

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Заступник голови приймальної комісії**

**проректор з наукової роботи**

**Київського національного університету**

**імені Тараса Шевченка**

\_\_\_\_\_ **Ганна ТОЛСТАНОВА**

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ **2023 р.**

**ПРОГРАМА**

**ВСТУПНОГО ВИПРОБУВАННЯ**

**ДО АСПІРАНТУРИ (АД'ЮНКТУРИ)**

**ЗІ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 081 ПРАВО**

на здобуття ступеня доктора філософії

(третій (освітньо-науковий) рівень вищої освіти)

**ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ 10 ПРИРОДНИЧІ НАУКИ**

**СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 104 ФІЗИКА ТА АСТРОНОМІЯ**

**ОСВІТНЬО-НАУКОВА ПРОГРАМА «ФІЗИКА ТА АСТРОНОМІЯ»**

**КИЇВ – 2023**

**Розробники програми:**

1. Макарець Микола Володимирович, декан фізичного факультету, д.ф.-м.н., проф.
2. Зеленський Сергій Євгенович, професор кафедри оптики, д.ф.-м.н., проф.
3. Оліх Олег Ярославович, професор кафедри загальної фізики, д.ф.-м.н., проф.

**УХВАЛЕНО**

Вченою радою

фізичного факультету

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р., протокол № \_\_\_\_\_

Голова вченої ради

\_\_\_\_\_ Микола МАКАРЕЦЬ

Гарант освітньо-наукової програми \_\_\_\_\_ Сергій ЗЕЛЕНСЬКИЙ

## КЛАСИЧНА МЕХАНІКА

Рух у центральному полі. Задача двох тіл, закони збереження. Рух у потенціалі Кулона. Закони Кеплера.

Задача розсіяння. Закони збереження. Диференціальний переріз розсіяння. Розсіяння у центральному полі. Формула Резерфорда.

Рівняння Лагранжа. Принцип д'Аламбера. Рівняння Лагранжа I-го роду. Рівняння Лагранжа II-го роду. Функція Лагранжа.

Динаміка абсолютно твердого тіла. Тензор інерції. Кінематичні рівняння Ейлера. Динамічні рівняння Ейлера. Інтеграли вільного обертання. Стійкість руху.

Малі коливання систем з  $f$  ступенями вільності. Нормальні коливання і нормальні координати.

Канонічні рівняння Гамільтона. Елементи варіаційного числення. Функціонал дії по Гамільтону. Принцип найменшої дії у конфігураційному просторі. Симетрії простору-часу і закони збереження. Канонічні перетворення. Твірні функції канонічних перетворень. Теорема Ліувілля. Рівняння Гамільтона Якобі.

## МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА, ТЕРМОДИНАМІКА І СТАТИСТИЧНА ФІЗИКА

Статистичні ансамблі. Мікроканонічний, канонічний і великий канонічний ансамблі. Обчислення великої статистичної суми для ансамблю ферміонів і бозонів. Розподіли Фермі-Дірака і Бозе-Ейнштейна. Невироджений газ, розподіл Максвелла-Больцмана.

Термодинамічні властивості невинродженого ідеального газу. Електронна, поступальна, коливальна та обертальна частини статистичної суми газу двохатомних молекул. Вплив обертального та коливального руху на теплоємність. Термодинамічні властивості невинродженого ідеального газу, що складається з багатоматомних молекул.

Термодинамічні властивості реального газу. Рівняння стану у вигляді віріального ряду за степенями густини. Рівняння стану Ван-дер-Ваальса. Зв'язок другого віріального коефіцієнта з параметрами міжмолекулярної взаємодії.

Термодинамічні властивості електронного газу в металах. Густина електронних станів, енергія електронного газу, енергія Фермі, температурна залежність хімічного потенціалу. Теплоємність.

Статистика носіїв заряду в напівпровідниках. Теорія теплоємності твердого тіла.

Явище конденсації Бозе-Ейнштейна. Температура бозе-конденсації. Число бозе-частинок на основному енергетичному рівні, енергія, теплоємність, тиск бозе-газу.

Термодинамічні властивості рівноважного електромагнітного випромінювання. Закони Стефана-Больцмана, Релея-Джінса, Віна. Формула Планка для спектральної густини енергії випромінювання.

Статистична і термодинамічна теорії флуктуацій. Імовірність термодинамічних флуктуацій. Прояв флуктуацій у броунівському русі та розсіянні світла. Флуктуації об'єму та кількості частинок.

Елементи фізичної кінетики. Одночастинкова функція розподілу. Кінетичне рівняння Больцмана. Наближення часу релаксації. Електропровідність невиродженого електронного газу в металах. Ефект Хола. Явища дифузії та теплопровідності, термоелектрорушійна сила. Зв'язок між коефіцієнтом дифузії та рухливістю частинки.

## ЕЛЕКТРОДИНАМІКА

Рівняння Максвелла. Мікроскопічні та макроскопічні рівняння. Рівняння Максвелла в коваріантній формі. Релятивістська функції Лагранжа та Гамільтона для зарядженої частинки в електромагнітному полі.

Електро- і магнітостатика. Розклад скалярного і векторного потенціалів по мультиполях.

Плоскі електромагнітні хвилі. Поляризація електромагнітних хвиль. Плоскі електромагнітні хвилі в анізотропних і гіротропних/оптично активних середовищах.

Випромінювання електромагнітних хвиль. Калібрувальна інваріантність рівнянь Максвелла. Запізнювальні та випереджаючі потенціали.

Електромагнітне поле на великій відстані від джерела. Кутовий та спектральний розподіл електромагнітного випромінювання заданим струмом. Електричне дипольне й квадрупольне магнітне дипольне випромінювання. Електромагнітне поле в ближній та дальній зонах. Електромагнітне поле заряду, який рухається прискорено. Потенціали Лієнара-Віхерта. Енергія, випромінювана прискореною частинкою.

Розсіяння електромагнітних хвиль. Ефективний переріз розсіяння. Формула Томсона. Реакція випромінювання. Радіаційна ширина спектральних ліній.

Електродинаміка суцільного середовища. Поляризація неполярних діелектриків. Локальне поле. Формула Клаузіуса – Мосотті. Поляризація полярних діелектриків у постійному електричному полі. Дисперсія діелектричної проникності. Зв'язок між діелектричною та магнітною проникностями й енергією, яка поглинається в середовищі. Співвідношення Крамерса – Кроніга. Електромагнітне поле у хвилеводах та резонаторах.

## ОПТИКА

Оптичні системи. Оптичні системи ока, мікроскопа, телескопа, спектрографа. Діафрагми в оптичних системах. Використання світловодів. Аберації реальних оптичних систем, методи їх усунення та зменшення.

Інтерференція світла. Когерентність хвиль. Просторова та часова когерентність. Методи одержання когерентних світлових хвиль.

Двопроменева інтерференція. Інтерферометр Майкельсона. Фур'є-спектроскопія. Багатоприменева інтерференція. Інтерферометр Фабрі-Перо.

Дифракція світла. Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракція Френеля і дифракція Фраунгофера. Дифракційна ґратка. Дисперсія та роздільна здатність дифракційної ґратки.

Нелінійна оптика. Нелінійна поляризованість. Самофокусування. Самодифракція. Генерація гармонік випромінювання та параметричне перетворення частоти. Вимушене комбінаційне розсіяння світла. Вимушене розсіяння Мандельштама-Бриллюена.

Електронна оптика. Електронні та магнітні лінзи. Типи електронних мікроскопів та їх характеристика. Скануючий електронний мікроскоп.

## АТОМНА ФІЗИКА ТА КВАНТОВА МЕХАНІКА

Рівняння Шредингера. Розв'язок рівняння Шредингера для гармонічного осцилятора. Розв'язок рівняння Шредингера для атома водню та воднеподібних атомів.

Рівняння Дірака. Рівняння Паулі як нерелятивістське наближення рівняння Дірака. Ефект Зеємана. Рух вільних електронів у постійному магнітному полі. Рівні Ландау.

Стационарна теорія збурень для невиродженого випадку і у випадку виродження. Критерій застосовності теорії збурень. Ефект Штарка.

Нестационарна теорія збурень. Теорія квантових переходів під дією залежного від часу збурення. Поглинання та випромінювання електромагнітних хвиль атомними системами. Теорія фотоефекту. Додавання моментів. Правила відбору. Квантова теорія дисперсії. Пружне та непружне розсіяння.

Прямий варіаційний метод Рітца. Квазікласичне наближення (метод ВКБ). Граничні умови та критерії справедливості методу ВКБ.

Методи дослідження багатеелектронних систем. Метод Хартрі-Фока. Атом гелію. Теорія збурень і варіаційний розрахунок в атомі. Адіабатичне наближення. Молекула водню.

Елементи квантової електродинаміки. Основи релятивістської теорії поля. Дійсне та комплексне поля Клейна-Гордона. Квантування електромагнітного поля. Квантування електрон-позитронного поля.

Резонансні методи дослідження. Електронний парамагнітний резонанс. Ядерний магнітний резонанс. Класична інтерпретація магнітного резонансу.

Двофотонне поглинання. Методи дослідження двофотонного поглинання.

Надпровідність. Загальні закономірності явищ надпровідності та надплинності. Теорія Бардіна, Купера, Шриффера (БКШ). Високотемпературна надпровідність та її можливі механізми.

## ФІЗИКА ЯДРА ТА ЕЛЕМЕНТАРНИХ ЧАСТИНОК

Радіоактивність. Статистичний характер розпаду. Закон радіоактивного розпаду.  $\alpha$ -розпад. Спектри  $\alpha$ -частинок. Залежність періоду  $\alpha$ -розпаду від енергії  $\alpha$ -частинок. Елементи теорії  $\alpha$ -розпаду.  $\beta$ -розпад. Види  $\beta$ -розпаду. Енергетичні спектри електронів. Експериментальний доказ існування нейтрино. Елементи теорії  $\beta$ -розпаду.

Ядерні реакції. Механізми ядерних реакцій. Закони збереження в ядерних реакціях. Модель складеного ядра. Резонансні ядерні реакції. Формула Брейта-Вігнера. Поділ ізотопів урану під дією нейтронів. Ланцюгова реакція. Коефіцієнт розмноження. Ядерні реактори. Синтез легких ядер. Ядерні реакції у зірках.

Моделі атомних ядер. Потенціал усередненого ядерного поля. Самоузгоджений потенціал. Обґрунтування оболонкової структури ядра. Одночастинкові стани в усередненому ядерному потенціалі. Поняття про

багаточастинкові моделі оболонок. Колективні властивості ядер. Краплинна модель ядра.

Взаємодія ядерного випромінювання з речовиною. Втрати енергії на іонізацію та збудження атомів. Пробіги заряджених частинок. Взаємодія нейтронів з речовиною. Сповільнення нейтронів. Теплові та резонансні нейтрони. Дифузія теплових нейтронів. Проходження  $\gamma$ -випромінювання крізь речовину.

Експериментальні методи у ядерній фізиці. Фізичні принципи роботи прискорювачів та їх класифікація. Електростатичні прискорювачі. Каскадні прискорювачі. Резонансні методи прискорення. Циклотрон. Резонансні прискорювачі релятивістських частинок. Лінійні та циклічні прискорювачі. Поняття про сучасні методи отримання пучків високих енергій. Метод зустрічних пучків; колайдери. Генератори нейтронів. Методи реєстрації ядерного випромінювання. Детектори ядерного випромінювання.

Елементарні частинки та механізми взаємодії у світі частинок. Лептони, мезони, баріони. Частинки та античастинки. Обмінні механізми взаємодії між частинками. Калібрувальні бозони. Закони збереження, що регулюють перетворення частинок.

Сильна взаємодія та структура адронів. Кварки, глюони та їх основні характеристики. Кваркова структура баріонів та мезонів. Колір, як квантова характеристика кварків і глюонів, та його роль при взаємодії кварків.

Електромагнітні взаємодії. Слабкі взаємодії. Універсальність слабкої взаємодії. Носії слабкої взаємодії - проміжні бозони. Поняття про польову теорію слабких взаємодій - модель Вайнберга-Салама. Основні типи перетворень елементарних частинок, що спричинені слабкою взаємодією. Стандартна теорія. Об'єднання взаємодій.

## АСТРОФІЗИКА

Загальна картина Всесвіту. Вимірювання відстаней в астрофізиці. Взаємодія речовини та випромінювання. Просторово-часові масштаби в астрофізиці. Стан речовини у Всесвіті.

Будова та еволюція зір. Ядерні реакції в зорях. Внутрішня будова Сонця, сонячні нейтрино. Атмосфери зір. Спектральна класифікація зір. Діаграма Герцшпрунга-Рессела. Характеристики зір головної послідовності (ГП) та співвідношення між їхніми параметрами (маса-світність, маса-радіус, час життя). Зоряні скупчення. Еволюція зір ГП. Змінні зорі. Подвійні зорі. Планетні системи.

Кінцеві стадії зоряної еволюції. Білі карлики, їх внутрішня будова. Наднові, їх типи. Нейтронні зорі, чорні діри зоряних мас.

Світ галактик. Основні характеристики галактик. Структура галактик. Класифікація галактик за Хаблом. Типи зоряного населення, динаміка газу та зір в галактиках. Криві обертання галактик. Зореутворення в галактиках. Ядра галактик. Свідчення присутності прихованої маси та темної матерії в галактиках, в групах та скупченнях галактик.

Елементи космології. Великомасштабна структура Всесвіту. Розбігання галактик. Прискорене розширення Всесвіту. Теорія гарячого народження Всесвіту. Критична густина. Первинний нуклеосинтез. Епоха рекомбінації. Реліктове випромінювання. Утворення великомасштабної структури. Спостережні основи космологічних моделей. Темна енергія.

## СПИСОК ОСНОВНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Федорченко А.М. Теоретична фізика. т. 1. Класична механіка і електродинаміка. – К.: Вища школа, 1993.
2. Механіка: підручник / О.В.Слободянюк. – К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2016. – 478 с.
3. Федорченко А.М. Теоретична фізика. т. 2. Квантова механіка, термодинаміка і статистична фізика. – К.: Вища школа, 1993.
4. Булавін Л.А., Гаврюшенко Д.А., Сисоєв В.М. Молекулярна фізика. – К.: Знання, 2007.
5. Базаров И.П., Геворкян Э.В., Николаев П.Н. Термодинамика и статистическая физика. – М.: Изд-во МГУ, 1986.
6. Вакарчук І.О. Квантова механіка. – Львів: ЛНУ, 2004.
7. Білий М.У., Скубенко А.Ф. Загальна фізика. Оптика. – К.: Вища школа, 1987.
8. Білий М. У., Охріменко Б.А. Атомна фізика. – К.: Знання, 2009.
9. Булавін Л. А., Тартаковський В. К. Ядерна фізика. – К.: Знання, 2005.
10. Каденко І. М., Плюйко В. А. Фізика атомного ядра та частинок. – К.: ВПЦ "Київський університет", 2008.
11. Засов А.В., Постнов К.А. Общая астрофизика. Фрязино, В 2, 2006.
12. Андрієвський С.М., Климишин І.А. Курс загальної астрономії. – Одеса, Астропринт, 2007.



## СПИСОК ДОДАТКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика. – М.: Наука, 1988.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. – М.: Наука, 1988.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. – М.: Наука, 1989.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. – М.: Наука, 1976.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. – М.: Наука, 1982.

Затверджено на засіданні науково-методичної комісії фізичного факультету  
\_\_\_\_\_.2023 р., протокол №\_\_\_\_\_

Голова науково-методичної комісії

Олег ОЛІХ

## ПОЯСНЕННЯ, КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ

1. Метою програми є навчально-методичне забезпечення підготовки до складання вступного іспиту до аспірантури зі спеціальності 104 Фізика та Астрономія. Програма вступного іспиту для підготовки аспірантів складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки докторів філософії за цією спеціальністю і задає необхідний рівень теоретичних знань, умінь, навичок, здобутих при опануванні освітнього рівня „магістр” за цією ж або іншою спеціальністю. Вона дозволить вступникам продемонструвати глибину знань в області фізики та астрономії. В її основу покладено основні розділи предметів, знання яких необхідні для вступу в аспірантуру за спеціальністю 104 «Фізика та Астрономія».
2. Метою вступного іспиту є визначення рівня теоретичної та практичної підготовки абітурієнта, їх готовності освоїти вибрану програму та виявити потенційну здатність працювати у сфері науково-дослідної роботи.
3. Вступний іспит проводиться у письмовій формі.
  1. Білети складаються із трьох запитань, із наведеного вище переліку тем та їх наповнення, на кожне із яких потрібно дати письмову відповідь.
  2. Білети зі різними спеціалізаціями аспірантури відрізняються між собою за кількістю питань у білеті, профільних для даної спеціалізації.
4. Максимальна кількість балів за іспит становить 100 балів. Критерії оцінювання знань та вмінь абітурієнта:

3. Оцінювання знань абітурієнта здійснюється за 100-бальною шкалою, яка переводиться у національну шкалу («відмінно», «добре», «задовільно», «незадовільно») так само як і під час навчання у бакалавраті та магістратурі.
4. 90-100 балів – глибокі знання навчального матеріалу, що міститься в основних і додаткових рекомендованих літературних джерелах; вміння аналізувати явища, які вивчаються, у їхньому взаємозв'язку і розвитку, чітко і лаконічно; логічно і послідовно відповідати на поставлені запитання; вміння застосовувати теоретичні положення під час розв'язання практичних задач;
5. 75-89 балів – ґрунтовні знання навчального матеріалу, включаючи розрахунки; аргументовані відповіді на поставлені запитання; вміння застосовувати теоретичні положення під час розв'язування практичних задач;
6. 61-74 балів – міцні знання навчального матеріалу, включаючи розрахунки; аргументовані відповіді на поставлені запитання, які, однак, містять певні (несуттєві) неточності; вміння застосовувати теоретичні положення під час розв'язання практичних задач; мало аргументовані відповіді, слабе застосування теоретичних положень під час розв'язання практичних задач.