

Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я.Усикова

Національна академія наук України



Затверджую

Директор ІРЕ ім. О.Я.Усикова
НАН України

П.М.Мележик

» 02 20 21 р.

ВИБРАНІ ПИТАННЯ СУЧАСНОЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ РАДІОФІЗИКИ

(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

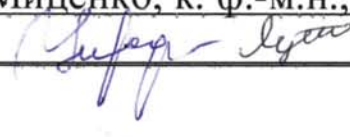
Харків, 2021

Розробники програми: д.ф.-м.н., проф. М.Т.Черпак, д.ф.-м.н., проф., чл.-кор. НАНУ С.І.Тарапов, д.ф.-м.н., с.н.с. І.М.Миценко, к. ф.-м.н., с.н.с. С.В.Мізрахі, к. ф.-м.н., с.н.с. С.І.Мельник









РЕЦЕНЗЕНТИ:

Зав кафедрою мікро- та наноелектронних приладів ХНУРЕ

д.ф.-м.н., проф. І.М.Бондаренко

Зав відділом поширення радіохвиль у природних середовищах ІРЕ

ім. О.Я.Усикова НАН України д.ф.-м.н., проф. Ф.В.Ківва

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

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Вибрані питання сучасної експериментальної радіофізики» 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 вибрані питання сучасної експериментальної радіофізики як основи для подальшого використання у практиці наукових досліджень, викладацької та іншої професійної діяльності.

Згідно з навчальним планом вивчення дисципліни «Вибрані питання сучасної експериментальної радіофізики» 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 питання сучасної експериментальної радіофізики, які є, з одного боку, актуальними і, з іншого боку, розвиваються в ІРЕ ім. О.Я. Усикова НАН України.

Міждисциплінарні зв'язки: відповідно до навчального плану, вивчення навчальної дисципліни «Вибрані питання сучасної експериментальної радіофізики» 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 експериментальної радіофізики» формує засади поглибленого вивчення аспірантом спеціальних фізичних та фундаментальних теоретичних дисциплін теоретичної фізики, радіофізики, субтерагерцевої квазіоптики, мікрохвильової фізики метаматеріалів та надпровідності, методології фізичних вимірювань).

1. Мета та завдання навчальної дисципліни

1.1. **Метою викладання навчальної дисципліни «Вибрані питання сучасної експериментальної радіофізики»** є вивчення окремих розділів радіофізики та формування у аспірантів системи сучасних знань про наукові проблеми в напрямках поширення радіохвиль в природних середовищах, взаємодії електромагнітного поля з метаматеріалами та надпровідниками, про розвиток сучасних методів експериментальних досліджень і квазіоптику та актуальних питань техніки опрацювання результатів вимірювання фізичних величин в експериментальних дослідженнях і технічних характеристик пристроїв і приладів, та практичне застосування цих знань у різних галузях фізики.

1.2. **Основними завданнями** вивчення дисципліни «Вибрані питання сучасної експериментальної радіофізики» є:

- Ознайомлення з основними експериментальними радіофізичними дослідженнями поширення радіохвиль над морською поверхнею у Світовому океані, що було проведено ІРЕ НАН України.
- Ознайомлення з фізичними основами загоризонтного поширення радіохвиль.
- Оволодіння методикою експериментального визначення дистанційної залежності множника послаблення радіохвиль.
- Ознайомлення з основами радіолокаційного спостереження надводних об'єктів.
- Ознайомлення з основними фізичними властивостями терагерцевої ділянки частот. Оволодіння знаннями щодо передачі електромагнітної енергії хвилеводами та спрямованими квазіоптичними пучками. Розуміння основних принципів квазіоптики та формування світогляду щодо сучасних тенденцій розвитку терагерцевої радіофізики.
- Оволодіння знаннями про принципи дії та основні характеристики функціональних квазіоптичних елементів і пристроїв загального застосування. Формування уявлень щодо методів досліджень експериментальної радіофізики та як вони використовуються на практиці.
- Ознайомлення з основами експериментальної фізики штучних матеріалів.
- Оволодіння знаннями основ феноменологічної теорії штучних діелектриків магнетиків та лівосторонніх метаматеріалів.
- Ознайомлення з основними експериментальними фактами у фізиці надпровідників. Оволодіння знаннями основ феноменологічної та мікроскопічної теорій надпровідності.
- Оволодіння знаннями щодо мікрохвильової електродинаміки надпровідників і визначення особливостей радіофізичних пристроїв та приладів на основі НТНП і ВТНП. Стан і перспективи мікрохвильової надпровідності та надпровідникової радіофізики.
- Оволодіння поглибленими знаннями щодо
 - особливостей радіофізичних вимірювань, методів первинної обробки радіофізичних сигналів та методів їх математичного опису;
 - теоретичних основ методів вирішення зворотних некоректних задач радіофізики, та їх алгоритмічної реалізації;
 - основ алгоритмічно-інформаційного підходу до обробки радіофізичних даних.
- Формування вмінь:
 - побудови математичної моделі радіофізичних вимірювань;
 - розробки оптимальної схеми вирішення зворотної некоректної задачі;
 - оптимізації вибору параметру регуляризації згідно апріорної інформації щодо рішення зворотної задачі.
 - застосування загального критерію мінімізації складності опису.

1.3. Очікувані результати навчання з дисципліни:

2. Аспірант повинен знати основні особливості поширення електромагнітних хвиль в природних середовищах, взаємодії нових штучних середовищ з мікрохвильовими полями в електродинамічних структурах та особливості радіофізичних вимірювань. інформаційного аналізу радіофізичних сигналів та їх моделювання.
3. Аспірант повинен ознайомитися з методами радіофізичних вимірювань відгуку електродинамічних структур з середовищами, що досліджуються, та можливостями їх використання для створення удосконалених або нових радіофізичних приладів і пристроїв, а також з особливостями первинної обробки даних радіофізичних вимірювань.
4. Аспірант повинен знати основні фізичні принципи взаємодії електромагнітних полів з обмеженими у просторі матеріальними середовищами, які лежать в основі роботи або можуть складати основу для створення нових радіофізичних пристроїв. Аспірант повинен охарактеризувати особливості функціонування радіофізичних пристроїв і систем при їх дослідженні, а також при їх використанні на практиці.
5. Аспірант повинен знати загальні закономірності фізичних процесів, що розвиваються у радіофізичних об'єктах, знати існуючі методичні підходи до них та знати сферу практичного застосування цих процесів та підходів.

1. Програма навчальної дисципліни

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

МОДУЛЬ 1.

Тема 1. Поширення радіохвиль у природному середовищі

Фізичні основи експериментального дослідження загоризонтного поширення радіохвиль та радіолокаційного спостереження об'єктів над морською поверхнею. Основи теорії механізмів поширення радіохвиль. Радіофізичні приймально-передавальні комплекси.

Тема 2. Суб-ТГц радіофізика

Застосування квазіоптичних принципів та засобів для каналізації хвиль терагерцевого діапазону. Основи побудування функціональних квазіоптичних елементів, пристроїв та систем, які використовуються в експериментальній радіофізиці. Деякі приклади експериментальних методів досліджень.

Тема 3. Фізика метаматеріалів

Основні експериментальні факти надвисокочастотної фізики метаматеріалів. Основи теорії штучних матеріалів.

Тема 4. Надпровідникова радіофізика

Основні експериментальні факти у фізиці надпровідників. Основи теорії надпровідності. Мікрохвильова електродинаміка і радіофізичні НП пристрої та прилади.

Тема 5. Актуальні питання техніки опрацювання результатів вимірювання

Особливості первинної обробки даних радіофізичних вимірювань. Класичні методи вирішення некоректних задач. Коректність зворотної задачі за Тихоновим. Нові інформаційні методики вирішення зворотних некоректних задач обробки даних. Інформаційна складність як узагальнення параметрів регуляризації.

ПІДСУМКОВИЙ МОДУЛЬНИЙ КОНТРОЛЬ.

Екзамен.

2. Структура навчальної дисципліни

Структура навчальної дисципліни	Кількість годин, з них			
	Всього	Аудиторних		Самостійна робота
		Лекцій	Практичних та семінарських занять	
Поширення радіохвиль у природному середовищі	30	6	0	24
Суб-ТГц радіофізика	30	6	0	24
Фізика метаматеріалів	30	6	0	24
Надпровідникова радіофізика	30	6	0	24
Актуальні питання техніки опрацювання результатів вимірювання	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.	Експериментальні дослідження загоризонтного поширення радіохвиль та радіолокаційного спостереження об'єктів у Світовому океані, що проведено ІРЕ НАН України.	2
2.	Послаблення сигналів радіохвиль за межами радіогоризонту. Дистанційні залежності множника послаблення радіохвиль у загоризонтній області. Їх зв'язок з фізичними процесами у приводному шарі тропосфери. Експериментальні вимірювальні приймально-передавальні комплекси.	2
3.	Дослідження радіолокаційного спостереження надводних об'єктів. Залежність дальності дії радіосистем (РЛС) від умов поширення радіохвиль. Основне рівняння радіолокації та ефективна площа розсіювання (ЕПР).	2
4.	Квазіоптика та терагерцеві технології у сучасній науці й техніці. Історичні передумови й сучасні тенденції розвитку. Піонерські дослідження в області квазіоптики. Принципи й сучасні тенденції розвитку терагерцевої квазіоптики.	2
5.	Передача електромагнітної енергії хвилеводами та спрямованими квазіоптичними пучками; квазіоптичні лінії передачі. Хвилеводи класу «порожнистий діелектричний проміневід». Діелектричні, металодіелектричні, гофровані хвилеводи. Інші типи квазіоптичних ліній передачі.	2
6.	Функціональні квазіоптичні елементи і пристрої загального застосування. Експериментальні методи досліджень для найбільш важливих спеціальних застосувань: діагностика плазми, електродинамічне моделювання радіолокаційних характеристик розсіяння, неруйнівний контроль матеріалів.	2
7.	Штучні електродинамічні матеріали . Штучні діелектрики та магнетики	2
8.	Основи фізики фотонних кристалів. Рівняння Блоха. Зонна структура спектрів	2
9.	Лівосторонні метаматеріалію Негативна діелектрична проникність і її природа в а) природних і б) штучних середовищах Негативна магнітна проникність і її природа в а) природних і б) штучних середовищах. <i>С.І.Таранов</i>	2
10	Деякі історичні та основні експериментальні факти у фізиці надпровідності. Феноменологічні теорії надпровідності. Надпровідники II-го роду.	2
11	Елементи теорії БКШ. Надпровідники у мікрохвильовому полі. Поверхневий імпеданс і техніка його вимірювання. Нелінійний поверхневий імпеданс.	2
12	Мікрохвильові надпровідникові лінії передачі, їх особливості. Пасивні та активні надпровідникові радіофізичні пристрої.	2
13	Загальний підхід до обробки експериментальних даних. Томографічні методи як узагальнений інформаційний підхід до обробки експериментальних даних. Специфіка та фізичні особливості радіофізичних вимірювань.	2
14	Класичні методи вирішення некоректних задач. Коректність зворотної задачі за Тихоновим. Стабілізуючий функціонал. Параметр регуляризації.	2
15	Нові інформаційні методи вирішення зворотних некоректних задач обробки даних. Інформаційна складність як узагальнення параметрів регуляризації. Вирішення зворотних некоректних задач за умов недоліку апріорної інформації. Обробка сигналів з великої дискретністю в інформаційному полі результатів	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. Поширення радіохвиль у природному середовищі	Кількість годин.
1.	Механізми загоризонтного поширення радіохвиль в тропосфері, рефракція. Фізичні основи.	2
2.	Розглянути зону інтерференції та її вплив на радіолокаційне спостереження надводних об'єктів.	3
3.	Особливості дистанційного ходу множника послаблення радіохвиль при наявності інверсійних шарів та причини їх виникнення.	2
4.	Фізичні основи виникнення хвилеводів випаровування у привидному шарі тропосфери.	3
5.	Особливості дальнього тропосферного поширення радіохвиль (ДТР).	2
6.	Основне рівняння радіолокації, визначення дальності дії радіосистеми (РЛС).	3
7.	7. Дифракційний механізм загоризонтного поширення радіохвиль. Чи має він практичне значення?	2
8.	8. Методика вимірювання множника послаблення радіохвиль та його дистанційні залежності.	3
9.	9. Реальна (інтерференційна) діаграма спрямованості антен та її вплив на загоризонтне поширення радіохвиль.	2
10	Основні теорії поширення радіохвиль при ДТР (теорія Вілларса-Вейскопфа та інш.).	2
10	Разом	24

№	Тема 2. Суб-ТГц радіофізика	Кількість годин.
1.	Основні засоби та методи генерування та приймання терагерцевих хвиль.	2
2.	Передача електромагнітної енергії одномодовими прямокутними хвилеводами. Поняття критичної хвилі та вираз для загасання хвиль в одномодових хвилеводах.	3
3.	Хвилеводні функціональні елементи для побудування радіовимірювальних схем (подвійний трійник, узгоджене навантаження, феритовий вентиль, атенюатор, фазозсувач, хвилемір, спрямований відгалужувач). Поняття КСХН.	3
4.	Особливості формування втрат в одномодових хвилеводах та перехід к квазіоптиці. Поняття багатомодовості та вираз для загасання хвиль в порожнистому діелектричному проміневоді.	2
5.	Передача електромагнітної енергії спрямованими квазіоптичними пучками. Квазіоптичні лінії передачі, порожнистий діелектричний проміневід (ПДП), діелектричні, металодіелектричні, гофровані хвилеводи. Інші типи квазіоптичних ліній передачі.	2
6.	Функціональні квазіоптичні елементи і пристрої загального застосування на основі ПДП. Лінійний поляризуючий елемент. Роздільник пучка. Поляризаційний роздільник пучка. Принципи дії. Основні радіофізичні характеристики. Особливості конструкції. Параметри та область застосування.	2
7.	Принципи дії квазіоптичних атенюаторів, фазообертачів, перетворювачів та обертачів площини поляризації.	2
8.	Методи та особливості вимірювання характеристик електромагнітного розсіяння	2

	ня. Радіолокаційні характеристики розсіяння та електродинамічне моделювання.	
9.	Діагностика плазми радіофізичними методами (інтерферометрія, рефлектометрія).	3
10.	Неруйнівний контроль матеріалів: еліпсометрія, рефлектометрія та спектроскопія внутрішнього відбиття, мікрохвильова томографія.	3
	Разом	24

№	Тема 3. Фізика метаматеріалів	Кількість годин.
1.	Матеріальні параметри природних і штучних середовищ	2
2.	Магнітна проникність та джерела її дисперсії.	3
3.	Магнітна проникність поблизу електронного спінового резонансу	2
4.	Рішення феноменологічного рівняння Блоха для магнітного моменту.	3
5.	Задача Кроніга-Пені.	2
6.	Дисперсійне рівняння для хвилі де Бройля.	3
7.	Формування зонної структури частотного спектру фотонного кристала. Просторово обмежений фотонний кристал	2
8.	Стан Тамма як приклад поверхневого стану	3
9.	Формування зворотної хвилі в одновимірному шаруватому метаматеріалі.	2
10.	Лівобічний кіральний метаматеріал.	3
	Разом	24

№	Тема 4. Надпровідникова радіофізика	Кількість годин.
1.	Введення струму в замкнуте надпровідникове кільце. Ефект «заморожування» магнітного потоку. Пояснення. Прояв квантової природи надпровідності.	2
2.	Отримання першого та уявлення про отримання другого рівняння Лондонів. Фізичний зміст глибини проникнення магнітного поля в надпровідник. Аналогія та різниця в порівнянні глибини проникнення поля в надпровідник з товщиною скін-шару в нормальних провідниках. Недоліки рівнянь Лондонів.	2
3.	Елементи теорії надпровідності Гінзбурга-Ландау. Два характерних масштаби довжини. Поділ на надпровідники I роду та надпровідники II роду.	2
4.	Надпровідники II роду. Абрикосовські вихори. Сила Лоренца. Сила піннінга. Критичний струм в змішаному стані.	2
5.	Елементи мікроскопічної теорії надпровідності Бардіна-Шриффера-Купера. Природа куперівських пар. Основні висновки теорії БКШ. Енергетична щільність, співвідношення енергетичної щільності і критичної температури, ізотоп-ефект.	3
6.	Комплексна провідність та поверхневий імпеданс надпровідників. Особливості поверхневого імпедансу надпровідників у порівнянні з нормальними провідниками. Отримати співвідношення для частин комплексної провідності через дійсну та уявну частини поверхневого імпедансу в загальному випадку.	3
7.	Техніка вимірювання мікрохвильового поверхневого імпедансу надпровідників. Проблема вимірювання поверхневого реактансу Залежність поверхневого	2

	імпедансу НТНП та ВТНП від температури та частоти. Ефективний поверхневий імпеданс.	
8.	Нелінійний поверхневий імпеданс. Прояви нелінійності імпедансу в експериментах. Критерій нелінійності в сучасних пасивних мікрохвильових приладах	2
9.	Коефіцієнт поширення хвилі в лінії передачі типу двох паралельних пластин на основі ідеального і нормального металу і надпровідника. Провести порівняння.	3
10.	Мікрохвильові надпровідникові пристрої: пасивні (лінії передачі, лінії затримки, резонатори, фільтри, мультиплекси); 2) активні (джозефсонівський генератор, квантовий детектор (на СІС структурі).	3
	Разом	24

№	Тема 5. Актуальні питання техніки опрацювання результатів вимірювання	Кількість годин.
1.	Особливості первинної обробки даних радіофізичних вимірювань.	2
2.	Інформаційний аналіз радіофізичних сигналів та їх моделювання.	3
3.	Ітераційні алгоритми вирішення зворотних задач.	2
4.	Вінеровська фільтрація	3
5.	Основні принципи побудови стабілізуючого функціонала	2
6.	Порівняльний аналіз МНК та методу оптимальної спектральної фільтрації	3
7.	Метод підбору рішення зворотних некоректних задач	2
8.	Критерії вибору виду стабілізуючого функціонала	3
9.	Алгоритмічний підхід до оцінки невизначеності вимірів	2
10.	Вивід класичної формули Байєса та методика її застосування	3
	Разом	24
	Разом:	120

Орієнтовний перелік питань до підсумкового контролю

1. Загальні властивості тропосфери. Основні механізми поширення УКХ за межі радіогоризонта.
2. Основні рівняння радіолокації. Визначення дальності дії РЛС з відомим енергопотенціалом, дистанційною залежністю множника ослаблення і ЕПР надводного об'єкта.
3. Радіолокаційні відбиття від морської поверхні.
4. Зона інтерференції. Реальна форма діаграми спрямованості антен і її вплив на умови поширення радіохвиль.
5. Терагерцевий діапазон. Особливості використання. Квазіоптика.
6. Стандартні одномодові хвилеводи та квазіоптичні проміневоди, особливості використання, основні характеристики та відмінності.
7. Функціональні хвилеводні та квазіоптичні елементи.
8. Методи вимірювань: інтерферометрія, рефлектометрія, еліпсометрія. Принципи та особли-

вості використання.

9. Що таке штучний діелектрик. Спільне та відмінне в порівнянні з природним діелектриком. Закон Друде.
10. Що таке природний та штучний магнетик. Парамагнетик. Магнітна проникність поблизу електронного спінового резонансу.
11. Магнітна проникність природного магнетика. Рішення феноменологічного рівняння Блоха для магнітного моменту (для спина електрона). Дійсна і уявна частина магнітної проникності.
12. Природа зонного характеру енергетичного спектра природного матеріалу та частотного спектра фотонного-кристалічного метаматеріала.
13. Основні експериментальні факти у фізиці надпровідників. Феноменологічні теорії і характеристичні довжини в надпровідниках. Елементи теорії БКШ.
14. Надпровідники II роду. Змішаний стан. Абрикосовські вихори. Піннінг вихорів. Критичний струм в змішаному стані.
15. Мікрохвильовий поверхневий імпеданс і комплексна провідність надпровідників. Температурна та частотна залежність. Низько- та високотемпературні надпровідники. Техніка вимірювання поверхневого імпедансу. Нелінійний імпеданс. Характеристика нелінійності мікрохвильового імпедансу та мікрохвильових пристроїв.
16. Лінії передачі на основі ідеального провідника, нормально металу та надпровідника. Пасивні та активні мікрохвильові пристрої на основі надпровідників.
17. Вкажіть методи первинної обробки даних у радіофізичних вимірюваннях та аргументуйте їх необхідність. Наведіть приклади задач радіофізичних вимірювань, що є некоректними. Які з них можна розглядати, як задачі томографії?
18. Метод найменшого квадратичного відхилення як метод вирішення некоректних задач. Його недоліки. Альтернативні методи.
19. Яке рішення зворотної некоректної задачі можна вважати умовно коректним за Тихоновим? Наведіть приклади. Сутність параметру регуляризації та його зв'язок з апіорною інформацією що до рішення некоректної задачі.
20. Інформаційна складність як узагальнення параметрів регуляризації. Методи вирішення зворотних некоректних задач за умов недоліку апіорної інформації.

7. Завдання для самостійної роботи: опрацювання матеріалу згідно тематичного плану із застосуванням рекомендованої літератури, сучасних інформаційних технологій та спеціалізованих ресурсів в Інтернеті, а також написання реферату за окремою темою в межах тематичного плану.

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, зокрема радіофізики. Допоміжні методи навчання: пояснення, бесіда, розповідь, ілюстрація, спостереження, навчальна дискусія, обговорення теоретичного та/або науково-практичного питання, моделювання ситуації. опора на певні факти із історії науки та 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. Мінімальна поточна кількість балів, яку аспірант може набрати при вивченні дисципліни, становить 60 балів.

Поточний контроль проводиться у формі опитування, яке проводиться викладачем, або тестів. Для визначення максимальної кількості балів, яку аспірант може отримати за тему, загальна кількість балів (60 балів) розбивається пропорційно кількості тем (див. таблицю 1).

Таблиця 1. Поточні залікові оцінки, що дозволяють зарахувати підсумкові рейтингові етапи

Вид діяльності / контрольний захід	Оцінка ($O_{сем}$)
Індивідуальне опитування в межах теми 1	12...20
Індивідуальне опитування в межах теми 2	12... 20
Індивідуальне опитування в межах теми 3	12...20
Індивідуальне опитування в межах теми 4	12...20
Індивідуальне опитування в межах теми 5	12...20
Всього	60...100

Оцінювання знань при обговоренні та тестуванні аспірантів в межах кожної теми здійснюються наступним чином:

12-13 балів – аспірант здатен визначити загальне у поняттях або явищах, але допустився 4 і більше помилок;

14-16 балів – аспірант здатен визначити головне у поняттях або явищах, але припустився неточностей, 2-3 помилок та не зробив достатньо аргументованих висновків;

17-20 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.

У разі отримання аспірантом рейтингової оцінки $O_{сем}$ менше 60 балів він не допускається до екзаменаційного іспиту як не витримавши рейтингу. У разі не зарахування якогось етапу аспіранту надається право його захисту протягом екзаменаційного іспиту як додаткове завдання. Максимальна поточна кількість балів, яку аспірант може набрати при вивченні дисципліни становить 100 балів.

11. Форма підсумкового контролю успішності навчання та критерії оцінювання.

Підсумковий контроль з дисципліни проводиться у формі екзамену.

При цьому виді контролю підсумкова атестаційна оцінка P_n обчислюється за формулою:

$$P_n = 0,6O_{сем} + 0,4O_{екз},$$

де $O_{сем}$ — рейтингова оцінка за семестр за 100-бальною системою, $O_{екз}$ — оцінка за екзамен за 100-бальною системою.

Мінімальна поточна кількість балів, яку повинен набрати аспірант при вивченні всіх занять з дисципліни для допуску до підсумкового контролю, повинна бути не менше 50% від мінімальної поточної кількості балів (тобто 30 балів).

Результат екзаменаційного іспиту складається з відповідей на 3 запитання за темами змістового модуля. Відповіді на перше і третє запитання максимально оцінюються в 60 балів (по 30 балів за кожне питання), а друге — у 40 балів. Таким чином, в сумі 100 балів.

Таблиця 2. Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
		для заліку
96-100	A	зараховано
90-95	B	
75-89	C	
66-74	D	
60-65	E	
35-59	FX	не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	F	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

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. Хитни Г.В., Рихтер Ю.Х., Папперт Р.А., Андерсон К.Д., Баумгартнер Дж. Б. Распространение радиоволн в тропосфере. Обзор ТИИЭР, 1985-т.73, №2.-с.106-128.
2. Дальнее тропосферное распространение УКВ. Под. редакцией Б.А.Введенского и др. М., Сов. Радио, 1965. -415 с.
3. Мыценко И.М., Загоризонтное распространение УКВ над Мировым океаном. Харьков, V lavke, 2016. -162 с.
4. Радиофизические исследования Мирового океана: Сб. научн. тр./НАН Украины. Институт радиофизики и электроники –Хар.ков. 1992.-220 с.
5. Кулешов Е.М. Главы 7- 8 / Е. М. Кулешов // Электроника и радиофизика миллиметровых и субмиллиметровых радиоволн под ред. А.Я.Усикова – Киев: Наукова думка, 1986.–С.126-157.
6. P. F. Goldsmith, Quasioptical Systems: Gaussian Beam Quasioptical Propagation and Applications, Wiley-IEEE Press, 1998.
7. C. Yeh , F. I. Shimabukuro, The Essence of Dielectric Waveguides, Springer, 2008.
8. Генерация и усиление сигналов терагерцового диапазона / А. Г. Баланов, В. Д. Ерёмка, В. Е. Запечалов, А. Е. Храмов и др. – Саратов : Изд-во Саратов. гос. техн. ун-т. - 2016. - 460 с. ISBN 978-5-7433-3013-3.
9. Квазиоптические антенно-фидерные системы // Киселев В.К., Костенко А.А., Хлопов Г.И., Яновский М.С / Под ред. Г.И. Хлопова. – Харьков: ИПП «Контраст», 2013. – 408с. ISBN 978-966-8855-92-4.
10. Киселев В.К. Физическое моделирование электромагнитного рассеяния в квазиоптических направляющих структурах терагерцового диапазона /В.К. Киселев// Радиофизика и электроника. – Харьков: Ин-т радиофизики и электрон. НАН Украины. – 2008. – т. 13, спец. выпуск. – С. 359-376.
11. *Конев В.А., Кулешов Е.М., Пунько Н.Н.* Радиоволновая эллипсометрия / Под ред. И.С.Ковалева. - Минск: Наука и техника, 1985. - 104с.
12. Bahaa E. A. Saleh, Introduction to Subsurface Imaging, Cambridge, 2011.
13. Никольский В.В. Электродинамика и распространение радиоволн, М.: Наука 1983, 608с.
14. K.Inoue, K.Ohtaka, Photonic crystals, Sringer, 320p,m 2004
15. Ф.Г.Басс, А.А.Булгаков, А.П.Тетервов, Высоочастотные свойства полупроводников со сверхрешетками, М. «Наука».1989 г., 287 стр.
16. R.Marcos, F.Martin, M Sorrola, Metamaterials with Negative Parameters, Willey , 267P., 2007,
17. K.Busch, S.Lolkes, R. Wehrspolnec., Photonic Crystals, (Advances in Design Fabrication Characterization) , Wiley 2004, 354 P
18. A.Serdukov, I.Semchenko, A Sihvola, Electromagnetics of Bi-anisotropic Materials: Theory and Applications, Amsterdam: Gordon and Breach Science Publishers, 2001, 337 P
19. Qantum Electornics. A.Yariv, Wiley&Sons 1988, 676с.
20. М.Борн, Э Вольф, Основы оптики, Наука, 1973, 719 стр
21. S.I. Tarapov, Yu. P. Machekhin, A.S. Zamkovoy. Magnetic Resonance for Optoelectronic Materials Investigating. Kharkov: Collegium, 2008, 144 p., ISBN 978-966-8604-42-3.
22. В.В. Шмидт, Введение в физику сверхпроводников, МЦНМО, М., 2000
23. Zhi-Yan Shen, High-Temperature Superconducting Microwave Circuits, Artech House, Boston-London, 1994.

24. M. Lancaster, *Passive Microwave Device Applications of High-Temperature Superconductors*, Cambridge, 1997.
25. I.B. Vendik, O.G. Vendik, *High Temperature Superconductor Devices for Microwave Signal Processing*, parts I, II and III, SCLADEN Ltd, St.-Petersburg, 1997.
26. Якубов В.П. Статистическая радиофизика: Учебное пособие. Томск: Изд-во НТЛ, 2006.
27. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа, 1983.
28. Купер Дж., Макгиллем К. Вероятностные методы анализа сигналов и систем. М.: Мир, 1989.
29. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных, М.: Мир, 1989, ISBN 5–03–001071–8.
30. Свешников А. Г. Математические методы в задачах анализа и синтеза слоистых сред / А. Г. Свешников, А. В. Тихонравов // *Мат. моделирование* – 1989. – 1, № 7. – С. 13–38.
31. Якубов В.П., Шипилов С.Э., Суханов Д.Я., Клоков А.В. Радиоволновая томография: достижения и перспективы: монография / Под ред. В.П. Якубова. Томск: Изд-во НТЛ, 2014. 264 с.
32. Якубов В.П., Машаруев М.Л. Метод двойной фокусировки для когерентной томографии неоднородных сред. // *Известия вузов. Физика*, 1997, №4, 87- 92.
33. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1979.
34. Василенко Г.И., Тараторин А.М. Восстановление изображений. М.: Радиоисвязь, 1986

Допоміжна література

- 1) A. A. Kostenko, A. I. Nosich, and P. F. Goldsmith, “Historical background and development of Soviet quasioptics at near-mm and sub- mm wavelengths,” Chapter 15 in T. Sarkar (Ed.), *History of Wireless*, New York: Wiley, pp. 473-542, 2006.
- 2) T. L. Zinenko, “Yevgeny Mitrofanovich Kuleshov, 1922–2016 – His contribution to early sub-millimeter wave quasioptics,” *Int. J. Microwave and Wireless Technologies*, vol. 8, no 8, pp. 1129–1132, 2016.
- 3) Mizrakhy S. History and Perspectives of THz Components and Circuits Using Oversize Dielectric-Lined Waveguides / Sergey Mizrakhy // *Proceedings of the 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, May 29 – June 2, 2017, Kyiv, Ukraine. –P. 198-201.
- 4) A. A. Galuza, V. K. Kiseliyov, I. V. Kolenov, A. I. Belyaeva, Y. M. Kuleshov, “Developments in THz-range ellipsometry: quasi-optical ellipsometer,” *IEEE Trans. on Terahertz Science and Technology*, vol. 6, no. 2, pp. 183-190, 2016.
- 5) V. I. Bezborodov, V. K. Kiseliyov, Y. M. Kuleshov, P.K. Nesterov, S.V. Mizrakhy, et al. “Sub-Terahertz quasi-optical reflectometer for CFRP surface inspection advanced materials research,” *Trans. Tech. Publications. Switzerland*, vol. 664, pp. 547-550, 2013
- 6) *Microwaves in Dispersive Magnetic Composite Media (Review Article)*, S.I. Tarapov and D.P. Belozorov, *Low Temperature Physics*, 2012, v.38, N.7, p.766-792.
- 7) Resonant Response in Mechanically Tunable Metasurface Based on Crossed Metallic Gratings with Controllable Crossing Angle, V. Yachin, L. Ivzhenko, S. Polevoy, and S. Tarapov, *Applied Physics Letters*, 2016, v.109, pp.221905 (1-4).
- 8) Mechanically Tunable Wire Medium Metamaterial in the Millimeter Wave Band, L. Ivzhenko, E. Odarenko, and S.I. Tarapov, *PIERL*, 2016, v. 64, p. 93-98.
Surface electromagnetic states in the photonic crystal–ferrite–plasma-like medium structure, Yu. O. Averkov, S.I. Tarapov, A.A. Kharchenko, and V.M. Yakovenko, *Low Temp. Phys.* 2014, 40, p. 667-674.
- 9) Баранник А. А., Губин А. И., Лавринович А. А., Черпак Н. Т., *Микроволновая радиофизика необычных сверхпроводников, Радиофизика и электроника*, т. 23, №4, с. 15-36, 2018.
- 10) О. А. Баранник, *Квазіоптичні діелектричні резонатори з елементами незвичайних надпровідників*, доктор. дис. фіз.-мат. наук. ІРЕ ім. О.Я.Усикова, Харків, 2020.
- 11) S. M. Anlage, *Microwave superconductivity*, *IEEE, Journal of Microwave*, vol. 1, no 1, p. 389-402, 2021.

Інформаційні ресурси

1. Бібліотека Інституту.

2. Інформаційна база наукових статей

<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1559/1/012054>

<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85094487542&origin=resultslist>

DOI: [10.1109/UkrMW49653.2020.9252627](https://doi.org/10.1109/UkrMW49653.2020.9252627)

<https://doi.org/10.2528/PIERL18112701>

DOI: [10.1615/TelecomRadEng.v77.i15.60](https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v77.i15.60)

<https://doi.org/10.1063/1.5024545>

<https://doi.org/10.1615/TelecomRadEng.v76.i19.10>

<http://www.dl.begellhouse.com/ru/journals/0632a9d54950b268,6fe6dc2252a6da8b,0e0c8d8770a0e92e.html>

<https://doi.org/10.1109/TASC.2016.2631882>

<https://ieeexplore.ieee.org/document/7752777>

<https://ujp.bitp.kiev.ua/index.php/ujp/article/view/2018624>