: застосовувати метод флуоресцентної спектроскопії в біологічних та медичних дослідженнях та розробляти прототипи датчиків, що містять біологічний компонент

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Фізичні засади методу флуоресцентної спектроскопії.

Тема 1. Основні спектроскопічні поняття. Шкала електромагнітних хвиль. Особливості видимого діапазону. Характеристики світлового випромінювання. Визначення люмінесценції. Електронно-збуджені стани.

Тема 2. Квантовомеханічний опис електронних переходів. Основні принципи квантової механіки. Головне квантове число. Орбітальне квантове число. Магнітне квантове число. Спінове квантове число. Заповнення атомних орбіталей. Періодичність властивостей хімічних елементів. Метод молекулярних орбіталей.

Тема 3. Поглинання світла. Спектрофотометрія. Взаємодія світла з речовиною. Поглинання монохроматичного світла розчинами. Закон Бугера-Ламберта-Бера. Спектри поглинання. Поглинання білків. Поглинання нуклеїнових кислот. Застосування спектрофотометричного аналізу.

Тема 4. Основні характеристики флуоресценції. Діаграма Яблонського. Спектри емісії та збудження флуоресценції. Квантовий вихід флуоресценції. Час життя флуоресценції. Анізотропія флуоресценції.

Тема 5. Основні закони люмінесценції. Правило Каши. Закон Стокса. Стоксівська та антистоксівська флуоресценція. Правило Левшина. Закон Вавілова.

Тема 6. Гасіння флуоресценції. Рівняння Штерна – Фольмера. Гасники флуоресценції. Динамічне і статичне гасіння. Гасіння флуоресценції гетерогенних флуорофорів.

Тема 7. Перенос енергії електронного збудження. Фізичні основи переносу енергії. Перенос енергії в складних системах. Перенос енергії в мембрanaх.

Розділ 2. Практичні аспекти методу люмінесцентної спектроскопії.

Тема 8. Люмінофори. Неорганічні і органічні люмінофори. Особливості будови органічних флуорофорів. Зовнішні флуорофори. Флуоресцентні мітки. Дансилюхорид. Похідні флуоресцейну і родаміну. Похідні BODIPY. Довгохвильові мітки. Флуоресцентні зонди. Нафтиламіносульфонові кислоти.

Тема 9. Вимірювання спектрів флуоресценції. Залежність інтенсивності флуоресценції від концентрації флуорофору. Спектри збудження. Корекція на ефекти внутрішнього фільтру. Визначення квантового виходу флуоресценції. Вимірювання анізотропії флуоресценції. Експериментальне визначення ефективності переносу енергії. Вимірювання часу життя збудженого стану.

Розділ 3. Принципи дії біосенсорів

Тема 10. Предмет і задачі сенсорики. Основні поняття сенсорики. Класифікація біосенсорів.

Тема 11. Фізико-хімічні основи функціонування біосенсорів. Молекулярні системи підсилення. Ферментативне підсилення. Модуляція неспецифичної реакції. Зміщення рівноваги. Каскадне підсилення.

Тема 12. Методи іммобілізації біологічних елементів сенсорів. Адсорбція на носіях. Ковалентне приєднання до носіїв. Металохелатний метод. Зшивання з біфункціональними реагентами. Включення у просторову сітку гелей. Мірокапсулювання. Порівняльна характеристика методів іммобілізації білків. Методи іммобілізації ліпідів. Хімічна модифікація поверхні підкладки. Формування фосфоліпідних мембрани на твердій підкладці.

Розділ 4. Типи біосенсорів

Тема 13. Електрохімічні сенсори. Фізико-хімічні основи функціонування електрохімічних сенсорів. Електрохімічне коло. Основні характеристики електрохімічних процесів. Класифікація електродів. Іонселективні електроди. Скліаний електрод. Ферментні електроди. Сучасні тенденції розвитку електрохімічних біосенсорів.

Тема 14. Біосенсори на об'ємних п'єзоелектрических резонаторах.

Тема 15. Гравіметричні сенсори.

Тема 16. Біосенсори на поверхневих акустичних хвилях.

Тема 17. Калориметричні біосенсори.

Тема 18. Оптичні біосенсори. Розповсюдження світла в оптичному волокні. Повне внутрішнє відбиття. Згасаюче поле. Поверхневий плазмонний резонанс. Класифікація оптичних датчиків. Датчики з модульованою амплітудою. Сенсори на комбінаційному розсіюванні.

Тема 19. Галузі застосування біосенсорів.

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
Розділ 1. Фізичні засади методу флуоресцентної спектроскопії						
Тема 1. Основні спектроскопічні поняття.		2				3
Тема 2. Квантовомеханічний опис електронних переходів.		2				6
Тема 3. Поглинання світла.		2		4		3

Тема 4. Основні характеристики флуоресценції.	2		4		6
Тема 5. Основні закони люмінесценції.	2		4		4
Тема 6. Гасіння флуоресценції.	2		4		3
Тема 7. Перенос енергії електронного збудження.	2		4		10
Разом за розділом 1		14	20		35
Розділ 2. Практичні аспекти методу люмінесцентної спектроскопії					
Тема 8. Люмінофори.	2		4		6
Тема 9. Вимірювання спектрів флуоресценції.	3		4		9
Разом за розділом 2		5	8		15
Розділ 3. Принципи дії біосенсорів					
Тема 10. Предмет і задачі сенсорики.	2			1	3
Тема 11. Фізико-хімічні основи функціонування біосенсорів.	4		4		3
Тема 12. Методи іммобілізації біологічних елементів сенсорів.	4		4		4
Разом за розділом 3		10	8	1	10
Розділ 4. Типи біосенсорів					
Тема 13. Електрохімічні сенсори.	2		4		8
Тема 14. Біосенсори на об'ємних п'єзо-електрических резонаторах.	2		4		4
Тема 15. Гравіметричні сенсори.	2		4		3
Тема 16. Біосенсори на поверхневих акустичних хвилях.	2		4		8
Тема 17. Калориметричні біосенсори.	2		4		4
Тема 18. Оптичні біосенсори.	4		4		8
Тема 19. Галузі застосування біосенсорів.	3		4		3
Разом за розділом 4		19	28		38
Усього годин	210	48	64	1	98

4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Порівняння методів визначення глюкози у біологічних рідинах з використанням набору для клінічної діагностики та глюкометру One Touch.	4
2	Принципи дії, класифікація та перспективи розвитку амперометрических біосенсорів.	4
3	Використання гібридних наноструктур та метаматеріалів для удосконалення оптических біосенсорів.	4
4	Порівняльний аналіз хімічних та біосенсорних методів визначення якості меду.	4
5	Визначення токсичного глікоалкалойду соланіну в картоплі хімічним та біосенсорним методами.	4
6	Визначення концентрації іонів кадмію за допомогою кондуктометрического біосенсора на основі лужної фосфатази	4
7	Визначення пестицидів та іонів важких металів за допомогою біосенсорів на основі холінестерази.	4

8	Визначення збудників сальмонельозу за допомогою імунного біосенсору на основі поверхневого плазмонного резонансу.	4
9	Спектрофотометричне дослідження білків.	4
10	Спектрофотометричне дослідження нуклеїнових кислот.	4
11	Флуоресцентний аналіз білків.	4
12	Флуоресцентний аналіз нуклеїнових кислот.	4
13	Вимірювання ефективності Фьорстерівського переносу енергії в біомакромолекулах та модельних мембранах.	4
14	Аналітичні системи на основі вимірювання хемілюмінесценції та біолюмінесценції.	4
15	Метод флуоресцентної <i>in situ</i> гібридизації (FISH)	4
16	Використання флуоресцентних міток при проведенні полімеразної ланцюгової реакції.	4
	Разом	64

5. Завдання для самостійної робота

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1.	Види люмінесценції.	3
2.	Будова електронної оболонки атомів.	3
3.	Типи електронних переходів.	3
4.	Спектри поглинання біомолекул.	3
5.	Поляризація в граничних випадках.	3
6.	Поляризація в реальних системах.	3
7.	Кvantовомеханічна теорія переносу енергії.	4
8.	Флуоресценція білків.	3
9.	Мембрани зонди.	5
10.	ДНК зонди.	5
11.	Люмінесцентні методи в біологічних дослідженнях.	3
12.	Застосування люмінесцентного аналізу в медицині.	3
13.	Зелений флуоресцентний білок.	3
14.	Флуоресцентні сенсори.	3
15.	Сучасні тенденції розвитку флуоресцентної спектроскопії.	3
16.	Історія розвитку біосенсорики.	3
17.	Переваги та недоліки біосенсорів.	3
18.	Порівняльна характеристика методів іммобілізації ферментів	4
19.	Іонселективні електроди	4
20.	Електрохімічні біосенсори на глюкозу.	4
21.	Біосенсори у медицині.	4
22.	Біосенсори у моніторингу навколошнього середовища.	3
23.	Прямі зовнішні та внутрішні оптичні сенсори.	4
24.	Непрямі зовнішні та внутрішні оптичні сенсори.	4
25.	Датчики з модульованою довжиною хвилі.	4
26.	Прямі зовнішні та внутрішні флуоресцентні сенсори.	4
27.	Непрямі зовнішні та внутрішні флуоресцентні сенсори.	4
28.	Сучасні тенденції розвитку біосенсорів.	3
	Разом	98

6. Індивідуальні завдання

Реферат обсягом 20 сторінок на одну з тем курсу.

7. Методи контролю

Поточного:

- відвідування занять та ведення конспекту;
- поточний контроль на практичних та лабораторних заняттях;
- поточні електронні тести;
- самостійна робота та індивідуальне завдання.

Складові підсумкового контролю:

- бали поточного контролю;
- комбінований письмовий екзамен.

Якісні критерії оцінювання успішності виконання контрольних робіт, індивідуальних завдань, інших видів роботи, що потребують оцінювання

Вимоги для оцінки „відмінно”:

- міцне засвоєння змісту програми навчальної дисципліни та наукових першоджерел;
- здатність повністю, глибоко і всебічно розкрити зміст поставленого завдання;
- правильне застосування одержаних знань з різних дисциплін для вирішення поставлених завдань; послідовне і логічне викладання матеріалу;
- здатність обґрунтувати власну думку та ставлення до певних фахових проблем;
- чітке розуміння і вільне доречне застосування фахової науково-технічної термінології, вміння грамотно ілюструвати відповідь прикладами;
- здатність встановлювати взаємозв'язок між основними поняттями;
- вільне використання теоретичних знань для аналізу практичного матеріалу;
- демонстрація високого рівня набутих практичних навичок.

Можлива наявність незначних неточностей у викладенні матеріалу, які не приводять до помилкових висновків і рішень, але впливають на отриманий бал.

Вимоги для оцінки „добре”:

- добре засвоєння основного зміст навчальної дисципліни, основних ідей наукових першоджерел;
- належна аргументація, правильне та послідовне розкриття основного змісту матеріалу;
- демонстрація власних міркувань з приводу тих чи інших проблем;
- точне використання наукової термінології;
- демонстрація основних практичних навичок при аналізі фахових задач.

Можлива наявність певних непринципових неточностей у використанні спеціальної термінології, похибок у логіці викладання теоретичного матеріалу або аналізу практичних даних, невизначальних помилок у висновках та узагальненнях, що не впливають на конкретний зміст відповіді, але впливають на отриманий бал.

Вимоги для оцінки „задовільно”:

- засвоєння лише базових понять дисципліни, обмеженість відповіді лише такими поняттями, відсутність поглиблена аналізу та опису проблеми чи питання, наявність у відповіді лише частини необхідної інформації; неналежне оперування інформацією з наукових першоджерел;
- неналежна послідовність та логіка у викладанні матеріалу та висновків;
- неналежне чи відсутнє обґрунтування оцінки фактів та явищ;
- наявність суттєвих помилок при викладенні матеріалу, поясненні термінології та вирішенні практичних питань.

Обсяг викладення змісту питання, кількість та суттєвість помилок визначально впливають на отриманий бал.

Оцінку „незадовільно” студент отримує, якщо:

- основний зміст завдання не розкрито;

- продемонстровано низький рівень орієнтації у змісті програми дисципліни та наукових першоджерела;
- не підтверджено знання наукових фактів та визначень;
- допущені суттєві принципові помилки у викладанні матеріалу та висновках;
- продемонстровано низький рівень знання та застосування спеціальної термінології;
- відсутність наукового мислення та практичних навичок.

8. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання					Екзамен	Сума
Лабораторні роботи	Електронні тести	Контрольна робота	Індивідуальне завдання	Разом		
20	20	10	10	60	40	100

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	для чотирирівневої шкали оцінювання	для дворівневої шкали оцінювання
90 – 100	відмінно	
70-89	добре	зараховано
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

9. Рекомендована література

Основна література

1. . Біотехнологія: Підручник / В.Г. Герасименко, М.О. Герасименко, М.І. Цвіліховський та ін. -К.: Фірма «ІНКОС», 2006. — 647 с.
2. Біосенсорика / Навчально-методичний посібник / Укладачі: Горбенко Г.П., Іоффе В.М. – Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2006.- 74 с/
3. С.В.Дзядевич, О.П.Солдаткін. Наукові та технологічні засади створення мініатюрних електрохімічних біосенсорів. / Київ: Наукова думка, 2006.-256 с.
4. Є.П. Ковал'чук, Б.Б. Остапович; Я.С.Ковалишин. Хімічна і біологічна сенсорика: навчальний посібник – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2012.-340 с/
5. D. M. Jameson. Introduction to Fluorescence. CRC Press. 2019.-313 p.
6. A. P. Demchenko. Introduction to Fluorescence Sensing. Springer International Publishing. 2015. 794 p.
7. B. Valeur, M. N. Berberan-Santos. Molecular Fluorescence: Principles and Applications, Second Edition. 2012.- Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 569 p.
8. J.R. Lakowicz. Principles of fluorescence spectroscopy. 3 rd edition. Kluwer Academic/Plenum Publishers NY, Boston, Dordrecht, London, Moscow, 2006, 698 p.
9. U. Kubitscheck. Fluorescence Microscopy: From Principles to Biological Applications. Wiley-VCH Verlag GmbH & CoKGaA. 2013. 410 p.

10. Mondal P. P., Diaspro A. Fundamentals of Fluorescence Microscopy. Exploring Life with Light. Springer. 2014, 218 p.
11. M. Tabata, Y. Miyahara, From new materials to advanced biomedical applications of solid-state biosensor: A review // Sensors and Actuators B: Chemical 2022.- V. 352, 131033.
12. M. Li, R. Singh, Y. Wang, C. Marques, B. Zhang, S. Kumar, Advances in Novel Nanomaterial-Based Optical Fiber Biosensors—A Review // Biosensors 2022, 12(10), 843.
13. H. Altug, S.-H. Oh, S. A. Maier, J. Homola, Advances and applications of nanophotonic biosensors // Nature Nanotechnology.- 2022.- V. 17.-P. 5–16.
14. J. Narang, C. S. Pundir – Biosensors: An Introductory Textbook - Pan Stanford Publishing, 2017.- 160 p.
15. Z..K. Gryczynski, I. Gryczynski, Practical Fluorescence Spectroscopy.- CRC Press.-2022.- 792 p.

Допоміжна література

1. Т. А. Сергеєва, Г. В. Єльська, Біосенсори. З'єднання живого з неживим // Наука та наукознавство, 2016, № 3, с. 60-70.
2. Меренич, Н. А. Метод поверхневого плазмонного резонансу як перспектива розвитку біосенсорики / Меренич Н. А., Калашнікова Л. Є. // Біомедична інженерія і технологія. – 2018. – № 1(1). – С. 76–79.
3. Основи біомедичного радіоелектронного апаратобудування: навчальний посібник. Злєпко С.М., Павлов С.В., Коваль Л.Г. та ін. – Вінниця: ВНТУ. – 2011.-133 с.
4. В. О. Федоренко, Б. О. Остащ, М. В. Гончар, Ю. В. Ребець. Великий практикум з генетики, генетичної інженерії та аналітичної біотехнології мікроорганізмів [навч. посібник] / – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007.-282 с.
5. С. В. Дзядевич, Амперометричні ферментні біосенсори, Біотехнологія.- 2008.-Т. 1, №1, С. 46-60.
6. В. П. Марценюк, О. М. Мочульська, О. Р. Боярчук, Г. А. Павлишин, А. С. Сверстюк, Ю. В. Завіднюк, В. І. Бондарчук, Перспективи розробки і застосування біосенсорів та імуносенсорів із діагностичною метою у клінічній медицині // Вісник наукових досліджень. 2019. № 1.-С. 15-22.
7. Celine I. L. Critical overview on the application of sensors and biosensors for clinical analysis / Celine I. L. Justino, Armando C. Duarte, Teresa A. P. Rocha-Santos // TrAC Trends in Analytical Chemistry. – Volume 85, Part A. – 2016. – P. 36–60.
8. E. B. Bahadır, M. K. Sezgintürk, Applications of commercial biosensors in clinical, food, environmental, and biothreat/biowarfare analyses // Analytical Biochemistry. 2015.– Vol. 478.– P. 107–120.
9. . J.Y. Yoon, Introduction to biosensors. From electric circuits to immunosensor. / Springer, 2013.-333 p/

10. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/biosensors>
2. <https://www.nature.com/subjects/biosensors>
3. <https://www.electronicshub.org/types-of-biosensors/>
4. <https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/fluorescence-spectroscopy>
5. <https://www.chem.uci.edu/~dmitryf/manuals/Fundamentals/Fluorescence%20Spectroscopy.pdf>
6. <https://www.news-medical.net/life-sciences/What-is-Fluorescence-Spectroscopy.aspx>
7. <https://www.youtube.com/watch?v=5Q0n27pnQQU>

8. <https://conductscience.com/fluorescence-spectrophotometry-principles-and-applications/>
9. <https://www.creative-proteomics.com/pronalyse/application-of-fluorescence-spectroscopy.html>
10. <https://astbury.leeds.ac.uk/facilities/identification/fluorescence/>
11. <https://www.intechopen.com/books/9883>