



АТОМНА І КВАНТОВА ФІЗИКА

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>Електрична інженерія</i>
Спеціальність	<i>Атомна енергетика</i>
Освітня програма	<i>Атомні електричні станції</i>
Статус дисципліни	<i>Обов'язкова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, весняний семестр, 3 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>6,0 кредитів ЄКТС; 180 годин, з них лекції – 72, практичні – 36, СРС – 66.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>модульна контрольна робота, залік, екзамен</i>
Розклад занять	<i>rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: кандидат фіз-мат наук, доцент, Лещенко Б.Ю. Практичні / Семінарські: кандидат фіз-мат наук, Бондар Б.М., borys.bondar@gmail.com</i>
Розміщення курсу	<i>https://do.ipk.kpi.ua/mod/resource/view.php?id=90678</i>

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Навчальна дисципліна забезпечує отримання студентами знань з основних понять атомної та квантової фізики; методів розрахунків основних типів простих атомних систем, а також оцінювання точності розрахунків; вміння самостійно працювати з навчально-методичною та довідковою літературою з атомної та квантової фізики; розв'язувати основні типи задач з квантової фізики; визначати межі застосування законів квантової механіки в квантовій фізиці.

Навчальна дисципліна забезпечує студентів уміннями розбиратися в сучасних уявленнях про будову атома; застосовувати квантові закони до опису процесів випромінювання та поглинання електромагнітної енергії; використовувати принцип корпускулярно-хвильового дуалізму в теоретичному описі випромінювання хвиль та частинок; розраховувати основні характеристики взаємодії випромінювання з речовиною; застосовувати квантову механіку до опису ядерних процесів; користуватися математичним апаратом квантової механіки; аналізувати та описувати атомні та молекулярні спектри.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Пререквізити: «Вища математика» ПО 1, «Фізика» ПО 2; постреквізити: «Ядерна та нейтронна фізика» ПО 14, «Теорія ядерних реакторів» ПО 19.

3. Зміст навчальної дисципліни

РОЗДІЛ 1. *Основні етапи формування уявлень про будову атома. Темі: 1.1. Предмет та основні задачі курсу. Короткий огляд сучасних досягнень. Розвиток уявлень про будову атома. Модель*

будови атома Томсона. 1.2. Ядерна модель атома. Досліди Резерфорда. Сучасні квантово-механічні уявлення будови атома.

РОЗДІЛ 2. Квантова природа електромагнітного випромінювання. Темі: 2.1. Квантування електромагнітного поля. Енергія та імпульс фотона. 2.2. Теплове випромінювання абсолютно чорного тіла. 2.3. Закон Кірхгофа. Формула Релея-Джинса. Ультрафіолетова катастрофа. 2.4. Формула Планка для опису випромінювання абсолютно чорного тіла. Тема 2.5. Фотоелектричний ефект. 2.6. Комптонівське розсіяння.

РОЗДІЛ 3. Хвильові властивості корпускул (γ). Темі: 3.1. Хвиля де Бройля. 3.2. Експериментальні підтвердження хвильової природи корпускул. 3.3. Гамма-мікроскоп Гейзенберга. Співвідношення невизначеностей.

РОЗДІЛ 4. Взаємодія заряджених частинок з речовиною. Темі: 4.1. Типи взаємодії частинок з речовиною. Їх відносна роль при реєстрації випромінювання. 4.2. Проходження важких заряджених частинок крізь речовину. Питома втрата енергії. 4.3. Пробіг. Його залежність від характеристик частинок та речовини. 4.4. Іонізація речовини. Крива Бреग्га. Пружне розсіяння частинок. Імпульсна діаграма розсіяння. Поняття про формули Мотта. δ -електрони. Багаторазове розсіяння. 4.5. Проходження легких заряджених частинок крізь речовину. Іонізаційні втрати в порівнянні з такими для важких частинок. 4.6. Радіаційні втрати. Критична енергія. Радіаційна довжина. 4.7. Проходження легких заряджених частинок крізь речовину. Просторовий розподіл випромінювання. Пружне розсіяння, багаторазове розсіяння, довжина пробігу. Іонізаційний ефект. Питома іонізація для газів та щільних середовищ.

РОЗДІЛ 5. Взаємодія електромагнітного випромінювання з речовиною. Темі: 5.1 Взаємодія γ -випромінювання з речовиною. Послаблення випромінювання при проходженні крізь речовину. Лінійний та атомний коефіцієнти послаблення. 5.2. Фотоефект, комптон-ефект. 5.3. Утворення пар. Залежність ефективних перерізів цих процесів від енергії γ -променів та від властивостей речовини. Загальний характер взаємодії γ -променів з речовиною.

РОЗДІЛ 6. Інші взаємодії ядерного випромінювання з речовиною. 6.1 Слабка взаємодія. Черенковське випромінювання. Проходження важких додатньо заряджених частинок крізь монокристали.

РОЗДІЛ 7. Резерфордівське розсіяння. Квантування атомних спектрів. Темі: 7.1. Виведення формули Резерфорда. Межі її застосування. 7.2. Перерізи розсіяння. 7.3. Спектр атома водню. 7.4. Постулати Бора. Формули для енергії та радіуса орбіти. 7.5. Природне уширення спектральних ліній.

РОЗДІЛ 8. Опис сучасних квантово-механічних систем. Темі: 8.1. Рівняння Шредінгера. 8.2. Фізичний зміст та властивості хвильової функції. 8.3. Хвильова функція вільної частинки. 8.4. Визначення середнього значення координати та імпульсу. 8.5. Одновимірні потенціальні ями. Потенціальний бар'єр. Коефіцієнти проникності та відбиття. Тунельний ефект. 8.6. Гармонічний осцилятор: хвильові функції та вираз для енергії.

РОЗДІЛ 9. Математичний інструмент квантової механіки та його застосування до опису найпростіших квантово-механічних систем. Темі: 9.1. Оператори фізичних величин. 9.2. Задачі на власні функції та власні значення. Момент імпульсу частинки. Умова його квантування та власні функції. 9.3. Квантування водневого атома в загальному випадку: вигляд хвильових функцій та формула для енергії.

РОЗДІЛ 10. Квантові властивості атомів. Темі: 10.1. Магнітні властивості атомів. Гіромагнітне відношення. Досліди Штерна та Герлаха. Спін електрона. 10.2. Чотири квантових числа електрона і тонка структура спектральних термів. 10.3. Зв'язок Рассела-Саундерса, $(i-j)$ -зв'язок. Правила відбору. 10.4. Ефект Зеємана. Фактор Ланде. 10.5. Принцип тотожності однакових частинок. Симетричні та антисиметричні хвильові функції. Принцип Паулі. 10.6. Пояснення періодичної системи елементів. Основні принципи.

РОЗДІЛ 11. Молекулярні спектри. Темі: 11.1. Обертальні спектри двохатомних молекул. Коливальні спектри двохатомних молекул. Обертально-коливальні спектри. Правила відбору. 11.2. Обертально-коливальні спектри. Правила відбору.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Література, яку потрібно прочитати або використовувати для опанування дисципліни:

1) Базова:

- Матвеев А.Н. Атомная физика. – Москва: Высшая школа, 1989. – 439 с.
- Савельев И.В. Курс общей физики, т.3., «Наука», Москва, 1987. – 320 с.
- Белый М.У., Охрименко Б.А. Атомная физика. – Киев: Высшая школа, 1984. –271с.
- Білий М.У. Атомна фізика. – Київ: Вища школа, 1973. – 396 с.
- Шпольський Э.В. Атомная физика. М.: Физматгиз , 1963. – 575 с.

2) Додаткова:

- Абрамов А.И., Казанский Ю.А., Матусевич Е.С. Основы экспериментальных методов ядерной физики. – М: Энергоатомиздат, 1977. – 342 с.
- Сивухин Д.В. Курс общей физики, т.5, ч.1. – М: Наука, 1988. – 338 с.
- Борн М. Атомная фізика. – М.: Мир, 1965. – 492с.
- Шифф Л. Квантовая механика. (2-е изд.) . –М.: ИЛ, 1959. – 449 с.
- Кондратьев В.Н. Атомные спектры и строение атомов. – М: Физматгиз, 1959. – 524 с.
- Фриш С.Э. Оптические спектры атомов. – М: Физматгиз, 1963. – 640 с.
- И.В. Савельев. Основы теоретической физики. Том 2. Квантовая механика. М: Наука, 1977. – 352 с.
- І.О. Вакарчук. Квантова механіка. Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 2004. – 784 с.
- Иродов И.В. Задачи по квантовой физике. – М: Наука, 1991. – 174 с.
- Д. И. Блохинцев. Основы квантовой механики. – М: Высшая школа, 1961. – 620 с.
- [http://nuclphys.sinp.msu.ru/;](http://nuclphys.sinp.msu.ru/)
- <http://pdg.lbl.gov;>
- <http://www.webelements.com/>
- бази даних по перерізах взаємодії гамма-квантів з атомами <https://www.nist.gov/pml/xcom-photon-cross-sections-database;>
- бази даних по масових коефіцієнтах ослаблення та поглинання енергії <https://www.nist.gov/pml/x-ray-mass-attenuation-coefficients.>

Навчальний контент

5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекції:

Лекція 1. Короткий огляд передумов створення атомної фізики та моделей атома. СРС: Розвиток уявлень про будову атома.

Лекція 2. Розглядаються різні мікроскопічні підходи до опису атома, їхні переваги та недоліки. А також сучасні уявлення про атомну структуру. СРС: Розрахунок параметрів досліду Резерфорда.

Лекція 3. Розглядається квантовий підхід до опису електромагнітного випромінювання. СРС: Виведення формули для імпульсу фотона.

Лекція 4. Вивчаються основні види випромінювання, інтегральні та диференціальні характеристики теплового випромінювання. Динамічний та статичний опис енергетичний розподілів. СРС: Аналіз виразів для світимості, випромінювальної та поглинальної здатностей.

Лекція 5. Опис експериментальних вимірювань універсальної функції теплового випромінювання абсолютно чорного тіла. Теоретичні підходи до опису експериментальних даних по густині розподілу енергії випромінювання. Класичний підхід до опису електромагнітного випромінювання. СРС: Виведення формули Релея-Джинса на основі класичного підходу.

Лекція 6. Вирішення проблеми ультрафіолетової катастрофи. Квантовий підхід до опису електромагнітного випромінювання. СРС: Граничні випадки формули Планка для великих та

малих енергій гама-квантів.

Лекція 7. Розглядаються експериментальні передумови квантового пояснення фотоефекту. Пояснюється формула Ейнштейна, основні характеристики. СРС: Застосування формули Ейнштейна для визначення швидкостей фотоелектронів.

Лекція 8. Ефект Комптона. Закони збереження. Опис пружного розсіяння фотонів на електронах. СРС: Виведення виразів для визначення енергій електрона та фотона після розсіяння.

Лекція 9. Розглядається дебройлівський підхід до розгляду руху корпускул. Його теоретичний опис, математичні виведення. СРС: Експериментально підтвердження хвилі де Бройля.

Лекція 10. Розглядаються експериментальні підтвердження хвильової природи корпускул, можливості інтерференції і дифракції. Представлено досліди Томсона і Тартаковського, Девісона і Джермера, експеримент на двох щілинах, їх інтерпретація та висновки. СРС: Вивчення матеріалу лекції, інтерпретація інтерференційних картинок дослідів Девісона та Джермера, а також Томсона і Тартаковського.

Лекція 11. Розглядається мисленнєвий експеримент по підтвердженню співвідношення невизначеностей Гейзенберга, його інтерпретація. СРС: Використання співвідношення невизначеностей для визначення радіусу першої борівської орбіти та енергії електрона на ній.

Лекція 12. Розглядаються основні властивості взаємодії частинок з речовиною та основні принципи реєстрації різного типу випромінювання. СРС: Типи взаємодії частинок з речовиною.

Лекція 13. Взаємодія важких заряджених частинок з речовиною, основні характеристики та підходи. СРС: Виведення формули для питомої втрати енергії частинки.

Лекція 14. Вводиться поняття пробігу, його теоретичний опис. Виводиться вираз для пробігу важких заряджених частинок в речовині. Аналізується залежність даної величини від різних параметрів. Пробіг. Його залежність від характеристик частинок та речовини. СРС: Аналіз залежності пробігу від енергії частинки, а також речовини.

Лекція 15. Розглядаються основні принципи побудови імпульсної діаграми розсіяння на основі уявлень про особливості взаємодії частинок з речовиною. Результати порівнюються з точними розрахунками. СРС: Точні виведення формул для імпульсів частинок після пружного розсіяння.

Лекція 16. Основні характеристики взаємодії легких заряджених частинок з речовиною. Порівняння їх з відповідними характеристиками взаємодії важких частинок. Імпульсні діаграми. СРС: Аналіз графічного зображення питомих іонізаційних втрат при проходженні легких заряджених частинок крізь речовину.

Лекція 17. Пояснення явища гальмівного випромінювання та його кількісних характеристик. Отримання виразу для критичної енергії, радіаційної довжини. Радіаційні втрати. Критична енергія. Радіаційна довжина. СРС: Радіаційні втрати. Критична енергія. Радіаційна довжина.

Лекція 18. Загальний опис взаємодії легких заряджених частинок з речовиною. Порівняльний аналіз з відповідними процесами для інших типів випромінювання. Проходження легких заряджених частинок крізь речовину. Просторовий розподіл випромінювання. Пружне розсіяння, багаторазове розсіяння, довжина пробігу. Іонізаційний ефект. СРС: Питома іонізація для газів та щільних середовищ.

Лекція 19. Проходження електромагнітного випромінювання крізь речовину. Експоненційний закон послаблення інтенсивності гама-випромінювання. Лінійний та атомний коефіцієнти послаблення. СРС: Перерізи взаємодії гама-квантів з речовиною.

Лекція 20. Види фотоефекту. Теоретичний опис фотоефекту на атомі, а також комптонівського розсіяння. Закони збереження. Потенціал йонізації. СРС: Закони збереження імпульсу та енергії в релятивістському випадку.

Лекція 21. Опис загального характеру взаємодії γ -променів з речовиною. Перерізи утворення пар, закони збереження, умови перебігу даного процесу. СРС: Виведення формул для ефективних перерізів.

Лекція 22. Теоретичний опис слабкої взаємодії. Явище Черенковського випромінювання та приклади його застосування. Взаємодія важких заряджених частинок з різними видами

монокристалів. СРС: Черенковське випромінювання в реакторах. Методи реєстрації ядерного випромінювання.

Практичні заняття:

1. Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною – 8 задач.
 2. Газові іонізаційні детектори – 5 задач.
 3. Напівпровідникові детектори – 4 задачі.
 4. Сцинтиляційні детектори – 4 задачі.
 5. Випромінювання абсолютно чорного тіла – 8 задач.
 6. Випромінювання абсолютно чорного тіла – 6 задач.
 7. Фотоефект Ейнштейна – 7 задач.
 8. Атом водню – 7 задач
 9. Основи квантової механіки – 6 задач.
- Загалом – 55 задач.

6. Самостійна робота студента/аспіранта

Студенти проводять підготовку до лекцій та практичних занять шляхом:

- вивчення матеріалу, викладеного на попередній лекції та практичному занятті;
- розв'язування задач, які були задані для домашньої роботи на практичному занятті;
- виконання розрахунків за даними, отриманими на практичному занятті та лекції;
- вивчення матеріалу, аналізу розрахунків та формулювання висновків при виконанні домашніх завдань.

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог:

- Відвідування лекцій і практичних занять є обов'язковими;
- На заняттях студент повинен приймати активну участь в роботі з викладачем – відповідати на запитання, пропонувати варіанти розв'язування задач, демонструвати виконані домашні завдання та ін.;
- Для захисту домашніх завдань студент повинен продемонструвати розуміння явищ, процесів, законів, що фігурують в задачі, надати та пояснити методичку обчислень та отримані результати, вміти зробити правильні висновки та аналіз розв'язку задачі;
- Виконані домашні завдання дозволяють отримати заохочувальні бали лише в разі чіткого розуміння розв'язків та суті явищ, що розглядаються в задачі.
- У випадку нерозуміння наданих розв'язків задач, домашні завдання вважаються такими, що порушують правила академічної доброчесності, і можуть призвести до зарахування штрафних балів.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль: експрес-опитування, опитування за темою заняття, перевірка домашніх робіт

Календарний контроль: модульна контрольна робота - проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог програми.

Семестровий контроль: залік, екзамен

Умови допуску до семестрового контролю: мінімально позитивна оцінка за роботу на практичних заняттях і лекціях, зарахування усіх виконаних домашніх завдань.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

<i>Кількість балів</i>	<i>Оцінка</i>
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- перелік питань, які виносяться на семестровий контроль:

1. Теорія Бора. Формули для радіуса електронної орбіти, швидкості електрона на цій орбіті та його повної енергії. Перший Борівський радіус.
2. Модель атома Бора. Спектр атома водню. Серії спектральних ліній. Формула для частот ліній.
3. Принцип та режими роботи газових іонізаційних детекторів.
4. Загальний характер взаємодії γ -променів з речовиною. Закон послаблення інтенсивності випромінювання при проходженні крізь речовину.
5. Принцип роботи сцинтиляційних детекторів. Органічні та неорганічні сцинтилятори
6. Напівпровідники p- та n-типу. Принцип роботи напівпровідникового детектора.
7. Закон Кірхгофа. Універсальна функція: графічний вигляд, пояснення.
8. Закони Віна і Стефана-Больцмана. Формула Релея-Джинса.
9. Ультрафіолетова катастрофа, фізичний зміст та її вирішення.
10. Формула Планка для спектральної густини випромінювання АЧТ. Її граничні випадки.
11. Фотоелектричний ефект. Фізичне пояснення, закони фотоефекту.
12. Формула Ейнштейна. Червона межа фотоефекту. Види фотоефекту.
13. Корпускулярно-хвильовий дуалізм. Експериментальне підтвердження.
14. Хвиля де Бройля. Експериментальні підтвердження гіпотези де Бройля.
15. Фізичний зміст та властивості хвильової функції
16. Хвильова функція. Принцип суперпозиції.
17. Стаціонарне рівняння Шредінгера в операторному та явному вигляді.
18. Основні постулати квантової механіки.
19. Оператори фізичних величин. Приклади. Фізичний зміст.
20. Квантові числа електрона. Принцип заборони Паулі.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено:

доцент кафедри АЕС і ІТФ, кандидат фіз-мат наук, Лещенко Б.Ю.

асистент кафедри АЕС і ІТФ, кандидат фіз-мат наук, Бондар Б.М.

Ухвалено кафедрою _____ (протокол № ___ від _____)

Погоджено Методичною комісією факультету¹ (протокол № ___ від _____)

¹ Методичною радою університету – для загальноуніверситетських дисциплін.