

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

**Інститут високих технологій**

Кафедра теоретичних основ високих технологій

«ЗАТВЕРДЖУЮ»  
Заступник директора  
з науково-педагогічної роботи  
Галина ГРАБЧУК  
« 24 » березня 2021 року  
Григорук І.І.

**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**ОСНОВИ КВАНТОВОЇ ТЕОРІЇ**

*(повна назва навчальної дисципліни)*

**для студентів**

галузь знань 09 Біологія  
*(шифр і назва)*  
спеціальність 091 Біологія  
*(шифр і назва спеціальності)*  
освітній рівень бакалавр  
*(молодший бакалавр, бакалавр, магістр)*  
освітня програма Біологія (високі технології)  
*(назва освітньої програми)*  
спеціалізація Нанотехнології в біології  
*(за наявності) (назва спеціалізації)*  
вид дисципліни вибіркова

Форма навчання денна  
Навчальний рік 2021/2022  
Семестр 6  
Кількість кредитів ECTS 5  
Мова викладання, навчання  
та оцінювання українська  
Форма підсумкового контролю екзамен

Викладач: Разумова Маргарита Анатоліївна, доцент кафедри теоретичних основ високих технологій

Пролонговано: на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_» 20\_\_ р.  
*(підпис, ПІБ, дата)*

на 20\_\_/20\_\_ н.р. \_\_\_\_\_ (\_\_\_\_\_) «\_\_» 20\_\_ р.  
*(підпис, ПІБ, дата)*

**КИЇВ – 2021**

Розробники:

Колежук Олексій Костянтинович, д.ф.-м.н., професор кафедри теоретичних основ високих технологій  
Разумова Маргарита Анатоліївна, к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедри теоретичних основ високих технологій

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри теоретичних основ високих технологій

  
\_\_\_\_\_ Валерій ЛОЗОВСЬКИЙ  
(підпис)

Протокол № 11 від «3» березня 2021 р.

Схвалено науково - методичною комісією Інституту високих технологій

Протокол від «05» березня 2021 року №3

Голова науково-методичної комісії \_\_\_\_\_ (Русінчук Н.М.)  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## ВСТУП

**1. Мета дисципліни** – формування у майбутніх фахівців з високих технологій у біології навичок кількісного підходу до опису та аналізу мікроскопічних природних явищ, фізичних процесів, вміння користуватися математичними методами сучасної фізики; розвиток умінь аналітичного мислення та математичного формулювання прикладних задач з орієнтацією на проблеми фахової діяльності.

### **2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни (за наявності):**

1. Успішне опанування курсів “Основи вищої математики”, “Класична механіка і молекулярна фізика”, “Електромагнетизм, коливання та хвилі”
2. Знання основ теорії функцій комплексної змінної, теорії ймовірностей, векторної та лінійної алгебри
3. Володіти навичками диференціювання та інтегрування, розв’язувань диференціальних рівнянь.

### **3. Анотація навчальної дисципліни:**

Мета курсу: дати студентам розуміння закономірностей мікросвіту. Студент повинен оволодіти математичним апаратом квантової теорії і вміти практично застосовувати його. На цій основі отримати чіткі уявлення про фізичну природу явищ, що підкоряються квантовим закономірностям. Студенти повинні навчитися використовувати наближені методи квантової механіки та методи квантової механіки багатьох частинок. Курс покликаний формувати цілісне бачення світу.

### **4. Завдання (навчальні цілі):**

*Навчання дисципліни має на меті розвинути у студентів такі загальні та фахові компетентності:*

*ЗК03. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.*

*ЗК04. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.*

*ЗК05. Здатність спілкуватися державною мовою як усно так і письмово.*

*ЗК07. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.*

*ЗК08. Здатність до абстрактного мислення, аналізу і синтезу.*

*СК01. Здатність застосовувати знання та вміння з математики, фізики, хімії та інших суміжних наук для вирішення конкретних біологічних завдань.*

*СК04. Здатність здійснювати збір, реєстрацію і аналіз даних за допомогою відповідних методів і технологічних засобів у польових і лабораторних умовах.*

*СК05. Здатність до критичного осмислення новітніх розробок у галузі біології і професійній діяльності.*

*СК12. Здатність використовувати та модифікувати сучасні біотехнології для вирішення актуальних біологічних проблем.*

### **5. Результати навчання за дисципліною:** (описуються з детальною достовірністю для розробки заходів оцінювання)

| Результат навчання<br>(1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність) |  | Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання      | Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)    | Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни |
|---|--|---|---|--|
| Код   | Результат навчання   |   |   |  |
| 1.1   | <i>Знати основні поняття теорії лінійних операторів у гільбертовому просторі, основні поняття, принципи та закони квантової механіки, такі як хвильова функція, принцип суперпозиції, рівняння Шредингера, співвідношення невизначеностей, закони збереження, оператор, теорія представлень,</i> | <i>Лекція, практичне заняття, самостійна робота студентів</i> | <i>Тест (від 60% правильних відповідей), модульні контрольні роботи</i> | 20%  |

|     |  |   |   |     |
|-----|--|---|---|-----|
|     | <i>квазікласичне наближення, квантове тунелювання, теорія збурень, рівняння Паулі.</i>   |   |   |     |
| 1.2 | <i>Мати уявлення: про цілі і задачі квантової теорії, її роль й місце в природознавчих науках; про сучасні напрямки розвитку квантової теорії.</i>   | <i>Лекція, практичне заняття, самостійна робота студентів</i>       | <i>Тест (від 60% правильних відповідей)</i> | 10% |
| 2.1 | <i>Вміти оперувати поняттями гільбертова простору; розв'язувати найпростіші одновимірні та тривимірні задачі квантового руху; використовувати методи наближеного розв'язку задач квантової механіки.</i> | <i>практичне заняття, самостійна робота студентів, консультація</i> | <i>модульні контрольні роботи</i>           | 50% |
| 4.1 | <i>Вміти самостійно розбиратися в математичному апараті, що є в літературі з квантової теорії</i>  | <i>самостійна робота студентів</i>                                  | <i>Тест, модульні контрольні роботи</i>     | 20% |
| 4.2 | <i>Розвиток творчого підходу до розв'язування задач; розвиток логічного та аналітичного мислення.</i>  | <i>практичне заняття, самостійна робота студентів</i>               |   |     |

**6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання (необов'язково для вибіркових дисциплін які не входять до блоків спеціалізації)**

| <b>Результати навчання дисципліни</b>   |            |            |            |            |            |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>Програмні результати навчання</b>  | <b>1.1</b> | <b>1.2</b> | <b>2.1</b> | <b>4.1</b> | <b>4.2</b> |
| <i>ПР06. Застосовувати моделі, методи і дані фізики, хімії, екології, математики у процесі навчання та забезпечення професійної діяльності.</i> | +          | +          | +          | +          | +          |
| <i>ПР08. Знати та розуміти основні терміни, концепції, теорії і закони в галузі біологічних наук і на межі предметних галузей.</i>              |            | +          | +          | +          | +          |

**7. Схема формування оцінки.**

**7.1 Форми оцінювання студентів**

Контроль знань здійснюється за модульно-рейтинговою системою, яка складається із 2 змістових модулів. Система оцінювання знань включає поточний, модульний та семестровий контроль знань. Результати навчальної діяльності студентів оцінюються за 100-бальною шкалою. Форми поточного контролю: оцінювання домашніх робіт, письмових самостійних завдань, тестів та контрольних робіт, виконаних студентами під час практичних занять. Студент може отримати максимально 60 балів за виконання домашніх робіт, самостійних завдань, усні відповіді, тести, доповнення на практичних заняттях (по 30 балів у кожному змістовому модулі). Модульний контроль: 2 модульні контрольні роботи (МКР). Підсумковий семестровий контроль проводиться у формі екзамену (40 балів). Екзаменаційний білет включає 1 теоретичне питання (20 балів) та 1 задачу (20 балів).

У випадку відсутності студента з поважних причин здійснюються відпрацювання та перездачі МКР.

Оцінювання за формами контролю:

|  | <b>ЗМ1</b>          |                      | <b>ЗМ2</b>         |                      | <b>екзамен</b>     |                     |
|--|---------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|---------------------|
|  | <i>Min. 0 балів</i> | <i>Max. 30 балів</i> | <i>Min.0 балів</i> | <i>Max. 30 балів</i> | <i>Min.0 балів</i> | <i>Max.40 балів</i> |
| Домашні завдання, письмові самостійні завдання |                     | 10                   |                    | 10                   |                    |                     |
| Колоквіум, тестування                          |                     | 5                    |                    | 5                    |                    |                     |
| Модульна контрольна робота                     |                     | 15                   |                    | 15                   |                    |                     |

*Для отримання загальної позитивної оцінки з дисципліни оцінка за екзамен не може бути меншою 24 балів.*

*Студент не допускається до екзамену, якщо під час семестру набрав менше ніж 20 балів (рекомендований мінімум – 36 балів). Для студентів, які набрали сумарно меншу кількість балів ніж критично-розрахунковий мінімум для одержання екзамену/заліку обов'язкова перездача МКР.*

**7.2 Організація оцінювання:** Модульний контроль проводиться за графіком модульних контрольних робіт на практичних заняттях.

### **7.3 Шкала відповідності оцінок**

|                                  |        |
|----------------------------------|--------|
| <b>Відмінно / Excellent</b>      | 90-100 |
| <b>Добре / Good</b>              | 75-89  |
| <b>Задовільно / Satisfactory</b> | 60-74  |
| <b>Незадовільно / Fail</b>       | 0-59   |

## 8. Структура навчальної дисципліни.

### Тематичний план лекцій і практичних занять

| №<br>п/п  | Назва теми*  | Кількість годин |           |                      |
|---|--|-----------------|-----------|----------------------|
|   |  | лекції          | практичні | Самостійна<br>робота |
| <b><u>ЗМ1: Основні поняття квантової теорії</u></b>       |  |                 |           |                      |
| 1   | <i>Квантовий стан і хвильова функція. Історичний нарис створення квантової теорії. Поняття квантового стану, гільбертів простір, внутрішній добуток станів, повний ортонормований базис, принцип суперпозиції. Поняття хвильової функції, її фізичний зміст; випадки скінченновимірного і нескінченновимірного гільбертового простору. Умова нормування хвильової функції. Суперпозиційні стани. Корпускулярно-хвильовий дуалізм. Досліди з двома щілинами. Довжина хвилі де Бройля.</i> | 6               | 6         | 14                   |
| 2   | <i>Фізичні величини в квантовій теорії. Властивості операторів фізичних величин. Власні функції і власні значення ермітових операторів. Комутатор, обчислення комутаторів. Обчислення середніх значень. Оператор імпульсу. Стан з певним імпульсом на кільці, поняття про розмірне квантування. Стан з певним імпульсом в нескінченному просторі, проблема нормування, дельта-функція Дірака. Оператор моменту імпульсу (кутового моменту),</i>  | 4               | 4         | 10                   |
| 3   | <i>Еволюція квантового стану. Рівняння Шредінгера. Гамільтоніан, стаціонарні стани. Частинка в нескінченно глибокій потенціальній ямі. Оператор еволюції. Еволюція середніх значень фізичних величин. Теорема Еренфеста. Закони збереження. Проблема вимірювання. Редукція хвильової функції.</i>  | 4               | 4         | 10                   |
| 5   | <i>Принцип невизначеності Гайзенберга. Наглядне пояснення принципу невизначеності для координати і імпульсу: (а) оптичний мікроскоп (б) хвильовий пакет і його протяжність в просторі. Необхідна умова існування спільної системи власних функцій для двох операторів. Загальна форма співвідношення невизначеності для двох некомуруючих операторів.</i>  | 2               | 2         | 4                    |
|   | <i>Контрольна робота № 1</i>   |                 | x         |                      |
| <b><u>ЗМ2: Методи квантової теорії простих систем</u></b> |  |                 |           |                      |
| 6   | <i>Одновимірний рух частинки в кусково-сталих потенціалах. Граничні умови, яким повинна задовольняти хвильова функція (випадки: несингулярні потенціали, скачок маси, дельта-функція). Рух в класично дозволений і класично заборонений області. Квантове тунелювання.</i>   | 2               | 2         | 4                    |

|    |   |           |           |           |
|----|---|-----------|-----------|-----------|
| 7  | <i>Гармонічний осцилятор.</i> Оператори народження та знищення та власні стани одновимірного гармонічного осцилятора. Метод розділення змінних при розв'язанні багатовимірних задач квантової механіки.     | 2         | 2         | 6         |
| 8  | <i>Бозони і ферміони.</i> Принцип нерозрізюваності тотожних частинок. Симетрійні властивості багаточастинкової хвильової функції. Принцип Паулі. Ферміонні хвильові функції у вигляді детермінанта Слетера. | 2         | 2         | 4         |
| 9  | <i>Представлення хвильових функцій.</i> Перехід від одного базису в гільбертовому просторі до іншого. Унітарні оператори. Матричне представлення операторів. Властивості унітарних перетворень.             | 2         | 2         | 4         |
| 10 | <i>Спін.</i> Дослід Штерна-Герлаха. Оператор спіну $\frac{1}{2}$ , його властивості, матричне представлення і власні стани. Оператор (матриця) густини для систем із спіном $\frac{1}{2}$ .                 | 2         | 2         | 4         |
| 11 | <i>Сплутані стани.</i> Оператор (матриця) густини для систем із спіном $\frac{1}{2}$ . Квантова телепортація.   | 2         | 2         | 4         |
| 12 | <i>Рух частинки в центральному полі.</i> Оператор моменту імпульсу (кутового моменту), його властивості і власні стани. Електронні хвильові функції і енергетичні рівні атома водню.                        | 2         | 2         | 6         |
| 13 | <i>Атом гелію.</i> Спінові стани системи з двох електронів. Кулонівська і обмінна енергія.  | 2         | 2         | 6         |
| 14 | <i>Квантові ефекти в біології.</i>  | 2         | 2         | 6         |
|    | <i>Модульна контрольна робота №2</i>  |           | x         |           |
|    | <b>ВСЬОГО</b>   | <b>34</b> | <b>34</b> | <b>82</b> |

\*Примітка: слід зазначити також теми, винесені на самостійне вивчення

**Загальний обсяг – 150 год.,** в тому числі (вибрати необхідне):

Лекцій – **34 год.**

Практичні заняття – **34 год.**

Самостійна робота – **82 год.**

## 9. Рекомендовані джерела:

### Основна:

[1] Вакарчук І. О. Квантова механіка. – Львів: Вид-во ЛНУ, 2012. – 872 с.

<http://www.ktf.franko.lviv.ua/books/QM4/QM4.pdf>

[2] Tang C. L. Fundamentals of Quantum Mechanics: For Solid State Electronics and Optics. – Cambridge University Press, 2005. – 208 p.

[3] McMahon D. Quantum mechanics demystified. – McGraw-Hill, 2006. – 393 p.

[4] David J. Griffiths, Introduction to Quantum Mechanics, 1994. – 408 p.

[http://gr.xjtu.edu.cn/c/document\\_library/get\\_file?p\\_l\\_id=21699&folderId=2383652&name=DLFE-82647.pdf](http://gr.xjtu.edu.cn/c/document_library/get_file?p_l_id=21699&folderId=2383652&name=DLFE-82647.pdf)

[5] Brookes J. C. Quantum effects in biology: golden rule in enzymes, olfaction, photosynthesis and magnetodetection. Proc Math Phys Eng Sci. 2017 May; 473(2201):20160822

<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspa.2016.0822>

[6] Waring S (2018) Quantum Biology: A Scientific Revolution in our Understanding of Biological Systems. Biol Syst Open Access 7: 185. <https://www.longdom.org/open-access/quantum-biology-a-scientific-revolution-in-our-understanding-ofbiological-systems-2329-6577-1000185.pdf>

*Додаткова:*

[1] Флюгге З. Задачи по квантовой механике. В 2-х томах. Пер. с англ. М.: Мир, 1974. – 341 с.

**10. Додаткові ресурси:**

<http://iht.univ.kiev.ua/Kolezhuk/teach-SCP.html>

<https://www.ge-gpx.com/post/when-physics-meets-biology-quantum-biology>