

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

„ЗАТВЕРДЖУЮ”

Ректор Одеського державного
екологічного університету

Степаненко С.М.

« 08 » травня 2023 р.

*Затверджено на засіданні Приймальної
комісії ОДЕКУ « 28 » квітня 2023 р.,*

Протокол № 4

Наказ № 96 «ОД» від « 08 » травня 2023 р.

**ПРОГРАМА
ФАХОВОГО ВСТУПНОГО ВИПРОБУВАННЯ**

третій (освітньо-науковий) рівень вищої освіти

спеціальність «104 Фізика та астрономія»

Розробники програми:

Гарант освітньої програми,
Завідувач кафедри математики та
квантової механіки, д. фіз.-мат. н., професор



О.В. Глушков

Професор кафедри математики та
квантової механіки д. фіз.-мат. н., професор



А.А. Свинаренко

Професор кафедри математики та
квантової механіки д. фіз.-мат. н., професор



О.Ю. Хецеліус

Доцент кафедри математики та
квантової механіки к. фіз.-мат. н., доцент



Ю.В. Дубровська

I. ЗМІСТ ФАХОВОГО ВСТУПНОГО ВИПРОБУВАННЯ

Метою проведення фахового вступного випробування у вигляді іспиту є виявлення знань, вмінь, навичок, наукових здобутків, якими володіє кандидат на вступ до аспірантури для підготовки на третьому (освітньо-науковому) рівні вищої освіти для здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

II. ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ

A. Основи теоретичної механіки. Елементи теорії коливань. Елементи гідродинаміки.

1. Узагальнені координати. Принцип найменшої дії. Функція Лагранжа матеріальної точки та системи матеріальних точок. Закони збереження (енергія, імпульс, момент імпульсу). Зіткнення частинок. Пружні зіткнення частинок. Розсіювання частинок. Формула Резерфорда. Розсіювання під малими кутами. Рівняння Гамільтона. Дужки Пуассона. Канонічні перетворення. Теорема Ліувілля. Гівняння Гамільтона-Якобі. Адіабатичні інваріанти. Умовно-періодичний рух.

2. Теорія коливань. Вільні, вимушені затухаючі коливання. Ангармонічності коливання. Явище резонансу. Резонанс в нелінійних коливаннях.

3. Основи теорії пружності. Тензори деформації і напружень. Пружні властивості. Рівняння рівноваги твердих тіл

4. Основи гідродинаміки ідеальної рідини. Рівняння гідродинаміки нестисливої ідеальної рідини. В'язка рідина. Рівняння руху в'язкої рідини. Течія при малих числах Рейнольдса. Теплопровідність і дифузія в суцільних середовищах.

B. Основи теорії поля і електродинаміки суцільних середовищ. Класична електромагнітна теорія світла. Елементи геометричної та хвильової оптики.

1. Принцип відносності. Перетворення Лоренца. Принцип найменшої дії для частинки. Енергія, імпульс, Момент імпульсу.

2. Чотири вимірний потенціал поля. Рівняння руху заряду. Градієнтна інваріантність. Тензор електромагнітного поля. Інваріанти поля. Рівняння Максвелла. Густина і потік енергії.

3. Постійне електромагнітне поле. Закон Кулона. Рух у кулоновому полі. Розклад поля по мультиполям. Дипольний момент. Мультипольні моменти. Система зарядів у зовнішньому полі. Постійне магнітне поле. Магнітний момент. Теорема Лармора.

5. Електромагнітні хвилі. Хвильове рівняння. Плоскі хвилі. Монохроматична плоска хвиля. Власні коливання поля ("розклад" поля на гармонічні осцилятори). Запізнюючі потенціали. Потенціали Ліенара-Віхерта. Спектральний розклад запізнюючих потенціалів.

6. Поляризація світла. Двійне променепереломлення. Поляризатори. Електрооптичні ефекти Керра та Поккельса. Ефект Фарадея. Асимптотичне рішення

хвильового рівняння. Рівняння ейконалу. Принцип Ферма. Поняття оптичного зображення. Параксіальна оптика. Переломлення на сферичній поверхні. Сферичні дзеркала і лінзи. Виникнення каустик в оптичних системах. Геометричні аберації.

7. Дисперсія світла. Діелектрична проникливість в різних областях спектру. Аномальна дисперсія. Фазова та групова швидкості світла.

8. Інтерференція світлових хвиль. Класичні інтерференційні експерименти. Вплив степені монохроматичності, розмірів джерел на інтерференційну картину. Інтерферометри, двопроменеві та багатопроменеві. Інтерферометри Фабрі-Перо, Майкельсона. Фур'є-спектрометр.

9. Дифракція світлових хвиль. Дифракційні інтеграли Кірхгофа-Гюйгенса. Дифракція Френеля і Фраунгофера. Дифракційна решітка. Параболічна теорія дифракції, гаусів пучок. Основи векторної теорії дифракції. Зворотні задачі теорії дифракції.

10. Випромінювання електромагнітних хвиль. Поле системи зарядів на далеких відстанях. Дипольне випромінювання. Дипольне випромінювання при зіткненнях. Випромінювання при кулоновій взаємодії. Квадрупольне та магнітно-дипольне випромінювання. Гальмівне і магнітно-гальмівне випромінювання. Гальмування випромінюванням.

В. Квантова механіка та електродинаміка. Елементи атомної фізики. Квантова теорія випромінювання та взаємодії світла з речовиною.

1. Основні положення квантової механіки. Принцип суперпозиції. Хвильова функція. Енергія та імпульс. Матриця густини. Співвідношення невизначеності. Момент імпульсу. Парність стану. Складення моментів.

2. Рівняння Шредінгера. Лінійний осцилятор. Рух в центрально-Симетричному полі. Рівняння в кулоновому полі. Рівняння Шредінгера для атому водню. Класифікація станів електрону. Квантування модуля орбітального моменту імпульсу, проєкції орбітального моменту імпульсу, проєкції спінового моменту імпульсу електрона. Головне, орбітальне, магнітне та спінове квантові числа. Релятивістське рівняння Дірака. Розв'язання релятивістського рівняння Дірака для атому водню.

3. Квазікласичне наближення. Правило квантування Бора-Зомерфельда. Квазікласичний рух в центрально-симетричному полі. Теорія збурень. Збурення, що не залежать від часу. Секулярне рівняння. Збурення, що залежать від часу. Співвідношення невизначеності для енергії.

4. Елементи нерелятивістської теорії багатоелектронного атому. Тотожність частинок. Обмінна взаємодія. Наближення самоузгодженого поля. Наближення Томаса-Фермі. Наближення Хартрі-Фока. Наближення функціоналу густини. Елементи релятивістської теорії багатоелектронного атому. Наближення Дірака-Фока, Дірака-Кона-Шема. Спектроскопія атомів. Систематика спектрів багатоелектронних атомів. Типи зв'язків електронів. Мультиплетна структура. Правила відбору. Взаємодія конфігурацій. Періодична таблиця Менделєєва.

5. Квантова механіка двоатомних молекул. Адіабатичне наближення. Електронні спектри молекул. Класифікація електронних станів двоатомних молекул. Принцип Франка-Кондона. Коливальні спектри. Правила відбору в коливальних спектрах поглинання і комбінаційного розсіювання. Обертальна структура коливальних смуг.
6. Елементи теорії пружних зіткнень. Загальна теорія розсіяння. Умова унітарності для розсіювання. Формула Борна. Резонанс на квазідискретному рівні. Формула Резерфорда. Система хвильових функцій безперервного спектру для розсіювання в кулонівському та інших полях. Резонансне розсіювання заряджених частинок. Розсіювання при спин-орбітальній взаємодії. Полюса Редже. Непружне розсіяння. Матриця розсіювання. Формули Брейта і Вігнера. Непружні зіткнення швидких електронів з атомами. Непружні зіткнення важких частинок з атомами.
7. Елементи теорії випромінювання. Спонтанне випромінювання. Спектр спонтанного випромінювання. Ефект Доплера та ефекти віддачі. Закони теплового випромінювання. Закони Кірхгофа, Стефана-Больцмана та Віна. Формула Планка. Індуковане випромінювання та поглинання. Коефіцієнти Ейнштейна. Переріз індукованих переходів. Форми лінії поглинання.
8. Кооперативні ефекти. Фотонне відлуння і самоіндукована прозорість. Солітони. Релаксаційні процеси. Рівняння для матриці густини. Самоузгоджені рівняння для поля, поляризації і різниці заселеностей. Ефект насичення. Надвипромінювання. Когерентне і комбінаційне розсіювання. Нелінійні сприйнятливості. Поширення хвиль в нелінійній середовищі. Метод повільно мінливих амплітуд. Генерація оптичних гармонік. Параметричне перетворення частоти. Самофокусування світла. Вимушене і комбінаційне розсіювання. Речовина у надсильному світловому полі.
9. Елементи нерелятивістської та релятивістської теорії випромінювання атомів та молекул. Ймовірності квантових переходів. Золоте правило Фермі. Дипольне випромінювання. Електричне мультипольне випромінювання. Магнітне мультипольне випромінювання. Матричний елемент дипольного моменту квантового переходу, його фізичний зміст. Визначення величини ймовірності (сили осцилятора, сили лінії) квантового переходу. Випромінювання атомів. Електричний та магнітний типи. Правила відбору та інтенсивність спектральних ліній різного типу. Математичні основи теорії випромінювання та розсіювання світла. Нерелятивістська та релятивістська теорії фотоефекту.
9. Елементи оптики та спектроскопії атомів та молекул у зовнішньому електричному полі. Вплив зовнішнього електричного поля на терми атома. Ефект Штарка. Лінійний і квадратичний ефект Штарка. Динамічний ефект Штарка. Теоретичні методи обчислення енергій та ширин резонансів Штарка. Чисельне інтегрування рівняння Шредінгера для атома в електричному полі. Спектроскопія атомів у полі лазерного випромінювання.
10. Елементи оптики та спектроскопії атомів та молекул у зовнішньому магнітному полі. Ефект Зеємана. Квантово-механічний опис ефекта Зеємана. Теоретичні методи обчислення енергій та ширин резонансів для атома в

магнітному полі. Простий ефект Зеемана. Правила відбору. Магнітна структура спектральних ліній. Складний ефект Зеемана. Фактор Ланде. Магнітна структура спектральних ліній при складному ефекті Зеемана. Ефект Пашена-Бака. Прецесія магнітних моментів атома.

Г. Елементи лазерної фізики. Фізичні процеси в лазерах. Характеристики лазерного випромінювання. Лазерна спектроскопія.

1. Джерела оптичного випромінювання. Теплові, газорозрядні і лазерні джерела. Принцип роботи лазера. Поглинання і посилення світла. Активне середовище. Схеми накачування. Теорія Лемба. Оптичні резонатори. Моді оптичних резонаторів. Інтегральне рівняння відкритого резонатора. Спектр власних частот, дифракційні втрати і поширення полів в оптичних резонаторах.

2. Елементи теорії оптичних хвильоводів. Поняття про густину інверсної заселеності енергетичних рівнів. Ефект насичення. Швидкісні (кінетичні) рівняння для заселеність енергетичних рівнів. Елементи напівкласичної теорії лазера. Рівняння для амплітуди і частоти генерації одночастотного лазера стоячій хвилі.

3. Статистичні та поляризаційні характеристики лазерного випромінювання. Методи вимірювання параметрів лазерного випромінювання. Вимірювання коефіцієнта посилення, вихідної потужності і енергії, тривалості і форми імпульсу. Вимірювання довжини хвилі та частоти. Функція і ступінь когерентності. Когерентність вищих порядків. Особливості багаточастотної генерації. Конкуренція мод, вплив просторових пульсацій, комбіновані частоти, синхронізація мод. Генерація надкоротких імпульсів. Принципи адаптивної оптики.

4. Типи лазерів. Твердотільні лазери. Принцип роботи твердотільних лазерів та основні фізичні процеси. Газові лазери: лазери на нейтральних атомах, іонні лазери, молекулярні лазери, лазери на само обмежених переходах. Принцип роботи газових лазерів та основні фізичні процеси. Хімічні лазери. Принцип роботи хімічних лазерів та основні фізичні процеси. Напівпровідникові лазери. Принцип роботи напівпровідникових лазерів та основні фізичні процеси. Умова інверсної заселеності та методи її досягнення. Лазери з СВЧ-накачуванням. Лазери з ядерною накачкою: Принцип роботи та основні фізичні процеси.

5. Елементи теорії нелінійних оптичних явищ. Лазерна спектроскопія Атом в сильному полі лазерного випромінювання. Багатофотонні ефекти. Лазерна спектроскопія і діагностика плазми. Методи лінійної лазерної спектроскопії та діагностики плазми: внутрі-резонаторний, оптико-акустичний, оптико-гальванічний, модуляційні і ін. Основні методи нелінійної лазерної спектроскопії. Спектрохімічний аналіз. Оптичний запис інформації. Механізм запису і відтворення хвильових полів за допомогою двовимірних і тривимірних голограм. Цифрові голограми. Голографічна інтерферометрія. Оптичне та лазерно-хімічне поділення ізотопів в атомарних парах.

Література

1. Born M., Principles of Optics. Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light. Cambridge University Press, 2013.
2. Renk, K. F., Basics of Laser Physics. Dodrecht: Springer, 2017.
3. Landau L.D. and Lifshits E.M., Quantum Mechanics: Non-Relativistic Theory, Amsterdam, Elsevier, 1981;
4. Berestetskii V B, Pitaevskii L P and Lifshitz E M 1982 Quantum Electrodynamics. Volume 4 of a Course of Theoretical Physics, 2nd Edition (Amsterdam: Elsevier).
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Т1. Механика. М: Наука, 1988.
6. Landau L D and Lifshitz E M 1971 The Classical Theory of Fields. Volume 2 of a Course of Theoretical Physics (New York: Pergamon Press).
7. Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Загальна фізика. Оптика. Квантова фізика.-Київ: Вища школа, 1991
8. Савельев И.В., Курс общей физики, том III. Оптика, атомная физика, физика атомного ядра и элементарных частиц. -М.: Наука, 1988
9. Glushkov A.V., Relativistic quantum theory. Quantum mechanics of atomic systems.-Odessa: Astroprint, 2008.
10. Glushkov A.V., Relativistic and correlation effects in spectra of atomic systems.-Odessa: Ecology.-2006.
11. Khetselius O.Yu., Hyperfine structure of atomic spectra. - Odessa: Astroprint, 2008.
12. Khetselius O.Yu., Quantum structure of electroweak interaction in heavy finite Fermi-systems. - Odessa: Astroprint, 2011.
13. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Buyadzhi V.V., Spectroscopy of autoionization states of heavy atoms and multiply charged ions.- Odessa: TEC, 2015.
14. Glushkov O.V., Khetselius O.Yu., Dubrovskaya Yu.V., Ternovsky V.B., Theory of cooperative quantum effects in atoms in a strong electromagnetic field. - Odessa: TEC, 2015.
15. Glushkov A.V., Atom in electromagnetic field.-Kiev, KNT, 2005.
16. Glushkov A.V., Operator Perturbation Theory for Atomic Systems in a Strong DC Electric Field. In: Hotokka, M., Brändas, E., Maruani, J., Delgado-Barrio, G. (eds) Advances in Quantum Methods and Applications in Chemistry, Physics, and Biology. Progress in Theor. Chem. and Physics, 2013, vol 27. Springer, Cham., P.161-177; https://doi.org/10.1007/978-3-319-01529-3_9
17. Glushkov, A.V., Advanced Relativistic Energy Approach to Radiative Decay Processes in Multielectron Atoms and Multicharged Ions. In: Nishikawa, K., Maruani, J., Brändas, E., Delgado-Barrio, G., Piecuch, P. (eds) Quantum Systems in Chemistry and Physics. Progress in Theor. Chem. and Physics, 2012, vol 26. Springer, Dordrecht, P.231-254; https://doi.org/10.1007/978-94-007-5297-9_12

18. Khetselius, O.Y., Relativistic Energy Approach to Cooperative Electron- γ -Nuclear Processes: NEET Effect. In: Nishikawa, K., Maruani, J., Brändas, E., Delgado-Barrio, G., Piecuch, P. (eds) Quantum Systems in Chemistry and Physics. Progress in Theor. Chemistry and Physics, 2012, vol 26. Springer, Dordrecht, P.217-230; https://doi.org/10.1007/978-94-007-5297-9_11
19. Glushkov, A.V., Khetselius, O.Y., Svinarenko, A.A., Relativistic Theory of Cooperative Muon- γ -Nuclear Processes: Negative Muon Capture and Metastable Nucleus Discharge. In: Hoggan, P., Brändas, E., Maruani, J., Piecuch, P., Delgado-Barrio, G. (eds) Advances in the Theory of Quantum Systems in Chemistry and Physics. Progress in Theor. Chem. and Physics, 2012, vol.22. Springer, Dordrecht, P.51-70; https://doi.org/10.1007/978-94-007-2076-3_3
20. Glushkov, Alex V., Khetselius, Olga Y., Maruani, Jean, Brändas, Erkki, (Eds.) Advances in Methods and Applications of Quantum Systems in Chemistry, Physics, and Biology. Progress in Theoretical Chemistry and Physics, 2021, vol 33. Springer, Cham, 358P; <https://doi.org/10.1007/978-3-030-68314-6>
21. Glushkov, A.V., Khetselius, O.Y., Svinarenko, A.A., Ternovsky, V.B., Buyadzhi, V.V., Frontiers in green radiochemistry: New optimized quantum approach to laser separation of isotopes and transmutation of radioactive waste; In: L. Mammino, Ed., Green Chemistry and Computational Chemistry, 1st Ed., Shared Lessons in Sustainability, Elsevier, 2021, Ch.16. P385-402; <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128198797000027>

3. СИСТЕМА ОЦІНЮВАННЯ

Вступне випробування за спеціальністю 113 Прикладна математика, що пропонується вступникам для продовження навчання за освітньо-науковою програмою підготовки докторів філософії, проводиться з метою виявлення у вступників теоретичних знань та практичних навичок, яких вони набули під час навчання на другому (магістерському) рівні вищої освіти, та визначення можливості вступників опанувати освітньо-наукову програму «Оптика і спектроскопія квантових систем» за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

Мета вступного випробування – відбір претендентів на навчання за рівнем вищої освіти «Доктор філософії». Вступник, який бажає здобути ступінь вищої освіти «Доктор філософії» за спеціальністю 104 Фізика та астрономія, повинен:

Знати базові поняття, методи та закони:

- теоретичної механіки та теорії коливань;
- теорії поля, класичної електродинаміки, електромагнітної теорії світла;
- геометричної та хвильової оптики;
- квантової механіки та частково квантової електродинаміки (розділ II);
- фізики атомів та двоатомних молекул, квантової теорії випромінювання та розсіювання, теорії взаємодії світла з речовиною тощо;

– оптики і спектроскопії атомів в електричному, магнітному полях, полі лазерного випромінювання тощо;

– оптики лазерів, лазерної спектроскопії, теорії нелінійних оптичних явищ;

Вступні випробування проводяться в усній формі в 2 етапи:

На першому етапі здійснюється опитування претендента за екзаменаційними білетами, які містять 3 питання з наведеного у Розділі II переліку.

На другому етапі претендент надає презентацію наукового дослідження, яка показує наукові інтереси здобувача і містить об'єкт та предмет дослідження, методику розробки, майбутній результат та впровадження результатів в навчальний процес та/або у сфери господарства.

Кожен етап оцінюється окремо.

Відповіді на кожне запитання екзаменаційного білету оцінюються за шкалою ОДЕКУ згідно з п. 2.4 Положення про критерії оцінки знань студентів в ОДЕКУ, а потім виставляється підсумкова оцінка за рішенням всіх членів комісії.

Презентація оцінюється за шестибальною шкалою:

0 – немає наукового доробку і дослідницьких пропозицій;

1 – немає наукового доробку але є обґрунтовані дослідницькі пропозиції;

2 – має науковий доробок представлений у вигляді дослідження та розрахунків у магістерській роботі, але не надав обґрунтовані дослідницькі пропозиції;

3 – має науковий доробок представлений у вигляді опублікованих тез, матеріалів доповідей, але не надав обґрунтовані дослідницькі пропозиції,

4 – має науковий доробок представлений у вигляді опублікованих тез, матеріалів доповідей та надав обґрунтовані дослідницькі пропозиції,

5 – має науковий доробок представлений у вигляді статті в фаховому виданні рекомендованому ДАК України, або в зарубіжному виданні та надав обґрунтовані дослідницькі пропозиції.