

**Київський національний університет імені Тараса Шевченка**

**Радіофізичний факультет**

**Кафедра математики та теоретичної радіофізики**

**Укладач:** докт. фіз.-мат. наук, проф. Висоцький В.І.

*Ядерна фізика та астрофізика*

**РОБОЧА НАВЧАЛЬНА ПРОГРАМА**

для студентів спеціальності 070201 «Радіофізика і електроніка»

**Затверджено**  
на засіданні кафедри МТРФ  
Протокол № 6  
від «24» травня \_\_2010р.  
Зав. кафедри

\_\_\_\_\_ *Висоцький В.І.*

на засіданні кафедри електрофізики  
Протокол №  
від « » травня \_\_2010р.  
Зав. кафедри

\_\_\_\_\_ *Савенков С.М.*

Декан факультету

\_\_\_\_\_ *Анісімов І.О.*

**КИЇВ – 2010**

Робоча навчальна програма з дисципліни «Фізика мікро та макросвіту».  
Укладач: доктор фіз.-мат. наук, професор Висоцький В.І.

**Лектор:** доктор фіз.-мат. наук, проф. Висоцький В.І.

**Викладачі:** докт. фіз.-мат. наук, проф. Висоцький В.І.  
асистент Фелінський Г.С.  
асистент Карлаш А.Ю.

## Вступ

Дисципліна «Фізика мікро та макросвіту» є базовою нормативною дисципліною циклу професійної підготовки фахівців рівня "бакалавр" для спеціальності «радіофізика і електроніка». Викладається в V11 семестрі в обсязі 4 кредитів за Європейською Кредитно-Трансферною Системою ECTS, в тому числі 72 години аудиторних занять (36 годин лекцій, 36 години практичних занять), а також 36 годин лабораторних занять (вони проводяться в V семестрі разом з циклом лабораторних занять по атомній фізиці і закінчуються спільним заліком по дисципліні "Атомна фізика") і 50 годин самостійної роботи. Підсумковий контроль у V11 семестрі проводиться у формі екзамену.

### **Мета і завдання навчальної дисципліни «Фізика мікро та макросвіту»:**

ознайомлення студентів з сучасними представленнями та сучасним станом ядерної фізики і астрофізики та засвоєнні базових понять, які необхідні фахівцям з прикладної фізики.

Вивчаються сучасні представлення про властивості і моделі ядер, основні типи ядерних реакцій за участю гама-квантів, нейтронів і заряджених частинок. Розглядаються механізми ланцюгових реакцій та особливості реакторів ділення і термоядерного синтезу з інерційним та довготривалим утриманням плазми (включаючи некерований вибух). Розглядається систематика елементарних частинок та моделі кварків і струн.

Вивчається принцип дії основних типів прискорювачів, основні поняття дозиметрії і процеси взаємодії гама-квантів, нейтронів, електронів і важких йонів з різними середовищами.

Розглядаються моделі реалізації Великого Вибуху і основні етапи розвитку Всесвіту, включаючи утворення зірок, їх перетворення, процеси нуклеосинтезу, проблеми темної матерії та темної енергії та кінцевий стан еволюції Всесвіту (білі карлики, вибухи Наднових, нейтронні зірки, чорні діри).

### **Вимоги до знань та вмінь:**

*Студент повинен знати:* основні поняття, моделі та методи ядерної фізики (властивості та моделі ядер, механізми та особливості ядерних реакцій, методи та прилади ядерної фізики, методи та системи для використання ядерної енергії, основи дозиметрії) та астрофізики.

*Студент повинен вміти:* застосовувати основні поняття та методи ядерної фізики для розв'язання модельних та ряду реальних задач.

### **Місце в структурно-логічній схемі спеціальності.**

Нормативна навчальна дисципліна «Фізика мікро та макросвіту» є складовою циклу професійної підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр». Дисципліна «Фізика мікро та макросвіту» базується на наступних нормативних навчальних дисциплінах: «Атомна фізика», «Квантова механіка», «Електродинаміка», «Статистична фізика» та різні розділи вищої математики.

**Система контролю знань та умови підсумкового контролю.** Навчальна дисципліна «Фізика мікро та макросвіту» оцінюється за модульно-рейтинговою системою. Вона складається з трьох модулів - по 2 змістовних модулів (ЗМ-1, ЗМ-2) та підсумкового модуля-іспиту (КПМ) у V11 семестрі.

Результати навчальної діяльності студентів оцінюються за 100 - бальною шкалою.

**Форми поточного контролю:** оцінювання домашніх самостійних завдань та контрольних робіт виконаних студентами під час практичних занять (кількість балів зазначена в табл. 1). **Модульний контроль:** 2 модульні контрольні роботи на протязі V11-й семестру (кількість балів зазначена в табл. 1, модульні контрольні роботи проводяться викладачем на семінарських заняттях в обсязі 2 годин).

**Підсумкова оцінка** розраховується за **накопичувальною системою**. При цьому максимальна кількість балів встановлюється наступним чином:

- за змістовий модуль №1 – **30 балів**;
- за змістовий модуль №2 – **30 балів**;

### V-й семестр

Лабораторні роботи по окремим розділам ядерної фізики (кількість годин - 36, залік - 2)

1. Визначення енергії гамма-квантів за поглинанням у речовині
2. Визначення енергії альфа-частинок за їх пробігом у повітрі
3. Визначення максимальної енергії бета-частинок у спектрі
4. Визначення періоду піврозпаду довгоживучого бета-активного товстого препарату

проводяться разом з лабораторними роботами з атомної фізики і враховуються в обсяг кредитів по дисципліні "Атомна фізика".

### VІІ-й семестр

**Таблиця 1.**

Максимальна кількість балів	Вид контролю				
	Змістовий модуль № 1	Змістовий модуль № 2	Змістовий модуль № 3	Іспит (КПМ)	Підсумкова оцінка
за модульні контрольні роботи	<b>10</b>	<b>10</b>	-	<b>40</b>	<b>100</b>
за поточні контрольні роботи, активність на заняттях, виконання завдань самостійної роботи	<b>10</b>	<b>10</b>	-		
лабораторний практикум			<b>20</b>		
<b>Всього</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>40</b>	<b>100</b>

**Примітка.** Екзаменаційний білет складається з 4 питань (2 теоретичних і 2 практичних, кожне з яких оцінюється максимально у 10 балів). Студент, який не розв'язав жодного практичного завдання, отримує за комплексний підсумковий модуль (іспит) оцінку **0 балів**.

### Шкала відповідності

За 100-бальною шкалою	Оцінка за національною шкалою	
<b>90 – 100</b>	<b>5</b>	<b>відмінно</b>
<b>85 – 89</b>	<b>4</b>	<b>добре («дуже добре»)</b>
<b>75 – 84</b>		<b>добре</b>
<b>65 – 74</b>	<b>3</b>	<b>задовільно</b>
<b>60 – 64</b>		<b>задовільно («достатньо»)</b>
<b>35 – 59</b>	<b>2</b>	<b>незадовільно (повторне складання)</b>
<b>1 – 34</b>		<b>незадовільно (повторне вивчення)</b>

### Навчально-тематичний план лекцій і семінарських занять

№ теми	Назва лекції (тема семінару)	Кількість годин		
		Лекції	Семінари	Самостійна робота
<b>Змістовий модуль №1 «Структура та перетворення ядерної матерії»</b>				
1	Історія та передумови виникнення ядерної фізики. Характеристики ядерної матерії. Закони спонтанного розпаду	2		3
2	Моделі ядер (краплинна модель ядра)	2		2
3	Статистична модель ядра (модель Фермі-газу)	2		2
4	Оболонкова та узагальнена моделі ядра	2		3
5	Природа та характеристики ядерних сил (сильні, електромагнітні, слабкі)	2		4
6	Радіоактивні перетворення ядер. Альфа-розпад. Спонтанний поділ важких ядер. Бета процеси	2		2
7	Гама-випромінювання ядер. Ефект Месбауера	2		4
8	Ядерні реакції. Загальні властивості. Переріз ядерних реакцій при великій та малій енергії. Ендо- та екзоенергетичні реакції. Реакції за участю заряджених частинок.	2		3
9	Ядерні реакції за участю нейтронів та гама-квантів	2		2
1	Природна радіоактивність та закони спонтанного розпаду		2	
2-4	Особливості ядерних моделей		4	
6	Альфа-розпад важких ядер		2	
7	Спонтанний поділ. Бета процеси		2	
8	Гама-випромінювання ядер. Ефект Месбауера		4	
9	Ядерні реакції. Загальні властивості. Ядерні реакції за участю заряджених частинок		2	
Модульна контрольна робота № 1			2	
<b>ВСЬОГО</b>		<b>18</b>	<b>18</b>	<b>25</b>
<b>Змістовий модуль №2 «Використання ядерної енергії та проблеми астрофізики»</b>				
10	Використання керованих та некерованих реакцій ядерного ділення (стаціонарні та імпульсні ядерні реактори, неконтрольований ядерний вибух)	2		4
11	Проблема керованого ядерного синтезу (критерій Лоусона, магнітні системи типу ТОКА-МАК, імпульсний термояд з інерційним утриманням гарячої плазми на основі лазерних та пучкових драйверів)	2		4

12	Експериментальні методи досліджень в ядерній фізиці (лінійні та циклічні прискорювачі, накопичувальні кільця; нові методи досліджень - індукційні генератори високої напруги, лазерні пучки як джерела електронів та йонів високої енергії)	2		4
13	Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною та біологічними системами. Дозиметрія іонізуючого випромінювання	2		3
14	Елементарні частинки, їх склад та класифікація. Кварки. Елементи теорії струн	2		2
15	Критичні та аномальні стани речовини в лабораторії та у Всесвіті. Масштаб процесів (густина, розмір, час, енергія, частота). Фазові стани речовини (розріджена та вироджена плазма, газ, конденсована речовина, кварк-глюонна плазма, космічні промені).	2		2
16	Сучасні проблеми космології (Великий Вибух, будова Всесвіту, проблеми космології, темна матерія та темна енергія)	2		2
17	Етапи нуклеосинтезу та проблема утворення елементів та ізотопів у Всесвіті	2		2
18	Зірки, їх будова, ядерні реакції в їх об'ємі та їх еволюція. Типи зірок. Вибух Наднових зірок. Пульсари та нейтронні зірки. Планети.	2		2
9	Ядерні реакції за участю заряджених частинок		2	
10-11	Ядерні реакції за участю нейтронів		4	
12	Реакції ділення ядер, термоядерні реакції		2	
13	Прискорювачі заряджених частинок		2	
14	Гальмування частинок в середовищі		1	
15	Дозиметрія		1	
16-17	Прикладні задачі астрофізики		4	
Модульна контрольна робота № 2			2	
<b>ВСЬОГО</b>		<b>18</b>	<b>18</b>	<b>25</b>
<b>ВСЬОГО ЗА СЕМЕСТР</b>		<b>36</b>	<b>36</b>	<b>50</b>

Загальний обсяг в V11 семестрі - **122 год.**,

Лекції – **36 год.**

Семінарські – **36 год.**

Лабораторні роботи - **?? Петричук**

Самостійна робота - **50 год.**

## ЗМІСТ ЛЕКЦІЙ І СЕМІНАРІВ ЗА ТЕМАМИ

### Змістовий модуль №1 «Структура та перетворення ядерної матерії»

**Лекція № 1.** Історія та передумови виникнення ядерної фізики. Характеристики ядерної матерії. Закони спонтанного розпаду. (2 год).

**Семінар № 1.** Природна радіоактивність та закони спонтанного розпаду. (2 год).

**Завдання для самостійної роботи: (3 год).**

Вивчення матеріалу лекції, опрацювання семінарських занять, виконання домашнього завдання.

**Рекомендована література:** [1,2,5,6].

**Лекція № 2. Моделі ядер (краплинна модель ядра) (2 год).**

Розрахунок основних складових повної енергії обмеженої по об'єму ядерної матерії. Отримання формули Вайцекера. Доріжка стабільності.

**Семінар № 2. Краплинна модель ядра. (2 год).**

Розрахунок енергії зв'язку на основі краплинної моделі для різних ізотопів.

**Завдання для самостійної роботи (2 год).**

Вивчення матеріалу лекції, опрацювання семінарських занять, виконання домашнього завдання.

**Рекомендована література:** [1-6].

**Лекція № 3. Статистична модель ядра (модель Фермі-газу) (2 год).**

Теорія систем виродженого Фермі-газу систем протонів та нейтронів. Тиск частинок, середня енергія, умови стійкості.

**Семінар № 3. Статистична модель ядра (модель Фермі-газу) (2 год).**

Розрахунок статистичної моделі ядра для різних ізотопів.

**Завдання для самостійної роботи (2 год).**

Опрацювання семінарських занять, виконання домашнього завдання.

**Рекомендована література:** [1-6].

**Лекція № 4. Оболонкова та узагальнена моделі ядра (2 год)**

**Семінар № 4. Альфа-розпад важких ядер (2 год).**

Розрахунок ймовірності тунельного ефекту при альфа-розпаді важких ядер з врахуванням присутності (або відсутності) атомних електронів.

**Завдання для самостійної роботи (3 год).**

Вивчення матеріалів лекції, опрацювання семінарських занять, виконання домашнього завдання.

**Рекомендована література:** [1-6].

**Лекція № 5. Природа та характеристики ядерних сил (сильні, електромагнітні, слабкі) (2 год).**

Розгляд електромагнітної взаємодії з введенням віртуальних фотонів. Розгляд пі-мезонної моделі сильної міжнуклонної взаємодії. Розгляд моделі слабкої взаємодії на основі гіпотези про важкі бозони, які є її переносником.

**Семінар № 5. Спонтанний поділ ядер. Бета процеси (2 год).**

Аналіз бета-розпаду ядер, К-захоплення та конверсійного розпаду.

**Завдання для самостійної роботи (4 год).**

Вивчення матеріалів лекції, опрацювання семінарських занять, виконання домашнього завдання.

**Рекомендована література:** [1-3,5,6].

**Лекція № 6. Радіоактивні перетворення ядер. Альфа-розпад. Спонтанний поділ важких ядер. Бета процеси (2 год).**

**Семінар № 6. Гама-випромінювання ядер (2 год).**

**Завдання для самостійної роботи (2 год).**

Вивчення матеріалів лекції, опрацювання семінарських занять, виконання домашнього завдання.

**Рекомендована література:** [1-6].

**Лекція № 7.** Гама-випромінювання ядер. Ефект Месбауера (2 год).

Збуджені стани ядер, мультипольні переходи. Фізичні основи ефекту Месбауера.

**Семінар № 7.** Ефект Месбауера для різних ізотопів. Використання ефекту Месбауера (2 год).

**Завдання для самостійної роботи** (4 год).

Вивчення матеріалів лекції, опрацювання семінарських занять, виконання домашнього завдання.

**Рекомендована література:** [1-3,5,6].

**Лекція № 8.** Ядерні реакції. Загальні властивості. Переріз ядерних реакцій при великій та малій енергії. Ендо- та екзоенергетичні реакції. Реакції за участю заряджених частинок. (2 год).

**Семінар № 8.** Ядерні реакції. Загальні властивості. Ядерні реакції за участю заряджених частинок (2 год).

**Завдання для самостійної роботи** (3 год).

Вивчення матеріалів лекції, опрацювання семінарських занять, виконання домашнього завдання.

**Рекомендована література:** [1-3,5,6].

**Лекція № 9.** Ядерні реакції за участю нейтронів та гама-квантів (2 год).

**Семінар № 9.** Модульна контрольна робота №1 (2 год).

**Завдання для самостійної роботи** (2 год).

Вивчення матеріалів лекції, опрацювання семінарських занять, виконання домашнього завдання.

**Рекомендована література:** [1-6].

### Контрольні запитання

1. Чим відрізняються ізотопи, ізобари, ізомери та ізотони?
2. Що є спільного між краплинною моделлю ядра і краплею води?
3. Яка фізична причина залежності енергії ядра від парності та непарності кількості різних нуклонів?
4. Які основні типи взаємодії нуклонів враховуються при побудові оболонкової моделі ядра?
5. Пояснити, чому можна вважати нуклони частинками, які вільно рухаються в ядрі.
6. Який знак усередненого по часу електричного заряду в центрі протону та на периферії нейтрону?
7. Яка умова спонтанного ділення важких ядер?
8. Яка основна відмінність між оболонковою та узагальненою моделями ядра?
9. Перелічити (в порядку важливості) основні сили, які впливають на стабільність ядер.
10. Як впливає наявність атомних електронів біля ядра на ймовірність альфа-розпаду та процес гама-випромінювання ядер?
11. Якщо протони і внутрішньоядерні кластери (наприклад, альфа-частинки) взаємно відштовхуються в межах ядра і це відштовхування продовжується за його межами, то чому існує кулонівський потенціальний бар'єр, який перешкоджає їх прямому вильоту і вильоту альфа-частинок із сильно збуджених ядер?
12. Чим відрізняються електромагнітні переходи між рівнями енергії в атомах та ядрах?



13. В чому полягає суть ефекту Месбауера і від чого він залежить?
14. В чому схожість і відмінність опису системи частинок про побудові теорії атома і теорії ядра?
15. Чи залежить ймовірність ядерної реакції типу  $a+A \rightarrow B+b$  від розміру і форми області, де відбувається ця реакція?

## **Змістовий модуль №2 «Використання ядерної енергії та проблеми астрофізики»**

**Лекція № 10.** Використання керованих та некерованих реакцій ядерного ділення (стаціонарні та імпульсні ядерні реактори, неконтрольований ядерний вибух) **(2 год.)**

Розгляд умов та динаміки ядерного ділення на основі ізотопів урану

**Семінар № 10.** Ядерні реакції за участю заряджених частинок **(2 год.)**

**Завдання для самостійної роботи:** **(4 год.)**

Вивчення матеріалів лекції, опрацювання семінарських занять, виконання домашнього завдання.

**Рекомендована література:** [1,2,5,6].

**Лекція № 11.** Проблема керованого ядерного синтезу **(2 год.)**

Критерій Лоусона, магнітні системи типу ТОКАМАК, імпульсний термояд з інерційним утриманням гарячої плазми на основі лазерних та пучкових драйверів.

**Семінар № 11.** Ядерні реакції за участю нейтронів **(2 год.)**

**Завдання для самостійної роботи:** **(4 год.)**

Вивчення матеріалів лекції, опрацювання семінарських занять, виконання домашнього завдання.

**Рекомендована література:** [1,2,5,6].

**Лекція № 12.** Експериментальні методи досліджень в ядерній фізиці (лінійні та циклічні прискорювачі, накопичувальні кільця; нові методи досліджень - індукційні генератори високої напруги, фокусовані імпульси фемтосекундного лазера як джерела гама-квантів, електронів та йонів надвисокої енергії) **(2 год.)**

**Семінар № 12.** Реакції ділення ядер, термоядерні реакції **(2 год.)**

**Завдання для самостійної роботи:** **(4 год.)**

Вивчення матеріалів лекції, опрацювання семінарських занять, виконання домашнього завдання.

**Рекомендована література:** [1,2,5,6].

**Лекція № 13.** Взаємодія іонізуючого випромінювання з речовиною та біологічними системами. Дозиметрія іонізуючого випромінювання **(2 год.)**

**Семінар № 13.** Прискорювачі заряджених частинок **(2 год.)**

**Завдання для самостійної роботи:** **(3 год.)**

Вивчення матеріалів лекції, опрацювання семінарських занять, виконання домашнього завдання.

**Рекомендована література:** [1,2,5,6].

**Лекція № 14.** Елементарні частинки, їх склад та класифікація. Кварки. Елементи теорії струн **(2 год.)**

**Семінар № 14.** Гальмування частинок в різних типах середовищ (конденсовані середовища, гази, вода, біологічна тканина). Дозиметрія іонізуючого випромінювання (2 год).

**Завдання для самостійної роботи:** (2 год).

Вивчення матеріалів лекції, опрацювання семінарських занять, виконання домашнього завдання.

**Рекомендована література:** [1-3,5,6].

**Лекція № 15.** Критичні та аномальні стани речовини в лабораторії та у Всесвіті (2 год).

**Семінар № 15.** Прикладні задачі астрофізики (2 год).

**Завдання для самостійної роботи:** (2 год).

Вивчення матеріалів лекції, опрацювання семінарських занять, виконання домашнього завдання.

**Рекомендована література:** [5,7,8].

**Лекція № 16.** Сучасні проблеми космології (Великий Вибух, будова Всесвіту, проблеми космології, темна матерія та темна енергія) (2 год).

**Семінар № 16.** Прикладні задачі астрофізики (2 год).

**Завдання для самостійної роботи:** (2 год).

Вивчення матеріалів лекції, опрацювання семінарських занять, виконання домашнього завдання.

**Рекомендована література:** [7-9].

**Лекція № 17.** Етапи нуклеосинтезу в природі та проблема утворення елементів у Всесвіті (2 год).

**Семінар № 17.** Прикладні задачі астрофізики (2 год).

**Завдання для самостійної роботи:** (2 год).

Вивчення матеріалів лекції, опрацювання семінарських занять, виконання домашнього завдання.

**Рекомендована література:** [7-9].

**Лекція № 18.** Зірки, їх будова, ядерні реакції в їх об'ємі та їх еволюція. Типи зірок. Вибух Наднових зірок. Пульсари та нейтронні зірки. Планети. (2 год).

**Семінар № 18.** Модульна контрольна робота №2 (2 год).

**Завдання для самостійної роботи:** (2 год).

Вивчення матеріалів лекції, опрацювання семінарських занять, виконання домашнього завдання.

**Рекомендована література:** [7-9].

## Контрольні запитання

1. Чим відрізняється безбар'єрна ядерна реакція від безпорогової?
2. Які з ядер  $U^{235}$  та  $U^{238}$  можуть ділитися під дією швидких та повільних нейтронів і чому?
3. Чи може опромінення ядра потоком нейтрино або антинейтрино (потоком електронів або позитронів) привести до перетворення протонів в нейтрони або нейтронів в протони? Пояснити і записати умову.
4. Чому в некерованому ядерному вибуху (в бомбі) не використовуються загальмовувачі нейтронів?
5. За рахунок яких продуктів ядерного розпаду відбувається керування роботою ядерного реактора?
6. Для чого в реакторах використовуються загальмовувачі нейтронів? Чи можлива робота реактора без них?
7. Яким умовам повинна відповідати речовина в ядерних реакторах для гальмування нейтронів і чому для цієї мети використовується не легка, а важка вода?
8. Якими процесами визначається оптимальна температура в термоядерному реакторі?
9. Яка з двох типів реакцій ( $d+t$  синтез та ділення  $U$ ) є більш ефективною з точки зору енергетики?
10. Чи може ланцюгова реакція ядерного ділення проходити в незбагаченому урані?
11. По якому принципу елементарні частинки об'єднуються в лептони та адрони, мезони та баріони?
12. Чому нерелятивістський вироджений електронний газ при стисканні стає більш ідеальним.
13. Чому швидкі протони при гальмуванні в середовищі зупиняються приблизно в одній області, а електрони тієї самої енергії можуть зупинитися в будь якій точці на шляху гальмування?
14. Чому біологічна дія нейтронів значно істотніша, ніж дія протонів з тією ж енергією?
15. Які є підтвердження існування темної матерії?
16. Чим обмежений час існування зірки в стані карлика?
17. Чим відрізняється вибух Наднової 1-го та 2-го типів?

## Перелік джерел інформації

### Основна література:

1. Вальтер А.К, Залюбовский И.И., Ядерная физика., Х., 1991, 479с.
2. Широков Ю.М., Юдин К.П., Ядерная физика., М., 1972., 672с.
4. Маляров В.В. Основы теории атомного ядра, М., 512 с.
5. Давыдов А.С. Теория атомного ядра, 1963
6. Сивухин Д.В., Общий курс физики., М., 1986, т.5, 416 с.
7. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика, 1982, 588 с.
8. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Строение и эволюция Вселенной
9. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Релятивистская астрофизика
10. Силк Дж., Большой взрыв, М., 1992, 392с.

### Збірники задач

1. И.Е.Иродов, Сборник задач по атомной и ядерной физике, изд.3, 1963