

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ**  
**Інститут ядерних досліджень**

ЗАТВЕРДЖЕНО  
Вченою радою  
Інституту ядерних досліджень  
НАН України  
протокол № 6  
від « 5 » липня 2023 року

Голова вченої ради  
Інституту ядерних досліджень  
НАН України,  
академік НАН України

**Василь СЛІСЕНКО**

**ПРОГРАМА КОМПЛЕКСНОГО ПІДСУМКОВОГО ІСПИТУ  
ЗА ОСВІТНЬО-НАУКОВОЮ ПРОГРАМОЮ  
ПІДГОТОВКИ  
ДОКТОРІВ ФІЛОСОФІЇ**

«Фізика ядра, фізика елементарних частинок і високих енергій;  
ядерно-фізичні установки;  
радіаційна фізика конденсованого стану;  
фізика плазми і ядерного синтезу»  
в аспірантурі Інституту ядерних досліджень НАН України  
за спеціальністю **104 «Фізика та астрономія»**

**КИЇВ – 2023**

## РОЗРОБНИКИ:

Керівник проектної групи (гарант освітньо-наукової програми):

**Давидовський Володимир Володимирович**, д.ф.-м.н.,  
с.н.с., заступник директора ІЯД НАН України



---

Члени проектної групи

**Денисов Віталій Юрійович**, д.ф.-м.н., проф., член-кор.  
НАН України, завідувач відділу структури ядра ІЯД НАН  
України



---

**Пугач Валерій Михайлович**, д.ф.-м.н., проф., член-кор.  
НАН України, завідувач відділу фізики високих енергій  
ІЯД НАН України



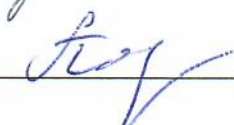
---

**Поворозник Орест Михайлович**, д.ф.-м.н., с.н.с.,  
завідувач відділу ядерних реакцій ІЯД НАН України;



---

**Понкратенко Олег Анатолійович**, д.ф.-м.н., с.н.с.,  
завідувач відділу фізики важких іонів ІЯД НАН України;



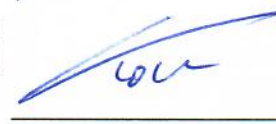
---

**Яковенко Юрій Володимирович**, д.ф.-м.н., с.н.с.,  
провідний науковий співробітник відділу теорії ядерного  
синтезу ІЯД НАН України




---

**Кобичев Владислав Валерійович**, к.ф.-м.н.,  
ст. дослідник, в.о. завідувача відділу фізики лептонів ІЯД  
НАН України;



---

**Порицький Павло Віталійович**, к.ф.-м.н., с.н.с., старший  
науковий співробітник відділу фізики плазми і плазмових  
технологій ІЯД НАН України



---

**Улещенко Володимир Васильович**, к.ф.-м.н.,  
ст.дослідник, старший науковий співробітник відділу  
фізики важких іонів ІЯД НАН України



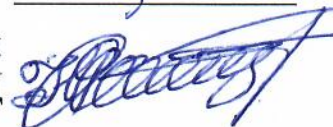
---

**Свята Лілія Миколаївна**, к.е.н., науковий співробітник  
науково-організаційного відділу ІЯД НАН України



---

**Степаненко Юрій Миколайович**, к.ф.-м.н., старший  
науковий співробітник відділу фізики важких іонів ІЯД  
НАН України



---

## 1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

Згідно з описом освітньо-наукової програми «Фізика ядра, фізика елементарних частинок і високих енергій; ядерно-фізичні установки; радіаційна фізика конденсованого стану; фізика плазми і ядерного синтезу» в аспірантурі Інституту ядерних досліджень НАН України за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» затвердженою Вченою радою Інституту ядерних досліджень НАН України (протокол № 6 від « 5 » липня 2023 року), оцінювання *рівня теоретичної фахової підготовки* передбачає складання *комплексного підсумкового іспиту* за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» з відповідною спеціалізацією відповідно до навчального плану підготовки докторів філософії за цією спеціальністю.

Оцінювання здійснюється **Екзаменаційною комісією**, склад якої призначається наказом директора Інституту ядерних досліджень НАН України. Правові та організаційні засади діяльності **Екзаменаційної комісії** (далі – ЕК) щодо атестації здобувачів вищої освіти в Інституті ядерних досліджень НАН України (далі - Інститут) визначаються «Тимчасовим Положенням про Екзаменаційну комісію» ([http://www.kinr.kiev.ua/aspirant/Polozh\\_EK.pdf](http://www.kinr.kiev.ua/aspirant/Polozh_EK.pdf)).

Екзаменаційна комісія (ЕК) оцінює такі 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.

РН05. 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.

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.

PH07. Застосовувати сучасні інструменти і технології пошуку, оброблення та аналізу інформації, зокрема, статистичні методи аналізу даних великого обсягу та/або складної структури, спеціалізовані бази даних та інформаційні системи.

PH08. Розробляти та реалізовувати наукові та/або інноваційні інженерні проєкти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язувати значущі наукові та технологічні проблеми фізики та/або астрономії з врахуванням соціальних, економічних, екологічних та правових аспектів; управляти науковими проєктами.

PH09. 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.

PH10. Мати навички захисту прав інтелектуальної власності.

PH11. Організовувати освітній процес і проводити педагогічну діяльність у сфері фізики та/або астрономії, забезпечувати відповідне наукове, навчально-

методичне та нормативне забезпечення.

У разі погіршення безпекової ситуації підсумковий іспит буде проведено із застосуванням технологій дистанційного зв'язку.

Підготовку до комплексного підсумкового іспиту необхідно починати з повторення питань з кожної дисципліни, в яких формується відповідний обсяг фундаментальних фахових знань та відповідний рівень фахових компетентностей.

Повторення і доопрацювання курсу доцільно проводити за підручниками, конспектами лекцій та основною й додатковою літературою.

Оцінка результатів складання комплексного підсумкового іспиту здійснюється за 100-бальною системою контролю знань, прийнятою в Інституті, та національною шкалою, та відображається у відповідних відомостях і протоколах роботи ЕК. Результатом комплексного підсумкового іспиту є підсумкова оцінка, максимальне значення якої складає 100 балів.

## Шкала оцінювання

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)	для заліку
90 – 100	A	відмінно	зараховано
82 – 89	B	дуже добре	
75 – 81	C	добре	
69 – 74	D	задовільно	
60 – 65	E	достатньо	
35 – 59	FX	незадовільно	не зараховано
1 – 34	F		

## 2. ЗМІСТ ПРОГРАМИ КОМПЛЕКСНОГО ПІДСУМКОВОГО ІСПИТУ (ЦИКЛ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ)

### 2.1. Спеціалізація «Фізика ядра, фізика елементарних частинок і високих енергій»

1. Взаємодія ядерних випромінювань з речовиною.
2. Фізика атомного ядра.
3. Ядерні реакції.
4. Фізика елементарних частинок та їх взаємодія.
5. Методи одержування елементарних частинок.
6. Детектори елементарних частинок.
7. Методи вимірювань та обробки даних.
8. Ядерні коди.

### 2.2. Спеціалізація «Ядерно-фізичні установки»

1. Теплові схеми сучасних АЕС та ЯЕУ.
2. Економічність АЕС.
3. Водний режим АЕС.
4. Основне обладнання ЯЕУ.
5. Радіаційна безпека АЕС.
6. Основи фізичної теорії ядерних реакторів.
7. Нейтронно-фізичний розрахунок реакторів.
8. Тепловий та конструктивний розрахунок ядерних реакторів.
9. Матеріали активної зони ядерних реакторів.
10. Теплообмін та гідродинаміка в ЯЕУ.
11. Паливні цикли.
12. Питання безпеки реакторів.
13. Система забезпечення роботи АЕС.

### **2.3. Спеціалізація «Радіаційна фізика конденсованого стану»**

1. Енергетичний спектр кристалів.
2. Електронні кінетичні властивості твердих тіл.
3. Оптичні та магнітні явища.
4. Діелектрики.
5. Термодинаміка і фазові переходи.
6. Надпровідність.
7. Взаємодія опромінення з речовиною.
8. Експериментальні методи.

### **2.4. Спеціалізація «Фізика плазми і ядерного синтезу»**

1. Термодинаміка плазми.
2. Елементарні процеси.
3. Фізична кінетика.
4. Рух заряджених частинок в електричних та магнітних полях.
5. Магнітна гідродинаміка плазми.
6. Нестійкість плазми.
7. Коливання та хвилі в плазмі.
8. Взаємодія заряджених частинок з хвилями в плазмі.
9. Взаємодія електромагнітних хвиль з плазмою.
10. Нелінійні явища в плазмі.
11. Випромінювання плазми.
12. Діагностика плазми.
13. Електричний розряд в газах.
14. Газодинамічні та теплові явища в плазмі.
15. Керований термоядерний синтез.

## **3. ДОДАТКОВІ ПИТАННЯ ДО КОМПЛЕКСНОГО ПІДСУМКОВОГО ІСПИТУ (ДИСЦИПЛІНИ ЗА ВІЛЬНИМ ВИБОРОМ АСПІРАНТА)**

### **3.1. Спеціалізація «Фізика ядра, фізика елементарних частинок і високих енергій»**

1. Чому подальший розвиток фізики елементарних частинок неможливий лише за допомогою прискорювачів?
2. Які властивості нейтрино є ключовими для розвитку розширених моделей елементарних частинок та взаємодій?
3. Чому необхідне розширення енергетичних діапазонів реєстрації та типів елементарних частинок які реєструється від астрофізичних об'єктів?
4. Вкажіть джерела фону в нейтринному експерименті та методи зниження фону на прикладі задачі дослідження конкретних властивостей нейтрино від певних джерел (вказується екзаменатором).



5. Якими є основні задачі і перспективи розвитку неприскорювальної фізики елементарних частинок у найближчі 15-20 років?
6. Маса і властивості нейтрино. Осциляції нейтрино. Нейтрино Майорани та Дірака.
7. Подвійний бета розпад. Двохнейтринна та безнейтринна моди. Методи експериментальних досліджень подвійного бета розпаду
8. Рідкісні бета та альфа розпади
9. Кластерні ядерні розпади. Надважкі елементи: пошуки надважких ядер в природі
10. Процеси з порушенням закону збереження баріонного числа та електричного заряду
11. Стандартна модель фундаментальних взаємодій, її переваги та недоліки.
12. Сутність ідеї суперсиметрії.
13. Переваги суперсиметричного узагальнення для вирішення багатьох проблем Стандартної моделі.
14. Особливості Мінімальної Суперсиметричної Стандартної моделі (МССМ).
15. Експериментальний статус суперсиметрії.
16. Рівняння Клейна-Гордона та рівняння Дірака (в електромагнітному полі).
17. Правила Фейнмана для квантової електродинаміки. Розрахунок перерізів найпростіших процесів у провідному порядку теорії збурень (один на вибір: електрон-мюонне розсіяння, електрон-позитронна анігіляція, комптонове розсіяння).
18. Правила Фейнмана для квантової хромодинаміки. Кольорові множники.
19. Ультрафіолетові сингулярності. Перенормування.
20. Глибоко-непружне розсіяння на нуклонах та ядрах.

### **3.2. Спеціалізація «Ядерно-фізичні установки»**

1. Класифікація енергетичних ядерних реакторів. Їх переваги та недоліки.
2. Нейтронний цикл в тепловому ядерному реакторі. Формула 4-х співмножників.
3. Сповільнення та дифузія нейтронів, основні характеристики цих процесів.
4. Умова критичності гомогенного ядерного реактора в дифузійно-віковому наближенні.
5. Гетерогенні ядерні реактори.
6. Використання персональних комп'ютерів у моделюванні фізичних процесів. Компоненти комп'ютерного експерименту.

7. Призначення численних експериментів. Переваги та недоліки комп'ютерних експериментів.
8. Чи можна замінити реальний експеримент моделюванням?
9. Метод Монте-Карло. Загальна схема ММК.
10. Пакети моделювання фізичних процесів ядерної фізики.
11. Алгоритм ідентифікації товару за національними контрольними списками.
12. Участь України у міжнародних організаціях з нерозповсюдження. Навести повний перелік, зазначити дати вступу, дати коротку характеристику цим міжнародним організаціям/режимам.
13. Система внутрішньофірмового експортного контролю. Пояснити мету створення, переваги для суб'єкта, в яких випадках є обов'язковою, з яких основних елементів складається.
14. Система експортного контролю України. Пояснити функції основних її елементів.
15. Структура Єдиного списку товарів подвійного використання (українського). Кодування позицій Єдиного списку. Правила використання.

### **3.3. Спеціалізація «Радіаційна фізика конденсованого стану»**

1. Описання енергетичного стану кристалів за допомогою газу квазічастинок. Приклади квазічастинок. Фонони, магнони, екситони, плазмони та ін.
2. Одно електронна модель. Наближення слабо і сильно зв'язаних електронів. Зонна схема та типи твердих тіл.
3. Температурна залежність теплоємності. Моделі Ейнштейна та Дебая.
4. Електронна структура типових напівпровідників. Германій та кремній. Домішкові рівні. Донори та акцептори.
5. Куперівські пари. Енергетична щілина і квазічастинки в надпровіднику.
6. В чому сутність адіабатичного наближення?
7. Для чого введено поняття зони Брилюена?
8. Дати визначення ефективної маси носія?
9. Для якого розсіяння можна застосувати модель Кінчина-Піза?
10. Пояснити ефект Вігнера.
11. Механізм заряджання високовольтного електрода у генераторі Ван- дер-Граафа.
12. Фізичні основи роботи тандем-генератора
13. Види циклічних прискорювачів. Основні особливості
14. Орбітальна стійкість частинки
15. Основний закон, який використовується при конструюванні лінійного індукційного прискорювача
16. Автоколивні процеси в природі. Приклади.



17. Приклади нестійкості та бістабільності у природі.
18. Просторові структури: ефект Бенара.
19. Фазові перетворення в системі нестабільних частинок.
20. Типи атракторів. Дивний атрактор.

### **3.4. Спеціалізація «Фізика плазми і ядерного синтезу»**

1. Визначення плазми. Плазмова частота. Дебаїв радіус.
2. Магнітна гідродинаміка. Вмерзлість та дифузія магнітного поля. Рівновага плазми. Діамагнетизм плазми.
3. Рух заряджених частинок в електромагнітному полі. Дрейфове наближення.
4. Нелінійний резонанс у гамільтонових системах.
5. Магнітогідродинамічні хвилі.
6. Найперспективніші ядерні реакції синтезу. Умови здійснення термоядерної реакції, критерій Лоусона.
7. Фізичні відмінності токамака та стеларатора.
8. Методи нагрівання плазми при її магнітному утриманні.
9. Технічні проблеми першої стінки і дивертора та шляхи до їх розв'язання.
10. Важливі нестійкості плазми в токамаках та стелараторах.
11. Рівняння стану для плазми. Поправки на неідеальність.
12. Рівняння Пуассона-Больцмана. Рівняння Дебая-Гюккеля. Потенціал в плазмі.
13. Рівняння Блоха. Матриця густини. Шпур.
14. Механізми уширення спектральних ліній в плазмі. Профіль спектральної лінії.
15. Метод Мацубари. Діаграмна техніка. Перша та друга теореми Маєра для діаграм.

## **4. СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

Під час підготовки до комплексного підсумкового іспиту слід використовувати літературу, зазначену у навчальних програмах дисциплін, які прослухав здобувач освіти (див. веб-сайт [www.kinr.kiev.ua/aspirant](http://www.kinr.kiev.ua/aspirant) ).