

ПРОГРАМОВІ ВИМОГИ ДО АТЕСТАЦІЇ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ “Фізика та астрономія” ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ

1. Вступ

- 1.1 Основні типи взаємодій у природі.
- 1.2. Фундаментальні закони і феноменологічні закономірності, динамічні рівняння, закони збереження і статистичні закономірності.
- 1.3. Фізика і науково-технічний прогрес. Роль вітчизняних вчених у розвитку фізики.

2. Механіка

2.1 Нерелятивістська механіка

- 2.1.1. Простір і час у нерелятивістській фізиці. Системи відліку. Кінематика матеріальної точки. Перетворення Галілея. Інерціальні системи відліку. Принцип відносності Галілея.
- 2.1.2. Динаміка матеріальної точки. Поняття сили. Закони динаміки матеріальної точки та межі їх застосування.
- 2.1.3. Динаміка системи матеріальних точок. Рівняння руху системи матеріальних точок.
- 2.1.4. Рух у полі центральних сил. Закони Кеплера і закон всесвітнього тяжіння. Умови еліптичного, параболічного та гіперболічного руху. Космічні швидкості.
- 2.1.5. Закони збереження енергії і імпульсу в нерелятивістській механіці та їх зв'язок із властивостями симетрії простору і часу.
- 2.1.6. Неінерціальні системи відліку. Сили інерції. Прояви сил інерції на Землі.
- 2.1.7. Механічні коливання. Гармонічні коливання. Вільні і вимушені коливання. Резонанс. Коливання при наявності тертя.
- 2.1.8. Механічні хвилі. Рівняння біжучої хвилі. Інтерференція хвиль. Стоячі хвилі.
- 2.1.9. Механіка рідин і газів. Закономірності руху ідеальної рідини. Рівняння нерозривності. Рівняння Бернуллі.
- 2.1.10. Принцип найменшої дії. Рівняння Лагранжа другого роду. Узагальнена сила, функція Лагранжа.
- 2.1.11. Канонічні рівняння Гамільтона. Функція Гамільтона.
- 2.1.12. Розсіяння частинок у центральному полі. Формула Резерфорда.
- 2.1.13. Динаміка твердого тіла. Система рівнянь руху твердого тіла. Момент сили. Момент інерції. Теорема Гюйгенса-Штейнера.

2.2. Релятивістська механіка

- 2.2.1. Експериментальні основи спеціальної теорії відносності. Постулати Ейнштейна. Перетворення Лоренца. Принцип відносності Ейнштейна.
- 2.2.2. Релятивістський імпульс і енергія, зв'язок між ними. Енергія спокою. Частинки з нульовою масою. Релятивістська динаміка. Закон збереження енергії імпульсу.

3. Електродинаміка

3.1. Електромагнітні взаємодії

- 3.1.1. Електричні заряди. Вимірювання питомого заряду частинки і елементарного заряду. Рівняння неперервності.
- 3.1.2. Електромагнітне поле у вакуумі і його характеристики. Принцип суперпозиції. Сила Лоренца.
- 3.1.3. Експериментальні основи електродинаміки: взаємодія нерухомих зарядів, досліди Кулона, взаємодія струмів, досліди Ампера.

- 3.1.4. Електромагнітна індукція, досліди Фарадея. Закон електромагнітної індукції.
 - 3.2. Загальні рівняння електромагнітного поля
 - 3.2.1. Система рівнянь Максвелла у вакуумі.
 - 3.2.2. Потенціали електромагнітного поля, рівняння для потенціалів, градієнтна інваріантність електричного поля.
 - 3.2.3. Густина енергії і густина потоку енергії електромагнітного поля.
 - 3.2.4. Система рівнянь Максвелла у речовині.
 - 3.3. Постійні електромагнітні поля
 - 3.3.1. Електростатичне поле у вакуумі, його потенціальність. Принцип суперпозиції і теорема Гаусса. Енергія взаємодії системи зарядів і енергія електростатичного поля.
 - 3.3.2. Постійне магнітне поле у вакуумі, його вихровий характер. Закон Біо-Савара-Лапласа і теорема про циркуляцію. Енергія магнітного поля.
 - 3.3.3. Електростатичне поле у діелектриках. Теорема Остроградського-Гаусса для поля в діелектрику.
 - 3.3.4. Поляризація діелектриків. Полярні і неполярні діелектрики. Сегнето- і п'єзоелектрики. Антисегнетоелектрики, піроелектрики.
 - 3.3.5. Магнітне поле у речовинах. Магнітні сприйнятливості і проникність речовини. Діа-, пара- та феро- і антиферомагнетизм. Ферити.
 - 3.3.6. Магнітне поле електричного струму. Закон Ампера. Індукція і напруженість магнітного поля. Закон Біо-Савара-Лапласа.
 - 3.3.7. Постійний струм у металах. Сила і густина струму. Закон Відемана-Франца. Електрорушійна сила. Закони Ома і Джоуля-Ленца. Правила Кірхгофа, їх фізичний зміст.
 - 3.4. Квазістаціонарне електромагнітне поле
 - 3.4.1 Змінний струм. Опір, ємність, індуктивність у колі змінного струму.
 - 3.4.2 Коливний контур. Вільні і вимушені коливання. Резонанс. Генерація електромагнітних коливань.
 - 3.5. Електромагнітні хвилі
 - 3.5.1. Хвильове рівняння. Плоска монохроматична хвиля. Швидкість поширення електромагнітних хвиль. Ефект Доплера.
 - 3.5.2. Густина потоку електромагнітної хвилі. Вектора Пойтінга. Потік вектора Пойтінга в циліндричному провіднику. Імпульс, тиск і густина енергії електромагнітного поля.
 - 3.5.3. Випромінювання електромагнітних хвиль. Дипольне випромінювання. Електромагнітна природа світла. Шкала електромагнітних хвиль.

4. Оптика

- 4.1. Хвильова оптика
- 4.1.1. Джерела і приймачі світла (теплові, люмінесцентні, лазери). Фотоелементи.
- 4.1.2. Поняття про когерентність. Інтерференція світла. Методи здійснення інтреференції світла.
- 4.1.3. Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракція світла. Дифракція Френеля і Фраунгофера. Дифракційна решітка. Дисперсія і роздільна здатність решітки.
- 4.1.4. Поляризація світла: лінійна, колова та еліптична поляризації. Поляризаційні призми.
- 4.1.5. Фізичні основи оптичної голографії. Динамічна голографія.
 - 4.2. Взаємодія електромагнітної хвилі і речовини

- 4.2.1. Відбивання і заломлення світла на межі розділу двох діелектриків. Формули Френеля.
- 4.2.2. Дисперсія. Нормальна і аномальна дисперсія. Електронна теорія дисперсії світла. Поглинання світла. Фазова і групова швидкості світла.
- 4.2.3. Розсіяння світла. Види розсіяння світла: основні закономірності і елементи теорії.
- 4.2.4. Основи нелінійної оптики. Основні нелінійні явища – генерування нових частот, параметричне підсилення світла, самофокусування і самодифракція.
- 4.2.5. Теплове випромінювання і його закони. Формула Планка.
- 4.2.6. Оптика анізотропних середовищ. Штучна анізотропія: фотопружний ефект, ефекти Керра, Поккельса та Коттона-Мутона.
- 4.2.7. Фотоэффект. Закони і теорія фотоэффекту. Гіпотеза світлових квантів.
- 4.2.8. Ефект Комптона: основні закономірності та теорія ефекту.

4.3. Геометрична оптика

- 4.3.1. Наближення коротких хвиль. Основні поняття і закони геометричної оптики. Заломлення світла на плоскій і сферичній поверхнях.
- 4.3.2. Дзеркала, лінзи, призми. Оптичні прилади.

5. Квантова фізика

5.1. Особливості поведінки мікрооб'єктів

- 5.1.1. Корпускулярно-хвильовий дуалізм світла і частинок речовини. Досліди Девіссона і Джермера. Принцип доповнювальності.
- 5.1.2. Дискретність станів мікрооб'єкту; лінійчасті спектри атомів; досліди Франка-Герца; досліди Штерна-Герлаха.
- 5.1.3. Співвідношення невизначеностей Гейзенберга. Ймовірнісний характер опису руху мікрооб'єктів.

5.2. Основні положення квантової механіки

- 5.2.1. Хвильова функція та її інтерпретація. Квантовомеханічний принцип суперпозиції. Принцип причинності. Нормування і ортогональність хвильових функцій.
- 5.2.2. Оператори фізичних величин та їх властивості. Спектр значень фізичної величини.
- 5.2.3. Статистичний постулат квантової механіки. Середнє значення фізичних величин.
- 5.2.4. Хвильове рівняння Шредінгера. Рівняння неперервності, його фізичний зміст.
- 5.2.5. Стаціонарне рівняння Шредінгера. Властивості стаціонарних станів.
- 5.2.6. Вільна частинка. Частинка в потенціальній ямі. Енергетичний спектр лінійного осцилятора. Тунельний ефект.
- 5.2.7. Квантова механіка системи тотожних частинок. Властивості симетрії хвильової функції. Бозони і ферміони. Принцип Паулі.

5.3. Будова атома

- 5.3.1. Квантова механіка найпростіших систем. Вільна частинка. Частинка в потенціальній ямі. Енергетичний спектр лінійного осцилятора. Тунельний ефект.
- 5.3.2. Модель атома Бора та її історична роль. Спектри випромінювання атомарного водню. Криза теорії Бора.
- 5.3.3. Квантовомеханічна теорія атома водню. Атомні і молекулярні спектри.
- 5.3.4. Квантові числа. Спін електрона. Дослід Штерна і Герлаха.
- 5.3.5. Стан електронів в багатоелектронному атомі. Періодична система елементів Менделєєва.
- 5.3.6. Магнітні властивості електрона і атома. Магнетон Бора. Магнітні властивості речовини.
- 5.3.7. Вплив зовнішніх електричних та магнітних полів на атомні спектри. Ефекти

Зеємана і Штарка.

- 5.3.8. Рентгенівські промені. Суцільний і характеристичний спектри рентгенівських променів. Дифракція рентгенівських променів.

6. Фізика ядра і елементарних частинок

6.1. Атомне ядро

- 6.1.1. Будова атомного ядра. Основні характеристики ядер та його складових. Ізотопи, ізобари, ізомери. Енергія зв'язку ядра.
- 6.1.2. Властивості і характеристики ядерних сил. Поняття про обмінний механізм ядерних сил.
- 6.1.3. Радіоактивність. Типи радіоактивних перетворень та їх характеристики. Природа альфа-, бета- і гама-випромінювань. Дозиметрія.
- 6.1.4. Моделі атомного ядра. Краплинна та оболонкова моделі атомних ядер.
- 6.1.5. Взаємодія гама-випромінювання з речовиною. Ефект Мессбауера.
- 6.1.6. Нейтрино. Поняття про парність. Незбереження парності в бета-розпадах.
- 6.1.7. Ядерні реакції. Реакції поділу і синтезу. Ядерна енергетика.

6.2. Елементарні частинки

- 6.2.1. Методи реєстрації частинок. Джерела частинок, прискорювачі.
- 6.2.2. Класифікація елементарних частинок. Фотони, лептони, мезони, баріони, частинки - резонанси. Античастинки. Основні характеристики частинок.
- 6.2.3. Типи взаємодії частинок, їх характеристики. Обмінний механізм фундаментальних взаємодій. Поняття про кварки.

7. Термодинаміка і статистична фізика

7.1. Термодинаміка

- 7.1.1. Основні положення молекулярно-кінетичної теорії будови речовини. Модель матеріальної точки та межі її застосування. Розміри і маси атомів та молекул. Кількість речовини. Агрегатні стани речовини.
- 7.1.2. Кінетична теорія газів. Число Лошмідта. Стала Авогадро і стала Больцмана. Тиск і температура газу з точки зору молекулярної теорії. Поняття вакууму.
- 7.1.3. Внутрішня енергія, теплота і робота. Взаємоперетворення внутрішньої та інших форм енергії. Перший закон термодинаміки і його застосування для опису деяких простих термодинамічних процесів.
- 7.1.4. Температура. Шкали температури. Термометри. Розширення твердих тіл: лінійне, двомірне і об'ємне. Розширення рідин і газів. Зміна об'єму та тиску при нагріванні.
- 7.1.5. Рівноважні і нерівноважні, оборотні і необоротні процеси. Односторонність природних процесів. Формулювання Клаузіуса і Томсона.
- 7.1.6. Квазістатичні процеси. Другий закон термодинаміки. Основні рівняння і нерівності термодинаміки.
- 7.1.7. Ентропія. Ентропія і друге начало термодинаміки. Статистична інтерпретація ентропії і другого начала термодинаміки.
- 7.1.8. Абсолютна термодинамічна шкала температур. Від'ємна абсолютна термодинамічна температура. Абсолютний нуль.
- 7.1.9. Рівновага фаз. Фазові переходи першого і другого роду. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Критичні явища. Метастабільні стани. Рівняння Еренфеста.

7.2. Статистична фізика

- 7.2.1. Мікростани макроскопічної системи. Статистичний розподіл. Термодинамічні величини як середні по ансамблю.
- 7.2.2. Система в термостаті. Канонічний розподіл Гіббса в квантовій і класичній фізиці. Обчислення термодинамічних параметрів на основі розподілу Гіббса.
- 7.2.3. Класичний ідеальний газ і його властивості. Розподіл Максвелла за швидкостями. Розподіл Максвелла-Больцмана.
- 7.2.4. Теплоємність. Класична і квантова теорія теплоємності ідеальних газів.
- 7.2.5. Електронний газ. Енергія Фермі. Теплоємність електронного газу.
- 7.3. Елементи фізики конденсованих середовищ
- 7.3.1. Сили зв'язку в молекулах. Іонний і ковалентний типи зв'язку. Міжмолекулярні сили в твердих тілах. Сили Ван-дер-Ваальса. Потенціал міжмолекулярної взаємодії.
- 7.3.2. Реальні гази. Рівняння Ван-дер-Ваальса. Ізотерми рівняння Ван-дер-Ваальса. Інтерпретація величин, що входять в рівняння Ван-дер-Ваальса.
- 7.3.3. Ефект Джоуля-Томсона. Фізична суть ефекту. Ефект Джоуля-Томсона в газі Ван-дер-Ваальса. Зрідження газів. Властивості речовини поблизу 0 К.
- 7.3.4. Кристали. Коливання кристалічної ґратки. Поняття про фонони.
- 7.3.5. Явище переносу в твердих тілах. Дифузія. Теплопровідність. Зовнішня теплопровідність.
- 7.3.6. Теплоємність твердих тіл. Класична теорія. Теплоємність при низькій температурі за класичною теорією. Фонони. Температура Дебая. Теплоємність при довільній температурі.
- 7.3.7. Елементи квантової теорії фізики твердого тіла. Електрони в кристалі. Енергетичні зони.
- 7.3.8. Дефекти кристалічних ґраток. Точкові дефекти. Дислокації, деформації. Пружні напруги. Коефіцієнт Пуассона. Модуль Юнга. Пластична деформація. Молекулярний механізм міцності.
- 7.3.9. Провідники і діелектрики, напівпровідники та їх електричні властивості. Напівпровідникові прилади.
- 7.3.10. Явище надпровідності. Низькотемпературна й високотемпературна надпровідність. Поняття про теорію Бардіна-Купера-Шріффера.
- 7.3.11. Спонтанне та вимушене випромінювання. Лазери: будова і принцип дії.

8. Вступ до фізики твердого тіла

- 7.1. *Вступ.* Вихідні положення і означення. Кристалічна структура і просторова ґратка кристалу. Матеріальний базис. Сингонії кристалів. Комірки Браве.
- 7.2. *Кристалографічні позначення.* Вузли, напрямки, площини. Індеси Міллера. Обернена ґратка і її властивості. Фур'є представлення кристалу. Вивчення структури кристалів. Взаємодія хвиль з кристалічною ґраткою. Формула Вульфа - Брега.
- 7.3. *Типи кристалічних ґраток.* Щільні упаковки. Геометричні характеристики ґратки. Координаційне число.
- 7.4. *Міжатомні і міжмолекулярні зв'язки.* Диполь-дипольна взаємодія. Ван - дер - ваальсів зв'язок. Потенціал Ленарда - Джонса. Повна енергія. ґраткові безрозмірні суми. Модуль всестороннього стискування. Іон-іонна кулонівська взаємодія. Стала Маделунга. Модуль всебічного стискування. Розрахунок електростатичної енергії іон-іонного кристалу за методом Ев'єна. Ковалентний зв'язок. Структура типу алмазу. Металічні кристали.
- 7.5. *Пружні властивості кристалів.* Компоненти напруг. Тензор деформацій. Сталі

пружної жорсткості і податливості. Об'ємний модуль пружності для однорідного розширення. Густина пружної енергії для кубічних кристалів.

7.6. *Фоони*. Квантовий характер коливань ґратки. Закон збереження імпульсу фонона для пружного і непружного розсіювання фотонів в твердому тілі. Непружне розсіювання фотонів на фононах. Непружне розсіювання нейтронів на фононах.

7.7. *Коливання ґратки*. Коливання в ґратці з одним атомом у примітивній комірці. Дисперсійне співвідношення. Континуальне наближення. Перша зона Брілюєна. Коливання у ґратці з двома атомами у примітивній комірці. Дисперсійне співвідношення. Граничні випадки. Обчислення силових сталих за експериментальними дисперсійними співвідношеннями. Оптичні властивості іонних кристалів в інфрачервоній області спектру.

7.8. *Теплоємність*. Означення і експериментальні факти. Функція розподілу фононів за частотам. Фактор Больцмана. Модель Ейнштейна. Підрахунок числа нормальних коливань в одновимірному випадку для наближення Дебая, Ейнштейна, для ланцюга однакових атомів. Густина станів у тривимірному випадку в наближенні Дебая. Теорія теплоємності ґратки за Дебаєм. Закон T^3 Дебая.

7.9. *Теплопровідність*. Формальний розгляд процесу. Температурна залежність коефіцієнта теплопровідності. Теплопровідність діелектриків і металів. Теплове розширення. Оцінка коефіцієнта теплового розширення.

7.10. *Вільний електронний газ Фермі*. Успіхи моделі та проблеми. Енергетичні рівні і густина станів електронів в одновимірному випадку. Енергія Фермі. Вільний електронний газ у тривимірному випадку. Періодичні граничні умови. Густина станів, енергія Фермі. Температурна залежність функції розподілу Фермі-Дірака. Граничні випадки. Хімічний потенціал.

7.11. *Теплоємність електронного газу*. Експериментальні дані з теплоємності металів. Графічне представлення.

7.12. *Електричні властивості*. Експериментальні дані про опір металів. Правило Матіссена. Температурна залежність ґраткового опору. Електропровідність і закон Ома. Швидкість електронів на поверхні Фермі.

7.13. *Теплопровідність металів*. Закон Відемана - Франца.

7.14. *Діелектрична реакція електронного газу*. Залежність від частоти діелектричної функції. Розповсюдження електромагнітних хвиль у плазмі. Дисперсійне співвідношення. Плазмова частота. Електростатичне екранування. Екранований кулонівський потенціал. Довжина екранування.

7.15. *Рух електронного газу у магнітному полі*. Циклотронна частота. Статичний магнетоопір. Компоненти тензора магнетопровідності. Ефект Холла. Стала Холла.

7.16. *Енергетичні зони*. Загальне представлення. Модель майже вільних електронів. Умова Брега. Походження енергетичної щільності. Розв'язок хвильового рівняння для електронів на границі зони Брілюєна. Хвильове рівняння електрона в періодичному потенціальному полі. Рівняння Шредінгера. Ортогональність Фур'є компонент. Функція Блоха. Імпульс електрона.

7.17. *Схема приведених зон*. Періодична і розширена зонна схема. Число рівнів у енергетичній зоні. Метали і діелектрики.

Література

- 1.1. Галушак М.О., Фреїк Д.М.. Курс фізики. Основи молекулярної фізики та термодинаміки. К. ІСДОУ, 1993. – 240 с.

2. Фреїк Д.М., Лисак А.В., Чобанюк В.М. Молекулярна фізика. Термодинаміка. Фізичний практикум – Івано-Франківськ: Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2012. – 115 с.
3. Прокопів В.В. Конспекти лекцій з молекулярної фізики. Навчальний посібник – Івано-Франківськ: Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2016. – 68 с.
4. Фреїк Д.М. Фізика. Молекулярна фізика і термодинаміка. Івано-Франківськ.: Плай, 2001 – 34 с.
5. Фреїк Д.М., Никируй Л.І., Чобанюк В.М. Фізика твердого тіла. Лабораторний практикум. Т.1. Кристалічна структура: навчальний посібник – Івано-Франківськ: Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2009. – 116.
6. Фреїк Д.М., Прокопів В.В. Підготовка і оформлення курсової, бакалаврської, дипломної та магістерської робіт. Методичні вказівки – Івано-Франківськ: Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2009. – 36 с.
7. Никируй Л.І. Математична обробка результатів фізичного експерименту: Навчально-методичний посібник. – Івано-Франківськ: Видавництво «Гостинець», 2010. – 58 с.
8. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. Учеб. пособие.-М.: Высшая школа, 1981.
9. Кикоин И.К. Молекулярная физика.-М.:Наука, 1976.
10. Дутчак Я.Й., Якібчук П.М. Молекулярна фізика. - К.: НМКВО, 1991.
11. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Учеб.пособие.-М.: Наука, 1976.
12. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.1.Механика, Молекулярная физика.-М.: Наука, 1977.
13. Шебалин О.Д. Молекулярная физика.-М.: Высшая школа, 1978.
14. Телеснин Р.В. Молекулярная физика.-М.: Высшая школа, 1973.
15. Яворський В.М., Детлаф А.А., Мілковський Б. Курс фізики.Т.1.-К.:Вища школа, 1970.
16. Гершензон Е.М., Малов Н.Н., Мансуров А. Курс общей физики. Молекулярная физика.-М.: Просвещение, 1982.
17. Орір Дж.. Фізика.Т.1.-М.:Мир, 1981.
18. Дущенко В.П. Загальна фізика. Механіка. Молекулярна фізика. - К.: НМКВО, 1991.
19. Остафійчук Б.К., Рувінський М.А., Яцура М.М., Будзуляк І.М. Курс загальної фізики. Оптика: хвилі, промені, кванти. – Івано-Франківськ.: Вид-во ДВНЗ “Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника”, 2011.
20. Яцура М.М., Остафійчук Б. К., Гамарник А. М. Курс загальної фізики. Оптика: запитання і відповіді: навчальний посібник. За ред. Б. К. Остафійчука. – Івано-Франківськ: Вид-во ДВНЗ “Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника”, 2017.
21. Яцура М.М. Гамарник А.М. Мала оптична енциклопедія. Науковий редактор доктор фізико-математичних наук, професор, чл. кор. НАН України Остафійчук Б.К. Навчальний посібник. – Івано-Франківськ.: Вид-во ДВНЗ “Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника”, 2020.
22. Яцура М.М., Гасюк І.М., Рачій Б.М., Гамарник А.М. Курс загальної фізики. Оптика. Тести: Навчально-методичний посібник. – Івано-Франківськ: Вид-во ДВНЗ “Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника”, 2018.
- 23.5. Білий М.І., Скубенко А.Ф. Загальна фізика. Оптика. – К.: Рад. школа, 1987.
24. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.:Наука,1976.
25. Калитеевский В.И. Волновая оптика. – М.: Высшая школа, 1971.
26. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Оптика. – М.: Наука, 1980.
27. Савельев И.В. Курс общей физики. т.Ш. – М.: Наука, 1971.

28. Годжаев Н.М. Оптика. – М.: Высшая школа, 1977.
29. Остафійчук Б. К., Яцура М. М., Яремій І.П., Гамарник А.М., Практикум розв'язування задач з курсу загальної фізики. Оптика. – Івано-Франківськ.: Вид-во ДВНЗ «Прикарпатський національний університет», 2015, 348 с.
30. Яцура М.М., Гасюк І.М., Кайкан Л.С. Фізичний лабораторний практикум. Оптика. – Івано-Франківськ: Плай, 2012.
31. Вакарчук І.О. Квантова механіка Львів, ЛДУ, 1998.