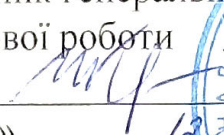


НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР
«ХАРКІВСЬКИЙ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник генерального директора
з наукової роботи


« 29 » 12 2017 р.



РОБОЧА ПРОГРАМА

навчальної дисципліни

Фізика взаємодії частинок високих енергій з речовиною

Назва навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти

Доктор філософії

галузь знань

10 Природничі науки

спеціальність

104 Фізика та астрономія

освітня програма

освітньо-наукова програма «Фізика та астрономія»

спеціалізація

вид дисципліни

за вибором ННЦ ХФТІ

Інститут

Інститут теоретичної фізики ім. О.І. Ахієзера
ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут»

2017 / 2018 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження
Науково-технічною радою ННЦ ХФТІ

Від “07” 12 2017 року, протокол № 9

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

д.ф.-м.н., професор Микола ШУЛЬГА

Програму схвалено на засіданні Вченої ради Інституту теоретичної
фізики ім. О.І. Ахієзера ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут»

від “31” 10 2017 року, протокол № 5

Т.в.о. директора Інституту теоретичної фізики ім. О.І. Ахієзера ННЦ
«Харківський фізико-технічний інститут»

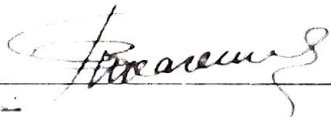

(підпис)

Леонід ДАВИДОВ
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньо-професійної програми «Фізика
та астрономія»

назва освітньої програми

Гарант освітньо-професійної програми «Фізика та астрономія»


(підпис)

Віктор ТКАЧЕНКО
(прізвище та ініціали)

Вступ

Дисципліна «Фізика взаємодії частинок високих енергій з речовиною» є частиною професійної підготовки аспірантів за вибором ННЦ ХФТІ за напрямом 10 Природничі науки, за спеціальністю – 104 фізика і астрономія, яка викладається протягом третього року навчання.

ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Метою викладання навчальної дисципліни є засвоєння аспірантами теорії й сучасних методів теоретичного опису процесів взаємодії частинок високих енергій з речовиною й зовнішніми полями та отримання практичних навичок з постановки й рішення задач у цій галузі.

1.1 Основними завданнями вивчення дисципліни «Фізика взаємодії частинок високих енергій з речовиною» є

(1) оволодіння знаннями, необхідними для досліджень електромагнітних процесів при високих енергіях у речовині та в зовнішніх полях;

(2) освоєння квантових і класичних методів опису процесів розсіяння та випромінювання частинками високих енергій у речовині;

(3) засвоєння основних особливостей розвитку електромагнітних процесів при великих енергіях у речовині, пов'язаних з великими довжинами формування цих процесів;

(4) ознайомлення з сучасними напрямками досліджень процесів взаємодії частинок великої енергії з речовиною та зовнішніми полями;

1.2.1. Формування інтегральних компетентностей

Здатність продукувати нові ідеї, розв'язувати комплексні проблеми науково-дослідницької та інноваційної діяльності у сфері фізики, застосовувати методологію науково-дослідницької та педагогічної діяльності, а також проводити власне наукове дослідження, результати якого мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення.

1.2.2 Формування наступних загальних компетентностей

Здатність генерувати нові ідеї.

Здатність розв'язувати комплексні наукові проблеми на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору.

Дотримання професійної етики та академічної доброчесності.

1.2.3. Формування наступних спеціальних (фахових) компетентностей

Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру в сфері фізики та/або астрономії, інтегрувати знання з різних галузей, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

Здатність застосовувати сучасні методи, методики, технології, інструменти та обладнання для проведення прикладних та фундаментальних наукових досліджень у галузі фізики.

Здатність відстежувати тенденції розвитку фізики, їх прикладних застосувань, критично переосмислювати наявні знання та методи наукових досліджень.

1.3. Кількість кредитів – 4.

1.4. Загальна кількість годин – 120.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни:

Опис навчальної дисципліни «Фізика взаємодії частинок високих енергій з речовиною»

Галузь знань, напрям підготовки, спеціальність, освітньо-кваліфікаційний рівень	
Галузь знань	10 – Природничі науки
напрямок підготовки	
спеціальність	104 – фізика та астрономія
освітньо-кваліфікаційний рівень	Доктор філософії
Мова навчання	Українська
Характеристика навчальної дисципліни	
Вид	Вибір ННЦ ХФТІ
Загальна кількість годин	120
Кількість кредитів ECTS	4
Кількість змістових модулів	2
Форма контролю	залік, екзамен
Показники навчальної дисципліни	
Рік підготовки	II
Лекційні заняття	18
Практичні заняття	10
Самостійна робота	90
Консультації	2

1.6. Передумови для вивчення дисципліни.

Знання аспірантами класичної електродинаміки, спеціальної теорії відносності і квантової механіки в межах стандартних університетських курсів. Володіння методами наближених розрахунків.

1.7. Заплановані результати навчання

Під час вивчення дисципліни аспіранти набувають теоретичних знань та практичних навичок по оволодінню теоретичними методами досліджень та опису основних характеристик наступних процесів з фізики взаємодії заряджених частинок великої енергії з речовиною та зовнішніми полями: розсіяння швидких частинок, в аморфному та кристалічному середовищі, когерентні та інтерференційні процеси при взаємодії частинок великої енергії

з речовиною, особливості руху частинок в орієнтованих кристалах, випромінювання ультрарелятивістських частинок у синхротроні, в ондуляторі, в аморфному й кристалічному середовищі, процеси взаємодії «напівголих» частинок з речовиною.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми здобувачі повинні:

Мати сучасні концептуальні та методологічні знання з фізики та/або астрономії та дотичних до них міждисциплінарних напрямів, а також необхідні навички, достатні для проведення фундаментальних і прикладних наукових досліджень з метою отримання нових знань та/або здійснення розробок та інновацій.

Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичних і експериментальних досліджень, математичного моделювання, комп'ютерного експерименту, а також наявні літературні дані.

Розробляти моделі процесів і систем у фізиці та/або астрономії та дотичних міждисциплінарних напрямках, використовувати їх у науково-дослідницькій діяльності для отримання нових знань та/або створення розробок та інноваційних продуктів.

Після вивчення курсу здобувач повинен знати:

- основні характеристики процесів розсіяння та випромінювання ультрарелятивістських електронів у речовині та зовнішніх полях;
- сучасні методи опису процесів взаємодії швидких частинок з речовиною;
- механізми генерації випромінювання електронів великої енергії у речовині.

В результаті вивчення дисципліни здобувач повинен вміти:

- розраховувати перерізи розсіяння швидких заряджених частинок у речовині;
- використовувати математичні методи, засновані на борнівському й ейкональному наближенні квантової механіки, для опису процесів розсіяння та випромінювання частинок у речовині;
- використовувати метод кінетичного рівняння для опису характеристик розсіяння та випромінювання ультрарелятивістських частинок у речовині;
- самостійно використовувати літературу з питань теорії взаємодії частинок великої енергії з речовиною та зовнішніми полями.

Контроль знань аспіранта здійснюється за модульно-рейтинговою системою. Змістовий модуль 1 включає теми 1 - 5, змістовий модуль 2 – теми 6-10.

2. ЗМІСТ ТА СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1. Класична теорія взаємодії частинок великої енергії з речовиною.

ТЕМА1. Рух швидких заряджених частинок у зовнішніх полях. Рух у магнітному та електричному полях. Рух заряджених частинок в ондуляторі. Явище каналювання частинок в орієнтованому кристалі. Проблема стійкості руху частинок у періодичному полі кристалічної ґратки. Явище динамічного хаосу при русі частинок у періодичному полі ланцюжків атомів кристалу. Механізми повороту пучків заряджених частинок зігнутими кристалами.

ТЕМА 2. Класична теорія пружного розсіювання у речовині. Розсіювання у центральному полі. Функція відхилення й переріз розсіювання. Проблема граничних кутів у класичній теорії розсіювання. Кореляційні ефекти при розсіюванні частинок у кристалі. Явища закручування частинок при розсіюванні у центральному полі. Райдужне розсіювання швидких частинок на ланцюжку атомів кристалу. Процес багатократного розсіювання швидких частинок в аморфному середовищі. Багатократне розсіювання частинок на ланцюжках атомів кристалу.

ТЕМА 3. Класична теорія випромінювання ультрарелятивістських електронів у зовнішньому полі. Поле навколо релятивістського електрона до й після його розсіювання на атомі. «Напівголий» електрон. Основні характеристики процесу випромінювання швидких електронів у зовнішньому полі: інтенсивність, спектрально-кутові й спектральна щільність випромінювання. Випромінювання Вавілова-Черенкова. Синхротронне випромінювання. Дипольне наближення й наближення траєкторії вида кута у класичній теорії випромінювання. Ондуляторне випромінювання. Ефективність випромінювання при зіткненні з атомом. Довжина когерентності процесу випромінювання. Область застосовності класичної теорії випромінювання.

ТЕМА 4. Випромінювання ультрарелятивістських електронів в аморфному середовищі. Гальмівне випромінювання. Формула Бете-Гайтлера для спектральної щільності випромінювання. Влив поляризації середовища на гальмівне випромінювання. Перехідне випромінювання. Область застосування формули Бете-Гайтлера. Ефект пригнічення гальмівного випромінювання у тонкому шарі речовини. Особливості випромінюванням «напівголоного» електрона. Ефект Ландау-Померанчука-Мігдала пригнічення гальмівного випромінювання. Метод функціонального інтегрування в теорії гальмівного випромінювання.

ТЕМА 5. Випромінювання при проходженні релятивістських електронів через кристал. Когерентне випромінювання на ланцюжку атомів кристалу. Когерентне й некогерентне випромінювання електронів й позитронів у кристалі. Область застосовності класичної теорії когерентного

випромінювання. Когерентне випромінювання в умовах явища динамічного хаосу при русі частинок у періодичному полі ланцюжків атомів кристалу. Явища пригнічення когерентного випромінювання у тонкому кристалі. Випромінювання при каналюванні частинок у кристалі. Випромінювання при зіткненні ультрарелятивістського електрона з ультра коротким згустком релятивістських частинок.

Модуль 2. Квантова теорія опису взаємодії частинок великої енергії з речовиною та зовнішніми полями.

ТЕМА 6. Математичні методи квантового опису процесів взаємодії швидких частинок із зовнішнім полем. Рівняння Дірака у зовнішньому полі. Плоскі хвилі. Розпливання хвильового пакета при високих енергіях. Борнівське й ейкональне наближення для хвильової функції ультрарелятивістського електрона. Метод геометричної оптики в фізиці високих енергій.

ТЕМА 7. Квантова теорія процесу пружного розсіяння частинок великої енергії у речовині. Амплітуди й переріз пружного розсіяння, переріз пружного розсіяння в борнівському й ейкональному наближенні квантової електродинаміки. Метод стаціонарної фази. Когерентне та некогерентне розсіяння швидких частинок на різних сукупностях атомів у речовині.

ТЕМА 8. Квантова теорія процесу випромінювання ультрарелятивістськими електронами у локалізованому зовнішньому полі. Імовірність й переріз випромінювання. Закони збереження енергії та імпульсу при випромінюванні. Переріз випромінювання у борнівському й ейкональному наближенні. Довжина когерентності процесу випромінювання.

ТЕМА 9. Гальмівне та когерентне випромінювання при високих енергіях частинок у речовині. Переріз Бете-Гейтлера гальмівного випромінювання в аморфному середовищі. Когерентні та інтерференційні ефекти при випромінюванні електронів в орієнтованому кристалі. Ефект пригнічення гальмівного випромінювання при високих енергіях в аморфному середовищі. Ефекти пригнічення випромінювання при високих енергіях в тонкому шарі речовини.

ТЕМА 10. Іонізаційні втрати енергії швидкими зарядженими частинками у речовині. Класична теорія іонізаційних втрат енергії. Ефект щільності Фермі. Далекі та близькі зіткнення. Іонізаційні втрати енергії кластерів частинок у тонких мішенях. Метод кінетичного рівняння Ландау в теорії іонізаційних втрат енергії.

Структура навчальної дисципліни

Назва лекції			
	Лекції	Практичні/ семінарські заняття	Самостійна робота
Змістовний модуль 1. Класична теорія взаємодії частинок великої енергії з речовиною.			
Тема 1. Рух швидких заряджених частинок.	1	2	9
Тема 2. Класична теорія пружного розсіяння у речовині.	2	2	9
Тема 3. Класична теорія випромінювання ультрарелятивістських електронів у зовнішньому полі.	2		9
Тема 4. Випромінювання ультрарелятивістських електронів в аморфному середовищі.	2		9
Тема 5. Випромінювання при проходженні релятивістських електронів через кристал.	2		9
Разом за змістовний модуль 1	9	4	45
Змістовний модуль 2. Квантова теорія опису взаємодії частинок великої енергії з речовиною та зовнішніми полями.			
Тема 6. Математичні методи квантового опису взаємодії частинок великої енергії з речовиною та зовнішніми полями.	2	2	9
Тема 7. Квантова теорія процесу пружного розсіяння частинок великої енергії у речовині.	1	2	9
Тема 8. Квантова теорія процесу випромінювання ультрарелятивістськими електронами у локалізованому зовнішньому полі.	2		9
Тема 9. Гальмівне та когерентне випромінювання при високих енергіях частинок у речовині.	2		9
Тема 10. Іонізаційні втрати енергії швидкими зарядженими частинками у речовині.	2	2	9
Разом за змістовний модуль 2	9	6	45
Всього:	18	10	90

Загальний обсяг: 120 год., зокрема: лекцій – 18 год.;
практичних/семінарів – 10 год., самостійної роботи – 90 год.

4. Тематичний план практичних та семінарських занять

№ з/п	Тема	Години
1	Метод уявного часу при рішенні класичних рівнянь руху частинок у зовнішньому полі.	2
2	Механізми відхилення пучків частинок великої енергії зігнутими кристалами.	2
3	Метод геометричної оптики у квантовій теорії розсіювання частинок високих енергій	2
4	Ефект Ааронова-Бома при розсіянні швидких частинок на довгому соленоїді	2
5	Іонізаційні втрати енергії швидкими кластерами частинок у тонких шарах речовини.	2
	Всього:	10

5. Самостійна робота

№ з/п	Тема	Години
1	Самостійне опрацювання навчально-методичних посібників та вивчення матеріалу за темами змістовного модуля 1.	45
2	Самостійне опрацювання навчально-методичних посібників та вивчення матеріалу за темами змістовного модуля 2.	45
	Всього:	90

Запитання до заліку

1. Рух швидких заряджених частинок у зовнішніх полях. Рівняння руху. Ондулятор.
2. Рух швидких заряджених частинок у кристалічних полях.
3. Стійкість руху заряджених частинок у зовнішньому полі. Явище динамічного хаосу. Метод перерізів Пуанкаре.
4. Стійкість руху при розсіянні на декількох центрах критерій розбігу траєкторій. Критерій Гауссової кривизни.
5. Явища каналювання при високих енергіях у кристалі.
6. Поворот пучка зігнутим кристалом при каналюванні.
7. Класична теорія пружного розсіювання у центральному полі. Функція відхилення й переріз розсіювання.
8. Класична теорія явища райдужного розсіювання.

9. Хвильова функція зарядженої ультрарелятивістської частинки у зовнішньому полі. Рівняння Дірака.
10. Розпливання релятивістського хвильового пакета.
11. Борнівське й ейкональне наближення для хвильової функції. Умови застосування цих наближень.
12. Явища закручування та глорії в класичній теорії розсіяння. Умови виникнення цих явищ.

Запитання на екзамен

1. Багатократне розсіяння в аморфному середовищі. Метод кінетичного рівняння.
2. Дифузійне наближення у теорії багатократного розсіяння. Рівняння Фоккера-Планка. Розподіл Гаусса.
3. Когерентне розсіяння на ланцюжку атомів. Довжина когерентності процесу розсіяння.
4. Багатократне розсіяння на ланцюжках атомів кристала. Розсіяння в умовах динамічного хаосу.
5. Квантова теорія пружного розсіяння при високих енергіях у центральному полі атома. Ейканальне наближення. Явище райдужного розсіяння.
6. Іонізаційні втрати енергії при високих енергіях. Далекі та близькі зіткнення. Ефект щільності Фермі.
7. Поле рухаючогося електрона.
8. Спектрально-кутова та спектральна щільність випромінювання при великих енергіях.
9. Вплив поляризації середовища на випромінювання. Випромінювання Вавілова-Черенкова.
10. Довжина когерентності процесу випромінювання при високих енергіях у класичній теорії.
11. Дипольне наближення у класичній теорії випромінювання. Ондуляторне випромінювання.
12. Випромінювання при зіткненні з атомом. Ефективність випромінювання.
13. Квантова теорія випромінювання електронів великої енергії. Борнівське наближення. Переріз Бете-Гайтлера випромінювання у полі атома.
14. Переріз випромінювання в ейканальному наближенні.
15. Довжина когерентності процесу випромінювання у квантовій теорії.
16. Когерентне випромінювання на ланцюжку атомів у борнівському наближенні.
17. Гальмівне випромінювання при великих енергіях в аморфному середовищі. Борнівське наближення.
18. Випромінювання при зіткненні ультра релятивістського електрона з коротким згустком релятивістських частинок.

6. Методи контролю

Поточний контроль проводиться у вигляді експрес-контролю та на основі оцінювання практичних робіт здобувачів під час проведення занять, а також самостійних робіт. Підсумковий контроль проводиться у вигляді заліку й екзамену.

7. Схема нарахування балів

Матеріал курсу «Фізика взаємодії частинок великих енергій з речовиною» згідно навчальної програми містить 10 тем. Темі розподілені по модулях відповідно: I модуль – 5 тем (від 1 до 5), II модуль – 6 тем (від 6 до 10). Оцінка роботи здобувачів проводиться за модульно-рейтинговою системою і включає такі види роботи над курсом: практичні роботи, засвоєння теоретичного матеріалу та самостійні роботи.

Теми за курсом			Разом
Модуль 1	Модуль 2	Залік і екзамен	100
T1-T5	T6-T10		
20	40		

T1, T2 ... – теми розділів.

Оцінка за модуль складається з оцінки за практикум, поточний контроль засвоєння теоретичного матеріалу та виконання самостійних робіт. За ці види робіт здобувач може набрати 60 балів.

Для допуску до підсумкового семестрового контролю здобувач в сумі за два модулі має набрати не менше 30-ти балів з 60-ти можливих, тобто не менше 50% від максимально можливого.

На заліку здобувач може одержати від 20 до 40 балів. Між 0 та 20 балами оцінка не виставляється, залік вважається не зданим. Бали, одержані на заліку від 20 до 40 додаються до балів, одержаних у семестрі (30-60 балів). За цією сумою згідно таблиці шкали оцінювання виставляється підсумкова оцінка до залікової книжки.

8. 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

**Критерії оцінювання
питань залікового білету (контрольної роботи)**

Заліковий білет (контрольна робота) містить кілька завдань (теоретичні питання або задачі). Кожне завдання має свій ваговий бал (вказується у дужках біля питання) та оцінюється окремо. Сумарно за всі відповіді на екзаменаційні питання можна отримати максимально 40 балів. Сумарний бал за контрольну роботу вказується в тексті відповідної роботи.

№	Характеристика відповіді на кожне з питань залікового білету (контрольної роботи)	% від max балу за відповідь на питання
1	Повна та вірна відповідь на питання або у повному обсязі правильно вирішена практична задача білету	100 %
2	Повна відповідь з незначними помилками (або незначні помилки у розрахунках практичних завдань за наявності вірної розрахункової формули);	80-95 %
3	Неповна, але вірна відповідь (або значні помилки у розрахунках практичних завдань за наявності вірної розрахункової формули для розв'язання практичних завдань);	50-80 %
4	Відповідь повна, але містить грубі помилки (або вирішення практичних завдань білету містить грубі помилки, розрахункові формули для розв'язання практичних завдань містять помилки)	30-50 %
5	Неповна відповідь з суттєвими помилками	5-30 %
6	Невірна відповідь	0-5 %
7	Відсутня відповідь на теоретичне питання (або відсутнє вирішення практичних завдань білету)	0 %

9. Рекомендована література

Основна література

1. Akhiezer A.I., Shul'ga N.F. High-energy electrodynamics in matter. Amsterdam: Gordon and Breach Science Publishers, 1996.
2. Akhiezer A.I., Berestetsky V.B. Quantum Electrodynamics. U.S. Atomic Energy Commission, 1953.
3. Ter-Mikaelyan M.L. High-energy electromagnetic processes in condensed media. New York: Wiley, 1972.
4. Landau L.D., Lifshitz E.M. The Classical Theory of Fields. Vol. 2 (4th ed.). Butterworth-Heinemann, 1975.

Допоміжна література

1. Jackson J. D. Classical electrodynamics. New York: Wiley, 1962.
2. Goldstein H., Poole C.P., Safko J.L. Classical Mechanics (3rd ed.). Addison-Wesley, 2001.