**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ХЕРСОНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ФАКУЛЬТЕТ КОМП’ЮТЕРНИХ НАУК, ФІЗИКИ ТА МАТЕМАТИКИ**

**КАФЕДРА ФІЗИКИ ТА МЕТОДИКИ ЇЇ НАВЧАННЯ**

|  |  |
| --- | --- |
|  | ЗАТВЕРДЖЕНО  на засіданні кафедри ….…  протокол від 06.09. 2021 р. № 1  завідувач кафедри  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Сергій КУЗЬМЕНКОВ |

**СИЛАБУС ОСВІТНЬОЇ КОМПОНЕНТИ**

**Квантова механіка**

Освітня програма Середня освіта (Фізика)

першого (бакалаврського) рівня

Спеціальність 014 Середня освіта (Фізика)

Галузь знань 01 Освіта / педагогіка

Херсон 2021

**Опис курсу**

|  |  |
| --- | --- |
| **Назва освітньої компоненти** | **Квантова механіка** |
| **Тип курсу** | Обов’язкова компонента |
| **Рівень вищої освіти** | Перший (бакалаврський) рівень освіти |
| **Кількість кредитів/годин** | 8 кредитів / 240 годин |
| **Семестр** | І-ІІ семестр |
| **Викладач** | Сергій Кузьменков (**Kuzmenkov Serhii)** **доктор педагогічних наук, професор** |
| **Посилання на сайт** | <http://www.kspu.edu/About/Faculty/FPhysMathemInformatics/ChairPhysics/Staff/Kusmenkov.aspx> |
| **Контактний телефон, мессенджер** | (0552) 326768 |
| **Email викладача:** | [ksg3.14159@gmail.com](mailto:ksg3.14159@gmail.com) |
| **Графік консультацій** | за призначеним часом |
| **Методи викладання** | лекційні заняття, практичні заняття, презентації, тестові завдання, індивідуальні завдання |
| **Форма контролю** | екзамен |

Силабус «Квантова механіка» розроблено на основі авторської програми «Фізика атомного ядра та елементарних частинок», що внесена до Збірника авторських програм з дисциплін кафедри фізики та методики її навчання Херсонського державного університету для підготовки студентів на здобуття ступенів вищої освіти «бакалавр», «магістр». Свідоцтво про реєстрацію авторських прав № 79262 від 02.04.2018.

1. **Анотація дисципліни:**

У курсі “Квантова механіка” висвітлюються фізичні основи та задачі квантової механіки, яка є фундаментальним розділом теоретичної фізики, а також подаються основні проблеми квантової інформації.

1. **Мета та завдання дисципліни:**

**Мета:** формування в майбутнього вчителя фізики цілісної картини фізичних явищ, пов’язаних із мікросвітом**.** надання знань про будову, характеристики та властивості найменших елементів нашого Всесвіту: атомних ядер та елементарних частинок. Вивчення цієї дисципліни ставить метою також і підготовку майбутніх вчителів даного профілю до викладання відповідного розділу фізики у середніх навчальних закладах.

**Завдання:**

*Методичні:*

1. Сформувати сучасну картину мікросвіту як складову частину природничо-наукової картини світу.
2. Сформувати уявлення про значення фізики атомного ядра та елементарних частинок для практичної діяльності людей.
3. Здійснювати інтелектуальне, естетичне та гуманітарне виховання студентів.

*Пізнавальні:*

* 1. Засвоїти предмет, структуру і роль фізики атомного ядра та елементарних частинок у формуванні сучасної природничо-наукової картини світу.
  2. Засвоїти основні принципи, методи і результати досліджень структури, фізичної природи та властивостей атомних ядер та елементарних частинок.
  3. Вивчити основні фізичні характеристики і будову атомних ядер та елементарних частинок.
  4. Здобути уявлення про основні етапи розвитку фізики атомного ядра та елементарних частинок і найбільш видатних вчених, які внесли вагомий внесок у розвиток даної галузі фізики.

*Практичні:*

1. Навчитися викладати на сучасному рівні даний розділ фізики в загальноосвітніх та спеціалізованих середніх навчальних закладах.
2. Навчитися розв’язувати задачі і виконувати вправи, запропоновані в шкільних підручниках, та їм подібні.
3. **Програмні компетентності та результати навчання**

Отримані знання та навички дадуть можливість студентам розуміти фізичну суть процесів, які відбуваються за участю атомних ядер та елементарних частинок та вміти самостійно користуватися сучасною літературою для обґрунтування впливу ядерних випромінювань на навколишнє середовище. У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен знати: - фізичний зміст понять енергії зв’язку та дефекту маси ядра, спіну та парності ядра; - класифікацію атомів та атомних ядер за їхніми статичними властивостями і характеристиками радіоактивного розпаду; - основні фізичні явища, які супроводжують радіоактивні розпади та взаємодію ядерного випромінювання з речовиною; - основний закон радіоактивного розпаду, стан вікової рівноваги, фізичний зміст сталої розпаду, часу життя та періоду напіврозпаду; - основні дозиметричні одиниці та співвідношення між ними, гранично допустимі дози та потужності доз; - основні фізичні принципи поділу важких ядер та синтезу легких ядер; вміти: - характеризувати ядерні стани за їхніми основними параметрами і характеристиками; - характеризувати різні радіоактивні процеси, розраховувати сталу розпаду, період напіврозпаду та активність радіоактивних ізотопів; - визначати активність радіоактивних препаратів та розраховувати похибки вимірюваних величин; - розраховувати різні параметри та характеристики радіоактивних процесів; - розраховувати поріг реакцій за участю елементарних частинок, визначати квантові числа частинок, що беруть участь в ядерній реакції та можливість протікання реакції за їх участю; - вимірювати потужність експозиційної дози випромінювання різними приладами, визначати допустимий час перебування людини у відомому полі радіоактивного випромінювання; - самостійно користуватися сучасною технічною і довідковою літературою для обґрунтування впливу ядерних випромінювань на навколишнє середовище; - використовувати сучасну техніку та методику проведення досліджень ядра.

**Загальні компетентності**:

ЗК1. Знання та розуміння предметної області та специфіки професійної діяльності.

ЗК4. Здатність працювати в команді.

ЗК5. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК6. Здатність застосовувати набуті знання в практичних ситуаціях.

ЗК7. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями

**Фахові компетентності**:

ФК1. Здатність використовувати систематизовані теоретичні та практичні знання з фізики та методики навчання фізики при вирішенні професійних завдань.

ФК2. Володіння математичним апаратом фізики.

ФК3. Здатність формувати в учнів предметні компетентності.

ФК5. Здатність до організації і проведення освітнього процесу з фізики у закладах загальної середньої освіти.

ФК8. Здатність керувати дослідницькою діяльністю учнів з фізики на уроках і в позакласній роботі (навчальна практика, МАН та інші форми).

ФК12. Здатність характеризувати досягнення фізичної науки та її роль у житті суспільства.

ФК13. Розуміння та обґрунтування доцільності реалізації стратегії сталого розвитку людства і шляхи вирішення глобальних проблем.

ФК15. Здатність використовувати теоретичні знання й практичні навички для оволодіння основами теорії і методів фізичних досліджень

**Програмні результати навчання:**

**Знання**

ПРЗ1. Демонструє знання та розуміння основ електрики та магнетизму.

ПРЗ3. Знає й розуміє математичні методи фізики та розділів математики, що є основою вивчення курсу електрики та магнетизм.

**Уміння**

ПРУ1. Аналізує електро-магнітні явища з погляду фундаментальних фізичних теорій, принципів і знань, а також на основі відповідних математичних методів.

ПРУ2. Володіє методикою проведення сучасного фізичного експерименту з електрики та магнетизму.

ПРУ3. Розв’язує задачі різних рівнів складності з електрики та магнетизму.

ПРУ4. Користується математичним апаратом фізики, використовує математичні та числові методи, які часто застосовуються у електриці та магнетизму.

ПРУ7. Уміє знаходити, обробляти та аналізувати інформацію з різних джерел, насамперед за допомогою інформаційних технологій.

ПРУ8. Самостійно опрацьовує нові питання електрики та магнетизму за різноманітними інформаційними джерелами.

ПРУ9. Формує в учнів основи цілісної природничо-наукової картини світу через міжпредметні зв’язки відповідно до вимог державного стандарту.

**Комунікація**:

ПРК2. Пояснює фахівцям і не фахівцям стратегію сталого розвитку людства і шляхи вирішення його глобальних проблем.

**Автономія і відповідальність**:

ПРА1. Усвідомлює соціальну значущість майбутньої професії, сформованість мотивації до здійснення професійної діяльності

**Очікувані результати навчання.**

Розуміння предмету, головних задач, принципів, основних положень і меж застосування квантової механіки, фізичний зміст квадрата модулю хвильової функції; співвідношення невизначеностей; квантово-механічний опис та особливості руху мікрочастинок у силових полях; аксіоматику квантової механіки; властивості квантових систем, що складаються з тотожних частинок.

Усвідомлення корпускулярно-хвильового дуалізму, необхідності введення хвильової функції; необхідність ймовірносно-статистичного опису стану об’єктів мікросвіту; необхідність відповідних аксіом для побудови квантової теорії і головні результати і висновки квантової теорії.

Готовність застосовувати принципи і методи квантової механіки для отримання теоретично і практично важливих результатів.

1. **Структура курсу**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Кількість кредитів/годин** | **Лекції (год.)** | **Практичні заняття (год.)** | **Лабораторні заняття**  **(год.)** | **Самостійна робота (год.)** |
| 9,5 кредитів / 285 годин | 48 | 38 | 20 | 179 |
| 8,5 кредитів / 225 год (заочна ф.н.) | 6 | 4 | 0 | 215 |

1. **Ознаки курсу**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Рік викладання** | **Семестр** | **Спеціальність** | **Курс (рік навчання)** | **Обов’язкова/ вибіркова компонента** |
| 2020-2021 н.р.  2-й рік | 3 | 014.08 Середня освіта (фізика) | 2 | обов’язкова |

1. **Технічне й програмне забезпечення/обладнання**

Навчальні заняття проводяться в спеціалізованої лабораторії «Фізики та освітніх технологій» №426, оснащеної комп’ютерною та проекційною технікою. Студенти забезпечуються електронними планшетами та іншими навчально методичними засобами.

Сайт кафедри фізики та методики її навчання <http://www.kspu.edu/About/Faculty/FPhysMathemInformatics/ChairPhysics/Teaching_methodically_zabezpechennya_dist.aspx>

1. **Політика курсу**

Для успішного складання підсумкового контролю з дисципліни вимагається 100% відвідування очне або дистанційне відвідування всіх лекційних занять. Пропуск понад 25% занять без поважної причини буде оцінений як FX.

Для успішного складання підсумкового контролю з дисципліни (екзамен) необхідно протягом семестру набрати мінімум 40 балів (максимум 60 балів) за такі види діяльності як: робота на лекції, розв’язування задач на практичних заняттях, виконання лабораторних робіт, а також розв’язування домашніх контрольних робіт. 40 балів студент має можливість набрати під час екзамену в кінці семестру.

До всіх студентів освітньої програми відбувається абсолютно рівне ставлення.

Високо цінується академічна доброчесність. Від усіх студентів вимагається дотримання кодексу академічної доброчесності ХДУ. Виявлення порушення є серйозним проступком, який може призвести до несправедливого перерозподілу оцінок і, як наслідок, загального рейтингу студентів. Результатом виявлення плагіату під час виконання практичних та лабораторних завдань, контрольних робіт чи тестів зі сторони студента завдання буде нульове оцінювання цього завдання з послідовним зниженням підсумкової оцінки дисципліни принаймні на одну літеру. Будь ласка, поставтесь до цього питання серйозно та відповідально.

1. **Схема курсу**

**Змістовий модуль 1. Квантова механіка**

**Лекційний модуль**

1. Фізичні основи квантової механіки-1.

Предмет квантової механіки. Короткий історичний нарис створення квантової теорії. Проблема стабільності атомів та випромінювання світла атомами. Виявлення корпускулярних властивостей світла. Ефект Комптона.

2. Фізичні основи квантової механіки-2.

Відкриття дискретних рівнів енергії атома. Напівкласична теорія Бора. Проблеми теорії Бора. Гіпотеза де Бройля. Корпускулярно-хвильовий дуалізм. Дві моделі опису матеріальних об’єктів.

3. Функція стану.

Необхідність ймовірністно-статистичної інтерпретації хвиль де Бройля. Хвильова функція. Фізичний зміст хвильової функції. Умова нормування хвильової функції. Принцип суперпозиції станів.

4. Рівняння Шрьодінгера.

Головне рівняння квантової механіки. Загальні властивості розв’язків рівняння Шрьодінгера. Випадок руху частинки у стаціонарному потенціальному полі. Стаціонарні стани. Хвильова функція вільного руху частинки.

5. Співвідношення невизначеностей.

Співвідношення невизначеностей у класичній фізиці. Частинки та хвилі у квантовій механіці. Співвідношення невизначеностей Гейзенберга. Співвідношення невизначеностей та вимірювання фізичних величин. Коментарі до співвідношення невизначеностей для енергії та часу.

6. Найпростіші одновимірні задачі квантової механіки: прямокутна потенціальна яма.

Фінітний та інфінітний рух. Частинка в одновимірній прямокутній потенціальній ямі: а) загальний розв’язок; б) використання умов на межах; в) використання умови нормування; г) діаграма розподілу щільності ймовірності координати мікрочастинки.

7. Найпростіші одновимірні задачі квантової механіки: прямокутний потенціальний бар’єр.

Поняття про потенціальний бар’єр. Постановка задачі про долання бар’єру. Рівняння Шрьодінгера для трьох областей. Розв’язки для трьох областей. Тунельний ефект.

8. Математичний апарат квантової механіки.

Лінійні оператори. Математичні дії над операторами. Власні функції та власні значення операторів. Самоспряжені оператори. Система власних функцій і власних значень операторів для випадків руху мікрочастинки у потенціальній ямі та гармонічного осцилятора.

9. Аксіоматика квантової механіки-1.

Оператори та допустимі значення фізичних величин. Власні функції та власні значення оператора імпульсу. Опис стану квантової системи та його зміни з часом.

10. Аксіоматика квантової механіки-2.

Власні функції та власні значення оператора Гамільтона для вільної частинки. Обчислення середніх значень фізичних величин. Комутація операторів – умова існування визначених значень двох фізичних величин в одному й тому стані.

11. Аксіоматика квантової механіки-3.

Конкретні приклади: комутація оператора імпульсу і кінетичної енергії; обчислення комутатора для координати та імпульсу. До питання про розмірність у квантовій механіці.

12. Зміна середніх значень фізичних величин з часом і закони збереження.

Зміна середніх значень фізичних величин з часом. Рівняння руху у формі Гейзенберга. Закони збереження фізичних величин у квантовій механіці: закони збереження енергії, імпульсу та моменту імпульсу. Парність і закон збереження парності.

13. Атом Гідрогену-1.

Властивості оператора моменту імпульсу та його проекцій. Власні функції та власні значення операторів та . Рух у центральносиметричному полі.

14. Атом Гідрогену-2.

Постановка задачі про атом Гідрогену. Розв’язок радіального рівняння. Підсумки розв’язання задачі про атом Гідрогену. Кутовий та радіальний розподіл щільності електронної хмари. Орбітальний магнітний момент електрона. Тонка структура спектра атома Гідрогена.

15. Спін електрона.

Гіпотеза про спін електрона. Математичний опис спіну електрона. Опис квантового стану електрона з врахуванням його спіну.

16. Механіка системи мікрочастинок.

Система двох частинок. Тотожність частинок одного й того ж типу і принцип Паулі. Хвильові функції для систем, що складаються з однакових бозонів й ферміонів. Заборона Паулі.

17. Структура і стани багатоелектронних атомів. Межі застосування нерелятивістської квантової механіки.

Рівні енергії валентного електрона. Теорія періодичної системи хімічних елементів Д.І. Менделєєва. Конкретні приклади електронних конфігурацій.

18. Поняття про релятивістську квантову механіку.

Межі застосовності нерелятивістської квантової механіки і перехід у релятивістську область. Рівняння Клейна-Гордона-Фока. Частинки і античастинки. Рівняння Дірака.

**Практичний модуль**

1. Фізичні основи квантової механіки-1.

Задачі: 1.3, 1.4, 1.6, 1.12, 1.17 [3].

2. Фізичні основи квантової механіки-2.

Задачі: 1.3, 1.4, 1.6, 1.12, 1.17 [3].

3. Функція стану.

Задачі: 1.21, 1.22, 3.3, 3.14 [3].

4. Рівняння Шрьодінгера-1.

Задачі: 3.7, 3.10, 3.20 [3].

5. Рівняння Шрьодінгера-2.

Задачі: 3.7, 3.10, 3.20 [3].

6. Співвідношення невизначеносте.

Задачі: 1.10, 1.11 [2]; вправа І.5 [1].

7. Одновимірний рух – 1. Частинка у потенціальній ямі.

Задачі: 4.3, 4.4 [3].

8. Одновимірний рух – 2. Долання потенціальних бар’єрів.

Задачі: 4.22, 4.24 [3].

9. Одновимірний рух – 3. Гармонічний осцилятор.

Задачі: 4.25, 4.13 [3].

10. Математичний апарат квантової механіки-1.

Задачі: 2.1, 2.2, 2.3, 2.6, 2.7 [3].

11. Математичний апарат квантової механіки-2.

Задачі: приклади 8.8, 8.11 [1].

12. Атом Гідрогену.

Задачі: 5.9, 5.10, 5.11 [3]; вправа ІІІ.5 [1].

13. Спін електрона.

Задачі: 6.5 [3]; вправа ІV.18 [1].

14. Структура і стани багатоелектронних атомів.

Задачі: 9.1, 9.2 [3]; приклади 18.1, 18.2, вправа VІ.1 [1].

**Модуль самостійної роботи**

1. Хвильові властивості мікрочастинок.

Задачі: 1.5, 1.7, 1.8, 1.18, 1.19, 1.23 [3].

2. Хвильова функція.

Задачі: 1.24, 1.25, 3.4, 2.15 [3].

3. Рівняння Шрьодінгера.

Задачі: 3.8, 3.12, 3.13 [3].

4. Співвідношення невизначеностей.

Задачі: 1.20, 1.26 [3]; вправи І.6, І.7 [1].

5. Одновимірний рух – 1. Частинка у потенціальній ямі.

Задачі: 4.2, 4.6 [3].

6. Одновимірний рух – 2. Долання потенціальних бар’єрів.

Задачі: 4.23, 4.26, 4.27, 4.13 [3].

7. Оператори у квантовій механіці.

Задачі: 2.8, 2.11, 2.14, 2.20 [3].

15. Атом Гідрогену.

Задачі: вправи ІV.5, ІV.11 [1]; 5.20, 5.24 [3].

16. Механіка системи мікрочастинок.

Задачі: приклад 14.4 [1] ; 8.10, 8.11 [3].

17. Структура і стани багато електронних атомів.

Задачі: 9.4, 9.5, 9.6 [3]; вправа VІ.3 [1].

18. Нестаціонарні стани. Випромінювання та поглинання світла атомами.

Задачі: 11.14, 11.15 [3]; приклад 22.2 [1].

**Підсумкова тека**

Контрольна робота.

**9. Система оцінювання та вимоги: форма (метод) контрольного заходу та вимоги до оцінювання програмних результатів навчання**

**Модуль 1. Квантова механіка**

**Максимальна кількість балів за цей модуль – 100**

Форма (метод) контрольного заходу, критерії оцінювання та бали

Робота на лекції – 36 балів (по 2 балу за 1 лекцію, 18 лекційних занять)

Практичні заняття – 24 балів (по 1,5 бали за 1 практичне, 14 практичних занять)

Контрольна робота – 40 бали (1 контрольна робота 40 балів).

Під час заповнення журналу бали за тему отриманні під час роботи на лекції та практичному занятті сумуються, та виставляються на сторінці практичного заняття.

Студенти можуть отримати до 10% бонусних балів за виконання індивідуальних завдань, підготовку презентацій з дисципліни (в тому числі англійською мовою), участь у конкурсах наукових робіт, предметних олімпіадах, конкурсах, неформальній та інформальній освіті.

**Критерії оцінювання за підсумковою формою контролю**

На залік зі 100 балів за весь курс виділяється 40 балів.

В екзаменаційному білеті є три теоретичні питання і одне практичне – задача. Максимальна оцінка за теоретичні питання і задачу – 10 балів. Повна відповідь на теоретичні питання, що включає в себе належне розуміння фізичних процесів, що відбуваються в атомних ядрах, здійснення всіх математичних викладок, необхідних для отримання кінцевого результату, наведення прикладів практичного застосування фізичних явищ, оцінюється в 8-10 балів. За в цілому правильне висвітлення питання з правильними результуючими виразами і формулами, але без математичних викладок чи без належного розуміння фізики процесів і явищ виставляється 5-7 балів (перше питання та друге питання). За неповну, без достатньої аргументації та належної логіки викладу відповідь на питання виставляється 2-4 бали (перше та друге питання). За третє питання максимальна кількість балів (9-10 балів) виставляється, якщо хід розв’язування задачі та число, що є відповіддю задачі, отримані правильно. За в цілому правильний хід розв’язування задачі з незначними помилками, що не дозволили отримати правильну відповідь, виставляється 5-8 балів. За грубі помилки при розв’язуванні задачі, але правильно записані робочі вирази та формули виставляється 2-4 бали. Загальна оцінка за екзамен є сумою балів за кожне питанням.

Оцінку «А» («відмінно») заслуговує студент, який виявив всебічні, систематичні і глибокі знання, за повне (від 90% до 100%), методично правильне висвітлення основних (за варіантами) та додаткових програмових питань з даного курсу, за аргументацію висловлених положень переконливими прикладами, знанням основних і другорядних подій та фактів, діячів, дат тощо, вміння логічно викласти матеріал і зробити відповідні висновки. Студент який виявив здатність самостійно виконувати завдання, передбачені програмою, ознайомлений з основною і додатковою літературою, рекомендованою програмою. Така оцінка передбачає також засвоєння студентом взаємозв’язку основних понять дисципліни і їх значення для набутої професії.

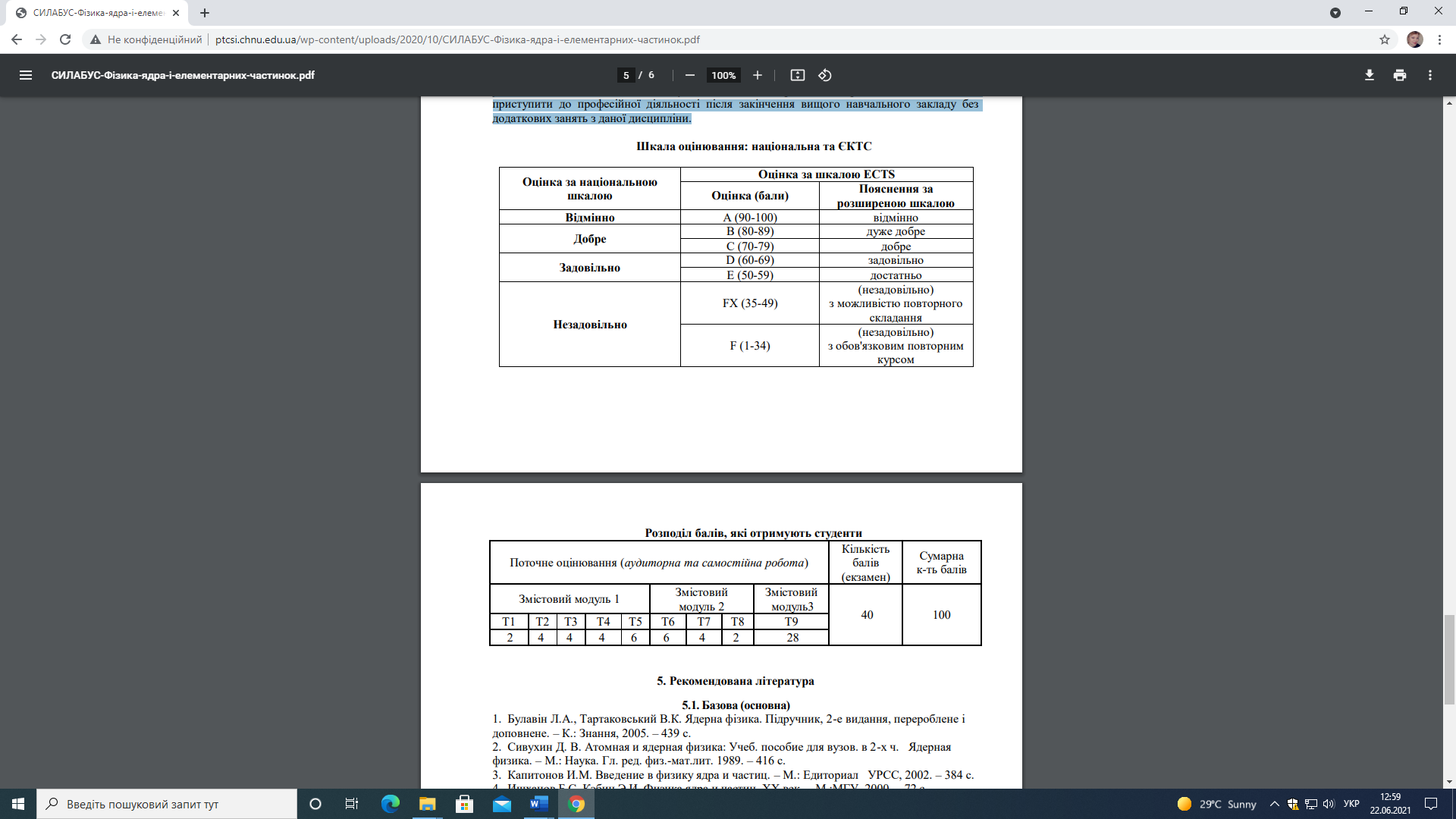
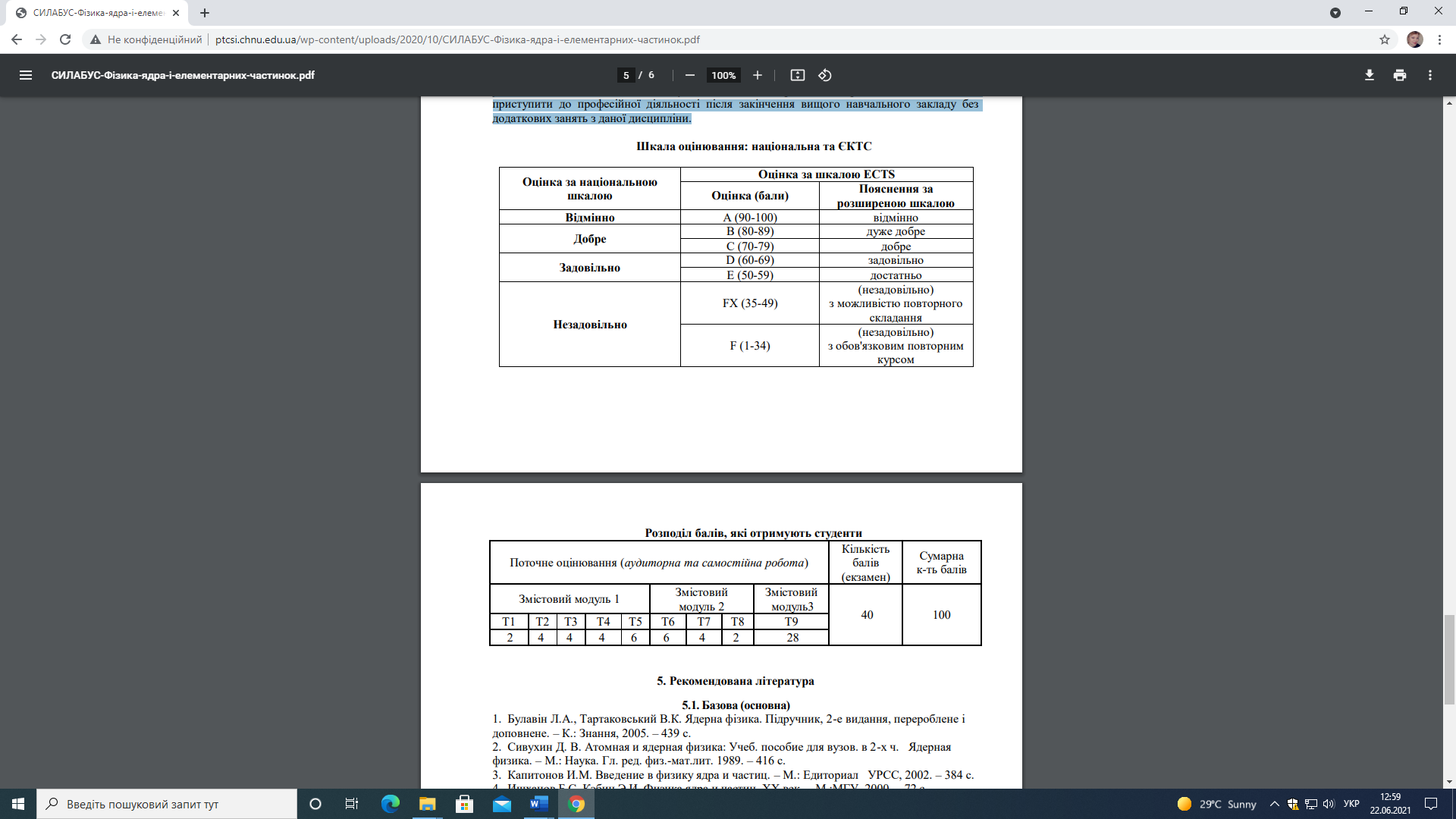
Оцінку «В» («добре») ставлять студентові, який засвоїв навчально-програмовий матеріал, у повному обсязі, успішно виконую передбачені програмою завдання, опрацював основну літературу, рекомендовану програмою. Тобто студентові, який засвідчив систематичний характер знань із дисципліни і здатний до їх самостійного поповнення й оновлення у процесі подальшої навчальної роботи і професійної діяльності.

Оцінка «С» («добре») ставиться за порівняно повне й методологічно в цілому правильне висвітлення основних і додатковим питань з даного курсу, належну аргументацію відповідей прикладами, знанням імен діячів, дат, вмінням логічно викласти історичний матеріал і зробити основні висновки.

Оцінки «D» («задовільно») заслуговує студент, який виявив знання основного навчального матеріалу в обсязі, необхідному для подальшого навчання і майбутньої роботи за професією, здатний виконувати завдання, передбачені програмою, ознайомлений з основною літературою, рекомендованої програмою. Оцінка «E» («задовільно») ставиться за відповіді, які хоч і свідчать про деяке знання студентами програмового матеріалу (в межах 50%), але є неповними, поверховими, без достатньої аргументації та належної логіки викладу.

Оцінку «FX» («незадовільно») ставлять студентові, у знаннях якого є прогалини, який припустився принципових помилок у виконанні передбачених програмою завдань.

Оцінка «F» («незадовільно») ставиться за засвоєння студентом програмового матеріалу (менше 50%), за відповіді неправильні або надто приблизні, в яких не висвітлюється суть питань, не простежується логіка викладу, відсутні самостійні узагальнення і висновки, тобто студентові, який неспроможний продовжити навчання чи приступити до професійної діяльності після закінчення вищого навчального закладу без додаткових занять з даної дисципліни.

**10. Список рекомендованих джерел (наскрізна нумерація)**

**Основна література:**

1. Мултановский В.В., Василевский А.С. Курс теоретической физики: Квантовая механика: Учеб. пособие для студентов физ.-мат. фак. пед. ин-тов. – М.: Просвещение, 1991. – 320 с.
2. Юхновський І.Р. Основи квантової механіки. К.: Либідь, 1995.– 352 с.
3. Венгер Є.Ф., Грибань В.М., Мельничук О.В. Збірник задач з квантової механіки: Навч. посіб. – К.: Вища шк., 2003. – 230 с.
4. Вакарчук І.О. Квантова механiка: пiдручник / I.О. Вакарчук. 4-те вид., доп. Львiв: ЛНУ iменi Iвана Франка, 2012. – 872 с.

**Додаткова література**

1. Венгер Є.Ф., Грибань В.М., Мельничук О.В. Основи квантової механіки. – К.: Вища шк., 2002. – 230 с.
2. Висоцький В.І. Квантова механіка та її використання в прикладній фізиці/ В.І. Висоцький. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2008. – 367с.
3. Ткачук В.М. Фундаментальні проблеми квантової механіки/ В.М. Ткачук. – Л.: ЛНУ ім. Івана Франка, 2011. – 144 с.
4. Юхновський І.Р. Основи квантової механіки/ І.Р. Юхновський. – К.: Либідь, 2002. – 392с.

**Інтернет-ресурси:**

1. <http://www.femto.com.ua/articles/part_1/1557.html>
2. КОБУШКІН О.П. КВАНТОВА МЕХАНІКА <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/18348/1/Kvantova_mexanika_Kobushkin.pdf>
3. Вакарчук І. О. Квантова механікаhttp://old.physics.lnu.edu.ua/depts/KTF/books/QM4/index\_ua.html
4. Висоцький І.В. КВАНТОВА МЕХАНІКА <https://radfiz.org.ua/files/NOT%20SORTED/zemskoff_IVT_s6_20140125_yse/%EB%D7%C1%CE%D4%CF%D7%C1%20%CD%C5%C8%C1%CE%A6%CB%C1/%EB%D7%C1%CE%D4%CF%D7%C1%20%CD%C5%C8%C1%CE%A6%CB%C1/%F7%C9%D3%CF%C3%D8%CB%C9%CA.%20%EB%D7%C1%CE%D4%CF%D7%C1%20%CD%C5%C8%C1%CE%A6%CB%C1.pdf>
5. Бережной Ю. А. Лекцiї з квантової механiки : пiдручник / Ю. А. Бережной – Х. : ХНУ iменiВ. Н. Каразiна, 2014. – 432 с. <https://www.univer.kharkov.ua/images/redactor/news/2015-02-14/Berezhnoy.pdf>
6. http://lib.prometey.org/?id=15484&page=4