

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра фізики ядра та високих енергій імені О.І. Ахієзера

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної роботи  
Олександр ГОЛОВКО



\_\_\_\_\_ 2022 р.

## РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### Ядерна фізика та ядерні реакції

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти	перший (бакалавр)
галузь знань	10 «Природничі науки»
спеціальність	105 «Прикладна фізика та наноматеріали»
освітня програма	«Прикладна фізика»
спеціалізація	
вид дисципліни	за вибором
факультет	ННІ «Фізико-технічний факультет»

2022/2023 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою факультету (інституту, центру)  
“26” серпня 2022 року, протокол №8

Розробники програми: (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)  
доцент кафедри фізики ядра та високих енергій імені О. І. Ахієзера,  
кандидат фіз.-мат. наук Оніщенко Геннадій Михайлович

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики ядра та високих енергій імені О. І.  
Ахієзера

Протокол від “26” серпня 2022 року, протокол № 13

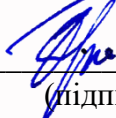
Завідувач кафедри фізики ядра та високих енергій імені О. І. Ахієзера



\_\_\_\_\_ Микола ШУЛЬГА  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньо-професійної програми Прикладна фізика  
(назва освітньої програми)

Гарант освітньої (професійної) програми



\_\_\_\_\_ (підпис)

Ігор ГІРКА  
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією ННІ «Фізико-технічний факультет»  
(назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна)

Протокол від “30” серпня 2022 року, протокол №11

Голова методичної комісії фізико-технічного факультету



\_\_\_\_\_ (підпис)

Микола ЮНАКОВ  
(прізвище та ініціали)

## ВСТУП

Програму навчальної дисципліни “Теоретична ядерна фізика” складено відповідно до освітньо-професійної програми підготовки першого рівня вищої освіти (бакалавр). Галузь знань: 10 – “Природничі науки”. Спеціальність: 105 – “Прикладна фізика та наноматеріали”. Освітня програма: «Прикладна фізика», «Медична фізика», «Біомедичні нанотехнології». При розробці Програми враховані вимоги Стандарту вищої освіти першого (бакалаврського) рівня, галузі знань 10 – «Природничі науки», спеціальності 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали», затвердженого наказом МОН України № 804 від 16.06.2020 р.

### 1. Опис навчальної дисципліни

#### 1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни є оволодіння основними поняттями, фактами і методами сучасної теорії атомного ядра.

#### 1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

Основними завданнями вивчення дисципліни є формування базових знань в галузі теоретичної ядерної фізики; навчання студентів сучасним методам теоретичного опису структури атомних і навичкам вирішення супутніх завдань.

Загальні компетентності, які мають бути засвоєні внаслідок вивчення теоретична ядерна фізика:

- Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності. **(ЗК-2)**
- Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій. **(ЗК-5)**
- Здатність до проведення досліджень на відповідному рівні. **(ЗК-6)**
- Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел. **(ЗК-7)**
- Здатність працювати автономно. **(ЗК-9)**

Фахові компетентності, які мають бути засвоєні внаслідок вивчення теоретична ядерна фізика:

- Здатність брати участь у плануванні та виконанні наукових та науково-технічних проєктів. **(СК-1)**
- Здатність брати участь у впровадженні результатів досліджень та розробок. **(СК-4)**
- Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп’ютерних технологій. **(СК-5)**
- Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем. **(СК-6)**
- Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності. **(СК-7)**
- Здатність працювати в колективах виконавців, у тому числі в міждисциплінарних проєктах. **(СК-8)**
- Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв’язування фізичних задач і моделювання фізичних систем **(СК-10)**;
- Розвинуте відчуття особистої відповідальності за достовірність результатів досліджень та дотримання принципів академічної доброчесності разом з

професійною гнучкістю. Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних досліджень(СК-11)

1.3. Кількість кредитів **8**

1.4. Загальна кількість годин **240**.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
Обов'язкова / За вибором	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
4-й	4-й
Семестр	
7-й	8-й
Лекції	
60 год.	60 год.
Практичні, семінарські заняття	
-	-
Лабораторні заняття	
-	-
Самостійна робота	
60 год.	60 год.
Індивідуальні завдання	
4 год.	2 год.

1.6. Заплановані результати навчання

полягають у тому, що внаслідок опанування курсу «Теоретична ядерна фізика» студенти мають знати: основні ідеї, концепції та методи теорії ядра; основні характеристики ядер; сучасні уявлення про нуклон-нуклонну взаємодію і властивості розсіяння нуклонів нуклонами, що на ній ґрунтуються; основи оболонкової і узагальненої моделей ядер. Вміти: виконувати розрахунки основних характеристик основних станів ядер – мас, електромагнітних моментів, спінів; виконувати розрахунки перерізів розсіяння повільних нейтронів; виконувати розрахунки параметрів деформації, електромагнітних моментів та моментів інерції основних станів деформованих ядер.

Згідно з освітньо-професійною програмою «Прикладна фізика» спеціальність 105 – «прикладна фізика та наноматеріали» студенти мають досягти таких результатів навчання:

- Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики. **(Зн-1)**
- Знати, розуміти та вміти застосовувати основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, механіки суцільних 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. **(Зн-4);**

- Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій. **(Зн-5)**
- Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів. **(Ум-1)**
- Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій. **(Ум-3)**
- Вибирати ефективні методи та інструментальні засоби проведення досліджень у галузі прикладної фізики. **(Ум-4)**
- Відшукувати необхідну науково-технічну інформацію в науковій літературі, електронних базах, інших джерелах, оцінювати надійність та релевантність інформації. **(Ум-5)**
- Класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики. **(Ум-6)**
- Мати навички роботи із сучасною обчислювальною технікою, вміти використовувати стандартні пакети прикладних програм і програмувати на рівні, достатньому для реалізації чисельних методів розв'язування фізичних задач, комп'ютерного моделювання фізичних явищ і процесів, виконання обчислювальних експериментів. **(Ум-7);**
- Презентувати результати досліджень і розробок фахівцям і нефахівцям, аргументувати власну позицію. **(Ком-2)**
- Мати навички самостійного прийняття рішень стосовно своїх освітньої траєкторії та професійного розвитку. **(Ком-6)**
- 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. **(АіВ-1)**

## **2. Виклад змісту навчальної дисципліни**

### **Тема 1. Основні характеристики ядер та нуклон-нуклонна взаємодія.**

Маси та енергії зв'язку ядер. Розміри ядер. Спіни і магнітні моменти ядер. Електричні квадрупольні моменти ядер. Фундаментальні взаємодії і ядерні сили. Взаємодія між нуклонами та ізотопічний спіні. Основний стан дейтрона. Основний стан дейтрона з урахуванням нецентральної сили. Електричний квадрупольний і магнітний дипольний моменти дейтрона.

### **Тема 2. Розсіяння нуклонів нуклонами.**

Розсіяння повільних нейтронів протонами. Довжина розсіяння і ефективний радіус. Розсіяння нейтронів зв'язаними протонами. Розсіяння протонів протонами. Розсіяння нуклонів нуклонами при високих енергіях.

### **Тема 3. Ядерні оболонки.**

Модель фермі-газу для ядра. Одночастинкова оболонкова модель. Спіни ядер. Спін-орбітальна взаємодія. Магнітні дипольні й електричні квадрупольні моменти ядер. Нуклонні асоціації в ядрах.

#### Тема 4. Колективні рухи нуклонів у ядрах.

Коливання сферичних ядер. Коливання і обертання несферичних ядер. Обертання аксіально-симетричних ядер. Магнітні дипольні та електричні квадрупольні моменти несферичних ядер. Обертання не аксіальних ядер і надобертіві ядра. Врахування не адіабатичності колективних збуджень у несферичних ядрах. Об'ємні коливання і хвилі в ядрах. Зв'язок між одночастинковими і колективними рухами в ядрах.

### 3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с. р.		л	п	лаб.	інд.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Тема 1. Основні характеристики ядер та нуклон-нуклонна взаємодія	30	20				10						
Тема 2. Розсіяння нуклонів нуклонами	20	10				10						
Тема 3. Ядерні оболонки	30	20				10						
Тема 4. Колективні рухи нуклонів у ядрах	40	20				20						
<b>Усього годин</b>	120	70				50						

#### 4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

Не передбачені.

#### 5. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	Форма контролю
1	Основні характеристики ядер та нуклон-нуклонна взаємодія	10	Перевірка домашнього завдання, опитування
2	Розсіяння нуклонів нуклонами	10	Перевірка домашнього завдання, опитування
3	Ядерні оболонки	10	Перевірка домашнього завдання, опитування
4	Колективні рухи нуклонів у ядрах	20	Перевірка домашнього завдання, опитування
	Разом	50	

## 6. Індивідуальні завдання

Передбачена розрахунково-графічна робота за однією з наведених тем, які розподіляються між студентами групи. Оцінювання (20 балів).

1. Розсіяння нейтронів в пара- і ортоводні.
2. Радіаційне захоплення нейтронів протонами.
3. Фоторозщеплення дейтрона.
4. Оболонкові поправки.
5. Надплинність ядерної матерії.
6. Моменти інерції несферичних ядер.
7. Радіоактивність ядер.
8. Універсальна слабка взаємодія.
9. Імовірність випромінювання фотона.
10. Імовірності електромагнітних переходів у ядрах.

Передбачена одна контрольна робота, яка складається з двох частин. Перша передбачає письмову відповідь на десять питань про визначення або закони. Оцінювання (5 балів). Друга частина передбачає письмову відповідь на завдання, яке складається з одного теоретичного питання та двох задач, з наступним захистом в усній формі. Оцінювання (15 балів).

## 7. Методи навчання

Лекційні заняття проводяться методом лекції та розповіді-бесіди. Задаються домашні завдання з розв'язування задач.

## 8. Методи контролю

**Поточний контроль** складається з:

- 1) активної участі в аудиторних заняттях – до 1 бала за заняття (ваговий бал – 10);
- 2) виконання домашніх завдань із розв'язування задач (ваговий бал – 10);
- 3) контрольної роботи (ваговий бал – 20).

Критерії оцінювання першої частини контрольної роботи. Максимальна кількість балів становить 5 балів. Перша частина містить десять питань про визначення та закони, які мали бути засвоєні під час навчання.

- Кожна правильна відповідь оцінюється в 0,5 бала.
- Неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей, - 0,25 бала.
- Відповідь, що містить критичну помилку чи неточність, або відсутність відповіді оцінюється в 0 балів.

Критерії оцінювання другої частини контрольної роботи. Максимальна кількість балів становить 15 балів. Друга частина містить одне теоретичне питання та дві задачі. Критерії оцінювання теоретичних питань:

- Повна розгорнута відповідь - 5 балів.
- Повна, але не розгорнута відповідь - 4 бали.
- Повна, але не розгорнута відповідь, яка містить незначну помилку чи суперечність, - 3 бали.
- Неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей, - 2 бали.
- Неповна відповідь, яка не містить суперечностей, - 1 бал.
- Відповідь, що містить критичну помилку чи неточність, або відсутність відповіді оцінюється в 0 балів.

Критерії оцінювання розв'язання задачі:

- Студент отримав загальний розв'язок і правильно вирахував числове значення відповіді - 5 балів.

- Студент отримав загальний розв’язок, але неправильно вирахував числове значення відповіді або помилився в одиницях вимірювання - 4 бали.
- Студент правильно вписав необхідні для розв’язання закони та рівняння, але не зміг отримати загальний розв’язок - 3 бали.
- Студент не повністю вписав необхідні для розв’язання закони та рівняння - 2 бали.
- Студент неправильно вписав необхідні для розв’язку закони та рівняння, чи розв’язок взагалі відсутній - 0 балів.

4) виконання розрахунково-графічної роботи (ваговий бал – 20).

**Підсумковий контроль** проводиться в формі екзамену. До складання іспиту допускають студентів, які набрали протягом семестру не менше 30 балів. Екзаменаційне завдання: білет містить два теоретичних питання та задачу.

Критерії оцінювання теоретичних питань:

- Повна розгорнута відповідь - 15 балів.
- Повна, але не розгорнута відповідь - 12 балів.
- Повна, але не розгорнута відповідь, яка містить незначну помилку чи суперечність, - 9 балів, за кожен наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал.
- Неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей, - 7 балів, за кожен наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал.
- Відповідь, що містить критичну помилку чи неточність, або відсутність відповіді оцінюється в 0 балів.

Критерії оцінювання розв’язання задачі:

- Студент отримав загальний розв’язок і правильно вирахував числове значення відповіді - 10 балів.
- Студент отримав загальний розв’язок і неправильно вирахував числове значення відповіді - 8 балів.
- Студент правильно вписав необхідні для розв’язання закони та рівняння, але не зміг отримати загальний розв’язок - 5 балів.
- Студент не повністю вписав необхідні для розв’язання закони та рівняння - 2 бали.
- Студент неправильно вписав необхідні для розв’язку закони та рівняння, чи розв’язок взагалі відсутній - 0 балів.

Число балів, які студент отримав на екзамені, є сумою балів, що були отримані за кожне завдання з екзаменаційного білету.

Кінцева оцінка виставляється за сумою балів поточного та підсумкового контролю за шкалою що наведена нижче.

### Шкала оцінювання

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

## 9. Запитання до екзамену

1. Фундаментальні взаємодії і ядерні сили



2. Модель рідинної краплі
3. Формула Вайцекера для енергії зв'язку ядер.
4. Ізотопічний спіні.
5. Спіни і магнітні моменти ядер
6. Електричні квадрупольні моменти ядер
7. Взаємодія між нуклонами та ізотопічний спіні
8. Основний стан дейтрона
9. Основний стан дейтрона з урахуванням нецентральных сил
10. Електричний квадрупольний і магнітний дипольний моменти дейтрона
11. Розсіяння повільних нейтронів протонами
12. Довжина розсіяння і ефективний радіус
13. Розсіяння нейтронів зв'язаними протонами
14. Розсіяння протонів протонами
15. Розсіяння нуклонів нуклонами при високих енергіях
16. Модель фермі-газу для ядра
17. Одночастинкова оболонкова модель зі спіні-орбітальною взаємодією.
18. Спіни ядер. Спіні-орбітальна взаємодія
19. Магнітні дипольні й електричні квадрупольні моменти ядер
20. Нуклонні асоціації в ядрах
21. Узагальнена модель ядра
22. Коливання сферичних ядер
23. Коливання і обертання несферичних ядер
24. Обертання аксіально-симетричних ядер
25. Магнітні дипольні та електричні квадрупольні моменти несферичних ядер
26. Обертання неаксіальних ядер і надобертові ядра
27. Врахування неадіабатичності колективних збуджень у несферичних ядрах
28. Об'ємні коливання і хвилі в ядрах
29. Зв'язок між одночастинковими і колективними рухами в ядрах

## **10. Рекомендоване методичне забезпечення**

### **Базова література**

1. Ситенко А.Г. Теорія ядра / А.Г.Ситенко, В.С. Тартаковський.- К.: Либідь, 2000. – 608 с.
2. Ахієзер О.І. Теорія ядра / О.І. Ахієзер, Ю.А. Бережной. К.: Вища школа, 1995. – 256 с.
3. Плюйко В.А. Основи теорії ядра та ядерних процесів. Фізика атомного ядра / В.А. Плюйко, К.: ВПЦ Київський університет. 2002. – 162 с.
4. Ахієзер О.І. Теорія ядерних реакцій / О.І. Ахієзер, Ю.А. Бережной. Х.: ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2011. – 368 с.

### **Допоміжна література**

1. Nuclear and Particle Physics: An Introduction 3rd Edition by Brian R. Martin, Graham Shaw/ Wiley; 3rd edition (April 15, 2019) 528 pages
2. Бережной Ю.А. Лекції з квантової механіки / Ю.А. Бережной. К.: Майстер-Клас, 2008. – 448 с.
3. Вальтер А.К. Ядерна фізика / А.К. Вальтер, І.І. Залюбовський. Харків: Основа. 1991. – 480 с.
4. Ахієзер О.І. Електродинаміка ядер / О.І. Ахієзер, А.Г. Ситенко, В.К. Тартаковський. К.: Наукова думка. 1989. – 432 с.

### **Інформаційні ресурси**

1. [https://web.njit.edu/~gary/234h/assets/Phys234h\\_Lecture13.ppt](https://web.njit.edu/~gary/234h/assets/Phys234h_Lecture13.ppt)
2. Бібліотека ХНУ імені В.Н.Каразіна.