

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Программа одобрена  
на заседании  
Ученого совета ИТПЭ РАН

Протокол № 3  
«05» июня 2019 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор

д.ф.м.н.



/В.Н. Кисель/

«05» июня 2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Электрофизика и электродинамика композитных материалов**  
**с новыми электрофизическими, оптическими**  
**и радиофизическими свойствами»**  
*(наименование дисциплины)*

Дисциплина по выбору

Направление подготовки:

03.06.01 - Физика и астрономия  
*(код и наименование направления подготовки)*

Направленность подготовки (профиль):

Электрофизика, электрофизические установки  
*(наименование направленности (профиля))*

Квалификация: Исследователь. Преподаватель-исследователь.

Форма обучения: очная

Москва, 2019 г.

**1. Цели и задачи дисциплины.** Целью курса является изучение аспирантами основных закономерностей эффективных свойств композитных материалов. Предполагается изложение теории композитных материалов, включая формулы смешения и спектральную теорию, получение представления о современных методах исследования СВЧ и оптических свойств композитных материалов, изложение современного состояния науки в области электродинамических эффектов в неоднородных материалах, включая метаматериалы, также предполагается знакомство с радиотехническими применениями композитных материалов, такими как радиопоглощающие покрытия.

## **2. Место дисциплины в структуре ООП.**

Дисциплина относится к *вариативным* дисциплинам программы аспирантуры.

Изучается во 2 семестре 2 курса. Форма контроля – зачет.

Актуальность курса обусловлена большой практической значимостью технических применений композитных материалов.

## **3. Требования к результатам освоения дисциплины:**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

1. способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
2. готовностью участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3);
3. способностью планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-5);
4. способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1);

Дисциплина вносит вклад в формирование следующих профессиональных компетенций:

Способность к исследованию механизмов взаимодействия физических тел, веществ, макро- и микрочастиц с электрическим, магнитным и электромагнитным полями в различных средах и вакууме, а также способность к совершенствованию существующих и поиску новых методов и принципов использования электрофизических явлений в технических приложениях (ПК-1).



#### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, в том числе 1,5 зачетные единицы аудиторных занятий и 2,5 зачетные единицы самостоятельной работы.

#### 5. Содержание разделов дисциплины.

№ п/п	Разделы и темы занятий	Содержание	Объем	
			Аудиторная работа (часы)	Самостоятельная работа (часы)
1.	Теория линий передачи.	Основные понятия: импеданс, КСВН, S-параметры.	2	2
2.	Отражение и пропускание границы и слоя.	Методы расчета S-параметров многослойной структуры.	4	4
3.	Измерение коэффициента отражения.	Измерение коэффициента отражения. Калибровка. Формула Мэйсона.	4	6
4.	Измерение материальных параметров в СВЧ диапазоне.	Измерение материальных параметров в СВЧ диапазоне.	4	6
5.	Общие закономерности эффективных свойств композитных материалов.	Общие закономерности эффективных свойств композитных материалов. Формулы смещения.	4	6
6.	Спектральная теория Бергмана–Милтона.	Спектральная теория Бергмана -Мильтона эффективной проводимости гетерогенных сред. Аналитические свойства. Основные соотношения.	4	8
7.	Частотные зависимости эффективных материальных параметров.	Частотные зависимости эффективных материальных параметров. Соотношения Крамера–Кронига.	4	8
8.	Электродинамические эффекты в композитных материалах.	Электродинамические эффекты в композитных материалах. Метаматериалы. «Правые» и «Левые» среды. Дисперсия левой среды.	4	10
9.	Использование материалов для снижения эффективной поверхности рассеяния	Использование материалов для снижения эффективной поверхности рассеяния объектов.	6	10

	объектов.			
10.	Основы радиопоглощающих покрытий.	Основы теории радиопоглощающих покрытий. Классификация, основные типы радиопоглощающих покрытий.	Параметры.	10
11.	Широкополосность радиопоглощающих покрытий.	Широкополосность радиопоглощающих покрытий.		10
12.	Радиопоглощающие покрытия на основе метаматериалов.	Радиопоглощающие покрытия на основе метаматериалов.		10
Всего:			54	90

**Самостоятельная работа:**

№ п.п.	Темы	Трудоёмкость (количество часов)
1	- изучение теоретического курса – выполняется самостоятельно каждым студентом по итогам каждой из лекций, результаты контролируются преподавателем на лекционных занятиях, используются конспект (электронный) лекций, учебники, рекомендуемые данной программой, методические пособия.	34 часа
2	- решение задач по заданию преподавателя– решаются задачи, выданные преподавателем по итогам лекционных занятий и сдаются в конце семестра, используются конспект (электронный) лекций, учебники, рекомендуемые данной программой, а также сборники задач, включая электронные, учебно-методические пособия.	44 часов
3	-подготовка к зачету	12 часов
<b>ВСЕГО (часов)</b>		<b>90 часов</b>



## **6. Ресурсное обеспечение:**

### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. Ландау Л.Д, Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред, М.: Наука, 2001.
2. Вайнштейн Л.А. Электромагнитные волны, М.: Радио и связь, 1988.
3. R.E. Collin, Foundations for microwave engineering, 2nd Ed., Wiley-Interscience, 1992.
4. G.W. Milton, The theory of composites, Cambridge Univ. Press, 2002.
5. P.S. Neelakanta, Handbook of electromagnetic materials, CRC Press, 1995.
6. А.П. Виноградов, Электродинамика композитных материалов, УРСС, 2001.
7. E.F. Knott, J.F. Shaeffer, M.T. Tuley, Radar cross section, 2nd Ed., Scitech Publishing, 2004.
8. K.J. Vinoy, K.M. Jha, Radar absorbing materials. Kluwer Acad. Publishers, 1996.
9. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах / 2-е изд., М.: Наука, 1973.

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА**

1. P. Saville, Review of Radar Absorbing Materials, Defence Research and Development Canada, Jan. 2005, 62 p.
2. D. Schurig, J.J. Mock, B.J. Justice, et al., Metamaterial Electromagnetic Cloak at Microwave Frequencies // Science. 10 Nov 2006. Vol. 314. N. 5801, pp. 977–980.
3. P.Y. Ufimtsev, Comments on diffraction principles and limitations of RCS reduction // Proc. IEEE. Dec. 1996. V. 84. N. 12. P. 1830–1851.
4. Лагарьков А.Н., Погосян М.А. Фундаментальные и прикладные проблемы стелс-технологий // Вестник РАН. 2003. Т. 73. №9. С. 848.
5. A.N. Lagarkov, K.N. Rozanov, High-frequency behavior of magnetic composites // J. Magn. Mater. 2009. V. 321. P. 2082–2092.

## **ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ»**

Ссылки на ресурсы приведены в ООП.

### **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

Институт располагает материально-технической базой, соответствующей действующим санитарно-техническим нормам и обеспечивающей проведение всех видов теоретической и практической подготовки, предусмотренных учебными планами аспирантов, а также эффективное выполнение диссертационной работы. Лаборатории Института оснащены оборудованием для проведения научных исследований в области электрофизики, электродинамики, техники СВЧ и родственных направлений в соответствии с паспортом специальности.

В Институте построены уникальные установки для экспериментальных исследований.

Библиотека с читальным залом, книжный фонд которой составляет специализированная методическая и учебная литература, журналы.

Залы, оснащенные компьютером с проектором, обычной доской – для проведения семинаров, лекционных и практических занятий.

### **8. Образовательные технологии. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины.**

Обучение по дисциплине ведется с применением как традиционных методов, так и с использованием инновационных подходов: активное участие аспирантов в научных семинарах, представление докладов на научные конференции, подготовка научных статей, подготовка презентаций по литературе и по теме диссертации, освоение новых средств автоматизации и компьютеризации выполняемых научных исследований.

Виды самостоятельной работы: в домашних условиях, в читальном зале библиотеки, на компьютерах с доступом к базам данных и ресурсам Интернет, в лабораториях с доступом к лабораторному оборудованию и приборам.

Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций, учебное и научное программное обеспечение, ресурсы Интернет.



**9. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы.**

**Контрольные темы для проведения итогового контроля:**

1. Основные понятия Теории линий передачи: импеданс, КСВН, S-параметры.
2. Типы линий передачи и их свойства.
3. Отражение и пропускание границы и слоя. Методы расчета S-параметров многослойной структуры.
4. Расчет коэффициента отражения при наклонном падении волны на одноосно-анизотропный материал.
5. Методы измерения коэффициента отражения в СВЧ диапазоне.
6. Формула Мэйсона и калибровочные процедуры. Фурье-калибровка.
7. Измерение материальных параметров веществ в СВЧ диапазоне.
8. Общие закономерности эффективных свойств композитных материалов. Формулы смешения.
9. Спектральная теория Бергмана–Милтона.
10. Частотные зависимости эффективных материальных параметров и физические причины их возникновения. Соотношения Крамерса–Кронига.
11. Электродинамические эффекты в композитных материалах.
12. Метаматериалы.
13. Методы снижения эффективной радиолокационной поверхности рассеяния объектов.
14. Основы теории радиопоглощающих покрытий. Параметры, классификация, основные типы радиопоглотителей.
15. Соотношения между параметрами для магнитного экрана Солсбери и четвертьволнового слоя Доленбаха.
16. Широкополосность радиопоглощающих покрытий.
17. Радиопоглощающие покрытия на основе метаматериалов.
18. Использование метаматериалов для защиты от двухпозиционной радиолокации.

Зам.директора по научной работе  
ИТПЭ РАН

Программу разработал

Ученый секретарь, заведующий  
аспирантурой ИТПЭ РАН

  
К.Н. Розанов

  
К.Н. Розанов

  
А.Т. Кунавин