

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені І. І. МЕЧНИКОВА**

Факультет математики, фізики та інформаційних технологій

**ЗАТВЕРДЖЕНО**  
Голова приймальної комісії  
ОНУ імені І. І. Мечникова  
проф. Вячеслав ТРУБА  
« 28 » \_\_\_\_\_ 2025 р.



**ПРОГРАМА  
ФАХОВОГО ІСПИТУ**  
для вступу на навчання для здобуття  
третього (освітньо - наукового) рівня вищої освіти  
спеціальність **E5 - фізика та астрономія**  
на основі освітнього ступеня магістр  
(освітньо-кваліфікаційного рівня спеціаліст)

Схвалено на засіданні Вченої ради  
факультету ФМФІТ  
Протокол № 5 від «б» березня 2025 р.

**ОНУ  
2025**

## ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Фаховий іспит – форма вступного випробування, для конкурсного відбору осіб для здобуття ступеня доктора філософії, які вступають на основі здобутого ступеня магістра (освітньо-кваліфікаційного рівня спеціаліста). Організація та проведення вступного випробування відбувається у порядку визначеному Порядком прийому на навчання для здобуття вищої освіти в 2025 році затвердженому наказом Міністерства освіти і науки України від 10 лютого 2025 року № 168 та зареєстрованому в Міністерстві юстиції України 26 лютого 2025 року за № 15/41360 та Положенням про приймальну комісію Одеського національного університету імені І. І. Мечникова.

Мета вступного випробування за спеціальністю Е5-фізика та астрономія - перевірка знань, умінь, навичок – базових компетенцій для опанування ОП.

Вимоги до рівня підготовки здобувачів: Вступники до аспірантури повинні мати відповідний рівень теоретичної і практичної підготовки, який надає можливість оволодіти знаннями, набути умінь та навичок проведення наукових досліджень, необхідних для здобуття наукового ступеня доктор філософії зі спеціальності «Е5 – Фізика та астрономія».

Вступник до аспірантури зі спеціальності «ОП – Фізика та астрономія» має продемонструвати високий рівень теоретичної та практичної підготовки, знання загальної та теоретичної фізики та астрономії, глибоке розуміння фізичних процесів, а також уміння застосовувати свої знання для вирішення науково-дослідницьких та прикладних завдань

Форма фахового іспиту – тестування.

Підготовка програми фахового іспиту, розробка тестових завдань та проведення іспиту здійснюється предметною комісією МФІТ факультету (наказ № 421-18 від 28.02.2025 р.).

## 1. ПРОГРАМА ФАХОВОГО ІСПИТУ

### ЗАГАЛЬНА ФІЗИКА

#### Механіка.

Закони Ньютона в інерційних системах відліку. Поняття маси та ваги тіла Неінерційні системи відліку. Теорема Коріоліса. Маятник Фуко. Гіроскопи. Прецесія та нутація. Гірокомпас.

Закони збереження в поступальному та обертальному рухах. Основне рівняння обертального руху. Поняття про тензор інерції.

Основні постулати та наслідки спеціальної теорії відносності. Інваріанти в СТВ.

Малі коливання механічних систем. Найпростіші маятники. Вільні та вимушені коливання. Явище резонансу. Автоколивання

Моделі ідеальної та в'язкої течії. Рівняння Бернуллі. Критерій Рейнольдса.

Зіткнення. Лабораторна система та система центра маси. Активація хімічних реакцій.

Хвилі в пружних середовищах. Хвильове рівняння та рівняння хвилі.

Поняття енергії, роботи, потужності. Теорема Кьоніга. Закони збереження та властивості простору і часу.

### **Молекулярна фізика.**

Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії. Закон Дальтона. Газові закони.

Розподіл Максвелла молекул за модулем та компонентами швидкості. Характеристики розподілів.

Барометрична формула. Розподіл Больцмана та стан рівноваги.

Теплоємність газів, рідин і твердих тіл.

Перший закон термодинаміки. Ізопроееси в ідеальних газах. Цикл Карно. Абсолютна температурна шкала.

Термодинамічні функції та потенціал стійкості термодинамічних систем. Принцип Ле-Шательє-Брауна.

Ізотерми реальних газів. Рівняння Ван-дер-Ваальса. Критична точка. Внутрішня енергія реального газу. Ефект Джоуля-Томсона. Інверсія ефекту.

Поверхневий натяг. Формула Лапласа. Змочування.

Фазова діаграма. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Правило фаз Гіббса.

Другий закон термодинаміки. Ентропія в ізопроеесах.

### **Електрика та магнетизм.**

Електростатичне поле у вакуумі. Основні характеристики та властивості.

Електростатичне поле в діелектриках. Поляризація діелектриків, вектор електричного зміщення, діелектрична проникність.

Теорема Остроградського-Гауса та її практичні застосування.

Електричний струм, основні характеристики. Закони постійного струму.

Природа електричного струму в металах. Електронна теорія провідності металів.

Магнітне поле постійних струмів у вакуумі. Основні закони та властивості.

Магнітне поле в речовині. Намагнічування речовин, вектор напруженості магнітного поля, магнітна проникність. Пояснення діамагнітних властивостей речовин. Пояснення парамагнітних властивостей речовин.

Закон електромагнітної індукції. Рівняння Максвелла.

Змінний струм. Закон Ома та потужність у колі змінного струму. Резонанс напруг та резонанс струмів у колі змінного струму.

### **Оптика.**

Хвильові властивості світла. Стоячі світлові хвилі.

Електронна теорія поглинання і випромінювання світла. Форма спектральної лінії поглинання.

Дисперсія світла. Аналіз залежності показника заломлення від частоти.

Подвійне променезаломлення в анізотропних середовищах. Поляризаційні призми.

Інтерференція світла. Інтерференційна схема Юнга.

Дифракція світла. Дифракція Фраунгофера на ґратці.

Квантова природа світла. Фотоефект. Квантова теорія теплового випромінювання абсолютно чорних тіл.

Принцип дії і будова оптичних генераторів світла ( на прикладі He-Ne, чи рубінового лазера).

Нелінійна оптика. Оптичне детектування і генерація гармонік. Показник заломлення світла в області нелінійної оптики. Самофокусування і дефокусування світла.

### **Атомна та ядерна фізика.**

Класична теорія атома водню. Постулати Бора. Формула Рідберга-Бальмера.

Корпускулярно-хвильовий дуалізм. Гіпотеза де-Бройля. Досліди, що підтверджують хвильові властивості електронів.

Атомний магнетизм. Ефект Зеемана.

Рентгенівське випромінювання Гальмівний та характеристичний спектри. Розсіювання рентгенівського випромінювання. Ефект Комптона.

Принцип Паулі. Заповнення електронних шарів і оболонок. Періодична система елементів.

Будова атомних ядер. Енергія зв'язку ядра. Формула Вайцекера.

Властивості стабільних та радіоактивних ядер. Закон радіоактивного розпаду.  $\alpha$ -розпад. Властивості та механізми  $\alpha$ -розпаду. Види та особливості  $\beta$ -розпаду,  $\gamma$ -випромінювання.

Поділ ядер. Ланцюгова ядерна реакція. Будова і принцип дії реактора на теплових нейтронах.

Термоядерний синтез. Водневий та вуглецево-азотний цикли. Дейтерій-тритієві реакції. Проблема керованого термоядерного синтезу.

## ТЕОРЕТИЧНА ФІЗИКА

### Теоретична механіка.

Розв'язування рівнянь руху і початкові умови.

Закони зміни та збереження імпульсу і моменту імпульсу. Закони зміни та збереження енергії. Рух у центрально симетричному полі. Рух центра мас. Задача двох тіл. Пружне розсіювання частинок. Поперечні перерізи розсіювання. Розпад частинок. Основна задача динаміки невідомої системи і поняття про зв'язки. Дійсні, можливі і віртуальні переміщення; ідеальні зв'язки. Рівняння Лагранжа. Функція Лагранжа. Закони збереження узагальненого імпульсу та узагальненої енергії. Положення стійкої рівноваги. Власні коливання системи. Вимушені коливання.

Канонічні рівняння Гамільтона. Рівняння Гамільтона-Якобі. Рівняння руху та інтегральні варіаційні принципи.

### Електродинаміка.

Потенціал електростатичного поля. Рівняння Пуассона і Лапласа. Мультипольні моменти. Енергія взаємодії системи зарядів. Енергія електростатичного поля. Власна енергія системи і енергія взаємодії. Система зарядів в електричному полі. Закон збереження заряду.

Магнітне поле стаціонарних струмів. Векторний потенціал магнітного поля. Диференціальні рівняння магнітного поля. Закон повного струму. Магнітний момент. Магнітний момент атома. Гіромагнітне (магнітомеханічне) відношення.

Система рівнянь Максвелла у вакуумі. Потенціали електромагнітного поля. Система рівнянь для потенціалів. Калібрування потенціалів. Закон збереження енергії в електромагнітному полі. Вектор Умова-Пойнтінга.

Плоскі та сферичні електромагнітні хвилі. Поляризація хвиль. Ефект Доплера.

Загаїні потенціали. Поле випромінювання системи зарядів на великих відстанях. Дипольне випромінювання. Випромінювання гармонійного осцилятора. Реакція випромінювання. Природна ширина спектральної лінії. Розсіювання електромагнітних хвиль вільним та зв'язаним зарядом.

Система рівнянь Максвелла у суцільному середовищі. Поляризація середовища. Електрична індукція. Намагнічування середовища. Напруженість магнітного поля. Поляризованість і діелектрична проникність середовища. Магнітна сприйнятливості і магнітна проникність середовища. Граничні умови. Поляризація полярних та неполярних діелектриків.

Поширення електромагнітних хвиль у діелектрику. Формула Максвелла. Поширення електромагнітних хвиль у провідному середовищі. Скін-ефект.

Частотна дисперсія діелектричної проникності. Зв'язок між діелектричною та магнітною проникностями і енергією, яка поглинається в середовищі. Співвідношення Крамерса-Кроніга. Групова швидкість. Теорія дисперсії електромагнітних хвиль для системи гармонічних осциляторів.

### **Квантова механіка.**

Хвильові функції та оператори у квантовій механіці. Співвідношення невизначеностей Гейзенберга. Рівняння Шредінгера. Рівняння неперервності. Густина потоку. Загальні властивості одновимірного руху. «Потенціальний ящик». Лінійний осцилятор. Коефіцієнт проходження крізь потенціальний бар'єр.

Момент імпульсу. Власні функції та власні значення моменту. Додавання моментів.

Рух у центрально-симетричному полі. Рух у кулонівському полі. Вільний рух частинки.

Теорія збурень і варіаційні методи.

Релятивістська квантова механіка. Рівняння Дірака. Спін. Спінори.

Принцип тотожності однакових частинок. Обмінна взаємодія. Атоми, йони та молекули водню і гелію. Сили Ван дер Ваальса.

Атомні рівні енергії. Стани електронів в атомі. Водневоподібні рівні енергії. Самоузгоджене поле. Мультипольні моменти. Ефект Штарка.

Рівняння Шредінгера для електрона в магнітному полі. Рух в однорідному магнітному полі. Ефект Зеемана. Спін у змінному магнітному полі.

Загальна теорія розсіяння. Зіткнення однакових частинок. Резонансне розсіяння заряджених частинок.

### **Термодинаміка і статистична фізика.**

Макроскопічна система та її параметри. Постулати термодинаміки. Квазістатичні та нестатичні процеси. Внутрішня енергія. Робота і теплота. Мікроскопічне визначення стану системи. Фазовий простір.

Функція розподілу системи. Теорема Ліувіля. Роль енергії у визначенні функції розподілу. Мікроканонічний розподіл. Канонічний розподіл Гіббса. Поняття ентропії. Закон зростання ентропії.

Термодинамічні параметри як середні значення відповідних мікровеличин. Вільна енергія систем. Перше начало термодинаміки. Друге начало термодинаміки. Оборотні та необоротні процеси. Характеристичні функції. Система із змінним числом часток. Термодинамічний потенціал. Парадокс Гіббса. Умови рівноваги ізольованої та неізольованої системи. Розподіл Гіббса для системи із змінним числом часток.

Розподіл Максвелла. Розподіл Максвелла-Больцмана. Теорема про рівномірний розподіл енергії за степенями вільності та класична теорія теплоємності.

Сили взаємодії між молекулами і рівняння стану неідеального газу.

Основні співвідношення квантової статистики. Число заповнень функції розподілу Фермі-Дірака, Бозе-Ейнштейна та Максвелла-Больцмана. Квантовий лінійний осцилятор. Квантова теорія теплоємності ідеальних газів.

Квантова теорія теплоємності твердих тіл (за Ейнштейном). Квантова теорія теплоємності кристалів (за Дебаєм). Вивід формули Планка для рівноважного випромінювання. Теплова теорема Нернста. Поняття температури. Абсолютна шкала температур.

## **АСТРОНОМІЯ**

**Видимі та істинні рухи небесних тіл.** Небесна сфера та астрономічні координати. Сузір'я. Горизонтальна та екваторіальні системи небесних координат. Залежність висоти полюса світу від географічної широти місця спостереження. Явища, що пов'язані із добовим обертанням небесної

сфери. Змінювання координат світил при добовому русі. «Нерухомі» зорі та сузір'я. Зоряні каталоги.

**Рух тіл сонячної системи.** Екліптика. Річний рух Сонця. Основи вимірювання часу. Зоряний та сонячний час. Рівняння часу. Календар. Фази Місяця. Синодичний та сидеричний періоди Місяця. Затемнення Сонця, затемнення Місяця. Видимі та істинні руху небесних тіл. Геоцентрична система Птолемея. Геліоцентрична система Коперника. Пояснення конфігурацій та видимих рухів планет. Закони Кеплера. Основні закони механіки. Закон всесвітнього тяжіння. Задача двох тіл. Задача 3-х та n тіл. Обмежена задача 3-х тіл, її наслідки. Еліпс як форма орбіти. Орієнтація еліпса у просторі. Елементи орбіт планет.

**Фізика Сонячної системи.** Сонце. Основні характеристики, внутрішня будова, джерела енергії, явища на видимій поверхні, магнітне поле, сонячна активність. Планети, поділ на 2 групи. Планети земної групи: Меркурій, Венера, Земля, Марс. Планети-гіганти: Юпітер, Сатурн, Уран, Нептун. Карликові планети, супутники планет, малі тіла Сонячної системи. Астероїди. Транснептунові об'єкти. Сучасна класифікація тіл Сонячної системи. Супутники планет. Місяць. Метеорні тіла, комети. Походження Сонячної системи.

**Прибори та методи астрономічних досліджень.** Телескопи. Електромагнітне випромінювання, його діапазони. Оптичний діапазон. Рефрактор і рефлектор. Хід променів у телескопі. Приймачі випромінювання. Світлофільтри. Спектрографи. Сучасні телескопи. Всехвильова астрономія: радіо-, гамма- та рентгенівські телескопи. Інші види телескопів. Космічні телескопи.

**Видимі та абсолютні зоряні величини.** Визначення відстаней в астрономії. Визначення розмірів Землі. Паралактичне зміщення. Добовий та річний паралакси. Визначення астрономічної одиниці. Системи зоряних величин. Формула Погсона. Абсолютна зоряна величина та світність зорі. Модуль відстані.

**Спектральний аналіз.** Спектральна класифікація зір. Основи фотометрії. Колір зорі та її спектр. Вплив температури на вигляд спектру. Гарвардська класифікація спектрів. Двомірна спектральна класифікація. Види спектрів. Спектральний аналіз. Основи спектрофотометрії: спектр, явищі, що впливають на контур спектральної лінії, визначення параметрів атмосфери зорі за її спектром.

**Зорі.** Фізичні характеристики зір. Джерела зоряної енергії. Розміри, маси, температури. Світності. Зорі-гіганти та карлики. Діаграма Герцшпрунга – Рессела. Теорема Фогта – Рессела. Фізичні умови в надрах і будова зір. Подвійні зорі. Візуально-подвійні, спектрально-подвійні та затемнювано-подвійні зорі. Змінні зорі. Класифікація змінних зір. Пульсуючі зорі, їх різновиди. Еруптивні зорі. Еволюція зір різних типів. Кінцеві стадії зоряної еволюції. Зоряні залишки.

**Міжзоряне середовище.** Складові Міжзоряного середовища. Туманності: дифузні, планетарні, темні туманності. Зони HI. Газо-пиліові комплекси, області перетворення. Початкові стадії еволюції зір.

**Зоряні скупчення.** Розсіяні та кулясті скупчення. Зоряні асоціації. Типи зоряного населення.

Наша Галактика. Молочний Шлях. Об'єкти, що належать до нашої Галактики. Різні класи населення Галактики. Рух Сонячної системи в Галактиці. Хімічний склад підсистем Галактики. Обертання Галактики. Будова Галактики.

**Галактики.** Фізичні властивості та класифікація. Морфологічна класифікація галактик. Взаємодіючі галактики. Визначення відстаней до галактик. Фізичні властивості галактик. Просторовий розподіл галактик. Формування та еволюція галактик.

**Будова Всесвіту у великих масштабах.** Великомасштабна структура Всесвіту. Основи елементи: групи, скупчення та надскупчення галактик, філаменти, стіни, войди. Темна матерія та темна енергія. Спостережні основи космології. Космологічний принцип. Прискорене розширення

Всесвіту. Реліктове випромінювання та співвідношення баріонної та темної матерії. Теорія Великого вибуху та еволюція Всесвіту. Інфляційна модель. Нуклеосинтез в гарячій моделі Всесвіту. Парадокси релятивістської космології. Космологічні тести.

**Фізика релятивістських об'єктів.** Білі карлики, фізичні властивості, рівняння стану при великих густинах та температурах. Чандрасекхарівська межа. Залежність маса-радіус. Особливості будови, класифікація білих карликів. Тиск виродженого електронного газу. Енергія Фермі, імпульс Фермі. Походження білих карликів. Нейтронні зорі, будова, рівняння стану, межа Опенгеймера-Волкова. Спостережні прояви нейтронних зір. Залежність маса-радіус. Походження нейтронних зір. Канонічна нейтрона зоря. Остигання і теплове випромінювання нейтронних зір. Стадії охолодження. Перебудова зовнішньої корі. Подвійні нейтронні зорі, еволюція таких систем, пульсар Халса-Тейлора, подвійний пульсар J0737–3039, перевірка ЗТВ, гравітаційне випромінювання, гравітаційні та гама-спалахи. Центральні-симетричне гравітаційне поле. Метрика Шварцшильда. Гравітаційний радіус та горизонт подій. Чорна діра, що обертається. Метрика Керра. Ергосфера. Вивільнення енергії з чорної діри.

**Радіоастрономія.** Задачі, що розв'язують методами радіоастрономії. Антена радіотелескопу. Типи антен, що застосовуються в радіоастрономії. Діаграма спрямованості антени по полю і по потужності. Ширина головного променя і тілесний кут діаграми спрямованості, коефіцієнт спрямованої дії, коефіцієнт розсіювання. Приймальні пристрої в радіо астрономії: шуми і детектування сигналу. Двохелементний інтерферометр РНДБ: історія появи, РНДБ-мережі різних країн, застосування в радіоастрономії. Інтерферометр в геодезії і астрометрії. Інтерферометрія в міліметровому діапазоні. УРТ, Уран, ГУРТ. Апертурний синтез.

## 2. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

### Фізика

1. Бродин О.М. : Теоретична фізика. Кантова механіка : навч.посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 233 с.
2. Давидов О.С. Квантова механіка. навч.посіб. Київ : Академперіодика, 2012. 707 с.
3. Кармазін В.В., Семенець В.В. : Курс загальної фізики: навч.посіб. Київ : Кондор, 2016. 786 с.
4. Курс загальної фізики: підручник / у бт./ за заг. ред. Сминтини В.А.. – Одеса: Астропринт, 2011-2012.
5. Пінкевич І.П., Сугаков В.Й. Теорія твердого тіла: навч.посіб. Київ : Вид-во Київський університет, 2006. 333 с.
6. Фізика: Підручник /– Бойко В.В. та ін. Київ: Видавництво Ліра-К, 2016. 468 с.

### Астрономія

1. Андрієвський С. М., Климишин І. А. : Курс загальної астрономії: підручник. Одеса: Астропринт, 2010. 480 с.
2. Александров Ю. В. Небесна механіка: підручник. Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2006. 256 с.

3. Баннікова О. Ю., Конторович В. М. : Теоретична астрофізика (додаткові розділи для астрономів і радіоастрономів). Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2009. 76 с.
4. Gorbunov D.S., Rubakov V.A. Introduction to the Theory of the Early Universe. Hot Big Bang Theory. World Scientific Publishing Co., New Jersey – London - Singapore – Beijing – Shanghai – Hong Kong – Taipei – Chennai, 2011 – P. 473.
5. Gorbunov D.S., Rubakov V.A. Introduction to the Theory of the Early Universe. Cosmological Perturbations and Inflationary Theory. World Scientific Publishing Co., New Jersey – London – Singapore – Beijing – Shanghai – Hong Kong – Taipei – Chennai, 2011. – P. 489.

### 3. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ФАХОВОГО ІСПИТУ

Зміст тестових завдань визначено Програмою фахового іспиту для вступу на навчання для здобуття третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти за спеціальністю **Е5 - фізика та астрономія** на основі ступеня магістра (освітньо-кваліфікаційного рівня спеціаліста).

Тест для фахового іспиту складається із завдань з **вибором однієї правильної відповіді** (ТЗ закритої форми). До кожного завдання подано чотири варіантів відповідей (А, Б, В, Г), з яких один правильний.

Загальна кількість завдань тесту – 50.

Завдання з вибором однієї правильної відповіді оцінюється в 0 або 2 тестових балів.

Результат фахового випробовування оцінюють за шкалою від 0 до 100 балів:

0 – 59 незадовільно;

60 – 74 задовільно;

75 – 89 добре;

90 – 100 відмінно

#### Критерії оцінювання іспиту за фахом

ТЗ із вибором однієї правильної відповіді	Кількість балів
• неправильна відповідь, або вказано більше однієї відповіді, або відповідь ненадано	0 балів
• правильна відповідь	2 бали
• мінімальна кількість тестових балів, яка дає право на участь в конкурсному відборі	60 балів
• максимальна кількість балів, яку можна набрати, правильно виконавши всі завдання тесту	100 балів

Під час проведення вступного випробування не допускається користування електронними приладами, підручниками, навчальними посібниками та іншими матеріалами, якщо це не передбачено рішенням Приймальної комісії. У разі використання вступником під час вступного



випробування сторонніх джерел інформації (у тому числі підказки) він відсторонюється від участі у випробуваннях, про що складається акт, в якому предметна комісія вказує причину відсторонення та час. У разі використання заборонених джерел абітурієнт, на вимогу члена предметної комісії, залишає аудиторію та одержує загальну нульову оцінку.

Вступник має право подати письмову апеляцію щодо екзаменаційної оцінки (кількість балів), отриманої на вступному випробуванні. Апеляція подається письмово у вигляді заяви у довільній формі на ім'я голови Приймальної комісії ОНУ імені І. І. Мечникова. Апеляційна заява подається вступником особисто згідно з Положенням про апеляційну комісію Одеського національного університету імені І. І. Мечникова. Предметом апеляції може бути тільки оцінка з вступних випробувань. Не розглядаються апеляції, подані невчасно або з порушенням процедури подання.

Вступники, які не з'явились на вступне випробування без поважних причин у зазначений за розкладом час, до участі у подальших іспитах та конкурсному відборі не допускаються.

Голова предметної комісії



Юрій ВАКСМАН