



# АТОМНА І КВАНТОВА ФІЗИКА

## Частина 1. Атомна фізика.

### Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

#### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>14 Електрична інженерія</i>
Спеціальність	<i>143 Атомна енергетика</i>
Освітня програма	<i>Атомні електричні станції</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна частина</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>3 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>60 годин/2 кредита ЄКТС, лекції 36 год., практичні 18 год., СРС – 6,0.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік/модульна контрольна робота</i>
Розклад занять	<i>1 лекція у тиждень, 1 практичне заняття у 2 тижня, <a href="http://rozklad.kpi.ua/">http://rozklad.kpi.ua/</a></i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: кандидат фіз-мат наук, доцент, Леценко Б.Ю. Практичні: кандидат фіз-мат наук, ст.викладач Бондар Б.М., <a href="mailto:borys.bondar@gmail.com">borys.bondar@gmail.com</a></i>
Розміщення курсу	<i><a href="https://campus.kpi.ua">https://campus.kpi.ua</a></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.

**Предметом** навчальної дисципліни є: сучасні уявлення про будову атома; квантові закони до опису процесів випромінювання та поглинання електромагнітної енергії; принцип корпускулярно-хвильового дуалізму в теоретичному описі випромінювання хвиль та частинок; основні характеристики взаємодії випромінювання з речовиною; квантова механіка до опису ядерних процесів; математичний апарат квантової механіки; атомні та молекулярні спектри.

**Метою** навчальної дисципліни є формування у студентів наступних фахових здатностей (компетентностей):

1. Здатність використовувати аналітичні та експериментальні методи, а також методи моделювання для вирішення професійних завдань (ФК 10).
2. Здатність використовувати знання характеристик специфічних матеріалів, обладнання, процесів та продуктів у професійній діяльності в галузі атомної енергетики (ФК 13).

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми студенти після засвоєння навчальної дисципліни мають продемонструвати такі **програмні результати навчання**:

1. Знання і розуміння математики, фізики, хімії та інженерних наук на рівні, необхідному для досягнення результатів освітньої програми, в тому числі певна обізнаність в останніх досягненнях в галузі (ПРН 1).

2. Обирати і застосовувати типові аналітичні, розрахункові та експериментальні методи для розв'язування складних спеціалізованих задач і практичних проблем у галузі атомної енергетики; правильно інтерпретувати результати виконаних досліджень та розрахунків (ПРН 3).
3. Використовувати наукову і технічну літературу, бази даних та інші відповідні джерела інформації для розробки і обґрунтування технічних та управлінських рішень в атомній енергетиці (ПРН 7).
4. Знати і розуміти основні методи та засоби експериментальних досліджень в атомній енергетиці, вміти планувати і виконувати експериментальні дослідження, оцінювати точність і надійність їх результатів, робити обґрунтовані висновки з урахуванням сучасних знань з відповідної тематики (ПРН 10).
5. Навички аналізу та прогнозування розвитку атомної енергетики та суміжних напрямів науки і техніки (ПРН 18).

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

Дисципліна базується на знаннях, отриманих при вивченні дисципліни «Вища математика» ПО 1.

Дисципліни, які базуються на результатах навчання з даної дисципліни: «Теорія ядерних реакторів» ПО 19.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

### **РОЗДІЛ 1. Основні етапи формування уявлень про будову атома**

Тема 1.1. Предмет та основні задачі курсу. Короткий огляд сучасних досягнень. Розвиток уявлень про будову атома. Модель будови атома Томсона.

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

### **РОЗДІЛ 2. Квантова природа електромагнітного випромінювання**

Тема 2.1. Квантування електромагнітного поля. Енергія та імпульс фотона.

Тема 2.2. Теплове випромінювання абсолютно чорного тіла.

Тема 2.3. Закон Кірхгофа. Формула Релея-Джинса. Ультрафіолетова катастрофа.

Тема 2.4. Формула Планка для опису випромінювання абсолютно чорного тіла.

Тема 2.5. Фотоелектричний ефект. Комптонівське розсіяння.

### **РОЗДІЛ 3. Хвильові властивості корпускул**

Тема 3.1. Хвиля де Бройля.

Тема 3.2. Експериментальні підтвердження хвильової природи корпускул.

Тема 3.3. Гамма-мікроскоп Гейзенберга. Співвідношення невизначеностей.

### **РОЗДІЛ 4. Взаємодія заряджених частинок з речовиною**

Тема 4.1. Типи взаємодії частинок з речовиною. Їх відносна роль при реєстрації випромінювання.

Тема 4.2. Проходження важких заряджених частинок крізь речовину. Питома втрата енергії.

Тема 4.3. Пробіг. Його залежність від характеристик частинок та речовини.

Тема 4.4. Іонізація речовини. Крива Бреग्га. Пружне розсіяння частинок. Імпульсна діаграма розсіяння. Поняття про формули Мотта.  $\delta$ -електрони. Багаторазове розсіяння.

Тема 4.5. Проходження легких заряджених частинок крізь речовину. Іонізаційні втрати в порівнянні з такими для важких частинок.

Тема 4.6. Радіаційні втрати. Критична енергія. Радіаційна довжина.

Тема 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**

Тема 5.1 Взаємодія  $\gamma$ -випромінювання з речовиною. Послаблення випромінювання при проходженні крізь речовину. Лінійний та атомний коефіцієнти послаблення.

Тема 5.2. Фотоефект, комптон-ефект.

Тема 5.3. Утворення пар. Залежність ефективних перерізів цих процесів від енергії  $\gamma$ -променів та від властивостей речовини. Загальний характер взаємодії  $\gamma$ -променів з речовиною.

### **РОЗДІЛ 6. Інші взаємодії ядерного випромінювання з речовиною**

Тема 6.1 Слабка взаємодія. Черенковське випромінювання. Проходження важких додатньо заряджених частинок крізь монокристали.

### **РОЗДІЛ 7. Резерфордівське розсіяння. Квантування атомних спектрів**

Тема 7.1. Виведення формули Резерфорда. Межі її застосування.

Тема 7.2. Перерізи розсіяння.

Тема 7.3. Спектр атома водню.

Тема 7.4. Постулати Бора. Формули для енергії та радіуса орбіти.

Тема 7.5. Природне уширення спектральних ліній.

### **РОЗДІЛ 8. Опис сучасних квантово-механічних систем**

Тема 8.1. Рівняння Шредингера.

Тема 8.2. Фізичний зміст та властивості хвильової функції.

Тема 8.3. Хвильова функція вільної частинки.

Тема 8.4. Визначення середнього значення координати та імпульсу.

Тема 8.5. Одновимірні потенціальні ями. Потенціальний бар'єр. Коефіцієнти проникності та відбиття. Тунельний ефект.

Тема 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**

Тема 9.1. Оператори фізичних величин.

Тема 9.2. Задачі на власні функції та власні значення. Момент імпульсу частинки. Умова його квантування та власні функції.

Тема 9.3. Квантування водневого атома в загальному випадку: вигляд хвильових функцій та формула для енергії.

### **РОЗДІЛ 10. Квантові властивості атомів**

Тема 10.1. Магнітні властивості атомів. Гіромагнітне відношення. Досліди Штерна та Герлаха. Спін електрона.

Тема 10.2. Чотири квантових числа електрона і тонка структура спектральних термів.

Тема 10.3. Зв'язок Рассела-Саундерса,  $(i-j)$ -зв'язок. Правила відбору.

Тема 10.4. Ефект Зеемана. Фактор Ланде.

Тема 10.5. Принцип тотожності однакових частинок. Симетричні та антисиметричні хвильові функції. Принцип Паулі.

Тема 10.6. Пояснення періодичної системи елементів. Основні принципи.

### **РОЗДІЛ 11. Молекулярні спектри**

Тема 11.1. Обертальні спектри двохатомних молекул. Коливальні спектри двохатомних молекул. Обертально-коливальні спектри. Правила відбору.

Тема 11.2. Обертально-коливальні спектри. Правила відбору.

## **4. Навчальні матеріали та ресурси**

Базова (підручники, навчальні посібники) література

1. І.О. Вакарчук. Квантова механіка. Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 2004. – 784 с.
2. Білий М.У. Атомна фізика. – Київ: Вища школа, 1973. – 396 с.
3. бази даних по перерізах взаємодії гамма-квантів з атомами <https://www.nist.gov/pml/xcom-photon-cross-sections-database>;
4. бази даних по масових коефіцієнтах ослаблення та поглинання енергії <https://www.nist.gov/pml/x-ray-mass-attenuation-coefficients>.

Додаткова (монографії, статті, документи, електронні ресурси) література

5. Абрамов А.И., Казанский Ю.А., Матусевич Е.С. *Основы экспериментальных методов ядерной физики.* – М: Энергоатомиздат, 1977. – 342 с.
6. Матвеев А.Н. *Атомная физика.* – Москва: Высшая школа, 1989. – 439 с.
7. Савельев И.В. *Курс общей физики, т.3., «Наука», Москва, 1987.* – 320 с.
8. Белый М.У, Охрименко Б.А. *Атомная физика.* – Киев: Высшая школа, 1984. – 271 с.
9. Шпольский Э.В. *Атомная физика.* М.: Физматгиз, 1963. – 575 с.
10. Сивухин Д.В. *Курс общей физики, т.5, ч.1.* – М: Наука, 1988. – 338 с.
11. Борн М. *Атомная физика.* – М.: Мир, 1965. – 492 с.
12. Шифф Л. *Квантовая механика. (2-е изд.)*. – М.: ИЛ, 1959. – 449 с.
13. Кондратьев В.Н. *Атомные спектры и строение атомов.* – М: Физматгиз, 1959. – 524 с.
14. Фриш С.Э. *Оптические спектры атомов.* – М: Физматгиз, 1963. – 640 с.
15. И.В. Савельев. *Основы теоретической физики. Том 2. Квантовая механика.* М: Наука, 1977. – 352 с.
16. І.О. Вакарчук. *Квантова механіка.* Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка, 2004. – 784 с.
17. Иродов И.В. *Задачи по квантовой физике.* – М: Наука, 1991. – 174 с.
18. Д. И. Блохинцев. *Основы квантовой механики.* – М: Высшая школа, 1961. – 620 с.

*Інформаційні ресурси*

- <http://nuclphys.sinp.msu.ru/>;
- <http://pdg.lbl.gov>;
- <http://www.webelements.com/>

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Для опанування навчальної дисципліни застосовуються:

1. **Пояснювально-ілюстративний та інформаційно-рецептивний метод** – студенти одержують знання на лекціях та з навчальної і навчально-методичної літератури.

### ЛЕКЦІЙНІ ЗАНЯТТЯ

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-Джінса 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 щільностях, 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 радіуса 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  $\gamma$ -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.

- 2. Репродуктивний метод** - організовується діяльність студентів за кількарізним відтворенням засвоєних знань, для цього використовуються різноманітні вправи, лабораторні, практичні роботи, програмований контроль, і різні форми самоконтролю.

### **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 задач.
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**

Метою самостійної роботи є засвоєння наданих на лекціях теоретичних матеріалів. 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)**

Навчання проводиться у вигляді потокових лекцій з використанням відеопроєктора, практичних занять з експрес-опитуванням.

Заняття проводяться відповідно до розкладу, запізнення не допускаються. Відвідування занять усіх видів (лекцій та практичні заняття) є обов'язковим як при навчанні в аудиторіях, так і при використанні дистанційного режиму навчання. В останньому випадку заняття проводяться в режимі онлайн-конференцій і студенти їх «відвідують» під'єднуючись за наданими викладачем посиланням. На практичних заняттях студенти працюють самостійно, використовуючи довідкову літературу.

Правила поведінки на заняттях – не заважати зайвою діяльністю, розмовами (в тому числі телефоном) іншим студентам слухати лекцію. В аудиторіях та при дистанційному навчанні вдома дотримуватись правил техніки безпеки при роботі з обладнанням.

Правила призначення заохочувальних та штрафних балів передбачають заохочувальні бали за академічну активність на лекційних заняттях, штрафні бали нараховуються при виявленні фактів порушення правил доброчесності при виконанні контрольних і можуть накладатися у розмірі оцінки передбаченої за конкретну роботу. Модульна контрольна робота пишеться самостійно, користування додатковими матеріалами виключено.

Під час освітнього процесу, а особливо при проведенні контрольних заходів студенти зобов'язані дотримуватись положень Кодексу честі та вимог академічної доброчесності (<https://kpi.ua/code>).

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

*Види контролю знань студента з дисципліни*

- експрес-опитування та опитування за темою заняття, перевірка домашніх робіт
- модульна контрольна робота (проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу).
- Залік (умови допуску до семестрового контролю: мінімально позитивна оцінка за роботу на практичних заняттях і лекціях, зарахування усіх виконаних домашніх завдань).

Рейтинг студента з дисципліни складається з балів, які він отримує за:

- 1) виконання МКР;
- 2) виконання домашніх завдань;
- 3) виконання завдань на практичних заняттях;

4) відповідь на заліку.

## **Система рейтингових балів та критерії оцінювання**

### **1. Робота на практичних заняттях**

Ваговий бал — 5. Максимальна кількість балів студента на всіх практичних заняттях дорівнює  $r_1=5 \text{ бали} \times 2 = 10 \text{ балів}$ .

Критерії оцінювання:

**5 бали** — повна вірна відповідь або правильний розв'язок завдання; **4 бали** — відповідь або розв'язання завдання мають несуттєві похибки; **3 бали** — неповні відповідь або розв'язання завдання; **2 бал** — наявність суттєвих помилок в неповних відповіді або розв'язанні завдань; **1 або 0 балів** — відсутність відповіді або розв'язання завдання.

### **2. Домашні завдання**

Ваговий бал — 5. Максимальна кількість балів студента на дорівнює  $r_2=5 \text{ бали} \times 4 \text{ завд.} = 20 \text{ балів}$ .

Критерії оцінювання:

**5 бали** — повна вірна відповідь або правильний розв'язок завдання; **4 бали** — відповідь або розв'язання завдання мають несуттєві похибки; **3 бали** — неповні відповідь або розв'язання завдання; **2 бал** — наявність суттєвих помилок в неповних відповіді або розв'язанні завдань; **1 або 0 балів** — відсутність відповіді або розв'язання завдання.

### **3. Модульна контрольна робота (МКР)**

Під час семестру виконуються одна модульна контрольна робота яка виконана у вигляді питань. Завдання містить два питання теоретичного спрямування. Максимальна оцінка за МКР становить 10 балів.

Ваговий бал — 5. Максимальна кількість балів за самостійну роботу над завданнями МКР дорівнює  $r_3=5 \times 2 = 10 \text{ балів}$ .

**5 бали** — повна вірна відповідь або правильний розв'язок завдання; **4 бали** — відповідь або розв'язання завдання мають несуттєві похибки; **3 бали** — неповні відповідь або розв'язання завдання; **2 бал** — наявність суттєвих помилок в неповних відповіді або розв'язанні завдань; **1 або 0 балів** — відсутність відповіді або розв'язання завдання.

У разі відсутності студента на контрольній роботі без поважних причин робота оцінюється в 0 балів.

#### **Заохочувальні бали**

Сума заохочувальних балів не повинна перевищувати 20 балів. Додатково до рейтингу зараховуються бали:

1.1. за отримані сертифікати, що підтверджують участь у науково-практичних, наукових конференціях або проходження спеціалізованих курсів (наприклад МАГАТЕ) за тематикою дисципліни (3 бали/сертифікат);

1.2. за публікацію статті у науковому журналі за тематикою дисципліни (10 балів/стаття);

1.3. за ведення охайного конспекту (5 балів).

#### **Розрахунок суми основних рейтингових балів**

Сума основних рейтингових балів відповідає рейтинговій шкалі (100 балів)

Розрахунок шкали рейтингу:

$R = 10 \text{ (МКР)} + 20 \text{ (ДЗ)} + 10 \text{ (ПЗ)} + 50 \text{ (іспит)} = 100 \text{ балів}$ .

## **Система додаткових рейтингових балів та відповідні критерії оцінювання**

На заліку студенти виконують письмову роботу. Кожне завдання містить 2 теоретичних питання, кожне з яких оцінюється у 10 балів, та одне практичне завдання, яке оцінюється у 30 балів.

Система оцінювання теоретичних питань:

- «відмінно», повна відповідь (не менше 90% потрібної інформації) – 9...10 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – 7...8 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 50% потрібної інформації та деякі помилки) – 5...6 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь – 0...4 балів.

Система оцінювання практичного завдання:

- «відмінно», повна відповідь без помилок (не менше 90% потрібної інформації) – 27...30 балів;
- «добре», достатньо повна відповідь (не менше 70% потрібної інформації, або незначні неточності) – 21...27 балів;
- «задовільно», неповна відповідь (не менше 50% потрібної інформації та деякі помилки) – 15...20 балів;
- «незадовільно», незадовільна відповідь – 0...14 балів.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
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

За рішенням кафедри, згідно Тимчасового регламенту проведення семестрового контролю в дистанційному режимі (Наказ № 7/86 від 08.05 2020 року), допускається застосувати підхід щодо виставлення оцінки з кредитного модуля «автоматом» шляхом пропорційного перерахунку стартових балів у підсумкові за 100-бальною шкалою. При цьому обов'язковим залишається виконання студентом умов допуску до заліку. Студентам, які набрали фактичний стартовий рейтинг не менший, ніж 0,9 від максимального можливого (тобто  $R_c \geq 45$ ), екзаменатор може запропонувати виставити оцінку «Дуже добре». Найвища оцінка «автоматом» не виставляється.

Переведення стартових балів у підсумкові здійснюється за формулою

$$R = 50 + \frac{50 \cdot (R_i - R_D)}{(R_c - R_D)},$$

де  $R$  – оцінка за 100-бальною шкалою;

$R_i$  – сума балів, набраних студентом продовж семестру;

$R_c$  – максимальна сума вагових балів контрольних заходів продовж семестру;

$R_D$  – бал допуску до екзамену.

Студенти, які хочуть підвищити оцінку, виконують залікову роботу. При цьому переведення стартових балів у підсумкові не здійснюється.

### **Процедура оскарження результатів контрольних заходів**

Студенти мають право і можливість підняти будь-яке питання, яке стосується процедури контрольних заходів та очікувати, що воно буде розглянуто згідно із наперед



визначеними процедурами (детальніше: [https://osvita.kpi.ua/2020\\_7-170](https://osvita.kpi.ua/2020_7-170), [https://document.kpi.ua/files/2020\\_7-170.pdf](https://document.kpi.ua/files/2020_7-170.pdf)).

Студенти мають право оскаржити результати контрольних заходів, але обов'язково аргументовано, пояснивши з яким критерієм не погоджуються відповідно до оціночного листа та/або зауважень.

Норми етичної поведінки студентів і працівників визначені у розділі 2 Кодексу честі Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (детальніше: <https://kpi.ua/code>).

## **9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

В умовах дистанційного режиму організація освітнього процесу здійснюється з використанням технологій дистанційного навчання: платформи дистанційного навчання «Сікорський» та «Електронний кампус». Навчальний процес у дистанційному режимі здійснюється відповідно до затвердженого розкладу навчальних занять. Заняття проходять з використанням сучасних ресурсів проведення онлайн-зустрічей (організація відео-конференцій на платформі Zoom).

### **1. Навчання в умовах правового режиму воєнного стану:**

– передбачає проведення усіх видів занять дистанційно (з використанням синхронної або асинхронної моделі освітньої взаємодії), у відповідності до Регламенту організації освітнього процесу в дистанційному режимі та Положення про дистанційне навчання в КПІ ім. Ігоря Сікорського;

– кінцеві терміни виконання індивідуальних завдань і завдань самостійної роботи переносяться на кінець семестру (з обов'язковим виконанням і захистом);

– у рейтингову систему оцінювання вносяться зміни стосовно нарахування штрафних балів за не своєчасне виконання завдань: штрафні бали не нараховуються.

2. Для студентів існує можливість зарахування (у вигляді додаткових балів до рейтингу до 20 балів):

– сертифікатів проходження дистанційних чи он-лайн курсів за тематикою дисципліни;

– сертифікатів, які підтверджують участь у науково-практичних і наукових конференціях за тематикою дисципліни;

– публікація статті у науковому журналі за тематикою дисципліни.

## **Додаток 1**

### **Список теоретичних питань до модульної контрольної роботи**

1. Склад та будова атома. Теорія Бора.
2. Методи обчислення радіуса орбіти та швидкості електрону на ній для атома водню.
3. Властивості взаємодії гамма-випромінювання з речовиною.
4. Властивості взаємодії легких і важких частинок з речовиною.
5. Застосування імпульсної діаграми розсіяння для важких і легких частинок.
6. Методи реєстрації іонізуючого випромінювання. Типи детекторів.
7. Обчислення основних характеристик детекторів – ефективність реєстрації, мертвий час, амплітуди імпульсів на виході детекторів.

## **Додаток 2**

### **Список теоретичних питань до залікової роботи**

1. Розвиток уявлень про будову атома. Модель атома Томсона. Досліди Резерфорда, ядерна модель атома. Її недоліки.
2. Модель атома Бора. Постулати Бора.
3. Сучасні квантово-механічні уявлення про будову атома. Хвильові властивості частинок.

4. Природна ширина рівня. Середній час життя рівня. Співвідношення невизначеностей Гейзенберга. Природне уширення спектральних ліній.
5. Ефект Доплера. Доплерівське уширення спектральних ліній.
6. Маса спокою частинки. Які частинки вважаються релятивістськими? Як це визначити?
7. Іонізація речовини. Потенціал йонізації, середній потенціал йонізації.
8. Проходження важких заряджених частинок крізь речовину. Питома втрата енергії.  
Формула Бете-Блоха (для  $dE/dx$ ). Одиниці вимірювання  $dE/dx$  та  $dE/d\rho x$ . Введення довжини, що вимірюється в  $г/см^2$ . Як перевести довжину в одиницях  $г/см^2$  в лінійну довжину (вимірюється в см). Залежність іонізаційних втрат від характеристик частинок та речовини. Пробіг важких заряджених частинок. Його залежність від характеристик частинок та речовини.
9. Проходження легких заряджених частинок крізь речовину. Іонізаційні втрати в порівнянні з такими для важких частинок. Пробіг легких заряджених частинок у речовині (екстрапольований).
10. Пружне розсіяння частинок. Імпульсна діаграма розсіяння. Фізичний зміст та побудова (розглянути всі можливі випадки мас частинок, що налітають та покояться).
11. Радіаційні втрати. Чому радіаційні втрати при проходженні важких заряджених частинок крізь речовину незначні в порівнянні з проходженням легких частинок? Критична енергія. Радіаційна довжина. Спектр Шиффа. Приклади застосування гальмівного випромінювання.
12. Взаємодія  $\gamma$ -випромінювання з речовиною (основні процеси). Закон послаблення інтенсивності випромінювання при проходженні крізь речовину. Лінійний та масовий коефіцієнти послаблення. Середній пробіг.
13. Переріз взаємодії  $\gamma$ -випромінювання з речовиною. Від чого він залежить. Одиниці вимірювання.
14. Типи взаємодії  $\gamma$ -випромінювання з речовиною. Перерізи даних типів взаємодії.
15. Фотоефект. Закони збереження. Чому фотоефект неможливий на вільному електроні. Відповідь детально пояснити. На яких атомних оболонках фотоефект є найбільш ймовірним. Як це можна пояснити з фізичної точки зору. Як можна пояснити той факт, що зі збільшенням енергії гама-квантів ймовірність фотоефекту спадає.
16. Переріз фотоефекту. Повний аналіз того, як ймовірність фотоефекту залежить від речовини та енергій гама-квантів, які через неї проходять.
17. Кутовий розподіл напрямків, під якими вилітають електрони після фотоефекту. Як напрямок вильоту електрона залежить від енергії налітаючого гама-кванта.
18. Ефект Комптона. Графічне зображення. Закони збереження. Чим він відрізняється від фотоефекту. Закони збереження. Продемонструвати, що ефект Комптона можливий на вільному електроні.
19. Отримати вирази для енергій електрона та гама-кванта після Комptonівського розсіяння. Проаналізувати дані формули (від яких величин залежать). Їхні граничні випадки при високих енергіях налітаючих гама-квантів (коли електрони отримують максимально можливу енергію). Комptonівська довжина хвилі.
20. Переріз Комptonівського розсіяння. Повний аналіз виразу.
21. Кутова діаграма напрямків вильоту електрона та гама-кванта після ефекту Комптона. Показати графічно закон збереження імпульсу. Провести повний аналіз для малих і для великих енергій налітаючого гама-кванта. Межі, у яких змінюються кути розсіяння електрона та гама-кванта після розсіяння.
22. Утворення пар. Умови утворення. Закони збереження. Оцінити максимальну енергію віддачі силового центру під час утворення пар.
23. Переріз утворення пар. Графічне зображення. Фізичне пояснення.
24. Загальний характер взаємодії  $\gamma$ -променів з речовиною. Закон послаблення інтенсивності випромінювання при проходженні крізь речовину. Порівняння поведінки перерізів усіх трьох типів взаємодії гама-квантів з речовиною, графічне зображення сумарного перерізу (або коефіцієнту послаблення) для легких та важких ядер.

25. *Вигляд енергетичного спектру електронів після взаємодії гама-квантів з речовиною (графічне зображення енергетичного розподілу фотоелектронів, Комптонівських електронів та піків одиночного та подвійного вильотів).*
26. *Основи дозиметрії. Види доз. Одиниці вимірювання.*
27. *Ренгенівське випромінювання. Джерела випромінювання та його застосування.*
28. *Детектори йонізуючого випромінювання. Основні принципи роботи. Лазери. Принципи роботи. Застосування.*

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

**Складено:** доцентом кафедри АЕС і ІТФ, кандидат фіз-мат наук, Лещенко Б.Ю.,  
ст. викладачем кафедри АЕС і ІТФ, кандидат фіз-мат наук, Бондар Б.М.

**Ухвалено:** кафедрою АЕС і ІТФ (протокол № 15/а від 30.06. 2022 р.)

Погоджено Методичною комісією ТЕФ (протокол № 9 від 30. 06. 2022 р.)