

**Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я.Усикова**

**Національні академія наук України**

Затверджую

Директор ІРЕ ім. О.Я. Усикова

НАН України



П.М.Мележик

02 2021 р.

**ВИБРАНІ ПИТАННЯ  
СУЧАСНОЇ ТЕОРЕТИЧНОЇ ФІЗИКИ**

(назва навчальної дисципліни)

**РОБОЧА ПРОГРАМА**

**навчальної дисципліни**

**з підготовки доктора філософії**

**рівень підготовки: ТРЕТІЙ (ОСВІТНЬО-НАУКОВИЙ)**

(назва ступеня вищої освіти)

**галузь знань: 01 природничі науки**

(шифр і назва галузі знань)

**спеціальність – 014 «Фізика та астрономія»**

(код і назва спеціальності)

**для аспірантів 2 курсу 4 семестру**

**мова навчання – українська**

**Харків, 2021**

**Розробники програми:**

чл.-кор. НАН України, д.ф.-м.н., проф. Ямпольський В.О.; *В.О.*  
д.ф.-м.н., проф. Кац О.В.; *А.В.*  
д.ф.-м.н., проф. Усатенко О.В.; *О.У.*  
к.ф.-м.н., доц. Майзеліс З.О. *З.О.*

**РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Декан фізичного факультету ХНУ ім. В.Н. Каразіна,  
д.ф.-м.н., проф. Вовк Р.В.

Завідувач кафедри теоретичної фізики фізичного факультету  
ХНУ , ім. В.Н. Каразіна, к.ф.-м.н., доц. Рашба Г.І.

Обговорено та затверджено Вченою радою Інституту  
Протокол №3 від 11.02.2021 року.

## ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Вибрані питання сучасної теоретичної фізики» складена відповідно до Освітньо-наукової програми Інституту радіофізики та електроніки ім. О.Я.Усикова НАН України

на третьому освітньо-науковому рівні

(назва рівня вищої освіти)

галузі знань 109 «Природничі науки»

(шифр і назва галузі знань)

спеціальності 104 «Фізика та астрономія»

(код і назва спеціальності)

### Опис навчальної дисципліни

Освітньо-науковий рівень вищої освіти передбачає здобуття особою теоретичних знань, умінь, навичок та інших компетентностей, достатніх для продукування нових ідей, розв'язання комплексних проблем у галузі професійної та/або дослідницької діяльності, оволодіння методологією наукової та педагогічної діяльності, проведення власного наукового дослідження, результати якого мають наукову новизну, теоретичне та практичне значення (Закон України «Про вищу освіту», 2014).

У рамках навчальної дисципліни аспірантам винесені питання ознайомлення та оволодіння знаннями про сучасні методи теоретичної фізики як основи для подальшого використання у практиці наукових досліджень, викладацької та іншої професійної діяльності, необхідні для вміння вирішувати сьогоденні проблеми загальної фізики, фізики твердого тіла, радіофізики, фізичної електроніки.

Згідно з навчальним планом вивчення дисципліни «Вибрані питання сучасної теоретичної фізики» здійснюється у 4 семестрі. Організація навчального процесу здійснюється за кредитно-трансферною системою. На вивчення навчальної дисципліни відводиться 150 годин, 5 кредитів ЄКТС.

**Статус навчальної дисципліни:** за вільним вибором.

**Предметом** вивчення навчальної дисципліни є сьогоденні уявлення про фізичні закони в областях механіки, електродинаміки, квантової механіки та статистичної фізики.

**Міждисциплінарні зв'язки:** відповідно до навчального плану, вивчення навчальної дисципліни «Вибрані питання сучасної теоретичної фізики» здійснюється, коли аспірантом набуті відповідні знання з основних базових дисциплін на III рівні вищої освіти, а також дисциплін: «Іноземна мова», «Філософія», «Методологія, технологія та організація наукових досліджень», з якими інтегрується програма наукової дисципліни. У свою чергу, дисципліна «Вибрані питання сучасної теоретичної фізики» формує засади поглибленого вивчення аспірантом спеціальних фізичних та фундаментальних теоретичних дисциплін (загальної фізики, фізики твердого тіла, радіофізики, фізичної електроніки).

### **1. Мета та завдання навчальної дисципліни**

1.1. **Метою викладання навчальної дисципліни «Вибрані питання сучасної теоретичної фізики»** є вивчення основних методів теоретичних досліджень та формування у аспірантів системи сучасних знань про фізичні закони в областях механіки, електродинаміки, квантової механіки та статистичної фізики, а також вміння практично застосувати ці знання у різних галузях фізики.

1.2. **Основними завданнями** вивчення дисципліни «Вибрані питання сучасної теоретичної фізики» є:

- Ознайомлення з варіаційними принципами механіки.
- Ознайомлення з гамільтоновим та лагранжевим формалізмами опису механічних систем.
- Ознайомлення з методами інтегрування рівнянь руху механічних систем.
- Ознайомлення з принципами та методами мікроскопічної та макроскопічної електродинаміки.

- Ознайомлення з основними принципами нерелятивістської квантової теорії.
- Ознайомлення з основними квантовими станами електромагнітного поля (вакуумні, фоківські, когерентні, стиснені).
- Ознайомлення з основними поняттями статистичної фізики та термодинаміки.
- Ознайомлення з методами статистичної фізики та термодинаміки.

### 1.3. Очікувані результати навчання з дисципліни:

1. Аспірант повинен знати варіаційні принципи механіки, методи інтегрування рівнянь руху механічних систем, принципи та методи мікроскопічної та макроскопічної електродинаміки, методи нерелятивістської квантової теорії, основні поняття та методи статистичної фізики та термодинаміки.
2. Аспірант повинен вміти вирішувати рівняння класичної механіки в ньютонівому та лагранжевому формалізмах, вирішувати рівняння руху заряду в полі для релятивістського та нерелятивістського режимів, вирішувати рівняння Максвелла для електростатичного, магнітостатичного та змінного електромагнітного полів в вакуумі та в суцільному середовищі, досліджувати енергетичні спектри простих квантових систем як за допомогою точного вирішення рівняння Шредінгера, так і наближеними методами, досліджувати еволюцію квантово-механічних систем за допомогою вирішення нестационарного хвильового рівняння, володіти технікою вторинного квантування, володіти методами феноменологічної термодинаміки, володіти розрахунковими методами квантової статистики ідеальних систем, володіти термодинамічними і статистичними методами теорії фазових перетворень, вміти розраховувати кінетичні коефіцієнти макроскопічних систем.

### 1. Програма навчальної дисципліни

Дисципліна	Модулі	Загальна кількість годин	Кредити ЄКТС	Лекції (годин)	Практичні та семінарські заняття	Самостійна робота
«Вибрані питання сучасної теоретичної фізики»	Модуль 1	150	5	30	0	120

#### **МОДУЛЬ 1.**

**Тема 1. Теоретична механіка.** Підхід Лагранжа та Гамільтона до аналізу фізичних систем. Рівняння руху. Закони збереження імпульсу, енергії та моменту імпульсу в механіці. Рівняння Гамільтона-Якобі та координати дія-час. Канонічні змінні та канонічні перетворення. Врахування затування у механічних системах. Коливальні системи. Період гармонічних коливань. Затухаючі коливання. Вимушені коливання. Резонанс у коливальних системах, параметричний резонанс. Нелінійні коливання. Особливі точки на фазовій площині, фазові траєкторії. Рух з декількома ступенями свободи, моди коливань. Континуальний перехід у системах з багатьма ступенями свободи. Хвильове рівняння. Коливання кристалів

**Тема 2. Електродинаміка.** Електромагнітне поле. Векторний та скалярний потенціали. Рівняння Максвелла у вакуумі. Хвильове рівняння. Лоренц-інваріантність рівнянь Максвелла. Чотиривимірний потенціал поля. Тензор енергії-імпульсу поля у вакуумі. Густина енергії. Потік енергії. Потік імпульсу. Монохроматичні хвилі. Рівняння Гельмгольца. Плоскі монохроматичні хвилі. Метали та напівпровідники. Електропровідність металів. Модель вільних електронів. Плазмова частота та частота зіткнень. Діелектрична проникність в моделі Друде-Лоренца. Плазмові коливання. Поверхневі електромагнітні хвилі (поверхневі плазмон-поляритони). Діелектрична проникність напівпровідників. Залежність діелектричної проникності напівпровідників від температури. Надпровідний стан. Ефект Холла. Збудження, заломлення та відбивання хвиль. Випромінювання зарядів при прискореному русі. Циклотронне випромінювання. Перехідне випромінювання. Випромінювання Вавілова-Черенкова. Граничні умови на межі поділу середовищ. Імпедансні умови на межі. Френелівські коефіцієнти (ФК) відбивання та проходження для ТЕ поляризованого випромінювання. Френелівські коефіцієнти відбивання та проходження для ТМ поляризованого випромінювання.

Залежність ФК від кута падіння на межу розділу діелектриків. Повне внутрішнє відбивання. Кут Брюстера. Мінімум відбивання та максимум поглинання при ковзному падінні ТМ поляризованого випромінювання на межі добре відбивального середовища (металу). Розсіювання та дифракція світла. Квантові властивості. Релеївське розсіювання світла на малих частинках. Теорія розсіювання Мі. Геометрична оптика. Дифракційні ґратки. Релеївські дифракційні аномалії. Резонансні дифракційні аномалії, що пов'язані із збудженням поверхневих хвиль. Резонансні дифракційні аномалії, що пов'язані із збудженням хвилевідних мод. Квантові числа фотонів. Закони збереження при взаємодії фотонів із частинками/квазічастинками. Когерентність світла.

**Тема 3. Квантова механіка.** Принцип додатковості. Хвильова функція. Статистична інтерпретація хвильової функції. Співвідношення невизначеності. Принцип відповідності. Принцип причинності у квантовій механіці. Оператори фізичних величин. Хвильове рівняння Шредінґера. Стационарні стани. Одновимірний осцилятор. Енергетичний спектр та хвильова функція електрона у постійному однорідному магнітному полі. Рівні Ландау. Двовимірний електронний газ. Графени. Квантовий ефект Холла. Метод факторизації у квантовій механіці. Оператори народження та знищення. Вторинне квантування систем бозонів та ферміонів. Квантування поля випромінювання. Вакуумні, фоківські, когерентні та стиснені стани електромагнітного поля. Ефекти Ааронова-Бома та Казіміра.

**Тема 4. Статистична фізика.** Математичний апарат статистичної фізики. Теорія імовірності. Розподіли Бернуллі, Пуассона і Гаусса. Закон великих чисел. Центральна гранична теорема. Нерівності Маркова та Чебишева. Характеристична функція. Розподіл Леві. Ергодична гіпотеза. Ансамблі статистичної механіки. Статистична рівновага. Ентропія. Температура. Функції розподілу мікроскопічного і канонічного ансамблів. Ідеальний газ і магнетик Ізінґа. Фазові переходи. Статистична радіофізика. Ергодичні і стационарні випадкові послідовності і процеси. Ланцюги та процеси Маркова. Кореляційні функції. Білий шум і процес Вінера. Флуктуаційні шуми в радіотехнічних ланцюгах.

## ПІДСУМКОВИЙ МОДУЛЬНИЙ КОНТРОЛЬ.

Екзамен.

### 2. Структура навчальної дисципліни

Структурна навчальної дисципліни	Кількість годин, з них			
	Всього	Аудиторних		Самостійна робота
		Лекцій	Практичних та семінарських занять	
Теоретична механіка	30	6	0	24
Електродинаміка	50	10	0	40
Квантова механіка	40	8	0	32
Статистична фізика	30	6	0	24
<b>Всього</b>	<b>150</b>	<b>30</b>	<b>0</b>	<b>120</b>

Примітка: 1 кредит ЄКТС – 30 год.

Аудиторне навантаження - 20%, самостійна робота - 80%.

### 3. Тематичний план лекцій

№ п/п	Тематика лекції	Години
1.	Теоретична механіка.	6
2.	Електродинаміка.	10
3.	Квантова механіка.	8
4.	Статистична фізика.	6
	<b>Разом</b>	<b>15</b>

#### 4. Тематичний план практичних та семінарських занять

№ п/п	Тематика практичних та семінарських занять	Години
	<b>Всього</b>	

#### 5. Завдання для самостійної роботи

№	Тема 1. Теоретична механіка	Кількість годин.
1.	Рівняння руху. Закони збереження імпульсу, енергії та моменту імпульсу в механіці.	3
2.	Канонічні змінні та канонічні перетворення. Врахування згасання у механічних системах.	3
3.	Коливальні системи. Період гармонічних коливань.	3
4.	Резонанс у коливальних системах, параметричний резонанс.	3
5.	Особливі точки на фазовій площині, фазові траєкторії.	3
6.	Рух з декількома ступенями свободи, моди коливань.	3
7.	Континуальних перехід у системах з багатьма ступенями свободи.	3
8.	Хвильове рівняння. Коливання кристалів.	3
	Разом	24

№	Тема 2. Електродинаміка	Кількість годин.
1.	Електромагнітне поле. Векторний та скалярний потенціали. Рівняння Максвелла у вакуумі.	4
2.	Хвильове рівняння. Лоренц-інваріантність рівнянь Максвелла.	4
3.	Тензор енергії-імпульсу поля у вакуумі. Густина енергії. Потік енергії.	4
4.	Модель вільних електронів. Плазмова частота та частота зіткнень. Діелектрична проникність в моделі Друде-Лоренця.	4
5.	Випромінювання зарядів при прискореному русі. Циклотронне випромінювання. Перехідне випромінювання. Випромінювання Вавілова-Черенкова.	4
6.	Залежність френелівських коефіцієнтів від кута падіння на межу розділу діелектриків. Повне внутрішнє відбивання. Кут Брюстера.	4
7.	Дифракційні ґратки. Релеївські дифракційні аномалії. Резонансні дифракційні аномалії, що пов'язані із збудженням поверхневих хвиль.	4
8.	Квантові числа фотонів.	4
9.	Закони збереження при взаємодії фотонів із частинками/квазічастинками.	4
10.	Когерентність світла.	4
	Разом	40

№	Тема 3. Квантова механіка	Кількість годин.
1.	Хвильове рівняння Шредінгера. Стаціонарні стани. Одновимірний осцилятор.	4
2.	Енергетичний спектр та хвильова функція електрона у постійному однорідному магнітному полі. Рівні Ландау.	4
3.	Двовимірний електронний газ. Графени. Квантовий ефект Холла.	4
4.	Метод факторизації у квантовій механіці. Оператори народження та знищення.	4
5.	Вторинне квантування систем бозонів та ферміонів.	4

6.	Квантування поля випромінювання.	4
7.	Вакуумні, фоківські, когерентні та стиснені стани електромагнітного поля.	4
8.	Ефекти Ааронова-Бома та Казиміра.	4
	Разом	32

№	Тема 4. Статистична фізика	Кількість годин.
1.	Математичний апарат статистичної фізики. Теорія імовірності. Розподіли Бернуллі, Пуассона і Гаусса. Закон великих чисел. Центральна гранична теорема.	4
2.	Ергодична гіпотеза. Ансамблі статистичної механіки. Статистична рівновага. Ентропія. Температура.	4
3.	Функції розподілу мікроканонічного і канонічного ансамблів.	4
4.	Ідеальний газ і магнетик Ізинга. Фазові переходи.	4
5.	Ергодичні і стаціонарні випадкові послідовності і процеси. Ланцюги та процеси Маркова. Кореляційні функції.	4
6.	Білий шум і процес Вінера. Флуктуаційні шуми в радіотехнічних ланцюгах.	4
	Разом	24
	<b>Разом:</b>	<b>120</b>

#### Орієнтовний перелік питань до підсумкового контролю

- Рівняння руху. Закони збереження імпульсу, енергії та моменту імпульсу вк механіці.
- Коливальні системи. Період гармонічних коливань.
- Резонанс у коливальних системах, параметричний резонанс.
- Хвильове рівняння. Коливання кристалів.
- Електромагнітне поле. Векторний та скалярний потенціали. Рівняння Максвелла у вакуумі.
- Модель вільних електронів. Плазмова частота та частота зіткнень. Діелектрична проникність в моделі Друде-Лоренца.
- Дифракційні ґратки. Релеївські дифракційні аномалії. Резонансні дифракційні аномалії, що пов'язані із збудженням поверхневих хвиль.
- Закони збереження при взаємодії фотонів із частинками/квазічастинками.
- Енергетичний спектр та хвильова функція електрона у постійному однорідному магнітному полі. Рівні Ландау.
- Двовимірний електронний газ. Графени. Квантовий ефект Холла.
- Вакуумні, фоківські, когерентні та стиснені стани електромагнітного поля.
- Ефекти Ааронова-Бома та Казиміра.
- Математичний апарат статистичної фізики. Теорія імовірності. Розподіли Бернуллі, Пуассона і Гаусса. Закон великих чисел. Центральна гранична теорема.
- Ергодична гіпотеза. Ансамблі статистичної механіки. Статистична рівновага. Ентропія. Температура.
- Ергодичні і стаціонарні випадкові послідовності і процеси. Ланцюги та процеси Маркова. Кореляційні функції.
- Білий шум і процес Вінера. Флуктуаційні шуми в радіотехнічних ланцюгах.

**7. Завдання для самостійної роботи:** опрацювання матеріалу згідно тематичного плану із застосуванням рекомендованої літератури, сучасних інформаційних технологій та спеціалізованих ресурсів в Інтернеті.

**8. Методи навчання.** Основними видами навчальних занять згідно з навчальним планом є лекції та самостійна робота. Теми лекційного курсу розкривають проблемні питання відповідних розділів дисципліни, передбачають застосування аспірантами методів дослідження у прак-

тиці вирішення наукових задач у галузі фізики.

Допоміжні методи навчання: пояснення, бесіда, розповідь, ілюстрація, спостереження, навчальна дискусія, обговорення теоретичного та/або науково-практичного питання, моделювання ситуації інтересу та опора на життєвий досвід.

**9. Методи оцінювання (контролю):** усний контроль (основне запитання, додаткові та допоміжні запитання); індивідуальне, фронтальне і комбіноване опитування; контроль практичних навичок.

**10. Форма поточного контролю успішності навчання:** оцінка з дисципліни визначається з урахуванням поточної навчальної діяльності аспіранта із відповідних тем. Максимальна поточна кількість балів, яку аспірант може набрати при вивченні дисципліни, становить 60 балів.

Поточний контроль проводиться у формі опитування, яке проводиться викладачем, або тестів, чи написання рефератів. Для визначення максимальної кількості балів, яку аспірант може отримати за тему, загальна кількість балів (60 балів) розбивається пропорційно кількості тем.

**11. Форма підсумкового контролю успішності навчання та критерії оцінювання.**

Максимальна поточна кількість балів – 60 балів, за результатами підсумкового модульного контролю – 40 балів, разом – 100 балів. Мінімальна поточна кількість балів, яку треба набрати для допуску до підсумкового контролю – 30 балів. Підсумковий модульний контроль вважається зарахованим при отриманні не менше 65% від максимальної кількості балів.

Оцінювання знань за кожне запитання під час підсумкового модульного контролю здійснюються наступним чином:

1-3 бали – аспірант здатен визначити загальне у поняттях або явищах, але присутні 4 і більше помилок;

4-8 балів – аспірант здатен визначити головне у поняттях або явищах, але припустився не-точностей, 2-3 помилок та не зробив достатньо аргументованих висновків;

9-15 балів – аспірант вміє визначати головне у поняттях або явищах, здатен зробити аргументовані висновки, що дозволило йому правильно і повністю розкрити питання, навести приклади явищ та процесів, зробити аргументовані висновки, помилки відсутні або несуттєві.

Поточний контроль, самостійна робота					
Розділи 1,4 опитування	Розділи 2,3 опитування	Тестові завдання (4)	Разом	Іспит	Сума
T1÷T3, T12÷T4	T4÷T7, T8÷T11	T1, T2 (1); T4, T5 (2); T9, T10 (3); T12, T13 (4) 4 тести × 5 бал. = 20 бал.			
8	12		40	40	100

T1, T2 ... – теми розділів.

**12. Методичне забезпечення:** навчальний контент (конспект, розширений план лекції, презентація з використанням мультимедійних пристроїв), план самостійної роботи, методичні рекомендації за темами, завдання для поточного та підсумкового контролю знань і вмінь здобувача. Аспірант має доступ до бібліотеки Інституту, де знаходяться підручники із загальних та спеціальних дисциплін, теоретичні та практичні видання в галузі фізики, періодичні наукові видання, методичні рекомендації, автореферати дисертацій та дисертації з фізики, точка доступу до Інтернет-баз даних.

## ПЕРЕЛІК НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ОСНОВНА ЛІТЕРАТУРА

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т.1. Механика. М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит. 1965.-203 с.



2. Бухгольц Н.Н. Основной курс теоретической механики. Ч.1. Кинематика, статика, динамика материальной точки. М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1967.- 468 с.
3. Бухгольц Н.Н. Основной курс теоретической механики. Ч.2. Динамика системы материальных точек. М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1969.- 332 с.
4. Ольховский И.И. Курс теоретической механики для физиков. М.: Изд-во МГУ.
5. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Теоретическая физика. Том 2. Теория поля.- М. Наука, 1988.
6. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Теоретическая физика. Том 8. Электродинамика сплошных сред.- М.:Наука, 1982.
7. М.М.Бредов. В.В.Румянцев, И.Н.Топтыгин. Классическая электродинамика.-М.: Наука, 1985.
8. Джексон Дж. Классическая электродинамика.- М.:Мир, 1965.
9. І.О. Вакарчук. Квантова механіка. – Львівський державний університет, Львів, 1998.
10. Левич В.Г., Вдовин Ю.А., Мямлин В.А. Курс теоретической физики. Т. 2. - М.: Физматгиз, 1971. - 936 с.
11. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика.-М.: Наука, 1989.-768 с.
12. Елютин П.В., Кривченков В.Д. Квантовая механика. - М.: Наука, 1976. – 336с.
13. J.-L. Basdevant, J. Dalibard. Quantum Mechanics. – Springer-Verlag, Berlin, 2002. – 512 p.
14. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. – М.: Наука, 1995.
15. Єрмолаєв О.М., Рашба Г.І. Вступ до статистичної фізики та термодинаміки. – Х.: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2004.
16. Ансельм А. И. Основы статистической физики и термодинамики. – М.: Наука, 1973.
17. Кубо Р. Статистическая механика. – М.: Мир, 1967.
18. Кубо Р. Термодинамика. – М.: Мир, 1970.
19. Tymchenko M., Gavrikov V.K., Spevak I.S., Kuzmenko A.A., and Kats A.V. Quasi-resonant enhancement of a grazing diffracted wave and deep suppression of specular reflection on shallow metal gratings in terahertz // Applied Physics Letters. – 2015. – Vol. 106.– P. 261602.
20. Kvitka N., Apostolov S.S., Makarov N.M., Rokhmanova T., Shmat'ko A.A., Yampol'skii V.A. Resonant transparency of a layered superconductor: Hyperbolic material in the terahertz range tuned by dc magnetic field // Phys. Rev. B. – 2021. – Vol. 103, No.10. – P. 004500.

#### Допоміжна література

1. М.К. Тайш, Б.Э.А. Салэ. Сжатые состояния света // УФН **161** (4) 101–136 (1991).
2. И. Имри. Введение в мезоскопическую физику. – М.: Физматгиз, 2004, 304 С.
3. М.Б. Менский. Квантовые измерения и декогеренция. – М.: Физматгиз, 2001, 227 с.
4. В.И. Кляцкин. Динамика стохастических систем. – М.: Физматгиз, 2003, 239 С.
5. R.W. Robinett. Quantum mechanics. – Oxford University press, 2006, 704 p.
6. Ф.Р. Гантмахер. Лекции по аналитической механике. – М.: Физматгиз, 2002, 262 с.

#### Інформаційні ресурси

1. Бібліотека Інституту.
2. Інформаційна база наукових статей