

**Міністерство освіти і науки України  
Чернівецький національний університет  
імені Юрія Федьковича**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**  
Голова приймальної комісії  
Руслан БЛОСКУРСЬКИЙ



**Програма вступного іспиту  
для вступників на освітній рівень**

***доктор філософії***

**спеціальність 104 - Фізика та астрономія**

Чернівці - 2024

**ПРОГРАМА**  
вступного іспиту до аспірантури  
для здобуття наукового ступеня доктора філософії  
зі спеціальності **104 – Фізика та астрономія**

**ВСТУП**

Дисципліни, зміст яких входить до програми екзамену, належать до циклу дисциплін **загальної фізики:**

«Механіка», «Молекулярна фізика», «Електрика та магнетизм», «Оптика», «Фізика атома», «Фізика ядра та елементарних частинок» та

**теоретичної фізики:**

«Теоретична механіка», «Електродинаміка», «Квантова механіка», «Статистична фізика»;

Метою проведення даного екзамену є перевірка навичок та вмінь вступників щодо визначення фізичних характеристик процесів, знання основних принципів і законів фізики та їх математичного вигляду, методів спостереження і експериментального дослідження основних фізичних явищ; наявність уявлення про межі застосування фізичних моделей і теорій. Вступники повинні знати фундаментальні закони фізики, вміти застосовувати ці знання при розгляді окремих явищ, поєднувати їх фізичну суть з аналітичними співвідношеннями.

Вступне випробування відбувається відповідно до затвердженого розкладу у тестовій формі або у вигляді усного іспиту. Спосіб проведення іспиту, структура оцінки та критерії оцінювання описані в останньому розділі цієї Програми.

**ЗАГАЛЬНА ФІЗИКА**

**Механіка**

1. Імпульси матеріальної точки та механічної системи. Центр мас механічної системи. Особливості руху центру мас замкненої механічної системи. Закон збереження імпульсу.
2. Реактивний рух. Формула Мещерського залежності швидкості ракети від маси.
3. Прискорений рух по кривій траєкторії. Тангенціальне та нормальне прискорення. Вектор повороту, вектор кутової швидкості. Рівномірний рух по колу (період та частота обертання, доцентрове прискорення).
4. Сила та її вплив на матеріальні тіла. Другий та третій закони Н'ютона. Незамкнена система. Розмірності фізичних величин.
5. Потенціальна енергія матеріальної точки. Робота потенціальних сил при переміщенні матеріальної точки. Зв'язок між силою, що діє на частинку, та її потенціальною енергією.
6. Кінетична енергія матеріальної точки. Закон збереження енергії замкненої механічної системи. Потужність.
7. Границі руху. Фінітний та інфінітний рухи. Потенціальна яма, потенціальний бар'єр. Точки розвороту, точки спокою. Стійка та нестійка рівновага.
8. Момент імпульсу матеріальної точки та механічної системи. Закон збереження моменту імпульсу. Момент сили. Плече імпульсу, плече сили.
9. Закони збереження імпульсу та моменту імпульсу замкненої системи, як прояви однорідності та ізотропії простору.
10. Властивості гравітаційного поля. Сила гравітаційної взаємодії двох матеріальних точок. Вектор напруженості гравітаційного поля. Потенціал гравітаційного поля. Напруженість гравітаційного поля біля поверхні Землі.
11. Рівняння руху твердого тіла. Правила важелів Архімеда.
12. Рух в неінерційній системі. Доцентрова сила, сила Коріоліса.
13. Елементи механіки рідин. Рівняння Ейлера.
14. Гідростатика. Закони Архімеда та Паскаля. Принцип дії гідравлічного пресу.

**Молекулярна фізика**

1. Ідеальний газ. Тиск ідеального газу, його зв'язок із середньоквадратичною швидкістю молекул.
2. Відхилення газів від ідеальності. Рівняння Ван-дер-Ваальса.
3. Барометрична формула. Закон Больцмана.

4. Розподіл молекул по компонентах швидкості. Розподіл Максвелла. Найімовірніша швидкість молекул. Середня швидкість молекул.
5. Поняття оборотних і необоротних процесів. Ентропія. Закон зростання ентропії.
6. Внутрішня енергія ідеального газу. Кількість теплоти і його механічний еквівалент. Перший закон термодинаміки.
7. Теплоємність ідеальних газів ( $c_v$ ,  $c_p$ ). Теплоємність одно-, дво- і триатомних газів.
8. Взаємні перетворення механічної і теплової енергії при циклічному процесі. Коефіцієнт корисної дії теплової машини. Другий закон термодинаміки. Цикл Карно.
9. Холодильна машина. Перша теорема Карно (ККД необоротного циклу менше ККД циклу Карно).
10. Друга теорема Карно (ККД машини Карно не залежить від роду робочого тіла).
11. Фізичний зміст ентропії, ентропія і ймовірність. Ентропія і безлад. Третій закон термодинаміки.
12. Осмотичний тиск, закон Вант-Гофа (роль осмосу в живих організмах і рослинах).
13. Адіабатний процес, рівняння стану.

### **Електрика та магнетизм.**

1. Принцип суперпозиції для електричного поля.
2. Потенціал, напруженість електричного поля, одиниці вимірювання напруженості електричного поля.
3. Теорема Гауса для електричного поля в вакуумі (інтегральна і диференціальна форми).
4. Потенціал і різниця потенціалів. Потенціальний характер електричного поля.
5. Зв'язок потенціалу електричного поля  $\phi$  з напруженістю електричного поля  $E$ .
6. Закон Кулона.
7. Провідники в електричному полі. Ємність провідника. Граничні умови на поверхні провідника.
8. Електрорушійна сила (ЕРС). Одиниці вимірювання ЕРС.
9. Постійний струм. Сила і густина струму. Правила Кірхгофа.
10. Закон Біо-Савара-Лапласа. Теорема про циркуляцію магнітного поля.
11. Лінійні магнітні середовища (діа- та парамагнетики). Магнітна сприйнятливість  $\chi$  і магнітна проникність  $\mu$ .
12. Момент сил  $M$ , що діють на контур із струмом в магнітному полі індукцією  $B$ .
13. Магнітний потік. Коефіцієнти самоіндукції і взаємоіндукції. Індуктивність тороїдальної котушки.
14. Електромагнітна індукція. Правило Ленца.

### **Оптика.**

1. Хвильова природа світла. Рівняння електромагнітної хвилі. Властивості та параметри електромагнітної хвилі. Інтенсивність світла.
2. Монохроматичні хвилі. Енергія, що переноситься електромагнітною хвилею.
3. Фотометрія. Основні поняття та одиниці вимірювання (потік променевої енергії, сила світла, освітленість, яскравість та світимість джерела). Ламбертові джерела.
4. Поняття про когерентність. Фронт хвилі. Інтерференція електромагнітних хвиль. Рівняння для інтенсивності та умови мінімумів і максимумів інтерференційної картини.
5. Ширина інтерференційної смуги. Класичні інтерференційні схеми (дослід Юнга, дзеркало Ллойда, біпризма Френеля, білінза Бійє, інтерферометр Майкельсона, інтерферометр Фабрі-Перо).
6. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Зонна пластинка.
7. Дифракція електромагнітних хвиль. Види дифракції. Дифракція Фраунгофера від щілини. Дифракційна ґратка. Інтенсивність світла у дифракційній картині від ґратки.
8. Поняття про голографію. Голографія плоскої хвилі. Голограми Френеля.
9. Поляризація світла. Ступінь поляризації. Природне світло. Види поляризації.
10. Відбиття та заломлення на межі двох діелектриків. Формули Френеля.
11. Наслідки з формул Френеля. Кут Брюстера. Закон Малюса.

12. Обертання площини поляризації. Природне обертання. Ефект Фарадея. Теорія обертання.
13. Явище подвійного променезаломлення. Звичайні та незвичайні хвилі. Поляризація при подвійному променезаломленні. Дихроїзм.
14. Дисперсія світла.
15. Зв'язок між фазовою та груповою швидкостями. Поглинання світла. Закон Бугера.

### **Фізика атома.**

1. Теплове випромінювання. Закон Стефана-Больцмана. Рівняння Кірхгофа. Формула Планка для випромінювальної здатності абсолютно чорного тіла. Гіпотеза Планка для теплового випромінювання.
2. Корпускулярна природа світла. Зовнішній фотоэффект. Рівняння Ейнштейна. Червона границя фотоэффекту. Гальмівне рентгенівське випромінювання.
3. Корпускулярна природа світла. Ефект Комптона. Досліди та отримання рівняння.
4. Ядерна модель атому (атом Резерфорда). Досліди Резерфорда. Переріз розсіяння.
5. Спектр атома водню. Спектральні серії. Узагальнена формула Бальмера. Постулати Бора.
6. Теорія Бора для атома водню.
7. Хвильові властивості частинок. Гіпотеза де Бройля. Досліди для підтвердження хвильових властивостей елементарних частинок. Статистична інтерпретація хвилі де Бройля.
8. Хвильові властивості частинок. Співвідношення невизначеностей Гейзенберга (координата-імпульс, енергія-час). Їх експериментальне підтвердження.
9. Стаціонарне та часове рівняння Шредінгера.
10. Наслідки з розв'язків рівняння Шредінгера для атома водню. Квантування моменту імпульсу. Орбітальне та магнітне квантові числа. Виродження енергетичних рівнів атома.
11. Магнетизм атомів. Експериментальне визначення магнітного та орбітального моментів атому.
12. Спін електрона. Досліди Штерна-Герлаха. Магніто-механічні ефекти.
13. Принцип тотожності однакових частинок. Принцип Паулі.
14. Спін-орбітальна взаємодія. Тонка структура спектральних термів.
15. Рассел-саундерівський зв'язок. Правила Хунда. Періодична система хімічних елементів.

### **Фізика ядра та елементарних частинок.**

1. Склад атомних ядер, стабільні та нестабільні атомні ядра. Ізотопи, ізобари та ізотони.
2. Радіус атомного ядра та експерименти по дослідженню радіуса атомного ядра.
3. Енергія зв'язку атомного ядра, дефект маси ядра, надлишок (декримент) маси ядра.
4. Спін атомних ядер. Ядерний магнетон. Магнітні моменти атомних ядер в залежності від кількості нуклонів в ядрі, гіпотеза Шмідта.
5. Закон радіоактивного розпаду. Закони збереження при радіоактивному розпаді. Середня тривалість життя радіоактивного ядра. Період напіврозпаду.
6. Альфа-розпад та умови його протікання як наслідок законів збереження енергії та імпульсу.
7. Бета-розпад, види бета-розпаду.
8. Гамма-розпад. Особливості переходу атомного ядра із збудженого стану в основний.
9. Види ядерних реакцій, їх характеристики: ефективний переріз реакції, густина потоку, ймовірність реакції, вихід реакції.
10. Енергія ядерної реакції, екзотермічна та ендотермічна реакція.
11. Термоядерні реакції, проблема керованого термоядерного синтезу.
12. Особливості ядерних сил.
13. Стабільні та нестабільні елементарні частинки. Характеристики елементарних частинок, класифікація частинок.

## **ТЕОРЕТИЧНА ФІЗИКА**

### **1. Теоретична механіка**

Розв'язування рівнянь руху і початкові умови.

Закони зміни та збереження імпульсу і моменту імпульсу. Закони зміни та збереження енергії. Рух у центральній симетричному полі. Рух центра мас. Задача двох тіл. Пружне розсіяння частинок. Поперечні перерізи розсіяння. Розпад частинок. Основна задача динаміки невільної

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. Власні одновимірні коливання. Положення стійкої рівноваги. Власні і головні коливання системи. Вимушені коливання.

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

## **2. 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.

Запізнювальні і випереджаючі 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.

## **3. 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 в центральній-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. Квazистатичні 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.

## **РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА**

1. Венгреневич Р.Д., Стасик М.О. Фізика: підручник для студ. вищ. навч. закл. Чернівці, ДрукАрт, 2017. - 736 с.
2. Венгреневич Р.Д., Стасик М.О. та інші Курс фізики. Ч.1, Механіка. Молекулярна фізика та термодинаміка: Навч. посібник. Чернівці, Обл. друк., 2007. - 448 с.
3. Венгреневич Р.Д., Стасик М.О. Курс фізики. Ч.2, Електрика та магнетизм. Навч. посібник.- Чернівці: Видавничий дім "Букрек", 2008. - 456 с.
4. Венгреневич Р.Д., Стасик М.О. Курс фізики. Ч.3, Оптика. Елементи квантової механіки, атомної та ядерної фізики Навч. посібник.- Чернівці: Видавничий дім "Букрек", 2010. - 512с.
5. Дубчак Я.Й., Якібчук П.М. «Молекулярна фізика» Київ, НМК ВО, 1993р.
6. Штанько П.К., Шевченко В.Г., Омельченко О.С., Дзюба Л.Ф., Пасіка В.Р., Поляков В.М. Теоретична механіка: навчальний посібник. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 464с.
7. Сугаков В.Й. Електродинаміка. Київ, Вища школа, 1974, 271с.
8. Вакарчук І.О. Квантова механіка. – Львів: Вид-во Львівського університету, 2004. – 784 с.
9. Королук С., Мельничук С., Валь О. Основи статистичної фізики та термодинаміки. Чернівці, Книги-XXI, 2004.- 347 с.
10. Головацький В.А. Електродинаміка: навч. посібник. – Чернівці, ЧНУ, Рута.– 2011. – 280 с.

## СТРУКТУРА ОЦІНКИ ПРИ ТЕСТОВІЙ ФОРМІ ФАХОВОГО ІСПИТУ

Здобувачу пропонується відповісти на **40** тестових питань трьох рівнів складності

I-й рівень складності **25** питань по **2** бали

II-й рівень складності **10** питань по **4** бали

III-й рівень складності **5** питань по **6** балів

**Час тестування 60 хв**

### Розрахунок підсумкової кількості балів за іспит в 200 бальній шкалі

Оцінка за іспит в 200 бальній шкалі розраховується так:  
береться сума набраних балів за весь тест і додається **80** балів.  
Для успішного складання іспиту необхідно набрати не менше **140** балів

## СТРУКТУРА ОЦІНКИ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ПРИ УСНІЙ ФОРМІ ІСПИТУ

Перед усною відповіддю кожний з вступників письмово викладає відповіді на два питання білету з різних розділів Програми. На підготовку відводиться 60 хв. часу. Крім цього, після усної відповіді на два питання білету вступник відповідає на усне запитання, задане комісією, яке заноситься в протокол вступного іспиту.

### Критерії оцінювання відповіді на ПЕРШЕ та ДРУГЕ ПИТАННЯ

**38–45 балів** – здобувач ґрунтовно висвітлює питання з білету, виявляє поглиблене розуміння фізичних законів та фізичного змісту величин, що входять у ці закони, вільно послуговується науковою термінологією, ґрунтовно відповідає на уточнюючі запитання;

**30–37 бали** – здобувач у більшій мірі висвітлює питання з білету, розуміє суть фізичних законів та фізичних величин, що в них входять, допускає окремі неістотні неточності та незначні помилки;

**18–29 балів** – здобувач не повністю розкрив зміст питань з білету, виявляє поверхневе розуміння фізичної суті законів та фізичних величин; при висвітленні питань з білету не вистачає достатньої глибини та аргументації, допускаються при цьому окремі неточності та незначні помилки.

**0–17 балів** – здобувач не відповідав на питання з білету, але відповідає на уточнюючі запитання. Поверхнево розуміє суть фізичних законів та фізичних величин. У відповіді допускає суттєві помилки.

### Критерії оцінювання відповіді на усне ДОДАТКОВЕ ЗАПИТАННЯ

**8–10 балів**– здобувач ґрунтовно відповідає на усне запитання. При цьому виявляє поглиблене розуміння фізичних законів та фізичного змісту величин, що входять у ці закони, вільно послуговується науковою термінологією, ґрунтовно відповідає на уточнюючі запитання;

**6–7 бали** – здобувач у більшій мірі висвітлює питання з білету, розуміє суть фізичних законів та фізичних величин, що в них входять, допускає окремі неістотні неточності та незначні помилки.

**4–5 балів** – здобувач не повністю розкрив зміст питань з білету, виявляє поверхневе розуміння фізичної суті законів та фізичних величин; при висвітленні питань з білету не вистачає достатньої глибини та аргументації, допускаються при цьому окремі неточності та незначні помилки.

**0–3 балів**– здобувач не відповів на усне запитання, але відповідає на уточнюючі запитання. Поверхнево розуміє суть фізичних законів та фізичних величин. У відповіді допускає суттєві помилки.

### Розрахунок підсумкової кількості балів за іспит в 200 бальній шкалі

Оцінка за іспит в 200 бальній шкалі розраховується так:  
береться сума балів за два питання білету та усне запитання і додається **100** балів.

Для успішного складання іспиту необхідно набрати не менше **140** балів.