МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Львівський національний університет імені Івана Франка

Фізичний факультет
Кафедра експериментальної фізики

Затверджено
на засіданні кафедри експериментальної фізики
фізичного факультету
Львівського національного університету
імені Івана Франка
(протокол № 7 від 07.06.2023 р.)

Завідувач кафедри

Анатолій ВОЛОШИНОВСЬКИЙ

Силабус з навчальної дисципліни

“АТОМНА ФІЗИКА”,

що викладається в межах ОПП “Комп’ютерні технології у прикладній фізиці”,
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
для здобувачів з спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали

Львів 2023

Назва дисципліни	Атомна фізика
Адреса викладання дисципліни	вул. Кирила і Мефодія, 8, м. Львів, 79005
Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна	Фізичний факультет, кафедра експериментальної фізики
Галузь знань, шифр та назва спеціальності	Галузь знань – 10 Природничі науки Спеціальність – 105 Прикладна фізика та наноматеріали
Викладачі дисципліни	Лектор: Волошиновський Анатолій Степанович, завідувач кафедри експериментальної фізики, д.ф.-м.н. професор; практичні заняття проводить: доц. Рудиш М.Я.; лабораторні заняття проводить: доц. Гамерник Р.В.
Контактна інформація викладачів	anatoliy.voloshinovskii@lnu.edu.ua, avolosh@ukr.net myron.rudysh@lnu.edu.ua, roman.gamernyk@lnu.edu.ua, r.gamernyk@ukr.net
Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються	Консультації в день проведення лекцій та практичних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації через електронну пошту.
Сторінка дисципліни	
Інформація про дисципліну	Дисципліна «Атомна фізика» є нормативною навчальною дисципліною для підготовки бакалавра за спеціальністю 105 «Прикладна фізика та наноматеріали», яка викладається у V семестрі в обсязі 5 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS).
Коротка анотація дисципліни	Атомна фізика – розділ загального курсу фізики, в якому вивчається будова і властивості атома, а також елементарні процеси на атомному рівні.
Мета та цілі дисципліни	Мета – ознайомити студентів з послідовним розвитком сучасних уявлень про атомну будову речовини на основі квантової механіки, загальними питаннями атомної і молекулярної спектроскопії, новітніми досягненнями в галузі атомної фізики. Завданням курсу є формування в студентів знань та умінь, необхідних для розуміння процесів на рівні мікросвіту з урахуванням корпускулярно-хвильового дуалізму. Навчити студентів критично оцінювати різні методи моделювання і математичного опису атомних процесів. Підготувати студентів до сприймання і глибокого розуміння спеціальних теоретичних курсів, зокрема квантової механіки, атомної та молекулярної спектроскопії.
Література для вивчення дисципліни	**Базова:** 1. Білий М.У., Охрименко Б.А. Атомна фізика. – К.: Знання, 2009. – 559 с. 2. Білий М.У. Атомна фізика. – Київ, 1973. – 396 с. 3. Находкін М.Г. Атомна фізика. – К.: КНУ, 1999. – 553 с. 4. Франів А.В., Бовгира О.В. Задачі з атомної фізики. – Львів: Вид. центр ЛНУ, 2011. – 210 с. 5. Курляк В.Ю., Карплюк Л.Т., Тузяк М.Р. Практикум з курсу «Атомна фізика». – Львів: Вид. центр ЛНУ імені Івана Франка, 2008. – 112 с.

	Допоміжна: 1. Глауберман А.Ю. Фізика атома та квантова механіка. – Київ. 1972. 2. Білий М.У., Охріменко Б.А. Атомна фізика. – Київ, 1984. 3. Гайда Р.П. Атомна фізика. – Львів: Вид. Львів. ун-ту, 1965. – 356 с. 4. Кобушкін, О.П. Атомна фізика [Електронний ресурс] : [підручник] / О.П.Кобушкін ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 310 с. https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/26381/2/Atomna_fizyka.pdf 5. Каденко І. М., Плюйко В.А. Фізика атомного ядра та частинок : підручник. 2-ге вид., переробл. і доповн. – К., 2019 – 467 с. **Інформаційні ресурси:** 1. Wikipedia. http://www.wikipedia.org
Тривалість курсу	Один семестр (5 семестр)
Обсяг курсу	150 годин, з яких 96 годин аудиторних занять, з них 32 години лекцій, 32 години практичних занять, 32 години лабораторних занять та 54 години самостійної роботи**.**
Очікувані результати навчання	***Загальні компетентності (ЗК):*** **ЗК 1**. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. **ЗК 2**. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності. **ЗК 9**. Здатність працювати автономно. ***Спеціальні (фахові) компетентності (СК):*** **СК 5.** Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп'ютерних технологій. **СК 7**. Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності. ***Програмні результати навчання (ПРН):*** **ПРН 01**. Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики. **ПРН 02.** Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів. **ПРН 03**. Застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв'язанні практичних проблем прикладної фізики. **ПРН 12**. Розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв'язанні екологічних проблем. У результаті вивчення даного курсу студент повинен **знати:** • основні експерименти і розвиток ідей атомної фізики; • прояви хвильових властивостей об'єктів мікросвіту; • основи сучасної квантової механіки; • закономірності формування квантових станів електронів в атомах і молекулах; • зв'язок між квантовими характеристиками і властивостями атомів;

	• закономірності впливу магнітних та електричних полів на структуру енергетичних рівнів атомів; • основи спектроскопії атомів та молекул; **вміти:** • працювати з літературою по теоретичних основах атомної фізики; • володіти основами математичного апарату квантово-механічного опису атомних процесів; • вміти розраховувати енергетичні стани атомів з характерними електронними конфігураціями; • вміти передбачити можливі фізичні властивості атомів на підставі аналізу їх квантових станів; • володіти основами систематизації атомних спектрів; • знаходити зв'язок між електричними властивостями конденсованих середовищ і особливостями їх зонної структури; • планувати і здійснювати простіші експерименти по дослідженню атомних станів.
Ключові слова	Моделі атома, корпускулярно-хвильовий дуалізм, хвильова механіка, систематика енергетичних рівнів, спін-орбітальна взаємодія, атом у магнітному полі.
Формат курсу	Очний
	проведення лекцій, практичних та лабораторних занять і консультації для кращого розуміння тем
Теми	Наведено у таблиці 1.
Підсумковий контроль, форма	Підсумковий контроль: іспит в кінці семестру. Форма: усна.
Пререквізити	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з курсів: Механіка, Молекулярна фізика, Електрика і магнетизм, Оптика, Математичний аналіз, Диференціальні та інтегральні рівняння.
Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу	Презентація, лекції, дискусія, виконання лабораторних робіт, підготовка доповідей, рефератів.
Необхідне обладнання	Лекційні заняття – мультимедійна установка та ноутбук. Лабораторні заняття – обладнання навчальної лабораторії атомної фізики та прикладної спектроскопії (фотоелектронна касета ФЕК, установка для демонстрації досліду Франка-Герца, спектрофотометр СФ-46, спектрограф ІСП-28, воднева лампа ДВС, блок живлення УІП-1, інтерферометр Фабрі-Перо, комп'ютер LENOVO, гелій-неоновий лазер, блоки живлення).
Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)	Оцінювання проводяться за 100- бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням: • оцінка відповідей та робота на практичних заняттях – 20 балів; • допуск до лабораторних робіт та захист лабораторних робіт – 20 балів (9 робіт х 2 бали + 2бали); • колоквіум в середині семестру за лекційними заняттями – 10 балів. Разом за семестр: 50 балів.

Іспит: 50 балів.
Підсумкова максимальна кількість балів: 100.

Шкала оцінювання лабораторної роботи

Бали	Критерії оцінювання
2	Студент самостійно провів розрахунки відповідно до ходу роботи, обробив математично результати експерименту, склав письмовий звіт, самостійно зробив висновки, на захисті продемонстрував достатній рівень знань.
1	Студент провів розрахунки з допомогою лаборанта/викладача, частково обробив результати експерименту, склав письмовий звіт без належного оформлення, на захисті продемонстрував базовий рівень знань.
0	Здобувач не представив до захисту звіт з відповідної тематичної лабораторної роботи.

У разі відсутності студента під час проведення лабораторних занять з поважних причин йому надається право на відпрацювання. У всіх інших випадках відсутність здобувача на лабораторних заняттях автоматично зараховується йому як незадовільна оцінка (0 балів) за відповідну тематичну лабораторну роботу. Незадовільну оцінку студент має право перескласти. Додатковий термін перездачі призначає викладач.

Іспит. На іспит виноситься 3 описові питання, з максимальною оцінкою в 10 балів кожне і тести з максимальною сумарною оцінкою 20 балів. Максимальна кількість балів за іспит – 50.

Критерії оцінювання описових питань іспиту

Критерії	Бали
Студент продемонстрував глибокий рівень розуміння матеріалу. Під час відповіді використовував формули, означення, приводив доведення, вільно володів концепціями. Розглянуто всі аспекти поставленого запитання. Відповіді були достатньо аргументовані, чіткі й логічні, містили всі необхідні елементи й деталі. Допускалися деякі неточності формулювань.	10-9
Здобувач продемонстрував достатній або середній рівень фізичних знань під час відповіді на запитання. Наведено формули й означення без їхнього повного кінцевого розуміння. Відповіді на певні аспекти питання були в основному правильні, але недостатньо фізично обґрунтовані, допускалися математичні помилки й неточності означень.	8-6
Здобувачем продемонстровано задовільний або базовий рівень знань з питання, яке у відповіді не розглянуто з усіх необхідних точок зору. Крім значних математичних помилок, траплялися випадки, пов’язані з помилковою фізичною інтерпретацією певного аспекту питання.	5-1

	Академічна доброчесність здобувачами вищої освіти передбачає самостійне виконання навчальних завдань, завдань поточного та підсумкового контролю результатів навчання. Списування, втручання в роботу інших студентів становлять, але не обмежують, приклади можливої академічної недоброчесності. Виявлення ознак академічної недоброчесності в письмовій чи усній роботі студента є підставою для її незарахування викладачем, незалежно від масштабів обману. **Відвідання занять** є важливою складовою навчання. Очікується, що всі студенти відвідають усі лекції і практичні заняття курсу. Студенти мають інформувати викладача про неможливість відвідати заняття. У будь-якому випадку студенти зобов'язані дотримуватися усіх строків, визначених для виконання усіх видів робіт, передбачених курсом. **Література**. Усю література, яку студенти не зможуть знайти самостійно, буде надано викладачами виключно в освітніх цілях без права її передавання третім особам. Студенти заохочуються до використання також й іншої літератури та джерел, яких немає серед рекомендованих. **Політика виставлення балів**. Враховуються бали, набрані на практичних та поточному тестуванні. При цьому обов'язково враховуються присутність на заняттях та активність студента під час заняття; недопустимість пропусків та запізнень на заняття; користування мобільним телефоном, планшетом чи іншими мобільними пристроями під час заняття в цілях, не пов'язаних із навчанням; списування та плагіат; несвоєчасне виконання поставленого завдання і т. ін. **Додаткові бали** можна отримати за результатами неформального та/або інформального навчання по тематиці даного курсу. Визнання та зарахування результатів такого навчання відбувається у відповідності до наданих документів про неформальне та/або інформальне навчання. **Жодні форми академічної недоброчесності не толеруються.**
Питання до екзамену	1. Визначення розмірів атома, ядра атома. 2. Особливості об'єктів мікросвіту (атомізм, дискретність, корпускулярно-хвильовий дуалізм). 3. Модель абсолютно чорного тіла. Середня густина випромінювання. Виведення формул Релея-Джінса та Віна для опису випромінювання абсолютно чорного тіла. 4. Формула Планка для опису випромінювання абсолютно чорного тіла. Стала Планка. 5. Модель атома Томсона (дискретність, частота випромінювання, розміри атома). 6. Визначення частоти випромінювання атомів у моделі Томсона. 7. Модель атома Резерфорда. Експериментальні результати по вивченню розсіювання α-частинок на атомах. Визначення розмірів ядра атома. 8. Рух α-частинки в кулонівському полі атома. Формула для визначення кута розсіювання α-частинки. 9. Поперечний та диференціальний переріз розсіювання

	для α-частинок. Формула Резерфорда. 10. Визначення заряду ядра та розмірів ядра на основі аналізу розсіювання α-частинок на атомах. 11. Спектри випромінювання – як відображення дискретності енергетичних рівнів атома. Форма спектрів випромінювання твердих тіл, молекул, атомів. 12. Закономірності в спектрах випромінювання атома водню. Спектральні серії Лаймана, Бальмера, Пашена…Узагальнена формула Бальмера. Енергетичні терми. 13. Досліди Франка і Герца. Дискретність енергетичних рівнів атомів. 14. Визначення потенціалу збудження атомів методом Франка і Герца. 15. Постулати Бора (стаціонарні орбіти, енергія випромінювання, умова квантування орбіт). 16. Атом водню в теорії Бора. Формули для визначення радіусів орбіт та енергій електронних станів атома водню. 17. Формула для визначення енергії переходів в атомі водню (водневі серії). Стала Рідберга. Ізотопічний зсув в спектрах випромінювання атома водню. 18. Узагальнюючі координати та імпульси. Умови квантування Зомерфельда для колових та еліптичних орбіт. Квантові числа – головне та азимутальне. 19. Просторове квантування в моделі Бора-Зомерфельда. Магнітне квантове число. 20. Магнітний та механічний моменти електрона, магнетон Бора. 21. Досліди Штерна-Герлаха. Атом в однорідному та неоднорідному магнітних полях. Залежність розщеплення атомного пучка в неоднорідному магнітному полі від орбітального моменту. 22. Досліди Штерна-Герлаха та власний (спіновий) момент електрона. Спін електрона. Магнітне спінове число. 23. Експериментальне підтвердження просторового квантування електронних орбіт. 24. Гіпотеза де Бройля, рівняння де Бройля. Довжина хвилі де Бройля для електрона. 25. Експериментальна перевірка гіпотези де Бройля. Дифракція електронів. 26. Досліди Девісона і Джермера, Томсона та Тартаковського. 27. Представлення електрона в моделі пакету хвиль. Електрон та монохроматична хвиля. Фазова та групова швидкість. 28. Ширина хвильового пакету. Виведення співвідношення невизначеності Гейзенберга. 29. Хвильова функція електрона. Статистична інтерпретація хвильової функції. 30. Хвильове рівняння. Стаціонарне рівняння Шредінгера. Рівняння Шредінгера залежне від часу. 31. Енергетичні рівні та хвильові функції електрона в ящику з безмежно високими стінками.

	32. Ефект тунелювання і його прояви у фізичних явищах. 33. Тунелювання частинки через прямокутний потенціальний бар'єр. Коефіцієнт прозорості бар'єру. 34. Імовірність проходження частинки через бар'єр складної форми. 35. Енергетичні рівні та характер хвильових функцій квантового осцилятора. 36. Поняття нульових коливань квантових осциляторів та електромагнітного вакууму. 37. Рівняння Шредінгера для атома водню в сферичній системі координат. Схема розв'язування. Рівняння Шредінгера для хвильових функцій R(r), Θ(θ) і Φ(φ). 38. Рівняння Шредінгера для атома водню в сферичній системі координат. Розв'язки рівняння для радіальної хвильової функції.R(r). Квантування моменту кількості руху. 39. Рівняння Шредінгера для атома водню в сферичній системі координат. Розв'язки рівняння для хвильової функції Φ(φ). Магнітне квантове число. 40. Рівняння Шредінгера для атома водню в сферичній системі координат. Розв'язки рівняння для хвильової функції Θ(θ). Зв'язок між орбітальним та магнітним квантовими числами. 41. Електронні орбіталі. Радіальна функція та розміри електронних орбіталей. Форма радіальних функцій для 1s- та 2s- електронних орбіталей. 42. Залежність форми та просторової орієнтації електронних орбіталей від орбітального та магнітного квантових чисел. Форма s-, p- та d-електронних орбіталей. 43. Орбітальний та магнітний моменти s-електрона. 44. Поняття електронного шару та оболонки. Принципи забудови електронних шарів. Принцип мінімуму енергії та принцип Паулі. Кількість електронів в шарах та оболонках. 45. Залежність енергії електронів від основного та орбітального квантових чисел. Забудова електронних шарів першої, другої та третьої груп періодичної системи елементів. 46. Особливості забудови електронних шарів хімічних елементів за участю d- електронів. 47. Періодична система елементів. Особливості розташування в періодичній системі елементів з 4f- та 5f-електронами. 48. Досліди Штерна–Герлаха та власний механічний та магнітний моменти електрона. 49. Природа спін-орбітальної взаємодії. Повний момент електрона. Квантове число – j. Вираз для обчислення спін-орбітальної взаємодії. 50. Позначення енергетичних термів одноелектронних атомів. Енергетичні рівні атома натрію. 51. Енергетичні рівні атома водню з врахуванням спін-орбітальної взаємодії. Зсув Лемба. Поняття електромагнітного вакууму.

	52. Додавання моментів у випадку багатоелектронних атомів. Зв'язок Рассел - Саундерса та j-j зв'язок. Визначення моментів для нормального зв'язку. 53. Правила Гунда для визначення електронного терму основного стану. Терми (pp) – конфігурації в основному та збудженому станах. 54. Енергетичні рівні та переходи в атомі ртуті. 55. Енергетичні рівні та спектри атома гелію (ортогелій та парагелій). 56. Зв'язок між магнітним та механічним моментами електрона у випадку врахування спіну електрона. Множник Ланде. 57. Розщеплення енергетичних рівнів атомів у магнітному полі. Взаємодія між магнітним моментом електрона та зовнішнім магнітним полем. 58. Поперечний та повздовжній ефект Зеємана. Поляризація випромінювання у випадку аномального ефекту Зеємана. 59. Пояснення ефекту Зеємана в моделі електромагнітних осциляторів. Поляризація компонент випромінювання. 60. Нормальний ефект Зеємана. 61. Аномальний ефект Зеємана. 62. Ефект Пашена-Бека. 63. Ефект Зеємана в сильному магнітному полі. 64. Природа та типи рентгенівського випромінювання. Рентгенівські спектри. Закон Мозелі. Тонка структура спектрів рентгенівського випромінювання. 65. Ефект Комптона. 66. Співвідношення між величинами електронної, коливної та обертової енергії молекул. Особливості спектрів молекул. 67. Коливні енергетичні рівні молекул. 68. Обертові енергетичні рівні молекул. 69. Енергетичні рівні (sp) конфігурації. 70. Розщеплення енергетичних рівнів у магнітному полі. 71. Принцип дії гелій-неонового лазера. Схема енергетичних рівнів. 72. Принцип дії гелій-неонового лазера. Схема енергетичних рівнів. 73. Гелій-неоновий лазер. Механізм створення інверсної заселеності. Енергетичні рівні. 74. Нормальний ефект Зеємана. 75. Методи визначення питомого заряду електрона.
Опитування	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.

Таблиця 1

Схема курсу «Атомна фізика»

Тиж-день	Тема занять	Форма діяльності та обсяг годин	Література	Термін виконання
1	Предмет вивчення атомної фізики.	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 2 год.	Б:1 (С.11-20) Д: 1–5	1 тиждень
2	Теплове випромінювання і становлення квантової механіки.	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 3 год.	Б:1 (Р.1 С.22-29) Д: 1–5	1 тиждень
3	Моделі атома.	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 3 год.	Д: 3, 4	1 тиждень
4	Формула Резерфорда	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 3 год.	Б: 1 (Р. 4, с. 110-117). Д: 1–5	1 тиждень
5	Спектральні закономірності в атомі водню.	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 4 год.	Б:1 (Р. 4 С.123-128) Д: 1–5	1 тиждень
6	Атом водню в теорії Бора.	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 4 год.	Б:1 (Р. 4 С.128-135) Д: 1–5	1 тиждень
7	Умови квантування електронних орбіт Бора-Зомерфельда**.**	Лекції – 2 год, практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 4 год.	Б:1 (Р. 4 С.135-137) Д: 3, 4	1 тиждень
8	Хвильова механіка (початки квантової механіки).	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 4 год.	Б:1 (Р. 3, С.52-70) Д: 1–5	1 тиждень
9	Рівняння Шредінгера – основне рівняння квантової механіки.	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 4 год.	Б:1 (Р. 3 С.85 -102) Д: 1–5	1 тиждень
10	Атом водню в квантовій механіці.	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 4 год.	Б:1 (Р. 5 С.149-170) Д: 1–5	1 тиждень
11	Забудова електронних шарів та оболонок атомів.	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 4 год.	Б:1 (Р. 6 С.207-221) Д: 1–5	1 тиждень
12	Спін-орбітальна взаємодія.	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 4 год.	Б:1 (Р. 5 С.193-196) Д: 1–5	1 тиждень

13	Енергетична структура та спектри багатоелектронних атомів.	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 3 год.	Б:1 (Р. 6. С.246-256) Д: 1–5	1 тиждень
14	Атом в магнітному полі.	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 3 год.	Б:1 (Р. 7. С.266-279) Д: 1–5	1 тиждень
15	Х-промені.	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 3 год.	Б:1 (Р. 8. С.304-322) Д: 1–5	1 тиждень
16	Спектри молекул.	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 2 год.	Б:1 (Р. 9. С.343-366) Д: 1–5	1 тиждень