

**СИЛАБУС**  
**навчальної дисципліни**  
**«КВАНТОВА ХРОМОДИНАМІКА ТА ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ»**

<b>Галузь знань</b>	<i>10 – Природничі науки</i>
<b>Спеціальність</b>	<i>104 – Фізика та астрономія</i>
<b>Освітня програма</b>	<i>Фізика ядра, фізика елементарних частинок і високих енергій; ядерно-фізичні установки; радіаційна фізика конденсованого стану; фізика плазми і ядерного синтезу</i>
<b>Освітній рівень</b>	доктор філософії
<b>Статус дисципліни</b>	<i>Фаховий / Вибірковий</i>
<b>Мова викладання</b>	<i>Українська</i>
<b>Курс / семестр</b>	<i>II (III) курс, 1 (2) семестр</i>
<b>Кількість кредитів ЄКТС</b>	<i>2 кредити ЄКТС</i>
<b>Розподіл за видами занять та годинами навчання</b>	<i>Лекції – 16 год.</i>
	<i>Практичні (семінарські) – 8 год.</i>
	<i>Консультація – 2 год.</i>
	<i>Самостійна робота – 34 год.</i>
<b>Форма підсумкового контролю</b>	<i>Іспит</i>
<b>Відділ</b>	<i>Відділ теорії ядерних процесів, ІЯД НАН України, корп. 101, к.340 тел. +380-44-525-4361</i>
<b>Викладач (-і)</b>	<i>Давидовський Володимир Володимирович, завідувач відділу, д.ф.-м.н. ст. наук. співроб.</i>
<b>Контактна інформація викладача (-ів)</b>	<i>odavi@kinr.kiev.ua, +380-44-525-4361</i>
<b>Дні занять</b>	<i>За розкладом</i>
<b>Консультації</b>	<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 ядерної фізики та фізики елементарних частинок, що застосовуються при аналізі і розрахунку процесів за участю ядер та елементарних частинок при високих енергіях за допомогою квантової хромодинаміки (калібрувальної теорії сильної взаємодії).

**Предмет** навчальної дисципліни – вивчення квантової хромодинаміки (її понятійного апарату, основних рівнянь, діаграмної техніки, методів розрахунків амплітуд та перерізів) та її застосування до опису типових явищ за участю елементарних частинок та розрахунку спостережуваних величин.

**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.

СК04. Здатність організовувати та здійснювати науково-педагогічну діяльність у сфері фізики та/або астрономії.

СК05. Здатність ініціювати, розробляти та реалізовувати науково-дослідницькі, розробницькі та інноваційні проекти у сфері фізики та/або астрономії, планувати й організувати роботу науково-дослідницьких, розробницьких та інноваційних колективів.

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.

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 проектні пропозиції щодо фінансування наукових досліджень та/або розробницьких і інноваційних проектів.

РН10. Мати навички захисту прав інтелектуальної власності.

РН11. Організувати освітній процес і проводити педагогічну діяльність у сфері фізики та/або астрономії, забезпечувати відповідне наукове, навчально-методичне та нормативне забезпечення.

#### **У результаті засвоєння матеріалу дисципліни аспірант повинен:**

**знати** основні положення і властивості квантової хромодинаміки як калібрувальної теорії квантових полів; принципи будови адронів та їх взаємодій при високих енергіях; поняття асимптотичної свободи, конфайнмента та їхніх проявів в жорстких адронних процесах; діаграмну техніку для теорії збурень в квантовій хромодинаміці; рівняння еволюції для партонних розподілів; основні положення теорії багатократних розсіянь частинок на ядрах при високих енергіях;

**вміти** володіти фейнманівською діаграмною технікою теорії збурень, а також методами усунення розбіжностей та методами обрахунку радіаційних поправок; вміти обраховувати амплітуди та перерізи процесів, а також ймовірності розпадів в рамках пертурбативної квантової хромодинаміки; вміти обраховувати перерізи глибоко-непружних процесів за участю адронів; вміти записувати амплітуду взаємодії адронів з ядрами при високих енергіях.

#### **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 мати ґрунтовні знання, вміння і навички з дисциплін математичного і фізичного спрямування, які входять до стандартної програми підготовки бакалаврів на фізичних (радіофізичних) факультетах ВНЗ, а також вільно користуватись персональним комп'ютером. Компетентності, знання, уміння та досвід, одержані в процесі вивчення кредитного модуля «Квантова хромодинаміка та її застосування», є необхідними для розуміння фізичних процесів, що відбуваються при високих енергіях за рахунок сильної та електромагнітної взаємодій, а також проведення сучасних фундаментальних досліджень та виконання розрахунків

величин, що вимірюються на провідних експериментальних установках із вивчення ядер та елементарних частинок.

### **Зміст навчальної дисципліни**

Дисципліна структурно складається з одного розділу:

Розділ 1. Квантова хромодинаміка

### **Матеріально-технічне (програмне) забезпечення дисципліни**

Для виконання практичних завдань за темою курсу потрібен лише персональний комп'ютер, підключений до мережі Інтернет. Станом на 2023 р. ця вимога легко задовольняється для аспірантів ІЯД НАН України за рахунок наявного обладнання у відділах, де виконується наукова робота, а також за рахунок особистої комп'ютерної техніки аспірантів. Отже, кожний аспірант має необхідні умови для виконання завдань курсу.

**Сторінка курсу на платформі Інституту (персональна навчальна система)**

### **Рекомендовані джерела**

*Базова література:*

1. F. Halzen and A. D. Martin «Quarks and Leptons». – Wiley, 1984; Ф. Хелзен, А. Мартин. «Кварки и Лептоны (Введение в физику частиц)». – М.: Мир, 1987. – 456 с.
2. M. E. Peskin and D. V. Schroeder «An Introduction to Quantum Field Theory». – Addison Wesley, 1995.
3. Ф. Индурайн «Квантовая хромодинамика». – М.:Мир, 1986. – 288 с.

*Допоміжна література:*

1. А. И. Ахиезер, В. Б. Берестецкий «Квантовая электродинамика». – Изд. 4, перераб. – М., Наука, 1981. — 428 с.
2. T. Muta «Foundations of QCD». – World Scientific, 1987.
3. R. K. Ellis, W. J. Stirling and B. R. Webber «QCD and Collider Physics». – Cambridge University Press, 1996.

### **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.** Квантова хромодинаміка

**Лекція 1.** Вступ та релятивістичні хвильові рівняння.

**Лекція 2.** Квантова електродинаміка.

**Лекція 3.** Перерізи та швидкості розпаду.

**Лекція 4.** Найпростіші процеси у КЕД.

**Лекція 5.** КХД як квантова теорія поля.

**Лекція 6.** Найпростіші процеси у КХД.

**Лекція 7.** Перенормування в КЕД та КХД.

**Лекція 8.** КХД і експерименти при високих енергіях.

## Практичні заняття

**Заняття 1.** Вступ та релятивістичні хвильові рівняння.

**Заняття 2.** Квантова електродинаміка.

**Заняття 3.** Перерізи та швидкості розпаду.

**Заняття 4-5.** Найпростіші процеси у КЕД.

**Заняття 6.** Найпростіші процеси у КХД.

**Заняття 7.** Перенормування в КЕД та КХД.

**Заняття 8.** КХД і експерименти при високих енергіях.

## 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 СРС
Підготовка до поточних практичних занять	5
Виконання поточних практичних завдань	10
Опанування матеріалів лекцій та додаткових питань із застосування основної та додаткової літератури	15
Індивідуальні консультації з викладачем	4

## 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](http://www.kinr.kiev.ua/aspirant/creat_ed_inet.pdf)), присутність на заняттях є добровільною, 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 відповідно до [Уніфікованої системи оцінювання навчальних досягнень аспірантів](http://www.kinr.kiev.ua/aspirant/sys_test.pdf). ([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 відвідування лекційних та практичних занять, а також за відповідні види навчальної активності на лекційних та практичних 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 вказівкою викладача;

- **політика дедлайнів та перескладань:** аспірант повинен набрати не менше 30 балів поточного контролю, щоб бути допущеним до підсумкового контролю; передбачено індивідуальне проходження поточного контролю для нарахування відповідних балів, але не пізніше ніж за тиждень до призначеного іспиту (заліку). Перескладання іспиту передбачено (не більше одного разу):

- автоматично, якщо аспірант за роботу в семестрі та на іспиті набрав 30-59 балів; або

- за письмовою заявою аспіранта на ім'я гаранта навчальної програми у разі наявності обставин, що суттєво вплинули на рівень підготовки та/або моральний стан аспіранта;

- **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 «Основи технічної експертизи в галузі державного контролю за міжнародними передачами товарів подвійного використання»;

- **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: бліц-опитування на лекції за темою попередньої лекції, опитування і перевірка домашніх завдань на практичних заняттях, оцінювання рефератів та їх презентацій перед аудиторією.

Підсумковий контроль: іспит (залік).

Умови допуску до підсумкового контролю: допускаються усі аспіранти, крім тих, чий поточні знання оцінені на “незадовільно” (0 – 29 балів).

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

- 1) на лекційних та практичних заняттях (опитування і перевірка домашніх завдань);
- 2) за реферат;
- 3) за відповідь на іспиті (заліку).

### Система рейтингових балів

1) Практичні та лекційні заняття.

*Теоретичне питання (бліц-опитування):* кожна правильна і змістовна відповідь – 1 бал, максимальна кількість балів за семестр – 4 бали.

*Теоретичне питання (ускладнене):* кожна правильна і змістовна відповідь – 2 бали, максимальна кількість балів за семестр – 8 балів.

*Розв'язування задач:* кожне правильне розв'язання – 4 бали, максимальна кількість балів за семестр – 8 балів.

*Вибірковий контроль домашніх завдань:* кожне правильно виконане домашнє завдання – 5 балів, максимальна кількість балів за семестр – 10 балів.

2) Відвідування лекцій та семінарів.

*Кожна відвідана лекція (1 акад. година) – 0,5 бала, максимально за семестр – 8 балів.*

*Кожне відвідане практичне заняття (1 акад. година) – 0,5 бала, максимально за семестр – 7 балів.*

3) Підготовка і презентація рефератів.

*Повнота розкриття теми – максимально 10 балів.*

*Якість підготовленої презентації і виступу перед аудиторією (до 10 хв.) – максимально 5 балів.*

4) Іспит (Залік).

*Критерії оцінювання.* Завдання містить 2 основні теоретичні питання, кожне з яких оцінюється у 10 балів (максимум) та 2 задачі (чи додаткові запитання), які оцінюються у 10 балів. Всього  $2 \cdot 10 + 2 \cdot 10 = 40$  балів (максимум).

*Нарахування балів за відповідь на теоретичне питання:*

- повна розгорнута відповідь (не менше 90 % потрібної інформації) – 10 балів;
- достатньо повна відповідь (не менше 75 % потрібної інформації) – 8 балів;
- неповна відповідь (не менше 60 % потрібної інформації) – 4 бали;
- незадовільна відповідь (менше 60 % потрібної інформації) – 0.

*Нарахування балів за розв'язання задачі:*

- правильний кінцевий результат і повне пояснення – 10 балів;
- неправильний кінцевий результат, але правильний підхід – 5 балів;
- нерозв'язана задача – 0.

<b>Накопичування рейтингових балів з навчальної дисципліни</b>			
<b>Види навчальної роботи</b>		<b>Мах кількість балів</b>	
Навчальна активність на лекційних та практичних заняттях		45	
Реферат		15	
Іспит		40	
<b>Максимальна кількість балів</b>		<b>100</b>	
<b>Відповідність шкали оцінювання ЄКТС національній системі оцінювання та ІЯД НАНУ</b>			
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 достатньо	
64 – 73	D		
60 – 65	E		
35 – 59	FX	незадовільно	не зараховано
1 – 34	F		
<i>Більш детальну інформацію щодо компетентностей, результатів навчання, методів навчання, форм оцінювання, самостійної роботи наведено у Робочій програмі навчальної дисципліни, див сайт ІЯД.</i>			

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