

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра квантової радіофізики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з науково-педагогічної
роботи

“ _____ ” _____ 2017 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ МЕТАМАТЕРІАЛИ

(назва навчальної дисципліни)

напря́м _____ 6.040204 прикладна фізика _____

спеціальність _____ 8.04020402 Радіофізика і електроніка _____

спеціалізація _____ квантова радіофізика та фотоніка _____

факультет _____ радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем _____

2017 / 2018 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження Вченою радою факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

“ 21 ” червня 2017 року, протокол № 6

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: (вказати авторів, їхні наукові ступені, вчені звання та посади)
доцент кафедри квантової радіофізики, к.ф.-м.н Недух Сергій Володимирович

Програму схвалено на засіданні кафедри
квантової радіофізики

Протокол від “ 21 ” червня 2017 року № 10

Завідувач кафедри квантової радіофізики

_____ проф. Маслов В.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією
факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем
назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “ 16 ” червня 2017 року, протокол № 6

Голова методичної комісії радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

_____ проф. Черногор Л. Ф.
(підпис) (прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни “ Електромагнітні метаматеріали ” складена відповідно до освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми підготовки

магістр

(назва рівня вищої освіти, освітньо-кваліфікаційного рівня)

напряму 6.040204 прикладна фізика

спеціальності 8.04020402 Радіофізика і електроніка

спеціалізації квантова радіофізика та фотоніка

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни

Надання студентам сучасного уявлення про особливості взаємодії електромагнітних мікрохвильових хвиль та штучних електромагнітних середовищ – метаматеріалів, ознайомлення з загальними принципами «дизайну» штучних електромагнітних середовищ з наперед заданими параметрами

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни

Вивчення принципів створення новітніх штучних електромагнітних середовищ радіодіапазону для сучасних потреб суспільства

1.3. Кількість кредитів

5

1.4. Загальна кількість годин

150

1.5. Характеристика навчальної дисципліни

<u>Нормативна</u> / за вибором
<u>Денна форма навчання</u> Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки
2-й
Семестр
3-й
Лекції
44 год.
Практичні, семінарські заняття
16 год.
Лабораторні заняття
20 год.
Самостійна робота
70 год.
Індивідуальні завдання
- год.

1.6. Заплановані результати навчання

Як результат навчання студенти повинні:

знати: сучасні принципи створювання ефективних штучних електромагнітних середовищ радіодіапазону для сучасних потреб промисловості;
вміти: самостійно створювати «дизайн» штучних мікрохвильових електромагнітних середовищ, проводити експериментальне вимірювання високочастотних параметрів мікрохвильових метаматеріалів.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Основи теорії взаємодії мікрохвильового випромінювання та твердого тіла.

Тема 1. Основні вирази теорії електромагнітного поля.

Рівняння Максвелла. Матеріальні рівняння. Вплив середовища. Діелектрична та магнітна проникності.

Тема 2. Фізична природа діелектричної проникності.

Поляризованість. Діелектрична сприйнятливість. Теоретичні моделі діелектричної проникності. Частотна дисперсія.

Тема 3. Фізична природа магнітної проникності.

Намагніченість. Магнітна сприйнятливість. Теоретичні моделі магнітної проникності. Частотна дисперсія.

Тема 4. Експериментальні методи визначення надвисокочастотних матеріальних параметрів речовин.

Нерезонансні методи досліджень. Резонансні методи досліджень. Сучасні методи, що базуються на векторних аналізаторах електронних кіл.

Тема 5. Експериментальні методи визначення надвисокочастотних магнітних параметрів речовин.

Метод та різновид електронного магнітного резонансу: ЕПР, ФМР. Практична реалізація методу магніторезонансного поглинання.

Розділ 2. Електромагнітні метаматеріали: історія створювання та сучасність.

Тема 6. Штучні електромагнітні матеріали: історія створювання.

Штучні діелектрики. Штучні магнетики. Середовище Веселаго.

Тема 7. Основні принципи дизайну електромагнітних сучасних метаматеріалів.

Термін «метаматеріали». Підхід ефективного середовища. Елементи метаматеріалів мікрохвильового діапазону. Штучні елементи діелектричної та магнітної проникності. Класифікація метаматеріалів. Резонансні та нерезонансні метаматеріали.

Тема 8. Лівосторонні метаматеріали.

Основні електромагнітні властивості лівосторонніх метаматеріалів. Дизайн та експериментальне підтвердження основних високочастотних властивостей штучних лівосторонніх середовищ. Проблема зменшення електромагнітних втрат.

Тема 9. Планарні лівосторонні метаматеріали.

Опис високочастотних властивостей з застосуванням методу лінії передачі. Приклади дизайну.

Тема 10. Резонансні метаматеріали.

Штучні електромагнітні середовища, показник рефракції яких менше одиниці. Приклади дизайну.

Тема 11. Нерезонансні метаматеріали.

Штучна анізотропія діелектричної проникності. Дротяне середовище. Гіперболічні метаматеріали.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин					
	денна форма					
	усього	у тому числі				
л		п	лаб.	інд.	с. р.	
1	2	3	4	5	6	7
<i>Розділ 1. Основи теорії взаємодії мікрохвильового випромінювання та твердого тіла.</i>						
Тема 1. Основні вирази теорії електромагнітного поля	12	2		4		6
Тема 2. Фізична природа діелектричної проникності	12	4	2			6
Тема 3. Фізична природа магнітної проникності	14	4	2			8
Тема 4. Експериментальні методи визначення надвисокочастотних матеріальних параметрів речовин	8	2				6
Тема 5. Експериментальні методи визначення надвисокочастотних магнітних параметрів речовин	18	4	2	4		8
Разом за розділом 1	64	16	6	8		34
<i>Розділ 2. Електромагнітні метаматеріали: історія створювання та сучасність.</i>						
Тема 6. Штучні електродинамічні матеріали: історія створювання	8	2				6
Тема 7. Основні принципи дизайну електромагнітних сучасних метаматеріалів	16	8	2			6
Тема 8. Лівосторонні метаматеріали.	22	10	2	4		6
Тема 9. Планарні лівосторонні метаматеріали.	14	2	2	4		6
Тема 10. Резонансні метаматеріали	12	4	2			6
Тема 11. Нерезонансні метаматеріали	14	2	2	4		6
Разом за розділом 2	86	28	10	12		36
<i>Усього годин</i>	150	44	16	20		70

4. Теми семінарських занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Штучні електромагнітні метаматеріали: перспективи застосування.	2
2	Нелінійні штучні електромагнітні метаматеріали.	2
3	Електромагнітні метаматеріали оптичного діапазону: перспективи та напрямки розвитку.	2
	Разом	6

5. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1.	Застосування теорії Максвелла для вирішення практичних завдань радіофізики.	2
2.	Розрахунок магнітної сприйнятливості для випадку парамагнетика та феромагнетика.	2
3.	Розрахунок резонансного метаматеріалу: реалізація наперед заданих матеріальних параметрів.	2
4.	Розрахунок реального метаматеріалу в рамках моделі лінії передачі.	2
5.	Штучні електромагнітні середовища: моделювання дротяного середовища.	2
	Разом	10

6. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Сучасні методи НВЧ радіоспектроскопії.	4
2	Метод електронного магнітного резонанса.	4
3	Лівосторонні метаматеріали НВЧ діапазону.	4
4	Планарні метаматеріали НВЧ діапазону.	4
5	Метаматеріали НВЧ діапазону: дротяне середовище.	4
	Разом	20

7. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1.	Інтегральна форма рівнянь Максвелла.	6
2.	Діелектрична проникність природних середовищ та матеріалів	6
3.	Магнітна проникність природних середовищ та матеріалів	8
4.	Порівняльний аналіз існуючих надвисокочастотних методів визначення матеріальних параметрів речовин	6
5.	VNA-FMR: сучасний метод електронного магнітного резонансу.	8
6.	Аналіз в рамках сучасної теорії метаматеріалів статті Дж.Ч. Бозе	6
7.	Елементи метаматеріалів терагерцового, ІЧ та оптичного діапазонів.	6
8.	Сверхлінза (суперлінза): теорія та застосування.	6
9.	Частотно-селективні поверхні: метаповерхні.	6
10.	Штучні електромагнітні середовища, показник рефракції яких менше одиниці: перспективи застосування.	6
11.	3D друкування та електромагнітні метаматеріали.	6
	Разом	70

8. Методи контролю

Засвоєння матеріалу по дисципліні забезпечується циклом лекцій, розв'язанням задач на практичних заняттях, доповідями на семінарських заняттях, а також самостійною роботою.

9. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота											Підсумковий семестровий контроль (залік)	Сума
Розділ 1					Розділ 2							
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	50	100
4	5	4	4	5	5	5	5	5	4	4		

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	для екзамену	для заліку
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

10. Рекомендована література

Основна література

1. Никольский В.В., Никольская Т.И. Электродинамика и распространение радиоволн – М.: Наука, 1989. – 544 с.
2. N. Engheta, R.W. Ziolkowski Metamaterials. Physics and engineering explorations – Wiley-IEEE Press, 2006. – 440 p.
3. F. Capolino Theory and phenomena of metamaterials – CRC Press, 2009. – 974 p.
4. L.F. Chen Microwave Electronics. Measurement and materials characterization – John Wiley & Sons, Ltd., 2004. – 537 p.

Допоміжна література

1. Дж. Джексон Классическая электродинамика – М.: Мир, 1965. – 703 с.
2. R. Marques, F. Martin, M. Sorolla Metamaterials with negative parameters. Theory, design and microwave applications – Wiley, 2008. – 315 p.
3. L. Solymar, E. Shamonina Waves in Metamaterials – Oxford University Press, 2014. – 416 p.
4. Белотелов В.И., Звездин А.К. Фотонные кристаллы и другие метаматериалы – М.: Бюро Квантум, 2006. – 144 с.

11. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. Відео-курс лекцій «Нанофотоніка та метаматеріали»: <https://nanohub.org/resources/19272>
2. Відео-лекція «Метаматеріали»: <https://www.youtube.com/watch?v=KS3tX3O0EJQ>