

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

фізичний
(назва факультету)

Кафедра експериментальної фізики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Заступник декана
з навчальної роботи
Фізичний
факультет
«10» червня 2022 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
(повна назва навчальної дисципліни)
«ПРАКТИКУМ З АТОМНОЇ ФІЗИКИ»

для студентів

галузь знань	<u>10. Природничі науки</u> (шифр і назва)
спеціальність	<u>104. Фізика та астрономія</u> (шифр і назва спеціальності)
освітній рівень	<u>бакалавр</u> (молодший бакалавр, бакалавр, магістр)
освітня програма	<u>Фізичне матеріалознавство / Неметалічне матеріалознавство</u> (назва освітньої програми)
спеціалізація	<u></u> (назва спеціалізації за наявності)
вид дисципліни	<u>обов'язкова</u> <u>ОК 1.29</u>
Форма навчання	<u>денна</u>
Навчальний рік	<u>2024/2025</u>
Семестр	<u>1</u>
Кількість кредитів ECTS	<u>2</u>
Мова викладання, навчання та оцінювання	<u>українська</u>
Форма заключного контролю	<u>залік</u>

Пролонговано: на 20 /20 н.р. () « » 20 р.
(підпис, ПІБ, дата)

на 20 /20 н.р. () « » 20 р.
(підпис, ПІБ, дата)

КИЇВ – 2022

Розробник¹: Дмитрук І.М., професор, докт. фіз.-мат.наук.
(вказати авторів: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)

ЗАТВЕРДЖЕНО


Зав. кафедри експериментальної фізики _____

 (Ігор ДМИТРУК)
(підпис) (прізвище та ініціали)

Протокол № 13 від « 22 » 05 2020 р.

Схвалено науково - методичною комісією факультету/інституту (педагогічною радою коледжу) _____

Протокол від №11 від « 10 » 06 _____ 2022 року

Голова науково-методичної комісії  (Олег ОЛІХ)
(підпис) (прізвище та ініціали)

¹ Розробляється лектором. Робоча програма навчальної дисципліни розглядається на засіданні кафедри (циклової комісії – для коледжів), науково-методичної комісії факультету/інституту (раді навчального закладу - коледжу), підписується завідувачем кафедри (головою циклової комісії), головою науково-методичної комісії факультету/інституту (головою ради) і затверджується заступником декана/директора інституту з навчальної роботи (заступником директора коледжу).

1. **Мета дисципліни** полягає у поглибленні теоретичних знань з курсу «Атомна фізика», одержаних на лекціях: сприянні докладнішому вивченню фізичних понять, явищ та законів; оволодінні студентами практичними навичками користування вимірювальними приладами, отриманні з досліду фізичної інформації, а також оволодінні культурою запису отриманої інформації, правильному представленню отриманих результатів у вигляді графіків, таблиць; математичною обробкою результатів експерименту та оцінки похибок вимірювання; формуванню навичок дослідницької діяльності, здатності абстрактного та критичного мислення. Тим самим *підкреслюється експериментальний характер фізики та науки загалом.*

2. **Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни (за наявності):**

1. *Знати* основні закони атомної фізики, основи теорії похибок та обробки даних.
2. *Вміти* застосовувати попередні знання з представлення експериментальних даних, правил обчислення похибок вимірювань, обчислення похідних, інтегралів, вміти графічно будувати отримані експериментально залежності.
3. *Володіти елементарними навичками* роботи з вимірювальними приладами; пошуку та аналізу табличних даних, роботи з програмним забезпеченням для обробки даних, роботи в групі.

3. **Анотація навчальної дисципліни:**

Навчальна дисципліна «**Практикум з атомної фізики**» є складовою частиною вивчення базової нормативної дисципліни - загального курсу «Фізика атома». Формою викладання дисципліни «**Практикум з атомної фізики**» є лабораторні роботи. Заняття проводяться паралельно з курсом «Фізика атома», який включає в себе лекції та практичні заняття, у відповідності до його програми. Тематика лабораторних робіт дозволяє більш успішно опанувати такі основні розділи курсу Фізика атома:

1. Рух заряджених частинок в електричному і магнітному полях (лабораторна робота №1).
2. Будова електронних оболонок і спектроскопія атомів (лабораторна робота №2,3).
3. Атомні спектри і будова атомів (лабораторна робота №4).
4. Атом у зовнішньому полі (лабораторна робота №5).
5. Будова і спектри молекул (лабораторна робота №6).
6. Випромінювання чорного тіла. Кванти світла (лабораторна робота №7).
7. Експериментальні дослідження структури атомів (лабораторна робота №8).

Оскільки лабораторні роботи представлені в недостатній кількості установок для фронтального виконання за темою, яка викладається в лекційному курсі (що унеможливує об'єднання робіт в модулі за змістом), то для забезпечення одночасного виконання робіт всіма студентами однієї групи лабораторні роботи призначаються викладачем в довільному порядку (без попереднього викладення матеріалу). Тому для ефективного виконання лабораторної роботи студент повинен самостійно ознайомитись з короткими теоретичними відомостями, які подані в описі лабораторної роботи, законспектувати їх. Теоретичні відомості в

описах до лабораторних робіт викладено стисло, тому для глибшого вивчення деяких теоретичних питань потрібно опрацювати рекомендовану літературу.

Для роз'яснення незрозумілих питань перед початком лабораторного заняття викладач може провести коротку **консультацію**.

4. Завдання (навчальні цілі):

- розвиток навичок студентів самостійно працювати та застосовувати теоретичні знання для вирішення практичних задач;
- засвоєння методів і прийомів фізичних вимірювань та оволодіння практичними навичками користування лабораторним устаткуванням, вміння аналізувати отримані результати;
- вміння застосовувати математичний апарат для обробки отриманих результатів експерименту; оволодіння культурою запису та представлення отриманої інформації у вигляді графіків, таблиць;
- набуття та розвиток навичок комунікації, роботи в групі;
- розвиток абстрактного та критичного мислення для подальшого застосування в науковій роботі.

5. Результати навчання за дисципліною:

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання	Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
1	1.1.Основні принципи та закони атомної фізики, їх математичне формулювання та фізичний зміст	Захист лабораторної роботи	-	40%
	1.2.Знати про взаємозв'язок окремих явищ і процесів	Захист лабораторної роботи		
	1.3.Про складності проведення вимірювань, точності отримання результатів та джерела імовірних похибок	Письмове оформлення лабораторної роботи		
	1.4.Загальні правила безпеки при проведенні експериментальних досліджень	Вступна лекція Інструктаж		
2	2.1.Представляти та аналізувати одержані результати	Захист лабораторної роботи		25%
	2.2.Працювати з нескладним експериментальним устаткуванням, оцінювати похибки вимірювання	Проведення експерименту		
	2.3.Обробляти та пояснювати отримані результати	Захист лабораторної роботи		
	2.4.Оцінювати порядки величин, що досліджуються, їх точність та ступінь достовірності, розраховувати похибки	Оформлення лабораторної роботи,		

	вимірювань та формулювати висновки 2.5.Самостійно працювати з навчальною, навчально-методичною та довідковою літературою з молекулярної фізики.	Захист лабораторної роботи		5%
3	3.1.Вміти працювати у групі; 3.2.Вміти вислуховувати співрозмовника та розуміти його точку зору.	Проведення експерименту Захист лабораторної роботи		
4.	4.1.Нести особисту відповідальність за виконання правил безпеки, самостійну роботу з лабораторним устаткуванням 4.2.Розвиток навичок студентів автономно працювати та застосовувати свої теоретичні знання для виконання експериментального завдання	Проведення експерименту Проведення експерименту		

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання (необов'язково для вибіркових дисциплін які не входять до блоків спеціалізації)

Результати навчання дисципліни(код)	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	3.1	3.2	4.1	4.2
Програмні результати навчання (назва)													
ПРН1.Знати, розуміти та вміти застосовувати на базовому рівні основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та квантової оптики, фізики атома та атомного ядра для встановлення, аналізу, тлумачення, пояснення й класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів для розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем з фізики.	+												+
ПРН2.Знати і розуміти фізичні основи фізичних явищ: аналізувати, тлумачити, пояснювати і класифікувати будову Всесвіту (планет, зір, планетних систем, галактик тощо), а також основні фізичні процеси, які відбуваються в них.	+												
ПРН8.Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшуковувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань.								+					+
ПРН9.Мати базові навички проведення теоретичних та/або експериментальних наукових досліджень з окремих спеціальних розділів фізики, що виконуються індивідуально (автономно) та/або у складі наукової групи.			+	+						+		+	+
ПРН14.Знати і розуміти основні вимоги техніки безпеки при проведенні експериментальних досліджень, зокрема правила роботи з певними видами обладнання та речовинами, правила захисту персоналу від дії різноманітних чинників, небезпечних для здоров'я людини.						+						+	

6.2 Організація оцінювання: (обов'язково зазначається порядок організації передбачених робочою навчальною програмою форм оцінювання із зазначенням орієнтовного графіку оцінювання). Оцінювання проводиться впродовж одного семестру, після виконання та захисту лабораторної роботи. Для захисту лабораторної роботи студент має подати письмовий звіт про виконання відповідної лабораторної роботи, в якому крім даних попередньої підготовки мають бути первісні дані експерименту, кінцеві показники експерименту – формула та результат обчислення шуканої величини, похибки, відповідні графіки, висновки відносно методики вимірювань і знайдених закономірностей, а також відповіді на основні питання за темою роботи.

Основні контрольні запитання для захисту лабораторних робіт з атомної фізики

Робота № 1. Визначення питомого заряду електрона методом магнетрона

1. Сили, що діють на заряджену частинку в електричному і магнітному полях.
2. Визначення питомого заряду електрона методом Томсона.
3. Термоелектронна емісія. Формула Річардсона. Будова та принцип дії магнетрона.
4. Що являє собою траєкторія руху електрона в магнетроні за відсутності магнітного поля? Як буде змінюватися траєкторія після увімкнення магнітного поля, направлено вздовж осі магнетрона, та поступового збільшення його напруженості?
5. Як за допомогою магнетрона можна визначити питомий заряд електрона? Як визначається величина критичної напруженості магнітного поля $H_{кр}$?
6. Запропонуйте метод, за допомогою якого можна було б визначити питомий заряд протона ($m_p = 1836 m_e$).
7. Чому анодний струм I_a зменшується в околі $H_{кр}$ поступово, а не стрибкоподібно?
8. Вивести формулу для визначення e/m за допомогою циліндричного магнетрона.

Робота № 2. Спектр випромінювання атомарного водню

1. Чому спектр випромінювання атомарного водню являє собою сукупність дискретних спектральних ліній?
2. Сформулюйте постулати Бора. На яких експериментальних фактах вони ґрунтуються?
3. Теорія Бора для атома водню та воднеподібних іонів. Квантування моменту імпульсу електрона. Борівський радіус. Енергія атома водню та воднеподібного іона. Фізичний зміст головного квантового числа n .
4. Рівняння Шредінгера для атома водню. Хвильові функції електрона в різних квантових станах. Фізичний зміст квантових чисел n , l та m . Розподіл густини імовірності перебування електрона в даній точці простору в атомі водню.
5. Фізичний зміст сталої Рідберга R_y та сталої Рідберга R .
6. Розрахувати максимальну та мінімальну довжини хвиль спектральних ліній, що відповідають серіям Лаймана, Бальмера та Пашена. Яким ділянкам спектра (видимій, інфрачервоній, ультрафіолетовій) вони належать?
7. Записати формули для довжин хвиль ліній серії Бальмера, які досліджуються в даній роботі.
8. Обернена лінійна дисперсія спектрального приладу. Як її можна визначити в даній роботі?

Робота № 3. Вивчення ізотопічного зсуву в спектрі атомарного водню

1. Залежність енергії атома від маси ядра. Фізичний зміст сталих Рідберга R і R_∞ .
2. З яких елементарних частинок складаються ядра атомів протію, дейтерію і трітію? Як співвідносяться маси ядер таких атомів? Як співвідносяться сталі Рідберга для таких атомів?

3. У якому порядку за шкалою довжин хвиль λ будуть розташовуватися лінії випромінювання протію, дейтерію і трітію?
4. Що називається ізотопічним зсувом? Для якої серії він буде максимальним? Для якої лінії цієї серії?
5. У скільки разів будуть відрізнятися від довжини хвилі лінії H_β для протію відповідні довжини хвиль випромінювання атома позитронію ($M_\alpha = m_e$) та мезоатома ($M_\alpha = m_p, m_\mu = 207 m_e$). З яких елементарних частинок складаються такі атоми?
6. Фотохімічні реакції. Фотографічний процес. Утворення негативного зображення на фотоплівці.
7. За допомогою одержаної фотоплівки оцінити обернену лінійну дисперсію спектрографа ДФС-13. Яка дифракційна ґратка, 600 чи 1200 штрихів на міліметр, використовується в даній роботі?

Робота № 4. Структура мультиплетів в атомних спектрах. вивчення енергетичної будови найближчих збуджених станів атома ртуті

1. Спін-орбітальна взаємодія. Енергія атома з урахуванням спін-орбітальної взаємодії.
2. Векторна модель атома. Правила визначення орбітального, спінового та повного механічних моментів багатоелектронного атома.
3. Принцип Паулі. Орбітальний, спіновий і повний механічні моменти повністю заповнених електронних підоболонки (s, p, d і т. д.).
4. Правило Маделунга для послідовності заповнення електронних підоболонки атомів.
5. Правила Хунда для визначення терма з найменшою енергією.
6. Правило інтервалів Ланде для визначення відстані між компонентами мультиплету.
7. Правила відбору для дипольних переходів у випадку зв'язку Рассела-Саундерса.
8. Виписати усі терми, що відповідають атому ртуті, валентні електрони якого можуть перебувати в конфігураціях $6s^2, 6s6p$ і $6s7s$. Користуючись правилами Маделунга, Хунда і Ланде, визначити відносне розташування термів за шкалою енергій.
9. Про що свідчить порушення інтеркомбінаційної заборони (правила відбору $\Delta S=0$) для переходу $6s7s\ ^1S_0 \rightarrow 6s6p\ ^3P_1$ в атомі ртуті?

Робота № 5. Розщеплення спектральних ліній у зовнішньому магнітному полі (ефект Зеемана)

1. Чим зумовлене розщеплення спектральних ліній випромінювання в магнітному полі?
2. Квантування орбітального, спінового та повного моментів імпульсу багатоелектронного атома. Фізичний зміст квантового числа m_L .
3. Повний магнітний момент атома, його зв'язок з повним механічним моментом. Фізичний зміст магнетона Бора μ_B і множника Ланде g .
4. За яких умов спостерігається простий (нормальний) ефект Зеемана?
5. За яких умов спостерігається складний (аномальний) ефект Зеемана?
6. Який ефект Зеемана, простий чи складний, буде спостерігатися для переходів між рівнями термів: а) $^1D_2 \rightarrow ^1P_1$, б) $^2P_{3/2} \rightarrow ^2S_{1/2}$? Визначте величини розщеплення між рівнями вказаних термів. Нарисуйте можливі переходи між рівнями.
7. За яких умов складний ефект Зеемана переходить в ефект Пашена-Бака?
8. Поляризація спектральних компонент нормального зееманівського розщеплення при спостереженні перпендикулярно і паралельно напрямку магнітного поля.
9. Як можна визначити, який ефект Зеемана, простий чи складний, спостерігається для даної спектральної лінії випромінювання неону?
10. Для чого у роботі використовується інтерферометр Фабрі-Перо?
11. Записати терми, які відповідають основному і першому збудженому станам атома неону.
12. Нарисувати енергетичну діаграму з термами, між якими відбувається перехід, що відповідає жовтій лінії неону з довжиною хвилі 5852 \AA . Показати розщеплення цих термів і

переходи, що спостерігатимуться в магнітному полі.

Робота № 6. Визначення енергії дисоціації та коливальних параметрів молекули йоду

1. Природа молекулярного зв'язку. Іонний і ковалентний зв'язки.
2. Складові повної енергії молекули.
3. Спектр енергій гармонічного осцилятора. Коливальне квантове число, його фізичний зміст. Нульова енергія осцилятора.
4. Анггармонічний осцилятор. Потенціал Морзе. Енергетичний спектр такого осцилятора. Сталі анггармонічності.
5. Поздовжні та поперечні серії Деландра. Яка серія спостерігається в даній роботі? Нарисувати схему переходів для цієї серії.
6. Енергія дисоціації двохатомної молекули. Як її можна визначити експериментально?
7. За одержаним у роботі значенням $\tilde{\nu}_{\text{кол}}$ розрахувати частоту коливань молекули I_2 (в герцах) та енергетичну відстань між сусідніми коливальними рівнями молекули (в електрон-вольтах). Порівняти останню з енергією теплового руху молекул при кімнатній температурі ($T = 290 \text{ K}$).
8. Правила відбору для чисто коливальних та електронно-коливальних переходів. Чи будуть спостерігатися чисто коливальні переходи в молекулах HCl , H_2 , HD (D – дейтерій)? Чому?
9. Принцип Франка-Кондона для інтенсивностей спектральних ліній, що відповідають електронно-коливальним переходам.
10. У чому полягає відмінність спектра поглинання речовини від її спектра випромінювання? Які умови потрібно створити для спостереження таких спектрів?
11. Спектр випромінювання Сонця. Фраунгоферові лінії.

Робота № 7. Залежність потужності теплового випромінювання від температури

1. Три види процесів теплопередачі в природі. Теплове випромінювання, його властивості.
2. Абсолютно чорне тіло. Приклади тіл, близьких за своїми властивостями до АЧТ. Моделі АЧТ.
3. Енергетична світність тіла. Закон Стефана-Больцмана для АЧТ.
4. Випромінювальна здатність тіла. Спектр випромінювання. Зв'язок між різними видами подання спектрів випромінювання ($r_\lambda(\lambda)$, $r_\nu(\nu)$ та $r_\omega(\omega)$).
5. Залежність спектра випромінювання АЧТ від його температури. Закон зміщення Віна.
6. Закон Кірхгофа для непрозорих тіл.
7. Формула Планка для спектральної густини енергії рівноважного електромагнітного випромінювання. Зв'язок спектральної густини енергії випромінювання з випромінювальною здатністю тіла, що перебуває у рівновазі з випромінюванням.
8. Поглинальна здатність тіла, її залежність від температури тіла та частоти випромінювання. Теплове випромінювання нечорних тіл. Залежність потужності теплового випромінювання нечорних тіл від температури.
9. Закон Фур'є для теплопровідності. Закон Ньютона для тепловіддачі.
10. Що являє собою термостовпчик? Чому термо-ЕРС термостовпчика прямо пропорційна потоку випромінювання, що на нього падає?

Робота № 8. Дослід Франка-Герца.

1. Що собою являє *вакуумна* лампа-тріод? Яку вольт-амперну характеристику вона має?
2. Будова та принцип дії установки для визначення першого потенціалу збудження атома.
3. Для атомів яких хімічних елементів можна визначати перший потенціал збудження методом Франка і Герца?

4. Яким чином у роботі визначається перший потенціал збудження атома інертного газу? Чому для його визначення не можна використовувати положення першого максимуму на вольт-амперній характеристиці тріода?
5. Записати електронні конфігурації основного стану атомів усіх інертних газів. Записати терми, що відповідають основному та чотирьом найнижчим збудженим станам атомів інертних газів.
6. Користуючись законами збереження енергії та імпульсу, розрахуйте, яку частину своєї кінетичної енергії електрон передає нерухомому атому при абсолютно непружному зіткненні.
7. Чому в цій роботі на вольт-амперній характеристиці тріода після проходження максимуму струму спостерігається його різкий спад?

7.3 Шкала відповідності оцінок

Відмінно / Excellent	90-100
Добре / Good	75-89
Задовільно / Satisfactory	60-74
Незадовільно / Fail	0-59
Зараховано / Passed	60-100
Не зараховано / Fail	0-59

7. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лабораторних занять.

В « Практикумі з Атомної фізики» в наявності 8 робіт (12 установок):

- Лабораторна робота № 1. **Визначення питомого заряду електрона методом магнетрона.** (1 установка)
- Лабораторна робота № 2. **Спектр випромінювання атомарного водню** (1 установка).
- Лабораторна робота № 3. **Вивчення ізотопічного зсуву в спектрі атомарного водню** (1 установка).
- Лабораторна робота № 4. **Структура мультиплетів в атомних спектрах. вивчення енергетичної будови найближчих збуджених станів атома ртуті** (1 установка).
- Лабораторна робота № 5. **Розщеплення спектральних ліній у зовнішньому магнітному полі (ефект Зеємана)** (2 установки).
- Лабораторна робота № 6. **Визначення енергії дисоціації та коливальних параметрів молекули йоду** (2 установка).
- Лабораторна робота № 7. **Залежність потужності теплового випромінювання від температури.** (2 установки).
- Лабораторна робота № 8. **Дослід Франка-Герца** (2 установки).

№ заняття	Порядковий номер лабораторної роботи	Кількість годин	
		Лабораторні роботи	Самостійна робота
1.	Вступне заняття. Проведення інструктажу з техніки безпеки (про це робиться відповідний запис у лабораторному журналі). Правила внутрішнього розпорядку, встановленого в лабораторії «Практикум з атомної фізики». Ознайомлення з розміщенням лабораторних робіт та робочих місць. Вимоги до виконання розкладу; виконання, оформлення та захисту лабораторних робіт.	4	
1	Лабораторна робота № 1.	5	6
2	Лабораторна робота № 2.	5	6
3	Лабораторна робота № 3.	5	6
4	Лабораторна робота № 4.	5	6
5	Лабораторна робота № 5.	5	6
6	Лабораторна робота № 6.	5	6
7	Лабораторна робота № 7.	5	5
8	Лабораторна робота № 8.	5	5
	ВСЬОГО	44	46

Загальний обсяг **90 год.**, в тому числі:

Лабораторні роботи - **44 год.**

Консультації - **0 год.**

Самостійна робота - **46 год**

8. Рекомендовані джерела:

Основна

1. М.У. Білий, Б.А. Охріменко. Атомна фізика. "Знання", Київ, 2009.
2. А.Н. Матвеев. Атомная физика. Изд. „Высшая школа", Москва, 1989.
3. М.У. Бельй, Б.А. Охрименко. Атомная физика Изд. „Высшая школа", Киев, 1984.
4. М.А.Ельяшевич. Атомная и молекулярная спектроскопия. Гос. Изд. Физ.-мат. Лит., Москва, 1962.
5. М.У.Білий. Фізика атома. "Вища школа", Київ, 1973.
6. Э.В.Шпольский. Атомная физика. , т. 1. М. Физматгиз", Москва, 1963.
7. Э.В.Шпольский. Атомная физика. , т. 2. М. Изд. „Физматгиз", Москва, 1963.
8. Зоммерфельд А. Строение атома и спектры. М., Гостехиздат, 1956.

Додаткова

- 1 І.Болеста. Фізика твердого тіла, Вид. Центр ЛНУ, Львів, 2003.

Додаткові ресурси(за наявності):

- 1.Робоча програма з дисципліни «Практикум з атомної фізики»

http://exp.phys.univ.kiev.ua/ua/Curricula/Semester_1/3Course/index.html

