

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
ФІЗИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
Кафедра теоретичної фізики

**Плекан Р.М.**

## **АТОМНА І ЯДЕРНА ФІЗИКА**

**Методичні рекомендації з курсу «Загальна фізика»  
(для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»)**

Ужгород  
Видавництво УжНУ «Говерла»  
2019

**Плекан Р.М. Атомна і ядерна фізика:** методичні рекомендації з курсу «Загальна фізика» (для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»). – Ужгород: Видавництво УжНУ «Говерла», 2019. – 42 с.

У методичних рекомендаціях згідно кредитно-модульної організації навчального процесу викладено розгорнуту деталізовану програму з дисципліни «Загальна фізика». Ч.4 «Атомна і ядерна фізика». Висвітлюється тематичний план лекційного курсу, зміст програми за модулями. Наведені перелік питань для самостійного опрацювання, теми індивідуальних завдань, перелік питань, що виносяться на підсумковий контроль засвоєння матеріалу, а також критерії оцінювання знань студентів. У методичних рекомендаціях наведено також перелік практичних і лабораторних занять та типові практичні завдання з дисципліни.

**Розробники:**

Плекан Руслан Мар'янович, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри теоретичної фізики фізичного факультету ДВНЗ «УжНУ».

**Рецензент:**

кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник  
відділу фотоядерних процесів ІЕФ НАН України  
Парлаг О.О.

**Відповідальний за випуск:**

доктор фізико-математичних наук, професор,  
декан фізичного факультету  
Лазур В.Ю.

*Рекомендовано до друку методичною комісією фізичного факультету  
(протокол № 7 від 19 березня 2019 року)*

© Плекан Р.М., 2019 р.

© ДВНЗ «Ужгородський національний університет», 2019 р.

## ЗМІСТ

Передмова.....	4
1. Опис навчальної дисципліни.....	5
2. Мета і завдання дисципліни.....	6
3. Зміст навчальної дисципліни.....	8
4. Структура навчальної дисципліни.....	11
4.1. Теми практичних занять.....	12
4.2. Теми лабораторних занять.....	13
4.3. Самостійна робота.....	14
4.4. Індивідуальні завдання.....	14
5. Засоби діагностики та критерії оцінювання навчання.....	15
6. Тестові завдання на знання шкільного матеріалу.....	20
7. Типові завдання, що виносяться на модульний контроль.....	22
8. Перелік питань, що виносяться на підсумковий контроль.....	34
Рекомендовані джерела інформації.....	38

## Передмова

Методичні рекомендації призначені для студентів фізичного факультету ДВНЗ «УжНУ», які проходять навчання за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» та мають сприяти покращенню організації навчального процесу, забезпеченню умов оптимального оволодіння навчальною дисципліною «Загальна фізика». Ч.4 «Атомна і ядерна фізика», фаховій підготовці студентів, організації самостійної роботи та якісному засвоєнню матеріалу.

У методичних рекомендаціях викладено розгорнуту деталізовану програму з дисципліни «Загальна фізика». Ч.4 «Атомна і ядерна фізика» згідно кредитно-модульної організації навчального процесу. Висвітлюється тематичний план лекційного курсу, зміст програми за модулями. Наведені перелік питань для самостійного опрацювання, теми індивідуальних завдань, перелік питань, що виносяться на підсумковий контроль засвоєння матеріалу, а також критерії оцінювання знань студентів. У методичних рекомендаціях наведено також перелік практичних і лабораторних занять та типові практичні завдання з дисципліни.

## 1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показників	Галузь знань, спеціальність, предметна спеціальність (спеціалізація), освітня програма, освітній рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
Кількість кредитів – 4	Освітній рівень: <b>перший (бакалаврський)</b>	Денна форма навчання	Заочна форма навчання
Кількість модулів – 2		Статус дисципліни	
Змістових модулів – 4	Галузь знань: <b>17 Електроніка та телекомунікації</b>	<b>обов'язкова</b>	
Загальна кількість годин – 120		Рік підготовки:	
Тижневих годин: для денної форми навчання:  аудиторних – 4  самостійної роботи – 4		2-й	
		Семестр:	
	4-й		
	Лекції:		
	Спеціальність: <b>172 Телекомунікації та радіотехніка</b>	30 год.	
		Практичні:	
		14 год.	
		Лабораторні:	
	Освітня програма: <b>Телекомунікації та радіотехніка</b>	16 год.	
		Самостійна робота:	
		60 год.	
		Вид контролю:	
		<b>екзамен</b>	
		Форма контролю:	
		<b>усна (співбесіда)</b>	

## 2. Мета і завдання дисципліни

Ця програма є планом і одночасно методичною розробкою для проведення навчальної діяльності з дисципліни «Загальна фізика». Ч.4 «Атомна і ядерна фізика», яка є одним із важливих розділів загальнонаукової дисципліни «Загальна фізика» і входить як нормативна до циклу дисциплін загальної підготовки. До складу дисципліни входять такі розділи фізичної науки: атомна фізика, ядерна фізика (фізика ядра та елементарних частинок).

**Метою** вивчення навчальної дисципліни «Загальна фізика». Ч.4 «Атомна і ядерна фізика» є вивчення фізичних властивостей мікросвіту і квантових явищ на атомно-молекулярному рівні, рівні атомного ядра, а також структури матерії на рівні фізики елементарних частинок і при високих енергіях. **Завдання** дисципліни: формування приподничо-наукового світогляду майбутнього фахівця; засвоєння базових понять, основних законів і концепцій фізичної науки, викладення експериментальних основ квантової фізики і розгляд явищ, обумовлених, в основному, природою електромагнітного випромінювання, атомів і молекул, атомних ядер і частинок. Студент повинен познайомитися з основними поняттями квантової (хвильової) механіки і особливостями квантово-механічного підходу до вивчення досліджуваних явищ на рівні мікросвіту. При цьому, як правило, необхідно обмежитися якісним підходом, звертаючись до строгого розв'язку хвильових рівнянь тільки в простих випадках.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

**знати:** основні поняття та закони основні закони теплового випромінювання тіл; сучасні відомості про атомну будову речовини, основні закони, ідеї і принципи атомної фізики, їх становлення і розвиток в історичній послідовності, їх математичний опис на основі квантової механіки, методи спостереження атомних явищ, їх експериментальне дослідження і практичне використання; основні фундаментальні уявлення про характеристики і властивості стабільних і радіоактивних ядер, експериментальні методи досліджень ядер та ядерних сил,

моделі атомних ядер, природні та штучні перетворення ядер, використання ядерних реакцій у енергетиці, космічне випромінювання та характеристики елементарних частинок тощо;

**вміти:** з матеріалістичних позицій осмислювати і інтерпретувати основні положення фізики мікросвіту, трактувати основні положення квантової механіки, фізичні механізми, що лежать в основі мікрооб'єктів, кількісно формулювати і розв'язувати практичні і теоретичні задачі в об'ємі курсу, оцінювати порядки фізичних величин, використовувати одержані знання в різних областях фізичної науки і техніки, застосовувати навички експериментальної роботи з фізичними приладами дослідження характеристик речовини на атомно-молекулярному рівні, для вимірів радіоактивності, дослідження ядерних реакцій та космічного випромінювання, аналізувати основні види, властивості та дози радіоактивного випромінювання.

Відповідно до освітньої програми, вивчення даної дисципліни сприяє формуванню у здобувачів вищої освіти таких **компетентностей**:

- здатності до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК-1);
- здатності використовувати базові методи, способи та засоби отримання, передавання, обробки та зберігання інформації (ФК-3).

Основним методом дослідження у фізиці є дослід, тобто спостереження досліджуваного явища в контрольованих умовах, які дозволяють спостерігати за перебігом явища та відтворювати його кожного разу при повторенні цих умов. Тому лекційний курс супроводжується лабораторними заняттями. Лабораторні роботи тематично присвячені вузловим питанням лекційного курсу. Лабораторний практикум дає студентам додаткові практичні навички, дає можливість пізнати конкретні прояви фізичних законів через вивчення принципів дії фізичних демонстраційних та вимірювальних приладів.

Передумовами вивчення навчальної дисципліни «Загальна фізика», Ч.4 «Атомна і ядерна фізика» є опанування таких освітніх компонент (навчальних дисциплін) освітньої програми:

ОК 1.1.6 Загальна фізика (Ч. 1-3), ОК 1.1.7 Вища математика.

Вивчення навчальної дисципліни передбачає формування та розвиток у здобувачів вищої освіти **програмних результатів навчання** відповідно до стандарту вищої освіти зі спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка» та освітньої програми «Телекомунікації та радіотехніка»:

- застосування фундаментальних і прикладних наук для аналізу та розробки процесів, що відбуваються в телекомунікаційних та радіотехнічних системах (ПРН-13).

### **3. Зміст навчальної дисципліни**

Організація навчального процесу здійснюється за кредитно-модульно-рейтинговою системою відповідно до вимог Болонської декларації. Програму дисципліни «Загальна фізика». Ч.4 «Атомна і ядерна фізика» поділено на 2 модулі, що містять 4 змістові модулі:

#### **Модуль 1. Атомна фізика**

**Змістовий модуль 1. Вступ у дисципліну. Властивості мікрочастинок. Моделі атома**

**Тема 1. Вступ. Загальні поняття про навчальну дисципліну (курс).** Предмет і завдання курсу, його місце серед інших фізичних наук. Короткий історичний нарис розвитку сучасних уявлень про будову матерії і речовини. Роль дисципліни в прискоренні науково-технічного прогресу.

**Тема 2. Необхідність введення квантових представлень про будову речовини.** Проблема рівноважного випромінювання. Основи квантової теорії. Світлові кванти. Фотоефект. Ефект Комптона. Проходження заряджених частинок через речовину. Оптико-механічна аналогія.

**Тема 3. Корпускулярні і хвильові властивості частинок.** Гіпотеза де Бройля і її експериментальне підтвердження. Рівняння монохроматичної лінії де Бройля. Властивості хвиль де Бройля. Співвідношення невизначеностей Гейзенберга, їх тлумачення і використання.

**Тема 4. Моделі атома: від Томсона до Бора.** Модель Томсона. Досліди Резерфорда. Вивід формули Резерфорда для розсіювання  $\alpha$ -частинок. Наслідки із дослідів Резерфорда. Постулати Бора. Теорія Бора для атома водню, кругові орбіти.



Атом водню по Бору-Зоммерфельду. Просторове квантування орбіт. Труднощі теорії Бора. Досліди Франка Герца. Доказ існування дискретних енергетичних рівнів атомів.

## **Змістовий модуль 2. Начала квантової механіки. Властивості і характеристики атомів**

**Тема 5. Основи квантової механіки. Квантова модель атома.** Рівняння Шредінгера і фізичний зміст його розв'язку. Власні функції і власні значення. Розв'язок рівняння Шредінгера для потенціальної ями, потенціального бар'єру, гармонічного осцилятора. Атом водню. Фізичний зміст квантових чисел. Атом гелію. Принцип Паулі. Опис багато електронних атомів.

**Тема 6. Векторна модель атома і систематика атомних станів.** Загальні принципи зв'язку Рассела-Саундерса і  $j-j$ -зв'язки. Приклади систематики станів по вказаних типах зв'язку. Заповнення електронних оболонок атомів. Фізична основа періодичної системи Д.І Менделєєва і її методичне значення. Будова і спектри молекул. Основи фізики твердого тіла.

**Тема 7. Атом у зовнішньому електромагнітному полі.** Гіромагнітне відношення для орбітальних моментів. Магнетон Бора. Аномальне гіромагнітне відношення для спіну. Розрахунок фактору Ланде Енергія атома в магнітному полі. Нормальний і аномальний ефект Зеємана. Ефект Пашена-Бака. Атом в зовнішньому електричному полі. Ефект Штарка. Лінійний і квадратичний Штарк-ефект.

## **Модуль 2. Ядерна фізика**

### **Змістовий модуль 3. Будова і склад ядра. Радіоактивні випромінювання**

**Тема 8. Атомне ядро. Склад ядра.** Заряд і маса атомних ядер. Спін та магнітний момент ядра. Енергія зв'язку ядра. Залежність питомої енергії зв'язку ядра від масового числа. Дефект маси ядра. Ядерні сили. Енергія синтезу.

**Тема 9. Квантово-механічний опис ядерних станів.** Типи фундаментальних взаємодій і ядерні сили. Основні рівняння та характеристики станів. Поняття парності хвильової функції. Бозони та ферміони. Принцип Паулі. Обмінний характер взаємодій. Носії взаємодії. Кварк-глюонна структура адронів. Основні

властивості ядерних сил: інтенсивність, насичення, зарядова незалежність, обмінний характер.

**Тема 10. Моделі атомних ядер.** Фізичне обґрунтування оболонкової структури ядра. Потенціал усередненого ядерного поля. Сильна спін-орбітальна взаємодія. Одночастинкові стани в усередненому ядерному потенціалі. Пояснення спінів і парностей станів ядер в моделі оболонок. Поняття про багаточастинкову модель оболонок. Колективні властивості ядер. Обертальні і коливальні стани ядер. Деформовані ядра.

**Тема 11. Радіоактивність.** Природна і штучна радіоактивність. Закон радіоактивного розпаду. Альфа- і бета-розпади. Гамма-промені. Радіоізотопний аналіз. Дія іонізуючого випромінювання на біологічні об'єкти.

#### **Змістовий модуль 4. Експериментальні методи ядерної фізики.**

##### **Властивості елементарних частинок**

**Тема 12. Взаємодія ядерного випромінювання з речовиною.** Втрати енергії на іонізацію і збудження атомів. Формула Бора. Пробіги заряджених частинок. Випромінювання Вавилова-Черенкова. Взаємодія нейтронів з речовиною. Проходження гамма-випромінювання через речовину.

**Тема 13. Детектори і прискорювачі.** Сучасні методи реєстрації ядерного випромінювання. Типи детекторів і лічильників. Фізичні принципи роботи циклічних прискорювачів, бетатрон, циклотрон мікротрон. Принцип автофазування та його використання для прискорення релятивістських частинок (протонів, електронів). Сучасні методи одержання пучків високих енергій. Зустрічні пучки.

**Тема 14. Ядерні реакції.** Перерізи реакцій. Канали ядерних реакцій. Закони збереження. Модель складеного ядра. Резонансні ядерні реакції. Формула Брейта-Вігнера. Прямі ядерні реакції. Трансуранові елементи. Поділ ядра. Реакція синтезу.

**Тема 15. Властивості елементарних частинок.** Основи релятивістської квантової механіки як теорії елементарних частинок. Класифікація елементарних частинок. Лептони, адрони, калібровні бозони. Частинки, античастинки. Закони збереження. Механізми взаємодії у світі частинок. Діаграми Фейнмана. Класифікація взаємодій. Космічне випромінювання.

## 4. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин					
	Форма навчання (денна, заочна)					
	Усього	у тому числі				
лекції		практичні	лабораторні	індивідуальна робота	самостійна робота	
<b>Модуль 1. Атомна фізика</b>						
<b>Змістовий модуль 1. Вступ у дисципліну. Властивості мікрочастинок. Моделі атома</b>						
Тема 1. Вступ. Загальні поняття про навчальну дисципліну (курс).	8	2		2		4
Тема 2. Необхідність введення квантових представлень про будову речовини.	8	2	2			4
Тема 3. Корпускулярні і хвильові властивості частинок.	8	2		2		4
Тема 4. Моделі атома: від Томсона до Бора.	8	2	2			4
Разом за змістовий модуль 1	<b>32</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>4</b>		<b>16</b>
<b>Змістовий модуль 2. Начала квантової механіки. Властивості і характеристики атомів</b>						
Тема 5. Основи квантової механіки. Квантова модель атома.	8	2		2		4
Тема 6. Векторна модель атома і систематика атомних станів.	8	2	2			4
Тема 7. Атом у зовнішньому електромагнітному полі.	10	2	2	2		4
Разом за змістовий модуль 2	<b>26</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>4</b>		<b>12</b>
Разом за 1-й модуль	<b>58</b>	<b>14</b>	<b>8</b>	<b>8</b>		<b>28</b>
<b>Модуль 2. Ядерна фізика</b>						
<b>Змістовий модуль 3. Будова і склад ядра. Радіоактивні випромінювання</b>						
Тема 8. Атомне ядро. Склад ядра.	8	2	2			4
Тема 9. Квантово-механічний опис ядерних станів.	8	2		2		4
Тема 10. Моделі атомних ядер.	8	2	2			4
Тема 11. Радіоактивність.	8	2		2		4
Разом за змістовий модуль 3	<b>32</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>4</b>		<b>16</b>
<b>Змістовий модуль 4. Експериментальні методи ядерної фізики. Властивості елементарних частинок</b>						
Тема 12. Взаємодія ядерного випромінювання з речовиною.	8	2	2			4
Тема 13. Детектори і прискорювачі.	8	2		2		4
Тема 14. Ядерні реакції.	6	2				4
Тема 15. Властивості елементарних частинок.	8	2		2		4
Разом за змістовий модуль 4	<b>30</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>4</b>		<b>16</b>
Разом за 2-й модуль	<b>62</b>	<b>16</b>	<b>6</b>	<b>8</b>		<b>32</b>
<b>РАЗОМ</b>	<b>120</b>	<b>30</b>	<b>14</b>	<b>16</b>		<b>60</b>

#### 4.1. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна	заочна
1	Проблема рівноважного випромінювання. Закони випромінювання Релля-Джинса, Віна, Планка, Стефана-Больцмана.	2	
2	Моделі атомів. Модель Томсона. Досліди Резерфорда. Постулати Бора. Теорія Бора для атома водню.	2	
3	Корпускулярно-хвильовий дуалізм мікрочастинок. Гіпотеза де Бройля. Співвідношення невизначеностей Гейзенберга.	2	
4	Рівняння Шредінгера і його використання в задачах з атомної фізики. Систематика атомних станів. Атоми з одним і двома валентними електронами. Атом у зовнішніх полях.	2	
5	Характеристики атомних ядер: Дефект маси ядра. Енергія зв'язку ядра. Формула Вайцеккера.	2	
6	Радіоактивність. Закон радіоактивного розпаду. Типи радіоактивного розпаду. Альфа- і бета-розпади. Гамма-промені.	2	
7	Ядерні реакції. Типи ядерних реакцій. Перерізи реакцій. Закони збереження.	2	
<b>Разом</b>		<b>14</b>	

## 4.2. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна	заочна
	Інструктаж з техніки безпеки, протипожежної безпеки і промсанітарії. Правила роботи з джерелами високої напруги та радіоактивними речовинами.		
1	Визначення питомого заряду електрона методом фокусування повздовжнім магнітним полем.	2	
2	Визначення відношення $m/e$ для іонів мас-спектрометричним методом.	2	
3	Вивчення спектра атома водню і визначення постійної Рідберга.	2	
4	Вивчення серійних закономірностей в спектрі випромінювання лужного металу.	2	
5	Статистика реєстрації ядерних випромінювань.	2	
6	Дослідження альфа-випромінювання.	2	
7	Визначення максимальної енергії бета-частинок.	2	
8	Визначення коефіцієнту послаблення та енергії гамма-випромінювання.	2	
<b>Разом</b>		<b>16</b>	

### 4.3. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми	Кількість годин	
		денна	заочна
1	Підготовка до тестових завдань, самостійних і контрольних робіт.	30	
2	Підготовка до лабораторних робіт. Оформлення звітів про виконані роботи.	30	
<b>Разом</b>		<b>60</b>	

### 4.4. Індивідуальні завдання

1. Властивості атомних ядер.
2. Радіоактивність.
3. Нуклон-нуклонна взаємодія і властивості ядерних сил.
4. Моделі атомних ядер.
5. Ядерні реакції.
6. Взаємодія ядерного випромінювання з речовиною.
7. Експерименти у фізиці високих енергій.
8. Електромагнітні взаємодії.
9. Сильні взаємодії.
10. Слабкі взаємодії.
11. Дискретні симетрії.
12. Об'єднання взаємодій.
13. Сучасні астрофізичні уявлення.
14. Проблема захоронення радіоактивних відходів і охорона навколишнього середовища.
15. Адронний колайдер.
16. Сучасні проблеми атомної енергетики: Україна і світ.
17. Проблема термоядерного синтезу.
18. Проблема побудови єдиної теорії фундаментальних взаємодій.

## 5. Засоби діагностики та критерії оцінювання навчання

Видами навчальних занять згідно з навчальним планом є: а) лекції, б) практичні заняття, в) лабораторні роботи, г) самостійна робота студентів. Засобами оцінювання та методами демонстрування результатів навчання з навчальної дисципліни є:

поточний контроль успішності, модульний контроль, підсумковий контроль.

1. Поточний контроль успішності – вибіркове усне опитування перед початком занять, фронтальне усне та/або письмове опитування за основними питаннями теми заняття, експрес-опитування, тестування, перевірка якості виконання завдань для самостійної роботи, зокрема за конспектами матеріалів, перевірка домашніх завдань.
2. Модульний контроль – оцінювання виконання практичних завдань на практичних заняттях, захист протоколів виконаних лабораторних робіт, письмове тестування при тематичному оцінюванні, оцінювання якості та повноти виконання завдань модульної контрольної роботи.
3. Підсумковий контроль –екзамен: екзаменаційні білети, виконання тестових і практичних завдань. До екзамену допускаються студенти, які відпрацювали пропущені заняття і виконали модульні контрольні роботи.

**Розподіл балів, які отримують здобувачі за поточний та модульний контроль:**

### модуль 1

Поточне оцінювання та самостійна робота							Модульна контрольна робота	Сума
Змістовий модуль 1				Змістовий модуль 2			40	100
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7		
9	9	9	9	8	8	8		

**модуль 2**

Поточне оцінювання та самостійна робота								Модульна контрольна робота	Сума
Змістовий модуль 3				Змістовий модуль 4				40	100
T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15		
8	8	8	8	7	7	7	7		

*Примітка:* T1, T2, ... – теми.

**Оцінювання окремих видів навчальної роботи**

Вид діяльності здобувача вищої освіти	Модуль 1		Модуль 2	
	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)	Кількість	Максимальна кількість балів (сумарна)
Практичні заняття	4	20	3	20
Лабораторні заняття	4	30	4	30
Письмове тестування при тематичному оцінюванні	1	10	1	10
Модульна контрольна робота	1	40	1	40
<b>Разом</b>	<b>10</b>	<b>100</b>	<b>9</b>	<b>100</b>



## Критерії оцінювання модульної контрольної роботи

При оцінюванні знань враховується в першу чергу повнота, правильність і вичерпність відповідей на поставлені в модульних контрольних роботах запитання. Сумарна оцінка за модуль виставляється за 100-бальною шкалою та національною 5-бальною шкалою. Відомість результатів оформлюється за системою ECTS. Окрема модульна контрольна робота оцінується максимум у 40 балів.

Оцінка «відмінно» виставляється, якщо під час проведення контролю було виявлено:

1. Наявність у здобувача всебічних, повних, глибоких інтегрованих знань матеріалу, вміння вільно виконувати завдання запропонованого варіанту.

2. Вміння здобувача в письмовій та усній формі чітко, вичерпано і правильно викласти відповіді на питання запропонованого варіанту.

3. Глибоке розуміння здобувачем взаємозв'язку головних понять і положень предмета, розуміння значення цих положень і понять для майбутньої професії.

4. Високий рівень підготовленості здобувача з запропонованих питань та бажання до подальшої роботи над вдосконаленням рівня своєї професійної кваліфікації.

У відповідях здобувачів не має бути значних помилок. Відмінно виконана робота демонструє наявність у студента творчих здібностей.

Оцінка «добре» виставляється, коли здобувач письмово відповів на всі запитання, засвоїв всю навчальну програму. У відповідях, які оцінені на «добре», можлива не більш як одна незначна помилка або виявлено декілька неточностей. Здобувач спроможний з допомогою літератури ліквідувати всі недоліки у відповідях.

Оцінка «задовільно» виставляється, коли здобувач дав відповіді на питання всіх завдань, але при цьому можуть проявитися певні прогалини у засвоєнні навчальної програми. У відповідях, які оцінені на «задовільно», можуть зустрітися не більше як одна груба помилка або декілька значних та істотних неточностей.

Оцінка «незадовільно» виставляється за роботу, яка засвідчує про наявність у здобувача великих та суттєвих прогалин у знаннях основного матеріалу, а у наявних його письмових відповідях є як принципові, так і грубі помилки. Здобувачі, які не представили письмові відповіді на модульних контрольних роботах, вважаються такими, що одержали оцінку «незадовільно».

### **Критерії оцінювання підсумкового контролю**

Підсумковий семестровий контроль з дисципліни «Загальна фізика». Ч.4 «Атомна і ядерна фізика» здійснюється у формі екзамену.

Екзамен проводиться в усній формі шляхом співбесіди. Результати екзамену оцінюються за чотирибальною шкалою: „відмінно”, „добре”, „задовільно”, „незадовільно”.

Оцінка „відмінно” виставляється в тому разі, коли здобувач бездоганно оволодів всіма розділами програми, дав глибокі, чіткі і вичерпні відповіді на всі основні і додаткові запитання, виявив розуміння фізичної суті програмового матеріалу, вільне володіння фактичним матеріалом та відповідним математичним апаратом, вміння грамотно обробляти результати експериментальних вимірювань з метою отримання заданої точності отриманих даних, кваліфіковано використовувати набуті знання для розв’язання конкретних практичних задач.

Оцінка „добре” виставляється тоді, коли здобувач виявив повне знання і розуміння програмового матеріалу, добре оволодів математичним апаратом курсу, може використовувати набуті знання в практичній діяльності, дав вичерпні відповіді на всі запитання, але під час відповіді допускав окремі нечіткі формулювання і незначні неточності.

Оцінка „задовільно” виставляється в тому разі, коли здобувач в основному знає і розуміє фактичний матеріал курсу, дав в основному правильні відповіді на запитання, виявив уміння розібратися в усьому матеріалі курсу, вміння використовувати відповідний математичний апарат, але не може ґрунтовно пояснити окремі положення пройденого курсу, допускає неточності при

використанні математичного апарату, недостатньо вміє застосовувати набуті знання для розв'язання конкретних практичних задач.

Оцінка „незадовільно” виставляється тоді, коли здобувач не оволодів матеріалом даного курсу, виявив суттєві прогалини в знаннях основного програмового матеріалу, коли він під час відповіді на запитання виявив нерозуміння фізичної сутності основних понять та термінів навчальної дисципліни, допускає плутанину, слабо володіє математичним апаратом, не може застосовувати набуті знання для розв'язування конкретних практичних задач, тобто виявив відсутність мінімально необхідної кількості знань з даного курсу.

За бажанням здобувача результуюча підсумкова екзаменаційна оцінка може бути визначена як інтегрована оцінка засвоєння всіх тем дисципліни і кількісно дорівнює середньому арифметичному балів, отриманих за кожний модуль.

Переведення результатів, отриманих за 100-бальною шкалою оцінювання в національну 4-бальну та шкалу за системою ECTS здійснюється за наступною схемою:

**Таблиця відповідності оцінок за різними шкалами**

Оцінка за 100-бальною шкалою	Оцінка ЄКТС	Оцінка за національною шкалою	
		диференційована	недиференційована
90-100	A	відмінно	зараховано
82-89	B	добре	
74-81	C		
64-73	D	задовільно	
60-63	E		
35-59	FX	незадовільно з можливістю повторного складання	незараховано з можливістю повторного складання
0-34	F	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни	незараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

Студент, який отримав за результатами підсумкового контролю оцінку «незадовільно» (1-34 балів, F), зобов'язаний пройти повторний курс вивчення дисципліни (під час додаткового семестру) і скласти екзамен. Результати підсумкового контролю знань заносяться до залікової та екзаменаційної відомостей.

## 6. Тестові завдання на знання шкільного матеріалу

### Тест 1

1. Вкажіть чисельне значення маси електрона.
2. Вкажіть чисельне значення константи Планка.
3. Вкажіть чисельне значення енергії іонізації атома водню.
4. Що представляє з себе  $\alpha$ -радіоактивність?
5. Яка частина радіоактивних ядер розпадеться у взірці після двох періодів напіврозпаду?
6. Чому рівний радіус  $^{197}\text{Au}$ ?
7. Вкажіть формулу для визначення енергії зв'язку ядра.
8. Завершіть розпад  $^{226}\text{Ra} \rightarrow \alpha +$
9. Завершіть розпад  $^{19}\text{O} \rightarrow e^- +$
10. Дайте визначення енергії 1 еВ (електронвольт).

### Тест 2

1. Вкажіть чисельне значення маси протона.
2. Вкажіть чисельне значення константи Больцмана.
3. Вкажіть чисельне значення швидкості світла.
4. Що представляє з себе  $\beta$ -радіоактивність?
5. Яка частина радіоактивних ядер розпадеться у взірці після трьох періодів напіврозпаду?
6. Чому рівний радіус  $^{20}\text{Ne}$ ?
7. Вкажіть формулу для визначення енергії відділення від ядра нейтрона.
8. Завершіть розпад  $^{238}\text{U} \rightarrow \alpha +$
9. Завершіть розпад  $^{176}\text{Lu} \rightarrow e^- +$
10. Запишіть формулу радіоактивного розпаду.

**Тест 3**

1. Вкажіть чисельне значення маси нейтрона.
2. Вкажіть чисельне значення елементарного заряду.
3. Вкажіть чисельне значення числа Авогадро.
4. Що представляє з себе  $\gamma$ -радіоактивність?
5. Яка частина радіоактивних ядер розпадеться у взірці після чотирьох періодів напіврозпаду?
6. Чому рівний радіус  $^{116}\text{Sn}$ ?
7. Вкажіть формулу для обчислення енергії відділення від ядра  $\alpha$ -частинки.
8. Завершіть розпад  $^{212}\text{Po} \rightarrow \alpha +$
9. Завершіть розпад  $^{25}\text{Al} \rightarrow e^+ +$
10. Запишіть принцип невизначеності Гейзенберга для енергії.

**Тест 4**

1. Вкажіть чисельне значення маси гамма кванта.
2. Вкажіть чисельне значення радіусу Бора.
3. Вкажіть чисельне значення енергії зв'язку дейтрону.
4. Що представляє з себе спонтанний поділ ядер?.
5. Яка частина радіоактивних ядер розпадеться у взірці після п'ятих періодів напіврозпаду?
6. Чому рівний радіус  $^{59}\text{Co}$ ?
7. Вкажіть формулу для обчислення енергії відділення від ядра двох нейтронів.
8. Завершіть розпад  $^{216}\text{Rn} \rightarrow \alpha +$
9. Завершіть розпад  $^{124}\text{In} \rightarrow e^+ +$
10. Що представляють з себе катодні промені?

## 7. Типові завдання, що виносяться на модульний контроль

### Модуль 1. Атомна фізика

1. Визначити довжину хвилі  $\lambda_m$ , яка відповідає максимуму випромінювальної здатності абсолютно чорного тіла при температурі  $T$ , рівній: а) 3 К; б) 300 К; в) 3000 К; г) 5000 К. В яку спектральну область попадають знайдені довжини хвиль?
2. Знайти середню енергію  $\langle \varepsilon \rangle$  (в еВ) електромагнітного коливання при температурі 3000 К для довжин хвиль, рівних: а) 500 мкм; б) 50 мкм; в) 5 мкм; г) 0,5 мкм (видима область спектру). Порівняти знайдені значення  $\langle \varepsilon \rangle$  зі значенням  $kT$ .
3. Поверхня Сонця близька за своїми властивостями до абсолютно чорного тіла. Максимум випромінювальної здатності цього фізичного об'єкту припадає на довжину хвилі  $\lambda_m = 0,5$  мкм (у випромінюванні Сонця, яке пройшло через атмосферу і досягло поверхні Землі, максимум припадає на 0,55 мкм). Визначити: а) температуру  $T$  сонячної поверхні; б) енергію  $E$ , яку випромінює Сонце за 1 с у вигляді електромагнітних хвиль; в) масу  $m$ , яку втрачає Сонце за 1 с за рахунок випромінювання; г) приблизний час  $t$ , за який маса Сонця зменшилась би за рахунок випромінювання на 1%, якщо б температура Сонця залишалась постійною.
4. У сферичній посудині діаметром  $D=30$  см є невеличкий отвір діаметром  $d=4$  мм. На відстані  $l=500$  мм від центру отвору знаходиться кругла площадка, радіус якої  $r=3$  мм. Лінія, проведена від центру отвору до центру площадки, утворює з нормаллю до поверхні кут  $\theta=45^\circ$ . Площадка перпендикулярна до цієї лінії. Стінки посудини підтримуються при постійній температурі  $T=2000$  К. Визначити падаючий на площадку потік енергії  $\Phi$ , обумовлений випромінюванням з отвору.
5. Є два абсолютно чорні джерела випромінювання. Температура одного з них  $T_1=2500$  К. Знайти температуру другого джерела  $T_2$ , якщо довжина хвилі, яка відповідає максимуму його випромінювальної здатності, на величину

- $\Delta\lambda=0,5$  мкм більша довжини хвилі, яка відповідає максимуму випромінювальної здатності першого джерела.
6. Енергетична світимість (потужність випромінювання) абсолютно чорного тіла  $M_e=3$  Вт/см<sup>2</sup>. Визначити довжину хвилі  $\lambda_m$ , яка відповідає максимуму випромінювальної здатності цього тіла.
  7. Збільшення напруги на рентгенівській трубці в  $\eta=2$  рази супроводжується зміною довжини хвилі, яка відповідає короткохвильовій межі рентгенівського випромінювання, на величину  $\Delta\lambda=0,025$  нм. Визначити початкову напругу  $U$ , прикладену до трубки.
  8. Короткий імпульс світла з енергією  $E=7,5$  Дж у вигляді вузького майже паралельного пучка падає на дзеркальну пластинку з коефіцієнтом відбивання  $\rho=0,6$ . Кут падіння  $\theta=30^\circ$ . Визначити за допомогою корпускулярних представлень імпульс, переданий пластинці.
  9. Визначити червону межу фотоефекту для цинку і максимальну швидкість фотоелектронів, які вириваються з його поверхні електромагнітним випромінюванням з довжиною хвилі  $\lambda=250$  нм.
  10. При почерговому освітленні поверхні деякого металу світлом з довжинами хвиль  $\lambda_1=0,35$  мкм і  $\lambda_2=0,54$  мкм виявили, що відповідні максимальні швидкості фотоелектронів відрізняються одна від одної в  $\eta=2$  рази. Знайти роботу виходу з поверхні цього металу.
  11. До якого максимального потенціалу зарядиться віддалена від інших мідна кулька при опроміненні її електромагнітним випромінюванням з довжиною хвилі  $\lambda=140$  нм?
  12. Монохроматичне світло падає на поверхні двох різних металів. Для першого з них робота виходу електронів дорівнює 1,31 еВ, а для другого 1,76 еВ. Визначте максимальну швидкість фотоелектронів, які вилітають із першого металу, якщо для другого металу ця швидкість дорівнює 300 км/с. Вважайте, що маса електрона дорівнює  $9 \cdot 10^{-31}$  кг,  $1 \text{ еВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Дж. Відповідь подайте у кілометрах на секунду.

13. Чи буде спостерігатися фотоэффект, якщо на поверхню срібла направити ультрафіолетове випромінювання з довжиною хвилі  $\lambda=300$  нм?
14. Визначити енергію  $\varepsilon$ , масу  $m$  та імпульс  $p$  фотона, який відповідає довжині хвилі  $\lambda=380$  нм.
15. Визначити довжину хвилі  $\lambda$ , масу  $m$  та імпульс  $p$  фотона з енергією  $\varepsilon=1$  МеВ. Порівняти отриману масу з масою спокою електрона.
16. Визначити довжину хвилі  $\lambda$  фотона, імпульс якого рівний імпульсу електрона, який має швидкість  $v=10$  Мм/с.
17. Визначити довжину хвилі  $\lambda$  фотона, маса якого рівна масі спокою: а) електрона; б) протона.
18. На яку мінімальну відстань наблизиться  $\alpha$ -частинка з кінетичною енергією  $T=0,4$  МеВ при лобовому зіткненні з нерухомим ядром свинцю.
19. Нерухома куля радіусу  $R$  опромінюється паралельним потоком частинок, радіус яких  $r$ . Вважаючи зіткнення частинок з кулею пружними знати ймовірність того, що частинка розсіється в передню напівсферу ( $\theta < \pi/2$ ).
20. Альфа-частинка з кінетичною енергією  $T=0,5$  МеВ розсіялась під кутом  $\theta=90^\circ$  на кулонівському полі нерухомого ядра ртуті. Знайти: а) найменший радіус кривизни її траєкторії; б) мінімальну відстань, на яку вона зблизилась з ядром.
21. Знайти ефективний переріз ядра урану, який відповідає розсіянню  $\alpha$ -частинки з кінетичною енергією  $T=1,5$  МеВ в інтервалі кутів більше  $\theta=60^\circ$ .
22. На яку мінімальну відстань  $r_m$  може наблизитись до нерухомого ядра золота  $\alpha$ -частинка при центральному ударі, якщо швидкість частинки на великій відстані від ядра  $v=3 \cdot 10^7$  м/с?
23. Маємо систему, яка складається з ядра водню (протона) і мюона (частинки, яка має такий же заряд, як у електрона, і масу, рівну 207 масам електрона). Виходячи з представлень теорії Бора, визначити: а) радіус  $r_1$  першої борівської орбіти мюона; б) енергію  $E_{зв}$  (в еВ) зв'язку мюона з протоном в основному стані; в) швидкість  $v_1$  мюона на першій орбіті; г) число обертів, які встигне зробити мюон до свого розпаду (середній час життя мюона  $\tau=2,2$  мкс, по



- закінченню цього часу мюон розпадається на електрон, нейтрино і антинейтрино).
24. Обчислити сталу Рідберга, якщо відомо, що для іонів  $\text{He}^+$  різниця довжин хвиль між головними лініями серій Бальмера і Лаймана  $\Delta\lambda=133,7$  нм.
  25. Знайти швидкість фотоелектронів, які вириваються електромагнітним випромінюванням з довжиною хвилі  $\lambda=18$  нм із іонів  $\text{He}^+$ , які знаходяться в основному стані.
  26. Яку енергію необхідно додатково надати електрону, щоб його дебройлівська довжина хвилі зменшилась від 100 до 50 пм?
  27. Визначити, яку прискорюючу різницю потенціалів повинен пройти протон, щоб довжина хвилі де Бройля для нього була рівною 1 нм. Маса протона  $1,67 \cdot 10^{-27}$  кг, заряд  $e=1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.
  28. Заряджена частинка, прискорена різницею потенціалів 500 В, має довжину хвилі де Бройля  $\lambda=1,28$  пм. Приймаючи заряд частинки рівним заряду електрона  $e=1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл, визначити масу частинки.
  29. Пучок електронів, прискорених різницею потенціалів  $U$ , падає на поверхню металу, внутрішній потенціал якого  $U_i=15$  В. Знайти: а) показник заломлення металу для електронів з  $U=150$  В; б) відношення  $U/U_i$ , при якому показник заломлення відрізняється від одиниці не більше ніж на  $\eta=1\%$ .
  30. Виходячи з того, що енергія іонізації атома водню  $I=13,6$  еВ, визначити перший потенціал збудження  $\varphi_1$  цього атома.
  31. Виходячи з того, що перший потенціал збудження водневоподібного атома  $\varphi_1=10,2$  В, знайти довжину хвилі: а) лінії  $H_\alpha$ ; б) границі серії Бальмера  $H_\infty$ .
  32. Фотон з енергією 15 еВ вибиває електрон з нерухомого атома водню, який знаходиться в основному стані. З якою швидкістю рухається електрон далеко від ядра?
  33. Основним для атома натрію є стан  $3S$ . Рідбергівська поправка для  $S$ -термів рівна  $-1,35$ . Виходячи з цих даних, обчислити енергію іонізації атома натрію і виразити її в еВ.

34. Оцінити найменші похибки, з якими можна визначити швидкості електрона, протона і кульки масою 1 мг, якщо координати частинок і центра кульки встановлені з невизначеністю 1 мкм.
35. Показати, що для частинки, невизначеність координати якої рівна  $\Delta x = \frac{\lambda}{2\pi}$ , де  $\lambda$  – її дебройлівська довжина хвилі, невизначеність швидкості рівна за порядком величині самої швидкості частинки.
36. Електрон з кінетичною енергією  $T=4$  еВ локалізований у просторовій області розміром  $l=1$  мкм. Оцінити за допомогою співвідношення невизначеностей відносну невизначеність його швидкості.
37. Використовуючи принцип невизначеностей Гейзенберга, оцінити мінімальну енергію квантового осцилятора, який знаходиться в потенціальному полі  $U=kx^2/2$ .
38. Використовуючи принцип невизначеностей Гейзенберга, оцінити мінімальні розміри та мінімальну енергію атома водню.
39. Ширина електронного сліду, сфотографованого в камері Вільсона, становить  $\Delta x=1$  мкм. Знайти відношення невизначеності імпульсу електрона до абсолютної величини імпульсу, якщо кінетична енергія електрона 1,5 кеВ.
40. Електронний пучок формується електронною гарматою з прискорюючою різницею потенціалів  $U=200$  В. Чи можна одночасно виміряти траєкторію електрона з точністю до 100 пм (діаметр атома) і його швидкість з точністю до 10%?
41. Потенціал іонізації атома літію  $\varphi_i=5,39$  В, а перший потенціал збудження  $\varphi_1=1,85$  В. Виходячи з цих даних, знайти рідбергівські поправки  $s$  і  $p$  для літію.
42. Яку швидкість  $v$  набуває атом водню при випусканні фотона, який відповідає головній лінії серії: а) Лаймана; б) Бальмера?
43. Фотон з енергією  $\varepsilon=5,4852$  еВ вириває з атома літію валентний електрон, який вилітає під прямим кутом до напрямку, в якому летів фотон. З якою швидкістю  $v$  і в якому напрямку рухається іонізований атом? Потенціал іонізації атома літію  $\varphi_i=5,3918$  В.

44. Перший потенціал збудження електронної оболонки молекули CO рівний  $\phi_1=6$  В. В основному електронному стані молекули власна частота коливань  $\omega_v=4,09 \cdot 10^{14} \text{ c}^{-1}$ . Знайти: а) число  $N$  коливальних рівнів, розміщених між основним і першим збудженим електронними рівнями; б) відношення енергії  $\Delta E_e$ , необхідної для переведення молекули на перший збуджений електронний рівень, до енергії  $\Delta E_v$ , необхідної для переведення молекули на перший збуджений коливальний рівень.
45. Відстань між ядрами молекули HCl рівна  $r=0,127$  нм. Знайти кутову швидкість обертання  $\omega_r$  молекули, яка знаходиться на першому збудженому обертальному рівні.
46. Хвильова функція частинки має вигляд  $\psi=A\sin(2\pi x/l)$  і визначена лише на проміжку  $0 \leq x \leq l$ . Використовуючи умову нормування, визначити нормуючий множник  $A$ .
47. Хвильова функція, яка описує стан частинки в одновимірній потенціальній ямі з нескінченно високими стінками, має вигляд:  $\psi=A\sin(kx)$ . Визначити: а) вигляд власної хвильової функції  $\psi_n(x)$ ; сталу  $A$ , виходячи з умови нормування; в) середнє значення координати  $\langle x \rangle$  частинки.
48. Хвильова функція деякої частинки має вигляд  $\psi(x)=A e^{-\frac{r^2}{2a^2}}$ , де  $r$  – відстань цієї частинки до силового центру,  $a$  – деяка стала. Знайти середню відстань частинки до силового центру.
49. Частинка в одновимірній потенціальній ямі шириною  $l$  з нескінченно високими стінками знаходиться в основному стані. Визначити ймовірність знаходження частинки в лівій третині ями.
50. Електрон знаходиться в одновимірній потенціальній ямі з нескінченно високими стінками шириною  $l$ . Визначити ймовірність знаходження електрона в середній третині ями у збудженому стані з  $n=3$ . Зобразити графічно густину ймовірності знаходження електрона в даному стані.
51. Хвильова функція частинки маси  $m$  для основного стану в одновимірному потенціальному полі  $U=kx^2/2$  має вигляд:  $\psi=A e^{-\alpha x^2}$ , де  $A$  – константа

нормування,  $\alpha$  – деяка стала. За допомогою стаціонарного рівняння Шредінгера знайти сталу  $\alpha$  і енергію  $E$  частинки в цьому полі.

52. Довести, що хвильова функція  $\psi(x) = A x e^{-\frac{\sqrt{mk}}{2\hbar} x^2}$  може бути розв'язком рівняння Шредінгера для гармонічного осцилятора, маса якого  $m$  і постійна квазіупругої сили  $k$ . Визначити власне значення повної енергії осцилятора.
53. Математичний маятник можна розглядати в якості гармонічного осцилятора. Визначити в електрон-вольтах енергію нульових коливань для маятника довжиною  $l=1$  м, який знаходиться в полі тяжіння Землі.
54. Використовуючи умову нормування  $\psi$ -функції, визначити нормуючий коефіцієнт  $A$  хвильової функції  $\psi = A \cdot e^{-r/a}$ , яка описує основний стан електрона в атомі водню, де  $r$  – відстань електрона від ядра,  $a$  – перший борівський радіус.
55. Хвильова функція електрона в основному стані атома водню має вигляд  $\psi(r) = A e^{-\frac{r}{r_1}}$ , де  $A$  – деяка стала,  $r_1$  – перший борівський радіус. Знайти: найбільш ймовірну відстань між електроном і ядром; б) середнє значення модуля кулонівської сили, яка діє на електрон; в) середнє значення потенціальної енергії електрона в полі ядра.
56. Знайти середній електростатичний потенціал, створюваний електроном в центрі атома водню. Електрон знаходиться в основному стані, для якого хвильова функція  $\psi(r) = A e^{-\frac{r}{r_1}}$ , де  $A$  – деяка стала,  $r_1$  – перший борівський радіус.
57. Знайти за допомогою формули для тунельного ефекту ймовірність проходження частинки з масою  $m$  і енергією  $E$  крізь потенціальний бар'єр  $U(x) = U_0 (1 - x^2/l^2)$ , де  $U_0$  – висота потенціального бар'єру,  $l$  – точка повороту.
58. Протон з енергією  $E=5$  еВ рухається в позитивному напрямку осі  $Ox$  і зустрічає на своєму шляху прямокутний потенціальний бар'єр висотою  $U=10$  еВ і шириною  $l=0,1$  нм. Визначити: а) коефіцієнт прозорості бар'єру; б) у скільки разів потрібно знизити бар'єр, щоб коефіцієнт прозорості бар'єру для протона був таким самим, як і для електрона при тих самих умовах.

59. Прямокутний потенціальний бар'єр має ширину  $l=0,1$  нм. Визначити в електрон-вольтах різницю енергій  $U-E$ , при якій «прозорість» бар'єру становитиме 0,5.
60. Частинка з енергією  $E$  рухається в позитивному напрямку осі  $Ox$  і зустрічає на своєму шляху нескінченно широкий прямокутний потенціальний бар'єр висотою  $U$ , причому  $E < U$ . Приймаючи  $A_1=1$  і використовуючи умову неперервності хвильової функції і її першої похідної на межі областей 1 і 2, визначити густину ймовірності  $|\psi_2(0)|^2$  знаходження частинки в точці  $x=0$  області 2.

## Модуль 2. Ядерна фізика

61. З чого складається нейтральний атом ізотопу  $^{28}\text{Si}$ , з чого складається його ядро? Перерахуйте складові частинки кожної з систем та їхню кількість.
62. З чого складається негативний іон атома ізотопу  $^4\text{He}$ , з чого складається його ядро? Перерахуйте складові частинки кожної з систем та їхню кількість.
63. З чого складається позитивний іон атома ізотопу  $^{20}\text{Ne}$ , з чого складається його ядро? Перерахуйте складові частинки кожної з систем та їхню кількість.
64. Яка кількість протонів  $Z$  і нейтронів  $N$  у ядрі  $^{238}_{92}\text{U}$ ?
65. Знайти радіуси атомних ядер  $^{27}\text{Al}$ ,  $^{90}\text{Zr}$ ,  $^{238}\text{U}$ .
66. Знайти густину ядерної матерії.
67. Визначити масу ядра  $^2\text{H}$  в енергетичних одиницях, якщо енергія зв'язку дейтрона  $E_{зв}=2.2$  МеВ.
68. Визначити питому енергію зв'язку та радіус ядра  $^7\text{Li}$ , результат у Дж і МеВ.
69. Маса нейтрального атома  $^{16}\text{O}$  становить  $M_{\text{ат}}(A,Z) = 15.9949$  а.о.м. Визначити питому енергію зв'язку  $\epsilon$  ядра  $^{16}\text{O}$ .
70. За допомогою формули Вайцеккера розрахувати енергію відділення нейтрона від парно-парних ізотопів  $^{38}\text{Ca}$ ,  $^{40}\text{Ca}$ ,  $^{48}\text{Ca}$ .
71. Визначити енергію зв'язку  $E_{зв}$  стабільних ядер з однаковим числом протонів та нейтронів ( $Z$  у межах від 0 до 10). Побудувати графік залежності  $E_{зв}$  від масового числа  $A$  (для  $A$  у межах 0-20).

72. Визначити енергію зв'язку  $E_{зв}$  стабільних ядер з числом нейтронів на один більше, ніж число протонів ( $Z$  у межах від 0 до 10). Побудувати графік залежності  $E_{зв}$  від масового числа  $A$ .
73. Маса нейтральних атомів в а.о.м.:  $^{16}\text{O}$  - 15.9949,  $^{15}\text{O}$  - 15.0030,  $^{15}\text{N}$  - 15.0001. Чому рівні енергії відділення нейтрона і протона з ядра  $^{16}\text{O}$ ?
74. Визначити енергію у МеВ, яку необхідно затрати на розділення ядра  $^{12}_6\text{C}$  на три  $\alpha$  – частинки. Маса  $^{12}_6\text{C}$  дорівнює 12 а.о.м. (точно). Маса  $^4_2\text{He}$  дорівнює 4,002603 а.о.м. Енергетичний еквівалент 1 а.о.м. дорівнює 931,44 МеВ.
75. Визначити енергію зв'язку ядра  $^{16}_8\text{O}$  у МеВ, маса якого дорівнює 15.99491 а.о.м., маса протона дорівнює 1,007825 а.о.м., маса нейтрона дорівнює 1,008665 а.о.м. Енергетичний еквівалент 1 а.о.м. дорівнює 931,44 МеВ.
76. Вважаючи, що різниця енергій зв'язку дзеркальних ядер визначається тільки різними енергіями кулонівського відштовхування в цих ядрах, обчислити радіуси дзеркальних ядер  $^{23}\text{Na}$ ,  $^{23}\text{Mg}$ .  $E_{зв}(^{23}\text{Na}) = 186.56$  МеВ,  $E_{зв}(^{23}\text{Mg}) = 181.72$  МеВ.
77. Ядро  $^{27}\text{Si}$  в результаті  $\beta^+$ -перетворення  $^{27}\text{Si} \rightarrow ^{27}\text{Al} + e^+ + \nu_e$  переходить в "дзеркальне" ядро  $^{27}\text{Al}$ . Максимальна енергія позитронів 3.48 МеВ. Оцінити радіуси цих ядер.
78. Розрахуйте похибку одного виміру, якщо зареєстровано  $N_d = 1000$  імпульсів від джерела та  $N_\phi = 500$  імпульсів фону. Час вимірів  $t_d = 10$  секунд,  $t_\phi = 100$  секунд.
79. Які ядра чи елементарні частинки, позначені символом  $X$ , випускаються нестабільним ядром при радіоактивному перетворенні (розпаді) згідно запису
- $$^{238}_{92}\text{U} \rightarrow ^{234}_{90}\text{Th} + X;$$
- $$^3_1\text{H} \rightarrow ^3_2\text{He} + X + ^0_0\bar{\nu};$$
- $$^{13}_7\text{N} \rightarrow ^{13}_6\text{C} + X + ^0_0\nu;$$
- $$^{60}_{28}\text{Ni}^* \rightarrow ^{60}_{28}\text{Ni} + X?$$
80. Який ізотоп утвориться із радіоактивного ядра  $^{230}_{90}\text{Th}$  після двох послідовних альфа-розпадів?

81. Який ізотоп утвориться із радіоактивного ядра  ${}^{239}_{92}\text{U}$  після трьох послідовних  $\beta^-$ -розпадів?
82. Який тип  $\beta$ -розпаду відбувається згідно запису  ${}^7_4\text{Be} + e \rightarrow {}^7_3\text{Li} + {}^0_0\nu$ ?
83. Користуючись таблицею Менделєєва і правилами зміщення, визначити в який елемент перетвориться уран-238 після трьох  $\alpha$ - і двох  $\beta^-$ -розпадів.
84. Запишіть  $\beta^-$ -розпад для  ${}^{27}_{12}\text{Mg}$ .
85. Визначити енергію, яка виділяється в результаті перетворення  ${}^{23}_{12}\text{Mg} \rightarrow {}^{23}_{11}\text{Na} + {}^0_1e + {}^0_0\nu$ . Маса нейтральних атомів магнію і натрію рівні  $3,8184 \cdot 10^{-27}$  кг і  $3,8177 \cdot 10^{-27}$  кг відповідно.
86. Визначити зарядове число  $Z$  і масове число  $A$  частинки  $x$  в записах:
- 1)  ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + x$ ;
  - 2)  ${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + x$ ;
  - 3)  ${}^6_3\text{Li} + x \rightarrow {}^3_1\text{H} + {}^4_2\text{He}$
- 1)  ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + x$ ;  $Z=1$ ,  $A=1$ ,  ${}^1_1p$ ;
  - 2)  ${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + x$ ;  $Z=0$ ,  $A=1$ ,  ${}^1_0n$ ;
  - 3)  ${}^6_3\text{Li} + x \rightarrow {}^3_1\text{H} + {}^4_2\text{He}$ ;  $Z=0$ ,  $A=1$ ,  ${}^1_0n$ .
87. У процесі реакції  $\gamma \rightarrow {}^0_{-1}e + {}^0_{+1}e$  енергія фотона становить  $E_0=2,02$  МеВ. Визначити повну кінетичну енергію електрона і позитрона у момент їх виникнення.
88. Довести, що у випадку  $\beta$ -розпаду  ${}^{42}\text{Sc}$  має місце дозволений перехід типу Фермі, а  ${}^{32}\text{P}$  - типу Гамова-Теллера.
89. Визначити можливі види  $\beta$ -розпаду ядра  ${}^{114}\text{In}$ . Надлишки мас атомів:  $\Delta({}^{114}\text{Cd}) = -90.021$  МеВ,  $\Delta({}^{114}\text{In}) = -88.379$  МеВ і  $\Delta({}^{114}\text{Sn}) = -90.558$  МеВ.
90. Визначити у скільки разів початкова кількість ядер радіоактивного ізотопу зменшиться за 3 роки, якщо вона зменшилася в 4 рази за 1 рік.
91. Початкова масу радіоактивного ізотопу йоду-131 рівна 1 г. Період напіврозпаду  $T_{1/2}=8$  діб. Знайти початкову активність ізотопу  $A_0$  і активність через 3 доби.

92. У скільки разів число розпадів ядер радіоактивного йоду  $^{131}\text{I}$  за час першої доби більше від числа розпадів за час другої доби? Період напіврозпаду ізотопу  $^{131}\text{I}$  рівний 193 год.
93. Визначити енергію  $W$ , яка виділяється 1 мг препарату  $^{210}\text{Po}$  за час, рівний середньому часу життя, якщо за один акт розпаду виділяється енергія  $E = 5.4 \text{ MeV}$ .
94. У результаті  $\alpha$ - розпаду радій-226 перетворюється в радон-222. Який об'єм радону при нормальних умовах буде знаходитися в рівновазі з 1 г радію? Періоди напіврозпаду рівні  $T_{1/2}(^{226}\text{Ra}) = 1600$  років,  $T_{1/2}(^{222}\text{Rn}) = 3.82$  діб.
95. Визначити кінетичну енергію  $\alpha$ -частинок  $T_\alpha$ , утворених при  $\alpha$ -розпаді  $^{212}\text{Bi}$  у збуджені стани ядра  $^{208}\text{Tl}$  з енергіями 0,49 і 0,61 MeV. Енергії зв'язку  $E_{зв}(^{212}\text{Bi})=1654.32 \text{ MeV}$ ,  $E_{зв}(^{208}\text{Tl})=1632.23 \text{ MeV}$  і  $E_{зв}(\alpha)= 28.30 \text{ MeV}$ .
96. На яку відстань може наблизитись альфа-частинка з енергією 3 MeV до ядра атома гелію?
97. Використовуючи значення мас атомів, визначити верхню межу спектру позитронів, які випромінюються при  $\beta^+$ -розпаді ядра  $^{27}\text{Si}$ . Маса відповідних атомів в енергетичних одиницях:  $M_{\text{ат}}(^{27}\text{Si}) = 25137.961 \text{ MeV}$ ,  $M_{\text{ат}}(^{27}\text{Al}) = 25133.150 \text{ MeV}$  ().
98. Використовуючи формулу Вайцзеккера, отримати співвідношення для обчислення енергії спонтанного поділу на два однакових уламки і розрахувати енергію симетричного поділу ядра  $^{238}\text{U}$ .
99. Використовуючи формулу Резерфорда, показати як можна визначити заряд ядер певних елементів (металів) у вигляді тонкої фольги ( $\approx 1 \text{ мг/см}^2$ ), маючи: джерело альфа-частинок відомої енергії з коліматором, детектор-альфа-частинок (наприклад з площею  $1 \text{ см}^2$ ), розміщений на відстані 10 см від розсіюючої фольги, лічильник імпульсних сигналів детектора та пристрій для виміру кута між напрямком руху альфа-частинок та місцем знаходження детектора.
100. Радіоактивне джерело містить 0,1 г радію-226, стала розпаду  $\lambda=1,44 \cdot 10^{-11} \text{ с}^{-1}$ . Визначити скільки ядер радію розпадається у джерелі за 1 секунду.



101. Період піврозпаду одного з ізотопів фосфору становить 14 діб. На скільки відсотків число ядер, які розпалися протягом 70 діб, відрізнятиметься від їх початкової кількості?
102. Період напіврозпаду ізотопу  ${}_{15}^{32}\text{P}$  становить 15 діб. Знайдіть активність джерела, яке містить ізотоп  ${}_{15}^{32}\text{P}$ , через 30 діб після його виготовлення, якщо його початкова активність становить  $10^8$  Бк.
103. Джерело у початковий момент часу  $t=0$  містить  $10^8$  ядер радіоактивного ізотопу  ${}_{15}^{32}\text{P}$  з періодом напіврозпаду 15 діб. Скільки радіоактивних ядер залишиться, а скільки розпадеться у джерелі через 360 годин.
104. Яка активність джерела, у якому міститься  $10^{12}$  нестабільних ядер з середнім часом життя  $\tau = 1000$  с.
105. Яка енергія виділиться джерелом на протязі  $10^5$  с, якщо джерело активністю  $10^6$  Бк виготовлено з нестабільних ядер, які на кожний розпад випромінюють одну альфа-частинку з енергією 5 МеВ. ( $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Дж)
106. Визначте період піврозпаду радіоактивного елемента, якщо через інтервал часу 1,2 с число ядер, що розпалися, становить 87,5 % їх початкової кількості. Відповідь подайте в секундах.
107. Визначити період напіврозпаду ядер ізотопу  ${}^{238}\text{U}$ , які містяться у джерелі масою 10 мг, якщо це джерело випромінює (ізотропно) 120  $\alpha$ -частинок за 1 с.
108. Визначити вік археологічного об'єкту - шматку дерева, якщо питома активність ядер ізотопу  ${}^{14}\text{C}$  у ньому складає  $4/5$  від питомої активності для дерева тількино зрубаного.
109. Скільки  $\beta^-$  частинок випромінить за 1 годину (ізотропно) джерело масою 1 мг, яке виготовлене з атомів ізотопу  ${}^{32}\text{P}$ .
110. Яка маса і об'єм радону  ${}_{86}^{222}\text{Rn}$  при нормальних умовах, якщо його активність  $10^{10}$  Бк.
111. Які ядра чи елементарні частинки, позначені символом  $x$ , приймають участь у ядерній реакції  ${}_{25}^{55}\text{Mn} + x \rightarrow {}_{26}^{55}\text{Fe} + {}_0^1n$ ?
112. Виділяється чи поглинається енергія в реакції  ${}_{20}^{44}\text{Ca} + {}_1^1\text{H} \rightarrow {}_{19}^{41}\text{K} + {}_2^4\text{He}$  ?

113. Якою буде реакція  ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^7_4\text{Be} + {}^1_0\text{n}$  - екзотермічною чи ендотермічною? Визначити енергію ядерної реакції. Маси:  $m_{\text{Li}} = 11,65079 \cdot 10^{-27}$  кг,  $m_{\text{H}} = 1,6736 \cdot 10^{-27}$  кг,  $m_{\text{Be}} = 11,65231 \cdot 10^{-27}$  кг,  $m_{\text{n}} = 1,675 \cdot 10^{-27}$  кг.
114. У результаті захоплення якої частинки може відбуватись ланцюгова реакція поділу ядер урану у суміші природного урану і графіту (сповільнювач нейтронів)?
115. Яка кількість нейтронів, позначена символом  $x$ , утворюється внаслідок реакції поділу ядра урану з виділенням енергії  $Q$  згідно реакції  ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{140}_{54}\text{Xe} + {}^{94}_{38}\text{Sr} + x \cdot {}^1_0\text{n} + Q$ ?
116. Розрахувати потужність ядерного вибухового пристрою, що містить 15 кг урану. Тривалість вибуху  $10^{-6}$  секунди.
117. Яка кількість  ${}^{235}\text{U}$  використовується на АЕС протягом року, якщо її потужність 100 МВт, а ККД складає 30%?
118. Запишіть реакцію синтезу  ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow \dots$ ? з утворенням  $\alpha$ -частинки.
119. Яка буде потужність термоядерного мікробибуху з дейтерій-тритієвої суміші вагою 1 мг, якщо тривалість імпульсу лазерного пучка  $10^{-9}$  секунди?
120. Скільки потрібно по вазі  ${}^{235}\text{U}$  та дейтерій-тритієвої суміші, щоб одержати однакову кількість енергії.

## 8. Перелік питань, що виносяться на підсумковий контроль

1. Загальні поняття про навчальну дисципліну (курс). Предмет і завдання курсу, його місце серед інших фізичних наук.
2. Короткий історичний нарис розвитку сучасних уявлень про будову матерії і речовини. Роль дисципліни в прискоренні науково-технічного прогресу.
3. Необхідність введення квантових представлень про будову речовини.
4. Проблема рівноважного випромінювання: закони і закономірності
5. Основи квантової теорії. Світлові кванти.
6. Фотоефект. Ефект Комптона.

7. Проходження заряджених частинок через речовину. Оптико-механічна аналогія.
8. Корпускулярні і хвильові властивості частинок. Гіпотеза де Бройля і її експериментальне підтвердження.
9. Рівняння монохроматичної лінії де Бройля. Властивості хвиль де Бройля.
10. Співвідношення невизначеностей Гейзенберга, їх тлумачення і використання.
11. Моделі атома: від Томсона до Бора.
12. Модель атома Томсона.
13. Досліди Резерфорда. Планетарна модель атома.
14. Постулати Бора. Теорія Бора для атома водню, кругові орбіти.
15. Труднощі теорії Бора. Атом водню по Бору-Зоммерфельду.
16. Досліди Франка Герца. Доказ існування дискретних енергетичних рівнів атомів.
17. Основи квантової механіки. Оператори фізичних величин. Квантова модель атома.
18. Рівняння Шредінгера і фізичний зміст його розв'язку.
19. Власні функції і власні значення у задачах квантової механіки.
20. Розв'язок рівняння Шредінгера для потенціальної ями, потенціального бар'єру, гармонічного осцилятора.
21. Атом водню. Фізичний зміст квантових чисел.
22. Атом гелію. Принцип Паулі.
23. Опис багато електронних атомів.
24. Векторна модель атома і систематика атомних станів.
25. Загальні принципи зв'язку Рассела-Саундерса і  $j-j$ -зв'язки. Приклади систематики станів по вказаних типах зв'язку.

26. Заповнення електронних оболонок атомів. Фізична основа періодичної системи Д.І Менделєєва і її методичне значення.
27. Будова і спектри молекул.
28. Основи фізики твердого тіла.
29. Атом в зовнішньому електромагнітному полі.
30. Гіромагнітне відношення для орбітальних моментів. Магнетон Бора.
31. Енергія атома в магнітному полі. Нормальний і аномальний ефект Зеемана.
32. Атом у зовнішньому електричному полі.
33. Ефект Штарка. Лінійний і квадратичний Штарк-ефект.
34. Атомне ядро. Склад ядра. Заряд і маса атомних ядер.
35. Спін та магнітний момент ядра. Енергія зв'язку ядра.
36. Дефект маси ядра. Ядерні сили. Енергія синтезу.
37. Квантово-механічний опис ядерних станів.
38. Типи фундаментальних взаємодій і ядерні сили. Носії взаємодії.
39. Основні властивості ядерних сил: інтенсивність, насичення, зарядова незалежність, обмінний характер.
40. Основні рівняння та характеристики станів.
41. Бозони та ферміони. Принцип Паулі. Обмінний характер взаємодій.
42. Кварк-глюонна структура адронів.
43. Моделі атомних ядер.
44. Фізичне обґрунтування оболонкової структури ядра. Потенціал усередненого ядерного поля.

45. Сильна спіно-орбітальна взаємодія. Одночастинкові стани в усередненому ядерному потенціалі.
46. Пояснення спінів і парностей станів ядер в моделі оболонки.
47. Поняття про багаточастинкову модель оболонки.
48. Колективні властивості ядер. Обертальні і коливальні стани ядер. Деформовані ядра.
49. Радіоактивність. Природна і штучна радіоактивність.
50. Закон радіоактивного розпаду.
51. Альфа- і бета-розпади. Гамма-промені.
52. Радіоізотопний аналіз.
53. Дія іонізуючого випромінювання на біологічні об'єкти.
54. Взаємодія ядерного випромінювання з речовиною.
55. Детектори і прискорювачі. Сучасні методи реєстрації ядерного випромінювання.
56. Сучасні методи одержання пучків високих енергій. Зустрічні пучки. Адронний колайдер.
57. Ядерні реакції. Перерізи реакцій. Канали ядерних реакцій. Закони збереження.
58. Трансуранові елементи. Поділ ядра. Реакція синтезу.
59. Загальні властивості і класифікація елементарних частинок.
60. Основи релятивістської квантової механіки як теорії елементарних частинок.
61. Механізми взаємодії у світі частинок. Класифікація взаємодій.
62. адрони, калібровні бозони. Частинки, античастинки.
63. Лептони Ядерні реакції у зірках. Космічне випромінювання. Нейтрино. Прихована маса Всесвіту.

## Рекомендовані джерела інформації

### Основна література

1. Білий М.У. Атомна фізика. - Київ: Вища школа, 1973.
2. Білий М.У., Охріменко Б.А. Атомна фізика. - Київ: Вища школа, 1984.
3. Шпольский Э.В. Атомная физика, т.1,2. М.: Наука, 1974.
4. Матвеев А.Н. Атомная физика, М.: Высшая школа, 1989.
5. Гольдин Л.Л., Новикова Г.И. Введение в квантовую физику. - М.: Наука, 1988.
6. Вихман Э., Квантовая физика. - М.: Наука, 1974.
7. Сивухин Д.В. Курс общей физики. - Т.5, ч.1. - М.: Наука, 1988.
8. Сивухин Д.В. Атомная и ядерная физика. - В 2-х частях, ч.1. Атомная физика. - М.: Наука, 1986.
9. Иродов Е.И. Задачи по общей физике. – М: Наука, 1979. – 368 с.
10. Савельев И.В. Сборник вопросов и задач по общей физике. – М: Наука, 1982. – 272 с.
11. Загальна фізика. Збірник задач. За заг. ред. Горбачука І.Т. – К: Вища школа, 1993. – 360 с.
12. Булавін Л.А., Тартаковський В.К. Ядерна фізика: Підручник. –К.: Знання. 2005. – 431 с.: іл.
13. Чолпан П.П. Фізика: Підручник. - К.: Вища шк., 2003 –567 с.: іл.
14. Бушок Г.Ф., Венгер Є.Ф. Курс фізики: В 3 кн. Кн.3 Оптика . Фізика атома та атомного ядра: Навч.посіб. – К.: Вища школа., 2003. – 311с.: іл.
15. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Ч. 2. Атомная и ядерная физика. – М.: Наука, 1989.
16. Вальтер А.К., Залюбовский И.И. Ядерная физика. Х.: Основа, 1991. - 480 с.
17. Ракобольская И.В. Ядерная физика: Учеб.пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1981. – 280 с.
18. Альперін, М.М. Манакін Л.О. Фізика ядра та елементарних частинок. – К.: Вища школа, 1979. - 152 с.

19. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. Учебник для вузов. Кн. 1 Физика атомного ядра. Ч.1 Свойства нуклонов, ядер и радиоактивных излучений. - М.: Энергоатомиздат, 1993. - 376 с.: ил.
20. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. Учебник для вузов. Кн. 2 Ядерные взаимодействия. - М.: Энергоатомиздат, 1993. -376 с.: ил.

### Допоміжна література

1. Кучерук І.М., Дущенко В.П. Загальна фізика. Оптика. Квантова фізика. – К: Вища школа, 1991. – 464 с.
2. Борн М. Атомная фізика. - М.: Мир, 1965.
3. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике. - Т.3,8,9. - М.: Мир, 1967.
4. Ферми Э. Квантовая механика (конспект лекций). - М.: Мир, 1968.
5. Фано У., Фано Л. Физика атомов и молекул. - М.: Наука, 1980.
6. Флюгге З. Задачи по квантовой механике. - Т.1,2. - М.: Мир, 1974.
7. Милантьев В.П. Атомная физика. -М.: Из-во Университета дружбы народов, 1999.
8. Кучерук І.М., Горбачук І.Т. Оптика. Квантова фізика. Т.3. – Київ: Техніка. 1999. -511 с.
9. Бушок Г.Ф., Венгер Є.Ф. Курс фізики. Оптика. Фізика атома та атомного ядра. Книга 3. Вища школа. 2003. -311 с.
10. Балаш В.А. Сборник задач по курсу общей физики. М. Просвещение., 1978. - 207 с.
11. Ситенко О.І., Тартаковський В.К. Теорія ядра. Навчальний посібник. – К.: Либідь, 2000. - 607 с.
12. Михайлов В.М., Крафт О.Е. Ядерная физика. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1988. - 328 с.

### Методичне забезпечення

1. Загальна фізика. Лабораторний практикум. За заг. ред. Горбачука І.Т. – К: Вища школа, 1992. – 510 с.
2. Шимон Л.Л., Скубенич В.В., Семенюк Я.М., Повч М.М. Фізичний практикум “Атомна фізика”. - Ужгород: в-цтво УжНУ, 2004.
3. Методичні вказівки до лабораторних робіт фізичного практикуму з фізики атомного ядра і елементарних частинок. Ч. 1. – Ужгород: УжДУ, 1988.- 112 с.
4. Методичні вказівки до лабораторних робіт фізичного практикуму з фізики атомного ядра і елементарних частинок. Ч. 2. – Ужгород: УжДУ, 1989. - 101 с.
5. Парлаг О.М., Парлаг О.О., Плекан Р.М. Детектори ядерних випромінювань (спецлабораторія): Навчально-методичний посібник. – Ужгород: В-цтво УжНУ «Говерла», 2013. – 102 с.
6. Парлаг О.М., Парлаг О.О., Пилипченко В.А., Плекан Р.М. Фізпрактикум з ядерної фізики: Навчально-методичний посібник. – Ужгород: В-цтво УжНУ «Говерла», 2013. – 141 с.
7. Таблиці значень основних фізичних констант. Маса деяких стабільних та радіоактивних ізотопів. Періодична система Менделєєва. Таблиці ізотопів та ізомерів.
8. Презентації, транспаранти, слайди до лекцій, електронні посібники.

### Інформаційні ресурси в мережі Інтернет

1. Атомна та ядерна фізика (підручники, лекції, задачники). – Режим доступу:  
<http://fizmatlibrary1.at.ua/index/0-5>.
2. Матеріали онлайн РФФ КНУ ім. Т.Шевченка. – Режим доступу:  
<http://www.rpd.univ.kiev.ua/online/index.php>.
3. Електронная библиотека: книги в свободном доступе. – Режим доступа:  
<http://by-chgu.ru/category/physics>.



4. Фізика: учебники, книги, методички. – Режим доступа:  
<http://djvu-student.narod.ru/26-fizika/uchebniki-djvu-metodichki.html>.
5. Ишханов Б.С. Кебин Э.И. Шпаргалка. Основные вопросы по курсу «Физика ядра и частиц». – Режим доступа: <http://nuclphys/npi.msu.ru/spargalka/>
6. Методичні матеріали відділення фізики ядра УжНУ : [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: [http://hki.at.ua/load/jaderna\\_fizika/](http://hki.at.ua/load/jaderna_fizika/)
7. Дисципліна "Фізика ядра та елементарних частинок": [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://sites.google.com/site/fizikayadra13/>
8. Ядерная физика в интернете: [Електрон. ресурс]. – Режим доступу:  
<http://nuclphys.sinp.msu.ru/>

### **Інструменти, обладнання та програмне забезпечення**

Технічні засоби: мультимедійний проектор.

Обладнання: персональний комп'ютер, ноутбук, планшет.

Програмне забезпечення: Windows 10, Microsoft Power Point, інформаційні ресурси в мережі Інтернет, платформи для дистанційного навчання Moodle, E-learn, Google Meet та ін.

**Плекан Р.М.**

## **АТОМНА І ЯДЕРНА ФІЗИКА**

**Методичні рекомендації з курсу «Загальна фізика»  
(для студентів спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»)**

Формат 60×84/16. Умовн. друк. арк. 2,44. Зам. № 84. Наклад 100 прим.  
Видавництво УжНУ "Говерла". м. Ужгород, вул. Капітульна, 18. Тел.: 3-32-48.

*Свідоцтво про внесення до державного реєстру  
видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції –  
Серія 3т № 32 від 31 травня 2006 року*