Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

В.о. директора
навчально-наукового інституту
комп’ютерної фізики та енергетики



_____ Ірина ГАРЯЧЕВСЬКА

“27” червня 2025 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Атомно-ядерна фізика

рівень вищої освіти	перший (бакалаврський) рівень
галузь знань	10 Природничі науки
спеціальність	105 Прикладна фізика та наноматеріали
освітня програма	Прикладна фізика енергетичних систем
	Комп’ютерна фізика
вид дисципліни	Обов’язкова
ННІ	комп’ютерної фізики та енергетики

2025 / 2026 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження вченою радою Навчально-наукового інституту комп'ютерної фізики та енергетики

Протокол від "27" серпня 2025 року № 14

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: Ілля МАРУЩЕНКО, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

Протокол від "27" серпня 2025 року № 8

Завідувач кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

_____ Олександр КУЛИК
(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньої програми (керівником проектної групи)
Прикладна фізика енергетичних систем
назва освітньої програми

_____ Денис ПРОТЕКТОР
(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньої програми (керівником проектної групи)
Комп'ютерна фізика
назва освітньої програми

_____ Єгор НЄМЧЕНКО
(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією Навчально-наукового інституту комп'ютерної фізики та енергетики
назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від "27" серпня 2025 року № 7

Голова методичної комісії Навчально-наукового інституту комп'ютерної фізики та енергетики

_____ Денис ПРОТЕКТОР
(підпис) (прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Атомно-ядерна фізика» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалаврів спеціальності Е6 Прикладна фізика та наноматеріали.

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни: знайомство з еволюцією поглядів на явища атомних та субатомних розмірів, розуміння квантових основ сучасної фізики та оволодіння практичними навичками розв'язування задач.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни: забезпечити формування у студентів розуміння історичної необхідності квантової гіпотези для пояснення експериментальних даних, знайомство з сучасними уявленнями про структуру матерії та квантову природу макроскопічних фізичних явищ та оволодіння математичними навиками, що необхідні для розв’язування різноманітних задач квантової фізики.

1.3. Кількість кредитів - 5

1.4. Загальна кількість годин - 150

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
Обов’язкова	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
3-й	
Семестр	
5-й	
Лекції	
32 год.	
Практичні, семінарські заняття	
32 год.	
Лабораторні заняття	
32 год.	
Самостійна робота	
54 год.	
у тому числі індивідуальні завдання	

1.6. Заплановані результати навчання:

- згідно з вимогами освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми, студенти мають отримати такі компетентності (ЗК, СК):

ЗК01. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
ЗК02. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.
ЗК03. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.
ЗК05. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.
ЗК06. Здатність до проведення досліджень на відповідному рівні.
ЗК07. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
ЗК08. Навички міжособистісної взаємодії.

ЗК09. Здатність працювати автономно.
ЗК10. Навички здійснення безпечної діяльності.
ЗК12. Здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної області, її місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій, використовувати різні види та форми рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя.
СК01. Здатність брати участь у плануванні та виконанні наукових та науково-технічних проектів.
СК02. Здатність брати участь у плануванні і виконанні експериментів та лабораторних досліджень властивостей фізичних систем, фізичних явищ і процесів, обробленій презентації їхніх результатів.
СК03. Здатність брати участь у виготовленні експериментальних зразків, інших об'єктів дослідження.
СК04. Здатність брати участь у впровадженні результатів досліджень та розробок.
СК05. Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп’ютерних технологій.
СК06. Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем.
СК07. Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності.
СК08. Здатність працювати в колективах виконавців, у тому числі в міждисциплінарних проектах.
СК09. Здатність проводити самостійно та в команді наукові дослідження фізичних систем, явищ і процесів (експериментальні, теоретичні, комп’ютерне моделювання) в галузі прикладної фізики та наноматеріалів.

- згідно з вимогами освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми, студенти повинні досягти таких результатів навчання (РН):
РН01. Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв’язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.
РН03. Застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв’язанні практичних проблем прикладної фізики.
РН04. Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій.
РН05. Вибирати ефективні методи та інструментальні засоби проведення досліджень у галузі прикладної фізики.
РН06. Відшуковувати необхідну науково-технічну інформацію в науковій літературі, електронних базах, інших джерелах, оцінювати надійність та релевантність інформації.
РН07. Класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики.
РН09. Презентувати результати досліджень і розробок фахівцям і нефахівцям, аргументувати власну позицію.
РН10. Планувати й організовувати результативну професійну діяльність індивідуально і як член команди при розробці та реалізації наукових і прикладних проєктів.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Формування квантових уявлень.

Тема 1: Квант випромінювання.

Теплове випромінювання: проблема теплового випромінювання, постійна Планка. Гіпотеза світлових квантів: фотоефект, формула Ейнштейна, червона границя фотоефекта, труднощі експерименту, затримуюча різниця потенціалів.

Тема 2: Фотони та атоми.

Фотони: гальмівне рентгенівське випромінювання, дослід Боте, фотони, корпускулярно-хвильовий дуалізм. Ефект Комптона: досліди Комптона, теорія ефекту Комптона, аналіз отриманих результатів. Модель атома Резерфорда: розсіювання альфа-частинок, формула Резерфорда.

Тема 3: Модель атома Бора.

Проблема планетарної моделі атома. Спектральні закономірності: лінійчасті спектри, узагальнена формула Бальмера. Модель атома Бора: постулати Бора, досліди Франка і Герца, енергії стаціонарних станів, спектральні серії воднеподібних систем, магнітний момент атома водню, недоліки моделі Бора.

Тема 4: Хвилі де-Бройля та парадоксальна поведінка мікрочастинок.

Гіпотеза де-Бройля: хвилі де-Бройля, чому не можна розглядати частинку як хвильовий пакет, використання гіпотези де-Бройля. Експериментальні підтвердження гіпотези де-Бройля: досліди Девіссона та Джермера, заломлення дебройлівських хвиль, досліди Томсона та Тартаковського, досліди з нейтронами та молекулами, досліди з одиночними електронами. Парадоксальна поведінка мікрочастинок: двощілинний експеримент, критерій класичного опису.

Розділ 2. Елементи квантової механіки.

Тема 5: Принцип невизначеності Гайзенберга та рівняння Шредінгера.

Співвідношення невизначеності: про фізичний зміст умови $\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar$. Застосування співвідношення невизначеності: дослід із щілиною, оцінка розміру атома водню. Стан частинки у квантовій теорії: хвильова функція, принцип суперпозиції. Часове та стаціонарне рівняння Шредінгера: стаціонарні стани.

Тема 6: Квантування. Прості задачі квантової механіки.

Принцип квантування: хвильова функція та граничні умови. Прості задачі квантової механіки: прямокутна потенціальна яма з нескінченими стінками, прямокутна потенціальна яма зі скінченими стінками, проходження частинки через бар’єр (тунелювання).

Тема 7: Оператори в квантовій теорії.

Оператори фізичних величин: середні значення фізичних величин, властивості операторів. Основні постулати квантової теорії: оператор моменту імпульсу, власні стани операторів фізичних величин. Рівняння Шредінгера як задача на власні значення.

Тема 8: Квантові числа.

Квантування кутового моменту: момент імпульсу, модуль моменту імпульсу, проекція кутового моменту, квантові числа. Квантовий гармонічний осцилятор: квантування енергії, коливальні рівні молекул. Ротатор: квантування енергії, обертальні спектри молекул.

Розділ 3. Фізика атомів.

Тема 9: Воднеподібні атоми та атоми лужніх металів.

Квантування воднеподібних атомів: розв'язання рівняння Шредінгера, кратність виродження і символи станів, хвильові функції атома водню, розподіл густини ймовірності. Атоми лужніх металів: рівні та спектри лужних металів, правило добору, спектральні серії і тонка структура спектральних ліній.

Тема 10: Спін електрона. Багатоелектронні атоми.

Спін: гіпотеза спіна, спіновий механічний момент атома, правила складання кутових моментів, повний момент імпульсу електрона, пояснення тонкої структури спектральних ліній. Багатоелектронні атоми: механічний момент багатоелектронного атома, типи зв'язків у багатоелектронних атомах, спектральні позначення.

Тема 11: Принцип Паулі та заповнення електронних оболонок.

Заповнення електронних оболонок: принцип Паулі, правила заповнення електронних оболонок, періодична система елементів, правила Хунда. Характеристичні рентгенівські спектри: особливості характеристичних спектрів, закон Мозлі, тонка структура рентгенівських спектрів.

Тема 12: Магнітні властивості атомів.

Магнітний момент атома: орбітальний магнітний момент атома, досліди Штерна та Герлаха, спіновий магнітний момент атома, повний магнітний момент атома. Атом у магнітному полі: простий ефект Зеемана, складний ефект Зеемана, ефект Пашена-Бака, електронний парамагнітний резонанс (ЕПР).

Розділ 4. Вступ до ядерної фізики.

Тема 13: Атомне ядро та енергія зв'язку.

Атомне ядро: склад атомного ядра, характеристики атомного ядра. Енергія зв'язку: формула Ейнштейна, дефект мас, питома енергія зв'язку. Ядерні сили: основні особливості, насичення ядерних сил, механізм взаємодії нуклонів, моделі ядер.

Тема 14: Радіоактивність

Основний закон радіоактивного розпаду. Основні види радіоактивності: альфа-розпад, бета-розпад і проблема нейтріно, гамма-розпад. Енергія радіоактивного розпаду. Ефект Месбауера.

Тема 15: Ядерні реакції

Ядерні реакції: вихід ядерної реакції, типи ядерних реакцій. Енергія ядерних реакцій: енергетична схема ядерної реакції, поріг ядерної реакції, рівні збудження ядра. Ядерна енергія: ланцюгова реакція, ядерні реактори, термоядерний синтез.

Тема 16: Елементарні частинки

Елементарні частинки: фундаментальні взаємодії, систематика елементарних частинок, симетрії та закони збереження. Кваркова модель адронів.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с. р.		л	п	лаб.	інд.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Розділ 1. Формування квантових уявлень												
Тема 1: Квант випромінювання.	13	4	4	4		4						
Тема 2: Фотони та атоми.	13	2	2	2		4						
Тема 3: Планетарна модель атома і квантування Бора.	10	2	2	2		4						
Тема 4: Хвилі де-Бройля та парадоксальна поведінка мікрочастинок.												
Разом за розділом 1	36	8	8	8		12						
Розділ 2. Елементи квантової механіки												
Тема 5: Принцип невизначеності Гайзенберга та рівняння Шредінгера	10	2	2	2		4						
Тема 6: Квантування. Прості задачі квантової механіки.	13	4	4	4		4						
Тема 7: Оператори в квантовій теорії.	13	2	2	2		4						
Тема 8: Квантові												

числа.												
Разом за розділом 2	36	8	8	8		12						
Розділ 3. Фізика атомів												
Тема 9. Воднеподібні атоми та атоми лужніх металів.	17	4	4	4		5						
Тема 10: Спін електрона. Багатоелектронні атоми.	11	2	2	2		5						
Тема 11: Принцип Паулі та заповнення електронних оболонок.												
Тема 12. Магнітні властивості атомів.	11	2	2	2		5						
Разом за розділом 3	39	8	8	8		15						
Розділ 4. Вступ до ядерної фізики												
Тема 13. Атомне ядро та енергія зв’язку.	11	2	2	2		5						
Тема 14. Радіоактивність.	11	2	2	2		5						
Тема 15. Ядерні реакції.	17	4	4	4		5						
Тема 16. Елементарні частинки												
Разом за розділом 4	39	8	8	8		15						
Усього годин	150	32	32	32		54						

4. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Квант випромінювання.	2
2	Фотони та атоми.	2
3	Планетарна модель атома і квантування Бора.	2
4	Хвилі де-Бройля та парадоксальна поведінка мікрочастинок.	2
5	Принцип невизначеності Гайзенберга та рівняння Шредінгера.	2
6	Квантування. Прості задачі квантової механіки.	2
7	Оператори в квантовій теорії.	2
8	Квантові числа.	2
9	Воднеподібні атоми та атоми лужніх металів.	2
10	Спін електрона. Багатоелектронні атоми.	2
11	Принцип Паулі та заповнення електронних оболонок.	2
12	Магнітні властивості атомів.	2
13	Атомне ядро та енергія зв’язку.	2
14	Радіоактивність.	2
15	Ядерні реакції.	2

16	Елементарні частинки.		2
	Разом		32

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Перечитати лекційні матеріали і навчитися розв’язувати задачі за темами першого розділу: формула Ейнштейна, червона границя фотоефекта, затримуюча різниця потенціалів, гальмівне рентгенівське випромінювання, ефект Комптона, розсіювання альфа-частинок, формула Резерфорда, спектральні закономірності, енергії стаціонарних станів, спектральні серії воднеподібних систем, хвилі де-Бройля, заломлення дебройлівських хвиль, двощілинний експеримент.	12
2	Перечитати лекційні матеріали і навчитися розв’язувати задачі за темами другого розділу: хвильова функція, квантування, розв’язання стаціонарного рівняння Шредінгера у простих випадках із граничними умовами, проходження частинки через бар’єр (тунелювання), властивості операторів, середні значення фізичних величин, власні стани операторів фізичних величин, коливальні та обертальні спектри молекул.	12
3	Перечитати лекційні матеріали і навчитися розв’язувати задачі за темами третього розділу: хвильові функції атома водню, розподіл густини ймовірності, кратність виродження і символи станів, рівні та спектри лужних металів, правила добору, спектральні серії і тонка структура спектральних ліній, орбітальний та спіновий моменти атома, правила складання кутових моментів, повний момент імпульсу електрона, механічний момент багатоелектронного атома, спектральні позначення, правила заповнення електронних оболонок, періодична система елементів, правила Хунда, закон Мозлі, тонка структура рентгенівських спектрів, магнітний момент атома, простий і складний ефект Зеемана, ефект Пашена-Бака, електронний парамагнітний резонанс.	15
4	Перечитати лекційні матеріали і навчитися розв’язувати задачі за темами четвертого розділу: дефект мас, енергія зв’язку, основний закон радіоактивного розпаду, альфа-розпад, бета-розпад, гамма-розпад, енергія ядерних реакцій, поріг ядерної реакції.	15
	Разом	54

Теми лабораторних робіт

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість годин
1	Вступне заняття. Інструктаж з техніки безпеки. Огляд всіх робіт та правило їх виконання і створення графіків.	4
2	Принцип роботи спектрографа. Визначення характеристик спектрографа. Фотографування випромінювання металів і сплавів.	4
3	Розшифровка спектрів випромінювання металів і сплавів. Якісний аналіз складу сплавів зі спектрів випромінювання.	4

4	Провести градуювання монохроматора УМ-2. Дослідження спектру випромінювання водню. Визначення сталої Рідберга.	4
5	Визначення спектроскопічних параметрів молекул йоду.	4
6	Ознайомлення з принципом роботи лазера. Визначення параметрів лазерного променю.	4
7	Дослідження спектрів випромінювання металів та сплавів за допомогою стилоскопу. Напівкількісний аналіз складу сталей.	4
8	Вимірювання спектрів випромінювання твердих тіл. Перевірка закону теплового випромінювання: законів Віна та Стефана-Больцмана.	4
	Разом	32

6. Індивідуальні завдання

Не передбачено.

7. Методи навчання

Лекційні заняття проводяться методом лекції та розповіді-дискусії і передбачають можливість використання електронних засобів навчання (відеозв'язок в системі Zoom, презентації у форматі pdf, використання електронного пера). На практичних заняттях, якщо вони проводяться в аудиторії, задачі розв'язуються студентами на дощці за допомогою викладача, а у випадку дистанційного навчання заняття проводиться методом розповіді-дискусії з прикладами розв'язання задач, а самостійне розв'язання задач студентами виконується у вигляді додаткових домашніх завдань. Основною метою практичних занять є розвиток навичок практичного застосування і закріплення теоретичного матеріалу. Лабораторні роботи виконуються студентами по парам у спеціальній лабораторії з урахуванням правил техніки безпеки. У випадку дистанційного навчання проведення лабораторних робіт стає неможливим і вони будуть замінені на додаткові практичні заняття.

8. Методи контролю

Для оцінювання результатів навчання використовуються такі види та методи контролю: поточний контроль протягом семестру – активна участь у розв'язанні задач та обговоренні теоретичних положень на практичних заняттях; розв'язання задач для самостійної роботи за темами розділів; виконання лабораторних робіт; семестрова контрольна робота; іспит.

Бали за активну роботу в аудиторії і за розв'язання задач для самостійної роботи складаються в підсумкову оцінку за тему. За кожне активно проведене практичне заняття студент отримає 1 бал. Його отримують студенти, що були активно залучені до обговорення теми практичного заняття, давали правильні відповіді на теоретичні запитання і правильно розв'язували задачі. За кожну правильно розв'язану задачу для самостійної роботи студент також отримує 1 бал. Загалом за курс за розв'язання задач і роботу на практичних заняттях можна отримати до 30 балів.

За виконання кожної лабораторної роботи студент отримує 1 бал. Лабораторна робота вважається виконаною, якщо студент ознайомився з методичними вказівками для її виконання, отримав дозвіл на виконання даної роботи, виконав необхідні виміри і зміг захистити виконану роботу. Для захисту роботи студент повинен показати правильно оформлену роботу з результатами вимірювань та розповісти, які фізичні явища спостерігалися, які результати отримано, і чи відповідають отримані результати очікуваним значенням (відповідь пояснити). У випадку відсутності на вступному занятті студент повинен самостійно опрацювати правила техніки безпеки – без цього він не буде допущений до виконання лабораторних робіт. У випадку неможливості проведення лабораторних робіт у зв'язку з дистанційним режимом навчання, пошкодженням

обладнання або неможливістю проводити заняття в лабораторії, години, відведені на лабораторні роботи, будуть використані для проведення додаткових практичних занять для закріплення навичок розв'язання задач.

Програмою курсу передбачається також 1 контрольна робота, за яку студент може отримати до 10 балів. Контрольна робота складається з двох теоретичних питань і однієї задачі. За кожне теоретичне питання можна отримати по 3 бали, за задачу - 4 бали.

У підсумку за роботу в семестрі можна отримати щонайбільше 60 балів. Якщо за семестр студент набрав менше ніж 10 балів, або якщо він не виконав жодну лабораторну роботу, він не буде допущений до іспиту (за винятком випадків, коли проведення лабораторних робіт не є можливим через ситуацію у країні). У випадку, коли робота в лабораторії неможлива, відведені на неї навчальні часи замінюються на практичні заняття, а бали набираються розв'язанням додаткових задач для самостійної роботи.

Курс завершується проведенням іспиту, за який можна отримати до 40 балів. Іспит проводиться у вигляді письмової роботи. Студент повинен обрати білет, що містить дві задачі та два теоретичних питання за темами курсу. За кожну відповідь він може отримати до 10 балів. За бажанням студента він може також надати усний коментар до своєї екзаменаційної роботи та відповісти на додаткові питання, отримавши додаткові заохочувальні бали, загалом не більше 10 (за умови, що підсумкова оцінка за іспит не перевищує 40 балів).

Максимальний бал, що студент може отримати за курс, складає 100 балів.

9. Схема нарахування балів

	Поточний контроль, самостійна робота, контрольні роботи						Екзаменаційна робота	Сума
Розділ 1	Розділ 2	Розділ 3	Розділ 4	Контрольна робота 1	Контрольна робота 2	Разом		
10	10	10	10	10	10	60	40	100

Для допуску до складання підсумкового контролю (екзамену) здобувач вищої освіти повинен набрати не менше 20 балів з навчальної дисципліни під час поточного контролю, самостійної роботи, індивідуального завдання.

Критерії оцінювання навчальних досягнень

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка
	для чотирирівневої шкали оцінювання
90 – 100	відмінно
70-89	добре
50-69	задовільно
1-49	незадовільно

10. Рекомендована література

Основна література

1. Лукіянець Б.А., Понеділок Г.В., Рудавський Ю.К. Основи квантової фізики: Навч. Посібник. Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2009.

2. А.Ю. Ницук. Ядерна фізика. Одеський національний університет, 2008.
3. E.H. Wichmann. Berkeley physics course, vol.4: Quantum Physics. Natick Mass, 1971.
4. I.E. Irodov. Problems in General Physics, Mir Publishers, 1988.
5. I.E. Irodov. Problems in Atomic and Nuclear Physics. Mir Publishers, 1983.

Допоміжна література

1. М.У. Білий. Атомна фізика: Підручник. Вища школа, 1973.
2. Max Born. Atomic Physics. Blackie & Son, 1969.
3. R. Feynman, R.B. Leighton, M. Sands. The Feynman Lectures on Physics, vol III: Quantum Mechanics. Basic Books, 2015.
4. Leonard Susskind, Art Friedman. Quantum Mechanics. The Theoretical Minimum. Basic Books, 2014.

11. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. https://dist.karazin.ua/moodle/course/view.php?id=3224