

СИЛАБУС

навчальної дисципліни

«ТЕОРЕТИЧНІ МЕТОДИ ФІЗИКИ ЕЛЕМЕНТАРНИХ ЧАСТИНОК»

Галузь знань	10 - <i>Природничі науки</i>
Спеціальність	104 – <i>Фізика та астрономія</i>
Освітня програма	<i>Фізика ядра, фізика елементарних частинок і високих енергій; ядерно-фізичні установки; радіаційна фізика конденсованого стану; фізика плазми і ядерного синтезу</i>
Освітній рівень	доктор філософії
Статус дисципліни	<i>Фаховий / Вибірковий</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Курс / семестр	<i>II (III) курс, 1 (2) семестр</i>
Кількість кредитів ЄКТС	<i>4 кредити</i>
Розподіл за видами занять та годинами навчання	<i>Лекції – 32 год.</i>
	<i>Практичні (семінарські) – 16 год.</i>
	<i>Лабораторні – 0. год.</i>
	<i>Самостійна робота – 70 год.</i>
Форма підсумкового контролю	<i>Іспит</i>
Відділ	<i>Відділ фізики важких іонів, ІЯД НАН України, корп. 101, тел. +380-44-525-4464,</i>
Викладач (-і)	<i>Улещенко Володимир Васильович, старший науковий співробітник, к. ф.-м. н., ст. досл.</i>
Контактна інформація викладача (-ів)	<i>vuleshch@kinr.kiev.ua</i>
Дні занять	<i>За розкладом</i>
Консультації	<i>Дистанційні, за домовленістю з ініціативи здобувача, групові</i>

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Мета навчальної дисципліни - формування у аспірантів компетентностей у галузі теоретичної фізики, ознайомлення аспірантів з основними положеннями Стандартної Моделі, методами теоретичного опису явищ мікросвіту, та засвоєння методів розрахунку вимірюваних фізичних величин, що характеризують елементарні частинки і процеси за їх участі.

Предмет навчальної дисципліни – елементарні частинки; фізичні величини, що характеризують елементарні частинки та процеси за їх участі, відповідні їм математичні оператори; математичні рівняння та їх розв’язки, що застосовуються для опису елементарних частинок; методи розрахунку значень фізичних величин, що вимірюються експериментально.

Компетентності

Інтегральна компетентність (ІК): Здатність продукувати нові ідеї, розв’язувати комплексні проблеми науково-дослідницької та/або розробницької, та/або інноваційної діяльності у сфері фізики та/або астрономії, застосовувати методологію науково-дослідницької та педагогічної діяльності, а також проводити власне наукове дослідження, результати якого мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення.

Загальні компетентності (ЗК):

- ЗК01. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).
- ЗК02. Здатність працювати в міжнародному контексті.
- ЗК03. Здатність розв'язувати комплексні наукові проблеми на основі системного наукового світогляду та загального культурного кругозору із дотриманням професійної етики та академічної доброчесності.

Спеціальні (фахові) компетентності (СК):

- СК01. 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.
- СК02. Здатність відстежувати тенденції розвитку фізики та/або астрономії, їх прикладних застосувань, критично переосмислювати наявні знання та методи фундаментальних та прикладних наукових досліджень.
- СК03. Здатність представляти та обговорювати результати своєї науково-дослідницької роботи державною мовою, а також англійською мовою чи одною з офіційних мов Європейсько Союзу, в усній та в письмовій формі, опрацьовувати наукову літературу з фізики та/або астрономії і ефективно використовувати нову інформацію з різних джерел.
- СК06. Здатність застосовувати сучасні методи, методики, технології, інструменти та обладнання для проведення прикладних та фундаментальних наукових досліджень у галузі фізики та/або астрономії

Програмні результати навчання

- РН01. 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.
- РН02. Аналізувати та оцінювати стан і перспективи розвитку фізики та/або астрономії, а також дотичних міждисциплінарних напрямів.
- РН03. Вільно презентувати та обговорювати державною мовою, а також англійською мовою чи одною з офіційних мов Європейського Союзу, результати наукових досліджень, фундаментальні та прикладні проблеми фізики та/або астрономії, публікувати результати наукових досліджень у наукових виданнях, що індексуються у базах Scopus та WoS Core Collection.
- РН04. 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.
- РН06. Планувати і виконувати прикладні та/або фундаментальні дослідження фізики та/або астрономії та дотичних міждисциплінарних напрямів з використанням сучасних методів, методик, технологій, інструментів та обладнання, з дотриманням норм академічної етики, критично аналізувати результати наукових досліджень у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми; готувати проєктні пропозиції щодо фінансування наукових досліджень та/або розробницьких і інноваційних проєктів.
- РН09. Глибоко розуміти загальні принципи та методи природничих наук, а також методологію наукових досліджень, місце фізики в системі наукових знань як методологічної основи природничих, інженерних наук та технологій; застосувати їх у власних дослідженнях у сфері фізики та/або астрономії та у викладацькій діяльності.

Після засвоєння матеріалу дисципліни аспіранти повинен: знати основні поняття фізики елементарних частинок та Стандартної Моделі, типи фундаментальних взаємодій, типи елементарних частинок, квантові числа, що їх характеризують; основні властивості релятивістських квантово-механічних рівнянь та їх розв'язків; поняття і властивості фізичних величин, що характеризують квантові стани та процеси фізики високих енергій; поняття і властивості характеристик внутрішньої структури адронів на кварк-партоному рівні; квантово-польові основи калібровочних теорій фундаментальних взаємодій Стандартної Моделі; **вміти:** описувати процеси з участю елементарних частинок за допомогою діаграмної техніки Фейнмана; розраховувати основні характеристики квантовомеханічних станів фізичних систем мікросвіту, характеристики процесів взаємодії елементарних частинок; визначати можливі і неможливі процеси за участі елементарних частинок; використовувати в розрахунках закони збереження, теорію збурень, та діаграмну техніку Фейнмана; самостійно працювати з навчальною, науковою та довідковою літературою в галузі фізики елементарних частинок українською та англійською мовами.

Передумови для навчання

Перелік попередньо прослуханих дисциплін / Знання, вміння, навички, якими повинен володіти здобувач, щоб приступити до вивчення дисципліни

Для успішного засвоєння дисципліни аспірант повинен знати загальну фізику, зокрема ядерну фізику, основи квантової механіки, математичний аналіз, лінійну алгебру, основи теорії диференціальних рівнянь та теорії груп в обсязі стандартних університетських курсів. Компетентності, знання, уміння та досвід, одержані в процесі вивчення кредитного модуля «Теоретичні методи фізики елементарних частинок», є необхідними для якісного виконання наукових досліджень за темою дисертації.

Зміст навчальної дисципліни

Дисципліну структурно розділено на 2 розділи:

Розділ 1. Вільні елементарні частинки та їх характеристики.

Розділ 2. Взаємодія елементарних частинок. Діаграми Фейнмана.

Матеріально-технічне (програмне) забезпечення дисципліни

Для виконання практичних завдань за темою курсу потрібен доступ до бібліотеки з монографіями та сучасними науковими публікаціями в паперовому та/чи електронному вигляді.; можна вважати, що ця вимога легко задовольняється для аспірантів ІЯД НАН України.

Сторінка курсу на платформі Інституту (персональна навчальна система)

Наразі такої немає.

Рекомендовані джерела

Базова література:

1. F.Halzen, A.D.Martin "Quarks and leptons: an introductory course in modern particle physics", John Wiley & Sons, 1984.
2. Л. Валатэн "Субатомная физика: ядра и частицы", Пер. с фр. Н.Н. Колесникова, Москва : Мир, 1986.
3. К.Н.Мухин "Экспериментальная ядерная физика. Том II. Физика элементарных частиц", Москва :Атомиздат, 1974.
4. D. Griffiths, "Introduction to elementary particles", John Wiley & Sons, 1987.
5. Окунь Л.Б., "Лептоны и кварки", Москва :. Наука, 1990.
6. Р. Фейнман, "Квантовая электродинамика"; пер. с англ. А. А. Рухадзе. Москва : Мир, 1964.
7. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц "Квантовая механика ", Москва :.Наука, 1989.

8. Е.Бюклинг, К. Каянти “Кинематика елементарних частиц”, пер. с англ. под ред. Г.И. Копылова. Москва : Мир, 1975.
9. D. Ashok, T. Ferbel “Introduction to nuclear and particle physics”, New York : J. Wiley, 1994.

Допоміжна література:

10. Feynman, R.Ph “ QED : the strange theory of light and matter”, Princeton University Press, 1985.
11. Т. Эриксон, В. Вайзе “Пионы и ядра”. Москва :.Наука, 1991.
12. О.І. Ахієзер, М.П. Рекало “Фізика елементарних частинок”, Київ: Наукова думка, 1978.

Навчальний контент

Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Загальний методичний підхід до викладання навчальної дисципліни визначається як комунікативно-когнітивний та професійно орієнтований, згідно з яким у центрі освітнього процесу знаходиться аспірант – суб’єкт навчання і майбутній науковець.

Лекційні заняття

Розділ 1. Вільні елементарні частинки та їх характеристики.

Лекція 1. Вступ до предмету. Поняття про Стандартну модель елементарних частинок. Фундаментальні взаємодії, закони збереження та зв’язок з симетріями. Взаємопов’язаність, нерозривність розвитку теорії та експерименту.

Лекції 2-5. Базові поняття і методи. Поняття елементарної частинки. Характеристики частинок. Античастинки. Анігіляція. Істинно нейтральні частинки. Резонанси.

Рівняння Кляна-Гордона та Дірака. Проблеми розв’язків негативної енергії. Передбачення та відкриття позитрона.

Просторова парність квантового стану і хвильової функції. Парність хвильової функції системи двох і більше частинок. Зв’язок статистики зі спіном частинок. Поняття зарядової парності.

V^0 - частинки. К-мезони та гіперони Дивність. Ізоспін. Гіперзаряд.

Лекція 6. Осциляції каонів. Θ^0 - τ^0 – проблема. K_1 та K_2 мезони. K_0 та анти- K_0 . CP-парність.

Лекція 7. Кваркова спектроскопія адронів. Різні підходи до класифікації адронів.

Мультиплети. SU(3)-класифікація. Кварки. Розширення моделі з додаванням нових кварків. Чарм, Beauty.

Лекція 8. Колір – істинний заряд сильної взаємодії. Δ^{++} -проблема. Кольорова SU(3)-група.

Розділ 2. Взаємодія елементарних частинок. Діаграми Фейнмана.

Лекція 9-11. Техніка діаграм Фейнмана.

Розсіяння на нерелятивістському потенціалі у наближенні теорії збурень. Зміни для релятивістського квантово-польового підходу з народженням і знищенням частинок. Взаємодія як обмін частинками.

Амплітуда розсіяння двох точкових заряджених частинок у діаграмному підході у найнижчому порядку теорії збурень.

Вищі порядки теорії збурень. Розбіжності та поняття про перенормування. Загальні правила діаграмної техніки Фейнмана.

Лекція 12. Основи формальної квантової теорії поля. Принцип найменшої дії.

Калібровочна інваріантність КЕД. Загальна схема побудови релятивістської квантової теорії поля. Квантова хромодинаміка (КХД) як квантова теорія поля з калібровочною групою SU(3). Асимптотична свобода.

Лекція 13-14. Кварк-партонова модель адронів. Електромагнітні форм-фактори адронів. Глибоконепружне лептон-нуклонне розсіяння. Структурні функції. Партони і скейлінг Б’йоркена. Функції розподілу партонів.

Порушення скейлінгу як наслідок сильної взаємодії кварків у адроні. Рівняння Альтареллі-Парізі. Кварки моря.

Лекція 15. Єдина електрослабка взаємодія. Бозон Хігса. Теорія Фермі для слабкої взаємодії. Логіка єдиної теорії електрослабкої взаємодії Вайнберга-Салама. Проблема мас каліброчних бозонів. Спонтанне порушення симетрії та механізм Хігса.

Лекція 16. Сучасна проблематика і напрямки розвитку Стандартної Моделі. Основна проблематика нейтринної фізики. Екзотичні стани речовини. Зв'язок фізики частинок з астрофізикою і космологією. Суперсиметрії та інші ідеї розширення СМ. Нові експериментальні установки, що будуються.

Практичні заняття

Заняття 1. Перетворення Лоренца та змінні Мандельштама.

Заняття 2 Рівняння неперервності та густина потоку імовірності в релятивістському випадку.

Заняття 3-4. Техніка опису спінових та ізоспінових станів. Звідні і незвідні представлення в теорія груп.

Заняття 5-6. Розрахунок поперечного перерізу розсіяння двох частинок у найнижчому порядку теорії збурень. Поняття фазового простору. Розрахунок періоду напіврозпаду частинки.

Заняття 7. Властивості функцій розподілів партонів та функцій фрагментації кварків та глюонів.

Заняття 8. Модель векторної домінантності. Межі застосовності пертурбативної КХД.

Самостійна робота аспіранта

Самостійна робота здобувача наукового ступеня доктора філософії є основним засобом засвоєння навчального матеріалу у вільний від навчальних занять час і включає:

Вид самостійної роботи	Кількість годин СР
Опанування матеріалів лекцій та додаткових питань із застосуванням основної та додаткової літератури	54
Самостійне розв'язування задач	16

Політика та контроль

Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед аспірантом:

- правила відвідування занять: заняття проводяться відповідно до розкладу згідно із правилами встановленими [Положенням про організацію освітнього процесу в Інституті ядерних досліджень НАН України](http://www.kinr.kiev.ua/aspirant/creat_ed_inet.pdf). (http://www.kinr.kiev.ua/aspirant/creat_ed_inet.pdf), присутність на заняттях є добровільним і не допускається примушування до будь-яких дій в навчальному процесі без особистої згоди аспіранта. Відповідно до робочої навчальної програми даної дисципліни, бали нараховують за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних заняттях відпові до [Уніфікованої система оцінювання навчальних досягнень аспірантів](http://www.kinr.kiev.ua/aspirant/sys_test.pdf). (http://www.kinr.kiev.ua/aspirant/sys_test.pdf).

- правила поведінки на заняттях: аспірант має можливість отримувати бали за відповідні види навчальної активності на лекційних заняттях, передбачені робочою навчальною програмою дисципліни. Використання засобів зв'язку для пошуку інформації на гугл-диску викладача, в інтернеті, в дистанційному курсі на платформі Інституту здійснюється за умови вказівки викладача;

- політика дедлайнів та перескладань: якщо аспірант не виконував модульні контрольні роботи (без поважної причини), то його результат оцінюється у 0 балів. Перескладання передбачено у разі поважних причин;

- політика щодо академічної доброчесності: Положення встановлює загальні моральні принципи, правила етичної поведінки осіб та передбачає політику академічної доброчесності для осіб, що працюють і навчаються в Інституті, якими вони мають керуватись у своїй

діяльності, в тому числі при вивченні та складанні контрольних заходів з дисципліни «Теоретичні методи фізики елементарних частинок»;

- при використанні цифрових засобів зв'язку з викладачем (мобільний зв'язок, електронна пошта, переписка на форумах та у соцмережах тощо) необхідно дотримуватись загальноприйнятих етичних норм, зокрема бути ввічливим та обмежувати спілкування робочим часом викладача.

Система оцінювання результатів навчання

Види контролю та система оцінювання результатів навчання

Поточний контроль: опитування за темою заняття, МКР.

Календарний контроль: провадиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестровий контроль: іспит.

Умови допуску до семестрового контролю: відсутні.

Рейтинг аспіранта з дисципліни складається з балів, які він отримує:

- 1) на лекційних та практичних заняттях;
- 2) за модульну контрольну роботу (МКР);
- 3) за відповідь на екзамені.

Система рейтингових балів

1) Навчальна активність на лекційних та практичних заняттях, а також виконання домашніх завдань. Ваговий коефіцієнт дорівнює 0,5 балів. Максимальна кількість балів, які може отримати аспірант на практичних заняттях становить $0,5 \times 20 = 20$ балів.

2) Модульна контрольна робота (МКР). Ваговий коефіцієнт дорівнює 20.

Максимальна кількість балів за контрольну роботу становить $2 \times 20 = 40$ балів.

Нарахування балів за контрольну роботу:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації) 18-20 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації або незначні неточності) 15-17 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації та деякі помилки) 11-14 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь (менше 60 % потрібної інформації) 0.

3). Екзамен. Критерії оцінювання. Завдання містить два теоретичні питання, кожне з яких оцінюються у 20 балів. Всього $2 \times 20 = 40$ балів.

Нарахування балів за екзаменаційну відповідь:

- повна відповідь (не менше 90 % потрібної інформації) 36-40 балів;
- достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації) 30-35 балів;
- неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації) 24-29 балів;
- незадовільна відповідь (менше 60 % потрібної інформації) 0.

Накопичування рейтингових балів з навчальної дисципліни

Види навчальної роботи	Мах кількість балів
Навчальна активність на лекційних та практичних заняттях	20
Контрольні роботи	40
Іспит	40
Максимальна кількість балів	100

**Відповідність шкали оцінювання ЄКТС національній системі оцінювання
та ІЯД НАНУ**

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ЄКТС	Оцінка за національною шкалою	
		для екзамену (іспиту), диференційованого заліку, курсового проекту (роботи), практики, тренінгу	для заліку
90 – 100	A	відмінно	зараховано
82 – 89	B	добре	
74 – 81	C	задовільно	
64 – 73	D	достатньо	
60 – 65	E	незадовільно	не зараховано
35 – 59	FX		
1 – 34	F		

Більш детальну інформацію щодо компетентностей, результатів навчання, методів навчання, форм оцінювання, самостійної роботи наведено у Робочій програмі навчальної дисципліни, див сайт ІЯД.

Силабус затверджено на засіданні вченої ради ІЯД НАНУ « 5 » липня 2023 р. Протокол № 6.