

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
Фізико-технічний інститут**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ФТІ

\_\_\_\_\_ О. Новіков

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ р.

## **Біофізика мембранних структур**

**ПВБ 2.5**

### **ПРОГРАМА навчальної дисципліни**

**Магістерський рівень вищої освіти**

**Спеціальність 105 «Прикладна фізика і наноматеріали»**

**Освітньо-наукова програма «Прикладна фізика»**

Ухвалено методичною комісією

Фізико-технічного інституту

протокол від \_\_\_\_\_ 2020\_\_ р. № \_\_\_\_\_

Голова методичної комісії

\_\_\_\_\_ С.А. Смирнов

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020\_\_ р.

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

ст.викл., к.б.н. Маслов Віталій Юрійович

---

Програму затверджено на засіданні кафедри прикладної фізики протокол від

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020\_ року № \_\_\_\_\_

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ С.О. Воронов

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020\_ р.

## **Вступ**

Програму навчальної дисципліни «Біофізика мембранних структур» складено відповідно до освітньо-наукової програми «Прикладна фізика» другого магістерського рівня вищої освіти спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали».

Навчальна дисципліна належить до циклу професійної підготовки.

Статус навчальної дисципліни – вибіркова.

Обсяг навчальної дисципліни 4.5 кредитів ЄКТС.

Міждисциплінарні зв'язки: навчальна дисципліна «Біофізика мембранних структур» (ПВБ 2.5) входить до циклу професійної підготовки (вибіркового блоку 2 «Фізика живих систем»); дисципліни, що передують: фізика інформаційних процесів і систем (ПВБ 2.1), синергетика (ПВБ 2.2), основи анатомії і фізіології людини (ПВБ 2.3), методи дослідження збудливих мембран (ПВБ 2.4); дисципліни, що забезпечуються: біохімія клітинних процесів (ПВБ 2.6), молекулярна фізіологія (ПВБ 2.9), біофізика синаптичної передачі (ПВБ 2.11).

## **1. Мета та завдання навчальної дисципліни**

### **1.1. Мета навчальної дисципліни.**

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів компетентностей:

Загальні компетентності.

ЗК 1 Здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу

ЗК 2 Здатність до навчання та самоаналізу (пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел)

ЗК 8 Здатність вести дослідницьку діяльність, включаючи аналіз проблем, постановку цілей

і завдань, вибір способу й методів дослідження, а також оцінку їх якості

ЗК 10 Здатність генерувати нові ідеї й нестандартні підходи до їх реалізації (креативність)

Фахові компетентності.

ФК 1 Здатність виконувати аналіз спеціальної літератури, формувати постановку наукової або науково-технічної задачі, обирати методи та методики, складати програми наукових досліджень та науково-технічних розробок у галузі прикладної фізики та наноматеріалів.

ФК 2 Здатність до безперервного поглиблення фундаментальних знань та систематичного вивчення та аналізу нової науково-технічної інформації, світового досвіду в галузі прикладної фізики

ФК 3 Здатність відповідно до поставленої задачі проводити наукові дослідження фізичних систем, явищ і процесів (експериментальні, теоретичні, комп'ютерне моделювання) в галузі прикладної фізики та наноматеріалів

ФК 5 Здатність розробити схему фізичного експерименту та обрати необхідне лабораторне

обладнання для проведення експерименту, проводити експериментальне дослідження властивостей фізичної системи, явищ і процесів у фізичній системі та обробити результати експерименту із використанням сучасного прикладного програмного забезпечення

ФК 6 Здатність аналізувати отримані результати, презентувати їх фахівцям у даній галузі, оформлювати наукові статті та науково-технічні звіти

ФК 9 Здатність використовувати методи і засоби математичного моделювання для опису фізичних об'єктів та процесів

ФК 11 Здатність до аналізу фізичних принципів функціонування інформаційних процесів

фізичних системах, в т.ч. в енергетиці та біофізиці

ФК 13 Здатність готувати об'єкти дослідження та вибирати необхідне лабораторне устаткування

для досліджень властивостей явищ і процесів у фізичній, біофізичній системі, в області високих фізичних технологій, фізики живих систем та новітніх джерел енергії\_\_

## **1.2. Основні завдання навчальної дисципліни.**

Після засвоєння навчальної дисципліни студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

### **ЗНАННЯ:**

- будови мембран збудливих клітин,
- функцій окремих мембранних структур,
- сучасних методів дослідження мембран,
- механізмів клітинної збудливості та її пластичності,
- основних властивостей різних типів іонних каналів та рецепторів,
- основних методологічних підходів до моделювання мембранних процесів,
- принципів передачі сигналів з мембрани в середину клітини.

### **УМІННЯ:**

- орієнтуватись в сучасних напрямках біофізичних та електрофізіологічних досліджень клітинних мембран,
- оперувати характерними біофізичними параметрами збудливих клітин при виконанні модельних та оціночних розрахунків,
- користуватись сучасною науковою періодикою з біофізики мембран та електрофізіології;

## 2. Зміст навчальної дисципліни

### Структура кредитного модуля

Назви розділів і тем	Кількість годин				
	Всього	у тому числі			
		Лекції	Практичні (семінарські )	Лабораторні (комп'ютерні й практикум)	CPC
1	2	3	4	5	6
<b>Розділ 1. Мембранний транспорт</b>					
Тема 1. Вступ. Мета та побудова курсу. Загальні відомості про фізіологію збудливих тканин. Методи та апаратура дослідження мембран. Будова клітинних мембран, структури, що забезпечують збудливість.	10	4	2	-	4
Тема 2. Біопотенціали. Транспорт іонів та іонна проникність мембран. Потенціал спокою. Потенціал дії. Еквівалентна електрична схема клітинної мембрани.	20	6	6	-	8
Тема 3. Молекулярні механізми клітинної збудливості. АТФ-ази клітинної мембрани. Ліганд- та потенціал-керовані іонні канали.	20	6	6	-	8
Тема 4. Реєстрація біопотенціалів. Сонтанні та викликані потенціали. Поза- та внутрішньоклітинна реєстрація. Мікроелектродна техніка.	14	4	4	-	6
Тема 5. Фіксація мембранного потенціалу. Метод фіксації мембранного потенціалу та його модифікації. Модель Ходжкіна-Хакслі.	24	6	8	-	10
Разом за розділом 1	88	26	26	-	36
<b>Розділ 2. Клітинна сигналізація</b>					
Тема 6. Міжклітинні зв'язки. Розповсюдження потенціалу дії.	14	4	4	-	6

Синаптична передача.					
Тема 7. Механізми взаємодії мембранних та внутрішньоклітинних процесів. Іонотропні та метаботропні рецептори. Фармакологія рецепторів. Кальцієва сигналізація.	20	6	6		8
Тема 8. Застосування електрофізіологічних методів у медицині.	7				7
Домашня контрольна робота					6
Разом за розділом 2	37	10	10		27
<b>Всього годин</b>	135	36	36		63

### 3. Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1.	Вступ. Мета і завдання курсу. Будова клітини та функції її компартментів [1, розд. 1-3]. Загальні відомості про фізіологію збудливих тканин [1, розд. 10,11]. Будова та фізичні характеристики клітинної мембрани, мембранні білки та їх функції [1, розд. 3] [2, розд. 7].
2.	Огляд електрофізіологічних та біофізичних методів дослідження збудливих тканин та основних об'єктів досліджень [7, розд. 8]. Знайомство з відповідною апаратурою та програмним забезпеченням [3, розд. 2-3].
3.	Іони в водному розчині. Доннанівська рівновага, модель Гуи-Чепмена, модель Дебая-Хюккеля. Рівняння Нернста-Планка [2, розд. 3].
4.	Мембранний транспорт. Пасивний та полегшений транспорт. Активний транспорт (первинний та вторинний). АТФ-ази клітинної мембрани. [2, розд. 7]
5.	Природа біопотенціалів. Рівняння Нернста. Потенціал спокою. [2, розд. 8.1-2]
6.	Рівняння Гольдмана-Ходжкіна-Катца. Деполяризація та гіперполяризація. Потенціал дії. [2, розд. 8.3, 9.1]
7.	Моделювання іонної проникності клітинної мембрани. Еквівалентна схема. [2, розд. 8.4]
8.	Потенціал-керовані іонні канали. Електрична активність нейрона [2, розд. 9.7].
9.	Ліганд-керовані іонні канали, їх роль у функціонуванні нейрона. [2, розд. 10.4; 4, розд. 2].
10.	Реєстрація біопотенціалів. Позаклітинна та внутрішньоклітинна реєстрація. Спонтанні та викликані потенціали. Мікроелектродна техніка. [3, розд. 3, 4; 7, розд. 8, 17]
11.	Метод фіксації мембранного потенціалу: основні типи та конфігурації, значення методу в сучасній біофізиці та електрофізіології [2, розд. 9.4] [3, розд. 1.4, 5].
12.	Модель Ходжкіна-Хакслі. [2, розд. 9.5]
13.	Моделювання електричної активності нейрона. Модифікації моделі Ходжкіна-Хакслі для нейронів різних типів [7, розд. 11.4].
14.	Розповсюдження потенціалу дії. Кабельне рівняння. Швидкість передачі збудження та фактори, що на неї впливають. [2, розд. 9.2]
15.	Взаємодія між збудливими клітинами. Синаптична передача. Інтеграція пресинаптичних входів на нейроні. [2, розд. 10.3-4].
16.	Іонотропні та метаботропні рецептори, їх фармакологія. Агоністи та антагоністи іонних каналів та рецепторів [2, розд. 9] [4, розд. 2, 3].
17.	Кінетичні моделі взаємодії ліганд-рецептор. Рівняння Міхаеліса-Ментен. Типи блокаторів та кінетичні моделі їх взаємодії з рецепторами [2, 4.11-13] [4, розд. 3].

18.	Роль іонів кальцію в регуляції клітинних функцій. Кальцієва сигналізація [2, розд. 7.9, 7.10, 9.10, 10.5].
-----	--

#### 4. Практичні заняття

№ з/п	Назва теми практичного заняття та перелік основних питань.
1.	Основні характеристики збудливих тканин, клітин та мембрани. [1, розд. 3] [2, розд. 7] Обладнання для електрофізіологічних дослідів. [3, розд. 2-3] [7, розд. 8]
2.	Іони в водному розчині. Константа дисоціації. Дифузія. Електродифузія. [2, розд. 3] [2, розд. 7].
3.	Пасивна дифузія через мембрану. Полегшений транспорт. Активний транспорт. [2, розд. 7]
4.	Рівняння Нернста. Потенціал спокою. [2, розд. 8.1-2]
5.	Рівняння Гольдмана-Ходжкіна-Катца. Селективні провідності мембрани, їх роль у розвитку потенціалу дії. [2, розд. 8.3, 9.1]
6.	Еквівалентна схема клітинної мембрани. [2, розд. 8.4]
7.	Потенціал-керовані іонні канали, їх вольт-амперна характеристика та електрична активність нейрона [2, розд. 9.7].
8.	Ліганд-керовані іонні канали, їх характеристики та роль у функціонуванні нейрона. [2, розд. 10.4; 4, розд. 2].
9.	Мікроелектродна техніка у електрофізіології та біофізиці мембран. [3, розд. 3, 4; 7, розд. 8, 17]
10.	Метод фіксації мембранного потенціалу, використання його різних модифікацій в дослідженнях [2, розд. 9.4] [3, розд. 1.4, 5].
11.	Модель Ходжкіна-Хакслі: експериментальна частина. [2, розд. 9.5]
12.	Параметри моделі Ходжкіна-Хакслі та електрична активність нейрона. Стаціонарна інактивація. [2, розд. 9.5]
13.	Моделювання електричної активності нейрона. Модифікації моделі Ходжкіна-Хакслі для нейронів різних типів [7, розд. 11.4].
14.	Розповсюдження потенціалу дії. Кабельне рівняння. Швидкість передачі збудження та фактори, що на неї впливають. [2, розд. 9.2]
15.	Синаптична передача. Інтеграція пресинаптичних входів на нейроні. Над- та підпорогові, активуючі та гальмівні синаптичні входи на нейронах різних типів [2, розд. 10.3-4].
16.	Кінетичні моделі. Пряма та зворотна реакції. Константа дисоціації. [2, розд. 9] [4, розд. 2, 3].
17.	Застосування кінетичних моделей у електрофізіології та біофізиці мембран. [2, 4.11-13] [4, розд. 3].
18.	Визначення параметрів кальцієвих сигналів у експерименті. [2, розд. 7.9, 7.10, 9.10, 10.5].

#### 5. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1.	Застосування електрофізіологічних методів у медицині [7].	7

#### 6. Контрольні роботи

В кінці першого розділу проводиться модульна контрольна робота (2 години), яка включає теоретичні питання або задачі по кожній з тем розділу. В кінці другого розділу проводиться домашня контрольна робота (2 години), яка включає поглиблений розгляд певного розділу програми, знайомство з відповідною сучасною науковою періодикою та проведення розрахунків. Студентам пропонується обрати наукову статтю з біофізики мембран (бажано за темою магістерської роботи), на матеріалі якої самостійно скласти та розв'язати кілька задач, що відповідають вивченому матеріалу курсу. Матеріал домашньої

контрольної роботи (належним чином оформлений) може бути зарахований як курсова робота.

### 3. Заплановані види навчальної діяльності та методи навчання

Заплановано проведення лекційних та практичних занять, індивідуальне завдання за темою магістерської роботи (домашня контрольна робота), міні-доповіді студентів під час лекційних занять.

Лекційні заняття проводяться у електрофізіологічній лабораторії відділу фізіології нейроонних мереж Інституту фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України, а у якості ілюстративного матеріалу використовуються записи потенціалів та струмів, зареєстровані у експерименті. Це надає широкі можливості для застосування стратегій активного та проблемного навчання, а також певною мірою розвивати у студентів дослідницькі навички. Наприклад, студентам пропонується проаналізувати реєстрацію зміни мембранного потенціалу або струму через мембрану нейрона. При цьому усі деталі, необхідні для правильної інтерпретації даних, студентам невідомі. На основі набутих протягом вивчення дисципліни знань вони повинні зробити щодо них обґрунтовані припущення (евристичний підхід). Завдання такого типу доцільно проводити з колективним обговоренням методом «мозкового штурму».

### 4. Оцінювання результатів навчання

#### Рейтингова система оцінювання результатів навчання

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, що він отримує за:

- 1) активність на лекційних та практичних заняттях (max – 30 балів);
- 2) виконання домашньої контрольної роботи (max – 5 балів);
- 3) модульну контрольну роботу (max – 10 балів);
- 4) захист курсової роботи (max – 15 балів);
- 5) відповіді на екзамені (max – 40 балів).

Розмір шкали рейтингу  $R = 100$  балів.

Розмір стартової шкали  $R_c = 60$  балів.

Розмір екзаменаційної шкали  $R_e = 40$  балів.

$R = R_c + R_e$

$R = R_c + R_e$	Оцінка ECTS	Традиційна оцінка
95...100	A	відмінно
85...94	B	добре
75...84	C	
65...74	D	
60...64	E	задовільно
$R \leq 60$	Fx	незадовільно
$R_c < 50$ або не виконані інші умови допуску до екзамену	F	не допущений

### 5. Рекомендована література

#### 5.1 Базова

1. B. Alberts, A. D. Johnson, J. Lewis, D. Morgan, M. Raff, K. Roberts and P. Walter. Molecular biology of the cell/W.W.Norton&Co, NY, 2014.



2. П.Г. Костюк, В.Л. Зима, І.С. Магура, М.С. Мірошніченко, М.Ф. Шуба. Біофізика/ К. «Київський університет», 2008.
3. The Axon Guide/ Molecular devices, 2012.
4. Я.М. Шуба. Основи молекулярної фізіології іонних каналів/ К. «Наукова думка», 2010.

### **5.2 Додаткова**

5. B.Hille Ionic Channels of Excitable Membranes, 3th ed./ Sinauer, Sunderland, MA, 2001.
6. A.C. Guyton, J.E. Hall. Textbook of medical physiology/ Elsevier, 13th ed, 2016.
7. J.D. Bronzion (Ed.). The Biomedical Engineering Handbook, Second Edition/ Boca Raton: CRC Press LLC, 2000

## **6. Інтернет-ресурси**

Рекомендується ресурс <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/> - база даних, що включає резюме та тексти наукових робіт за медико-біологічною тематикою.

## **Додаток**

Теми модульної контрольної роботи

1. Збудливі тканини (клітини), їх загальні характеристики. Будова клітинної мембрани та функції її структур.
2. Основні електрофізіологічні та біофізичні методи дослідження збудливих тканин (клітин).
3. Пасивний та активний транспорт.
4. Характеристика мембранних АТФ-аз.
5. Потенціал спокою та потенціал дії.
6. Рівняння Нернста та рівняння Гольдмана-Ходджкіна-Катца.
7. Потенціал- та ліганд-керовані іонні канали, їх роль у функціонуванні збудливої клітини.
8. Еквівалентна електрична схема мембрани.
9. Внутрішньоклітинне відведення: методи та їх застосування.
10. Модель Ходжкіна-Хакслі.

Теми домашньої контрольної роботи.

1. Роль окремих селективних провідностей у формуванні тонічної та фазної імпульсації нейронів.
2. Експериментальне визначення параметрів моделі Ходжкіна-Хакслі.
3. Фармакологія окремого типу мембранного каналу (рецептора).
4. Вплив геометрії нейрона на імпульсну активність.
5. Залежність параметрів кальцієвого сигналу від внутрішньоклітинних та

мембранних процесів.