

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Затверджую

Голова приймальної комісії
Ректор



Михайло
ЗГУРОВСЬКИЙ

02.05.2023
(дата)

ПРОГРАМА
вступного іспиту зі спеціальності

для вступу на освітньо-наукову програму підготовки доктора філософії
«Прикладна фізика»

за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали

Програму ухвалено:
Науково-методичною комісією за спеціальністю
105 Прикладна фізика та наноматеріали
Протокол № 4 від «27» квітня 2023 р.

Голова НМК

(підпис)

Сергій ВОРОНОВ

Зміст

I	Загальні відомості	2
II	Теми, що виносяться на екзаменаційне випробування	2
I	Механіка	2
II	Молекулярна фізика	4
III	Електрика і магнетизм	7
IV	Оптика	9
V	Атомна фізика та будова матерії	11
III	Рейтингова система оцінювання	14

I. Загальні відомості

Програма вступного іспиту в аспірантуру на третій (освітньо-науковий) рівень вищої освіти для здобуття наукового ступеня доктор філософії складена відповідно до освітньо-наукової програми підготовки докторів філософії за спеціальністю **105 «Прикладна фізика і наноматеріали»** і відображає основні компоненти дисциплін, що входять до загального курсу підготовки. Метою вступного іспиту є визначення рівня теоретичної та практичної підготовки вступників, визначення відповідності знань, умінь і навичок вимогам навчання в аспірантурі за обраним напрямом підготовки, їх готовності освоїти вибрану програму підготовки, виявити наукові інтереси і потенційні можливості у сфері науково-дослідної роботи. Завдання програми — дати уявлення вступникам до аспірантури про необхідний об'єм і зміст розділів і тем, які необхідні для вивчення і підготовки.

Вступний іспит до аспірантури проводиться в письмово-усній формі. Вступнику пропонується 3 запитання в межах наведеної нижче програми, на які він/вона дає письмові відповіді, і потім усно захищає ці відповіді у співбесіді з екзаменаційною комісією. Максимальна кількість балів — 100.

II. Теми, що виносяться на екзаменаційне випробування

Розділ I. Механіка

1. **Кінематика.** Предмет та явища досліджень кінематики. Матеріальна точка. Координатний та векторний способи опису руху. Радіус вектор. Системи координат. Операції з векторами. Траєкторія, шлях, переміщення. Вектор переміщення. Швидкість. Середня швидкість. Миттєва швидкість. Прискорення. Середнє прискорення. Миттєве прискорення. Довільний криволінійний рух. Кривизна траєкторії. Нормальна та тангенціальна складові прискорення. Рух по колу. Вектор елементарного кутового переміщення. Кутова швидкість. Кутове прискорення. Зв'язок кутових величин з лінійними.
2. **Динаміка.** Предмет та явища досліджень динаміки. Закони Ньютона. Перший закон. Інерціальні системи відліку. Другий закон. Сила. Маса. Третій закон. Рівність дії та протидії. Взаємозв'язок законів Ньютона та межі застосування. Динаміка обертального руху матеріальної точки. Момент сили. Момент імпульсу. Рівняння моментів.
3. **Статика.** Умови рівноваги.
4. **Закони збереження.** Зміст і значення законів збереження. Рівняння руху і закони збереження. Закон збереження імпульсу. Закон збереження моменту імпульсу. Робота. Елементарна робота. Кінетична енергія. Потенціальні поля. Робота в потенціальному полі. Потенціальна енергія. Зв'язок сили і потенціальної енергії. Потенціальна яма та потенціальний бар'єр. Закон збереження енергії в класичній механіці. Системи матеріальних точок. Центр мас. Імпульс та момент імпульсу системи. Енергія системи матеріальних точок. Кінетична енергія. Рух системи у зовнішньому потенціальному полі. Робота зовнішніх та внутрішніх сил. Закони

- збереження в системі матеріальних точок. Зіткнення. Закони збереження при зіткненнях. Рух тіл змінної маси. Реактивний рух. Рівняння Мещерського. Формули Цюлковського.
5. **Спеціальна теорія відносності (СТВ).** Постулати СТВ. Перетворення Лоренца. Наслідки перетворень Лоренца. Сповільнення часу. Власний час. Відносність одночасності і причинність. Скорочення довжини. 4-простір Мінковського. Матриця перетворень Лоренца. 4-вектори. Додавання швидкостей. Перетворення прискорень. Перехід від динаміки Ньютона до релятивістської динаміки. Залежність маси від швидкості, як наслідок виконання закону збереження імпульсу. Релятивістське рівняння руху. Релятивістські імпульс та енергія. 4-вектор імпульса-енергії. Перетворення імпульса-енергії. Закон збереження імпульса-енергії та його наслідки. Інваріанти СТВ. Просторово-часовий інтервал. Інваріантний зв'язок імпульса-енергії. Релятивістська динаміка на базі інваріантів СТВ. Вихідні рівняння. Маса — інваріант. Імпульс та енергія. Залежність напрямку сили від швидкості.
 6. **Неінерціальні системи відліку.** Інерціальні і неінерціальні системи відліку. НСВ, що рухаються прямолінійно. Сили інерції. Рівняння руху в НСВ. Принцип еквівалентності. Неінерціальні системи, що обертаються. Сили інерції в них. Коріолісове прискорення.
 7. **Тяжіння.** Закон всесвітнього тяжіння. Тяжіння кулеподібних мас. Сили тяжіння в порожнині всередині кулі, вглибині Землі. Поле тяжіння. Напруженість і потенціал гравітаційного поля. Вага. Гравітаційна енергія. Рух в однорідному полі тяжіння. Рух в полі центральних сил. Закони Кеплера. Космічні швидкості.
 8. **Рух абсолютно твердого тіла.** Загальна характеристика абсолютно твердого тіла. Кінематика абсолютно твердого тіла. Типи руху твердого тіла. Миттєва вісь обертання. Ступені вільності. Основний закон динаміки обертального руху абсолютно твердого тіла. Момент інерції абсолютно твердого тіла. Обчислення моментів інерції різних тіл. Теорема Гюйгенса-Штейнера. Тензор інерції. Головні осі та головні моменти інерції. Робота та кінетична енергія абсолютно твердого тіла, що рухається поступально і обертається. Скочування циліндра з похилої площини. Гіроскоп. Гіроскопічний ефект. Вільний та невільний гіроскопи. Прецесія та нутація гіроскопа. Деформації ТТ. Закон Гука. Модуль Юнга. Енергія деформації.
 9. **Тертя.** Сили тертя спокою та ковзання.
 10. **Коливання.** Загальна характеристика коливань. Гармонійні коливання. Рівняння руху та його розв'язок. Амплітуда, фаза, частота та період коливань. Приклади: пружний маятник, математичний маятник, фізичний маятник, коливальний контур. Енергія коливань. Представлення коливань в векторній та комплексній формах. Додавання коливань одного напрямку. Биття. Додавання взаємноперпендикулярних коливань. Фігури Ліссажу. Затухаючі коливання. Рівняння руху та його розв'язок. Декремент затухання. Логарифмічний декремент затухання і добротність. Вимушені коливання. Особливості розв'язку рівняння руху вимушених коливань. Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) та фазо-частотна характеристика (ФЧХ). Резонанс. Напівширина резонансної кривої та добротність. Автоколивання. Параметричне збудження коливань. Поняття про нелінійні коливання. Розкладання негармонійних коливань на гармонійні складові (гармоніки). Фур'є-аналіз. Спектр коливань.

11. **Хвилі.** Повздовжні та поперечні хвилі. Рівняння хвилі. Амплітуда, фаза, довжина хвилі. Енергія хвилі. Плоска хвиля. Хвильове рівняння. Швидкість хвилі в пружному середовищі. Фазова та групова швидкості. Дисперсія. Густина потоку енергії. Вектор Умова. Додавання хвиль. Стоячі хвилі. Ефект Доплера.
12. **Рух зарядів в електричному та магнітному полях.** Закон Кулона. Електричне поле. Рух зарядів в стаціонарному електричному полі. Сила Лоренца. Рух зарядів в однорідному магнітному полі. Рух зарядів в схрещених електричному та магнітному полях. Дрейф заряджених частинок. Ефект Холла. Магнетрон. Масс-спектрометр. Магнітні пастки. Елементи електронної та іонної оптики.
13. **Рух рідин та газів.** Гідродинаміка. Стаціонарна течія рідини. Трубка току. Умова нерозривності струменя. Основне рівняння гідродинаміки. Рівняння Бернуллі. Динамічний тиск. Течія в'язкої рідини. Формула Пуазейля. Ламінарні та турбулентні потоки. Число Рейнольдса.

Література до розділу «Механіка»

Основна

1. *Матвеев А. Н.* Том 1. Механика и теория относительности. — 3-е. — «Издательский дом «ОНИКС 21 век», 2003. — 432 с.
2. *Сивухин Д. В.* Общий курс физики : в 5 т. Том 1. Механика. — Изд. 4-е, стереотипное. — М. : Физматлит, 2005. — 559 с.
3. *Бушок Г. Ф., Венгер Є. Ф.* Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка : в 2 т. Т. 1. — К.: Вища школа, 2002.

Додаткова

4. *Савельев И. В.* Курс общей физики. Том 1. Механика. — 1970.
5. *Стрелков С. П.* Общий курс физики. Механика. — 1975. — 560 с.
6. *Борн М.* Эйнштейновская теория относительности. — 1972.
7. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. Выпуск 1. Современная наука о природе. Законы механики. Выпуск 2. Пространство. Время. Движение. — 3-е. — М.: Мир, 1976. — 442 с.

Розділ II. Молекулярна фізика

1. **Предмет молекулярної фізики.** Атоми і молекули, їх тепловий рух. Міжмолекулярні сили. Зв'язок властивостей речовини з її атомно-молекулярною структурою. Методи молекулярної фізики. Поява нових якостей у системі, що складається з великої кількості молекул. Динамічні і статистичні закономірності. Середні величини. Середні за часом і середні за ансамблем частинок. Роль модельних уявлень в молекулярній фізиці. Термодинамічний метод.
2. **Основні положення кінетичної теорії газів.** Модель ідеального газу. Тиск газу з точки зору молекулярно-кінетичної теорії. Зв'язок між тиском газу та середньокінетичною енергією газових молекул. Рівність середньокінетичних енергій молекул

- газу при взаємодії двох газів з непроникливою стінкою. Міра середньої кінетичної енергії — температура. Рівняння Клапейрона-Менделєєва. Стала Больцмана.
3. **Закон розподілу молекул газу за швидкостями максвелла.** Середня, найімовірніша і середньоквадратична швидкості. Розподіл газових молекул за напрямками швидкостей. Потік молекул на стінку. Експериментальна перевірка закону розподілу молекул за швидкостями.
 4. **Розподіл молекул у полі сил.** Формула Больцмана. Барометрична формула. Досліди Перрена по визначенню числа Авогадро за допомогою розподілу Больцмана. Об'єднана формула Максвелла-Больцмана розподілу молекул за швидкостями та у полі сил.
 5. **Флуктуації фізичних величин як відхилення від середнього значення.** Визначення флуктуації. Міра флуктуації. Середнє за ансамблем та часом. Ергодична гіпотеза. Біноміальний розподіл. Розподіл за Гауссом та Пуассоном. Флуктуації густини газу, розсіяння світла на флуктуаціях густини газу. Броунівський рух, теорія Ейнштейна-Смолуховського. Дослід Перрена з броунівським рухом частинок по визначенню числа Авогадро.
 6. **Зіткнення молекул газу.** Середня довжина вільного пробігу молекул, її залежність від тиску і температури. Ефективний газокінетичний переріз молекул. Середня довжина вільного пробігу молекул у суміші двох газів. Молекулярні пучки та їх використання в практиці та фізичному експерименті. Зміна кількості молекул у пучку внаслідок зіткнень з молекулами газу. Експериментальне визначення середньої довжини вільного пробігу газових молекул.
 7. **Явища переносу.** Фізична модель процесів переносу в газах: дифузії, теплопровідності, внутрішнього тертя. Загальне рівняння для явищ переносу. Зв'язок коефіцієнтів переносу з величинами, що характеризують молекулярний рух. Залежність коефіцієнтів переносу від тиску газу. Експериментальне визначення коефіцієнтів переносу.
 8. **Фізичні явища у розріджених газах.** Особливості явищ переносу у розріджених газах. Термічна та ізотермічна ефузії. Теплове ковзання. Радіометричний ефект. Елементи вакуумної техніки. Основне рівняння вакуумної техніки. Кінетика процесу відкачки. Режими течії газів у трубопроводах. В'язкісна течія. Молекулярний режим течії. Формули Кнудсена. Сучасні методи одержання та вимірювання високого та надвисокого вакууму. Компресійні, теплові, в'язкісні, радіометричні та іонізаційні манометри. Манометри для надвисокого вакууму.
 9. **Перше начало термодинаміки.** Метод термодинаміки та його зіставлення із статистичним методом. Рівноважні та нерівноважні процеси. Робота при зміні об'єму тіла. Внутрішня енергія. Кількість тепла. Кількісне формулювання першого начала термодинаміки. Застосування першого начала термодинаміки до ізопроесів у ідеальному газі. Теплоємність тіл. Термодинамічне визначення теплоємності. Розподіл енергії за степенями вільності. Теорема про рівномірний розподіл енергії за степенями вільності атомно-молекулярного руху. Внутрішня енергія та теплоємність ідеального газу. Адіабатичні і політропічні процеси. Рівняння цих процесів, робота при цих процесах. Недоліки класичної теорії теплоємності газів. Основні положення квантової теорії теплоємності газів. Формула Планка для середньої енергії системи осциляторів. Пояснення температурної залежності теплоємності газів на підставі квантових уявлень.

10. **Друге начало термодинаміки.** Принцип дії теплової та холодильної машини. Коефіцієнт корисної дії (ККД). Формулювання другого начала термодинаміки за Клаузіусом та за Томсоном і Планком. Оборотні і необоротні процеси. Цикл Карно та його ККД. Теореми Карно. Термодинамічна шкала температур. Метод циклів. Кількісне формулювання другого начала термодинаміки. Нерівність Клаузіуса. Ентропія. Обчислення змін ентропії при різних процесах. Закон зростання ентропії. Статистичний характер другого начала термодинаміки. Співвідношення між ентропією та імовірністю, формула Больцмана. Поняття про мікро- та макростан системи. Статистична вага. Стан рівноваги як найбільш імовірний. Розподіл Больцмана. Межі застосування другого начала термодинаміки. Третє начало термодинаміки. Термодинамічні потенціали і умови рівноваги. співвідношення Максвелла і рівняння Гіббса-Гельмгольца. Системи із змінною кількістю частинок. Хімічний потенціал.
11. **Реальні гази.** Природа молекулярних сил. Рівняння Ван-дер-Ваальса. Ізотерми Ван-дер-Ваальса. Взаємні перетворення пари та рідини. Критичний стан. Критичні параметри та методи їх визначення. Приведене рівняння Ван-дер-Ваальса. Внутрішня енергія газу Ван-дер-Ваальса, ефект Джоуля-Томсона. Температура інверсії. Зрідження газів і методи одержання низьких та наднизьких температур.
12. **Рідини.** Особливості рідкого стану, моделі рідини. Тепловий рух молекул у рідинах. Явища переносу в рідинах: в'язкість і дифузія. Явища на поверхні розділу між рідиною і іншими тілами. Поверхневий натяг. Крайовий кут. Змочування. Умови рівноваги на межі рідини з іншими середовищами. Формула Лапласа. Капілярні явища. Тиск насиченої пари над викривленою поверхнею рідини. Капілярно-гравітаційні хвилі.
13. **Тверді тіла.** Кристалічний та аморфний стан речовини. Елементи симетрії кристалів (вісь симетрії, площина симетрії, центр симетрії). Просторові кристалічні ґратки. Ґратки Браве. Індокси Міллера. Поверхнева енергія і зовнішня форма кристалів. Закон Кюри та Вульфа. Теплові властивості твердих тіл. Теплове розширення. Теплоємність твердих тіл. Закони Дюлонга і Пті та Джоуля і Каппа. Недоліки класичної теорії теплоємності твердих тіл. Елементи квантової теорії теплоємності. Дефекти кристалічної ґратки. Вакансії, дефекти за Шотткі і за Френкелем. Крайова та гвинтова дислокації. Вектор Бюргерса.
14. **Фазові перетворення.** Фазові перетворення I та II роду. Приклади фазових перетворень I та II роду. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса для фазового перетворення I роду. Діаграми стану двофазної та трифазної однокомпонентних систем. Криві кипіння, плавлення і сублімації. Потрійна точка. Метастабільні стани. Поліморфізм твердих тіл. Правило фаз Гіббса.
15. **Розчини.** Рідкі розчини. Закон Генрі. Закон Рауля. Зміна температур плавлення і кипіння при виникненні розчину. Осмос. Осмотичний тиск. Закон Вант-Гоффа.

Література до розділу «Молекулярна фізика»

Основна

1. *Сивухин Д. В.* Общий курс физики : в 5 т. Том 2. Термодинамика и молекулярная физика. — Изд. 5-е, стереотипное. — М. : Физматлит, 2005. — 544 с.

2. Матвеев А. Н. Том 2. Молекулярная физика. — 2-е вид. — М. : Высшая школа, 1987. — 364 с.
3. Кикоин А. К., Кикоин И. К. Молекулярная физика. — 1976.

Додаткова

4. Рейф Ф. Том 5. Статистическая физика. — М.: Наука, 1987.
5. Киттель Ч. Статистическая термодинамика. — М. : Мир, 1977. — 336 с.
6. Розанов Л. Н. Вакуумная техника (конспект лекций). — Л. : ЛПИ им. Калинина, 1971. — 176 с.

Розділ III. Електрика і магнетизм

1. **Електростатика.** Закон Кулона. Принцип суперпозиції полів. Вектор напруженості електростатичного поля. Теорема Остроградського-Гаусса та її застосування для знаходження напруженості поля. Диференціальна форма запису теореми Остроградського-Гаусса. Потенціальний характер електростатичного поля. Скалярний потенціал, різниця потенціалів.. Зв'язок між напруженістю електростатичного поля та потенціалом. Диференціальне формулювання потенціальності електростатичного поля. Рівняння Лапласа та Пуассона. Провідники в електростатичному полі. Знаходження розподілу потенціалу методами електричних зображень та застосування функцій комплексного змінного. Електроємність. Конденсатори. Енергія електричного поля, її локалізація у просторі та зв'язок з пондеромоторними силами. Теорема Ірншоу. Електричний диполь. Поле диполя. Енергія диполя в електростатичному полі. Сили, що діють на диполь. Взаємна енергія диполів. Дипольний розклад.
2. **Діелектрики в електростатичному полі.** Молекулярна картина поляризації діелектриків. Вектор поляризації. Поверхневі та об'ємні поляризаційні заряди, їх зв'язок з вектором поляризації. Електричне поле в діелектриках. Вектор електричного зміщення. Тензор діелектричної сприйнятності. Діелектрична стала. Диференціальне формулювання теореми Остроградського-Гаусса для поля в діелектриках. Граничні умови для векторів напруженості електричного поля та вектору зміщення. Енергія електричного поля в діелектриках. Сили, що діють на діелектрик в електричному полі. Сегнетоелектрики. Точка Кюрі. Сегнетоелектричні домени. Пієзоелектричний ефект. Піроелектрики.
3. **Постійний електричний струм.** Сила та густина струму. Електричне поле в умовах протікання струму. Рівняння неперервності та умови стаціонарності струму. Диференціальне формулювання закону Ома та Джоуля-Ленца. Сторонні ЕРС. Правила Кірхгофа.
4. **Магнітне поле постійного струму.** Релятивістська інваріантність електричного заряду. Електричне поле зарядів, що рухаються. Взаємодія зарядів, що рухаються. Релятивістська природа магнітної взаємодії. Сила Лоренца. Закон Ампера для магнітної взаємодії струмів. Закон Біо-Савара-Лапласа. Вектор магнітної індукції. Вектор напруженості магнітного поля. Соленоїдальність магнітних полів. Теорема про циркуляцію вектора магнітної індукції по замкненому контуру та її використання для знаходження магнітних полів. Диференціальне формулювання цієї теореми.

Рамка зі струмом у магнітному полі. Магнітний момент. Сили, що діють на рамку, її потенціальна енергія. Ефект Холла.

5. **Магнітне поле в магнетиках.** Молекулярні струми. Магнітна сприйнятливість та проникливість. Умови на границі між двома магнетиками. Вплив форми та розміру тіла на його магнітні властивості. Поле розмагнічування. Природа діамagnetизму. Гіромагнітне відношення. Теорема Лармора. Класична та квантова теорія парамагнетизму. Феромагнетизм. Магнітний гістерезис. Температурна залежність намагнічуваності феромагнетиків. Точна Кюрі. Закон Кюрі-Вейса.
6. **Електромагнітна індукція.** Закон електромагнітної індукції Фарадея. Вихрове електричне поле. Явище самоіндукції та взаємоіндукції. Коефіцієнти самоіндукції, взаємоіндукції та їх розрахунок. Магнітна енергія струму. Густина магнітної енергії та її зв'язок з силами, що діють у магнітному полі. Взаємна енергія струмів. Скін-ефект.
7. **Рівняння Максвелла.** Струм зміщення. Система рівнянь Максвелла та їх фізичний зміст. Зв'язок диференціальної та інтегральної форми рівнянь. Відносний характер електричних та магнітних полів. Інваріантність рівнянь Максвелла відносно перетворень Лоренца.
8. **Електромагнітні хвилі.** Електромагнітні хвилі як наслідок рівнянь Максвелла. Швидкість розповсюдження електромагнітних хвиль. Плоскі електромагнітні хвилі. Зв'язок між напруженістю електричної і магнітної компоненти поля в електромагнітній хвилі. Вектор Умова-Пойтінга. Теорема Пойтінга. Стоячі електромагнітні хвилі. Імпульс електромагнітних хвиль. Тиск електромагнітних хвиль. Випромінювання лінійного осцилятора. Діаграма напрямленості. Залежність випромінюваної потужності від частоти.
9. **Електропровідність твердих тіл.** Природа носіїв заряду в металах. Класична електронна теорія металів Друде-Лоренца; пояснення закону Ома, Джоуля-Ленца та Відемана-Франца. Труднощі цієї теорії. Теорія Зоммерфельда. Квантова статистика Фермі-Дірака. Енергія Фермі. Елементи зонної теорії твердих тіл. Енергетичні зони металів, напівпровідників та ізоляторів. Напівпровідники з власною та домішковою провідністю. Положення рівня Фермі. Залежність електропровідності від температури. Електричні явища на контактах. Контактна різниця потенціалів. Контакт між металом та напівпровідником, $p - n$ -перехід. Випрямляюча дія контактів. Термоелектрорушійна сила, ефекти Пельтьє та Томсона.

Література до розділу «Електрика і магнетизм»

Основна

1. *Матвеев А. Н.* Том 3. Электричество и магнетизм. — Высшая школа, 1983. — 463 с.
2. *Сивухин Д. В.* Общий курс физики : в 5 т. Том 3. Электричество. — 4-е изд. — М. : Физматлит, 2004. — 655 с.
3. *Калашников С. Г.* Электричество. — 6-е изд. — М. : Физматлит, 2004. — 624 с. — ISBN 5-9221-0312-1.

Додаткова

4. *Тамм И. Е.* Основы теории электричества. — 11-е изд. — М.: Физматлит, 2003. — 618 с.
5. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. Выпуск 5. Электричество и магнетизм. — 2-е. — М.: Мир, 1977. — 306 с.
6. *Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М.* Фейнмановские лекции по физике. Выпуск 6. Электродинамика. — 2-е. — М.: Мир, 1977. — 354 с.
7. *Парселл Э.* Берклевский курс физики : в 6 т. Том 2. Электричество и магнетизм. — 3-е изд. — М. : Наука, 1983. — 416 с.
8. *Киттель Ч.* Введение в физику твердого тела. — М.: Наука, 1978.
9. *Дэвис Д. А.* Волны, атомы и твердые тела. — К.: Наукова думка, 1981. — 284 с.
10. *Епифанов Г. И.* Физика твердого тела. — М.: Высшая школа, 1977. — 288 с.

Розділ IV. Оптика

1. **Геометрична оптика.** Наближення геометричної оптики. Принцип Ферма. Основні закони геометричної оптики. Правила знаків. Оптика параксіальних променів. Заломлення на сферичній поверхні, оптична сила, інваріанти Аббе та Лагранжа-Гельмгольца. Центровані оптичні системи. Кардинальні елементи оптичної системи. Тонка і товста лінзи. Побудова ходу променів з використанням кардинальних елементів. Властивості ідеальної оптичної системи, збільшення, формули Гауса і Ньютона, співвідношення між поперечним, поздовжнім та кутовим збільшеннями. Найпростіші оптичні інструменти: лупа, мікроскоп, зорова труба, нормальне збільшення. Аберації оптичних систем. Роль діафрагм в оптичних системах.
2. **Електромагнітна природа світла.** Хвильове рівняння. Структура електромагнітних хвиль. Монохроматична та квазімонохроматична хвиля. Дійсна та комплексна форми запису хвилі. Хвильовий вектор. Спектральний розклад світлових коливань. Хвильовий пакет. Фазова та групова швидкості. Стани поляризації світлових хвиль. Потік енергії плоскої хвилі. Потік імпульсу. Тиск світла. Фотометрія світлового випромінювання. Фотометричні величини та їх вимірювання. Співвідношення між енергетичними та світловими характеристиками випромінювання. Функція видності ока. Фізичні та фізіологічні властивості зору, акомодация ока.
3. **Розповсюдження, заломлення та відбивання електромагнітних хвиль в ізотропних середовищах.** Рівняння Максвелла для прозорих діелектриків. Матеріальні рівняння. Заломлення та відбивання світла на межі двох діелектриків. Поляризація відбитої та заломленої хвиль. Формули Френеля. Кут Брюстера. Ступінь поляризації. Зсув фази при відбиванні. Повне внутрішнє відбивання світла. Поляризація світла при повному внутрішньому відбиванні. Волоконно-оптичні елементи. Застосування волоконної оптики.
4. **Інтерференція світла.** Інтерференція плоских квазімонохроматичних хвиль. Статистичний підхід. Роль часу усереднення. Функції автокореляції та взаємної кореляції світлових полів. Когерентність світла. Двопроменева інтерференція. Метод поділу амплітуди та метод поділу хвильового фронту. Локалізація інтерференційної картини. Лінії рівного нахилу та рівної товщини. Інтерференційні схеми. Інтерференційні явища. Вплив немонохроматичності та розмірів джерела світла на якість інтерференційної картини. Часова та просторова когерентність. Інтерференційні

- покриття. Просвітлення оптики. Діелектричні дзеркала. Двопроменеві інтерферометри, інтерференційний метод визначення еталона довжини. Багатопроменеві інтерферометри. Інтерферометр Фабрі-Перо. Принцип роботи Фур'є-спектрометра.
5. **Дифракція світла.** Принцип Гюйгенса-Френеля. Рівняння дифракції Френеля і Фраунгофера. Метод зон Френеля. Прямолінійне розповсюдження світла по Френелю. Дифракція Френеля на круглому екрані, круглому отворі, напівплощині. Зонна платівка як лінза. Методи розв'язання задач дифракції. Дифракція Фраунгофера. Дифракція плоских хвиль на апертурах різної форми. Дифракційна ґратка. Амплітудні та фазові ґратки. Спектральні прилади, основні типи. Кутова та лінійна дисперсії, роздільна здатність, область вільної дисперсії. Роздільна здатність оптичних приладів. Критерій Релея. Дифракція на тривимірній ґратці. Умови Лауе. Дифракція рентгенівських променів у кристалах. Формула Вульфа-Брегга. Структурний аналіз. Методи Лауе, Брегга, Дебая-Шерера. Елементи Фур'є-оптики. Формування зображень — обернена задача дифракції. Просторова фільтрація зображень.
 6. **Голографія.** Голографія як спосіб запису інформації. Схема Габора. Голографія як двостадійний процес запису і відтворення оптичної інформації. Схема Лейта і Упатнієкса. Формування уявного і дійсного зображень. Дифузне освітлення. Товсті та тонкі голограми. Фазові голограми, дифракційна ефективність. Застосування оптичної голографії.
 7. **Дисперсія світла.** Показник заломлення ізотропного діелектрика. Поглинання світла. Дисперсія поглинання в інфрачервоній, видимій, ультрафіолетовій і рентгенівській ділянках спектра. Аномальна дисперсія світла. Класична теорія дисперсії. «Оптичний» електрон в моделі класичного осцилятора. Формула Лорентц-Лоренца. Дисперсійна формула квантової механіки. Відбивання світла від поглинаючої речовини. Формула для комплексної діелектричної проникності. Формули для уявної і дійсної частин хвильового вектора.
 8. **Розповсюдження плоскої електромагнітної хвилі в анізотропному середовищі.** Розповсюдження електромагнітних хвиль в анізотропному середовищі. Природа оптичної анізотропії. Діелектричні властивості анізотропної речовини, тензор діелектричної проникності. Головні осі кристала. Еліпсоїд Френеля. Одновісні та двовісні кристали. Подвійне променезаломлення та його пояснення. Побудова Гюйгенса для одновісних кристалів. Поляризаційні прилади. Поляризатори. Фазові пластинки. Компенсатори. Інтерференція поляризованого світла. Інтенсивність світла після проходження оптично активного середовища в схемах з паралельними і схрещеними поляризаторами. Штучна анізотропія. Електрооптичні ефекти. Механізм обертання площини поляризації. Ефект Фарадея.
 9. **Нелінійна оптика.** Потужна світлова хвиля в речовині. Залежність показника заломлення від інтенсивності. Розгляд дисперсії та поляризованості в гармонійному та ангармонійному наближенні. Нелінійна поляризованість середовища, квадратична та кубічна. Нелінійна рефракція та нелінійне поглинання. Нелінійна взаємодія випромінювання з речовиною — генерація гармонік. Умова узгодження фаз. Самофокусування та самодифракція світла.
 10. **Розсіяння світла речовиною.** Релеєвське розсіяння світла як приклад дифракції світла на неупорядкованій структурі. Розсіяння Мандельштама-Бриллюена — взаємодія світлових та акустичних хвиль. Раманівське (комбінаційне) розсіяння:

квантова і класична інтерпретація. Експериментальна схема дослідження комбінаційного розсіювання.

11. **Теплове випромінювання.** Рівноважне теплове випромінювання. Здатність тіл поглинати світло. Спектральна густина енергетичної яскравості та світності. Абсолютно чорне тіло, закони Кірхгофа. Введення М. Планком ідеї квантування. Закони Релея-Джинса та Віна як граничні випадки великих та малих частот, формули Планка.
12. **Оптичні квантові генератори.** Спонтанне та вимушене випромінювання в квантових системах. Умови підсилення вимушеного (індукованого) випромінювання. Інверсна населеність енергетичних рівнів. Часова та просторова структура випромінювання лазерів. Одномодове та багатомодове випромінювання лазерів.
13. **Фотоефект.** Головні експериментальні залежності та їх пояснення. Фотон-світловий квант, енергія, імпульс, спин фотона. Закони фотоефекту.

Література до розділу «Оптика»

Основна

1. *Сивухин Д. В.* Общий курс физики. — 3-е изд. — М. : Физматлит, 2005. — 792 с.
2. *Бутиков Е. И.* Оптика. — 2-е, переработ. и дополн. — СПб. : БХВ, 2003. — 481 с.
3. *Ахманов С. А., Никитин С. Ю.* Физическая оптика. — 2-е вид. — М. : МГУ, 2004. — 656 с.
8. *Бушок Г. Ф., Венгер Є. Ф.* Оптика. Фізика атома : в 2 т. Т. 2. — К.: Вища школа, 2001.
9. *Горбань І. С.* Оптика : в 2 т. Т. 2. — К.: Вища школа, 1979.

Додаткова

4. *Борн М., Вольф Э.* Основы оптики. — М.: Наука, 1968. — 856 с.
5. *Ландсберг Г. С.* Оптика. — 6-е. — М.: Физматлит, 2003.
6. *Калитеевский Н. И.* Волновая оптика. — 1978.
7. *Матвеев А. Н.* Том 4. Оптика. — Высшая школа, 1985. — 351 с.
11. *Лисица М. П., Валах М. Я.* Занимательная оптика : Атмосферная и космическая оптика : в 4 т. Т. 1. — М.: Логос, 2006.
12. *Лисица М. П., Валах М. Я.* Занимательная оптика : Физиологическая оптика. Мир людей : в 4 т. Т. 3. — М.: Логос, 2003.
13. *Лисица М. П., Валах М. Я.* Занимательная оптика : Физиологическая оптика. Мир животных : в 4 т. Т. 2. — М.: Логос, 2006.

Розділ V. Атомна фізика та будова матерії

1. **Корпускулярні та хвильові властивості частинок.** Досліди Резерфорда по розсіянню α -частинок. Ефективний переріз розсіювання та його залежність від енергії. Формула Резерфорда. Планетарна модель атома; труднощі її пояснення на підставі класичних уявлень. Неможливість пояснення процесів розсіювання на підставі класичних уявлень. Квантова теорія випромінювання. Квантування вільного

- електромагнітного поля. Гіпотеза Планка, фотони. Хвильова природа матерії. Формула де-Бройля. Експериментальне обґрунтування хвильової природи частинок. Ефект Рамзауера. Визначення довжини хвилі матеріальних частинок з дослідів по дифракції на кристалах. Електронोगрафія та нейтронोगрафія.
2. **Хвильова функція електрона та рівняння Шредінгера.** Хвильова функція електрона та її фізичний зміст. Статистичний характер хвильової функції. Співвідношення невизначеностей Гейзенберга. Рівняння Шредінгера; простіші випадки його розв'язку: частинка в прямокутній потенціальній ямі, проходження крізь потенціальний бар'єр. Елементи теорії збурень.
 3. **Загальна характеристика атомних спектрів.** Спектр водню та його серії. Спектральні терми. Комбінаційний принцип. Досліди Франка і Герца. Визначення потенціалів збудження та іонізації атомів. Атом водню по Бору, постулати Бора. Ізотопічний зсув спектральних ліній.
 4. **Уявлення про будову атома на основі квантової механіки.** Рух частинок в центрально-симетричному полі. Оператор моменту кількості руху, власні значення та власні функції. Рівняння Шредінгера для атома водню та його розв'язок. Стационарні стани руху атомних електронів та електронна хмара. Квантові числа та їх фізичний зміст, правила відбору для оптичних переходів. Рідбергівський атом. Структура атомів лужних металів, енергетичні рівні та структура спектру.
 5. **Магнітні властивості атомів.** Досліди Штерна і Герлаха. Гіромагнітні ефекти. Уявлення про спин. Магнітний момент електрону. Орбітальний і спіновий магнетизм. Магнетон Бора. Сумарний магнітний момент електронної оболонки атома. Фактор Ланде. Просторове квантування.
 6. **Багатоелектронні атоми.** Системи тотожних частинок. Принцип Паулі. Метод самоузгодженого поля Хартрі-Фока. Метод Томаса-Фермі. Атом гелію, рівняння Шредінгера для двохелектронного атома. Обмінна взаємодія. Енергетичний спектр атому гелію, ортогелій та парагелій. Правила Хунда. Будова та заповнення електронних оболонок складних атомів за принципом Паулі. Теорія періодичної системи елементів Менделєєва.
 7. **Фізичні основи роботи лазерів.** Спектральні терми. Ймовірність переходів. Правила відбору. Ширина спектральних ліній, інтенсивність спектральних ліній. Коефіцієнти Ейнштейна. Принцип оптичного підсилення. Умови виникнення генерації.
 8. **Рентгенівські спектри атомів.** Суцільний та характеристичний спектри рентгенівських променів. Закон Мозелі. Рентгенівські терми та переходи поміж ними; рентгенівські серії. Дублетна структура ліній рентгенівських спектрів. Спектри поглинання рентгенівських променів. Залежність поглинання від довжини хвилі та атомного номера елемента. Ефект Оже. Когерентне і некогерентне розсіювання рентгенівських променів. Ефект Комптона.
 9. **Вплив магнітного та електричного полів на атоми.** Ефект Зеемана. Квантова теорія нормального та аномального ефектів Зеемана. Ефект Пашена-Бака. Ефект Штарка. Сукупність атомів у магнітному полі. Парамагнетизм та діаманетизм речовини. Циклотронний резонанс. Електронний спіновий резонанс, методика його спостереження та застосування в фізиці твердого тіла, хімії та радіофізиці. Визначення атомних констант за допомогою магнітних резонансних ефектів.

10. **Кристалічний стан твердого тіла.** Класифікація твердих тіл за типами зв'язку. Трансляційна симетрія, базис. Структура кристалів. Іонні кристали. Кристали з ковалентними зв'язками, кристали типу алмазу. Кристали з металевим типом зв'язку. Молекулярні кристали.
11. **Коливання кристалічної ґратки.** Гармонічне наближення. Спектр власних частот одновимірних моноатомної та двоатомної ґраток. Акустичні та оптичні коливання. Фонони. Концепція квазічастинок. Теорія теплоємності. Явища ангармонізму, теплопровідність твердих тіл.
12. **Елементи зонної теорії твердих тіл.** Адіабатичне та одноелектронне наближення. Рух електронів в періодичному полі кристалічної ґратки, теорема Блоха. Зони Бріллюєна. Енергетична зонна структура та електрофізичні і оптичні властивості твердих тіл. Структура енергетичних зон в напівпровідниках. Метод ефективних мас, дірки. Електрон–фононна взаємодія.
13. **Субатомні частинки.** Електрон, протон, нейтрон, нейтріно. Античастинки. Відкриття мюонів та загальні властивості лептонів. Мезони, баріони, загальні властивості адронів. Кваркова структура баріонів та мезонів, експериментальні проявлення. Систематизація лептонів і кварків: покоління, аромати, колір.
14. **Поля.** Області проявлення, інтенсивність та основні характеристики гравітаційних, електромагнітних сил, сил слабкої та сильної взаємодії. Квантова електродинаміка. Проміжні

Література до розділу «Атомна фізика та будова матерії»

Основна

1. Широков Ю. М., Юдин Н. П. Ядерная физика. — 2-е, переработ. — М.: Наука, 1980.
2. Шпольский Э. В. Атомная физика : Введение в атомную физику : в 2 т. Т. 1. — 6-е изд., испр. — М. : Наука, 1974. — 455 с.
3. Шпольский Э. В. Атомная физика : Основы квантовой механики и строение электронной оболочки атома : в 2 т. Т. 1. — 4-е, переработанное. — М. : Наука, 1974. — 445 с.
4. Сивухин Д. В. Общий курс физики. — 2-е изд. — М. : Физматлит, 2002. — 783 с.

Додаткова

5. Соколов А. А., Тернов И. М., Жуковский В. Ч. Квантовая механика. — 1979.
6. Фриш С. Э. Оптические спектры атомов. — 1963.
7. Вакарчук І. О. Квантова механіка. — Л.: ЛДУ, 1998. — 617 с.
8. Булавін Л. А., Тартаковський В. К. Ядерна фізика. — К.: Видавництво КНУ, 2002.
9. Вальтер А. К., Залюбовский И. И. Ядерна фізика. — Х. Харьковский университет, 1991. — 368 с.
10. Находкін М. Г. Атомна фізика. — К.: Видавництво КНУ, 1999. — 533 с.
11. Білий М. У., Охрименко Б. А. Атомна фізика. — К.: Видавництво КНУ, 2009.
12. Овечко В. С., Шека Д. І. Фізика атомів та атомних структур (від класики до квантів). — К.: Видавництво КНУ, 2006.

III. Рейтингова система оцінювання

Білет комплексного фахового випробування для вступу на навчання за освітньо-науковою програмою підготовки доктора філософії за спеціальністю **105 «Прикладна фізика та наноматеріали»** містить два питання за основною програмою з фізики, одне питання — за додатковою програмою, яка містить питання за обраною спеціалізацією¹ та завдання презентувати дослідницьку пропозицію вступника.

Приклад типового завдання

1. Кінематика. Поступальний, обертальний рух матеріальної точки, зв'язок між ними. Властивості простору-часу та закони збереження.
2. Атом водню. Постулати Бора. Точний розв'язок. Оператор моменту імпульсу.
3. Питання з додатку
4. Дослідницька пропозиція

Використання допоміжного матеріалу

Під час підготовки відповідей на теоретичні питання дозволяється користуватись літературою, рекомендованою в даній програмі. Під час відповідей на теоретичні питання користуватися додатковою літературою забороняється.

Критерії оцінювання

Відповідь на теоретичні питання оцінюється за бальною шкалою за таким порядком: до 25 балів за відповіді на кожне з двох перших питань та до 30 балів — на третє. Сумарна кількість балів:

- 0—59 балів («незадовільно»): Вступник допускає грубі помилки у володінні навчальним матеріалом, має фрагментарні знання без системного розуміння вивченого, не в змозі робити узагальнення, висновки, адекватно застосовувати теоретичні знання при розв'язанні задач.
- 60 — 74 балів («задовільно»): Вступник в цілому володіє основним змістом навчального матеріалу, може застосовувати теоретичні знання при розв'язанні задач, але без глибокого всебічного аналізу, обґрунтування та аргументації, допускаючи при цьому суттєві неточності та помилки; має ускладнення під час виділення суттєвих ознак вивченого, виявлення причинно-наслідкових зв'язків і формулювання узагальнень та висновків.
- 75 — 84 балів («добре»): Вступник достатньо повно володіє навчальним матеріалом, обґрунтовано його викладає під час усних виступів та письмових відповідей, в основному розкриває зміст теоретичних питань та практичних завдань, але при аналізі складних питань не вистачає достатньої глибини та аргументації, допускаються окремі несуттєві неточності та незначні помилки. Вступник здатен виділяти суттєві ознаки вивченого, виявляти причинно-наслідкові зв'язки, формувати висновки

¹ Додаток до даної програми, затверджений протоколом №4 від 27 квітня 2023 р.

і узагальнення, вільно оперувати фактами та відомостями, але може допускати окремі несуттєві помилки.

- 85 – 100 балів («відмінно»): Вступник в повному обсязі володіє навчальним матеріалом, вільно самотійно та аргументовано його викладає під час усних виступів та письмових відповідей, глибоко та всебічно розкриває зміст теоретичних питань та практичних/розрахункових завдань, здатен виділяти суттєві ознаки вивченого, виявляти причинно-наслідкові зв'язки, формувати висновки і узагальнення, вільно оперувати фактами та відомостями.

Максимальна кількість балів – 100.

Переведення значення бальної шкали в екзаменаційну оцінку здійснюється за таким співвідношення (згідно з Положенням НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського» про прийом на навчання за освітньо-науковими програмами доктора філософії):

Сумарна кількість балів	Оцінка ECTS іспиту
95...100	Відмінно
85...94	Дуже добре
75...84	Добре
65...74	Задовільно
60...64	Достатньо
Менше 60	Незадовільно

Сума балів за відповіді на екзамені переводиться до 200-бальної шкали згідно з таблицею:

Оцінка РСО	Бали 100 ... 200	Оцінка РСО	Бали 100 ... 200	Оцінка РСО	Бали 100 ... 200	Оцінка РСО	Бали 100 ... 200
60	100.0	70	125.0	80	150.0	90	175.0
61	102.5	71	127.5	81	152.5	91	177.5
62	105.0	72	130.0	82	155.0	92	180.0
63	107.5	73	132.5	83	157.5	93	182.5
64	110.0	74	135.0	84	160.0	94	185.0
65	112.5	75	137.5	85	162.5	95	187.5
66	115.0	76	140.0	86	165.0	96	190.0
67	117.5	77	142.5	87	167.5	97	192.5
68	120.0	78	145.0	88	170.0	98	195.0
69	122.5	79	147.5	89	172.5	99	197.5
						100	200.0

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ:

Воронов Сергій Олександрович, професор, д. т. н., професор
кафедри прикладної фізики

(підпис)

Монастирський Геннадій Євгенович, доцент,
д. ф.-м. н., завідувач кафедри прикладної фізики

(підпис)

Іванова Віта Вікторівна, доцент, к. т. н., доцент
кафедри прикладної фізики

(підпис)

Бех Станіслав Вікторович, старший викладач кафедри приклад-
ної фізики

(підпис)

Халатов Артем Артемович, професор, д. т. н., академік НАН
України, професор кафедри прикладної фізики

(підпис)

Пономаренко Сергій Миколайович, доцент, к. ф.-м. н., доцент
кафедри прикладної фізики

(підпис)