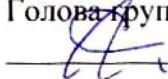



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Одеський державний екологічний університет

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні групи забезпечення
спеціальності 104 «Оптика і спектроскопія
квантових систем»
від «25» березня 2021 року
протокол № 3
Голова групи забезпечення
 Свинарєнко А.А.

УЗГОДЖЕНО
Зав відділом аспірантури і докторантури
 Вітовська О. Т.

СИЛАБУС

навчальної дисципліни

«ОПТИКА І СПЕКТРОСКОПІЯ РЕЛЯТИВІСТСЬКИХ АТОМІВ І БАГАТОЗАРЯДНИХ ІОНІВ»

(назва навчальної дисципліни)

104Фізика та астрономія

(шифр та назва спеціальності)

Оптика і спектроскопія квантових систем

(назва освітньої програми)

третій, денна

(рівень вищої освіти) (форма навчання)

1

2

5/150

залік

(рік навчання) (семестр навчання) (кількість кредитів ЄКТС/годин) (форма контролю)

Вищої та прикладної математики

(кафедра)

Одеса, 2021 р.

Автори:

Глушков О.В., зав. кафедри вищої та прикладної математики, д.ф.-м.н., професор;
Свинаренко А.А., професор кафедри вищої та прикладної математики, д.ф.-м.н., професор;
Хецеліус О.Ю., професор кафедри вищої та прикладної математики, д.ф.-м.н., професор;

Рецензенти:

Сминтина В.А., д.ф.-м.н., професор (Одеський національний університет ім.І.Мечникова);
Тюрін О.В., д.ф.-м.н., професор (Одеський національний університет ім.І.Мечникова);
Шевчук В.Г., д.ф.-м.н., професор (Одеський національний університет ім.І.Мечникова);

Поточна редакція розглянута на засіданні кафедри вищої та прикладної математики
від «_30_»_08_2021 р., протокол № 1.

Викладачі:

лекційні заняття:

Хецеліус О.Ю., проф. кафедри вищої та прикладної математики, д.ф.-м.н., професор;

практичні заняття:

Флорко Ю.Г, доцент кафедри вищої та прикладної математики, к.ф.-м.н., доцент;

контактна інформація: телефон кафедри: (0482) 32-67-39, електронна адреса:

okhetsel@gmail.com, flortatyana@gmail.com, електронна адреса кафедри: math@odeku.edu.ua

Перелік попередніх редакцій

| Прізвища та ініціали авторів | Дата, № протоколу | Дата набуття чинності |
|------------------------------|-------------------|-----------------------|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЗМ-Л1 – змістовий лекційний модуль №1

ЗМ-Л2 – змістовий лекційний модуль №2

ЗМ-П1 – змістовий практичний модуль №1

ЗМ-П2 – змістовий практичний модуль №2

ЗМ-КуР – змістовий практичний модуль з виконання курсової роботи

ОЗ – оцінка роботи здобувача освіти за всіма змістовими модулями

ОКР – оцінка залікової контрольної роботи

В – інтегральна оцінка поточної роботи здобувача освіти по дисципліні

ЄКТС – Європейська кредитно-трансферна система

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

| | |
|--|--|
| Мета навчальної дисципліни | Засвоєння (забезпечення) низки компетентностей, зокрема, оволодіння сучасним апаратом спектроскопії релятивістських атомів і багатозарядних іонів, а також здатність використовувати базові теоретичні знання фундаментальних розділів загальної та теоретичної фізики для вирішення професійних завдань. |
| Компетентності, які повинні бути набуті або розвинуті | <p>K11 Здатність аналізу та виявлення комплексу головних проблем у певній галузі сучасної фізики та, зокрема, оптики та спектроскопії атомів, багатозарядних іонів, молекулярних, квантових, лазерних систем, твердого тіла, а також атмосфери та океану; Здатність розвитку нових та удосконалення існуючих методів опису оптичних та спектроскопічних властивостей твердих тіл на основі методів квантової механіки, квантової хімії твердого тіла, а також методів релятивістської квантової теорії.</p> <p>K12 Здатність створювати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі в оптиці та спектроскопії фізичних систем із реалізацією ефективних алгоритмів та спеціалізованого програмного забезпечення. Здатність отримувати нові фундаментальні знання в оптиці та спектроскопії атомів, молекул, твердих тіл, лазерних систем, твердих тіл, а також геофізичних систем (атмосфери та океану).</p> |
| Програмні результати навчання | <p>P111 Уміння проводити дослідження з оптики та спектроскопії атомів, багатозарядних іонів, молекулярних, квантових, лазерних систем, твердого тіла, а також атмосфери та океану в контексті існуючих теорій, робити аргументовані висновки (включаючи оцінювання ступеня невизначеності) та пропозиції щодо подальших досліджень.</p> <p>P112 Уміння використовувати сучасні або розроблювати нові підходи розрахунку фундаментальних характеристик, зокрема, на основі методів квантової механіки, електродинаміки, електроніки в оптиці та спектроскопії атомів, молекул, твердих тіл, лазерних систем, твердих тіл, а також геофізичних систем (атмосфери та океану)</p> <p>P121 Уміння створювати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі в оптиці та спектроскопії атомів, молекул, твердих тіл, лазерних систем, твердих тіл, а також геофізичних систем (атмосфери та океану), перевіряти їх адекватність, досліджувати їх для отримання нових висновків та поглиблення розуміння фундаментальних процесів ц фізичній системі, аналізувати обмеження</p> <p>P122 Уміння досягнення відповідних знань з використанням ефективних, у тому числі, нових методів, моделей, алгоритмів визначення фізичних (оптичних та спектроскопічних) характеристик атомів, молекул, твердих тіл, лазерних систем, твердих тіл, а також геофізичних систем (атмосфери та океану), обробки результатів чисельних та натурних експериментів.</p> |
| Базові знання | Теоретичні основи сучасної спектроскопії релятивістських атомів і багатозарядних іонів, включаючи квантову теорію поглинання, випускнення і розсіювання світла, основи лазерної фізики і властивості лазерного випромінювання; основні методи експериментальної реєстрації спектрів, області застосування спектроскопії релятивістських атомів і багатозарядних іонів в фізиці, хімії, біології, медицині та |

| | |
|---------------------------------|--|
| | матеріалознавстві, нові досягнення і перспективи розвитку. |
| Базові вміння | Пояснювати фізичні явища і процеси, що лежать в основі методів спектроскопії релятивістських атомів і багатозарядних іонів, оцінювати можливості різних методів спектроскопії релятивістських атомів і багатозарядних іонів стосовно до конкретних практичних завдань; користуватися теоретичним апаратом спектроскопії релятивістських атомів і багатозарядних іонів для оцінки параметрів експериментальних установок і регистрируючих спектрів. |
| Базові навички | Володіти методами пошуку інформації для визначення спектроскопічних параметрів релятивістських атомних і багатозарядних іонних систем, а також вибору оптимальних засобів для їх експериментального вимірювання; практичними навичками проведення спектроскопічних вимірювань і обробки їх результатів. |
| Пов'язані силабуси | Немає |
| Попередня дисципліна | Обчислювальні методи оптики та динаміки квантових та лазерних систем |
| Наступна дисципліна | Науково-педагогічна практика |
| Кількість годин | лекції – 30 год., практичні заняття – 45 год., самостійна робота – 75 год. |

2. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

2.1. Лекційний модуль

| Код | Назви змістовних модулів та перелік тем лекційних занять | Кількість годин | |
|--------------|--|-----------------|----------------|
| | | Ауди-торні | Самост. робота |
| ЗМ-Л1 | Взаємодія електронів з електромагнітним полем. Адіабатична теорія, метод функції Гріна, Хартрі-Фока. Секулярність. Метод ефективного потенціалу. | 16 | 15 |
| Л1.1 | S-матриця і функції Гріна. Теорія збурень, теорема Віка, діаграми Фейнмана. Калібрування, власні маси і вершинні частини. Калібрувальна інваріантність. Класифікація діаграм. | 2 | 2 |
| Л1.2 | Адіабатична S-матриця. Зрушення невиродженого рівня. Адіабатичні формули для зсуву невиродженого рівня. Зрушення енергії вакууму. Невироджені рівні в атомах. Формалізм дірок. Енергія невиродженого рівня в атомі в перших двох порядках. | 2 | 2 |
| Л1.3 | Секулярний оператор і коефіцієнти змішування. Секулярний оператор і його вираз через адіабатичну S-матрицю. Секулярний оператор в нижчих порядках теорії збурень. Діаграма Фейнмана для секулярного оператора. | 2 | 2 |
| Л1.4 | Усунення ультрафіолетових розбіжностей. Внесок в секулярний оператор від взаємодії електронів. Функції Гріна і рівні енергії. Одноелектронні системи. Метод Хартрі-Фока. | 2 | 2 |
| Л1.5 | Два електрона понад заповненої оболонки. Рівняння Бете-Сольпітера. Рівняння для рівнів енергії. Доказ можливості обчислення власної маси по теорії збурень. Власна маса в двох нижчих порядках. | 2 | 2 |
| Л1.6 | Багатоелектронні атоми. Рівняння для функції Гріна. Визначення рівнів енергії і функції Гріна з теорії збурень. Ефективний потенціал двох електронів як взаємодія на масовій оболонці. | 2 | 2 |
| Л1.7 | Внесок в секулярний оператор від Кулонівської і Брейтовської взаємодій електронів. Матричний елемент між двохелектронними станами. | 2 | 2 |
| Л1.8 | Секулярний оператор через радіальні інтегралі. Чисельні розрахунки. Лембовське зрушення. Власна маса електрона, внесок поляризації вакууму. | 2 | 1 |
| ЗМ-Л2 | Радіаційні ймовірності переходів. Радіаційна ширина рівнів. Безрадіаційні переходи. Обмін двома фотонами. Облік впливу остова. | 14 | 15 |
| Л2.1 | Загальні формули для ймовірності переходів в нижчому порядку. Нерелятивістська межа. Чисельні результати для ймовірностей переходів. | 2 | 3 |
| Л2.2 | Ширина рівня як сума ймовірностей переходів в усі можливі нижні стани. Антіермітова частина матричного елемента і мультиполярні матричні елементи. Ширина рівня як уявна частина енергії. | 2 | 2 |
| Л2.3 | Безрадіаційна ймовірність переходу. Безрадіаційна ширина рівня. Ширина рівня як уявна частина енергії. Оцінка вкладів діаграм Фейнмана вищих порядків при різних αZ | 2 | 2 |
| Л2.4 | Обмін двома фотонами. Загальні формули. Інтегрування по кутах. Нерелятивістська межа. Двохелектронні і трьохелектронні системи. | 2 | 2 |
| Л2.5 | Облік впливу остова. Внесок остова у секулярний оператор. Внесок остова в нижчому порядку теорії збурень. Нерелятивістський розрахунок членів порядку αZ . | 2 | 2 |

| Код | Назви змістовних модулів та перелік тем лекційних занять | Кількість годин | |
|---------------|---|-----------------|----------------|
| | | Ауди-торні | Самост. робота |
| Л2.6 | Радіаційні діаграми 4го порядку. Поправки на запізнювання. Одноелектронні вклади (власна маса електрона 4го порядку). | 2 | 2 |
| Л2.7 | Радіаційні поправки до обміну одним фотоном. Поправки на запізнювання. Ймовірності переходів. | 2 | 2 |
| Разом: | | 30 | 30 |

Консультації проводить професор Глушков О.В. щопонеділка з 15.00 до 17.00 в ауд. 407, можливі он-лайн консультації через Skype або Wiber; для узгодження часу он-лайн консультацій слід надіслати запит на електронну пошту викладача: glushkovav@gmail.com, math@odeku.edu.ua

2.2. Практичний модуль

| Код | Назви змістовних модулів та перелік тем практичних занять | Кількість годин | |
|--------------|--|-----------------|--------------|
| | | Ауди-торні | Самост. роб. |
| ЗМ-П1 | Взаємодія електронів з електромагнітним полем. Адіабатична теорія, метод функції Гріна, Хартрі-Фока. Секулярність. Метод ефективного потенціалу. | 24 | 15 |
| П1.1 | S-матриця і функції Гріна. Теорія збурень, теорема Віка, діаграми Фейнмана. Калібрування, власні маси і вершинні частини. Калібрувальна інваріантність. Класифікація діаграм. | 2 | 1 |
| П1.2 | Адіабатична S-матриця. Зрушення невиродженого рівня. Адіабатичні формули для зсуву невиродженого рівня. Зрушення енергії вакууму. Невироджені рівні в атомах. Формалізм дірок. Енергія невиродженого рівня в атомі в перших двох порядках. | 2 | 2 |
| П1.3 | Секулярний оператор і коефіцієнти змішування. Секулярний оператор і його вираз через адіабатичну S-матрицю. Секулярний оператор в нижчих порядках теорії збурень. Діаграма Фейнмана для секулярного оператора. | 2 | 2 |
| П1.4 | Усунення ультрафіолетових розбіжностей. Внесок в секулярний оператор від взаємодії електронів. Функції Гріна і рівні енергії. Одноелектронні системи. Метод Хартрі-Фока. | 2 | 2 |
| П1.5 | Два електрона понад заповненої оболонки. Рівняння Бете-Сольпітера. Рівняння для рівнів енергії. Доказ можливості обчислення власної маси по теорії збурень. Власна маса в двох нижчих порядках. | 4 | 2 |
| П1.6 | Багатоелектронні атоми. Рівняння для функції Гріна. Визначення рівнів енергії і функції Гріна з теорії збурень. Ефективний потенціал двох електронів як взаємодія на масовій оболонці. | 4 | 2 |
| П1.7 | Внесок в секулярний оператор від Кулонівської і Брейтовської взаємодій електронів. Матричний елемент між двохелектронними станами. | 4 | 2 |
| П1.8 | Секулярний оператор через радіальні інтеграли. Чисельні розрахунки. Лембовське зрушення. Власна маса електрона, внесок поляризації вакууму. | 4 | 2 |
| ЗМ-П2 | Радіаційні ймовірності переходів. Радіаційна ширина рівнів. Безрадіаційні переходи. Обмін двома фотонами. Облік впливу остова. | 21 | 10 |
| П2.1 | Загальні формули для ймовірності переходів в нижчому порядку. Розкладання по мультиполю. Чисельні розрахунки. | 2 | 1 |
| П2.2 | Нерелятивістська межа. Чисельні результати для ймовірностей переходів. | 2 | 1 |

| Код | Назви змістовних модулів та перелік тем лекційних занять | Кількість годин | |
|---------------|---|-----------------|----------------|
| | | Ауди-торні | Самост. робота |
| П2.3 | Ширина рівня як сума ймовірностей переходів в усі можливі нижні стани. Антіермітова частина матричного елемента і мультиполярні матричні елементи. Ширина рівня як уявна частина енергії. | 2 | 1 |
| П2.4 | Безрадіаційна ймовірність переходу. Безрадіаційна ширина рівня. Ширина рівня як уявна частина енергії. | 2 | 1 |
| П2.5 | Оцінка вкладів діаграм Фейнмана вищих порядків при різних αZ | 2 | 1 |
| П2.6 | Обмін двома фотонами. Загальні формули. Інтегрування по кутах. Нерелятивістська межа. Двохелектронні і трьохелектронні системи. | 2 | 1 |
| П2.7 | Облік впливу остова. Внесок остова в секулярний оператор. Внесок остова в нижчому порядку теорії збурень. | 2 | 1 |
| П2.8 | Нерелятивістський розрахунок членів порядку αZ . Остаточні чисельні результати для матриці енергії і її діагоналізації. | 2 | 1 |
| П2.9 | Радіаційні діаграми 4го порядку. Поправки на запізнювання. Одноелектронні вклади (власна маса електрона 4го порядку). | 3 | 1 |
| П2.10 | Радіаційні поправки до обміну одним фотоном. Поправки на запізнювання. Ймовірності переходів. | 2 | 1 |
| ЗМ-КуР | Курсова робота | - | 15 |
| | Підготовка до залікової роботи | - | 5 |
| Разом: | | 45 | 45 |

Консультації проводить професор Глушков О.В. щопонеділка з 15.00 до 17.00 в ауд. 407, можливі он-лайн консультації через Skype або Wiber; для узгодження часу он-лайн консультацій слід надіслати запит на електронну пошту викладача: glushkovav@gmail.com, math@odeku.edu.ua

2.3. Самостійна робота

| Код | Узагальнені дані по всіх змістових модулях про завдання на самостійну роботу | Кількість годин | Строк проведення |
|--------------|--|-----------------|------------------|
| ЗМ-Л1 | • Самопідготовка до лекцій, опрацювання теоретичного матеріалу за конспектами лекцій і рекомендованими навчальними посібниками, монографічній навчальній літературі, включаючи інформаційні загальноосвітні ресурси; | 3 | 1-8 тижні |
| | • Виконання завдань на самостійну роботу, підготовка до усного опитування або тестування; | 3 | |
| | • Самостійне вивчення з рекомендованого переліку додаткових теоретичних питань, нерозглянутих на лекціях, | 2 | |
| | • Виконання запропонованих викладачем додаткових завдань на самостійну роботу з метою поглиблення та закріплення знань, розвитку аналітичних навичок з проблематики навчальної дисципліни. | 2 | |
| | • Підготовка до модульної контрольної роботи (обов'язкова) | 5 | |

| Код | Узагальнені дані по всіх змістових модулях про завдання на самостійну роботу | Кількість годин | Строк проведення |
|---------------|--|-----------------|------------------|
| ЗМ-Л2 | • Самопідготовка до лекцій, опрацювання теоретичного матеріалу за конспектами лекцій і рекомендованими навчальними посібниками, монографічній навчальній літературі, включаючи інформаційні загальноосвітні ресурси; | 3 | 9-15 тижні |
| | • Виконання завдань на самостійну роботу, підготовка до усного опитування; | 3 | |
| | • Самостійне вивчення з рекомендованого переліку додаткових теоретичних питань, нерозглянутих на лекціях, | 2 | |
| | • Виконання запропонованих викладачем додаткових завдань на самостійну роботу з метою поглиблення та закріплення знань, розвитку аналітичних навичок з проблематики навчальної дисципліни. | 2 | |
| | • Підготовка до модульної контрольної роботи (обов'язкова) | 5 | |
| ЗМ-П1 | • Самопідготовка до практичних занять, повторення раніше вивченого теоретичного матеріалу; | 3 | 1-8 тижні |
| | • Виконання завдань на самостійну роботу, у тому числі розв'язування окремих задач і прикладів, проведення типових розрахунків за даними, отриманими на практичних заняттях, підготовка до презентації результатів; | 3 | |
| | • Підготовка до усного опитування або тестування, перевірки практичних робіт у форматі взаємного оцінювання та обґрунтованих висновків; | 2 | |
| | • Розв'язування додаткових задач за тематикою практичних занять. | 2 | |
| | • Підготовка до модульної контрольної роботи (обов'язкова) | 5 | |
| ЗМ-П2 | • Самопідготовка до практичних занять, повторення раніше вивченого теоретичного матеріалу; | 2 | 9-15 тижні |
| | • Виконання завдань на самостійну роботу, у тому числі розв'язування окремих задач і прикладів, проведення типових розрахунків за даними, отриманими на практичних заняттях, підготовка до презентації результатів; | 1 | |
| | • Підготовка до усного опитування або тестування, перевірки практичних робіт у форматі взаємного оцінювання та обґрунтованих висновків; | 1 | |
| | • Розв'язування додаткових задач за тематикою практичних занять. | 1 | |
| | • Підготовка до модульної контрольної роботи (обов'язкова) | 5 | |
| ЗМ-КуР | • Виконання етапів курсової (дослідницької) роботи згідно завдання, виданого викладачем; | 10 | 2-12 тижні |
| | • Підготовка до захисту курсової роботи (обов'язкова). | 5 | 13-14 тижні |
| ОКР | • Підготовка до залікової контрольної роботи . (обов'язкова). | 5 | 14-15 тижні |
| Разом: | | 75 | |

3. РЕКОМЕНДАЦІ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ АСПІРАНТІВ

3.1. Повчання

Самостійна робота є основним засобом засвоєння здобувачем вищої освіти навчального матеріалу дисципліни «Оптика і спектроскопія релятивістських атомів і багатозарядних іонів» в поза аудиторний час, що регламентується навчальним планом.

Базова (обов'язкова) самостійна робота аспіранта включає:

- самопідготовку до лекційних та практичних занять;
- опрацювання нового та повторення раніше вивченого теоретичного матеріалу;
- виконання завдань на самостійну роботу: підготовка інформаційного повідомлення в усній та письмовій формі, складання опорного конспекту, графічне представлення матеріалу (складання схем, рисунків, графіків, діаграм), складання тестів та еталонних відповідей до них, створення матеріалів презентацій, проведення типових розрахунків за даними, отриманими на практичних заняттях;

- підготовку до усного опитування або тестування;
- виконання курсової роботи та підготовку до її захисту;
- підготовку до залікової контрольної роботи.

Додаткова самостійна робота спрямована на поглиблення та закріплення знань здобувачів освіти, розвиток їх аналітичних навичок з проблематики навчальної дисципліни. Невичерпний перелік заходів може включати:

- самостійне вивчення з рекомендованого переліку додаткових теоретичних питань, нерозглянутих на лекціях;

- розв'язування додаткових задач за тематикою практичних занять;
- виконання творчих аналітично-розрахункових робіт;
- аналіз наукової публікації за визначеною викладачем темою;
- аналіз наукових матеріалів по заданій темі зі складанням схем та моделей на підставі отриманих результатів;

- поглиблений аналіз науково-методичної літератури (підготовка рецензій, анотацій на статтю або посібник, складання анотованого списку статей із відповідних журналів по галузі знань, складання глосарія по конкретній темі, аналітичний звіт з побудови наукової гіпотези за обраною аспірантом тематикою дослідження та ін.);

- пошук додаткових матеріалів, які можуть бути використані для написання курсової (дослідницької) роботи.

Самостійна робота над засвоєнням навчального матеріалу з дисципліни може виконуватися у бібліотеці, читальних залах бібліотеки Одеського державного екологічного університету, навчальних кабінетах, комп'ютерних класах, у домашніх умовах, у тому числі з використанням технологій дистанційного навчання та інтернет ресурсів.

Перелік навчально-методичних матеріалів разом з рекомендованою науковою та фаховою монографічною й періодичною літературою, необхідний для забезпечення самостійної роботи аспірантів, наведено у пункті 5.

Здобувач освіти в ході самостійної роботи може:

- самостійно визначати рівень (глибину) опрацювання змісту матеріалу;
- самостійно опрацювати додаткові теми і питання;
- пропонувати свої варіанти організаційних форм самостійної роботи;
- використовувати для самостійної роботи методичні та навчальні посібники та інші інформаційні ресурси понад запропонованого переліку;
- здійснювати самоконтроль результатів самостійної роботи (власними методами або запропонованими викладачем).

Навчальний матеріал дисципліни, передбачений для засвоєння аспірантами у процесі самостійної роботи, виноситься на підсумковий контроль разом із навчальним матеріалом, який було опрацьовано під час проведення навчальних занять. Загальна кількість годин самостійної роботи, яка надається аспіранту для засвоєння навчального матеріалу дисципліни, становить 75 годин.

3.1.1 Модуль Л1, П1. Взаємодія електронів з електромагнітним полем. Адіабатична теорія, метод функції Гріна, Хартрі-Фока. Секулярність. Метод ефективного потенціалу.

3.1.1.1 Повчання

Розглядають наступні питання: S-матриця і функції Гріна. Теорія збурень. Теорема Віка. Діаграми Фейнмана. Класифікація діаграм. Калібрування, власні маси і вершинні частини. Калібрувальна інваріантність. Адіабатична S-матриця. Зрушення невиродженого рівня. Невироджені рівні в атомах. Формалізм дірок. Секулярні оператори. Усунення ультрафіолетових розбіжностей. Функції Гріна і рівні енергії.

Наявне навчально-методичне забезпечення:

1. Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия. Изд. 2-е. М.: УРСС, 2001.
2. Летохов В.С., Чеботаев В.П. Принципы нелинейной лазерной спектроскопии. М., 1990.
3. Звелто О. Принципы лазеров. М.: Мир, 1990
4. Глушков О.В., Релятивістські і кореляційні ефекти в спектрах атомних систем.-Одеса: Екологія.-2006.
5. Глушков О.В., Оптимальні лазерні методи детектування та поділення ізотопів. -Одеса: Екологія.-2013.

3.1.1.2 Питання до самоперевірки

1. Метод Хартрі-Фока. ([1], стр.128-135)
2. Два електрона понад заповненої оболонки. ([2], стр.67-77)
3. Рівняння Бете-Сольпітера. ([3], стр.22-37)
4. Рівняння для рівнів енергії. ([1], стр.137-145)
5. Доказ можливості обчислення власної маси по теорії збурень. ([3], стр.58-63)
6. Власна маса в двох нижчих порядках. ([1], стр.91-105)
7. Рівняння для функції Гріна. ([1], стр.107-117)
8. Визначення рівнів енергії і функції Гріна з теорії збурень. ([2], стр.53-59)
9. Ефективний потенціал двох електронів як взаємодія на масовій оболонці. ([2], стр.59-65)
10. Внесок в секулярний оператор від Кулонівської взаємодії електронів. ([1], стр.119-125)
11. Внесок в секулярний оператор від Брейтовської взаємодії електронів. ([3], стр.71-75)
12. Матричний елемент між двоелектронними станами ([1], стр.13-17)

3.1.2 Модуль Л2, П2. Радіаційні ймовірності переходів. Радіаційна ширина рівнів. Безрадіаційні переходи. Обмін двома фотонами. Облік впливу остова.

3.1.2.1 Повчання

Розглядають наступні питання: Загальні формули для ймовірності переходів в нижчому порядку. Нерелятивістська межа. Чисельні результати для ймовірностей переходів. Ширина рівня як сума ймовірностей переходів в усі можливі нижні стани. Антіермітова частина матричного елемента і мультиполярні матричні елементи. Ширина рівня як уявна частина енергії. Безрадіаційна ймовірність переходу. Безрадіаційна ширина рівня.

Нааявне навчально-методичне забезпечення:

1. Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия. Изд. 2-е. М.: УРСС, 2001.
2. Летохов В.С., Чеботаев В.П. Принципы нелинейной лазерной спектроскопии. М., 1990.
3. Звелто О. Принципы лазеров. М.: Мир, 1990
4. Глушков О.В., Релятивістські і кореляційні ефекти в спектрах атомних систем.-Одеса: Екологія.-2006.
5. Глушков О.В., Оптимальні лазерні методи детектування та поділення ізотопів. -Одеса: Екологія.-2013.

3.1.2.2 Питання до самоперевірки

1. Ширина рівня як уявна частина енергії. ([1], стр.58-65)
2. Оцінка вкладів діаграм Фейнмана вищих порядків при різних αZ . ([2], стр.46-49)
3. Обмін двома фотонами. ([3], стр.22-37)
4. Інтегрування по кутах. ([4], стр.71-85)
5. Нерелятивістська межа. ([3], стр.41-55)
6. Облік впливу остова. ([1], стр.21-35)
7. Внесок остова у секулярний оператор. ([1], стр.41-47)
8. Внесок остова в нижчому порядку теорії збурень. ([4],стр.33-39)
9. Нерелятивістський розрахунок членів порядку αZ . ([2], стр.41-45)
10. Радіаційні діаграми 4го порядку. ([1], стр.53-58)
11. Поправки на запізнювання. ([1], стр.35-37)
12. Одноелектронні вклади (власна маса електрона 4го порядку). ([1], стр. 71-88)
13. Радіаційні поправки до обміну одним фотоном. ([4],стр.55-59)
14. Поправки на запізнювання. ([2], стр.30-35)
15. Ймовірності переходів. ([1], стр.103-108)

3.2. Рекомендований перелік

додаткових теоретичних питань для самостійного вивчення

1. Нерелятивістська частина енергії. ([5], стр.50-61)
2. Діаграми першого і другого порядків. ([1], стр.22-28)
3. Теорія збурень по кулонівській взаємодії. ([2], стр.46-49)
4. Чисельні розрахунки вкладів від діаграм. ([3], стр.22-37)
5. Релятивістські поправки до енергії. ([5], стр.70-81)
6. Оператор Брейта для розрахунку релятивістської частини енергії. Матриця енергії. ([2], стр.66-69)
7. Ряди по $1/Z$ для дипольних матричних елементів, сил осциляторів, ймовірностей переходів. ([1], стр.83-87)
8. Розрахунок нульового і першого порядків для дипольного матричного елемента. ([2], стр.41-45)
9. До розрахунку сил осциляторів. Проміжна схема зв'язку. ([1], стр.53-58)
10. Метод диференціального поглинання і розсіяння. ([4], стр.58-65)

3.3. Вказівки з виконання курсової (дослідницької) роботи

Окремою складовою самостійної роботи з дисципліни «Оптика і спектроскопія релятивістських атомів і багатозарядних іонів» є виконання курсової (дослідницької) роботи та підготовка до її захисту. Курсова робота - один із видів індивідуальних завдань навчально-дослідницького та творчого характеру, який має на меті не лише поглиблення, узагальнення і закріплення знань аспірантів з навчальної дисципліни, а й застосування їх при проведенні власного наукового дослідження і вироблення вміння самостійно працювати з навчальною і науковою літературою, електронно-обчислювальною технікою та іншим обладнанням, використовуючи сучасні інформаційні засоби та технології.

Вибір теми курсової роботи (проекту) здобувач освіти здійснює на початку вивчення дисципліни протягом перших трьох тижнів семестру. Аспіранту надається право вільного вибору теми роботи із запропонованого переліку. Також він може запропонувати власну тему курсової роботи за умови письмового погодження із науковим керівником, обґрунтувавши своє рішення належним чином і враховуючи, що запропонована тема повинна бути актуальною і відповідати професійному спрямуванню дисципліни.

Курсова робота є окремою заліковою одиницею навчальної дисципліни і оцінюється як самостійний вид навчальної діяльності аспіранта. Виконання курсової роботи передбачає розробку розрахунково-пояснювальної записки, графічного, ілюстративного матеріалу, та є творчим рішенням конкретної задачі щодо застосування чисельних методів алгебри у розв'язанні задач динаміки квантових систем, виконаним аспірантом самостійно згідно із завданням під керівництвом викладача, на основі набутих з даної та суміжних дисциплін знань та умінь.

Процес написання курсової роботи включає послідовність певних етапів, які проходить здобувач вищої освіти самостійно і під керівництвом викладача: складання календарного плану; підбір, вивчення та аналіз літератури з досліджуваної теми; написання тексту теоретичної частини курсової роботи; аналіз експериментального матеріалу та узагальнення практичних досліджень; аналіз отриманих результатів, їх інтерпретація та формулювання висновків; оформлення тексту курсової роботи і підготовка до захисту, у тому числі отримання рецензії на курсову роботу.

Термін подання завершеної курсової роботи – не пізніше ніж за два тижні до захисту. Захист курсових робіт (проектів) відбувається до початку екзаменаційної сесії.

3.3.1. Перелік тем курсових (дослідницьких) робіт

1. Ширина рівня як сума ймовірностей переходів в усі можливі нижні стани. ([4], стр.40-68)
2. Ширина рівня як уявна частина енергії. ([2], стр.41-45)
3. Внесок остова в нижчому порядку теорії збурень. ([5], стр.53-58)
4. Внесок остова в секулярної оператор. ([1], стр.35-62)
5. Радіаційні поправки до обміну одним фотоном. ([5], стр.46-49)
6. Радіаційні діаграми 4го порядку. Поправки на запізнювання. ([1], стр.22-37)
7. Квантова теорія лінійного та нелінійного поглинання. ([4] стр.41-47)
8. Безрадіаційна ймовірність переходу і ширина рівня. ([3], стр.33-39)
9. Багатофотонна спектроскопія атомів. ([5], стр.58-65)
10. Багатофотонна спектроскопія молекул. ([2], стр.46-49)

Захист курсової роботи проводиться перед комісією, яка складається з двох викладачів кафедри, та за участю керівника курсової роботи. Перед допуском до захисту аспіранта текст електронної версії курсової роботи обов'язково перевіряється на оригінальність за допомогою доступного веб-сервісу перевірки із встановленням частки (відсоткового показника) оригінального тексту.

Для курсової роботи рекомендуються наступні показники оригінальності:

- понад 85 % – текст вважається оригінальним;
- від 75 до 85 % – оригінальність задовільна;
- від 60 до 75 % – матеріал може бути прийнятий до розгляду після доопрацювання та перевірки наявності посилань для цитованих фрагментів;
- менше 60 % – матеріал до розгляду не приймається.

Оцінка за виконання та захист курсової (дослідницької) роботи визначається відповідно до методики, викладеної у пункті 4.

4. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ КОНТРОЛЬНИХ ЗАХОДІВ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ

4.1. Політика навчальної дисципліни

| | |
|---|---|
| <p>Загальна політика</p> | <ul style="list-style-type: none"> • здобувач освіти зобов'язаний: відвідувати аудиторні заняття згідно розкладу, не спізнюватися; на заняттях дотримуватися етики поведінки, на лекціях бажано виключати телефони; своєчасно виконувати всі види робіт, передбачені програмою навчальної дисципліни; • під час практичних занять здобувач освіти має можливість використовувати власні цифрові носії інформації із доступом в мережу Інтернет, а також здійснювати пошук інформації на гугл-диску викладача з його дозволу; • здобувач освіти має право отримати від викладача вичерпну інформацію щодо оцінювання його роботи, у тому числі оцінки за усну або письмову відповідь під час контрольних заходів; • на останньому занятті з дисципліни викладач повідомляє загальну суму балів, яку здобувач освіти отримав за результатами всіх видів поточного контролю, що обчислюється як накопичувальна сума складових поточного контролю; • викладач заздалегідь доводить до відома здобувачів освіти час об'яви результатів підсумкового контролю; • теми, які виносяться на самостійне опрацювання і не входять до тем аудиторних навчальних занять, оцінюються під час підсумкового контролю; • вивчення дисципліни з використанням технологій дистанційного навчання передбачено у випадку форс мажорних обставин, а також у разі інклюзивного навчання здобувачів освіти з вадами опорно рухового апарату; • підсумковий семестровий контроль здобувачів освіти може здійснюватися з використанням технологій дистанційного навчання – системи е-навчання університету; • з метою контролю виконання завдань заліку в дистанційній формі викладач має право протягом усього заходу користуватись засобами інформаційно-комунікаційного зв'язку, які дозволяють ідентифікувати здобувача освіти (Zoom, Google Meet, Skype, Viber тощо). |
| <p>Правила стосовно зарахування пропущених занять</p> | <ul style="list-style-type: none"> • допускається вільне відвідування аспірантами лекційних занять, відвідування практичних занять є обов'язковим; • ліквідація заборгованості з практичної частини навчальної дисципліни здійснюється за графіком, який оприлюднюється протягом двох робочих днів після закінчення занять у семестрі; • ліквідація заборгованості протягом заліково-екзаменаційної сесії дає можливість отримати допуск до семестрового контролю. |
| <p>Правила щодо порушення термінів</p> | <ul style="list-style-type: none"> • роботи, які здаються із порушенням термінів без поважних причин, оцінюються на нижчу оцінку; • якщо обов'язкові заходи, які підлягають контролю, виконуються здобувачем освіти після строків, визначених у програмі навчальної дисципліни, кількість балів, що може отримати студент, не може перевищувати 60% від максимально можливої для цієї форми контролю. |
| <p>Політика щодо призначення заохочувальних та штрафних балів</p> | <ul style="list-style-type: none"> • здобувачам освіти можуть нараховуватися: • <i>заохочувальні (додаткові) бали:</i> «+0,5 бали» - за доповнення до виступу, суттєві запитання до доповідачів, вміння аргументовано висловлювати свої думки, творче опрацювали всіх питань лекції та зразкове ведення опорного конспекту; «+1 бал» - за підготовку творчої роботи (завдання, презентації); • <i>штрафні бали:</i> |

| | |
|---|--|
| | <p>«-1 бал» - за пропуск практичного заняття. «-0,5 бали» - за невчасну здачу звіту практичної роботи (етапу курсової роботи);</p> <ul style="list-style-type: none"> • мінімальна оцінка виконання змістового модуля після зниження не може бути нижча 60% від максимально можливої. |
| Політика щодо академічної доброчесності | <ul style="list-style-type: none"> • оцінювання усних відповідей, практичних робіт, самостійної роботи, результатів виконання тестових завдань та ін. здійснюється з позицій дотримання академічної доброчесності; • усі письмові роботи перевіряються на наявність плагіату і допускаються до захисту із коректними текстовими запозиченнями не більше 25%; • під час семестрового контролю здобувачу освіти дозволяється користуватись довідниками та іншими джерелами інформації, перелік яких встановлюється викладачем; використання носіїв інформації, що не передбачені встановленим переліком, а також спілкування з іншими особами, у тому числі й за допомогою технічних засобів зв'язку, є підставою для виставлення здобувачу освіти у відомості оцінки «не зараховано» (FX, F); • списування під час проведення контрольних заходів, у тому числі за допомогою мобільних пристроїв, заборонено. |

4.2. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання

4.2.1. Види контролю

Контрольні заходи з навчальної дисципліни «Оптика і спектроскопія релятивістських атомів і багатозарядних іонів» включають поточний та підсумковий контроль.

1. Поточний контроль здійснюється протягом семестру і включає:

- Усне опитування під час практичних занять на початку заняття з метою з'ясування рівня готовності здобувачів освіти до виконання завдань практичної роботи;
- Спостереження за роботою протягом заняття з подальшою оцінкою активності здобувачів освіти у процесі заняття, внесених ними пропозицій, оригінальних рішень, уточнень і визначень, доповнень відповідей попередніх доповідачів і т.п.;
- Письмове опитування після виконання завдань практичної роботи шляхом розв'язання проблемних питань письмово, розроблених у декількох варіантах (відповіді на проблемні питання можна включити в звіт про виконання роботи замість висновків);
- Перевірка індивідуальних звітів з виконаної роботи;
- Модульну контрольну роботу, яка включає 10 тестових запитань відкритого типу.

Правильна відповідь на кожне з запропонованих запитань оцінюється у 2 бала. Таким чином, максимальна оцінка за модульну контрольну роботу складає 20 балів.

- Поточний контроль виконання етапів курсової роботи.

2. Підсумковий контроль проводиться у формі семестрового заліку.

Умови допуску до підсумкового семестрового контролю:

- здобувач освіти вважається допущеним до семестрового контролю з навчальної дисципліни (семестрового заліку), якщо він виконав всі види робіт, передбачених програмою навчальної дисципліни, і набрав необхідну суму балів по заходах поточного контролю згідно з Положенням про проведення підсумкового контролю знань студентів: на останній день семестру інтегральна сума балів поточного контролю є достатньою (не менше 20 балів з теоретичної та не менше 30 балів з практичної частини у тому числі успішний захист курсової роботи) для отримання позитивної оцінки; інтегральна кількісна оцінка поточної роботи здобувача освіти обов'язково містить оцінку залікової контрольної роботи; сума балів на заліковій контрольній роботі не менше 50% від максимально можливої.

Інтегральна оцінка (%) поточної роботи здобувача освіти по дисципліні (шкала університету) розраховується за виразом:

$$B = 0,75 \times OЗ + 0,25 \times ОКР,$$

де OЗ – оцінка роботи студента за змістовними модулями, бали;

ОКР – оцінка залікової контрольної роботи, бали.

4.3. Оцінювання результатів навчання (кількість балів, які можуть отримати здобувачі вищої освіти)

4.3.1. ЗМ-Л1, ЗМ-Л2

Оцінювання лекційних змістових блоків здійснюється на підставі результатів модульних контрольних робіт, які проводяться в кінці освоєння змістових блоків ЗМ-Л1, ЗМ-Л2.

| Кількість балів | Змістові блоки | | Сума балів |
|-----------------|----------------|-------|------------|
| | ЗМ-Л1 | ЗМ-Л2 | |
| Max | 20 | 20 | 40 балів |
| Min | 0 | 0 | 0 балів |

4.3.2. ЗМ-П1, ЗМ-П2

Оцінювання практичних змістових блоків здійснюється на підставі результатів модульних контрольних робіт, які проводяться в кінці освоєння змістових блоків ЗМ-П1, ЗМ-П2, ЗМ-КуР.

| Кількість балів | Змістові блоки | | Сума балів |
|-----------------|----------------|-------|------------|
| | ЗМ-П1 | ЗМ-П2 | |
| Max | 20 | 20 | 40 балів |
| Min | 0 | 0 | 0 балів |

Оцінюванню під час поточного контролю підлягають всі практичні заняття, передбачені програмою навчальної дисципліни. Критерії оцінки практичних робіт: повнота і своєчасність виконання завдання, акуратність розрахунків.

Виконання практичної роботи оцінюється викладачем з урахуванням активності здобувача освіти на практичному занятті (під час обговорення загальної проблеми, розв'язування завдань) та за результатами перевірки виконання завдань на самостійну роботу.

Матеріал для самостійної роботи, який передбачений в темі практичного заняття, оцінюється одночасно із аудиторною роботою під час поточного контролю теми на відповідному практичному занятті.

4.3.3. ЗМ-КуР

| Кількість балів | Оцінка виконання етапів курсової роботи протягом семестру* | Оцінка захисту курсового проекту** | Сума балів |
|-----------------|--|------------------------------------|------------|
| Max | 12 | 8 | 20 балів |
| Min | 0 | 0 | 0 балів |

Примітки: * - оцінюється розкриття змісту та оформлення курсової роботи; ** - оцінюється вміння чітко, зрозуміло та стисло викладати основні результати проведеного дослідження; повнота, глибина, обґрунтованість відповідей на питання членів комісії за змістом роботи; ґрунтовність висновків та рекомендацій щодо практичного використання результатів дослідження.

Підсумкова оцінка виконання змістового модулю з курсової роботи складається з двох частин, на кожну з яких надається відповідна частка балів змістового модулю: оцінка виконання етапів курсової роботи протягом семестру - 60% балів (перша частина); оцінка захисту курсового проекту - щонайбільше 40% балів (друга частина). Критерії оцінки курсової роботи: креативність та оригінальність рішення, відмінність від наявних робіт, акуратність розрахунків, демонстрація презентабельності та комунікативності на захисті.

Курсова робота оцінюється у балах і відсотках і зараховується до загальної оцінки з дисципліни.

4.3.4. Оцінка роботи здобувача освіти за всіма змістовими модулями (ОЗ)

Максимально можлива загальна кількість балів за шкалою університету, яку може отримати здобувач освіти за виконання обов'язкових форм контролю самостійної роботи, має становити 100%.

При визначенні оцінки роботи здобувача освіти беруться до уваги: рівень теоретичної підготовки, уміння творчо застосовувати одержані знання для вирішення практичних завдань;

вміння здійснювати необхідні розрахунки та аналізувати інформацію; якість відповіді (обґрунтованість, чіткість, стислість), здатність впевнено та правильно відповідати на теоретичні питання і пояснювати практичні дії, спроможність логічно будувати свій виступ (відповідь), аргументовано відстоювати особисту точку зору; уміння використовувати для обґрунтування своїх рішень останні досягнення науки і техніки; оволодіння методичними навичками.

Рекомендується визначити оцінку за результати виконаних робіт, що формують базові знання, вміння та навички, як 75% від максимально можливої.

| Змістові блоки | Максимальна кількість балів |
|----------------|-----------------------------|
| ЗМ-Л1 | 20 балів |
| ЗМ-Л2 | 20 балів |
| ЗМ-П1 | 20 балів |
| ЗМ-П2 | 20 балів |
| ЗМ-КуР | 20 балів |
| Всього: | 100 балів |

4.3.5. Оцінка залікової контрольної роботи (ОКР)

| Кількість балів за правильне виконання одного тестового завдання | | Кількість тестових завдань | Сума балів | |
|--|---|----------------------------|---|-----|
| Max | 5 | 20 | Max | 100 |
| Min* | 0 | | Сума балів, за якої залікова контрольна робота вважається виконаною** | ≥50 |
| | | | Min | 0 |

Примітки:

* - нерозбірливо написана, невірна відповідь, її відсутність – 0 балів;

** - сума балів, за якої залікова контрольна робота вважається виконаною, повинна складати не менше 50% від максимально можливої суми балів на заліковій контрольній роботі.

Залікова контрольна робота проводиться у письмовій формі за тестами оцінки знань базової компоненти навчальної дисципліни, які розроблені кафедрою для проведення ректорського контролю залишкових знань здобувачів освіти або підсумкового контролю комісією.

Залікова контрольна робота включає 20 тестових запитань відкритого типу. Правильна відповідь на кожне з запропонованих запитань оцінюється у 5 балів. Таким чином, максимальна оцінка за модульну контрольну роботу складає 100 балів.

Методика розробки тестових завдань викладена в додатку «Форми та принципи конструювання тестових завдань» Інструкції про Порядок проведення та критерії оцінювання відповідей студентів під час письмових іспитів.

4.4. Критерії оцінювання засвоєння навчальної дисципліни

| Оцінка | | |
|--|-------------------|-------------------------|
| Шкала університету (%) $V = 0,75 \times OЗ + 0,25 \times ОКР$ | За шкалою ЄКТС | За 2- бальною шкалою |
| 90-100 | A | «зараховано» |
| 82-89,9 | B | |
| 74-81,9 | C | |
| 64-73,9 | D | |
| 60-63,9 | E | |
| 35-59,9 | FX | «не зараховано» |
| 01-34,9 | F | |

Оцінювання семестрового заліку здійснюється у кількісній та якісній шкалах. Кількісна оцінка (бал успішності) – це відсоток, який становить інтегральна сума балів, отриманих здобувачем освіти на поточних контрольних заходах, відносно максимально можливої суми – 100 балів. Якісна оцінка – це оцінка, яка виставляється на підставі кількісної оцінки (балу успішності) за будь-якою якісною шкалою.

Результати складання заліку оцінюються за шкалою університету (%), за шкалою ЄКТС (A, B, C, D, E, F, FX), а також за двобальною шкалою («зараховано, «не зараховано»).

Процедура проведення семестрового заліку, не передбачає присутність здобувача освіти.

Проведення семестрового заліку полягає в оцінюванні засвоєння здобувачем освіти навчального матеріалу (вмінь та навичок) на підставі інтегральної кількісної оцінки результатів виконання ним видів поточних контрольних заходів та залікової контрольної роботи

Критеріями складання здобувачами освіти заліку є:

- оцінка «зараховано» за 2-бальною шкалою;
- оцінки A, B, C, D, E за шкалою ЄКТС;
- інтегральна оцінка (%) поточної роботи здобувача освіти по дисципліні (шкала університету) $V \geq 60\%$.

Максимальна інтегральна оцінка роботи здобувача освіти протягом семестру має дорівнювати 100%, якщо він на обов'язкових та необов'язкових заходах контролю по усіх змістових модулях отримав сумарно оцінку 100% від максимально можливої і більше.

4.5. ПИТАННЯ ДО ЗАХОДІВ ПОТОЧНОГО, ПІДСУМКОВОГО ТА СЕМЕСТРОВОГО КОНТРОЛЮ

4.5.1. Тестові завдання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-ЛІ

1. S-матриця і функції Гріна. ([2], стр.119-125)
2. Теорія збурень. ([1], стр.137-148)
3. Теорема Віка. ([2], стр.127-135)
4. Діаграми Фейнмана. ([2], стр.78-97)
5. Класифікація діаграм. ([3], стр.21-36)
6. Калібрування, власні маси і вершинні частини. ([1], стр.117-125)
7. Калібрувальна інваріантність. ([5], стр.150-167)
8. Адіабатична S-матриця. ([1], стр.68-71)
9. Зрушення невиродженого рівня. ([1], стр.78-81)
10. Адіабатичні формули для зсуву невиродженого рівня. ([1], стр.98-100)
11. Зрушення енергії вакууму. ([2], стр.67-77)
12. Невироджені рівні в атомах. ([4], стр.22-37)
13. Формалізм дірок. ([1], стр.87-93)
14. Енергія невиродженого рівня в атомі в перших двох порядках. ([4], стр.58-63)
15. Секулярний оператор і коефіцієнти змішування. ([3], стр.21-33)
16. Секулярний оператор і його вираз через адіабатичну S-матрицю. ([5], стр.37-45)
17. Секулярний оператор в нижчих порядках теорії збурень. ([1], стр.57-67)
18. Усунення ультрафіолетових розбіжностей. ([2], стр.33-49)
19. Внесок в секулярний оператор від взаємодії електронів. ([1], стр.127-131)
20. Функції Гріна і рівні енергії. ([2], стр.133-139)

4.5.2. Тестові завдання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-ЛІІ

1. Метод Хартрі-Фока. ([1], стр.49-55)
2. Два електрона понад заповненої оболонки. ([3], стр.22-37)
3. Рівняння Бете-Сольпітера. ([1], стр.101-108)
4. Рівняння для рівнів енергії. ([3], стр.41-55)
5. Доказ можливості обчислення власної маси по теорії збурень. ([3], стр.47-75)
6. Власна маса в двох нижчих порядках. ([2], стр.49-52)
7. Рівняння для функції Гріна. ([2], стр.53-55)
8. Визначення рівнів енергії і функції Гріна з теорії збурень. ([1], стр.88-93)
9. Ефективний потенціал двох електронів як взаємодія на масовій оболонці. ([2], стр.45-48)
10. Внесок в секулярний оператор від Кулонівської взаємодії електронів. ([3], стр.22-37)
11. Внесок в секулярний оператор від Брейтовської взаємодії електронів. ([1], стр.55-65)
12. Матричний елемент між двоелектронними станами ([1], стр.71-75)
13. Секулярний оператор через радіальні інтеграли. ([1], стр.81-87)
14. Лембовське зрушення. ([2], стр.49-52)
15. Власна маса електрона. ([2], стр.53-55)
16. Внесок поляризації вакууму. ([1], стр.22-32)
17. Зрушення невиродженого рівня. ([1], стр.34-37)
18. Адіабатичні формули для зсуву невиродженого рівня. ([2], стр.23-30)
19. Зрушення енергії вакууму. ([2], стр.31-41)
20. Самоузгоджене поле. ([1], стр.43-48)

4.5.3. Тестові завдання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-Л2

1. Загальні формули для ймовірності переходів в нижчому порядку. ([1], стр.98-105)
2. Нерелятивістська межа. ([2], стр.78-97)
3. Ширина рівня як сума ймовірностей переходів в усі можливі нижні стани. ([3], стр.21-36)
4. Антіермітова частина матричного елемента ([1], стр.117-125)
5. Мультиполярні матричні елементи. ([1], стр.127-131)
6. Ширина рівня як уявна частина енергії. ([2], стр.103-109)
7. Безрадіаційна ймовірність переходу. ([2], стр.119-125)
8. Безрадіаційна ширина рівня. ([1], стр.137-148)
9. Ширина рівня як уявна частина енергії. ([2], стр.127-135)
10. Радіаційні діаграми 3го порядку. ([1], стр.150-167)
11. Обмін двома фотонами. ([3], стр.21-33)
12. Інтегрування по кутах. ([1], стр.37-45)
13. Нерелятивістська межа. ([1], стр.57-67)
14. Облік впливу остова. ([2], стр.33-49)
15. Внесок остова у секулярний оператор. ([1], стр.68-71)
16. Внесок остова в нижчому порядку теорії збурень. ([1], стр.78-81)
17. Нерелятивістський розрахунок членів порядку αZ . ([2], стр.67-77)
18. Радіаційні діаграми 4го порядку. ([4], стр.22-37)
19. Поправки на запізнювання. ([1], стр.87-93)
20. Одноелектронні вклади (власна маса електрона 4го порядку). ([4], стр.58-63)

4.5.1. Тестові завдання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-П2

1. Радіаційні поправки до обміну одним фотоном. ([1], стр.71-75)
2. Поправки на запізнювання. ([1], стр.81-87)
3. Ймовірності переходів. ([2], стр.49-52)
4. Теорія збурень для невироджених рівнів ([2], стр.53-55)
5. Теорія збурень вироджених рівнів ([1], стр.88-93)
6. Короткочасні збурення (теорія квантових переходів) ([1], стр.95-99)
7. Зсув і розщеплення енергетичних рівнів збуджених станів ротатора. ([2], стр.56-59)
8. Синхронна система координат ([3], стр.22-37)
9. Теорія збурень для стаціонарного рівняння Шредінгера ([1], стр.101-108)
10. Монохроматичне збудження ([3], стр.41-55)
11. Спектр абсолютно чорного тіла ([1], стр.22-32)
12. Броунівський рух ([1], стр.34-37)
13. Абсорбційні та емісійні спекти ([2], стр.23-30)
14. Фотолюмінесцентна спектроскопія ([2], стр.31-41)
15. Характеристичні коливання ([1], стр.43-48)
16. Закон Мозлі ([1], стр.49-55)
17. Формули для ймовірності переходів в нижчому порядку ([2], стр.45-48)
18. Формули для ймовірності переходів в вищих порядках ([3], стр.22-37)
19. Оцінка вкладів діаграм Фейнмана вищих порядків при різних αZ . ([1], стр.55-65)
20. Чисельні результати для ймовірностей переходів. ([3], стр.41-55)
- 21.

4.5.5. Тестові завдання до залікової роботи

1. Адіабатичні формули для зсуву невиродженого рівня. ([2], стр.119-125)
2. Зрушення енергії вакууму. ([1], стр.137-148)
3. Невироджені рівні в атомах. ([2], стр.127-135)
4. Формалізм дірок. ([2], стр.78-97)
5. Енергія невиродженого рівня в атомі в перших двох порядках. ([3], стр.21-36)
6. Секулярний оператор і коефіцієнти змішування. ([1], стр.117-125)
7. Секулярний оператор і його вираз через адіабатичну S-матрицю. ([5], стр.150-167)
8. Секулярний оператор в нижчих порядках теорії збурень. ([1], стр.68-71)
9. Усунення ультрафіолетових розбіжностей. ([1], стр.78-81)
10. Внесок в секулярний оператор від взаємодії електронів. ([1], стр.98-100)
11. Функції Гріна і рівні енергії. ([2], стр.67-77)
12. Внесок в секулярний оператор від Брейтовської взаємодії електронів. ([4], стр.22-37)
13. Матричний елемент між двоелектронними станами ([1], стр.87-93)
14. Секулярний оператор через радіальні інтеграли. ([4], стр.58-63)
15. Лембовське зрушення. ([3], стр.21-33)
16. Власна маса електрона. ([5], стр.37-45)
17. Внесок поляризації вакууму. ([1], стр.57-67)
18. Зрушення невиродженого рівня. ([2], стр.33-49)
19. Адіабатичні формули для зсуву невиродженого рівня. ([1], стр.127-131)
20. Зрушення енергії вакууму. ([2], стр.133-139)
21. Самоузгоджене поле. ([1], стр.98-105)
22. Антіермітова частина матричного елемента і мультиполярні матричні елементи. ([2], стр.78-97)
23. Ширина рівня як уявна частина енергії. ([3], стр.21-36)
24. Безрадіаційна ймовірність переходу. ([1], стр.117-125)
25. Безрадіаційна ширина рівня. ([1], стр.127-131)
26. Ширина рівня як уявна частина енергії. ([2], стр.103-109)
27. Оцінка вкладів діаграм Фейнмана вищих порядків при різних αZ . ([2], стр.119-125)
28. Обмін двома фотонами. ([1], стр.137-148)
29. Інтегрування по кутах. ([2], стр.127-135)
30. Нерелятивістська межа. ([1], стр.150-167)
31. Облік впливу остова. ([3], стр.21-33)
32. Внесок остова у секулярний оператор. ([1], стр.37-45)
33. Внесок остова в нижчому порядку теорії збурень. ([1], стр.57-67)
34. Нерелятивістський розрахунок членів порядку αZ . ([2], стр.33-49)
35. Радіаційні діаграми 4го порядку. ([1], стр.68-71)
36. Радіаційні поправки до обміну одним фотоном. ([1], стр.78-81)
37. Поправки на запізнювання. ([2], стр.67-77)
38. Ймовірності переходів. ([4], стр.22-37)
39. Поправки на запізнювання. ([1], стр.87-93)
40. Одноелектронні вклади (власна маса електрона 4го порядку). ([4], стр.58-63)

5. ЛІТЕРАТУРА ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Основна література

1. Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия. Изд. 2-е. М.: УРСС, 2001.
2. Летохов В.С., Чеботаев В.П. Принципы нелинейной лазерной спектроскопии. М., 1990.
3. Glushkov A.V., Relativistic Quantum Theory. Quantum, mechanics of Atomic Systems. Odessa: Astroprint, 2008.
4. Khetselius, O. Yu. Hyperfine structure of atomic spectra; Astroprint: Odessa, **2008**.
5. Khetselius, O.Yu. Quantum structure of electroweak interaction in heavy finite Fermi-systems. Astroprint: Odessa, **2011**.

Додаткова література:

1. Мейтланд А., Данн А. Введение в теорию лазеров.-М.:Наука, 1988.-408С.
2. Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Загальна фізика. Оптика. Квантова фізика.-Київ: Вища школа, 1991.-280С.
3. Glushkov, A.V. Relativistic and correlation effects in spectra of atomic systems; Odessa: Astroprint: 2006.
4. Glushkov A.V. Atom in electromagnetic field. KNT: Kiev, 2005.
5. Glushkov A.V., Ivanov L.N., Radiation decay of atomic states: atomic residue polarization and gauge noninvariant contributions. Phys.Lett.A. 1992. Vol.170, N1. P.33-36; [https://doi.org/10.1016/0375-9601\(92\)90387-2](https://doi.org/10.1016/0375-9601(92)90387-2)
6. Ivanova E.P., Ivanov L.N., Glushkov A.V., Kramida A.E., High Order Corrections in the Relativistic Perturbation Theory with the Model Zeroth Approximation, Mg-Like and Ne-Like Ions. Phys.Scripta. 1985.-Vol.32,N5.-P.513-522; <https://doi.org/10.1088/0031-8949/32/5/011>
7. [E.P.Ivanova, A.V.Glushkov](#), Theoretical investigation of spectra of multicharged ions of F-like and Ne-like isoelectronic sequences// [Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer](#).-1986.-Vol.36(2).-P. 127-145; [https://doi.org/10.1016/0022-4073\(86\)90116-0](https://doi.org/10.1016/0022-4073(86)90116-0)
8. Glushkov A.V., Ivanov L.N., DC strong-field Stark effect: consistent quantum-mechanical approach. Journal of Physics B: Atomic, Mol. and Opt. Phys. 1993. Vol.26, N14. P.L379–386; <https://doi.org/10.1088/0953-4075/26/14/001>
9. Khetselius, O.Yu. Relativistic perturbation theory calculation of the hyperfine structure parameters for some heavy-element isotopes. Int. J. Quant. Chem. 2009, 109, 3330–3335.
10. Khetselius, O. Relativistic calculation of the hyperfine structure parameters for heavy elements and laser detection of the heavy isotopes. Phys. Scripta 2009, 135, 014023.
11. Khetselius O.Yu., [Quantum Geometry: New approach to quantization of the quasistationary states of Dirac equation for super heavy ion and calculating hyper fine structure parameters](#). Proc. Intern. Geometry Center. 2012. Vol.5(3-4). P.39-45.
12. Glushkov, A.V., Khetselius, O.Yu., Svinarenko, A.A., Buyadzhi, V.V., Spectroscopy of autoionization states of heavy atoms and multiply charged ions. TEC: Odessa, 2015.
13. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Buyadzhi V.V., Methods of computational mathematics and mathematical physics. P.1. TES: Odessa, 2015.
14. Khetselius, O.Yu., Glushkov, A.V., Dubrovskaya, Yu.V., Chernyakova, Yu.G., Ignatenko, A.V., Serga, I.N., Vitavetskaya, L.A. Relativistic quantum chemistry and spectroscopy of exotic atomic systems with accounting for strong interaction effects. In: Wang YA, Thachuk M, Kreams R, Maruani J (eds) Concepts, Methods and Applications of Quantum Systems in Chemistry and Physics. Springer, Cham, 2018; Vol. 31, pp. 71-91;
15. Dubrovskaya, Y.V., Khetselius, O.Y., Vitavetskaya, L.A., Ternovsky, V.B., Serga, I.N., Quantum chemistry and spectroscopy of pionic atomic systems with accounting for relativistic, radiative, and strong interaction effects. Advances in Quantum Chem. 2019, Vol.78, pp 193-222.

16. Glushkov, A., Gurskaya, M., Ignatenko, A., Smirnov, A., Serga, I., Svinarenko, A., Ternovsky, E. Computational code in atomic and nuclear quantum optics: Advanced computing multiphoton resonance parameters for atoms in a strong laser field. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2017, 905(1), 012004.
17. Khetselius OYu, Optimized relativistic many-body perturbation theory calculation of wavelengths and oscillator strengths for Li-like multicharged ions, *Adv Quant Chem.* 2019. vol 78. Elsevier, pp 223-251; <https://doi.org/10.1016/bs.aiq.2018.06.001>
18. Glushkov AV (2019) Multiphoton spectroscopy of atoms and nuclei in a laser field: Relativistic energy approach and radiation atomic lines moments method. *Adv Quant Chem.* vol 78. Elsevier, pp 253-285. <https://doi.org/10.1016/bs.aiq.2018.06.004>
19. Glushkov, A. QED energy approach to atoms and nuclei in a strong laser field: Radiation lines. *AIP Conf. Proceedings.* 1290(1) (2010) 258-262. <http://doi.org/10.1063/1.3517569>
20. Glushkov, A., Gurskaya, M., Ignatenko, A., Smirnov, A., Serga, I., Svinarenko, A., Ternovsky, E. Computational code in atomic and nuclear quantum optics: Advanced computing multiphoton resonance parameters for atoms in a strong laser field. *J. Phys.: Conf. Ser.* 905 (2017) 012004.
21. Svinarenko, A. A., Glushkov, A. V., Khetselius, O.Yu., Ternovsky, V.B., Dubrovskaya, Yu., Kuznetsova, A.A., Buyadzhi, V.V., Theoretical spectroscopy of rare-earth elements: spectra and autoionization resonances. *Rare Earth Element*, Ed. J. Orjuela (InTech) 2017, pp 83-104. 52
22. Glushkov, A.V., Khetselius, O.Yu., Svinarenko A.A., Buyadzhi, V.V., Ternovsky, V.B., Kuznetsova, A., Bashkarev, P.G. Relativistic perturbation theory formalism to computing spectra and radiation characteristics: application to heavy element. *Recent Studies in Perturbation Theory*, ed. D. Uzunov (InTech) 2017, 131-150