



# КІНЕТИЧНІ МОДЕЛІ В БІОФІЗИЦІ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>10 Природничі науки</i>
Спеціальність	<i>105 Прикладна фізика та наноматеріали</i>
Освітня програма	<i>Прикладна фізика</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>II курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>120 годин (36 лекційних, 18 практичних, 66 СРС)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік, модульна контрольна робота, домашня контрольна робота</i>
Розклад занять	<i>2 год. лекційні на тиждень та 2 год практичних занять раз на 2 тижні</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор/Практичні: к.б.н. Маслов Віталій Юрійович ст.н.с. Інституту фізіології ім. О.О.Богомольця НАН України masl@biph.kiev.ua Skype: vitality_maslov</i>
Розміщення курсу	<i><a href="https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=4086">https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=4086</a> (Moodle)</i>

### Програма навчальної дисципліни

#### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Основна мета курсу «Кінетичні моделі в біофізиці» - системний розгляд основних принципів моделювання біологічних процесів. Студенти отримають знання про теоретичні основи математичного моделювання в біофізиці з використанням кінетичних схем. Таке моделювання застосовується до надзвичайно класу задач (популяційна динаміка, електрофізіологія, фармакологія тощо). Набуті знання та навички поглиблюють та розширюють знання, отримані при попередньому вивченні курсів біологічної спрямованості. Важливе освітнє значення курсу «Кінетичні моделі в біофізиці» полягає у його міждисциплінарності: аналізуються математичні моделі фізіологічних (електрофізіологічних), біохімічних, фізико-хімічними, фармакологічних процесів. Навички, отримані при розгляді таких задач, можуть бути корисними як у подальших наукових дослідженнях студентів, так і у їх діяльності у інших галузях, пов'язаних з моделюванням та аналізом даних. Індивідуальні домашні завдання побудовані таким чином, щоб закріпити теоретичний матеріал та засвоїти навички роботи з науковою періодикою. Під час навчання використовуються засоби дистанційного навчання, заохочується виконання практичних задач за допомогою програмних пакетів та застосунків (Python, Matlab&Simulink, Wolfram Mathematica тощо) та використання сучасної наукової літератури. У якості ілюстративного матеріалу до окремих тем (електрофізіологія, фармакологія, кальцієва сигналізація) та задач використовуються експериментальні дані, отримані автором курсу та його колегами.

Навчання здійснюється на основі студентоцентрованого підходу та взаємодії викладача та студента, а також колективної роботи студентів при теоретичному аналізі кінетичних систем та розв'язуванні задач, що сприятиме кращому засвоєнню теоретичного матеріалу та розвитку практичних навичок.

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі результати навчання:

#### знання:

- теоретичних основ моделювання біологічних процесів,
- принципів побудови кінетичних схем,
- стандартних моделей біологічних систем та їх характеристик,

- основних галузей для застосування математичного моделювання з використанням кінетичних схем;

**вміння:**

- орієнтуватись в сучасних напрямках моделювання біологічних систем,
- будувати кінетичні схеми та розв'язувати відповідні системи рівнянь,
- оперувати характерними параметрами біологічних систем,
- користуватись сучасною науковою періодикою з біофізики;

**досвід:**

- застосування математичного моделювання у біології,
- знайомства з міждисциплінарним підходом,
- застосування знань, отриманих при вивченні фундаментальних курсів,
- доповідання та представлення результатів індивідуальної роботи.

Набуті знання та практичні навички сформують у студентів наступні компетентності.

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, формулювати 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 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 у 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

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

Для засвоєння матеріалу курсу студенти повинні мати знання та навички розв'язування задач в рамках базових курсів загальної фізики, вищої математики та біофізики, а також знати основи клітинної біології та фізичної хімії.

Міждисциплінарні зв'язки:

навчальна дисципліна «Кінетичні моделі в біофізиці» входить до циклу професійної підготовки (вибіркові освітні компоненти);

дисципліни, що передують: Основи загальної біології та біохімії, Основи біофізики, основи анатомії і фізіології людини, методи дослідження збудливих мембран, біофізика мембранних структур.

### 3. Зміст навчальної дисципліни

#### Структура кредитного модуля

Назви розділів і тем	Кількість годин				
	Всього	у тому числі			
		Лекції	Практичні (семінарські)	Лабораторні (комп'ютерний практикум)	CPC
1	2	3	4	5	6
<b>Розділ 1. Кінетичні моделі біологічних систем</b>					
Тема 1. Вступ.	2	2	-	-	-
Тема 2. Кінетика хімічних реакцій.	12	4	2	-	6
Тема 3. Моделі переносу.	12	4	2	-	6
Тема 4. Популяційна динаміка.	12	4	2	-	6
Тема 5. Збудливі клітини.	12	4	2	-	4
Тема 6. Ферментативні реакції.	12	4	2	-	6
Тема 7. Синаптична передача.	8	2	2		4
Тема 8. Кальцієва сигналізація.	10	2	2	-	4
Разом за розділом 1	78	26	14	-	36
<b>Розділ 2. Теоретичні основи моделювання біологічних систем</b>					
Тема 9. Моделі, що описуються одним диференціальним рівнянням.	6	2	-	-	4
Тема 10. Системи двох автономних рівнянь.	10	4	-	-	6
Тема 11. Біологічні осцилятори.	8	4	-	-	6
Модульна контрольна робота	4		2	-	2
Домашня контрольна робота	12		0	-	12
Разом за розділом 2	42	10	2	-	30
Залік			2		
Всього годин	120	36	18	-	66

### 4. Навчальні матеріали та ресурси

#### Рекомендована література

##### Базова

1. Murray J.D. *Mathematical biology: I An Introduction*/ Springer, 2002.
2. Murray J.D. *Mathematical biology: II Spatial Models and Biomedical Applications*/ Springer, 2002.

##### Додаткова/Інтернет ресурси

Для повторення та/або поглибленого розгляду питань, пов'язаних з клітинною біологією, фізичною хімією, біофізикою тощо можна використовувати відповідні навчальні посібники.

1. B. Alberts, A. D. Johnson, J. Lewis, D. Morgan, M. Raff, K. Roberts and P. Walter. *Molecular biology of the cell*/6<sup>th</sup> ed. W.W.Norton&Co, 2014.
2. П.Г. Костюк, В.Л. Зима, І.С. Магура, М.С. Мірошніченко, М.Ф. Шуба. *Біофізика*/ К. «Київський університет», 2008.
3. Marshall A. G. *Biophysical Chemistry: Principles, Techniques and Applications*. John Wiley & Sons Inc, 1978

Для знайомства з сучасним станом моделювання в біофізиці, поглибленого розгляду окремих питань та при виконанні домашньої контрольної роботи рекомендується ресурс PubMed <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/> - база даних, що включає резюме та повні тексти наукових робіт за медико-біологічною тематикою.

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

#### Лекційні заняття

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
1.	<b>Вступ.</b> Мета, завдання та побудова курсу. Загальні відомості про моделювання біологічних систем. Значення та галузі застосування кінетичних моделей. Приклади простих моделей біологічних систем.
2.	<b>Кінетика хімічних реакцій 1.</b> Закон діючих мас. Порядок реакції. Швидкість реакції. Константи швидкості та дисоціації.
3.	<b>Кінетика хімічних реакцій 2.</b> Кінетичні схеми та системи рівнянь для хімічних реакцій різних порядків.
4.	<b>Моделі переносу 1.</b> Пасивний, полегшений та активний транспорт через клітинну мембрану. Стаціонарна модель полегшеної дифузії. Кінетично- та дифузійно- контрольовані реакції.
5.	<b>Моделі переносу 2.</b> Зниження розмірності дифузійних процесів. Реакції з дифузією. Формування просторових структур.
6.	<b>Популяційна динаміка 1.</b> Моделі росту. Необмежене та обмежене зростання. Рівняння Ферхюльста. Дискретні моделі. Діаграма Ламерея.
7.	<b>Популяційна динаміка 2.</b> Модель «хижак-жертва» та її модифікації.
8.	<b>Збудливі клітини 1.</b> Потенціал дії. Модель м'язового скорочення. Фармакологія іонних каналів.
9.	<b>Збудливі клітини 2.</b> Модель Ходжкіна-Хакслі та її модифікації.
10.	<b>Ферментативні реакції 1.</b> Біологічна роль ферментів. Кінетична схема ферментативної реакції. Рівняння Міхаеліса-Ментен. Константа Міхаеліса.
11.	<b>Ферментативні реакції 2.</b> Регуляція ферментативних реакцій. Графік Лайнуївера-Берка. Визначення типів інгібіторів.
12.	<b>Синаптична передача.</b> Електричний та хімічний синапси. Моделювання вивільнення та зворотного захоплення медіатора. Фармакологія іонотропних та метаботропних рецепторів.
13.	<b>Кальцієва сигналізація.</b> Роль іонів кальцію у функціонуванні клітини. Поняття кальцієвого сигналу. Стандартна модель кальцієвої динаміки. Кальцієві хвилі.
14.	<b>Моделі, що описуються одним диференціальним рівнянням.</b> Інтегральні криві, фазовий портрет та стани рівноваги лінійної автономної системи. Дослідження стійкості стаціонарного стану.
15.	<b>Системи двох автономних рівнянь 1.</b> Фазові портрети. Метод ізоклін. Лінеаризація системи. Типи особливих точок. Біфуркації.
16.	<b>Системи двох автономних рівнянь 2.</b> Поняття часової ієрархії у біологічних системах. Квазістаціонарність у моделях біологічних систем. Повільні та швидкі змінні. Теорема Тихонова.
17.	<b>Біологічні осцилятори 1.</b> Модель Жакоба-Моно, система Лотка-Вольтера, реакція Білоусова-Жаботинського. Загальні принципи для біологічних осциляторів.
18.	<b>Біологічні осцилятори 2.</b> Автоколивання. Граничні цикли. Внутрішньоклітинні коливальні процеси

#### Практичні заняття

№ з/п	Назва теми практичного заняття та перелік основних питань.
1.	<b>Кінетика хімічних реакцій.</b> Побудова кінетичних схем хімічних реакції різного порядку та розв'язок відповідних рівнянь.
2.	<b>Моделі переносу.</b> Аналіз моделі полегшеного транспорту через клітинну мембрану.
3.	<b>Популяційна динаміка.</b> Моделі росту та взаємодії двох видів.
4.	<b>Збудливі клітини.</b> Кінетичні схеми моделі Ходжкіна-Хакслі та її модифікацій.
5.	<b>Ферментативні реакції.</b> Кінетична схема ферментативної реакції та рівняння Міхаеліса-

	<i>Ментен за присутності інгібіторів.</i>
6.	<i><b>Синаптична передача.</b> Пресинаптичне пригнічення та полегшення.</i>
7.	<i><b>Кальцієва сигналізація.</b> Параметри кальцієвого сигналу.</i>
8.	<i><b>Модульна контрольна робота.</b></i>
9.	<i><b>Залік. Аналіз модульної та домашньої контрольних робіт.</b></i>

## 6. Самостійна робота студента/аспіранта

Самостійна робота студентів включає вивчення теоретичного матеріалу, підготовку до аудиторних занять, розв'язок задач, підготовку доповідей за темами практичних занять, знайомство з науковою періодикою, виконання домашньої контрольної роботи, підготовку до модульної контрольної роботи.

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Зазначається система вимог, які викладач ставить перед студентом/аспірантом.

- Відвідування лекцій (та відсутність на них) не оцінюється. Однак, студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання контрольних робіт та успішного складання заліку.
- У системі оцінювання значною є питома вага балів за активність студента на заняттях.
- Під час занять необхідно дотримуватись звичних правил поведінки. На заняттях не передбачається пошук інформації в мережі Інтернет, відповідно, мобільні телефони рекомендується відключати.
- Індивідуальні завдання (міні-довіді, задачі) доповідаються під час практичних занять, після доповіді виділяється час на питання та обговорення. Відповіді на запитання впливають на сумарну оцінку доповіді.
- Заохочувальні та штрафні бали не передбачені, проте додаткові бали можуть бути зараховані за доповіді на заняттях за результатами виконання індивідуальних завдань.
- Терміни виконання контрольних робіт оголошуються перед їх початком, робота, не представлена вчасно, не зараховується.
- Політика та принципи академічної доброчесності визначені у розділі 3 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (<https://kpi.ua/code>).

### 8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль.

№	Контрольний захід	Бали
1	Активність на лекційних заняттях (відповіді на запитання, участь в обговоренні тощо)	1-2 бали, максимально 25
2	Відповіді та вирішення завдань на практичних заняттях	1-3 бали, максимально 25
3	Доповіді на заняттях	Додаткові бали, максимум 5
4	Модульна контрольна робота	максимум 25
5	Домашня контрольна робота	максимум 25
	<b>Разом</b>	<b>100</b>

### Календарний контроль.

Контрольний захід		Перша атестація.	Друга атестація.
Термін атестації		8 тиждень	16 тиждень.
Умови отримання атестації	Поточний рейтинг	≥10 балів	≥30 балів
	МКР		+
	ДКР		+

Семестровий контроль: *залік*

Умови допуску до семестрового контролю: *виконані модульна та домашня контрольні роботи, семестровий рейтинг більше 60 балів.*

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

### 9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- **Теми задач модульної контрольної роботи (прикладі).**

1. Побудова кінетичної схеми та для моделі полегшеного мембранного транспорту.
2. Аналіз залежності розв'язку рівняння хімічної реакції від початкових умов.
3. Визначення типу особливих точок динамічної моделі.
4. Визначення типу блокування ліганд-індукованого струму нейрона.
5. Залежність характеристик кальцієвого сигналу від клітинних процесів.

- **Теми домашньої контрольної роботи (прикладі).**

1. Побудова та аналіз фазового портрету динамічної моделі.
2. Кінетична схема внутрішньоклітинного сигнального каскаду.
3. Кальцієвий сигнал з врахуванням дифузії іонів в цитоплазму.
4. Механізми фармакологічного впливу на синаптичну передачу.
5. Побудувати кінетичну модель у рамках теми своєї магістерської роботи.

### Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

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

Ухвалено кафедрою прикладної фізики (протокол № 6 від 15.06.2023)

Затверджено методичною комісією НН ФТІ (протокол № 6 від 29.06.2023)