

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

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

“ЗАТВЕРДЖУЮ”



Професор з науково-педагогічної роботи
Олександр ГОЛОВКО

2022 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Взасодія випромінювання з речовиною

(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 Фомін Сергій Петрович

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



(підпис) Микола ШУЛЬГА
(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

Програма навчальної дисципліни “_Взаємодія випромінювання з речовиною” складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки першого рівня вищої освіти (бакалавр). Галузь знань: 10 – природничі науки спеціальності (напряму) 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали». 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

Мета: студенти мають засвоїти фундаментальні положення, методи дослідження та рівняння з Фізики ядерних реакторів.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

Навчити студентів застосовувати здобуті теоретичні знання для практичного використання їх у сучасних дослідженнях.

Загальні компетентності, які мають бути засвоєні внаслідок вивчення вищої математики (вищої алгебри):

- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. **(ЗК-1)**
- 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 вищої математики (вищої алгебри):

- 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 виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв’язування фізичних задач і моделювання фізичних систем **(СК-10)**

1.3. Кількість кредитів 4.

1.4. Загальна кількість годин 120.

Нормативна / за вибором	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
4-й	
Семестр	
8-й	
Лекції	
70-	
Практичні, семінарські заняття	

Лабораторні заняття	
Самостійна робота	
50 год.	
Індивідуальні завдання	
2 год.	

1.6. Заплановані результати навчання

Підготувати фахівця з теоретичної фізики, спроможного застосовувати отримані знання у сучасних дослідженнях.

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

- Знати цілі сталого розвитку та можливості своєї професійної сфери для їх досягнення, в тому числі в Україні. **(Зн-2)**
- Розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв'язанні екологічних проблем. **(Зн-3)**
- 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)**
- Оцінювати фінансові, матеріальні та інші витрати, пов'язані з реалізацією проектів у сфері прикладної фізики, соціальні, екологічні та інші потенційні наслідки реалізації проектів. **(Ком-4)**

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. ВЗАЄМОДІЇ РЕАЛЬНИХ ГАМА-КВАНТІВ З ЯДРАМИ

Тема 1. Заряд і розміри ядер. Електричне та магнітне мультипольне випромінювання

1. Функції розподілу, радіуси ядер, електричні та магнітні моменти, формфактори.
2. Моделі розподілу заряду: оболонкова модель, феноменологічні розподіли Хелма та Фермі.
3. Розвинення плоских хвиль за полями мультиполей.
4. Зведені імовірності. Теорема Вігнера-Еккарта, правила добору.
5. Матричні елементи електромагнітних переходів у довгохвильовому наближенні.
6. Одночастинкова оцінка Вайскопфа.

Тема 2. Фотоядерні реакції

1. Джерела гама-випромінювання: гальмівне випромінювання від лінійних електронних прискорювачів.
2. Методи монохроматизації гальмівного випромінювання: мічені фотони, анігіляція позитронів у польоті, комптон-ефект на електроні, що рухається, когерентне гальмівне випромінювання на монокристалах.
3. Вихід фотоядерної реакції та ефективні перерізи.
4. Енергетичні та кутові розподіли фотонуклонів.
5. Фоторозщеплення дейтрона. Ефективний переріз Бете-Пайерлса.
6. Фоторозщеплення складних ядер: гігантський резонанс.
7. Складене ядро і прямий фотоефект. Квазідейтронний механізм.

8. Експерименти із квазімонохроматичними, лінійно поляризованими фотонами.
9. Установка «Фотон» ХФТІ. Реєстрація фотонуклонів стримерною камерою у магнітному полі. Вимірювання кутової залежності асиметрії перерізів.

Розділ 2. ВЗАЄМОДІЇ ВІРТУАЛЬНИХ ГАМА-КВАНТІВ З ЯДРАМИ

Тема 1. Пружне розсіяння релятивістських електронів на ядрі

1. Ефекти скінчених розмірів у розсіянні часток і хвиль. Розсіяння електронів на точковому ядрі.
2. Розсіяння на ядрі скінчених розмірів. Формфактор.
3. Радіаційні поправки до пружного розсіяння. Поліпшене борнівське наближення.
4. Моделі розподілу заряду та формфактори.

Тема 2. Непружне розсіяння, електрозбудження рівнів

1. Огляд процесів непружного розсіяння: збудження дискретних ядерних станів, збудження мультипольних резонансів, квазіпружне розсіяння на протонах ядра, інклюзивні реакції.
2. Перерізи розсіяння, спектри. Моделі перехідної густини та формфактори.
3. Переріз непружного розсіяння із збудженням дискретних ядерних станів у однофотонному наближенні.
4. Формфактор ядерного переходу. Перехідна густина. Зв'язок формфактора і зведеної імовірності радіаційного переходу.
5. Моделі перехідної густини та формфактори: модель Хелма та вібраційна модель.

Розділ 3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТІВ ПО РОЗСІЯННЮ ЕЛЕКТРОНІВ ТА ОБРОБКА ДАНИХ

Тема 1. Прискорювачі електронів

1. Лінійний прискорювач електронів ХФТІ – ЛПЕ-300.
2. Надпровідний прискорювач S-DALINAC, м. Дармштадт, Германия.
3. Мікротрон МАМІ університету м. Майнц, Германия.
4. Центр лінійного прискорювача BATES Массачусетського технолог. інституту .
5. Прискорювач із безперервним пучком електронів (СЕВАФ) лаб. ім. Джеферсона (США). Схема обладнання, параметри.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви модулів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
л		п	лаб	інд	сп	
1	2	3	4	5	6	7
<u>Розділ 1.</u>						
Тема 1. Вступ. Енергетика та екологія. Місце ядерної енергетики у структурі енергоресурсів у світі та в Україні. Основні проблеми ядерної енергетики.	4	4				
Тема 2. Перетворення енергії у ядерних реакторах. Особливості ядер, що діляться і відтворюють. Вивільнення енергії при розподілі. Ланцюгова ядерна реакція. Основні характеристики уламків поділу.	8	4				4

Тема 3. Структура та елементний склад активної зони ядерного реактора. Класифікація ядерних реакторів. Порівняльний аналіз реакторів на теплових та швидких нейтронах. Нейтронний цикл у тепловому ядерному реакторі – основні фізичні процеси.	8	4				4
Тема 4. Основні положення теорії уповільнення нейтронів. Характеристики властивостей речовин, що уповільнюють. Природні сповільнювачі: переваги та недоліки.	8	4				4
Тема 5. Теорія Фермі уповільнення нейтронів. Вік теплових нейтронів. Довжина уповільнення. Спектр нейтронів Фермі, що уповільнюються, в гомогенному непоглинаючому середовищі.	8	4				4
Тема 6. Закон дифузії теплових нейтронів у гомогенному середовищі (закон Фіка). Довжина дифузії, площа та довжина міграції нейтронів. Спектр нейтронів у реакторі на теплових нейтронах.	8	4				4
Тема 7. Коефіцієнт розмноження нейтронів у розмножувальному середовищі (формула 4-х співмножників). Коефіцієнт використання теплових нейтронів Θ . Температурні ефекти, що впливають на розмножувальні властивості (Доплер-ефект).	8	4				4
Тема 8. Ефективний коефіцієнт розмноження нейтронів та реактивність реактора. "Геометричний параметр". Умова критичності реактора, способи її досягнення та підтримки. Запас реактивності реактора.	8	4				4
Разом за модулем 1	60	32				28
Розділ 2.						
Тема 9. Елементарне рівняння кінетики реактора (рівняння нейтронного балансу). Період реактора. Запізнілі нейтрони та їх роль у керуванні реактором.	8	4				4
Тема 10. Основні динамічні процеси у ядерному реакторі. Вигоряння ядерного палива. Відтворення ядерного палива, коефіцієнт відтворення. Температурні ефекти у ядерному реакторі.	8	4				4
Тема 11. Стаціонарне отруєння ядерного реактора. Отруєння реактора при перехідних процесах, "йодна яма". Шлакування ядерного реактора. Поглиначі нейтронів, що вигорають.	8	4				4
Тема 12. Ядерно-фізичні та хімічні параметри ядерного палива. Фізичний механізм дії відбивача. Нейтронно-фізичні характеристики матеріалів відбивача, теплоносія та сповільнювача.	8	4				4
Тема 13. Структура активної зони гетерогенного ядерного реактора на прикладі реакторів типу ВВЕР, РБМК, CANDU, та БН-600. Реактори на швидких нейтронах та замкнутий паливний цикл.	8	4				4
Тема 14. Поняття "внутрішньої безпеки" реактора та засоби її реалізації. Реактори IV покоління. Реактор на розплавах солей.	8	4				4
Тема 15. Підкритичні системи, що керуються прискорювачем (ADS). Каскадна схема.	8	4				4

Тема 16. Явище повільного ядерного горіння. Реактор хвили, що біжить: сучасний стан проблеми.	8	4				
Разом за модулем 2	60	32				28
<i>Усього годин</i>	120	64				56

4. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Вивільнення енергії при розподілі. Ланцюгова ядерна реакція. Основні характеристики уламків поділу.	4
2	Порівняльний аналіз реакторів на теплових та швидких нейтронах. Нейтронний цикл у тепловому ядерному реакторі.	4
3	Основні положення теорії уповільнення нейтронів. Характеристики властивостей речовин, що уповільнюють. Уповільнююча здатність багатокомпонентного середовища.	4
4	Теорія Фермі уповільнення нейтронів. Вік теплових нейтронів. Довжина уповільнення. Спектр нейтронів Фермі.	4
5	Закон дифузії теплових нейтронів у гомогенному середовищі (закон Фіка). Довжина дифузії, площа та довжина міграції нейтронів. Спектр нейтронів у реакторі на теплових нейтронах.	4
6	Коефіцієнт розмноження нейтронів (формула 4-х співмножників). Коефіцієнт використання теплових нейтронів Θ . Доплер-ефект.	4
7	Ефективний коефіцієнт розмноження нейтронів та реактивність реактора. "Геометричний параметр" (баклінг). Умова критичності реактора. Запас реактивності реактора.	4
8	Елементарне рівняння кінетики реактора (рівняння нейтронного балансу). Період реактора. Запізнілі нейтрони.	4
9	Основні динамічні процеси у ядерному реакторі. Вигоряння та відтворення ядерного палива. Коефіцієнт відтворення. Температурні ефекти у ядерному реакторі.	4
10	Стаціонарне отруєння ядерного реактора. Отруєння реактора при перехідних процесах, "йодна яма". Шлакування ядерного реактора. Поглиначі нейтронів, що вигорають.	4
11	Ядерно-фізичні та хімічні параметри ядерного палива. Фізичний механізм дії відбивача. Нейтронно-фізичні характеристики матеріалів відбивача, теплоносія та сповільнювача	4
12	Структура активної зони гетерогенного ядерного реактора на прикладі реакторів типу ВВЕР, РБМК, CANDU, та БН-600. Реактори на швидких нейтронах та можливість реалізації замкнутого паливного циклу.	4
13	Поняття "внутрішньої безпеки" реактора та засоби її реалізації. Реактори IV покоління. Реактор на розплавах солей.	4
14	Підкритичні системи, що керуються прискорювачем (ADS).	4
	Разом	56

5. Завдання для самостійної роботи

6. Індивідуальне навчально-дослідне завдання – не передбачено

7. Методи навчання

Лекції, розв'язування задач та творчих завдань, індивідуальна розрахункова робота.

8. Методи контролю

Поточне опитування, тестування, оцінювання виконання самостійних домашніх завдань, підсумковий комбінований письмовий іспит.

Розподіл балів, що присвоюються студентам

Вид роботи	Модуль	
	1	2
Поточне опитування	10	10
Поточні контрольні роботи	15	15
Наполегливість, активність на заняттях, конспект	5	5
Сума балів за модуль	30	30

9. Схема нарахування балів

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

Критерії оцінювання навчальних досягнень

Критерії оцінювання контрольної роботи. Контрольна робота у 2 семестрі містить одне теоретичне питання та дві задачі. Контрольна робота у 3 семестрі містить два теоретичних питання та дві задачі. Контрольні роботи виконуються в аудиторії.

Критерії оцінювання теоретичних питань:

Повна розгорнута відповідь - 10 балів.

Повна, але не розгорнута відповідь - 9 балів.

Повна, але не розгорнута відповідь, яка містить незначну помилку чи суперечність, - 8 балів, за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал.

Неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей, - 7 балів, за кожну 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 - 20 балів.

Студент отримав загальний розв'язок і неправильно вирахував числове значення відповіді - 17 балів.

Студент отримав загальний розв'язок, але помилився в одиницях вимірювання - 13 балів.

Студент правильно виписав необхідні для розв'язання закони та рівняння, але не зміг отримати загальний розв'язок - 8 балів.

Студент не повністю виписав необхідні для розв'язання закони та рівняння - 2 бали.

Студент не правильно виписав необхідні для розв'язку закони та рівняння, чи розв'язок взагалі відсутній 0 балів.

Критерії оцінювання підсумкового контролю знань. Підсумковий контроль знань відбуваються у вигляді письмового екзамену з навчальної дисципліни. Кожен білет має два теоретичних питання та задачу що потребує розв'язання:

Перше питання до 10 балів.

Друге питання до 10 балів.

Розв'язання задачі до 20 балів.

Критерії оцінювання теоретичних питань:

Повна розгорнута відповідь - 10 балів.

Повна, але не розгорнута відповідь - 9 балів.

Повна, але не розгорнута відповідь, яка містить незначну помилку чи суперечність, - 8 балів, за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал.

Неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей, - 7 балів, за кожну 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 - 20 балів.

Студент отримав загальний розв'язок і неправильно вирахував числове значення відповіді - 17 балів.

Студент отримав загальний розв'язок, але помилився в одиницях вимірювання - 13 балів.

Студент правильно виписав необхідні для розв'язання закони та рівняння, але не зміг отримати загальний розв'язок - 8 балів.

Студент не повністю виписав необхідні для розв'язання закони та рівняння - 2 бали.

Студент не правильно виписав необхідні для розв'язку закони та рівняння, чи розв'язок взагалі відсутній 0 балів.

90 - 100 балів – *відмінно*;

70 - 89 балів – *добре*;

50 - 69 балів – *задовільно*;

1 - 49 балів – *незадовільно*.

10. Література:

Базова

1. Павлович В.М. Фізика ядерних реакторів: навчальний посібник. Чорнобиль (Київ. обл.): Ін-т проблем безпеки АЕС, 2009. – 224 с.

2. Levis E.E. Fundamentals of Nuclear Reactor Physics. Academic Press, 2008, – 293 p.
3. Pázsit, Imre. Transport theory and stochastic processes. Chalmers University, Goteborg, Sweden, 2007, – 182 p.

Допоміжна

1. Давидов Л.М., Белозоров Д.П. Аналіз концептуальних систем ядерних реакторів третього й четвертого поколінь із урахуванням специфіки ядерної енергетики України. // Вісник Харківського національного університету. Серія фізична: "Ядра, частинки, поля", 2007, №777, вип. 2/34/, с. 3-32.
2. H. van Dam, T.H.J.J. van der Hagen, J.E. Hoogenboom. Nuclear Reactor Physics: lecture notes AP3341, Delft University of Technology, Delft, The Netherland, 2005, – 132 p.

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

Студентам надається доступ до курсу “Фізика ядерних реакторів” в Google Classroom, де знаходяться електронний конспект лекцій, електронні підручники та задачники, список екзаменаційних теоретичних питань, список задач для роботи на практичних заняттях та для самостійної роботи, список допоміжних коротких питань за курсом, розклад консультацій за курсом.