

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
Приймальна комісія

ЗАТВЕРДЖУЮ
Голова приймальної комісії
ДВНЗ «УжНУ»,

_____ проф. Олександр РОГАЧ

_____ 2026 р.

ПРОГРАМА

вступного іспиту із спеціальності
для вступників на навчання для здобуття ОС доктор
філософії за спеціальністю Е6 Прикладна фізика та
наноматеріали
(вступ на основі НРК7)

РОЗРОБЛЕНО

Предметною комісією з спеціальності
Е6 Прикладна фізика та наноматеріали

Голова комісії _____ Іван НЕБОЛА

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

Програма фахового іспиту для вступників на навчання до аспірантури для здобуття третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти за спеціальністю Е6 Прикладна фізика та наноматеріали складена у відповідності до нормативних документів МОН України: Закону України «Про вищу освіту»; Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 року № 261 (в редакції постанови Кабінету Міністрів України від 19 травня 2023 року № 502) та Правил прийому на навчання для здобуття вищої освіти у Державному вищому навчальному закладі «Ужгородський національний університет» у 2026 році; перелік спеціальностей та освітніх програм, за якими оголошується прийом для здобуття освітнього ступеня доктор філософії, приведено у Додатку 1.3 до Правил прийому; нормативних документів МОН України щодо реалізації положень Болонської декларації в системі вищої освіти та згідно рекомендацій, затверджених наказами Міністерства освіти і науки від 23 січня 2004 року за №48, від 20 жовтня 2004 року за №812, від 20 січня 2005 року за №30, від 30 грудня 2005 року за №774.

Програма складена за навчальними програмами основних нормативних фундаментальних дисциплін, затвердженими Рішеннями Вченої ради фізичного факультету ДВНЗ «УжНУ», і містить перелік питань, знання яких є обов'язковим для вступників до аспірантури для здобуття вищої освіти ступеня доктора філософії зі спеціальності Е6 Прикладна фізика та наноматеріали. Мета вступного іспиту полягає в тому, щоб з'ясувати рівень професійної підготовки випускників (магістрів /спеціалістів), їх відповідність стандартам вищої освіти й можливостям продовження навчання за освітнім ступенем доктор філософії (PhD). На даному випробуванні вступники повинні продемонструвати глибокі знання теоретичних основ з фахових навчальних дисциплін загальної та теоретичної фізики, що стосується розуміння основних понять, принципів, концепцій, термінології, законів, структури і властивостей природи на різних рівнях її організації від елементарних частинок до Всесвіту, полів та явищ, що формують цілісну сучасну фізичну картину світу, усіх видів фізичних явищ, що спостерігаються у природі та їх застосування у різних сферах науки і техніки.

ПЕРЕЛІК ФАХОВИХ НАВЧАЛЬНИХ ДИСЦИПЛІН, З ЯКИХ ПРОВОДИТЬСЯ ВСТУПНЕ ВИПРОБУВАННЯ

Прикладна механіка. Математичний аналіз. Теплові явища і молекулярна фізика. Електричні і магнітні явища. Коливання і хвилі. Оптичні явища. Атомна і ядерна фізика. Електродинаміка. Квантова механіка. Матеріалознавство. Термодинаміка і статистична фізика. Фізика конденсованого стану. Фізика квантово - розмірних систем. Архітектура та програмування мікроконтролерів. Симетрія та енергетична структура в конденсованому стані. Релаксаційні явища в конструкційних матеріалах та їх моделювання.

ТЕМИ НАВЧАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ

МЕХАНІКА

Рівняння руху матеріальної точки, закони збереження. Робота. Кінетична і потенціальна енергія. Потенціальні поля. Робота в потенціальному полі. Потенціальна яма та потенціальний бар'єр. Постулати спеціальної теорії відносності (СТВ). Перетворення Лоренца. Відносність одночасності і причинність. Гранична швидкість передачі інформації. Інваріанти СТВ. Взаємозв'язок маси і енергії. Закон всесвітнього тяжіння. Рух в однорідному полі тяжіння. Рух в полі центральних сил. Основні закони небесної механіки. Закони Кеплера. Рух штучних супутників Землі. Космічні швидкості.

Загальна характеристика твердого тіла (ТТ). Кінематика ТТ. Поступальний і обертовий рух. Вільні та головні осі обертання. Миттєва вісь обертання. Ступені вільності. Кути Ейлера. Основний закон динаміки обертального руху ТТ. Момент інерції ТТ. Обчислення моментів інерції різних тіл. Теорема Гюйгенса-Ейлера-Штейнера. Тензор інерції. Головні осі та головні моменти інерції. Символи Кронеккера.

Гармонійні коливання. Рівняння руху та його розв'язок. Амплітуда, фаза, частота та період коливань. Пружний маятник. Математичний маятник. Фізичний маятник. Коливальний контур. Енергія коливань.

Представлення коливань у векторній та комплексній формах. Додавання взаємно перпендикулярних коливань. Фігури Ліссажу. Згасаючі коливання. Рівняння руху та його розв'язок. Декремент загасання. Логарифмічний декремент загасання і добротність.

Плоска хвиля. Хвильове рівняння. Динаміка хвильового процесу. Швидкість хвилі в пружному середовищі. Фазова та групова швидкості. Дисперсія. Густина потоку енергії.

Основне рівняння гідродинаміки. Рівняння Бернуллі. Течія в'язкої рідини. Формула Пуазейля. Ламінарні та турбулентні потоки. Число Рейнольдса.

МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА

Моделльні уявлення в молекулярній фізиці. Число співударів і середня довжина вільного пробігу газових молекул. Експериментальне визначення та розподіл швидкостей газових молекул. Об'єднана формула Максвелла-Больцмана розподілу молекул за швидкостями та у полі сил. Рівняння Клапейрона-Менделєєва.

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.

Елементи вакуумної техніки. Основне рівняння вакуумної техніки. Кінетика процесу відкачки. Формули Кнудсена. Сучасні методи одержання та вимірювання високого та надвисокого вакууму.

Теплоємність. Термодинамічне визначення теплоємності. Розподіл енергії за степенями вільності. Методи визначення теплоємності газів, рідин і твердих тіл. Теорії Ейнштейна і Дебая для теплоємності твердого тіла. Термодинамічна шкала температур.

Природа молекулярних сил. Рівняння та ізотерми Ван-дер-Ваальса. Взаємні перетворення пари та рідини. Критичний стан. Ефект Джоуля-Томсона. Зрідження газів і методи одержання низьких та наднизьких температур.

Поверхневий натяг. Формула Лапласа. Капілярні явища. Тиск насиченої пари над викривленою поверхнею рідини. Кристалічний та аморфний стан речовини. Елементи симетрії. Просторові кристалічні ґратки. Ґратки Браве. Індеси Міллера. Поверхнева енергія і зовнішня форма кристалів. Закон Кюри та Вульфа. Теплові властивості твердих тіл. Теплове розширення. Теплоємність твердих тіл. Недоліки класичної теорії теплоємності твердих тіл. Елементи квантової теорії теплоємності.

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. Потрійна точка. Метастабільні стани. Диференціальний термічний аналіз речовин. Рідкі кристали.

ЕЛЕКТРИКА І МАГНЕТИЗМ

Закон Кулона. Вектор напруженості електростатичного поля. Теорема Остроградського-Гауса та її застосування. Рівняння Лапласа та Пуассона. Електроємність. Конденсатори. Енергія електричного поля, її локалізація у просторі. Електричний диполь.

Поляризація діелектриків. Вектор електричного зміщення. Тензор діелектричної сприйнятливості. Діелектрична стала. Диференціальне формулювання теореми Остроградського- Гауса для поля в діелектриках. Граничні умови для вектора напруженості електричного поля та вектора зміщення. Сегнетоелектрики. Точка Кюрі. П'єзоелектричний ефект. Піроелектрики.

Сила та густина струму. Диференціальне формулювання закону Ома та Джоуля- Ленца. Сторонні ЕРС. Правила Кірхгофа.

Сила Лоренца. Принцип роботи мас-спектрометра. Закон Ампера для магнітної взаємодії струмів. Закон Біо-Савара-Лапласа. Теорема про циркуляцію вектора магнітної індукції по замкненому контуру та її використання для знаходження магнітних полів. Ефект Холла.

Магнітна сприйнятливість та проникливість. Природа діамагнетизму. Гіромагнітне відношення. Теорема Лармора. Класична та квантова теорія парамагнетизму. Спектроскопія електронного парамагнітного резонансу. Феромагнетизм. Магнітний гістерезис. Точка Кюрі. Закон Кюрі-Вейса. Магнітні домени. Квантові уявлення про природу феромагнетизму. Феро-, фері- та антиферомагнетики.

Інтегральне та диференціальне формулювання закону електромагнітної індукції Фарадея. Вихрове електричне поле.

Струм зміщення. Система рівнянь Максвелла та їх фізичний зміст. Відносний характер електричних та магнітних полів. Інваріантність рівнянь Максвелла відносно перетворень Лоренца.

Електромагнітні хвилі. Зв'язок між напруженістю електричної і магнітної компоненти поля в електромагнітній хвилі. Вектор Умова-Пойнтінга. Теорема Пойнтінга.

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. Електропровідність напівпровідників та її залежність від температури. Електричні явища на контактах. Контакт між металом та напівпровідником, *p-n*

- перехід. Випрямляюча дія контактів. Термоелектрорушійна сила, ефекти Пельтьє та Томсона.

ОПТИКА

Структура електромагнітних хвиль. Потік енергії плоскої хвилі. Потік

імпульсу. Тиск світла. Фотометричні величини та їх вимірювання. Співвідношення між енергетичними та світловими характеристиками випромінювання.

Рівняння Максвелла для прозорих діелектриків. Матеріальні рівняння. Закони заломлення та відбивання світла на межі двох діелектриків. Волоконно-оптичні елементи. Застосування волоконної оптики.

Формули Френеля. Поляризація відбитої та заломленої хвиль. Ступінь поляризації. Зсув фази при відбиванні. Коефіцієнти відбивання та заломлення світла. Кут Брюстера. Повне внутрішнє відбивання світла. Поляризація світла при повному внутрішньому відбиванні.

Інтерференція плоских хвиль. Часова та просторова когерентність. Просвітлення оптики. Багатошарові інтерференційні покриття. Принцип роботи Фур'є – спектрометра.

Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Дифракційна ґратка. Дифракція на ультразвуковій хвилі. Дифракція на тривимірній ґратці. Умови Лауе. Дифракція рентгенівських променів у кристалах. Формула Вульфа-Брегга. Структурний аналіз. Методи Лауе, Брегга, Дебая-Шеррера. Елементи Фур'є -оптики.

Голографія як двостадійний процес запису і відтворення оптичної інформації. Схеми голографічного запису інформації. Фазові голограми, дифракційна ефективність, шуми. Застосування оптичної голографії. Системи оптичного запису та обробки інформації.

Поглинання світла. Аномальна дисперсія світла. Класична теорія дисперсії. Формула Лоренц- Лоренца. Оптичні властивості металів. Формули Френеля.

Природа оптичної анізотропії. Тензор діелектричної проникності. Головні осі кристала. Еліпсоїд Френеля. Одновісні та двовісні кристали. Подвійне променезаломлення та його пояснення. Штучна анізотропія. Ефект Керра. Обертання площини поляризації світла речовиною в магнітному полі. Ефект Фарадея.

Закони фотоефекту. Квантова теорія фотоефекту. Тиск світла. Досліди Лебедева.

Розсіяння Мандельштама-Бріллюена - взаємодія світлових та акустичних хвиль. Раманівське (комбінаційне) розсіяння: квантова і класична інтерпретація. Методи коливальної спектроскопії (інфрачервона спектроскопія та спектроскопія комбінаційного розсіяння світла).

Рівноважне теплове випромінювання. Закони Релея-Джинса та Віна як граничні випадки великих та малих частот, формула Планка. Оптична пірометрія. Спонтанне та вимушене випромінювання в квантових системах. Часова та просторова структура випромінювання лазерів. Одномодове та багатомодове випромінювання лазерів.

Закони фотоефекту. Квантова теорія фотоефекту. Тиск світла. Досліди Лебедева. Спектральні серії випромінювання атомів водню. Дослід Резерфорда. Постулати Бора. Дослід Франка і Герца.

АТОМНА ФІЗИКА

Релятивістські та нерелятивістські частинки. Гіпотеза Планка, фотони. Хвильова природа матерії. Формула де-Бройля. Визначення довжини хвилі матеріальних частинок з дослідів по дифракції на кристалах. Електронографія та нейтронографія.

Хвильова функція електрона та її фізичний зміст. Статистичний характер хвильової функції. Співвідношення невизначеностей Гейзенберга. Рівняння Шредінгера.

Досліди Резерфорда по розсіянню α -частинок. Формула Резерфорда. Планетарна модель атома; труднощі її пояснення на підставі класичних уявлень.

Спектр водню та його серії. Спектральні терми. Комбінаційний принцип. Досліди Франка і Герца. Атом водню по Бору, постулати Бора.

Рівняння Шредінгера для атома водню та його розв'язок. Стаціонарні стани руху атомних електронів та електронна хмара. Квантові числа та їх фізичний зміст, правила відбору для оптичних переходів. Досліди Штерна і Герлаха. Гіромагнітні ефекти. Уявлення про спін. Магнітний момент електрона. Орбітальний і спіновий магнетизм. Магнетон Бора. Сумарний магнітний момент електронної оболонки атома. Фактор Ланде. Системи тотожних частинок. Принцип Паулі. Метод самоузгодженого поля Хартрі-Фока. Метод Томаса-Фермі. Будова та заповнення електронних оболонок складних атомів за принципом Паулі. Теорія періодичної системи елементів Менделєєва.

Спектральні терми та їх систематика, ймовірність переходів. Правила відбору. Ширина спектральних ліній, інтенсивність спектральних ліній. Коефіцієнти Ейнштейна. Принцип оптичного підсилення. Умови виникнення генерації. Лазери і мазери. Газові лазери. Характеристики лазерного випромінювання. Застосування лазерів.

Спектри поглинання рентгенівських променів. Залежність поглинання від довжини хвилі та атомного номера елемента. Ефект Оже. Когерентне і некогерентне розсіяння рентгенівських променів. Ефект Комптона.

ЯДЕРНА ФІЗИКА

Моделі ядра. Самоузгоджений ядерний потенціал та роль спін-орбітальної взаємодії. Пояснення магічних чисел. Узагальнена модель та модель парних кореляцій. Природна та штучна радіоактивність, закон радіоактивного розпаду. Ядерна ізомерія, внутрішня конверсія. Ефект Мессбауера.

Детектори ядерних частинок. Сучасні методи одержання пучків високих енергій.

Спостереження процесів народження та розпаду частинок.

Механізми ядерних реакцій. Поділ та синтез атомних ядер. Ланцюгова реакція. Проблеми керованого термоядерного синтезу, критерій Лоусона. Методи реалізації контрольованих термоядерних реакцій.

Елементарні частинки. Основні властивості та класифікація в

залежності від типу взаємодії. Розпади елементарних частинок і закони збереження. Античастинки, резонанси. Кварки. Методи ядерного магнітного та парамагнітного резонансу. Метод гамма- спектроскопії.

ЕЛЕКТРОДИНАМІКА

Математичне формулювання фундаментальних законів класичної електродинаміки. Теорема Остроградського-Гауса для вектора напруженості електричного поля. Робота електричного поля. Скалярний потенціал. Зв'язок напруженості і потенціалу електричного поля. Рівняння Пуассона та Лапласа.

Магнітне поле. Сила і густина електричного поля. Рівняння неперервності. Магнітне поле провідника із струмом. Теорема Остроградського-Гауса для вектора напруженості магнітного поля. Теорема про циркуляцію вектора напруженості. Закон Ерстеда. Векторний потенціал магнітного поля. Закон Біо-Савара-Лапласа.

Закон електромагнітної індукції. Рівняння Максвелла для змінного електромагнітного поля. Скалярний і векторний потенціали електромагнітного поля. Рівняння Д'Аламбера. Закон збереження енергії електромагнітного поля у вакуумі. Вектор Пойнтінга. Закон збереження імпульсу електромагнітного поля у вакуумі.

Вільне електромагнітне поле. Хвильове рівняння Д'Аламбера для вільного електромагнітного поля. Плоскі та сферичні електромагнітні хвилі та їх властивості. Поляризація електромагнітних хвиль. Потенціали поля у дипольному наближенні.

Рівняння електромагнітного поля у речовині. Граничні умови для векторів електромагнітного поля у вакуумі. Рівняння Максвелла-Лоренца. Вектори поляризації та електричної індукції. Вектори намагнічення і напруженості магнітного поля. Рівняння Максвелла для електромагнітного поля у речовині. Граничні умови для векторів електромагнітного поля в речовині. Закон збереження енергії для електромагнітного поля у речовині. Потенціали електромагнітного поля у речовині.

КВАНТОВА МЕХАНІКА

Основні поняття квантової механіки. Хвильові властивості частинок. Корпускулярно- хвильовий дуалізм. Хвильова функція. Принцип суперпозиції. Співвідношення невизначеностей. Процес вимірювання у квантовій механіці.

Рівняння Шредінгера. Потенціальні ями і бар'єри. Сингулярні потенціали. Частинка в зовнішньому полі. Задача двох тіл. Атом водню. Квантовий осцилятор.

Електрон в магнітному полі. Рівні і стани Ландау.

Квазікласичне наближення. Граничний перехід до класичної механіки. Правила квантування Бора-Зоммерфельда. Проходження частинки через потенційний бар'єр. Тунельний ефект. Представлення хвильових функцій і операторів у матричної формі. Формалізм Дірака. Лінійний осцилятор

(матричне подання). Оператори народження та знищення частинок.

Теорія збурень. Стаціонарна теорія збурень. Випадок двох близьких рівнів. Теорія нестаціонарних збурень. Квантові переходи.

Системи з двома базисними станами. Дворівнева система. Спін. Дослід Штерна і Герлаха.

Хвильова функція частинки зі спіном. Оператори спіна. Власні функції і власні значення операторів спіна. Спін електрона у магнітному полі. ЕПР і ЯМР.

Принцип нерозрізненості однакових частинок. Хвильові функції системи однакових частинок. Принцип Паулі. Обмінна взаємодія. Атоми і молекули. Атомні терми. Атом гелію. Ефекти Зеємана, Пашена-Бака, Штарка. Молекула водню.

Квантова теорія випромінювання. Квантування електромагнітного поля. Взаємодія електрона з випромінюванням. Поглинання і випромінювання світла атомами. Мультипольні переходи. Правила відбору. Розсіювання світла атомами. Теорія природної ширини лінії.

Теорія розсіювання. Амплітуда і перетин розсіювання. Функція Гріна задачі розсіювання. Борнове наближення. Формула Резерфорда. Потенційне і резонансне розсіювання. Непружне розсіювання.

ФІЗИКА ТВЕРДОГО ТІЛА

Примітивна комірка, елементарна комірка, комірка Вігнера–Зейтца. Класифікація ґраток Браве. Визначення оберненої ґратки. Перша зона Бріллюена.

Атомні площини, індекси Міллера. Умови Бреґґа та Лауе дифракції рентгенівських променів у кристалах. Методи Лауе та Дебая-Шеррера.

Електронні стани у кристалах. Періодичний потенціал. Теорема Блоха. Поверхня Фермі.

Густина станів. Загальний підхід до розв'язку рівняння Шредінґера у випадку слабкого періодичного потенціалу.

Енергетичні рівні електрона поблизу бреґґівської площини. Енергетична щілина.

Енергетичні зони в одновимірному та трьохвимірному випадках. Зони Бріллюена.

Фонони. Класична теорія гармонічного кристала. Гармонічне наближення. Адіабатичне наближення. Закон Дюлонґа і Пті. Нормальні моди одновимірної ґратки Браве.

Квантова теорія гармонічного кристалу. Нормальні моди і фонони. Загальний вираз для теплоємності ґратки. Теплоємність кристалів при високих, низьких та проміжних температурах. Моделі Дебая та Ейнштейна. Ґраткова та електронна питомі теплоємності. Густина нормальних мод.

Метали. Фонони у металах. Закон дисперсії, діелектрична проникливість металу. Електроопір металів. Процеси перекиду, захоплення фононів. Електростатика діелектриків. Теорія локального поля. Поляризуємість діелектриків. Магнітні властивості кристалів.

Намагніченість і сприйнятливість. Сприйнятливість діелектриків з повністю заповненими атомними оболонками, ларморівський діамагнетизм. Правило Хунда. Сприйнятливість діелектриків, які містять іони з частково заповненою оболонкою. Парамагнетизм. Сприйнятливість металів, парамагнетизм Паулі. Діамагнетизм електронів провідності.

Типи магнітних структур. Термодинамічні властивості поблизу точки виникнення магнітного порядку. Спінові хвилі. Теорія молекулярного поля. Дипольна взаємодія у феромагнетиках. Домени.

Електричні та магнітні властивості надпровідників. Критична температура, критичні магнітні поля та труми. Проникнення магнітного поля в надпровідник. Куперівські пари. Теорія надпровідності Бардіна–Купера–Шріфера, основний стан та елементарні збудження. Тунелювання куперівських пар, ефект Джозефсона. Квантування магнітного потоку, флюксоїд, СКВІДи. Високотемпературна надпровідність.

ФІЗИКА НАПІВПРОВІДНИКІВ

Напівпровідники. Особливості електронних властивостей. Механізм електропровідності власних і домішкових напівпровідників. Модельні уявлення. Енергетичний спектр електрона в твердому тілі. Заповнення зон електронами. Рівняння Шредінгера для кристала.

Статистика електронів і дірок у напівпровідниках. Концентрація електронів і дірок у власному і домішковому напівпровідниках. Дифузія і дрейф нерівноважних носіїв заряду. Рівняння неперервності. Рухливість. Дифузія і дрейф носіїв заряду в домішковому і власному напівпровідниках. Співвідношення Ейнштейна.

Контактні явища в напівпровідниках. Термоелектронна емісія і робота виходу. Контакт напівпровідника з металом. Випрямлення на контактні метал - напівпровідник. Випрямлення на $p-n$ переході. Рівняння та графік вольт-амперної характеристики ідеального $p-n$ переходу. Ємність $p-n$ переходу. Тунельний ефект і електростатична іонізація.

Термоелектричні явища. Ефект Зеебека. Ефект Пельтьє. Ефект Томсона. Гальваномагнітні явища. Ефект Холла в напівпровідниках. Оптичні властивості напівпровідників. Спектри відбивання і поглинання. Механізми поглинання світла. Фотоелектричні явища в напівпровідниках. Фотопровідність. Криві релаксації фотопровідності. Визначення положення рівня Фермі. Рівень Фермі при ненульових температурах. Енергія Фермі. Фотогальванічні явища в напівпровідниках. ЕРС Дембера і вентильна фотоерс. Вплив електричного і магнітного полів на оптичне поглинання в напівпровідниках. Ефективна маса носіїв заряду. Зонна структура деяких напівпровідників.

КВАНТОВА ЕЛЕКТРОНІКА

Рівноважний стан квантових систем, заселеність енергетичних рівнів. Спонтанні та вимушені переходи, ймовірність переходів. Співвідношення Ейнштейна. Дозволені та заборонені переходи. Квантове підсилення та

поглинання. Умови лазерної генерації. Оптичні резонатори. Типи мод.

Умова стійкості резонатора. Ширина лінії генерації. Кінетичні рівняння лазерної системи. Дво- та трирівневі системи.

Динаміка генерації лазера. Поле в резонаторі. Матеріальні рівняння. Рівняння багатомодового лазера. Стаціонарна генерація лазера. Вплив просторової неоднорідності поля мод та спектральної неоднорідності активного середовища на характеристики лазерного випромінювання.

Лазер з модуляцією добротності резонатора. Режим синхронізації мод. Спектральні характеристики лазерного випромінювання. Принцип управління довжиною хвилі лазера. Частотний спектр випромінювання лазера. Одномодові і одночастотні лазери. Синхронізація мод. Одержання ультракоротких і надпотужних лазерних імпульсів.

Принцип роботи і основні характеристики твердотільних лазерів. Напівпровідникові лазери. Створення інверсної заселеності і виникнення генерації.

Лазери на атомарних газових системах. Гелій-неоновий лазер, механізм роботи, кінетичні рівняння заселеності. Іонні газові лазери.

Фізика ексимерних та ексиплексних лазерів. Поняття про голографію і її застосування. Типи голограм: Габора, Френеля, Фраунгофера, Денисюка. Запис голограм та відновлення зображення. Методи атомної емісійної спектроскопії.

НЕЛІНІЙНА ОПТИКА

Лінійна та нелінійна поляризація матеріального середовища. Тензори нелінійної сприйнятливості. Методи розрахунку нелінійної сприйнятливості. Методи вимірювання оптичних нелінійностей.

Генерація другої гармоніки. Взаємодія плоских хвиль. Фазові синхронізми та методи узгодження фаз. Формування імпульсів та їх скорочення. Дисперсійне розпливання імпульсів.

Трихвильова параметрична взаємодія. Параметричне підсилення світлових пучків та імпульсів. Умови фазового синхронізму. Параметричні перетворення частоти. Параметричні генератори світла.

Стимульоване розсіювання світла: Вимушене комбінаційне розсіювання Мандельштама-Бріллюена, вимушене температурне розсіювання. Насичення розсіювання.

Нелінійна рефракція: фізичні механізми. Самофокусування та самодефокусування. Фазова самомодуляція світла. Нелінійне поглинання. Теорія двохфотонного поглинання. Особливості двохфотонного поглинання в напівпровідниках (практичне використання).

Оптична бістабільність. Оптичний транзистор, оптичні логічні елементи, інші типи бістабільних пристроїв.

НАНОМАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ЇХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Основи класифікації наноматеріалів та сфери їх використання. Фізичні властивості наноматеріалів. Методи отримання наночастинок. Різновиди наноматеріалів: загальна класифікація. Фулерени. Характеристики типових наноматеріалів (фулерити, нанотрубки, квантові точки, нанодропи і нановолокна). Ультрадисперсні наноматеріали.

Фазові рівноваги і термодинаміка наноматеріалів. Фононний спектр і теплові властивості наноматеріалів. Провідність, оптичні характеристики, діелектрична проникність і теплопровідність наноматеріалів. Перколяційна провідність і плазмовий резонанс в наноматеріалах. Структура, електричні та оптичні властивості аморфних халькогенідних плівок, отриманих різними методами. Наногетероморфізм аморфних структур. Магнітні властивості наноматеріалів. Механічні властивості наноструктурних матеріалів. Повзучість. В'язкість (внутрішнє тертя). Твердість, міцність, пластичність, пружні характеристики наноматеріалів. Теоретичний розгляд механізмів деформації наноматеріалів.

Наноматеріали зі спеціальними фізичними властивостями: магнітні наноматеріали, наноструктуровані напівпровідникові матеріали. Наноматеріали для ядерної енергетики. Наноматеріали для медицини і біології.

Методи діагностики наноматеріалів. Електронна мікроскопія. Просвічувальна електронна мікроскопія. Растрова електронна мікроскопія. Спектральні методи дослідження. Електронна Оже-спектроскопія. Мас-спектроскопія вторинних іонів. Лазерний мікрозондовий аналіз. Сканувальні зондові методи дослідження. Сканувальна тунельна мікроскопія. Атомно-силова мікроскопія. Магнітосилова зондова мікроскопія. Сканувальна мікроскопія ближньої оптичної зони.

ПЕРЕЛІК ЕКЗАМЕНАЦІЙНИХ ЗАПИТАНЬ

ЗАГАЛЬНА ФІЗИКА

1. Рівняння руху матеріальної точки, закони збереження. Робота. Кінетична і потенціальна енергія. Потенціальні поля. Робота в потенціальному полі.

2. Закон всесвітнього тяжіння. Рух в однорідному полі тяжіння. Рух в полі центральних сил. Основні закони небесної механіки. Закони Кеплера. Рух штучних супутників Землі.

3. Вільні та головні осі обертання. Миттєва вісь обертання. Ступені вільності. Основний закон динаміки обертового руху твердого тіла. Момент інерції твердого тіла. Обчислення моментів інерції різних тіл.

4. Рівняння гармонійних коливань та його розв'язок. Енергія коливань. Представлення коливань в векторній та комплексній формах. Згасаючі коливання. Логарифмічний декремент загасання і добротність.

5. Основне рівняння гідродинаміки. Рівняння Бернуллі. Течія в'язкої рідини. Формула Пуазейля. Ламінарні та турбулентні потоки. Число Рейнольдса.

6. Експериментальне визначення та розподіл швидкостей газових молекул. Об'єднана формула Максвелла.

7. Фізична модель процесів переносу в газах. Загальне рівняння для явищ переносу. Експериментальне визначення коефіцієнтів переносу.

8. Елементи вакуумної техніки. Основне рівняння вакуумної техніки. Кінетика процесу відкачки. Формули Кнудсена. Сучасні методи одержання та вимірювання високого та надвисокого вакууму.

9. Термодинамічне визначення теплоємності. Розподіл енергії за ступенями вільності. Методи визначення теплоємності газів, рідин і твердих тіл. Теорії Ейнштейна і Дебая для теплоємності твердого тіла. Термодинамічна шкала температур.

10. Рівняння та ізотерми Ван-дер-Ваальса. Взаємні перетворення пари та рідини. Критичний стан. Ефект Джоуля-Томсона. Зрідження газів і методи одержання низьких та наднизьких температур.

11. Теплові властивості твердих тіл. Теплове розширення. Теплоємність твердих тіл. Недоліки класичної теорії теплоємності твердих тіл. Елементи квантової теорії теплоємності.

12. Фазові перетворення I та II роду. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса для фазового перетворення I роду. Діаграми стану двофазної та трифазної однокомпонентних систем. Потрійна точка. Диференціальний термічний аналіз речовин.

13. Закон Кулона. Вектор напруженості електростатичного поля. Теорема Остроградського-Гауса та її застосування. Рівняння Лапласа та Пуассона. Електроємність. Конденсатори.

14. Поляризація діелектриків. Тензор діелектричної сприйнятливості. Диференціальне формулювання теореми Остроградського-Гауса для поля в діелектриках. Сегнетоелектрики. Точка Кюрі. П'єзоелектричний ефект. Піроелектрики. Сила та густина струму. Диференціальне формулювання закону Ома та Джоуля-Ленца. Сторонні ЕРС. Правила Кірхгофа.

15. Закон Ампера для магнітної взаємодії струмів. Закон Біо-Савара-Лапласа. Сила Лоренца. Ефект Холла. Принцип роботи мас-спектрометра.

16. Класифікація магнетиків. Природа діамагнетизму. Класична та квантова теорія парамагнетизму. Спектроскопія електронного парамагнітного резонансу. Феромагнетизм. Точка Кюрі. Закон Кюрі-Вейса. Квантові уявлення про природу феромагнетизму.

17. Система рівнянь Максвелла та їх фізичний зміст. Відносний характер електричних та магнітних полів. Інваріантність рівнянь Максвелла відносно перетворень Лоренца.

18. Електромагнітні хвилі. Зв'язок між напруженістю електричної і магнітної компоненти поля в електромагнітній хвилі. Вектор Умова-Пойнтінга. Теорема Пойнтінга.

19. 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.

20. Елементи зонної теорії твердих тіл. Енергетичні зони металів, напівпровідників та ізоляторів. Електропровідність напівпровідників та її залежність від температури

21. Електричні явища на контактах. Контакт між металом та напівпровідником, $p-n$ - перехід. Випрямляюча дія контактів. Термоелектрорушійна сила, ефекти Пельтьє та Томсона.

22. Рівняння Максвелла для прозорих діелектриків. Матеріальні рівняння. Закони заломлення та відбивання світла на межі двох діелектриків. Волоконно-оптичні елементи. Застосування волоконної оптики.

23. Формули Френеля. Поляризація відбитої та заломленої хвиль. Ступінь поляризації. Зсув фази при відбиванні. Коефіцієнти відбивання та заломлення світла. Кут Брюстера. Повне внутрішнє відбивання світла.

24. Інтерференція плоских хвиль. Часова та просторова когерентність. Просвітлення оптики. Багатошарові інтерференційні покриття. Принцип роботи Фур'є-спектрометра.

25. Принцип Гюйгенса-Френеля. Метод зон Френеля. Дифракційна ґратка. Дифракція рентгенівських променів у кристалах. Формула Вульфа-Брегга. Структурний аналіз. Методи Лауе, Брегга, Дебая-Шеррера. Елементи Фур'є-оптики.

26. Голографія як двостадійний процес запису і відтворення оптичної інформації. Схеми голографічного запису інформації. Фазові голограми, дифракційна ефективність, шуми. Застосування оптичної голографії. Системи оптичного запису та обробки інформації.

27. Поглинання світла. Аномальна дисперсія світла. Класична теорія дисперсії. Формула Лоренца-Лоренца. Оптичні властивості металів. Формули Френеля.

28. Природа оптичної анізотропії. Тензор діелектричної проникності. Головні осі кристала. Еліпсоїд Френеля. Одновісні та двовісні кристали. Подвійне променезаломлення та його пояснення. Штучна анізотропія. Ефект Керра. Обертання площини поляризації світла речовиною в магнітному полі. Ефект Фарадея.

29. Закони фотоефекту. Квантова теорія фотоефекту. Тиск світла. Досліди Лебедева. Розсіювання Мандельштама-Бріллюена - взаємодія світлових та акустичних хвиль. Раманівське (комбінаційне) розсіяння: квантова і класична інтерпретація. Методи коливальної спектроскопії (інфрачервона спектроскопія та спектроскопія комбінаційного розсіяння світла).

30. Рівноважне теплове випромінювання. Закони Релея-Джинса та Віна. Оптична пірометрія. Спонтанне та вимушене випромінювання в квантових системах. Одномодове та багатомодове випромінювання лазерів.

31. Спектральні серії випромінювання атомів водню. Дослід Резерфорда. Постулати Бора. Дослід Франка і Герца.

32. Релятивістські та нерелятивістські частинки. Гіпотеза Планка, фотони. Хвильова природа матерії. Формула де-Бройля. Визначення довжини хвилі матеріальних частинок з дослідів по дифракції на кристалах. Електронोगрафія та нейтронोगрафія.

33. Хвильова функція електрона та її фізичний зміст. Статистичний характер хвильової функції. Співвідношення невизначеностей Гейзенберга. Рівняння Шредінгера.

34. Досліди Резерфорда по розсіянню α -частинок. Формула Резерфорда. Планетарна модель атома; труднощі її пояснення на підставі класичних уявлень.

35. Рівняння Шредінгера для атома водню та його розв'язок. Стаціонарні стани руху атомних електронів та електронна хмара. Квантові числа та їх фізичний зміст, правила відбору для оптичних переходів.

36. Досліди Штерна і Герлаха. Гіромагнітні ефекти. Уявлення про спіни. Магнітний момент електрона. Орбітальний і спіновий магнетизм. Магнетон Бора. Сумарний магнітний момент електронної оболонки атома. Фактор Ланде.

37. Системи тотожних частинок. Принцип Паулі. Метод самоузгодженого поля Хартрі-Фока. Будова та заповнення електронних оболонок складних атомів за принципом Паулі.

38. Спектральні терми та їх систематика, ймовірність переходів. Правила відбору. Ширина спектральних ліній, інтенсивність спектральних ліній. Коефіцієнти Ейнштейна. Принцип оптичного підсилення. Умови виникнення генерації. Лазери і мазери.

39. Спектри поглинання рентгенівських променів. Ефект Оже. Когерентне і некогерентне розсіяння рентгенівських променів. Ефект Комптона.

40. Моделі ядра. Самоузгоджений ядерний потенціал та роль спин-орбітальної взаємодії. Пояснення магічних чисел. Узагальнена модель та модель парних кореляцій.

41. Природна та штучна радіоактивність, закон радіоактивного розпаду. Ядерна ізомерія, внутрішня конверсія. Ефект Мессбауера.

42. Детектори ядерних частинок. Сучасні методи одержання пучків високих енергій. Спостереження процесів народження та розпаду частинок.

43. Механізми ядерних реакцій. Поділ та синтез атомних ядер. Ланцюгова реакція. Проблеми керованого термоядерного синтезу, критерій Лоусона. Методи реалізації контрольованих термоядерних реакцій.

44. Елементарні частинки. Основні властивості та класифікація в залежності від типу взаємодії. Розпади елементарних частинок і закони збереження. Античастинки, резонанси. Кварки.

45. Методи ядерного магнітного та парамагнітного резонансу. Метод гамма-спектроскопії

46. Математичне формулювання фундаментальних законів класичної електродинаміки. Теорема Остроградського-Гауса для вектора напруженості електричного поля. Рівняння Пуассона та Лапласа. 49.

Теорема про циркуляцію вектора напруженості магнітного поля. Закон Ерстеда. Векторний потенціал магнітного поля. Закон Біо-Савара-Лапласа.

50. Закон електромагнітної індукції. Рівняння Максвелла для змінного електромагнітного поля. Скалярний і векторний потенціали електромагнітного поля. Рівняння Д'Аламбера

51. Закон збереження енергії електромагнітного поля у вакуумі. Вектор Пойнтінга.

52. Плоскі та сферичні електромагнітні хвилі та їх властивості. Поляризація електромагнітних хвиль. Потенціали поля у дипольному наближенні.

53. Рівняння електромагнітного поля у речовині. Граничні умови для векторів електромагнітного поля у вакуумі. Рівняння Максвелла-Лоренца.

54. Хвильові властивості частинок. Корпускулярно-хвильовий дуалізм. Хвильова функція. Принцип суперпозиції. Співвідношення невизначеностей. Процес вимірювання у квантовій механіці.

55. Рівняння Шредінгера. Потенціальні ями і бар'єри. Сингулярні потенціали.

56. Частинка у зовнішньому полі. Задача двох тіл. Атом водню. Квантовий осцилятор. Електрон у магнітному полі. Рівні і стани Ландау.

57. Граничний перехід до класичної механіки. Правила квантування Бора-Зоммерфельда. Проходження частинки через потенційний бар'єр. Тунельний ефект.

58. Представлення хвильових функцій і операторів у матричній формі. Формалізм Дірака. Лінійний осцилятор (матричне подання).

59. Двохрівнева система. Спін. Дослід Штерна і Герлаха. Хвильова функція частинки зі спіном. Власні функції і власні значення операторів спіна. Спін електрона у магнітному полі. ЕПР і ЯМР.

60. Принцип нерозрізненості однакових частинок. Хвильові функції системи однакових частинок. Принцип Паулі. Обмінна взаємодія.

61. Атомні терми. Атом гелію. Ефекти Зеємана, Пашена-Бака, Штарка. Молекула водню.

62. Квантова теорія випромінювання. Квантування електромагнітного поля. Взаємодія електрона з випромінюванням. Поглинання і випромінювання світла атомами. Мультипольні переходи. Правила відбору.

ФІЗИКА ТВЕРДОГО ТІЛА

1. Примітивна комірка, елементарна комірка, комірка Вігнера-Зейтца. Класифікація ґраток Браве.

2. Визначення оберненої ґратки. Перша зона Бріллюена.

3. Атомні площини, індекси Міллера. Умови Брегга та Лауе дифракції рентгенівських променів у кристалах. Методи Лауе та Дебая-Шеррера.

4. Квантова теорія гармонічного кристала. Нормальні моди і фонони.

Загальний вираз для теплоємності ґратки. Теплоємність кристалів при високих, низьких та проміжних температурах. Моделі Дебая та Ейнштейна. Метали. Фонони у металах. Закон дисперсії, діелектрична проникливість метала. Електроопір металів. Процеси перекиду, захоплення фононів.

5. Електростатика діелектриків. Теорія локального поля. Поляризуємість діелектриків.

6. Типи магнітних структур. Термодинамічні властивості поблизу точки виникнення магнітного порядку. Спінові хвилі. Теорія молекулярного поля. Дипольна взаємодія у феромагнетиках. Домени. 7. Електричні та магнітні властивості надпровідників. Критична температура, критичні магнітні поля та струми.

8. Теорія надпровідності Бардіна–Купера–Шріфера. Тунелювання куперівських пар, ефект Джозефсона. Квантування магнітного потоку, флюксоїд, СКВІДи. Високотемпературна надпровідність.

ФІЗИКА НАПІВПРОВІДНИКІВ

1. Напівпровідники. Особливості електронних властивостей. Механізм електропровідності власних і домішкових напівпровідників.

2. Статистика електронів і дірок в напівпровідниках. Концентрація електронів і дірок у власному та домішковому напівпровідниках. Дифузія і дрейф нерівноважних носіїв заряду. Співвідношення Ейнштейна.

3. Контактні явища в напівпровідниках. Контакт напівпровідника з металом. Випрямлення на контакті метал - напівпровідник.

4. Випрямлення на $p-n$ переході. Рівняння та графік вольт-амперної характеристики ідеального $p-n$ переходу. Ємність $p-n$ переходу. Тунельний ефект і електростатична іонізація.

5. Термоелектричні явища. Ефект Зеєбека. Ефект Пельтьє. Ефект Томсона. Гальваномагнітні явища. Ефект Холла в напівпровідниках.

6. Оптичні властивості напівпровідників. Спектри відбивання і поглинання. Механізми поглинання світла. Фотоелектричні явища в напівпровідниках. Фотопровідність.

7. Фотогальванічні явища в напівпровідниках. ЕРС Дембера і вентильна фотоерс.

8. Вплив електричного і магнітного полів на оптичне поглинання в напівпровідниках. Ефективна маса носіїв заряду. Зонна структура деяких напівпровідників.

КВАНТОВА ЕЛЕКТРОНІКА

1. Рівноважний стан квантових систем, заселеність енергетичних рівнів.

Спонтанні та вимушені переходи. Співвідношення Ейнштейна.

2. Квантове підсилення та поглинання. Умови лазерної генерації. Оптичні резонатори. Кінетичні рівняння лазерної системи.

3. Динаміка генерації лазера. Рівняння багатомодового лазера.

Стационарна генерація лазера.

4. Лазер з модуляцією добротності резонатора. Режим синхронізації мод. Спектральні характеристики лазерного випромінювання. Принцип управління довжиною хвилі лазера.

5. Частотний спектр випромінювання лазера. Одномодові і одночастотні лазери. Синхронізація мод. Одержання ультракоротких і надпотужних лазерних імпульсів.

6. Принцип роботи і основні характеристики твердотільних лазерів. Напівпровідникові лазери. Створення інверсної заселеності і виникнення генерації.

7. Лазери на атомарних газових системах. Гелій-неоновий лазер, механізм роботи, кінетичні рівняння заселеності. Іонні газові лазери.

8. Фізика ексимерних та ексиплексних лазерів. Поняття про голографію і її застосування. Типи голограм: Габора, Френеля, Фраунгофера, Денисюка. Запис голограм та відновлення зображення.

НЕЛІНІЙНА ОПТИКА

1. Лінійна та нелінійна поляризація матеріального середовища. Тензори нелінійної сприйнятливості.

Методи вимірювання оптичних нелінійностей.

2. Генерація другої гармоніки. Взаємодія плоских хвиль. Фазові синхронізми та методи узгодження фаз. Формування імпульсів та їх скорочення.

3. Трихвильова параметрична взаємодія. Параметричне підсилення світлових пучків та імпульсів. Умови фазового синхронізму. Параметричні перетворення частоти. Параметричні генератори світла. 4. Стимульоване розсіювання світла. Вимушене комбінаційне розсіювання Мандельштама-Бріллюена, вимушене температурне розсіювання.

5. Нелінійна рефракція: фізичні механізми. Самофокусування та самодефокусування. Фазова самомодуляція світла.

6. Нелінійне поглинання. Теорія двофотонного поглинання. Особливості двофотонного поглинання в напівпровідниках (практичне використання).

7. Оптична бістабільність. Оптичний транзистор, оптичні логічні елементи, інші типи бістабільних пристроїв.

НАНОМАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ЇХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Основи класифікації наноматеріалів та сфери їх використання. Фізичні властивості наноматеріалів.

Методи отримання наночастинок. Фулерени. Характеристики типових наноматеріалів (фулерити, нанотрубки, квантові точки, нанодропи і нановолокна).

2. Фазові рівноваги і термодинаміка наноматеріалів. Фононний спектр і теплові властивості наноматеріалів.

3. Провідність, оптичні характеристики, діелектрична проникність і теплопровідність наноматеріалів.
4. Перколяційна провідність і плазмовий резонанс в наноматеріалах.
5. Структура, електричні та оптичні властивості аморфних халькогенідних плівок, отриманих різними методами.
6. Механічні властивості наноструктурних матеріалів. Повзучість. В'язкість (внутрішнє тертя). Теоретичний розгляд механізмів деформації наноматеріалів.
7. Наноматеріали зі спеціальними фізичними властивостями: магнітні наноматеріали, наноструктуровані напівпровідникові матеріали. Наноматеріали для ядерної енергетики. Наноматеріали для медицини і біології.
8. Методи діагностики наноматеріалів. Електронна мікроскопія. Просвічувальна електронна мікроскопія. Растрова електронна мікроскопія. Спектральні методи дослідження наноматеріалів. Електронна Оже-спектроскопія. Мас-спектроскопія вторинних іонів. Лазерний мікрозондовий аналіз.
9. Сканувальні зондові методи дослідження. Сканувальна тунельна мікроскопія. Атомно-силова мікроскопія. Магнітосилова зондова мікроскопія. Сканувальна мікроскопія ближньої оптичної зони.

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ВСТУПНОГО ВИПРОБОВУВАННЯ

Фахове вступне випробування має кваліфікаційний характер і передбачає перевірку компетентностей вступників до аспірантури. Іспит проводиться в формі усного екзамену та оцінюється за шкалою в межах 100-200 балів. Підготовка до питань за білетами здійснюється на відповідному бланку приймальної комісії. До білету включено 3 теоретичні питання з різних розділів фізики.

Бали	Характеристика відповіді
180 -200	Заслужує вступник, який виявив всебічне і глибоке знання програмового матеріалу, розуміє взаємозв'язок головних понять дисциплін та їх значення для науково-професійної діяльності. Виявляє правильне розуміння фізичного змісту розглядуваних явищ і закономірностей, законів і теорій, дає точне визначення і тлумачення основних понять, а також правильне визначення фізичних величин, будує відповідь за власним планом, супроводжує розповідь власними прикладами, вміє застосувати знання в новій ситуації, при виконанні практичних завдань; може встановити зв'язок між матеріалом, що вивчається в курсах загальної й теоретичної фізики. Здобувач дав повні відповіді на питання.

160-179	Заслуговує вступник, що виявив повне знання програмового матеріалу, розкрив зміст питань, але відповіді є неповними, що пов'язане з випущенням або нерозумінням одного-двох положень, постулатів, принципів, із висвітленням практичного або прикладного їх застосування.
140-159	Заслуговує вступник, що виявив повне знання програмового матеріалу, проявив систематичний характер знань з дисциплін і здатний до їх самостійного поповнення, але під час відповіді допустив неточності і помилки, що пов'язане з випущенням або нерозумінням одного-двох положень, постулатів, принципів, із висвітленням практичного або прикладного їх застосування.
120-139	Заслуговує вступник, що допустив помилки у відповіді на екзамені, ним лише відтворено основні постулати й принципи, на яких ґрунтується зміст відповідей із частковим математичним виведенням та фрагментарним описом окремих елементів теорії, без висвітлення практичного або прикладного її застосування.
100-119	Заслуговує вступник, який допустив грубі помилки у відповіді на екзамені, має фрагментарні знання, відповідь є нелогічною, містить не зв'язані фрагментарні відомості, які не дозволяють судити про розуміння суті відповіді.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Бушок Г.Ф., Венгер Є.Ф. Курс фізики. Кн.1. Фізичні основи механіки. Молекулярна фізика і термодинаміка. К., Вища шк., 2002.
2. Бушок Г.Ф., Венгер Є.Ф., Курс фізики: У 2-х кн., Кн.2., Оптика. Фізика атома. Молекулярна фізика і термодинаміка, - К., 2001.
3. Ю.В. Попик. Фізика напівпровідників. Підручник. Ужгород, "Іва", 2014. - 820 с.
4. Дэвис Д.А., Волны, атомы и твердые тела., Киев, 1981., 284с.
5. Білий М.У., Охрименко Б.А. Атомна фізика. К., 2009.
6. Заячук Д.М. Нанотехнології і наноструктури: навчальний посібник для вузів – Львів: Видавництво НУ „Львівська політехніка“, 2009.
7. Венгер Є.Ф., Грибань В.М., Мельничук О.В. Основи теоретичної фізики.- К.: Вища школа, 2011,- 430 с.
8. Юхновський І. Р. Квантова механіка / І. Р. Юхновський. Київ : Либідь, 1995. 352 с.
9. Слободянюк О. В. Механіка: підручник. – К. : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2016.– 478 с.
10. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики.Т. 1: Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. – 2-ге вид., випр - К. : Техніка, 2006. - 537 с.
11. Кучерук І.М., Горбачук І.І., Луцик П.П. Загальний курс фізики. Т. 2. Електрика і магнетизм. – К.: Техніка, 2001. – 229 с.
12. Дідух Л. Електрика та магнетизм. Підручник. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2020. – 464 с.
13. Гуменюк А.Ф. Електрика та магнетизм. Навчальний посібник. – К.: Четверта хвиля, 2008. – 506 с.
14. Булавін Л.А., Тартаковський В.К. Ядерна фізика. Підручник, 2-е видання, перероблене і доповнене. – К.: Знання, 2005. – 439 с.
15. Ніцук Ю.А. Ядерна фізика. -Одеса. 2008.-168 с.
16. Багацька О. В., Бутрим О. Ю., Колчигін М. М. та ін. Теоретична електродинаміка: підручник. – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2016. – 414 с.
17. Ситенко О.І., Тартаковський В.К. Теорія ядра: Навч. посібник. – К.: Либідь. – 2000. – 607 с.
18. Венгер Є.Ф., Грибань В.М., Мельничук О.В. Основи теоретичної фізики: Навч. посіб. – К.: Вища шк., 2011. – 429 с.
19. Коновал О.А. Основи електродинаміки.Кривий Ріг, «Видавничий дім», 2008.- 347 с.
20. Вакарчук І.О. Квантова механіка: підручник. 4-те вид., доп. — Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2012. — 872 с.
21. Бродин О.М. Теоретична фізика. Квантова механіка: навчальний посібник. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 233 с.
22. Білінський І. Теорія ядра та процеси в ньому. Фізика атомного ядра:

Навчальний посібник. – Дрогобич : Видавничий відділ ДДПУ ім. І. Франка, 2021. – 75 с.

23. Іванов В.О., Габрусенко Є. І. , Сібрук Л. В. Теорія електромагнітного поля; Нац. авіац. ун-т. - Київ : НАУ, 2017. - 334 с.