

Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я.Усикова

Національна академія наук України



Затверджую

Директор ІРЕ ім. О.Я.Усикова

П.М. Мележик

П.М. Мележик

02 2021 р.

ВИБРАНІ ПИТАННЯ СУЧАСНОЇ ФІЗИКИ ТВЕРДОГО ТІЛА

(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)


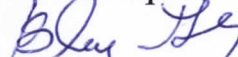
спеціальність – 014 «Фізика та астрономія»

(код і назва спеціальності)

для аспірантів 2 курсу 4 семестру

мова навчання – українська

Харків, 2021

Розробники програми: д.ф.-м.н., проф. Білецький Микола Миколайович,
д.ф.-м.н., проф., член-кор. НАНУ Ямпольський Валерій Олександрович,
д.-ф. м. н., проф. Усатенко Олег Вікторович.  

РЕЦЕНЗЕНТИ:

д.-ф. м. н., проф. радіофізичного факультету Харківського національного
університету імені В. Н. Каразіна
Аркуша Юрій Васильович

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

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Вибрані питання сучасної фізики твердого тіла» 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 сучасну фізику твердого тіла як основи для подальшого використання у практиці наукових досліджень, викладацької та іншої професійної діяльності.

Згідно з навчальним планом вивчення дисципліни «Вибрані питання сучасної фізики твердого тіла» 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 сучасна фізика твердого тіла.

Міждисциплінарні зв'язки: відповідно до навчального плану, вивчення навчальної дисципліни «Вибрані питання сучасної фізики твердого тіла» 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 фізики твердого тіла» формує засади поглибленого вивчення аспірантом спеціальних фізичних та фундаментальних теоретичних дисциплін (загальної фізики, теоретичної фізики, фізики твердого тіла, радіофізики).

1. Мета та завдання навчальної дисципліни

1.1. **Метою викладання навчальної дисципліни** «Вибрані питання сучасної фізики твердого тіла» є вивчення фізичних процесів у твердих тілах та формування у аспірантів системи сучасних знань про основні фізичні явища у твердих тілах та практичне застосування цих знань у різних галузях фізики.

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

- Ознайомлення з основними механізмами поширення електромагнітних хвиль у твердотільних середовищах.
- Ознайомлення з методами розрахунків діелектричної та магнітної проникностей твердих тіл.
- Оволодіння методами розрахунків спектрів електромагнітних хвиль у плазмонних, фотонних та магнонних кристалах.

- Визначення спектрів відбиття та проходження електромагнітних хвиль для різних типів твердотільних кристалів.
- Ознайомлення з основними методами аналізу поширення електромагнітних хвиль у твердотільних середовищах для вирішення прикладних завдань.
- Ознайомлення з основними положеннями квантової механіки твердого тіла.
- Оволодіння методами статистичної фізики твердого тіла.

1.3. Очікувані результати навчання з дисципліни:

1. Аспірант повинен знати основні особливості поширення електромагнітних хвиль у твердих тілах.
2. Аспірант повинен вміти розраховувати спектри електромагнітних хвиль у плазмонних, фотонних та магнонних кристалах.
3. Аспірант повинен вміти досліджувати енергетичні спектри простих квантових систем, як за допомогою точного вирішення рівняння Шредінгера, так і наближеними методами.
4. Аспірант повинен вміти досліджувати еволюцію квантово-механічних систем за допомогою вирішення нестационарного хвильового рівняння.
5. Аспірант повинен вміти володіти методами феноменологічної термодинаміки, володіти розрахунковими методами квантової статистики ідеальних систем, володіти методами теорії фазових перетворень.
6. Аспірант повинен знати сферу практичних застосувань сучасних досягнень фізики твердого тіла.

1. Програма навчальної дисципліни

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

МОДУЛЬ 1.

Тема 1. Електромагнітні хвилі у твердих тілах.

Знаходження спектрів електромагнітних хвиль у плазмонних, фотонних та магнонних кристалах. Застосування електромагнітних хвиль у твердотільних середовищах для вирішення прикладних завдань у радіофізиці та електроніці.

Тема 2. Квантова механіка твердого тіла.

Знаходження енергетичних спектрів різних квантових систем, як за допомогою точного вирішення рівняння Шредінгера, так і наближеними методами. Дослідження еволюції квантово-механічних систем за допомогою вирішення нестационарного хвильового рівняння.

Тема 3. Статистична фізика твердого тіла.

Оволодіння розрахунковими методами квантової статистики ідеальних систем і методами теорії фазових перетворень. Знаходження кінетичних коефіцієнтів макроскопічних систем.

ПІДСУМКОВИЙ МОДУЛЬНИЙ КОНТРОЛЬ. Екзамен.

2. Структура навчальної дисципліни

Структура навчальної дисципліни	Кількість годин, з них			Самостійна робота
	Всього	Аудиторних		
		Лекцій	Практичних та семінарських занять	
Електромагнітні хвилі у твердих тілах.	90	18	0	72
Квантова механіка твердого тіла.	30	6	0	24
Статистична фізика твердого тіла.	30	6	0	24
Всього	150	30	0	120

Примітка: 1 кредит ЄКТС – 30 год.

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

3. Тематичний план лекцій

№ п/п	Тематика лекції	Години
1.	Типи твердотільних середовищ. Основні параметри твердотільних плазмоподібних середовищ – дебаївський радіус і плазмова частота.	2
2.	Рівняння Максвелла у твердотільних середовищах. Граничні умови для електромагнітного поля на межах розподілу середовищ. Потік енергії електромагнітних хвиль.	2
3.	Об'ємні електромагнітні хвилі у однорідних і ізотропних твердотільних плазмоподібних середовищах. Тензор діелектричної проникності. Дисперсійні співвідношення для електромагнітних хвиль. Спектр об'ємних електромагнітних хвиль. Об'ємні плазмони.	2
4.	Ліві середовища. Заломлення електромагнітних хвиль в лівих середовищах.	2
5.	Об'ємні електромагнітні хвилі у магнітоактивних плазмоподібних середовищах. Вплив магнітного поля на спектр об'ємних електромагнітних хвиль. Гелікони і альфвенівські хвилі. Спектр магнітоплазмових хвиль у геометріях Фарадея і Фойгта.	2
6.	Поверхневі електромагнітні хвилі на відокремленій границі твердотільне середовище-діелектрик. Поляризація і потік енергії поверхневих електромагнітних хвиль.	2
7.	Поверхневі електромагнітні хвилі в пластинах. Симетричні моди і антисиметричні моди. Двовимірні плазмони. Збудження поверхневих електромагнітних хвиль.	2
8.	Поширення електромагнітних хвиль у періодичних середовищах. Поверхневі електромагнітні хвилі на границі фотонних кристалів. Поляризація і потік енергії поверхневих електромагнітних хвиль у періодичних середовищах.	2
9.	Спектри відбиття та проходження електромагнітних хвиль для різних типів твердотільних структур.	2
10.	Принцип додатковості. Хвильова функція. Статистична інтерпретація хвильової функції. Співвідношення невизначеності. Принцип відповідності. Принцип причинності у квантовій механіці. Оператори фізичних величин.	2

11.	Хвильове рівняння Шредінгера. Стаціонарні стани. Одновимірний осцилятор. Енергетичний спектр та хвильова функція електрона у постійному однорідному магнітному полі. Рівні Ландау. Двовимірний електронний газ. Графен. Квантовий ефект Хола.	2
12.	Метод факторизації у квантовій механіці. Оператори народження та знищення. Вторинне квантування систем бозонів та ферміонів. Квантування поля випромінювання. Фоківські, когерентні та стиснуті стани електромагнітного поля. Ефекти Ааронова-Бома та Казіміра.	2
13.	Математичний апарат статистичної фізики. Теорія ймовірності. Розподіли Бернуллі, Пуасона і Гауса. Закон великих чисел. Центральна гранична теорема. Нерівності Маркова та Чебишева. Характеристична функція. Розподіл Леві.	2
14.	Ергодична гіпотеза. Ансамблі статистичної механіки. Статистична рівновага. Ентропія. Температура. Функції розподілу мікроканонічного і канонічного ансамблів. Ідеальний газ і магнетик Ізінга. Фазові переходи.	2
15.	Статистична радіофізика. Ергодичні і стаціонарні випадкові послідовності і процеси. Ланцюги та процеси Маркова. Кореляційні функції. Білий шум і процес Вінера. Флуктуаційні шуми в радіотехнічних ланцюгах.	2
Разом		30

4. Тематичний план практичних та семінарських занять

№ п/п	Тематика практичних та семінарських занять	Години
	Всього	

5. Завдання для самостійної роботи

№	Тема 1. Електромагнітні хвилі у твердих тілах.	Кількість годин.
1.	Основні параметри твердотільних плазмоподібних середовищ – дебаївський радіус і плазмова частота.	3
2.	Рівняння Максвелла у твердотільних середовищах.	4
3.	Граничні умови для електромагнітного поля на межах розподілу середовищ.	2
4.	Потік енергії електромагнітних хвиль у твердотільних середовищах.	3
5.	Тензор діелектричної проникності твердотільних середовищ.	2
6.	Дисперсійні співвідношення для електромагнітних хвиль у твердотільних середовищах.	3
7.	Спектр об'ємних електромагнітних хвиль. Об'ємні плазмони.	3
8.	Заломлення електромагнітних хвиль в лівих середовищах	3
9.	Вплив магнітного поля на спектр об'ємних електромагнітних хвиль.	3
10.	Спектр магнітоплазмових хвиль у геометрії Фарадея.	4
11.	Спектр магнітоплазмових хвиль у геометрії Фойгта.	3
12.	Гелікони і альфвенівські хвилі.	4
13.	Поверхневі електромагнітні хвилі на відокремленій границі твердотільне середовище-діелектрик	4
14.	Поляризація і потік енергії поверхневих електромагнітних хвиль.	4
15.	Поверхневі електромагнітні хвилі в пластинах. Симетричні моди.	4
16.	Поверхневі електромагнітні хвилі в пластинах. Антисиметричні моди.	4
17.	Поширення електромагнітних хвиль у періодичних середовищах.	4
18.	Поверхневі електромагнітні хвилі на границі фотонних кристалів.	4

19.	Поляризація і потік енергії поверхневих електромагнітних хвиль у періодичних середовищах.	4
20.	Сpektри відбиття та проходження електромагнітних хвиль для різних типів твердотільних структур.	4
21.	Практичне застосування поверхневих електромагнітних хвиль.	3
	Разом	72

№	Тема 2. Квантова механіка твердого тіла.	Кількість годин.
1.	Принцип додатковості. Хвильова функція. Статистична інтерпретація хвильової функції.	2
2.	Співвідношення невизначеності. Принцип відповідності. Принцип причинності у квантовій механіці.	3
3.	Оператори фізичних величин.	2
4.	Хвильове рівняння Шредінгера. Стаціонарні стани. Одновимірний осцилятор.	3
5.	Енергетичний спектр та хвильова функція електрона у постійному однорідному магнітному полі. Рівні Ландау.	2
6.	Двовимірний електронний газ. Графен. Квантовий ефект Хола.	3
7.	Метод факторизації у квантовій механіці.	2
8.	Оператори народження та знищення. Вторинне квантування систем бозонів та ферміонів. Квантування поля випромінювання.	3
9.	Фоківські, когерентні та стиснуті стани електромагнітного поля.	2
10.	Ефекти Ааронова-Бома та Казиміра.	2
	Разом	24

№	Тема 3. Статистична фізика твердого тіла.	Кількість годин.
1.	Теорія ймовірності. Розподіли Бернуллі, Пуасона і Гауса	2
2.	Закон великих чисел. Центральна гранична теорема. Нерівності Маркова та Чебишева..	3
3.	Характеристична функція. Розподіл Леві	2
4.	Ергодична гіпотеза. Ансамблі статистичної механіки. Статистична рівновага. Ентропія.	3
5.	Температура. Функції розподілу мікроканонічного і канонічного ансамблів.	2
6.	Ідеальний газ і магнетик Ізинга. Фазові переходи	3
7.	Статистична радіофізика. Ергодичні і стаціонарні випадкові послідовності і процеси.	2
8.	Ланцюги та процеси Маркова. Кореляційні функції.	3
9.	Білий шум і процес Вінера.	2
10.	Флуктуаційні шуми в радіотехнічних ланцюгах.	2
	Разом	24
	Разом:	120

6. Орієнтовний перелік питань до підсумкового контролю

1. Основні параметри плазмоподібних твердотільних середовищ.
2. Типові значення плазмових частот у металах та напівпровідниках.
3. Типи поляризації електромагнітних хвиль у плазмоподібних твердотільних середовищах.
4. Спектри поперечних електромагнітних хвиль у твердотільних середовищах.
5. Основні характеристики поверхневих електромагнітних хвиль.
6. Особливості поляризації поверхневих електромагнітних хвиль.
7. Особливості вектора Пойнтинга для поверхневих електромагнітних хвиль.
8. Симетричні моди поверхневих електромагнітних хвиль у тонких твердотільних плівках.
9. Антисиметричні моди поверхневих електромагнітних хвиль в твердотільних плівках.
10. Об'ємні і поверхневі плазмони.
11. Основні характеристики електромагнітних хвиль у магнітоактивній плазмі.
12. Заломлення електромагнітних хвиль у лівих середовищах.
13. Поверхневі електромагнітні хвилі на границі фотонних кристалів.
14. Хвильова функція. Статистична інтерпретація хвильової функції.
15. Принцип причинності у квантовій механіці.
16. Оператори фізичних величин у квантовій механіці.
17. Енергетичний спектр електрона у постійному однорідному магнітному полі.
18. Ефекти Ааронова-Бома та Казіміра.
19. Ансамблі статистичної механіки.
20. Ідеальний газ і магнетик Ізінга. Фазові переходи.

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 практиці 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. Підсумковий контроль з дисципліни проводиться у формі екзамену. Максимальна поточна кількість балів, яку аспірант може набрати при вивченні дисципліни становить 60 балів та за результатами підсумкового модульного контролю – 40 балів, разом – 100 балів.

Мінімальна поточна кількість балів, яку треба набрати для допуску до підсумкового контролю – 30 балів.

Під час підсумкового модульного контролю аспіранту пропонується 4 запитання, максимальна кількість балів за кожне запитання становить 40 балів. Підсумковий модульний

контроль вважається зарахованим, якщо аспірант набрав 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;

4-7 балів – аспірант здатен визначити головне у поняттях або явищах, але припустився неточностей, 2-3 помилок та не зробив достатньо аргументованих висновків;

8-10 балів – аспірант вміє визначити 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.

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. Manini N. Introduction to the Physics of Matter. Basic Atomic, Molecular, and Solid-State Physics- Springer Nature Switzerland AG, 2020.
2. Snoke D.W. - Solid State Physics. Essential Concepts - Cambridge University Press, 2020.
3. Huebener R.P. Conductors, Semiconductors, Superconductors. An Introduction to Solid-State Physics - Springer, 2019.
4. Hazeltine R. D., Waelbroeck F. - The framework of plasma physics - CRC Press, 2018.
5. Deraad L.L., Milton K.A., Schwinger J. Tsai, Wu-yang - Classical electrodynamics - CRC Press, 2019.
6. Dresselhaus M., Dresselhaus G., Stephen Cronin S., Filho A. Solid State Properties. From Bulk to Nano - Springer-Verlag, Berlin, 2018.
7. Силян В.П., Рухадзе А.А. Электромагнитные свойства плазмы и плазмоподобных сред. - М.: Госатомиздат, 1961.
8. Griffiths D.J. Introduction to Electrodynamics - Cambridge University Press, 2017.
9. Nolting W. Theoretical Physics 6. Quantum Mechanics - Basics - Springer, 2017.
10. Nolting W. Theoretical Physics 8 - Statistical Physics - Springer, 2018.
11. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред.- М.: Наука, 1992.
12. Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Физическая кинетика. - М.: Наука, 1979.
13. Кадомцев Б.Б. Коллективные явления в плазме. - М.: Наука, 1976.
14. Трубников Б.А. Теория плазмы. - М.: Энергоатомиздат, 1996.
15. Левич В.Г., Вдовин Ю.А., Мямлин В.А. Курс теоретической физики. Т. 2. - М.: Физматгиз, 1971. - 936 с.
16. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика.-М.: Наука, 1989.-768 с.
17. Елютин П.В., Кривченков В.Д. Квантовая механика. - М.: Наука, 1976. – 336с.
18. Basdevant J.-L., Dalibard J. Quantum Mechanics. – Springer-Verlag, Berlin, 2002. – 512 p.
19. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. – М. Наука, 1995.
20. Єрмолаєв О.М., Рашба Г.І. Вступ до статистичної фізики та термодинаміки. – Х. ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2004.
21. Ансельм А.И. Основы статистической физики и термодинамики. – М: Наука, 1973.
22. Кубо Р. Статистическая механика. – М: Мир, 1967.
23. Кубо Р. Термодинамика. – М: Мир, 1970.

Допоміжна література

1. Shokri B., Rukhadze A.A. *Electrodynamics of Conducting Dispersive Media* - Springer International Publishing, 2019.
2. Bluhm H., Brückel T., Morgenstern M., Plessen G., Stampfer C. *Advanced Solid State Physics. Electronic Properties*, De Gruyter Textbook, 2019.
3. Кролл Н., Трайвелпис А. *Основы физики плазмы*. - М.: Мир, 1975.
4. Арцимович Л.А., Сагдеев Р.З. *Физика плазмы для физиков*. - М.: Атомиздат, 1979.
5. Чен Ф. *Введение в физику плазмы*. - М.: Мир, 1987.
6. Франк-Каменецкий Д.А. *Лекции по физике плазмы*. - М.: Атомиздат, 1964.
7. Майер С.А. *Плазмоника: Теория и приложения*. – М. : РДХ, 2011.
8. Александров А.Ф., Богданкевич Л.С., Рухадзе А.А. *Основы электродинамики плазмы*. - М.: Высшая школа, 1988.

Інформаційні ресурси

1. Бібліотека Інституту.
2. Інформаційна база наукових статей