**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

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_Антон ПАНТЕЛЕЙМОНОВ

“\_\_\_\_\_\_”\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_20 \_\_ р.

# Робоча програма навчальної дисципліни

**«ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПРОЦЕСИ ФІЗИКИ ВИСОКИХ ЕНЕРГІЙ ТА ТЕОРІЯ РОЗСІЯННЯ»**

рівень вищої освіти \_\_\_\_другий (магістерський)\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

/

галузь знань \_\_\_\_\_10 «Природничі науки»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(шифр і назва)

спеціальність \_\_105 «Прикладна фізика та наноматеріали»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(шифр і назва)

освітня програма «Експериментальна ядерна фізика та фізика плазми»\_\_ \_\_\_\_\_\_\_\_\_

(шифр і назва)

спеціалізація \_\_\_«Експериментальна ядерна фізика» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(шифр і назва)

вид дисципліни\_\_\_\_за вибором\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

(обов’язкова / за вибором)

навчально-науковий інститут «Фізико-технічний факультет»

2020 / 2021 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою ННІ «Фізико-технічний факультет»

“\_27\_” \_серпня\_\_2020 року, протокол № \_8\_

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ: - доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри теоретичної ядерної фізики та вищої математики імені О.І. Ахієзера **Шульга Микола Федорович**

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

Протокол від “\_27\_” \_серпня\_\_ 2020 року № 15

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

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Микола ШУЛЬГА

(підпис)

Програму погоджено методичною комісією ННІ «Фізико-технічний факультет»

Протокол від “\_27\_” \_серпня\_\_ 2020 року № \_10\_\_

Голова методичної комісії ННІ «Фізико-технічний факультет»

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Микола ЮНАКОВ

(підпис)

**Вступ**

Програма навчальної дисципліни “Електромагнітні процеси фізики високих енергій

та теорія розсіяння” складена відповідно до освітньо освітньо-наукової програми

підготовки другого рівня вищої освіти (магістр). Галузь знань: 10 – “Природничі

науки”. Спеціальність: 105 – “Прикладна фізика та наноматеріали”, спеціалізація:

“Експериментальна ядерна фізика”.

### **1. Опис навчальної дисципліни**

1.1. Метою 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 - це надання студентам знань та навичок, які дозволять обчислювати перерізи електромагнітних процесів при взаємодії частинок високих енергій з речовиною; сформувати у студентів загальну та предметну компетентність.

Загальні компетентності, які мають бути засвоєні:

* готовність до саморозвитку та самореалізації (ЗК-1);
* здатність до абстрактного та системного мислення й аналізу (ЗК-2);
* здатність до управління та систематизації інформації (ЗК-3).

Фахові компетентності, які мають бути засвоєні:

* здатність самостійно проводити наукові дослідження, складати план дослідження та одержувати нові наукові й прикладні результати (ФК-1);
* здатність використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики при вивченні та дослідженні фізичних явищ і процесів (ФК-2);
* здатність використовувати методи аналітичної обробки результатів дослідження та математичного моделювання (ФК-4);
* здатність використовувати здобуті знання для розробки та забезпечення працездатності сучасних дослідницьких та технологічних фізичних систем ядерної та альтернативної енергетики, вакуумно-плазмових та енергетичних пристроїв із дотриманням нормативних заходів безпеки їх експлуатації (ФК-5).

1.3. Кількість кредитів 6.

1.4. Загальна кількість годин 180.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1.5. Характеристика навчальної дисципліни | | |
| ~~Нормативна~~ / за вибором | | |
| Денна форма навчання | | Заочна (дистанційна) форма навчання |
| Рік підготовки | | |
| 1-й | |  |
| Семестр | | |
| 1-й | 2-й |  |
| Лекції | | |
| 48 год. | 48 год. |  |
| Практичні, семінарські заняття | | |
| год. | год. |  |
| Лабораторні заняття | | |
| год. | год. |  |
| Самостійна робота | | |
| 42 год. | 42 год. |  |
| Індивідуальні завдання | | |
| 6 год. | 3 год. |  |

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 навики 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 зігнутим кристалом. Функція відхилення. Переріз розсіяння. Райдужне розсіяння. Проблема граничних умов. Явища закручування та глорії. Приклади.

### Розділ 2. Квантова теорія розсіювання

### Тема5. 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/*с*).

### Тема 6. Пружне розсіяння. Квантова теорія.

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

### Тема 7. Розсіяння швидких заряджених частинок у речовині на малі кути.

Багатократне розсіяння в аморфному середовищі. Метод кінетичного рівняння. Функція Бете-Мольер розподілу частинок по кутам розсіяння. Гауссовий розподіл. Багатократне розсіяння у тонкому шарі речовини. Розсіяння на ланцюжку атомів. Когерентне розсіяння. Довжина когерентності процесу розсіяння. Розсіяння 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 ульрарелятивістських 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 тонкої 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 розділів і тем | Кількість годин | | | | | |
| денна форма | | | | | |
| усього | у тому числі | | | | |
| л | п | лаб | інд | с.р |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1-й семестр | | | | | | |
| Розділ 1. Класична теорія розсіювання. | | | | | | |
| Тема 1. Рух швидких заряджених частинок у зовнішніх полях. | 11 | 6 |  |  |  | 5 |
| Тема 2. Рух швидких заряджених частинок у кристалічних полях. | 11 | 6 |  |  |  | 5 |
| Тема 3. Стійкість руху у зовнішньому полі. Проблема динамічного хаосу. | 12 | 6 |  |  |  | 6 |
| Тема 4. Пружне розвіяння. Класична теорія | 13 | 7 |  |  |  | 6 |
| Разом за розділом 1 | 47 | 25 |  |  |  | 22 |
| Розділ 2. Квантова теорія розсіювання | | | | | | |
| Тема5. Хвильова функція швидкої зарядженої частинки у зовнішньому полі | 13 | 7 |  |  |  | 6 |
| Тема 6. Пружне розсіяння. Квантова nеорія. | 15 | 8 |  |  |  | 7 |
| Тема 7. Розсіяння швидких заряджених частинок у речовині на малі кути. | 15 | 8 |  |  |  | 7 |
| Разом за розділом2 | 43 | 23 |  |  |  | 20 |
| Разом за 1-й семестр | 90 | 48 |  |  |  | 42 |
| 2-й семестр | | | | | | |
| Розділ 3. Класична теорія випромінювання частинками великої енергії. | | | | | | |
| Тема 8. Класична теорія випромінювання. | 22 | 12 |  |  |  | 10 |
| Тема 9. Випромінювання в зовнішніх полях та при зіткненнях швидких електронів з атомами. | 25 | 13 |  |  |  | 12 |
| Разом за розділом3 | 47 | 25 |  |  |  | 22 |
| Розділ 4. Квантова теорія випромінювання та втрат енергії. | | | | | | |
| Тема 10. Випромінювання ульрарелятивістських електронів в аморфному середовищі. | 15 | 8 |  |  |  | 7 |
| Тема 11. Квантова теорія випромінювання частинками великої енергії. | 15 | 8 |  |  |  | 7 |
| Тема 12. Іонізаційні втрати енергії швидкими зарядженими частинками у речовині. | 13 | 7 |  |  |  | 6 |
| Разом за розділом4 | 43 | 23 |  |  |  | 20 |
| Разом за 2-й семестр | 90 | 48 |  |  |  | 42 |
| Усього годин | 180 | 96 |  |  |  | 84 |

**4. Завдання для самостійної робота**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №  з/п | Види, зміст самостійної роботи | Кількість  годин |
| 1 | Рух швидких заряджених частинок у зовнішніх полях. | 5 |
| 2 | Рух швидких заряджених частинок у кристалічних полях. | 5 |
| 3 | Стійкість руху у зовнішньому полі. Проблема динамічного хаосу. | 6 |
| 4 | Пружне розвіяння. Класична теорія. | 6 |
| 5 | Хвильова функція швидкої зарядженої частинки у зовнішньому полі | 6 |
| 6 | Пружне розсіяння. Квантова теорія. | 7 |
| 7 | Розсіяння швидких заряджених частинок у речовині на малі кути. | 7 |
| 8 | Класична теорія випромінювання. | 10 |
| 9 | Випромінювання в зовнішніх полях та при зіткненнях швидких електронів з атомами. | 12 |
| 10 | Випромінювання ульрарелятивістських електронів в аморфному середовищі. | 7 |
| 11 | Квантова теорія випромінювання частинками великої енергії. | 7 |
| 12 | Іонізаційні втрати енергії швидкими зарядженими частинками у речовині. | 6 |
|  | Разом | 84 |

**5. Методи контролю**

Поточний контроль, залік, іспит.

**6. Схема нарахування балів**

1-й семестр

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Поточний контроль, самостійна робота | | | | | | | Залік | Сума |
| Розділ 1 | | | | Розділ 2 | | |
| Т1 | Т2 | Т3 | Т4 | Т5 | Т6 | Т7 | 40 | 100 |
| 5 | 5 | 5 | 5 | 6 | 7 | 7 |

2-й семестр

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Поточний контроль, самостійна робота | | | | | Іспит | Сума |
| Розділ 3 | | Розділ 4 | | |
| Т8 | Т9 | Т10 | Т11 | Т12 | 60 | 100 |
| 10 | 10 | 7 | 7 | 6 |

**Шкала оцінювання**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру | Оцінка | |
| для екзамену | для заліку |
| 90 – 100 | відмінно | зараховано |
| 70 – 89 | добре |
| 50 – 69 | задовільно |
| 1 – 49 | незадовільно | не зараховано |

**7. Рекомендована література**

**Основна література**

1. Ахиезер А.И., Шульга Н.Ф. Электродинамика высоких энергий в веществе. – М.: Наука, 1993. – 344 с.
2. Шульга Н.Ф. Некоторые вопросы теории рассеяния быстрых частиц в веществе и во внешних полях. – К.: Наукова думка, 2010. – 197 с.

**Допоміжна література**

1. Базылев В.А., Жеваго Н.К. Излучение быстрых частиц в веществе и во внешних полях. – М.: Наука, 1987. – 272 с.
2. Тер-Микаелян М.Л. Влияние среды на электромагнитные процессы при высоких энергиях.  – Ереван.: Изд-во Арм. ССР, 1969. – 459 с.

**8. Посиланная 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
2. Курси, які присвячені питанням взаємодії частинок великої енергії з речовиною на сайті «Ядерная физика в Интернете»:

<http://nuclphys.sinp.msu.ru/qti/index.html>

<http://nuclphys.sinp.msu.ru/partmat/index.html>

<http://nuclphys.sinp.msu.ru/qel/index.html>

<http://nuclphys.sinp.msu.ru/chpartint/index.html>

<http://nuclphys.sinp.msu.ru/ihem/index.html>