

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Львівський національний університет імені Івана Франка

Фізичний факультет  
Кафедра експериментальної фізики

**Затверджено**  
на засідання кафедри експериментальної  
фізики фізичного факультету  
Львівського національного університету  
Імені Івана Франка  
(протокол № 18 від 01 червня 2021 р.)

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ Волошиновський А.С.

**Силабус з навчальної дисципліни**

**“АТОМНА ФІЗИКА”**,

**що викладається в межах ОПП для підготовки бакалавра  
(першого (бакалаврського) рівня вищої освіти)  
для здобувачів з спеціальності 104 Фізика та астрономія**

Львів

<b>Назва дисципліни</b>	Атомна фізика
<b>Адреса викладання дисципліни</b>	79005, м. Львів, вул. Кирила і Мефодія, 8
<b>Факультет та кафедра, за якою закріплена дисципліна</b>	Фізичний факультет, кафедра експериментальної фізики
<b>Галузь знань, шифр та назва спеціальності</b>	10 Природничі науки Спеціальність: <i>104 Фізика та астрономія</i> Спеціалізації: <i>Фізика та астрофізика, Комп'ютерна фізика.</i>
<b>Викладачі дисципліни</b>	Лектор: завідувач кафедри експериментальної фізики, проф. Волошиновський А.С.; практичні та лабораторні заняття проводять: проф. Вістовський В.В., доц. Брезвін Р.С., доц. Курляк В.Ю.
<b>Контактна інформація викладачів</b>	<a href="mailto:avolosh@ukr.net">avolosh@ukr.net</a>
<b>Консультації з питань навчання по дисципліні відбуваються</b>	Консультації в день проведення лекцій та практичних занять (за попередньою домовленістю). Також можливі он-лайн консультації через електронну пошту.
<b>Сторінка дисципліни</b>	
<b>Інформація про дисципліну</b>	Атомна фізика – розділ загального курсу фізики, в якому вивчається будова і властивості атома, а також елементарні процеси на атомному рівні.
<b>Коротка анотація дисципліни</b>	Дисципліна «Атомна фізика» є нормативною навчальною дисципліною з спеціальності: 104 – Фізика та астрономія, яка викладається у 5-му семестрі в обсязі 6 кредитів (за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS). Програма навчальної дисципліни складається з таких змістових модулів: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Моделі атома в класичній і квантовій механіці.</li> <li>2. Спектри багатоелектронних атомів та молекул в електричному та магнітному полях.</li> </ol>
<b>Мета та цілі дисципліни</b>	<p>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.</p> <p>Завдання – Сприяти виробленню у студентів матеріалістичного розуміння 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.</p> <p>Підготувати студентів до сприймання і глибокого</p>

	розуміння спеціальних теоретичних курсів, зокрема квантової механіки, атомної та молекулярної спектроскопії.
<b>Література для вивчення дисципліни</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Білий М.У., Охрименко Б.А. Атомна фізика. – К.: Знання, 2009. – 559 с.</li> <li>2. Білий М.У. Атомна фізика. – Київ, 1973. – 396 с.</li> <li>3. Гайда Р.П. Атомна фізика. – Львів: Вид. Львів. ун-ту, 1965. – 356 с.</li> <li>4. Белый М.У., Охрименко Б.А. Атомная физика. – Киев, 1984.</li> <li>5. Находкін М.Г. Атомна фізика. – К.: КНУ, 1999. – 553 с.</li> <li>6. Глауберман А.Ю. Фізика атома та квантова механіка. – Київ. 1972.</li> <li>7. В.Ю.Курляк, Л.Т.Карплюк, М.Р.Тузяк. Практикум з курсу «Атомна фізика». – Львів: Вид. центр ЛНУ імені Івана Франка, 2008. – 112 с.</li> <li>8. А.В. Франів, О.В. Бовгира. Задачі з атомної фізики. – Львів: Вид. центр ЛНУ, 2011. – 210 с.</li> <li>9. Wikipedia. <a href="http://www.wikipedia.org">http://www.wikipedia.org</a></li> </ol>
<b>Тривалість курсу</b>	Один семестр (5 семестр)
<b>Обсяг курсу</b>	180 годин, з яких 96 години аудиторних занять, з них 32 годин лекцій, 32 годин практичних занять, 32 год. лабораторних занять та 84 години самостійної роботи.
<b>Очікувані результати навчання</b>	<p>У результаті вивчення даного курсу студент повинен <b>знати:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• основні експерименти і розвиток ідей атомної фізики;</li> <li>• прояви хвильових властивостей об'єктів мікросвіту;</li> <li>• основи сучасної квантової механіки;</li> <li>• закономірності формування квантових станів електронів в атомах і молекулах;</li> <li>• зв'язок між квантовими характеристиками і властивостями атомів;</li> <li>• закономірності впливу магнітних та електричних полів на структуру енергетичних рівнів атомів;</li> <li>• основи спектроскопії атомів та молекул;</li> </ul> <p><b>вміти:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• працювати з літературою по теоретичних основах атомної фізики;</li> <li>• володіти основами математичного апарату квантово-механічного опису атомних процесів;</li> <li>• вміти розраховувати енергетичні стани атомів з характерними електронними конфігураціями;</li> <li>• вміти передбачити можливі фізичні властивості атомів на підставі аналізу їх квантових станів;</li> <li>• володіти основами систематизації атомних спектрів;</li> <li>• знаходити зв'язок між електричними властивостями конденсованих середовищ і особливостями їх зонної структури;</li> <li>• планувати і здійснювати простіші експерименти по дослідженню атомних станів;</li> <li>• систематизувати елементарні частинки на основі сучасних уявлень.</li> </ul>

<b>Ключові слова</b>	Електрон, протон, атом, рівняння Шредінгера, довжина хвилі, енергетичні рівні, спин-орбітальна взаємодія.
<b>Формат курсу</b>	Очний: лекції, практичні, лабораторні заняття, самостійна робота та консультації для кращого розуміння тем.
<b>Теми</b>	Наведено у табл.1.
<b>Підсумковий контроль, форма</b>	іспит в кінці семестру усний, тести
<b>Пререквізити</b>	Для вивчення курсу студенти потребують базових знань з: Механіка, Молекулярна фізика, Електрика і магнетизм, Оптика, Математичний аналіз, Диференціальні та інтегральні рівняння.
<b>Навчальні методи та техніки, які будуть використовуватися під час викладання курсу</b>	Презентація, лекції, дискусія, виконання лабораторних робіт, підготовка доповідей, рефератів.
<b>Необхідне обладнання</b>	Лекційні заняття – мультимедійна установка та ноутбук. Лабораторні заняття – обладнання навчальної Лабораторії атомної фізики та прикладної спектроскопії.
<b>Критерії оцінювання (окремо для кожного виду навчальної діяльності)</b>	Оцінювання проводиться за 100- бальною шкалою. Бали нараховуються за наступним співвідношенням: <ul style="list-style-type: none"> <li>• робота на практичних заняттях – 20 балів;</li> <li>• допуск до лабораторних робіт та захист лабораторних робіт – 20 балів;</li> <li>• колоквиум – 10 балів.</li> </ul> Разом: 50 балів. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Іспит: 50 балів.</li> <li>• Підсумкова максимальна кількість балів: 100.</li> </ul>
<b>Питання до екзамену (чи питання на контрольні роботи)</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Записати стаціонарне рівняння Шредінгера для одновимірного випадку.</li> <li>2. Записати амплітудне рівняння Шредінгера для одновимірного випадку.</li> <li>3. Записати рівняння Шредінгера для вільного електрона в одновимірному випадку.</li> <li>4. Записати стаціонарне рівняння Шредінгера в операторній формі.</li> <li>5. Записати рівняння Шредінгера залежне від часу в операторній формі.</li> <li>6. Записати співвідношення Гейзенберга для координати та імпульсу.</li> <li>7. Записати співвідношення Гейзенберга для енергії та часу.</li> <li>8. Записати умову нормування хвильової функції.</li> <li>9. Записати умову де Бройля для імпульсу електрона.</li> <li>10. Як зв'язані між собою імпульс та дебройлівська довжина хвилі електрона.</li> <li>11. Чи відповідають розміри електрона розміру хвильового пакету?</li> <li>12. Умова квантування Бора для колових орбіт електрона в атомі водню.</li> </ol>

13. Як енергія атома водню залежить від азимутального квантового числа?
14. Як залежить енергія атома водню від головного квантового числа?
15. Головне квантове число  $n = 2$ . Яке значення азимутального квантового числа відповідає коловій орбіті?
16. Головне квантове число  $n = 3$ . Які значення приймає азимутальне квантове число?
17. Як рухався б електрон, якби азимутальне квантове число  $n_\varphi = 0$ .
18. Яке квантове число відповідає за просторову орієнтацію електронних орбіт?
19. Азимутальне квантове число  $n_\varphi = 2$ . Скільки просторових орієнтацій може приймати електронна орбіта?
20. Азимутальне квантове число  $n_\varphi = 1$ . Які значення приймає квантове число  $m$ .
21. Чому дорівнює власний механічний момент електрона?
22. Записати формулу, що визначає спін електрона.
23. Які значення може приймати магнітне спінове квантове число?
24. Чому дорівнює спінове квантове число для електрона?
25. Як орієнтується спін електрона відносно зовнішнього магнітного поля?
26. Як зв'язані між собою орбітальний та магнітний моменти електрона.
27. Що таке магнетон Бора?
28. Формула для визначення магнетона Бора.
29. Що спільного між магнетоном Бора і постійною Планка.
30. Який фізичний зміст постійної Планка.
31. Яка розмірність постійної Планка?
32. Яка розмірність кванта дії?
33. Чому дорівнює власний магнітний момент електрона?
34. Чому дорівнює гіромагнітне відношення для власних механічних та магнітний моментів електрона?
35. Узагальнена форма запису умов квантування Бора-Зоммерфельда.
36. За що відповідає магнітне квантове число?
37. За що відповідає азимутальне квантове число?
38. Досліди яких вчених підтвердили наявність просторового квантування електронних орбіт?
39. Досліди яких вчених підтвердили наявність спіна?
40. Що розуміють під терміном «спін електрона»?
41. Яку дебройлівську довжину хвилі повинен мати електрон для спостереження дифракції на кристалах?
42. Що продемонстрували досліди Штерна і Герлаха?
43. Що розуміють під поняттям «гіромагнітне відношення»?
44. Узагальнена формула Бальмера для спектру атома водню.
45. Числове значення сталої Рідберга в еВ.

46. Фізичний зміст сталої Рідберга.
47. Що продемонстрували досліди Франка-Герца?
48. Записати енергію атома водню через сталу Рідберга.
49. Як зміниться енергія атома водню при переході з основного в перший збуджений стан?
50. Як зміниться енергія атома водню при переході з першого збудженого стану в основний стан?
51. Як зміниться енергія атома водню при переході зі стану  $n = 2$  в основний стан?
52. Чому дорівнює енергія іонізації атома водню?
53. Яку енергію треба надати електрону в атомі водню, щоб його спектр став неперервним?
54. Яку енергію треба надати електрону в атомі водню, щоб його енергія стала додатньою?
55. Яке головне квантове число відповідає орбіті з борівським радіусом?
56. Якій електронній орбіті відповідає радіус орбіти рівний борівському радіусу?
57. Які переходи формують серію Бальмера?
58. На рівень з яким  $n$  відбуваються переходи в серії Лаймана?
59. Які приблизні розміри атома?
60. Що таке прицільний параметр у формулі Резерфорда?
61. Які приблизні розміри ядра отримують при аналізі формули Резерфорда?
62. Намалювати як виглядає спектр випромінювання абсолютно чорного тіла при двох різних температурах. Вказати, яка з них більша.
63. Намалювати графік функції, що описується формулою Планка.
64. Як залежить від частоти випромінювання інтенсивність випромінювання абсолютно чорного тіла?
65. Яку властивість мікросвіту продемонстрували досліди Франка-Герца?
66. Яку властивість мікросвіту продемонстрували досліди Девісона і Джермера?
67. Який найменший радіус орбіти електрона в атомі водню?
68. Який потенціал збудження атома ртуті?
69. Яку енергію відповідає переходу із основного в перший збуджений стан в атомі ртуті?
70. Чому дорівнює радіус першої стаціонарної орбіти в атомі водню?
71. Яку енергію має основний стан атома водню?
72. Який найменший магнітний момент створює електрон в атомі внаслідок свого руху по коловій орбіті?
73. Як дебройлівська довжина хвилі електрона зв'язана з його імпульсом?
74. З прізвищем якого вченого зв'язана планетарна модель атома.
75. Яку енергію має зв'язку електрона в атомі водню?
76. Вираз для визначення магнетона Бора.
77. Фізичний зміст квадрату хвильової функції електрона.
78. Умова нормування хвильової функції.

79. Записати формулу для розподілу енергії випромінювання абсолютно чорного тіла.
80. Головне квантове число  $n=3$ , яке значення орбітального квантового числа відповідає коловій орбіті?
81. Як залежить енергія атома водню від головного квантового числа?
82. Азимутальне квантове число дорівнює 2. Скільки вироджених енергетичних станів має такий електрон?
83. Головне квантове число  $n=2$ . Яку форму орбіт має електрон?
84. Орбітальний момент електрона дорівнює нулю. На скільки компонент розщепиться пучок атомів у досліді Штерна-Герлаха?
85. Формула для визначення кута розсіювання альфа частинок.
86. Який розмір орбіти електрона для атома водню в основному стані.
87. Який вигляд дифракційних картинок у досліді Томсона?
88. Який вигляд має формула для запису хвильового пакету електрона?
89. Запишіть рівняння де Бройля.
90. Запишіть формулу Бальмера для серії Лаймана.
91. Яке значення головного квантового числа відповідає найменшій енергії атома водню?
92. Яка фізична величина квантується через магнетон Бора?
93. Як залежить від частоти інтенсивність випромінювання абсолютно чорного тіла?
94. Магнітне квантове число дорівнює 2. Яке значення приймає проекція моменту кількості руху електрона?
95. Умови квантування Бора-Зоммерфельда для еліптичних орбіт.
96. Формула Резерфорда.
97. Який ступінь виродження по енергії для електрона з азимутальним квантовим числом 2?
98. Магнітне квантове число - 3. Яке значення проекцій орбітального моменту електрона?
99. Орбітальне квантове число -2. Яке мінімальне значення орбітального моменту електрона?
100. Пучок атомів натрію в експериментах Штерна – Герлаха розщепився на дві смужки. Що можете сказати про орбітальний момент електронів в атомах натрію?
101. Електрон рухається в потенціальному полі з енергією  $(-e^2/r)$ . Запишіть рівняння Шредінгера.
102. Яке мінімальне значення приймає величина  $\Delta x \Delta p$  ?
103. Максимальне значення проекції моменту електрона дорівнює  $3\hbar$ . Яке значення моменту кількості руху?
104. Умова квантування магнітного моменту електрона.
105. Проекція власного моменту електрона приймає два значення. Які значення приймає квантове число для власного моменту?
106. Дифракційна картинка електронів має вигляд окремих симетричних плям. На чому досліджувалась дифракція

	<p>– на кристалах чи полікристалах?</p> <p>107. Як енергія атома водню залежить від азимутального квантового числа?</p> <p>108. Як енергія атома водню залежить від азимутального квантового числа?</p> <p>109. За що відповідає розмір хвильового пакету електрона?</p> <p>110. Азимутальне квантове число <math>n_\phi = 1</math>. Які значення приймає орбітальний момент електрона?</p> <p>111. Які значення приймає магнітне спінове квантове число?</p> <p>112. Чим відрізняються орбіти електрона з <math>n_\phi = 1</math> та <math>n_\phi = 2</math>, якщо <math>n = 2</math>?</p> <p>113. Альфа частинка, пролітаючи біля ядра, зазнала відхилення. Що можете сказати про приблизні значення прицільного параметру?</p> <p>114. Як квантується проекція магнітного моменту електрона?</p> <p>115. Яке мінімальне значення приймає величина <math>\Delta E \Delta t</math> ?</p> <p>116. Електрон з енергією <math>E</math> налітає на потенціальний бар'єр з енергією <math>U_0(x)</math>. Запишіть рівняння Шредінгера в області потенціального бар'єру.</p> <p>117. Орбітальне квантове число дорівнює 2. Які значення приймає проекція моменту кількості руху електрона?</p> <p>118. Дифракційна картинка електронів має вигляд концентричних кіл. На чому досліджувалась дифракція – на кристалах чи полікристалах?</p> <p>119. Електрон на рівні <math>n = 2</math> рухається по коловій орбіті. Яке значення азимутального квантового числа для такого електрона?</p> <p>120. Магнітне спінове число: <math>\frac{1}{2}</math>. Як орієнтований спін електрона відносно виділеного напрямку?</p> <p>121. Узагальнена формула Бальмера для спектру атома водню.</p> <p>122. Електрону в атомі водню надали енергію 14 Ев. Що можна сказати про такий електрон?</p> <p>123. Що визначають в експериментах Франка-Герца – енергію іонізації чи потенціал збудження?</p> <p>124. На скільки зміниться енергія атома водню при його іонізації?</p> <p>125. Якими зіткненнями електронів з атомами ртуті зумовлено зникнення струму в дослідах Франка-Герца?</p> <p>126. Як квантується магнітний момент електрона?</p> <p>127. Яке гіромагнітне відношення для власних механічного і магнітного моментів електрона?</p> <p>128. Рівняння Шредінгера для вільного електрона.</p> <p>129. Рівняння Шредінгера залежне від часу.</p> <p>130. Хвильова функція де Бройля для електрона</p>
<b>Опитування</b>	Анкету-оцінку з метою оцінювання якості курсу буде надано по завершенню курсу.



## Схема курсу «Атомна фізика»

Тиж-день	Тема занять (перелік питань)	Форма діяльності та обсяг годин	Додаткова література / ресурс для виконання завдань (за потреби)	Термін виконання
1	Предмет вивчення атомної фізики.	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 5 год.		1 тиждень
2	Теплове випромінювання і становлення квантової механіки.	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 5 год.		1 тиждень
3	Моделі атома.	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 5 год.		1 тиждень
4	Формула Резерфорда	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 5 год.		1 тиждень
5	Спектральні закономірності в атомі водню.	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 5 год.		1 тиждень
6	Атом водню в теорії Бора.	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 5 год.		1 тиждень
7	Умови квантування електронних орбіт Бора-Зомерфельда	Лекції – 2 год, практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 5 год.		1 тиждень
8	Хвильова механіка (початки квантової механіки).	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 5 год.		1 тиждень
9	Рівняння Шредінгера – основне рівняння квантової механіки.	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 6 год.		1 тиждень
10	Атом водню в квантовій механіці	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 5 год.		1 тиждень
11	Забудова електронних шарів та оболонок атомів.	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 6 год.		1 тиждень
12	Спін-орбітальна взаємодія.	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год.		1 тиждень

		лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 5 год.		
13	Енергетична структура та спектри багатоелектронних атомів.	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 6 год.		1 тиждень
14	Атом в магнітному полі.	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 5 год.		1 тиждень
15	Рентгенівське випромінювання.	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 5 год.		1 тиждень
16	Спектри молекул.	Лекції – 2 год. практ. заняття – 2 год. лабор. заняття – 2 год. самостійна робота – 6 год.		1 тиждень