

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)

Кувшинов П.І.

(вказати П.І.Б керівника)



2023 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Фізика елементарних частинок

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти	1 рівень (бакалаврський)
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»

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)
Олександр КОРЧИН доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, член.-кор. НАНУ, 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

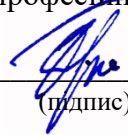


_____ (підпис)

Микола ШУЛЬГА
(прізвище та ініціали)

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

Гарант освітньої (професійної) програми



_____ (підпис)

Ігор ГІРКА
(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

Програму навчальної дисципліни «Фізика елементарних частинок» складено відповідно до освітньої освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки фахівців першого рівня вищої освіти (бакалавр). Галузь знань: 10 – природничі науки; спеціальність: 105 – прикладна фізика та наноматеріали; освітня програма: прикладна фізика. 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. Метою викладання навчальної дисципліни є фахова підготовка здобувачів вищої освіти в сфері фізики елементарних частинок та високих енергій. Предметом вивчення дисципліни є закономірності взаємодії елементарних частинок, їх властивості та основні фізичні процеси за участю частинок.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

полягають в тому, щоб допомогти студентам засвоїти поширені та поглиблені знання елементарних частинок та їх властивостей, розуміти механізми їх взаємодії та їх симетрій; засвоїти теоретичні методи та здобути практичні навички обчислення ймовірностей деяких важливих фізичних процесів; засвоїти методи аналізу фізичних процесів за участю елементарних частинок на основі діаграм Фейнмана; сформувати знання про сучасну теорію елементарних частинок та їх взаємодії – Стандартну Модель; зацікавити студентів самостійно працювати з літературою в області фізики елементарних частинок і високих енергій.

Загальні компетентності, які мають бути засвоєні внаслідок вивчення фізики елементарних частинок:

- 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 фізики елементарних частинок:

- 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 проектах. (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	
Цикл 1 - “Теоретична і експериментальна ядерна фізика”	
Навчальна дисципліна “Фізика елементарних частинок”	
За вибором	
Денна форма навчання	
Рік підготовки	
4-й	
Семестр	
7-й	8-й
Лекції	
64 год.	56 год.
Практичні, семінарські заняття	
Лабораторні заняття	
Самостійна робота	
56 год.	64 год.
у тому числі індивідуальні завдання	
2	3

1.6. Заплановані результати навчання полягають у тому, що внаслідок опанування курсу «Фізика елементарних частинок» студенти мають знати: основні ідеї, концепції та методи фізики елементарних частинок; основні характеристики частинок та сучасні уявлення про їх взаємодії; основні симетрії в фізиці елементарних частинок і їх наслідки; сучасну Стандартну Модель в фізиці частинок. Вміти: аналізувати різноманітні фізичні процеси за участю частинок на основі властивостей симетрій і законів збереження; розраховувати ймовірності та перерізи деяких важливих фізичних процесів на основі діаграм Фейнмана.

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 нефхівцям, 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. Тематичний план навчальної дисципліни

Частина I (7-й семестр). Властивості елементарних частинок та їх взаємодій

Розділ 1.1. Елементарні частинки та їх взаємодії

Тема 1. Початкові відомості про частинки

Розсіяння і розпади частинок, та зв'язані стани частинок. Утворення частинок та їх детектування. Одиниці виміру енергії і «натуральна» система одиниць. Відкриття протону та нейтрону. Відкриття фотону і фотоефект. Комптонівське розсіювання. Пі-мезон Юкави – переносник сильної взаємодії. Лептони, мезони і баріони. Античастинки, кросинг-симетрія. Відкриття нейтрино в бета-розпаді ядер. Збереження лептонних чисел. Лептони, їх маса, час життя та канали розпадів.

Тема 2. Кваркова модель. Покоління кварків і лептонів

Кварки, їх електричні заряди, дивність, ізотопічний спіні. Властивості антикварків. Кварковий склад мезонів та баріонів. Відсутність вільних кварків та конфайнмент. Порушення принципу Паулі та гіпотеза про колір кварків. Баріонне число та його збереження. Експериментальне відкриття J/ψ частинки та чарівний кварк. Відкриття боттом кварка та народження баріонів і мезонів, що містять боттом кварк. Топ кварк. Покоління лептонів і кварків в Стандартній Моделі.

Тема 3. Взаємодії у фізиці елементарних частинок

Типи взаємодій та їх основні характеристики. Короткий опис квантової електродинаміки (КЕД). Теорія сильної взаємодії – квантова хромодинаміка (КХД). Діаграми Фейнмана для

кварків та глюонів. Якісне пояснення ефекту екранування заряду в КЕД та анти-екранування заряду в КХД. Залежність сталої сильної взаємодії від енергії, явище асимптотичної свободи.

Тема 4. Теорія слабкої взаємодії

Слабка взаємодія і частинки, що приймають участь у ній. «Заряджені» вершини, слабкий розпад мюону. Слабка взаємодія кварків та полулептонні слабкі процеси. Бета-розпад нейтрону. Нейтральні слабкі процеси та Z-бозон. Теорія Кабіббо та «повернені» покоління кварків. Електромагнітні та слабкі взаємодії W- та Z-бозонів.

Розділ 1.2. Симетрії у фізиці елементарних частинок

Тема 5. Кінематика елементарних частинок

Перетворення Лоренца. Енергія і імпульс частинки, властивості безмасових частинок. Зіткнення частинок і закони збереження енергії-імпульсу. Пружні та непружні зіткнення. «Поріг» реакції. Переріз реакції та світність прискорювача. Лоренц-інваріантний фазовий об'єм. Обчислення ширини розпаду частинки на дві частинки. Характерні часи життя нестабільних частинок для сильних, електромагнітних та слабких розпадів. Закони збереження в розпадах частинок. Ширина розпаду і час життя частинок. Закон радіоактивного розпаду. Моди розпадів та парціальні ширини розпадів частинок.

Тема 6. Симетрії у фізиці елементарних частинок

Загальні відомості про симетрії та закони збереження. Орбітальний кутовий момент і спіні. Ферміони і бозони. Спін мезонів, побудованих з кварків: скалярні і векторні мезони, спіні барионів. Ізотопічний спіні. Ізоспін нуклонів, мезонів, баріонних резонансів. Формула Гелл-Манна-Нішиджими. Збереження (або незбереження) ізоспіна і його проекції в сильній, електромагнітній та слабкій взаємодіях. SU(3) симетрія, супермультиплетні частинки.

Тема 7. Порушення симетрій у слабкій взаємодії

Порушення просторової парності (P) в слабкій взаємодії: розпад ядра ^{60}Co . Спіральність частинки, спіральність нейтрино та антинейтрино. Визначення спіральності нейтрино і антинейтрино. Просторова парність частинки і античастинки для ферміонів та бозонів. Парність складової системи. Збереження (або незбереження) парності в сильній, електромагнітній та слабкій взаємодіях. Правила відбору за парністю в сильних та електромагнітних процесах.

Тема 8. Зарядова парність, інверсія часу і CP симетрія

Зарядове спряження (C). C-парність частинки: мезони, фотон. G-парність та її збереження у процесах сильної взаємодії. Збереження (або незбереження) зарядової парності в сильній, електромагнітній та слабкій взаємодіях. Симетрія щодо інверсії часу і принцип детального балансу. CP-симетрія. Осциляція нейтральних каонів, довгоживучі і короткоживучі K^0 -мезони. Залежність від часу процесу осциляції каонів. Експериментальне виявлення порушення CP-симетрії в слабкій взаємодії. CPT-теорема Людєрса-Паулі у квантовій теорії поля та пошук електричних дипольних моментів елементарних частинок. CP-симетрія та її зв'язок з баріонною асиметрією Всесвіту.

Частина 2 (8-й семестр). Взаємодії лептонів і кварків

Розділ 2.1. Зв'язані стани кварків, феноменологія адронів

Тема 9. Зв'язані стани у фізиці елементарних частинок

Атом водню: борівські рівні, тонка структура, лембовський зсув, надтонке розщеплення рівнів. Позитроній. Анігіляція позитронію в два та три фотони і відповідний час життя. Кварконій. Потенціал одно-глюонного обміну, потенціал конфайнменту. Чармоній, його утворення у електрон-позитронній анігіляції, класифікація станів, зв'язані і квазізв'язані стани. Боттомоній. Мезони, що складаються з легких кварків, їх хвильова функція. Спін-спінова взаємодія кварків. Маси мезонів у кварковій моделі і порівняння з експериментом.

Тема 10. Квантова електродинаміка кварків і адронів

Правила Фейнмана для квантової електродинаміки. Розсіяння електрона на мюоні. Формули Мотта і Резерфорда. Анігіляція електрона і позитрона в парі мюонів при високих енергіях. Розсіяння тотожних частинок. Народження адронів у електрон-позитронній анігіляції. Утворення «струменів» адронів, 2-х і 3-х струменеві процеси. Доказ наявності кольорів кварків. Пружне розсіяння електронів на нуклоні. Формфактори протона і нейтрона та їх залежність від переданого імпульсу.

Тема 11. Непружне розсіяння і партонна модель

Непружне розсіяння електронів на нуклоні. Структурні функції. Глибоко непружне розсіяння і скейлінг Бьоркена. Партонна модель і пояснення скейлінгу. Функції розподілу кварків в нуклоні за бьоркенівською змінною. Частка імпульсу, яку переносять кварки і глюони в протоні. Валентні та морські кварки. Порушення бьоркенівського скейлінга. Фрагментація (адронізація) кварків в адрони. Процеси Дрелла-Яна.

Тема 12. Феноменологія адронів

Утворення баріонних резонансів у фотонародженні пі-мезонів на нуклоні. Класифікація резонансів по спіну, парності, кварковому складу. Канали розпадів баріонних резонансів. Δ -резонанс, його характеристики. Експериментальні програми в світі з дослідження баріонних резонансів. Розкладання амплітуди розсіяння по парціальним хвилям. Пружні та непружні процеси, їх перерізи. Оптична теорема. Резонанси і формули Брейта-Вігнера. Діаграми Арганда. Методи виявлення баріонних та мезонних резонансів.

Розділ 2.2. Теорія слабкої взаємодії. Стандартна Модель

Тема 13. Феноменологічні моделі сильної взаємодії адронів

Поведінка перерізів адронних реакцій при високих енергіях. Пружне та непружне розсіяння, теорема Померанчука. Модель поглинаючого «чорного» диску. Надвисокі енергії та кваркова модель. Відношення повних перерізів $p p$ та $p \bar{p}$ розсіяння при високих енергіях. Однопійонний обмін для взаємодії двох нуклонів. Сучасні моделі потенціалів нуклон-нуклонної взаємодії, які порушують просторову парність.

Тема 14. Слабка взаємодія лептонів і кварків. Заряджені і нейтральні струми

V-A структура зарядженої слабкої взаємодії. Розпад мюону, час життя і стала Фермі. β -розпад нейтрона, обчислення часу його життя. Збереження векторного струму та часткове збереження аксіально-векторного струму. Слабкі розпади заряджених пі-мезонів. Заряджені взаємодії кварків. Розпад $K^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ та існування чарівного кварка. Матриця Кабіббо-Кобаяши-Маскави, параметри матриці і порушення CP симетрії. Нейтральні слабкі струми. Електрон-позитронна анігіляція в парі ферміонів при високих енергіях, внесок Z-бозона. Інтерференція слабкого та електромагнітного механізмів в електрон-позитронній анігіляції $e^+ + e^- \rightarrow \mu^+ + \mu^-$

Тема 15. Стандартна Модель у фізиці елементарних частинок. Фізика за

межами Стандартної Моделі

Принципи об'єднаної теорії слабкої і електромагнітної взаємодій. Локальна калібрувальна інваріантність. Спонтанне порушення симетрії. Механізм Хіггса. Ширина розпаду Z-бозона. Фізика топ кварка. Механізми утворення бозона Хіггса на Великому адронному коллайдері в ЦЕРН, розпади бозона Хіггса. Деякі теоретичні моделі за межами Стандартної Моделі: велике об'єднання взаємодій і розпад протона, суперсиметрія, додаткові розмірності простору.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин							
	денна форма			заочна форма				
	усього	у тому числі			усього	у тому числі		
		л	інд.	с. р.		л	лаб.	с. р.
Частина 1 (7-й семестр). Властивості елементарних частинок та їх взаємодій								

Розділ 1.1. Елементарні частинки та їх взаємодії							
Разом за розділом 1.1	60	32	-	28			
Розділ 1.2. Симетрії у фізиці елементарних частинок							
Разом за розділом 1.2	60	32	-	28			
Разом за частиною 1	120	64	-	56			
Частина 2 (8-й семестр). Взаємодії лептонів і кварків							
Розділ 2.1. Зв'язані стани кварків, феноменологія адронів							
Разом за розділом 2.1	60	28	-	32			
Розділ 2.2. Теорія слабкої взаємодії. Стандартна Модель							
Разом за розділом 2.2	60	28	-	32			
Разом за частиною 2	120	56	-	64			
Усього годин	240	120	-	120			

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	Форма контролю
Частина 1 (семестр 7-й). Властивості елементарних частинок та їх взаємодій			
Розділ 1.1 Елементарні частинки та їх взаємодії			
1	Початкові відомості про частинки. Кваркова модель. Покоління кварків і лептонів	12	Перевірка домашніх завдань, опитування.
2	Взаємодії у фізиці елементарних частинок. Теорія слабкої взаємодії	16	
	Разом за розділом 1.1	28	
Розділ 1.2. Симетрії у фізиці елементарних частинок			
3	Кінематика елементарних частинок. Симетрії у фізиці елементарних частинок.	14	Перевірка домашніх завдань, опитування. Контрольна робота № 1
4	Порушення симетрій у слабкій взаємодії. Зарядова парність, інверсія часу та CP симетрія	14	
	Разом за розділом 1.2	28	
Частина 2 (семестр 8-й). Взаємодії лептонів і кварків			
Розділ 2.1. Зв'язані стани кварків, феноменологія адронів			
5	Зв'язані стани у фізиці елементарних частинок. Квантова електродинаміка кварків і адронів	16	Перевірка домашніх завдань, опитування.
6	Непружне розсіяння і партонна модель. Феноменологія адронів	16	
	Разом за розділом 2.1	32	
Розділ 2.2. Теорія слабкої взаємодії. Стандартна Модель			
7	Феноменологічні моделі сильної взаємодії адронів. Слабка взаємодія лептонів і кварків. Заряджені і нейтральні струми	18	Перевірка домашніх завдань, опитування. Контрольна робота № 2
8	Стандартна Модель у фізиці елементарних частинок. Фізика за межами Стандартної Моделі	14	
	Разом за розділом 2.2	32	
	Разом за частинами 1 та 2	120	

6. Індивідуальні завдання

У 7-му семестрі 56 годин самостійної роботи. У 8-му семестрі 64 години самостійної роботи. Контрольні роботи складаються з двох частин. Перша передбачає письмову відповідь на одне теоретичне питання за тематикою лекцій, а друга частина містить задачу.

Розрахунково-графічні роботи проводяться з обчислення матричних елементів деяких важливих фізичних процесів, ширин розпаду частинок і перерізів реакцій.

Курсова робота (письмова) передбачає самостійний вибір студентом теми з запропонованих тем, або теми з інших джерел.

7. Методи навчання

На лекціях з фізики елементарних частинок використовують словесний, наочний та дискусійний методи. Студентам задаються домашні завдання на розв'язування задач за темою лекцій.

8. Методи контролю

Навчальним планом передбачені наступні методи контролю:

- а) поточне опитування і перевірка рішення задач, що були задані для самостійної роботи, контрольні роботи;
- б) складові підсумкового контролю включають бали поточного контролю, контрольні роботи, курсову роботу і комбінований письмовий екзамен.

9. Схема нарахування балів

7-й семестр	бали	8-й семестр	бали
Контрольна робота № 1	15	Контрольна робота № 2	15
Розрахунково-графічна робота	10	Розрахунково-графічні роботи	2x10 =20
Курсова робота	20	Активна участь в аудиторних заняттях	10
Поточне опитування, виконання домашніх завдань	15	Поточне опитування, виконання домашніх завдань	15
Екзамен	40	Екзамен	40
Сума	100	Сума	100

Критерії оцінювання навчальних досягнень

1. Критерії оцінювання **контрольної роботи**. Максимальна кількість балів за контрольну роботу становить 15 балів. Контрольна робота містить теоретичне питання та задачу.

Критерії оцінювання теоретичних питань:

Повна розгорнута відповідь на теоретичне питання - 8 балів.

Повна, але не розгорнута відповідь - 7 бали.

Повна, але не розгорнута відповідь, яка містить незначну помилку чи суперечність, 6 бали.

Неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей - 4 бала.

Відповідь, що містить критичні помилки чи неточності, або відсутність відповіді оцінюється в 0 балів.

Критерії оцінювання розв'язання задачі:

Студент отримав загальний розв'язок і правильно вирахував числове значення відповіді - 7 балів.

Студент отримав загальний розв'язок, але неправильно вирахував числове значення відповіді або помилився в одиницях вимірювання - 5 балів.

Студент правильно виписав необхідні для розв'язання закони та рівняння, але не зміг отримати загальний розв'язок - 3 бали.

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

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

2. Критерії оцінювання **курсвої роботи**. Максимальна кількість балів за курсову роботу становить 20 балів.

Повне вичерпне викладення обраної теми – 20 балів.

Неповне викладення теми роботи – 15 балів.

Викладення теми, яке містить помилки чи неточності – 10 балів.

Викладення теми з критичними помилками, або відсутність роботи - 0 балів.

3. Оцінювання **розрахунково-графічної роботи**. Загальний ваговий бал – 10 в першому семестрі, загальний ваговий бал – 20 в другому семестрі.

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

Критерії оцінювання теоретичних питань:

– Повна розгорнута відповідь на два питання - 20 балів.

– Повна, але не розгорнута відповідь - 18 балів.

– Повна, але не розгорнута відповідь, яка містить незначну помилку чи суперечність, - 15 балів, за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал.

– Неповна відповідь, яка не містить критичних помилок чи суперечностей - 12 балів, за кожну наступну незначну помилку чи суперечність знімається 1 бал.

– Відповідь, що містить критичні помилки, або відсутність відповіді на два питання 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 - 15 балів.

– Студент правильно виписав необхідні для розв'язання закони та рівняння, але не зміг отримати загальний розв'язок - 12 балів.

– Студент не повністю виписав необхідні для розв'язання закони та рівняння - 8 балів.

– Студент неправильно виписав 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.

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

10. Рекомендована література

Основна література

1. D.H. Perkins. Introduction to High Energy Physics. 4th ed. – Cambridge University Press, 2000, 426 p.
2. Francis Halzen, Alan D. Martin. Quarks and leptons: An Introductory Course in Modern Particle Physics. – John Wiley & Sons, Inc., 1984, 396 p.
3. Ta-Pei Cheng, Ling-Fong Li. Gauge theory of elementary particle physics – Clarendon Press Oxford, 1982, 536 p.
4. L.B. Okun. Leptons and Quarks. – North-Holland Pub. Co. and Elsevier Science Publishing Inc. (Amsterdam, New York), 1982, 361 p.
5. Quang Ho-Kim, Xuan-Yem Pham. Elementary particles and their interactions. – Springer-Verlag, Berlin Heidelberg GmbH, 1998, 662 p.

Допоміжна література

6. Michael E. Peskin, Daniel V. Schroeder. An Introduction to Quantum Field Theory. -- Addison-Wesley Publishing Company, 1995, 842 p.
7. V. B. Berestetskii, E. M. Lifshitz, L. P. Pitaevskii. Quantum electrodynamics, 2nd ed., Oxford, Elsevier, 2012.
8. I.J.R. Aitchison, A.J.G. Hey. Gauge Theories in Particle Physics. 3^d ed. A Practical Introduction. Volume 1. From Relativistic Quantum Mechanics to QED – IoP, Bristol & Philadelphia, 2003, 406 p.
9. I.J.R. Aitchison, A.J.G. Hey. Gauge Theories in Particle Physics. A Practical Introduction. 3^d ed. Volume 2. Non-Abelian Gauge Theories: QCD and the Electroweak Theory – IoP, Bristol & Philadelphia, 2004, 450 p.

Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті

1. Ресурс містить детальну інформацію про властивості всіх відомих на теперішній час елементарних частинок, основні фізичні закони в стислому вигляді, одиниці виміру, значення фундаментальних констант: <http://pdg.lbl.gov/>
2. Архів електронних препринтів в області фізики: <https://arxiv.org/>
3. База статей, що містить інформацію про опубліковані статті з фізики елементарних частинок і високих енергій та ядерної фізики: <http://inspirehep.net/>