

ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені ІВАНА ФРАНКА

Кафедра експериментальної фізики

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

В.о. декана фізичного факультету

_____ доц. Чернодольський Я.М.

“ _____ ” _____ 2021 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Атомна фізика

(шифр і назва навчальної дисципліни)

галузь знань _____ 10 Природничі науки _____

(шифр і назва галузі знань)

спеціальність _____ 104 Фізика та астрономія _____

(шифр і назва спеціальності)

спеціалізація _____ Квантові комп'ютери та квантове програмування _____

(назва спеціалізації)

факультет _____ фізичний _____

(назва факультету, відділення)

2021 – 2022 навчальний рік

Робоча програма Атомна фізика для студентів за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

Розробник *Брезвін Р.С.*, доктор фізико-математичних наук, доцент кафедри експериментальної фізики.

Робоча програма затверджена на засіданні кафедри експериментальної фізики

Протокол від “01” червня 2021 року № 18

Завідувач кафедри експериментальної фізики

_____ (Волошиновський А.С.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

“01” червня 2021 року

Схвалено Вченою радою фізичного факультету

Протокол від “___ ” _____ 2021 року № ___

“ ___ ” _____ 2021 року

Голова _____ (Якібчук П.М.)
підпис (прізвище та ініціали)

1. Опис навчальної дисципліни

(Витяг з робочої програми навчальної дисципліни “Атомна фізика”)

Найменування показників	Галузь знань, напрям підготовки, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни
		<i>денна форма навчання</i>
Кількість кредитів — 5,0	Галузь знань: 10 Природничі науки	Нормативна
Модулів — 1	Спеціальність: 104 Фізика та астрономія	<i>Рік підготовки:</i> 2-й
Змістових модулів — 2	Спеціалізація: Квантові комп’ютери та квантове програмування	<i>Семестр</i> 4-й
Загальна кількість годин — 150		<i>Лекції</i> 32 год.
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних — 5 самостійної роботи студента — 4,3		<i>Практичні, семінарські</i> 16 год.
	Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр	<i>Лабораторні</i> 32 год.
		<i>Самостійна робота</i> 70 год.
		<i>Вид контролю:</i> іспит

2. Мета та завдання навчальної 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.

Завдання - Сприяти виробленню у студентів наукової картини світу. Поряд з аналізом експериментальних результатів ставиться ціль приділити значну увагу теоретичному поясненню самих явищ. 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.

В 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;
- систематизувати елементарні частинки на основі сучасних уявлень.

3. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Моделі атома в класичній і квантовій механіці.

Тема 1. Предмет вивчення атомної фізики.

Структурні рівні матерії, що досліджуються методами атомної та ядерної фізики.

Особливості об'єктів мікросвіту (атомізм, дискретність, корпускулярно-хвильовий дуалізм).

Тема 2. Теплове випромінювання і становлення квантової механіки

Модель абсолютно чорного тіла. Середня густина випромінювання. Виведення формул Релея-Джинса та Віна для опису випромінювання абсолютно чорного тіла. Ультрафіолетова катастрофа.

Формула Планка для опису випромінювання абсолютно чорного тіла. Стала Планка.

Тема 3. Моделі атома.

Модель атома Томсона (дискретність, частота випромінювання, розміри атома).

Модель атома Резерфорда. Експериментальні результати по вивченню розсіювання α -частинок на атомах. Рівняння руху α -частинки в кулонівському полі атома. Кут розсіювання та прицільний параметр.

Тема 4. Формула Резерфорда.

Формула Резерфорда. Поперечний та диференціальний переріз розсіювання. Формула Резерфорда. Визначення заряду ядра та розмірів ядра на основі аналізу розсіювання α -частинок на атомах.

Тема 5. Спектральні закономірності в атомі водню.

Спектри випромінювання – як відображення дискретності енергетичних рівнів атома. Форма спектрів випромінювання твердих тіл, молекул, атомів.

Закономірності в спектрах випромінювання атома водню. Спектральні серії Лаймана, Бальмера, Пашена... Узагальнена формула Бальмера. Енергетичні терми.

Досліди Франка і Герца. Дискретність енергетичних рівнів атомів.

Тема 6. Атом водню в теорії Бора.

Постулати Бора (стаціонарні орбіти, енергія випромінювання, умова квантування орбіт).

Формули для визначення радіусів орбіт та енергій електронних станів атома водню.

Формула для визначення енергії переходів в атомі водню (водневі серії). Стала Рідберга.

Ізотопічний зсув в спектрах випромінювання атома водню.

Тема 7. Умови квантування електронних орбіт Бора-Зомерфельда.

Узагальнюючі координати та імпульси. Умови квантування Зомерфельда для колових та еліптичних орбіт. Квантові числа – головне та азимутальне.

Просторове квантування в моделі Бора-Зомерфельда. Магнітне квантове число. Магнітний та механічний моменти електрона, магнетон Бора.

Досліди Штерна-Герлаха. Атом в однорідному та неоднорідному магнітних полях.

Залежність розщеплення атомного пучка в неоднорідному магнітному полі від орбітального та спінового моменту електрона. Спін електрона. Магнітне спінове число.

Тема 8. Хвильова механіка (початки квантової механіки).

Гіпотеза де Бройля, рівняння де Бройля. Довжина хвилі де Бройля для електрона.

Експериментальна перевірка гіпотези де Бройля. Дифракція електронів. Досліди Девіссона і Джермера, Томсона та Тартаковського.

Представлення електрона в моделі пакету хвиль. Електрон та монохроматична хвиля.

Фазова та групова швидкість групи хвиль. Ширина хвильового пакету. Виведення співвідношення невизначеності Гейзенберга.

Хвильова функція електрона. Статистична інтерпретація хвильової функції.

Тема 9. Рівняння Шредінгера – основне рівняння квантової механіки.

Хвильове рівняння. Стаціонарне рівняння Шредінгера. Рівняння Шредінгера залежне від часу.

Енергетичні рівні та хвильові функції електрона в безмежній потенціальній ямі.

Ефект тунелювання.

Енергетичні рівні та характер хвильових функцій квантового осцилятора.

Змістовий модуль 2. Спектри багатоелектронних атомів та молекул в електричному та магнітному полях.

Тема 10. Атом водню в квантовій механіці.

Рівняння Шредінгера для атома водню в сферичній системі координат. Схема розв'язування. Рівняння Шредінгера для хвильових функцій $R(r)$, $\Theta(\theta)$ і $\Phi(\varphi)$ та аналіз їх розв'язків. Магнітне, орбітальне та головне квантові числа.

Електронні орбіталі. Радіальна функція та розміри електронних орбіталей. Форма радіальних функцій для 1s- та 2s- електронних орбіталей.

Залежність форми та просторової орієнтації електронних орбіталей від орбітального та магнітного квантових чисел. Форма s-, p- та d-електронних орбіталей.

Тема 11. Забудова електронних шарів та оболонок атомів.

Поняття електронного шару та оболонки. Принципи забудови електронних шарів. Принцип мінімуму енергії та принцип Паулі. Кількість електронів в шарах та оболонках.

Періодична система хімічних елементів як відображення правил заповнення електронних шарів та оболонок. Залежність енергії електронів від основного та орбітального квантових чисел. Забудова електронних шарів першої, другої та третьої груп періодичної системи елементів.

Особливості забудови електронних шарів хімічних елементів за участю d- електронів. Розташування в періодичній системі елементів з 4f- та 5f-електронами.

Тема 12. Спін-орбітальна взаємодія.

Природа спін-орбітальної взаємодії. Повний момент електрона. Квантове число – j . Вираз для обчислення спін-орбітальної взаємодії.

Позначення енергетичних термів одноелектронних атомів. Енергетичні рівні атома натрію.

Енергетичні рівні атома водню з врахуванням спін-орбітальної взаємодії. Зсув Лемба. Поняття електромагнітного вакууму.

Тема 13. Енергетична структура та спектри багатоелектронних атомів.

Додавання моментів у випадку багатоелектронних атомів. Зв'язок Рассел-Саундерса та $j-j$ зв'язок. Визначення моментів для нормального зв'язку.

Правила Гунда для визначення електронного терму основного стану. Терми p^2 – конфігурації в основному та збудженому станах.

Енергетичні рівні та переходи в атомі ртуті.

Енергетичні рівні та спектри атома гелію (ортогелій та парагелій).

Тема 14. Атом в магнітному полі.

Зв'язок між магнітним та механічним моментами електрона у випадку врахування спіну електрона. Множник Ланде.

Розщеплення енергетичних рівнів атомів у магнітному полі. Взаємодія між магнітним моментом електрона та зовнішнім магнітним полем.

Поперечний та повздовжній ефект Зеємана. Пояснення ефекту Зеємана в моделі осциляторів.

Нормальний ефект Зеємана. Аномальний ефект Зеємана. Ефект Пашена-Бека.

Тема 15. Рентгенівське випромінювання.

Природа та типи рентгенівського випромінювання. Рентгенівські спектри. Закон Мозлі. Тонка структура спектрів рентгенівського випромінювання. Властивості рентгенівських променів.

Ефект Комптона.

Тема 16. Спектри молекул.

Характер взаємодії між атомами, типи зв'язку. Електронна, коливна та обертова енергія молекул. Енергетичні рівні молекул.

Комбінаційне розсіювання світла.

4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	Денна форма					
	Усього	у тому числі				
л		п	лаб	інд	сп	
1	2	3	4	5	6	7
МОДУЛЬ 1						
Змістовий модуль 1. Моделі атома в класичній і квантовій механіці						
Тема 1. Предмет вивчення атомної фізики.	5	2	1			2
Тема 2. Теплове випромінювання і становлення квантової механіки.	9	2	1	2		4
Тема 3. Моделі атома.	9	2	1	2		4
Тема 4. Формула Резерфорда	5	2	1			2
Тема 5. Спектральні закономірності в атомі водню.	15	2	1	6		6
Тема 6. Атом водню в теорії Бора.	5	2	1			2
Тема 7. Умови квантування електронних орбіт Бора-Зомерфельда	5	2	1			2
Тема 8. Хвильова механіка (початки квантової механіки).	5	2	1			2
Тема 9. Рівняння Шредінгера – основне рівняння квантової механіки.	13	2	1	4		6
Вступне заняття	2			2		
Разом – зм. модуль 1	73	18	9	16		30
Змістовий модуль 2. Спектри багатоелектронних атомів та молекул в електричному та магнітному полях						
Тема 10. Атом водню в квантовій механіці.	6	2	1			3
Тема 11. Забудова електронних шарів та оболонки атомів.	19	2	1	6		10
Тема 12. Спін-орбітальна	6	2	1			3

взаємодія.						
Тема 13. Енергетична структура та спектри багатоелектронних атомів.	15	2	1	4		8
Тема 14. Атом в магнітному полі.	17	2	1	4		10
Тема 15. Рентгенівське випромінювання.	6	2	1			3
Тема 16. Спектри молекул.	6	2	1			3
Підсумкове заняття	2			2		
Разом – зм. модуль 2	77	14	7	16		40
Усього годин	150	32	16	32		70

5. Темі семінарських занять

Семінарських занять у курсі не передбачено.

6. Темі практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Квантова природа електромагнітного випромінювання. Теплове випромінювання.	2
2.	Розсіяння частинок. Ефективний переріз розсіяння частинок. Повний та диференціальний ефективний переріз. Формула Резерфорда.	2
3.	Модель атома Резерфорда-Бора	2
4.	Воднеподібні атоми.	2
5.	Хвильові властивості частинок.	2
6.	Рівняння Шредінгера. Проходження частинки через бар'єр.	2
7.	Квантові стани електронів в атомі.	2
8.	Атом в магнітному полі.	2
	Всього за семестр	16

7. Темі лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
	Вступне заняття.	2
1.	Дослідження випромінювальної здатності вольфраму.	2
2.	Визначення питомого заряду електрона методом магнетрона.	2
3.	Визначення потенціалів збудження способом Франка і Герца	2
4.	Спектральні закономірності атома водню.	4
5.	Енергетична будова та спектр випромінювання ртуті.	4
6.	Якісний спектральний аналіз.	4
7.	Вивчення ефекту Зеемана.	4
8.	Вивчення роботи гелій-неонового лазера.	2
9.	Реєстрація атомних спектрів за допомогою ФЕК (фотоелектронної)	4

	касети).	
	Підсумкове заняття.	2
	Всього за семестр	32

8. Самостійна робота

Лекції, практичні, лабораторні

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Предмет вивчення атомної фізики.	1
2.	Теплове випромінювання і становлення квантової механіки.	1
3.	Моделі атома.	1
4.	Формула Резерфорда	1
5.	Спектральні закономірності в атомі водню.	1
6.	Атом водню в теорії Бора.	1
7.	Умови квантування електронних орбіт Бора-Зомерфельда.	1
8.	Хвильова механіка (початки квантової механіки).	1
9.	Рівняння Шредінгера – основне рівняння квантової механіки.	1
10.	Атом водню в квантовій механіці.	1
11.	Забудова електронних шарів та оболонок атомів.	1
12.	Спін-орбітальна взаємодія.	1
13.	Енергетична структура та спектри багатоелектронних атомів	1
14.	Атом в магнітному полі.	1
15.	Рентгенівське випромінювання.	1
16.	Спектри молекул.	1
17.	Оптичні квантові генератори.	1
18.	Рух електрона в магнітному та електричному полях.	1
19.	Квантова природа електромагнітного випромінювання. Теплове випромінювання. (практ.)	2
20.	Розсіяння частинок. Ефективний переріз розсіяння частинок. Повний та диференціальний ефективний переріз. Формула Резерфорда. (практ.)	4
21.	Модель атома Резерфорда-Бора. (практ.)	4
22.	Воднеподібні атоми. (практ.)	3
23.	Хвильові властивості частинок. (практ.)	3
24.	Рівняння Шредінгера. Проходження частинки через бар'єр. (практ.)	3
25.	Квантові стани електронів в атомі. (практ.)	3
26.	Атом в магнітному полі. (практ.)	3
27.	Дослідження випромінювальної здатності вольфраму. (лаб.)	3
28.	Визначення питомого заряду електрона методом магнетрона. (лаб.)	3
29.	Визначення потенціалів збудження способом Франка і Герца. (лаб.)	3
30.	Спектральні закономірності атома водню.	3
31.	Енергетична будова та спектр випромінювання ртуті.	3
32.	Якісний спектральний аналіз.	3
33.	Вивчення ефекту Зеємана.	3
34.	Вивчення роботи гелій-неонового лазера.	3
35.	Реєстрація атомних спектрів за допомогою ФЕК (фотоелектронної	3

	касети).	
	Разом :	70

10. Методи контролю

Контроль засвоєння матеріалу включає:

поточний контроль на практичних заняттях – 20 балів, лабораторні роботи – 20 балів, колоквиум –10 балів — разом за семестр 50 балів, іспит — 50 балів. Сумарна оцінка, таким чином, виставляється за 100-бальною шкалою.

Контроль за виконанням лабораторних робіт: допуск до лабораторної роботи, захист лабораторних робіт, підсумкове заняття.

11. Розподіл балів, що присвоюється студентам

Розподіл балів, які отримують студенти в процесі виконання лабораторних робіт (для екзамену – 20 балів):

Поточне тестування та самостійна робота									Підсумкове заняття	Сума
Змістовий модуль 1					Змістовий модуль 2					
Л1	Л2	Л3	Л4	Л5	Л6	Л7	Л8	Л9	10	100 (20 балів)
10	10	10	10	10	10	10	10	10		

Розподіл балів, які отримують студенти під час практичних занять (для екзамену – 20 балів):

Поточне тестування та самостійна робота																Сума
Змістовий модуль 1									Змістовий модуль 2							
П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9	П10	П11	П12	П13	П14	П15	П16	20 балів
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	

Розподіл балів, які отримують студенти в процесі прослуховування лекційного курсу та виконання практичних і лабораторних робіт:

Поточне тестування та самостійна робота				Колоквиум	Робота на лекціях	Підсумковий тест (екзамен)	Сума
Лабораторні роботи		Практичні заняття					
20		20		10	-	50	100

Шкала оцінювання: Університету, національна та ECTS

Оцінка в балах	Оцінка ECTS	Визначення	За національною шкалою	
			Екзаменаційна оцінка, оцінка з диференційованого заліку	Залік
90 – 100	A	<i>Відмінно</i>	<i>Відмінно</i>	
81-89	B	<i>Дуже добре</i>	<i>Добре</i>	

71-80	C	<i>Добре</i>	<i>Задовільно</i>	<i>Зараховано</i>
61-70	D	<i>Задовільно</i>		
51-60	E	<i>Достатньо</i>		

12. Методичне забезпечення

1. В.Ю.Курляк, Л.Т.Карплюк, М.Р.Тузяк. Практикум з курсу «Атомна фізика». – Львів: Вид. центр ЛНУ імені Івана Франка, 2008. – 112 с.
2. А.В. Франів, О.В. Бовгира. Задачі з атомної фізики. – Львів: Вид. центр ЛНУ, 2011. – 210 с.

13. Рекомендована література

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. Гайда Р.П. Атомна фізика. – Львів: Вид. Львів. ун-ту, 1965. – 356 с.
4. Белый М.У., Охрименко Б.А. Атомная физика. – Киев, 1984.
5. Находкін М.Г. Атомна фізика. – К.: КНУ, 1999. – 553 с.
6. Глауберман А.Ю. Фізика атома та квантова механіка. – Київ. 1972.

14. Інформаційні ресурси

1. Wikipedia. <http://www.wikipedia.org>