

Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я.Усикова

Національна академія наук України

Затверджую

Директор ІРЕ ім. О.Я.Усикова
НАН України



Г.М.Мележик

» 02 2021 р.

ВИБРАНІ ПИТАННЯ СУЧАСНОЇ ТЕОРЕТИЧНОЇ 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., с.н.с Свеженцев Олександр Євгенович



д.ф.- м. н., с.н.с Кузьмичов Ігор Костянтинович

к.ф.-м.н., с.н.с. Стешенко Сергій Олександрович



д. ф.-м. н., проф. Кириленко Анатолій Опанасович



к.ф.-м.н., с.н.с. Пазинін Леонід Олександрович



д.ф.-м.н. проф. Носич Олександр Йосипович



д.ф.-м.н. с.н.с, Пазинін Вадим Леонідович



к.ф.-м.н., с.н.с. Свіщов Юрій Васильович



РЕЦЕНЗЕНТ:

Провідний науковий співробітник кафедри прикладної електродинаміки ХНУ імені В. Н. Каразіна, доктор фізико-математичних наук, с.н.с. Нестеренко Михайло Васильович

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

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни **«Вибрані питання сучасної теоретичної 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 базові концепції та сучасні досягнення в області теоретичної радіофізики як основи для подальшого використання у практиці наукових досліджень, викладацької та іншої професійної діяльності.

Згідно з навчальним планом вивчення дисципліни **«Вибрані питання сучасної теоретичної 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 вивчення процесів, які пов'язані з поширенням та розсіюванням хвиль у різноманітних середовищах з неоднорідностями, як у вільному просторі, так і у закритих та відкритих хвилеводах та резонаторах.

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

1. Мета та завдання навчальної дисципліни

1.1. **Метою викладання навчальної дисципліни «Вибрані питання сучасної теоретичної радіофізики»** є закладання навичок аналізу явищ та особливостей, пов'язаних з розподілом електромагнітних полів, та формування у аспірантів системи сучасних знань про теоретичне та практичне застосування цих знань у різних галузях фізики.

1.2. **Основними завданнями** вивчення дисципліни **«Вибрані питання сучасної теоретичної радіофізики»**

є:

- Ознайомлення з основними рівняннями обчислювальної електродинаміки, постановами початково-крайових і крайових задач;
- Ознайомлення з деякими задачами резонансного розсіяння хвиль, як прикладами постановки та розв'язання початково-крайових задач (запирання хвилеводу ступінчастим розширенням,

проходження хвиль крізь ланцюжок зв'язаних резонаторів, антени дифракційного випромінювання та ін.);

- Ознайомлення з пасивним та активним стисканням електромагнітних імпульсів;
- Ознайомлення з основними положеннями теорії хвиле-провідних структур, з основними хвилями та їх структурою ролів у відомих хвилеводах;
- Ознайомлення з основними положеннями теорії циліндрично-конформних антен;
- Ознайомлення з особливостями застосування методу моментів для аналізу циліндрично-конформних антен;
- Ознайомлення з фізикою процесів у відкритих квазіоптичних резонаторах, їх узгодженням з хвилеводною лінією передачі і з квазіоптичним трактом, з кутовою та частотною селекцією коливань у відкритих квазіоптичних резонаторах;
- Ознайомлення з застосування відкритих резонаторів у вакуумній та твердотільній електроніці;
- Ознайомлення з класифікацією методів розв'язання граничних задач електродинаміки, зокрема, з методом часткових областей, з метод узагальнених матриць розсіяння для розрахунку дифракційних і спектральних характеристик об'єктів;
- Ознайомлення з методом дискретних особливостей, з сингулярними інтегральними рівняннями з додатковою умовою і схемою методу їх розв'язання;
- Ознайомлення з основними принципами і можливостями застосування чисельних моделей в мікрохвильовій електроніці та електродинаміки, з основними результатами спектральної теорії в застосуванні до мікрохвильової електродинаміки;
- Ознайомлення з зв'язком власних коливань відкритих структур з резонансними явищами в хвилеводах і решітках, з мета матеріалами і мета поверхнями.
- Ознайомлення з метаматеріальними середовищами та особливостями поширення у них електромагнітних хвиль;
- Ознайомлення з інваріантністю рівнянь Максвелла відносно координатних перетворень та основними положеннями трансформаційної оптики;
- Ознайомлення з впливанням матеріальних властивостей речовин на постановку задач електродинаміки в оптичному діапазоні хвиль;
- Ознайомлення з особливостями використання інтегральних рівнянь Мюллера в оптиці;
- Ознайомлення з постановою спектральних завдань для відкритого резонатора з кульовим включенням;
- Ознайомлення з рішенням спектральної задачі для кінцевого числа незамкнених сферичних екранів;

1.3. Очікувані результати навчання з дисципліни:

2. Аспірант повинен знати основні особливості поширення та розсіювання електромагнітних хвиль у відомих структурах.
3. Аспірант повинен ознайомитися з методами аналізу відомих електродинамічних структур, можливостями їх використання у типових випадках, особливостями їх застосування для практичної реалізації.
4. Аспірант повинен знати основні принципи, які впливають на формування того чи іншого розподілу електромагнітного поля. Аспірант повинен охарактеризувати особливості процесів поширення та розсіювання електромагнітних хвиль у різноманітних середовищах.
5. Аспірант повинен знати загальні закономірності перебігу процесів, що розвиваються у широко відомих електродинамічних об'єктах, знати існуючі методичні підходи до їх аналізу; знати сферу практичного застосування цих підходів та розуміти її обмеження.

1. Програма навчальної дисципліни

Дисципліна	Модулі	Загальна кількість годин	Кредити ЄКТС	Лекції (годин)	Практичні та семінарські заняття	Самостійна робота
------------	--------	--------------------------	--------------	----------------	----------------------------------	-------------------

«Вибрані питання сучасної теоретичної радіофізики»	Модуль 1	150	5	30	0	120
---	----------	-----	---	----	---	-----

МОДУЛЬ 1.

Тема 1. Хвилі в закритих і відкритих хвилеводах складного поперечного перерізу.

Основні положення теорії хвиле провідних структур. Хвилі у лініях Губо і Зоммерфельда. Діелектричні хвилеводи. Клиноподібна лінія передачі. Хвилі в щілинних і смушкових лініях передачі. Хвилі в жолобковому хвилеводі. Хвилі в періодичних структурах.

Тема 2. Сучасний прогрес в області циліндрично-конформних мікросмушкових антен (МСА): теорія, проектування та експеримент.

Методи розрахунку характеристик МСА. Збудження МСА плоскою хвилею. Збудження МСА мікросмугової лінією. Збудження МСА пробую. Розширення смуги пропускання МСА. МСА з рівно спрямованою діаграмою спрямованості.

Тема 3. Обчислювальна електродинаміка у хвилевій оптиці та фотоніці.

Унікальні матеріальні властивості речовин в оптичному діапазоні хвиль та їх наслідки для обчислювальної хвилевої оптики та фотоніки. Важливість точних методів моделювання у мікро і нано оптиці і фотоніці. Основи методів, маючих гарантовану збіжність: аналітична регуляризація та дискретизація за Найстрьомом. Приклад 1: діелектричні мікролінзи та призми як відкриті резонатори. Приклад 2: мікролазери як відкриті діелектричні резонатори з активними зонами. Приклад 3: металеві нанострічки та решітки з них як відкриті плазмонні резонатори.

Тема 4. Частотна та кутова селективність решіток: від плазмонів на графенових стрічках до резонансів на ґраткових модах.

Періодичність граничних умов та ряди Флоке для розсіяного поля та її наслідки для обчислювальної електродинаміки. Важливість точних методів моделювання розсіяння хвиль на решітках. Приклад 1: розсіяння терагерцевих хвиль на решітці з графенових стрічок та плазмони. Приклад 2: решітка з графенових стрічок у шарі діелектрика та ґраткові резонанси. Інші приклади резонансних ефектів в розсіянні хвиль на решітках.

Тема 5. Відкриті квазіоптичні резонатори в техніці міліметрового і субміліметрового діапазонів довжин хвиль.

Узгодження відкритих квазіоптичних резонаторів з хвилеводною лінією передачі. Узгодження відкритих резонаторів з квазіоптичного трактом. Новий тип відкритих квазіоптичних резонаторів. Кутова і частотна селекція коливань у відкритих квазіоптичних резонаторах. Застосування відкритих резонаторів у вакуумній електроніці. Відкриті квазіоптичні резонатори в твердотільній електроніці. Інші можливі застосування відкритих квазіоптичних резонаторів.

Тема 6. Кінець XX століття. Чисельно-аналітичні моделі. Традиційні резонанси і спектральна теорія.

Довільні 3D завдання і швидкі чисельно-аналітичні моделі. Елементи спектральної теорії. Зв'язок спектральних задач і завдань розсіювання. Порушення лінійної, трансляційної, площинної, обертальної симетрії і резонансні ефекти в скалярних і векторних. «Малі електричні розширення» і класичні резонанси відбиття. Резонанси проходження в багатомодовому діапазоні при розсіянні на малих електричних «звуженнях».

Тема 7. XXI век. Нові резонанси.

Новомодні резонансні явища, їх наближена «твердотільна» і точна електродинамічна інтерпретація. «Плазмон-поляритони» і «enhanced or extraordinary» transmission. Апертурні власні коливання. Аналогія з LC осередками і відсутність явища в 2D випадках. Прояви апертурних коливань при розсіянні на екранах з двумерно-періодичними заглибленнями або відображенні від переходів на позамежний хвилевід. Поява симетричних і антисиметричних пар апертурних коливань в ґратках і діафрагмах. Нова інтерпретація резонансу напівхвилевої щілини і «непомічена» резонанс. Резонанси відображення в разі додаткових екранів з малих «патчевих» елементів. «Оптична активність» в природі і пошук метаматеріалів, які забезпечують штучну оптичну активність. Дієдральні власні коливання і методи їх порушення. Двуслойні структури з обертальною симетрією різного порядку, просторовий спектр хвилеводних хвиль в зазорі. Особливості різних типів перетворювачів поляризації на взаємодії об'єктів по ближнім полях.

Тема 8. Методи часткових областей і узагальнених матриць розсіяння в граничних задачах електродинаміки.

Метод часткових областей (МЧО) в задачах розрахунку модового базису хвилеводів складного поперечного перерізу з координатними границями в декартовій і циліндричній системах координат. МЧО для розрахунку площинних зчленувань хвилеводів. Методи розрахунку зчленувань хвилеводів, що накладаються.

Метод узагальнених матриць розсіяння для розрахунку дифракційних і спектральних характеристик об'єктів, що утворено відрізками хвилеводів довільного поперечного перерізу. МЧО для аналізу періодичних структур: власні хвилі періодичних ґраток і сповільнювальних систем, матриця розсіяння напівскінченної періодичної структури.

Тема 9. Метод дискретних особливостей в двовимірних задачах дифракції.

Історія створення методу: від методу дискретних вихрів до методу дискретних особливостей. Внесок С.М. Білоцерковського, І.К. Ліфанова, Ю.В. Ганделя. Двовимірні задачі дифракції, які може бути розв'язано методом дискретних особливостей. Сингулярне інтегральне рівняння з додатковою умовою і схема методу їх розв'язання. Умова на нескінченності для виділення єдиного рішення. Задачі, в яких необхідно враховувати поверхневі хвилі. Врахування поверхневих хвиль за допомогою методу перевалу асимптотичної оцінки інтегралів. Прилад розв'язання задачі дифракції методом дискретних особливостей для аналізу антени витічних хвиль.

Тема 10. Метаматеріальні середовища. Трансформаційна оптика.

Особливості поширення електромагнітних хвиль у метаматеріальних середовищах. Ефект негативної рефракції у "лівому" середовищі. Ідеальна лінза. Основні положення трансформаційної оптики. Ефект електромагнітного маскування та інші застосування.

Тема 11. Основи теорії сферичних відкритих резонаторів. Постанови задач та їх рішення.

Постановка спектральних завдань для відкритого резонатора з кульовим включенням. Потенціали Дебая і векторні сферичні хвильові функції. Рішення спектральної задачі для кінцевого числа незамкнених сферичних екранів. Рішення спектральної задачі для діелектричної кулі. Вирішення спектральних завдань для відкритого резонатора з кульовим включенням.

Тема 12. Математично строгі дослідження властивостей відкритого резонатора (сферичні дзеркала) з металевим або діелектричним кульовим включенням.

Власні коливання відкритого резонатора з сферичними дзеркалами. Власні коливання діелектричної кулі. Власні коливання відкритого резонатора з металевим кульовим включенням. Власні коливання відкритого резонатора з діелектричним кульовим включенням і їх зв'язок з власними коливаннями порожнього відкритого резонатора. Резонансне підвищення добротності власних коливань в порожньому відкритому резонаторі і у відкритому резонаторі з металевим або діелектричним кульовим включенням. Про перспективи подальших досліджень.

Тема 13. Моделювання електродинамічних процесів у відкритих структурах методом скінченних різниць у часовій області. Математичне обґрунтування.

Основні рівняння обчислювальної електродинаміки. Області аналізу, крайові та початкові умови. Постановка початково-крайових і крайових задач. Дискретизація та розв'язання початково-крайових задач. Інтегральні характеристики об'єкту, що, зазвичай, є метою розв'язання. Деякі задачі резонансного розсіяння хвиль, як приклади постановки та розв'язання початково-крайових задач (запирання хвилеводу ступінчастим розширенням, проходження хвиль крізь ланцюжок зв'язаних резонаторів, антени дифракційного випромінювання та ін.).

Тема 14. Моделювання електродинамічних процесів у відкритих структурах методом скінченних різниць у часовій області. Пасивне стискання електромагнітних імпульсів.

Принцип дисперсійного стискання. Кінематичне наближення та його недоліки. Принцип обернення хвильового фронту. Приклади стискання у полуму металевому хвилеводі без втрат. Узагальнення метода обернення хвильового фронту на випадок хвилевідних трактів зі втратами. Приклади стискання у відкритих діелектричних хвилеводах. Стискання у середовищах з дисперсією діелектричної проникності.

Тема 15. Моделювання електродинамічних процесів у відкритих структурах методом скінченних різниць у часовій області. Активне стискання електромагнітних імпульсів.

Принцип активного стискання та головні проблеми, що стають на заваді при його практичній реалізації. Види накопичувачів та перемикачів енергії у мікрохвильовому діапазоні. Налаштування на резонансну частоту накопичувача та перемикача. Принцип двоступеневої компресії. Приклад двоступеневого стискання імпульсу на моделі компресора з дводзеркальним резонатором у першому ступені.

ПІДСУМКОВИЙ МОДУЛЬНИЙ КОНТРОЛЬ.

Екзамен.

2. Структура навчальної дисципліни

Структура навчальної дисципліни	Кількість годин, з них			
	Всього	Аудиторних		Самостійна робота
		Лекцій	Практичних та семінарських занять	
Хвилі в закритих і відкритих хвильоводах складного поперечного перерізу.	10	2	0	8
Сучасний прогрес в області циліндрично-конформних мікросмушкових антен (МСА): теорія, проектування та експеримент.	10	2	0	8
Обчислювальна електродинаміка у хвильовій оптиці та фотоніці	10	2	0	8
Частотна та кутова селективність решіток: від плазмонів на графенових стрічках до резонансів на ґраткових модах	10	2	0	8
Відкриті квазіоптичні резонатори в техніці міліметрового і субміліметрового діапазонів довжин хвиль.	10	2	0	8
Кінець ХХ століття. Чисельно-аналітичні моделі. Традиційні резонанси і спектральна теорія.	10	2	0	8
ХХІ век. Нові резонанси.	10	2	0	8
Методи часткових областей і узагальнених матриць розсіяння в граничних задачах електродинаміки.	10	2	0	8
Метод дискретних особливостей в двовимірних задачах дифракції.	10	2	0	8
Метаматеріальні середовища. Трансформаційна оптика.	10	2	0	8
Основи теорії сферичних відкритих резонаторів. Постанови задач та їх рішення.	10	2	0	8
Математично строгі дослідження властивостей відкритого резонатора (сферичні дзеркала) з металевим або діелектричним кульовим включенням.	10	2	0	8
Моделювання електродинамічних процесів у відкритих структурах методом скінченних різниць у часовій області. Математичне обґрунтування.	10	2	0	8
Моделювання електродинамічних процесів у відкритих структурах методом скінченних різниць у часовій області. Пасивне стискання електромагнітних імпульсів	10	2	0	8
Моделювання електродинамічних процесів у відкритих структурах методом скінченних різниць у часовій області. Активне стискання електромагнітних імпульсів	10	2	0	8
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.	Хвилі в закритих і відкритих хвилеводах складного поперечного перерізу.	2
2.	Сучасний прогрес в області циліндрично-конформних мікросмушкових антен (МСА): теорія, проектування та експеримент	2
3.	Обчислювальна електродинаміка у хвилевій оптиці та фотоніці	2
4.	Частотна та кутова селективність решіток: від плазмонів на графенових стрічках до резонансів на ґраткових модах	2
5.	Відкриті квазіоптичні резонатори в техніці міліметрового і субміліметрового діапазонів довжин хвиль.	2
6.	Кінець ХХ століття. Чисельно-аналітичні моделі. Традиційні резонанси і спектральна теорія.	2
7.	ХХІ век. Нові резонанси	2
8.	Методи часткових областей і узагальнених матриць розсіяння в граничних задачах електродинаміки.	2
9.	Метод дискретних особливостей в двовимірних задачах дифракції.	2
10.	Метаматеріальні середовища. Трансформаційна оптика.	2
11.	Основи теорії сферичних відкритих резонаторів. Постанови задач та їх рішення.	2
12.	Математично строге дослідження властивостей відкритого резонатора (сферичні дзеркала) з металевим або діелектричним кульовим включенням.	2
13.	Моделювання електродинамічних процесів у відкритих структурах методом скінчених різниць у часовій області. Математичне обґрунтування.	2
14.	Моделювання електродинамічних процесів у відкритих структурах методом скінчених різниць у часовій області. Пасивне стискання електромагнітних імпульсів	2
15.	Моделювання електродинамічних процесів у відкритих структурах методом скінчених різниць у часовій області. Активне стискання електромагнітних імпульсів	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. Хвилі в закритих і відкритих хвилеводах складного поперечного перерізу.	Кількість годин.
1.	Основні положення теорії хвиле провідних структур.	1
2.	Хвилі у лініях Губо і Зоммерфельда	2
3.	Діелектричні хвилеводи.	1
4.	Хвилі в щілинних і смушкових лініях передачі.	1
5.	Хвилі в жолобковому хвилеводі.	2
6.	Хвилі в періодичних структурах.	1
	Разом	8

№	Тема 2. Сучасний прогрес в області циліндрично-конформних мікросмушкових антен (МСА): теорія, проектування та експеримент.	Кількість годин.
1.	Методи розрахунку характеристик МСА	2
2.	Збудження МСА плоскою хвилею.	1
3.	Збудження МСА мікросмушкової лінією..	1
4.	Збудження МСА пробою.	2
5.	Розширення смуги пропускання МСА.	1
6.	МСА з рівно спрямованою діаграмою спрямованості.	1
	Разом	8

№	Тема 3. Обчислювальна електродинаміка у хвильовій оптиці та фотоніці.	Кількість годин.
1.	Унікальні матеріальні властивості речовин в оптичному діапазоні хвиль та їх наслідки для обчислювальної хвильової оптики та фотоніки	2
2.	Важливість точних методів моделювання у мікро і нано оптиці і фотоніці	1
3.	Основи методів, маючих гарантовану збіжність: аналітична регуляризація та дискретизація за Найстрьомом.	2
4.	Приклад 1: діелектричні мікролінзи та призми як відкриті резонатори.	1
5.	Приклад 2: мікролазери як відкриті діелектричні резонатори з активними зонами.	1
6.	Приклад 3: металеві нанострічки та решітки з них як відкриті плазмонні резонатори.	1
	Разом	8

№	Тема 4. Частотна та кутова селективність решіток: від плазмонів на графенових стрічках до резонансів на ґраткових модах	Кількість годин.
1.	Періодичність граничних умов та ряди Флоке для розсіяного поля та її наслідки для обчислювальної електродинаміки	3
2.	Важливість точних методів моделювання розсіяння хвиль на решітках	2
3.	Приклад 1: розсіяння терагерцевих хвиль на решітці з графенових стрічок та плазмони.	1
4.	Приклад 2: решітка з графенових стрічок у шарі діелектрика та ґраткові резонанси.	1
5.	Інші приклади резонансних ефектів в розсіянні хвиль на решітках.	1
	Разом	8

№	Тема 5. Відкриті квазіоптичні резонатори в техніці міліметрового і субміліметрового діапазонів довжин хвиль	Кількість годин.
1.	Узгодження відкритих квазіоптичних резонаторів з хвилеводною лінією передачі	2
2.	Узгодження відкритих резонаторів з квазіоптичним трактом.	1
3.	Новий тип відкритих квазіоптичних резонаторів.	2
4.	Застосування відкритих резонаторів у вакуумній електроніці.	1

5.	Відкриті квазіоптичні резонатори в твердотільній електроніці. Інші можливі застосування відкритих квазіоптичних резонаторів.	2
	Разом	8

№	Тема 6. Кінець XX століття. Чисельно-аналітичні моделі. Традиційні резонанси і спектральна теорія.	Кількість годин.
1.	Довільні 3D завдання і швидкі чисельно-аналітичні моделі.	3
2.	Елементи спектральної теорії. Зв'язок спектральних задач і завдань розсіювання.	2
3.	Порушення лінійної, трансляційної, площинної, обертальної симетрії і резонансні ефекти в скалярних і векторних задачах.	1
4.	«Малі електричні розширення» і класичні резонанси відбиття.	1
5.	Резонанси проходження в багатомодовому діапазоні при розсіянні на малих електричних «звуженнях».	1
	Разом	8

№	Тема 7. XXI век. Нові резонанси.	Кількість годин.
1.	Новомодні резонансні явища, їх наближена «твердотільна» і точна електродинамічна інтерпретація. «Плазмон-поляритони» і «enhanced or extraordinary» transmission.	1
2.	Апертурні власні коливання. Аналогія з LC осередками і відсутність явища в 2D випадках. Прояви апертурних коливань при розсіянні на екранах з двумерно-періодичними заглибленнями або відображенні від переходів на позамежний хвилевід. Поява симетричних і антисиметричних пар апертурних коливань в ґратках і діафрагмах.	3
3.	Нова інтерпретація резонансу напівхвилевої щілини і «непомічена» резонанс. Резонанси відображення в разі додаткових екранів з малих «патчевих» елементів.	1
4.	«Оптична активність» в природі і пошук метаматеріалів, які забезпечують штучну оптичну активність. Дієдральні власні коливання і методи їх порушення.	1
5.	Двошарові структури з обертальною симетрією різного порядку, просторовий спектр хвилеводних хвиль в зазорі.	1
6.	Особливості різних типів перетворювачів поляризації на взаємодії об'єктів по ближнім полях.	1
	Разом	8

№	Тема 8. Методи часткових областей і узагальнених матриць розсіяння в граничних задачах електродинаміки	Кількість годин.
1.	Метод часткових областей (МЧО) в задачах розрахунку модового базису хвилеводів складного поперечного перерізу з координатними границями в декартовій і циліндричній системах координат	2
2.	МЧО для розрахунку площинних зчленувань хвилеводів.	2
3.	Методи розрахунку зчленувань хвилеводів, що накладаються.	
4.	Метод узагальнених матриць розсіяння для розрахунку дифракційних і спектральних характеристик об'єктів, що утворено відрізками хвилеводів довільного поперечного перерізу.	2
5.	МЧО для аналізу періодичних структур: власні хвилі періодичних ґраток і сповільнювальних систем, матриця розсіяння напівскінченної періодичної структури.	2
	Разом	8

№	Тема 9. Метод дискретних особливостей в двовимірних задачах дифракції	Кількість годин.
1.	Історія створення методу: від методу дискретних вихрів до методу дискретних особливостей. Внесок С.М. Білоцерковського, І.К. Ліфанова, Ю.В. Ганделя.	2
2.	Двовимірні задачі дифракції, які може бути розв'язано методом дискретних особливостей.	2
3.	Сингулярне інтегральне рівняння з додатковою умовою і схема методу їх розв'язання. Умова на нескінченності для виділення єдиного рішення.	2
4.	Задачі, в яких необхідно враховувати поверхневі хвилі. Врахування поверхневих хвиль за допомогою методу перевалу асимптотичної оцінки інтегралів.	1
5.	Прилад розв'язання задачі дифракції методом дискретних особливостей для аналізу антени витічних хвиль.	1
	Разом	8

№	Тема 10. Метаматеріальні середовища. Трансформаційна оптика.	Кількість годин.
1.	Особливості поширення електромагнітних хвиль у метаматеріальних середовищах	3
2.	Ефект негативної рефракції у "лівому" середовищі.	2
3.	Ідеальна лінза.	1
4.	Основні положення трансформаційної оптики	1
5.	Ефект електромагнітного маскування та інші застосування.	1
	Разом	8

№	Тема 11. Основи теорії сферичних відкритих резонаторів. Постанови задач та їх рішення.	Кількість годин.
1.	Постановка спектральних завдань для відкритого резонатора з кульовим включенням	1
2.	Потенціали Дебая і векторні сферичні хвильові функції.	1
3.	Рішення спектральної задачі для кінцевого числа незамкнених сферичних екранів	2
4.	Рішення спектральної задачі для діелектричної кулі.	2
5.	Вирішення спектральних завдань для відкритого резонатора з кульовим включенням.	2
	Разом	8

№	Тема 12. Математично строге дослідження властивостей відкритого резонатора (сферичні дзеркала) з металевим або діелектричним кульовим включенням.	Кількість годин.
1.	Власні коливання відкритого резонатора з сферичними дзеркалами	3
2.	Власні коливання діелектричної кулі. Власні коливання відкритого резонатора з металевим кульовим включенням.	2
3.	Власні коливання відкритого резонатора з діелектричним кульовим включенням і їх зв'язок з власними коливаннями порожнього відкритого резонатора	1
4.	Резонансне підвищення добротності власних коливань в порожньому відкритому резонаторі і у відкритому резонаторі з металевим або діелектричним кульовим включенням	1
5.	Про перспективи подальших досліджень.	1
	Разом	8

№	Тема 13. Моделювання електродинамічних процесів у відкритих структурах методом скінченних різниць у часовій області. Математичне обґрунтування.	Кількість годин.
1.	Основні рівняння обчислювальної електродинаміки. Області аналізу, крайові та початкові умови. Постановка початково-крайових і крайових задач.	2
2.	Постановка початково-крайових і крайових задач.	2
3.	Дискретизація та розв'язання початково-крайових задач. Інтегральні характеристики об'єкту, що, зазвичай, є метою розв'язання.	2
4.	Деякі задачі резонансного розсіяння хвиль, як приклади постановки та розв'язання початково-крайових задач (запирання хвилеводу ступінчастим розширенням, проходження хвиль крізь ланцюжок зв'язаних резонаторів, антени дифракційного випромінювання та ін.)..	2
	Разом	8

№	Тема 14. Моделювання електродинамічних процесів у відкритих структурах методом скінченних різниць у часовій області. Пасивне стискання електромагнітних імпульсів.	Кількість годин.
1.	Принцип дисперсійного стискання. Кінематичне наближення та його недоліки.	2
2.	Принцип обернення хвилевого фронту. Приклади стискання у полому металевому хвилеводі без втрат.	2
3.	Узагальнення метода обернення хвилевого фронту на випадок хвилевідних трактів зі втратами. Приклади стискання у відкритих діелектричних хвилеводах	2
4.	Стискання у середовищах з дисперсією діелектричної проникності.	2
	Разом	8

№	Тема 15. Моделювання електродинамічних процесів у відкритих структурах методом скінченних різниць у часовій області. Активне стискання електромагнітних імпульсів.	Кількість годин.
1.	Принцип активного стискання та головні проблеми, що стають на заваді при його практичній реалізації.	2
2.	Види накопичувачів та перемикачів енергії у мікрохвильовому діапазоні.	2
3.	Налаштування на резонансну частоту накопичувача та перемикача.	2
4.	Принцип двоступеневої компресії. Приклад двоступеневого стискання імпульсу на моделі компресора з дзеркальним резонатором у першому ступені.	2
	Разом	8

6. Орієнтовний перелік питань до підсумкового контролю

1. Основні рівняння обчислювальної електродинаміки.
2. Смуга пропускання мікросмужкових антен та способи її поширення.
3. Які основні граничні умови для векторів напруженості електричного і магнітного поля ?
4. Які приблизно втрати в см і мм діапазонах довжин хвиль мають відомі лінії передачі: металеві хвилеводи, діелектричні хвилеводи, смушкова і щілинна лінії, коаксіальна лінія, жолобковий хвилевод?
5. Граничні задачі для власних хвиль хвилеводів складного поперечного перерізу різної поляризації.
6. Особливості поширення хвиль у жолобковому хвилеводі.
7. Які хвилі називаються основними? Структура поля основних хвиль у лініях передачі: у круглому діелектричному хвилеводі, у лінії Губо, у двох-провідної лінії, у коаксіальній лінії.
8. Узагальнена матриця розсіяння.
9. Поверхневі хвилі, та хвилі, які витікають, в чому їх відмінність? Ефекти «взаємодії» хвиль у

закритих та відкритих хвилеводах.

10. Власні хвилі періодичних структур.

11. Глобальні фізичні висновки теорії, що зв'язала проблему розсіювання зі спектральними задачами.

12. Сучасні методи матмоделювання у електродинаміці мікрохвиль. Переваги і недоліки.

13. Основна мода мікросмушкової антени. Способи збудження та узгодження мікросмушкових антен.

14. Основні чисельно-аналітичні моделі для об'єктів з дискретним просторовим спектром (хвилеводи, періодичні структури). Можливості розширення сфери застосування.

15. Поведінка компонент електромагнітного поля поблизу ребра.

16. Приклади класичних резонансів, пояснених зі спектральної точки зору.

17. Як з допомогою одновимірних дифракційних ґраток узгодити відкритий резонатор з хвилевідною лінією передачі?

18. Екстраординарне проходження та відбиття і їх зв'язок з власними коливаннями електродинамічних структур з дискретним просторовим спектром (хвилеводи, періодичні структури)..

19. Необхідні умови для узгодження коливання резонатора з збуджувальним гавсівим пучком.

20. Нижчі хвилі в металевих хвилеводах, їх основні характеристики (критичні частоти, структура поля, фазова швидкість та інші).

21. Апертурні коливання, їх зв'язок з особливостями геометрії об'єкта і з класичними резонансами.

22. Як впливають розміри та форма елемента зв'язку на кутову селекцію коливань у резонаторі?

23. Які типи коливань збуджуються в електродинамічній системі генератора дифракційного випромінювання?

24. Ефекти дифракційного випромінювання і їх використання в техніці міліметрових хвиль.

25. Особливості побудови твердотілих генераторів з відкритою електродинамічною системою.

26. Задачі на власні коливання закритих та відкритих резонаторів. Умови випромінювання.

27. Чим відрізняються завдання частотної області і завдання області тимчасової?

28. Рівняння Максвелла та умови для компонент векторів на поверхнях векторів напруженості електричного і магнітного поля діелектричних та металевих об'єктів.

29. Як правильно поставити початково-крайову задачу ?.

30. Поясніть, ще таке сіткові функції, різницеві аналоги похідних, збіжність, стійкість та порядок апроксимації різницевої схеми.

31. Поясніть принцип пасивного (дисперсійного) стискання електромагнітних імпульсів. В чому полягає суть кінематичного наближення та у чому його вада?

32. Поясніть принцип обернення хвильового фронту у задачах компресії електромагнітних імпульсів.

33. Розкрийте принцип активного (резонансного) стискання електромагнітних імпульсів. Які протиріччя потрібно долати задля практичної реалізації такого стискання? Механізм резонансного обміну енергією, що покладено в основу двоступеневого стискання.

34. Опишіть граничні умови для векторів напруженості електричного і магнітного полів при постановці спектрального завдання для відкритого резонатора з діелектричним кульовим включенням.

35. Вирішенням якого рівняння є векторні сферичні хвилеві функції?

36. У якому сенсі векторні сферичні гармоніки є ортогональними?

37. У чому сенс теорем складання для векторних сферичних хвилевих функцій?

38. Основна ідея методу розділення змінних в локальних координатах.

39. Класифікація власних коливань відкритого резонатора з сферичними дзеркалами.

40. Класифікація власних коливань діелектричної кулі.
41. Класифікація власних коливань відкритого резонатора (сферичні дзеркала) з діелектричним кульовим включенням.
42. При зміні яких параметрів може виявитися між типовий зв'язок власних коливань порожнього відкритого резонатора і відкритого резонатора з металевим або діелектричним кульовим включенням.
43. Які матеріальні властивості речовин є унікальними для оптичного діапазону хвиль та як це впливає на постановку задач електродинаміки?
44. Що таке плазмонна хвиля вздовж границі розділу метал-діелектрик? Що таке плазмонна мода металевої стрічки або частинки як резонатора?
45. Як змінюється поняття хвилевого розміру розсіювача у мікро та нано оптиці?
46. Як можна моделювати лазери за допомогою рівнянь Максвелла?
47. Які методи обчислювальної електродинаміки мають гарантовану збіжність?
48. Чому граничні інтегральні рівняння Мюллера є найбільш адекватним та надійним засобом хвилевого моделювання в оптиці?
49. Які власні моди та відповідні їм резонанси мають найбільші добротності в оптиці?

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 усного опитування, яке проводиться викладачем, або тестових запитань. 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 повинен набрати аспірант при вивченні всіх занять з дисципліни для допуску до підсумкового контролю, повинна бути не менше 50% від максимальної поточної кількості балів (тобто 30 балів).

Під час підсумкового модульного контролю аспіранту пропонується 4 запитання, максимальна кількість балів за кожне запитання становить 10 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 вмiє 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		
Усне опитування	Іспит	Сума
T1÷T15 15 пит. × 4 бал. = 60 балів		
60	40	100

T1, T2 ... – теми розділів.

12. Методичне забезпечення: навчальний контент (конспект, розширений план лекції, презентація з використанням мультимедійних пристроїв), теми для 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. E.A. Velichko, D.M. Natarov, "Localized versus delocalized surface plasmons: dual nature of resonances on a silver circular wire and a silver tube of large diameter," *IOP J. of Optics*, vol. 20, no 7, at no 075002/9, 2018.
2. A.I. Nosich, "Method of analytical regularization in computational photonics," *Radio Science*, vol. 51, no 8, pp. 1421-1430, 2016
3. I.O. Sukharevsky, *et al.*, "Manipulation of backscattering from a dielectric cylinder of triangular cross-section using the interplay of GO-like ray effects and resonances," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 63, no 5, pp. 2162-2169, 2015
4. E.I. Smotrova, *et al.*, "Spectra, thresholds and modal fields of a kite-shaped microcavity laser," *J. Optical Society of America B*, vol. 30, no 6, pp. 1732-1742, 2013
5. О.В. Шаповал, "Рассеяние световых волн на конечных решетках из металлических нанолент: метод Най-стрема и резонансные эффекты," *Известия ВУЗов Радиоэлектроника*, Изд-во НТУ-КПИ, vol. 58, no 5, pp. 18-29, 2015.
6. T.L. Zinenko, *et al.*, "Accurate analysis of light scattering and absorption by an infinite flat grating of thin silver nanostraps in free space using the method of analytical regularization," *IEEE J. Selected Topics in Quantum Electronics*, vol. 19, no 3, art. no. 9000108/8, 2013.
7. V.O. Byelobrov, *et al.*, "Periodicity matters: grating or lattice resonances in the scattering by sparse arrays of sub-wavelength strips and wires," *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 57, no 6, pp. 34-45, 2015.
8. T.L. Zinenko, *et al.*, "Surface-plasmon, grating-mode and slab-mode resonances in THz wave scattering by a graphene strip grating embedded into a dielectric slab," *IEEE J. of Selected Topics in Quantum Electronics*, vol. 23, no 4, art. no 4601809, 2017.
9. A.I. Nosich, "Method of analytical regularization in computational photonics," *Radio Science*, vol. 51, no 8, pp. 1421-1430, 2016.
10. Svezhentsev A.Ye., Ping Jack, Soh, Sen Yan, and Vandenbosch G.A. E. «Green's Functions for Probe-fed Complex-Shape Cylindrical Microstrip Antennas», *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* Year: 2015, Volume: 63, Issue: 3, Pages: 993 - 1003, DOI: 10.1109/TAP.2015.2389794.
11. Alexander Ye. Svezhentsev, Vladimir Volski, Sen Yan, Ping Jack, Soh, and G.A.E. Vandenbosch. «Omnidirectional Wide-Band E-Shaped Cylindrical Patch Antennas», *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* Year: 2016, Volume: 64, Issue: 2, Pages: 796-800.
12. Alexander Ye. Svezhentsev, Vladimir S. Miroschnichenko and Guy A. E. Vandenbosch "Fast H-Waves in Double Comb Infinite Arrays", *Progress In Electromagnetics Research C*, Vol. 80, 119–129, 2018.
13. Alexander Ye. Svezhentsev, Valeriy A. Kizka, Guy A. E. Vandenbosch, "Plane Wave Scattering by Patches

- Periodically Placed on a Dielectric Rod Surface”, *Progress In Electromagnetics Research M*, Vol. 82, pp. 61–71, 2019.
14. Svezhentsev A.Ye., Kryzhanovskiy V., and Vandenbosch G.A. E. “Cylindrical Microstrip Array Antennas with Slotted Strip-Framed Patches”, *PIER*, Vol. 139, pp. 539-558, 2013.
 15. А.В. Грибовский, И.К. Кузьмичев. Резонатор Фабри-Перо, образованный двумя экранами с прямоугольными отверстиями / *Радиофизика и радиоастрономия*. – 2016. – Т. 21, № 1. – С. 58-64.
 16. И.К. Кузьмичев, В.Д. Еремка, А.В. Май, А.С. Троцило. Открытый резонатор для сложения мощностей в субтерагерцевом и терагерцевом диапазонах / *Радиофизика и радиоастрономия*. – 2017. - Т. 22, № 1. – С. 67 -77.
 17. Kuzmichev Igor K., Popkov Aleksey. Yu. Resonant Systems for Measurement of Electromagnetic Properties of Substances at V-Band Frequencies // *Emerging Microwave Technologies in Industrial, Agricultural, Medical and Food Processing*. - Published in London, United Kingdom, by IntechOpen. - 2018. – 203 p. - Chapter 3. – P. 27-53. – 203 p. ISBN: 978-1-78923-408-4.
 18. J. V. Antonenko, A. V. Gribovsky, I.K. Kuzmichev. Amplitude and Polarization Characteristics of the Fabry-Perot Resonator with Coaxial-Sector Holes and Wave-guide Loads on the Mirrors // *Telecommunications and Radio Engineering*. – 2018. – V. 77, № 12. – P. 1029-1039.
 19. М.Е. Ильченко, И.К. Кузьмичев, Т.Н. Нарытник, С.В. Денбновецкий, А.В. Май. Высшие типы колебаний в открытом резонаторе с отрезком круглого волновода / *Радиофизика і радиоастрономія*. – 2019. - Т. 24, № 3. – С. 218-226.
 20. Kuzmichev I.K. Excitation efficiency of quasioptical resonance systems / *I.K. Kuzmichev // Telecommunications and Radio Engineering*. – 2009. - Vol. 68, No. 1. – P. 49-63.
 21. С. Приколотин, А. Кириленко, Д. Кулик, С. Стешенко “Метод частичных областей для декартово-координатных структур” LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017, 180 С.
 22. Метод частичных областей с учетом особенностей во внутренних задачах с произвольными кусочно-координатными границами. Часть 1. Спектры собственных волн ортогонных волноводов / С.А. Приколотин, А.А. Кириленко // *Радиофізика та електроніка*. — 2010. — Т. 15, № 1. — С. 17-29.
 23. Метод Частичных Областей с Учетом Особенности во Внутренних Задачах с Произвольными Кусочно-Координатными Границами. Часть 2. Плоско-Поперечные Соединения и «in-line» Объекты / С. А. Стешенко, С. А. Приколотин, А.А. Кириленко, Д. Ю. Кулик, Л. А. Рудь, С. Л. Сенкевич // *Радиофизика и электроника*, 2013. – Т.4(18), №3. – с. 13-21.
 - 24 С. Приколотин, А. Кириленко, Д. Кулик, С. Стешенко “Метод частичных областей для декартово-координатных структур” LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017, 180 С.
 25. Метод частичных областей с учетом особенностей во внутренних задачах с произвольными кусочно-координатными границами. Часть 1. Спектры собственных волн ортогонных волноводов / С.А. Приколотин, А.А. Кириленко // *Радиофізика та електроніка*. — 2010. — Т. 15, № 1. — С. 17-29
 26. С.А. Стешенко “Алгоритм расчета плоскостных сочленений волноводов произвольного сечения с использованием собственных функций общей апертуры” // *Радиофизика и электроника*, 2013. – Т.4(18), №3. – с. 22-27.
 27. Анализ трехмерных замедляющих систем на основе метода обобщенных матриц рассеяния / А.А. Кириленко, С.Л. Сенкевич, С.А. Стешенко // *Радиофизика и электроника*, Т. 12, спец. Вып., 2007, с. 122-129.
 28. Лифанов И.К. Метод сингулярных интегральных уравнений и численный эксперимент. – М.: Янус, 1995. – 520 с.
 29. Митра Р., Ли С. Аналитические методы теории волноводов. – М.: Мир, 1974. – 328 с.
 30. Nosich A.I. Radiation conditions, limiting absorption principle, and general relations in open waveguide scattering // *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 1994. – Vol.8, No.3. – pp. 329-353.
 31. Стешенко С.А., Кириленко А.А. Строгая двумерная модель эффекта преобразования поверхностных волн в объемные // *Радиофизика и электроника*, 2005. – Т.10, №1. – С.30-38.
 32. Веселаго В.Г. «Электродинамика материалов с отрицательным коэффициентом преломления» УФН, № 3, (2003).
 33. Дж. Пендри, Д. Смит. «В поисках суперлинзы», «В мире науки» №11, 2006.
 34. Блюх К.Ю., Блюх Ю. П. Что такое левые среды и чем они интересны?, *Успехи физических наук*. 2004, том 174, N. 4, с. 439 – 447.
 35. Лагарьков А.Н., Кисель В.Н., Сарычев А.К., Тартаковский Г. Сверхразрешение и усиление в метаматериалах УФН т.179 №9, с.1018-1027 (2009).
 36. Гуляев Ю.В., Лагарьков А.Н., Никитов С.А. Метаматериалы: фундаментальные исследования и перспективы применения. *Вестник РАН*, 2008, том 78, № 5, с. 438-457.
 37. [Negative-Refractive Metamaterials: Fundamental Principles and Applications](#). G. V. Eleftheriades and K. Balmain. Wiley-IEEE Press, 2005.
 38. Дубинов А.Е., Мытарева Л.А. Маскировка материальных тел методом волнового обтекания, *Успехи физических наук*. 2010, том 180, №5, с. 475-501.

39. Никольский В.В., Никольская Т.И. Электродинамика и распространение радиоволн. М., Наука, – 1989.
40. В. Кравченко, К. Сиренко, Ю. Сиренко Преобразование и излучение электромагнитных волн открытыми резонансными структурами. Моделирование и анализ переходных и установившихся процессов. – М., Физматлит. – 2011.
41. Taflov A., Hagness S.C. Computational Electrodynamics: the Finite-Difference Time-Domain method. – Boston, London: Artech House, 2005.
42. Зельдович Б. Я. Обращение волнового фронта при вынужденном рассеянии света // *Успехи физических наук*. – 1982. – Т.138, вып.2. – С.249–288.
43. Ахманов С. А., Выслоух В. А., Чиркин А. С. Оптика фемтосекундных лазерных импульсов. – М.: Наука, – 1988.
44. Мигулин В. В., Медведев В. И., Мустель Е. Р., Парыгин В. Н. Основы теории колебаний. – М.:Наука, 1988. – 391 с.
45. Пазинін В. Л. Моделювання і аналіз процесів пасивної та активної компресії електромагнітних імпульсів мікрохвильового і оптичного діапазонів // Дисс. ... д.ф.-м.н., 01.04.03 – радіофізика, Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України, Харків, 2019.

ДОПОМІЖНА ЛІТЕРАТУРА

- 45 L. Novotny and B. Hecht, *Principles of Nano-Optics*, Cambridge University Press, 2012.
(Л. Новотный, Б. Хехт, *Основы нанооптики*, Физматгиз, Москва, 2009)
46. A.V. Boriskin, *et al.*, “Small hemielliptic dielectric lens antenna analysis in 2-D: boundary integral equations versus geometrical and physical optics,” *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 56, no 2, pp. 485-492, 2008.
47. R. Petit (Ed.), *Electromagnetic Theory of Gratings*, Springer, 2-nd ed. 2011.
48. V.O. Vyelobrov, *et al.*, “Binary grating of sub-wavelength silver and quantum wires as a photonic-plasmonic lasing platform with nanoscale elements,” *IEEE J. Selected Topics in Quantum Electronics*, vol. 18, no 6, pp. 1839-1846, 2012
49. Взятыйшев В.Ф. Диэлектрические волноводы. М.: Сов. радио, 1970. 211 с.
50. Панченко Б.А., Нефедов Е.И. Микрополосковые антенны. М.: Радио и связь, 1986. — 144 с.
51. Докторская диссертация А.Е. Свеженцева. Библиотека ИРС НАН України.
52. Андросов В.П., Кузьмичев И.К. Влияние внутренних неоднородностей открытого резонатора на связь его колебаний с волноводными линиями. – Харьков: ИРЭ АН УССР, 1987. – 14 с. – Препринт № 354.
53. Попков А.Ю. Аксиально-симметричные неоднородности в открытых резонаторах с отрезками сверхразмерных волноводов / Диссертация на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук. - Харьков, 2012, 166 с. – Библиотека ИРЭ им. А.Я. Усикова НАНУ.
54. Кузьмичев И.К. Открытые электродинамические системы с внутренними неоднородностями / Диссертация на соискание ученой степени доктора физ.-мат. наук. – Харьков, 2009, 340 с. – Библиотека ИРЭ им. А.Я. Усикова НАНУ.
55. Когельник Х. Коэффициенты связи и коэффициенты преобразования волн в оптических системах / Х. Когельник; пер. с англ. и нем. под ред. Б.З. Каценеленбаума и В.В. Шевченко // *Квазиоптика*. – М. : Мир, 1966. – С. 210-225.
56. Гандель Ю.В., Еременко С.В., Полянская Т.С. Математические вопросы метода дискретных токов. Обоснование численного метода дискретных особенностей решения двумерных задач дифракции электромагнитных волн: Учеб. пособие. Ч. II. Харьков: ХГУ, 1992. – 145 с.
57. Гандель Ю.В. Метод дискретных особенностей в задачах электродинамики // *Вопросы кибернетики*. – М.: Изд. АН СССР, 1986. – ВК-124. – С. 166-183.
58. Канд. Диссертации С.А. Приколотина, Л.А.Рудя, Н.П.Яшиной, Ю.К.Сиренко, С.Л.Сенкевича, Б.Г.Тысика, Л.П.Мосьпан, Н.Г.Дон-Колмаковой, Д.Ю.Кулика (библиотека ИРЭ).
59. Докторские диссертации Ю.К.Сиренко и Л.А.Рудя (библиотека ИРЭ).
60. Стрэттон Д. А. Теория электромагнетизма. – М.: Гостехиздат, – 1948.

Інформаційні ресурси

1. Бібліотека Інституту.
2. Інформаційна база наукових статей “IEEE Xplore”.
3. Інформаційна база наукових статей “Google scholar”.