

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

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

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Директор навчально-наукового інституту:

«Фізико-технічний факультет»

(вказати назву структурного підрозділу)

Кузнецов П.Е.

(вказати П.І.Б керівника)

“ 28 ” серпня 2023 Р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Електромагнітні процеси ФВЕ

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти	1 рівень (магістерський)
галузь знань	10 «Природничі науки»
спеціальність	105 «Прикладна фізика та наноматеріали»
освітня програма	«Експериментальна ядерна фізика та фізика плазми (освітньо-наукова програма)
спеціалізація	
вид дисципліни	обов'язкова
факультет	ННІ «Фізико-технічний факультет»

2023/2024 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою Навчально наукового інституту «Фізико-технічний факультет»

“25” серпня 2023 року, протокол № 8

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:(вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)
Шульга Микола Федорович доктор фізико-математичних наук, професор, академік НАН України, професор кафедри фізики ядра та високих енергій імені О. І. Ахієзера

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики ядра та високих енергій імені О.І. Ахієзера
Протокол від “16” червня 2023 року № 10

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



(підпис)

Микола ШУЛЬГА
(прізвище та ініціали)

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

Протокол від “14” серпня 2023 року № 11

Голова науково-методичної комісії ННІ «Фізико-технічний факультет»



(підпис)

Микола ЮНАКОВ
(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Електромагнітні процеси фізики високих енергій» складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки

2 (магістерський) - рівень

(назва рівня вищої освіти, освітньо-кваліфікаційного рівня)

спеціальності (напрямку) 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали»

спеціалізації 8.04020403 – Експериментальна ядерна фізика та фізика плазми

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни є засвоєння студентами класичної та квантової теорій руху, випромінювання та втрат енергії заряджених частинок великої енергії в аморфних та кристалічних речовинах.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни: надати студентам знання та навички, які дозволять обчислювати перерізи електромагнітних процесів при взаємодії частинок високих енергій з речовиною; сформувані у студентів загальну та предметну компетентність.

1.3. Кількість кредитів 9.

1.4. Загальна кількість годин 270.

Обов'язкова	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
1-й	1-й
Семестр	
1-й	2-й
Лекції	
48 год.	48 год.
Практичні, семінарські заняття	
Лабораторні заняття	
Самостійна робота	
72 год.	102 год.
Індивідуальні завдання	
0	0

1.6. Заплановані результати навчання

Згідно з освітньо-професійною програмою «Прикладна фізика» спеціальність 105 – «прикладна фізика та наноматеріали» студенти мають досягти таких результатів навчання: = демонструвати знання та розуміння наукових і математичних принципів, необхідних для розв'язування інженерних задач та виконання досліджень у галузі теоретичної та прикладної фізики, ядерної та термоядерної енергетики, тощо (Зн-1);

- демонструвати знання сучасного стану справ, тенденції розвитку, найбільш важливі розробки та новітні технології в галузі теоретичної та прикладної фізики, ядерної та термоядерної енергетики, тощо (Зн-2);

- демонструвати поглиблені знання у вибраній спеціалізації (Зн-3);

- вибирати методи та моделювати явища та процеси в динамічних системах, а також аналізувати здобуті результати (Ум-1);

- самостійно планувати та виконувати експерименти, оцінювати здобуті результати (Ум-2);
- застосовувати інформаційно-комунікаційні технології та навички програмування для розв'язання типових інженерних завдань (Ум-3);
- самостійно виконувати експериментальні дослідження та застосовувати дослідницькі навички за професійною тематикою (Ум-8);
- критично проаналізувати основні показники функціонування системи та оцінити використані технічні рішення та обладнання (Ум-9);
- застосовувати системний підхід, інтегруючи знання з інших дисциплін та враховуючи нетехнічні аспекти, під час розв'язання інженерних задач обраної спеціалізації та проведення досліджень (Ум-10);
- аргументувати вибір методів розв'язування спеціалізованої задачі, критично оцінювати здобуті результати та захищати прийняті рішення (Ум-11).
- уміти представляти та обговорювати здобуті результати та здійснювати трансфер набутих знань (Ком-2).
- бути здатним усвідомлювати необхідність навчання впродовж усього життя з метою поглиблення набутих та здобуття нових фахових знань (АіВ-2).

Для цього студенти мають досягти наступних результатів.

знати: теоретичні основи класичної та квантової теорій руху, випромінювання та втрат енергії заряджених частинок великої енергії в аморфних та кристалічних речовинах;

вміти: правильно виконувати обчислення перерізів електромагнітних процесів при взаємодії частинок високих енергій з речовиною.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Класична теорія розсіювання.

Тема 1. Рух швидких заряджених частинок у зовнішніх полях.

Рівняння руху. Типові величини полів. Рух у магнітному та електричному полях. Ондулятор.

Тема 2. Рух швидких заряджених частинок у кристалічних полях.

Потенціал кристалічної ґратки. Явище каналювання заряджених частинок (історія відкриття ефекту). Наближення безперервних ланцюжків атомів. Рівняння руху. Критичний кут каналювання. Наближення безперервного потенціалу кристалічних площин атомів.

Тема 3. Стійкість руху у зовнішньому полі. Проблема динамічного хаосу.

Розділення змінних у рівняннях руху. Потенціал Хеннона-Хейлса. Метод перерізів Пуанкаре. Критерій розбігу траєкторій. Критерій Гауссової кривизни. Приклади регулярного та хаотичного режимів руху. Стійкість руху при розсіянні на декількох центрах.

Тема 4. Пружне розвіяння. Класична теорія.

Розсіяння у центральному полі. Поворот пучка зігнутих кристалом. Функція відхилення. Переріз розсіяння. Райдужне розсіяння. Проблема граничних умов. Явища закручування та глорії. Приклади.

Розділ 2. Квантова теорія розсіювання

Тема 5. Хвильова функція швидкої зарядженої частинки у зовнішньому полі

Рівняння Дірака. Плоскі хвилі. Квадріроване рівняння Дірака. Квазікласичне наближення. Розпливання релятивістського хвильового пакета. Борнівське наближення. Ейкональне наближення. Перехід від рівняння Дірака до рівняння Паулі (наближення $1/c$).

Тема 6. Пружне розсіювання. Квантова теорія.

Амплітуда й переріз розсіювання. Ейкональне наближення й доданки до нього. Борнівське наближення. Класичне наближення. Метод стаціонарної фази. Райдужне розсіювання у квантової теорії. Приклади ефектів при розсіянні швидких заряджених частинок на атомах.

Тема 7. Розсіювання швидких заряджених частинок у речовині на малі кути.

Багатократне розсіювання в аморфному середовищі. Метод кінетичного рівняння. Функція Бете-Мольєр розподілу частинок по кутам розсіювання. Гауссовий розподіл. Багатократне розсіювання у тонкому шарі речовини. Розсіювання на ланцюжку атомів. Когерентне розсіювання. Довжина когерентності процесу розсіювання. Розсіювання в полі безперервного потенціалу ланцюжка атомів. Класичні та квантові ефекти у розсіянні. Ефект Ааронова-Бома.

Розділ 3. Класична теорія випромінювання частинками великої енергії.

Тема 8. Класична теорія випромінювання.

Поле електрона що рухається. Інтенсивність випромінювання. Спектрально-кутова щільність випромінювання. Вплив поляризації середовища на випромінювання. Випромінювання Вавилова-Черенкова. Довжина когерентності процесу випромінювання.

Тема 9. Випромінювання в зовнішніх полях та при зіткненнях швидких електронів з атомами.

Дипольне наближення. Ондуляторне випромінювання. Синхротронне випромінювання. Наближення траєкторії види кута. Випромінювання при зіткненні з атомом. Ефективність випромінювання. Когерентне випромінювання на ланцюжку атомів.

Тема 10. Випромінювання ультрарелятивістських електронів в аморфному середовищі.

Гальмівне випромінювання у розрідженому середовищі. Формула Бете та Гайтлера для спектральної щільності випромінювання. Вплив поляризації середовища на випромінювання. Перехідне випромінювання. Випромінювання в тонкій мішені. Область застосування формули Бете та Гайтлера. Ефект пригнічення гальмівного випромінювання у тонкому шарі речовини. Ефект Ландау-Померанчука-Мігдала пригнічення гальмівного випромінювання. Метод функціонального інтегрування в теорії гальмівного випромінювання.

Розділ 4. Квантова теорія випромінювання та втрат енергії.

Тема 11. Квантова теорія випромінювання частинками великої енергії.

Імовірність та переріз випромінювання. Закони збереження та фазовий об'єм. Борнівське наближення. Калібрувальна інваріантність. Підсумування по поляризаціям частинок. Переріз Бете та Гайтлера. Довжина когерентності в квантової теорії випромінювання. Переріз випромінювання в ейкональному наближенні. Переріз народження електрон-позитронної пари.

Тема 12. Іонізаційні втрати енергії швидкими зарядженими частинками у речовині.

Формула Бете та Блоха для іонізаційних втрат енергії. Ефект щільності Фермі. Близькі та далекі зіткнення. Іонізаційні втрати енергії при каналюванні. Іонізаційні втрати енергії кластерів частинок у тонких мішенях. Флуктуації іонізаційних втрат енергії. Метод кінетичного рівняння Ландау.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви модулів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
л		п	лаб	інд	ср	
1	2	3	4	5	6	7
Розділ 1.						
Тема 1. Рух швидких заряджених частинок у зовнішніх полях	15	6				9
Тема 2. Рух швидких заряджених частинок у кристалічних полях	15	6				9
Тема 3. Стійкість руху у зовнішньому полі. Проблема динамічного хаосу	15	6				9
Тема 4. Пружне розвіяння. Класична теорія	15	6				9
Разом за розділом 1	60	24				36
Розділ 2.						
Тема 5. Хвильова функція швидкої зарядженої частинки у зовнішньому полі	20	8				12
Тема 6. Пружне розсіяння. Квантова теорія	20	8				12
Тема 7. Розсіяння швидких заряджених частинок у речовині на малі кути	20	8				12
Разом за розділом 2	60	24				36
Розділ 3.						
Тема 8. Класична теорія випромінювання	25	8				17
Тема 9. Випромінювання в зовнішніх полях та при зіткненнях швидких електронів з атомами	25	8				17
Тема 10. Випромінювання ультрарелятивістських електронів в аморфному середовищі	25	8				17
Разом за розділом 3	75	24				51
Розділ 4.						
Тема 11. Квантова теорія випромінювання частинками великої енергії	38	12				26
Тема 12. Іонізаційні втрати енергії швидкими зарядженими частинками у речовині	37	12				25
Разом за розділом 4	75	24				51
<i>Усього годин</i>	270	96				174

4. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Рух швидких заряджених частинок у зовнішніх полях	14
2	Рух швидких заряджених частинок у кристалічних полях	14
3	Стійкість руху у зовнішньому полі. Проблема динамічного хаосу	14
4	Пружне розсіяння. Класична теорія	14
5	Хвильова функція швидкої зарядженої частинки у зовнішньому полі	14
6	Пружне розсіяння. Квантова теорія	14
7	Розсіяння швидких заряджених частинок у речовині на малі кути	14
8	Класична теорія випромінювання	16
9	Випромінювання в зовнішніх полях та при зіткненнях швидких електронів з атомами	14
10	Випромінювання ультрарелятивістських електронів в аморфному середовищі	16
11	Квантова теорія випромінювання частинками великої енергії	16
12	Іонізаційні втрати енергії швидкими зарядженими частинками у речовині	14
	Разом	174

5. Індивідуальне навчально-дослідне завдання – не передбачено

6. Методи навчання

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

7. Методи оцінювання

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

9. Схема нарахування балів

1-й семестр

Поточне тестування та самостійна робота							Підсумковий семестровий контроль (екзамен)	Сума
Розділ 1				Розділ 2			40	100
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7		
7	7	8	8	10	10	10		

T1, T2 ... T7 – теми розділів

2-й семестр

Поточне тестування та самостійна робота					Підсумковий семестровий контроль (екзамен)	Сума
Розділ 3			Розділ 4		40	100
T8	T9	T10	T11	T12		
10	10	10	15	15		

T1, T2 ... T7 – теми розділів

Для допуску до складання підсумкового контролю (екзамену) здобувач вищої освіти повинен набрати не менше 15 балів з навчальної дисципліни під час поточного контролю, самостійної роботи, індивідуального завдання.

Шкала оцінювання

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

9. Література

Базова

1. Akhiezer A.I., Shul'ga N.F. High energy electrodynamics in matter. CRC Press, 1996. 400 p.
2. Ter-Mikaelian M.L. High-Energy Electromagnetic Processes in Condensed Media. Wiley-Interscience, 1972. 457 p.

Допоміжна

1. Шульга Н.Ф. Некоторые вопросы теории рассеяния быстрых частиц в веществе и во внешних полях. К.: Наукова Думка, 2010. 198 с.

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

1. Онлайн курс з квантової електродинаміки на сайті центру Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics http://www.ictp.tv/diploma/search07-08.php?activityid=HEP&course=Quantum_Electrodynamics