

**ПРОГРАМА**  
**вступного випробовування зі спеціальності**  
**для здобуття наукового ступеня доктора філософії**  
**у Львівському національному університеті імені Івана Франка**  
**у 2022-2023 навчальному році**  
**(очна і заочна форма навчання)**

Науковий ступінь: доктор філософії з галузі знань **10 Природничі науки**  
за спеціальністю **105 Прикладна фізика та наноматеріали**.  
Спеціалізації: **фізика напівпровідників і діелектриків,**  
**фізика металів.**

**МЕХАНІКА**

Механіка матеріальної точки. Характеристики руху: траєкторія, переміщення, швидкість, прискорення, маса, сила, кількість руху. Опис руху матеріальної точки в декартових координатах, полярних, циліндричних. Тангенціальне і нормальне прискорення точки.

Основні постулати Ньютона. Перші інтеграли рівнянь руху Ньютона. Закони збереження енергії, імпульсу, моменту імпульсу.

Коливальний рух. Рух матеріальної точки під дією квазіпружної сили. Власні коливання гармонійного осцилятора, вплив тертя та зовнішньої періодичної сили. Плоский математичний маятник: малі коливання; коливання з довільною амплітудою. Двовимірний гармонійний осцилятор. Фігури Лісажу.

Рух матеріальної точки в полі центральних сил. Закони Кеплера. Рух природних і штучних тіл в полі гравітуючих мас. Ієрархія космічних швидкостей.

Принцип відносності Галілея. Еквівалентність інерційних систем відліку. Інваріантність законів механіки в інерційних системах. Неінерційні системи відліку, що рухаються прямолінійно. Сили інерції. Опис руху тіла в обертових неінерційних системах. Відцентрова сила інерції, сила Коріоліса. Приклади прояву сил Коріоліса при русі тіл відносно поверхні Землі.

Основи спеціальної теорії відносності. Постулати Айнштейна. Перетворення Лоренца. Зміна масштабів і тривалості проміжків часу між подіями. Правило перетворення швидкостей. Рівняння руху релятивістської матеріальної точки.

Механіка системи двох матеріальних точок. Центр мас. Система центра мас та її застосування. Розділення рухів: рух центра мас, відносний рух. Фізичні величини в системі центра мас. Імпульс системи. Повна енергія системи. Момент імпульсу.

Обертання матеріальної точки навколо осі. Кутова швидкість, кутове прискорення, момент інерції. Модель твердого тіла - система жорстко зв'язаних матеріальних точок. Обертання системи матеріальних точок навколо нерухомої осі. Момент інерції. Теорема Гюйгенса – Штейнера.

Загальний випадок обертання твердого тіла навколо центра мас. Тензор інерції. Головні моменти тензора інерції. Головні осі інерції. Гіроскопи: властивості, застосування в техніці. Стійкість обертального руху гіроскопа. Пара сил. Гіроскопічний ефект. Прецесія. Кутова швидкість прецесії. Нутація.

Сили в механіці: гравітаційні сили, сили тертя і сили пружності. Закон всесвітнього тяжіння. Визначення гравітаційної сталої. Гравітаційна та інертна маса.

Механіка рідин і газів. Тиск у рідинах і газах. Закон Паскаля. Закон Архімеда. Ідеальна рідина. Рівняння неперервності. Рівняння Бернуллі. Рух в'язкої рідини. В'язкість. Формула Пуазейля. Ламінарний та турбулентний рух рідини. Число Рейнольдса. Рух тіл у рідинах і газах.

Сили тертя, сили пружності і деформації. Сили тертя, в'язке тертя. Сили пружності. Основні види деформацій. Закон Гука. Пружні властивості реальних тіл. Енергія пружної деформації.

Пружні хвилі. Поширення хвиль. Рівняння хвиль. Поздовжні та поперечні хвилі. Розподіл швидкостей і деформацій у хвилі. Енергія хвильового руху. Стоячі хвилі, залежність довжини хвилі від розміру коливної системи, роль граничних умов.

Елементи акустики. Природа звуку. Поширення звукових хвиль. Інтенсивність звуку. Сприймання звуку. Джерела звуку. Ефект Доплера. Ударні хвилі. Ультразвук та його застосування. Інфразвуки в природі.

## МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА

Молекулярно-кінетична теорія ідеальних газів. Розподіл молекул за швидкостями. Функція розподілу. Закон розподілу швидкостей Максвелла. Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії ідеальних газів. Рівняння стану ідеального газу. Основні закони ідеального газу. Розподіл Больцмана. Розподіл Максвелла-Больцмана. Броунівський рух.

Кінематичні характеристики молекулярного руху. Довжина вільного пробігу молекул газу. Газокінетичний ефективний переріз. Частота зіткнень. Середня довжина вільного пробігу молекул у заданому напрямку після останнього зіткнення.

Основи термодинаміки. Основні поняття та означення. Ступені вільності молекул. Розподіл енергії за ступенями вільності. Внутрішня енергія ідеального газу. Макроскопічна робота. Тепло. Перший закон термодинаміки. Теплоємність ідеального газу. Температурна залежність теплоємності газів. Політропний процес. Рівняння політропи. Адіабатний процес. Рівняння Пуассона. Оборотні і необоротні процеси. Другий закон термодинаміки. Цикл Карно та його коефіцієнт корисної дії. Теореми Карно. Абсолютна термодинамічна шкала температур. Інтеграл Клаузіуса. Ентропія. Зміна ентропії в ізольованих термодинамічних системах. Термодинамічна ймовірність. Зв'язок ентропії з ймовірністю стану системи. Формула Больцмана. Теорема Нернста. Третій закон термодинаміки. Недосяжність абсолютного нуля температур.

Реальні гази. Сили міжмолекулярної взаємодії в газах. Рівняння Ван-дер-Ваальса. Критичний стан речовини. Гравітаційний ефект. Внутрішня енергія реального газу. Закон відповідних станів. Ефект Джоуля-Томсона. Зрідження газів. Сучасні методи одержання низьких температур.

Явища перенесення в газах. Механізми явищ перенесення. Дифузія, теплопровідність, внутрішнє тертя (в'язкість) у газах. Коефіцієнти явищ перенесення у газах.

Рідкий стан речовини. Сучасні уявлення про будову рідин. Близький порядок рідин. Функція радіального розподілу. В'язкість рідин. Поверхневий шар рідини. Поверхневий натяг. Формула Лапласа. Змочування та капілярні явища. Поверхнево-активні речовини. Рідкі розчини. Закони Рауля. Осмотичний тиск. Закон Вант-Гоффа. Рідкі кристали.

Будова та властивості твердих тіл. Сили зв'язку у твердих тілах. Елементи симетрії кристалів. Гратки Браве. Кристалографічні класи та сингонії. Індеси Міллера. Дефекти в реальних твердих тілах. Теорія теплоємності кристалів Дюлонга-Пті, Айнштайна, Дебая. Температура Дебая.

Фазові перетворення. Поняття фази. Фазові переходи першого роду. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Крива фазової рівноваги. Діаграма станів однокомпонентної речовини. Фазові переходи другого роду. Рідкий гелій.

## ЕЛЕКТРИКА І МАГНЕТИЗМ

Електростатика. Електричний заряд. Закон збереження електричного заряду. Закон Кулона. Принцип суперпозиції. Напруженість. Теорема Гауса. Потенціальність електростатичного поля. Скалярний потенціал.

Електричний диполь. Поляризація полярних та неполярних діелектриків. Поляризованість. Формула Клаузіуса-Мосотті. Теорема Гауса для електростатичного поля в діелектриках. Вектор електричної індукції. Граничні умови для електричного поля. П'єзоелектрики, піроелектрики, сегнетоелектрики.

Енергія електричного поля. Густина енергії електричного поля.

Постійний електричний струм. Природа електричного струму. Рівняння неперервності. Диференційна форма закону Ома та закону Джоуля-Ленца.

Електропровідність. Класична теорія електропровідності. Ефект Холла.

Власна та домішкова провідність напівпровідників. Провідність металів. Надпровідність.

Контактні явища, р-п-перехід. Напівпровідниковий діод та транзистор. Термоелектричні явища.

Електропровідність електролітів. Електроліз.

Електропровідність газів. Іонізація та рекомбінація іонів. Види газового розряду. Плазма. Термоелектронна емісія. Формула Річардсона.

Стационарне магнітне поле. Магнітна взаємодія струмів. Закон Біо-Савара-Лапласа. Теорема про циркуляцію вектора магнітної індукції. Теорема Гауса для магнітного поля. Векторний потенціал. Магнітний дипольний момент струму.

Дія магнітного поля на струм. Сила Лоренца. Рух заряджених частинок в електричному та магнітному полях.

Магнітне поле в речовині. Намагнічування речовини. Вектор намагнічування. Напруженість магнітного поля. Циркуляція вектора напруженості поля у магнетику. Граничні умови для магнітного поля. Ларморова прецесія. Діа-, пара- та ферромагнетизм. Антиферромагнетики та ферити.

Енергія магнітного поля. Густина енергії магнітного поля.

Електромагнітна індукція. Закон електромагнітної індукції. Взаємо- та самоіндукція.

Квазістационарний змінний струм. Коло змінного струму. Метод комплексних амплітуд та векторних діаграм. Імпеданс.

Вимушені електричні коливання в колах змінного струму. Резонанси. Вільні електричні коливання в контурі.

Робота і потужність струму. Скін-ефект.

Система рівнянь Максвелла та їх фізичний зміст. Електромагнітні хвилі. Густина енергії електромагнітного поля. Вектор Умова - Пойнтінга. Розповсюдження електромагнітних хвиль в середовищі, яке проводить електричний струм. Поглинання електромагнітних хвиль.

## ОПТИКА

Електромагнітна теорія світла. Швидкість світла. Методи визначення швидкості світла. Фазова і групова швидкість світла в речовині. Випромінювання Вавилова-Черенкова.

Принцип Ферма та основні закони геометричної оптики. Заломлення променів на сферичній поверхні. Лінзи. Оптичні системи мікроскопа і телескопа.

Інтерференція світла. Когерентність. Просторова і часова когерентність. Експериментальне здійснення інтерференції світла. Інтерференційні спектральні прилади. Основи голографії.

Дифракція. Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракція Френзеля (круглий отвір, край екрану). Дифракція в паралельних променях. Дифракційна ґратка і її застосування. Дифракція рентгенівських променів. Дифракція на просторовій ґратці. Роздільна здатність мікроскопа і телескопа.

Поляризація світла. Поляризація при відбиванні та заломленні на межі діелектрика. Подвійне променезаломлення. Обертання площини поляризації Штучне подвійне променезаломлення та його застосування. Інтерференція поляризованих променів. Поляризаційні прилади. Еліптична поляризація. Пластинка в чверть довжини хвилі, половину довжини хвилі, компенсатори. Фазові пластинки.

Взаємодія світла з речовиною. Дисперсія світла. Нормальна і аномальна дисперсія. Методи спостереження. Застосування інтерферометра для спостереження аномальної дисперсії. Метод гаків Рождественського. Зв'язок між аномальною дисперсією та поглинанням. Електронна теорія дисперсії. Розсіяння світла. Комбінаційне розсіяння світла.

Оптична активність та циркулярний дихроїзм. Штучна анізотропія в електричному і магнітному полях. Фотопружність, ефекти Покельса, Кера. Явище Фарадея.

Теплове випромінювання. Закони Кірхгофа. Закон Стефана-Больцмана. Закон зсуву Віна. Труднощі класичної теорії випромінювання. Фотони. Формула Планка. Оптична пірметрія.

Фотоемісія металів і напівпровідників. Основні закони фотоэффекту. Ефективні фотокатоди, фотоелементи й фотопомножувачі. Електрооптичні прискорювачі та перетворювачі. Фотопровідність напівпровідників.

Тиск світла. Роботи Лебедева. Явище Комптона. Імпульс фотона.

Спонтанне і вимушене випромінювання. Люмінесценція і її види. Основні закони і застосування. Співвідношення Айнштейна. Принцип дії лазера. Основні властивості вимушеного випромінювання (монохроматичність, когерентність, направленість та ін.).

Оптика рухомих середовищ. Явище Доплера. Дослід Майкельсона. Елементи спеціальної теорії відносності.

Нелінійна оптика. Явище насичення поглинання у сильному світловому полі. Багатофотонне поглинання. Нелінійна поляризованість. Самофокусування. Самодифракція. Генерація гармонік вищого порядку.

## АТОМНА ФІЗИКА

Хвильові властивості частинок речовини. Властивості хвиль де Бройля. Дифракція електронів, нейтронів, атомів та молекул на кристалах. Властивості хвиль де Бройля. Принцип суперпозиції. Принцип невизначеності Гайзенберга. Статистична інтерпретація хвиль де Бройля. Хвильові функції та їх фізичний зміст.

Постулати квантової механіки. Описання фізичних величин операторами. Оператори енергії і імпульсу. Середні значення фізичних величин.

Рівняння Шредінгера (часове та стаціонарне) і приклади його застосування. Частинка в потенціальній ямі. Власні значення і власні функції операторів фізичних величин, задача про осцилятор, тунелювання частинок крізь потенціальний бар'єр.

Будова атомів. Досліди Резерфорда по розсіянню  $\alpha$ -частинок. Ядерна модель атома в рамках класичної механіки.

Теорія Бора. Квантова теорія атому водню. Квантові числа. Спектр атома водню. Визначення потенціалів збудження і іонізації.

Принцип Паулі. Електронні оболонки атомів. Періодична система елементів Менделєєва.

Типи зв'язків електронів в атомі. Зв'язок Рассел-Саундерса, зв'язок JJ. Визначення термів атомів для різних типів зв'язку.

Рентгенівські спектри атомів. Гальмівне та характеристичне випромінювання. Закон Мозлі. Тонка структура рентгенівських спектрів. Ефект Комптона.

Особливості оптичних спектрів складних атомів. Спін електрона. Векторна модель атома. Правила відбору при оптичних переходах. Спектри атомів з одним оптичним

електроном (атоми лужних металів). Спектри та енергетичні рівні атомів з двома оптичними електронами. (атомів ртуті та гелію).

Магнітні властивості атомів: орбітальний та спіновий магнетизм. Магнетон Бора. Сумарний магнітний момент електронної оболонки. Фактор Ланде. Просторове квантування. Метод визначення атомних магнітних моментів. Ядерний магнетизм і надтонка структура спектральних ліній.

Вплив електричного і магнітного полів на атоми. Ефект Зеемана, Пашена-Бека, Штарка. Електронний спіновий і ядерний магнітний резонанси.

Обертальні і коливальні спектри молекул. Спектри двохатомних молекул.

Основи фізики твердого тіла. Класифікація твердих тіл за типами хімічного зв'язку. Кристалічна ґратка.

Зонна теорія твердих тіл. Рівняння Шредінгера для кристала. Ефективна маса електрона. Метали, напівпровідники, діелектрики, напівметали.

## **ФІЗИКА ЯДРА ТА ЕЛЕМЕНТАРНИХ ЧАСТИНОК**

Будова атомного ядра. Енергія зв'язку і дефект маси. Основні властивості ядерних сил (радіус дії, властивості насичення, зарядова незалежність). Обмінний характер ядерних сил. Капельна модель ядра. Модель ядерних оболонок.

Виділення енергії при ядерних реакціях поділу та синтезу. Ланцюгові реакції. Перспективи здійснення керованих термоядерних реакцій. Проблема керованого термоядерного синтезу.

Взаємодія заряджених частинок і  $\gamma$ -квантів з речовиною. Іонізаційні і радіаційні втрати енергії, їх залежність від швидкості і маси частинок, властивості речовини. Проходження  $\gamma$ -квантів через речовину. Ефект Месбауера та його використання.

Дозиметрія. Одиниці дози в радіаційній фізиці.

Основні типи прискорювачів заряджених частинок. Методи реєстрації заряджених частинок.

Радіоактивний розпад, його закони. Радіоактивні ряди (сімейства). Нейтрино. Природна та штучна радіоактивність. Альфа-розпад і його квантово-механічна інтерпретація. Види  $\beta$ -розпаду.

Поняття про елементарні частини; їх властивості. Дивні частинки. Частинки і античастинки. Механізми взаємодії елементарних часток. Електромагнітна, сильна, слаба взаємодії. Кваркова модель. Об'єднана модель слабкої та сильної електромагнітної взаємодії. Квантові числа елементарних частинок.

Космічні промені. Радіаційні пояси Землі.

В.о. декана фізичного факультету \_\_\_\_\_ Ярослав ЧОРНОДОЛЬСЬКИЙ