

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**и.о. директора физтех-школы
физики и исследований им.
Ландау**

А.А. Воронов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Методы экспериментальной электродинамики
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра электродинамики сложных систем и нанофотоники
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: В.С. Солосин, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры электродинамики сложных систем и нанофотоники 04.06.2020

Аннотация

В настоящее время идет активное развитие систем связи и специальных технологий, связанных с созданием малозаметных объектов, так называемые стелс-технологий. Это вызывает повышенные требования к эффективности и точности способов исследования характеристик рассеяния электромагнитных волн и параметров антенн. В последнее время был создан и модернизирован ряд сложных измерительных комплексов. Наиболее универсальными из них являются компактные полигоны.

Цель данного курса дать представление о современных методах измерения параметров антенн и рассеяния электромагнитных волн на телах сложной формы. Современные измерительные комплексы как правило располагаются в крупных безэховых камерах, снабженных коллиматорами – устройствами для формирования плоской волны. Широкополосный сигнал генерируются и принимается специализированным микроволновым оборудованием. Исследуемые объекты располагаются на прецизионных позиционерах. Специальная обработка сигнала, позволяет минимизировать погрешности измерений и получать детальную информацию о индивидуальных особенностях исследуемых объектов.

В данном курсе студенты ознакомятся с назначением и физическими принципами работы отдельных элементов измерительной системы, методиками проведения калибровочных и тестовых измерений. Значительное внимание уделяется методам обработки экспериментальных данных. Использование широкополосных сигналов дает возможность построение радиоизображений и, как следствие, определение вклада отражений от различных частей объекта в суммарных отраженный сигнал.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Освоение студентами фундаментальных знаний в области дифракции и рассеянии электромагнитных волн, изучение способов измерения характеристик рассеяния объектов сложной формы и параметров антенн, а также областей их практического применения.

Задачи дисциплины

Формирование базовых знаний в области электродинамики, интегрирующей общезначимую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)

ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

Основы электродинамики и основные методы измерений электромагнитных полей.

уметь:

Уметь пользоваться современной измерительной аппаратурой и методами обработки сигналов.

владеть:

Знаниями о современных методах экспериментальной электродинамике.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа

1	Методы измерения рассеивающих свойств объектов и параметров антенн.	3	3		5
2	Плоская волна. Поляризация плоской волны. Поляризационная матрица рассеяния.	3	3		5
3	Создание квазиплоских полей. Отражение от стен. Взаимодействие объекта с коллиматором, стенами, вспомогательными устройствами.	4	4		5
4	Анализ полей коллиматоров методами физической оптики. Радиопоглощающие материалы для БЭК.	3	3		5
5	Основные типы измерительных систем.	3	3		5
6	Калибровка измерительных систем.	4	4		5
7	Использование широкополосных сигналов при измерении характеристик рассеяния. Построение радиоизображений.	3	3		5
8	Классификация погрешностей измерений. Использование численного моделирования для оценки погрешностей.	3	3		5
9	Компактный полигон, разработанный в ИТПЭ, для измерения рассеивающих свойств объектов и параметров антенн.	4	4		5
Итого часов		30	30		45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 2 (Весенний)

1. Методы измерения рассеивающих свойств объектов и параметров антенн.

Общие понятия. Основные измеряемые параметры. ЭПР, диаграмма рассеяния, диаграмма излучения. Развитие методов измерения рассеивающих свойств объектов и параметров антенн. Открытые полигоны. Компактные полигоны. Измерения в ближнем поле.

2. Плоская волна. Поляризация плоской волны. Поляризационная матрица рассеяния.

Почему нужны измерения в плоском поле. Критерии дальней зоны. Поляризация плоской волны. Поляризационная матрица рассеяния.

3. Создание квазиплоских полей. Отражение от стен. Взаимодействие объекта с коллиматором, стенами, вспомогательными устройствами.

Факторы, определяющие качество измерительной системы. Сравнение открытых полигонов, компактных полигонов. Коллиматор. Форма кромок зеркала. Точность поверхности зеркала. Облучатели. Устройства позиционирования объектами.

4. Анализ полей коллиматоров методами физической оптики. Радиопоглощающие материалы для БЭК.

Анализ полей коллиматоров методами физической оптики. Дифракция на отверстиях и на экране. Апертурный и токовый методы. Формула Кирхгофа. Элементы анализа методами интегральных уравнений. Причины, определяющие форму коллиматора. Радиопоглощающие материалы для БЭК. Типы радиопоглощающих материалов. Методы измерения характеристик радиопоглощающих материалов.

5. Основные типы измерительных систем.

Основные типы измерительных систем. Компенсационные измерительные системы. Системы с линейной и ступенчатой перестройкой частоты. Особенности импульсной модуляции при измерении характеристик рассеяния и параметров антенн. Чувствительность измерительных систем. Основные виды помеховых сигналов в открытых и закрытых полигонах и их влияние на точность измерения характеристик рассеяния. Примеры практической реализации различных типов измерительных систем.

6. Калибровка измерительных систем.

Основные типы измерительных систем. Компенсационные измерительные системы. Системы с линейной и ступенчатой перестройкой частоты. Особенности импульсной модуляции при измерении характеристик рассеяния и параметров антенн. Чувствительность измерительных систем. Основные виды помеховых сигналов в открытых и закрытых полигонах и их влияние на точность измерения характеристик рассеяния. Примеры практической реализации различных типов измерительных систем.

7. Использование широкополосных сигналов при измерении характеристик рассеяния. Построение радиоизображений.

Использование широкополосных сигналов при измерении характеристик рассеяния. Преобразования частота-дальность. Весовые функции. Определение вклада отражений от различных частей объекта в суммарный отраженный сигнал. Построение радиоизображений. Рассеивающие центры первого и более высокого порядков. Использование расширенных радиоизображений для выделения ползучих волн, переотражений и других центров рассеяния высокого порядка.

8. Классификация погрешностей измерений. Использование численного моделирования для оценки погрешностей.

Классификация погрешностей измерений. Влияние неравномерности амплитуды и фазы в рабочей зоне на точность измерений. Использование численного моделирования для оценки погрешностей.

9. Компактный полигон, разработанный в ИТПЭ, для измерения рассеивающих свойств объектов и параметров антенн.

Основные характеристики компактного полигона ИТПЭ РАН. Виды измерений, методики измерений. Состав оборудования. Программное обеспечение.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система). Ознакомление с процессом измерения на реальных измерительных установках.

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Балабуха Н.П., Зубов, А.С., Солосин В.С., Компактные полигоны для измерения характеристик рассеяния, М.:Наука, 2007
2. Мицмахер М. Ю., Торгованов В. А., Беззховые камеры СВЧ, М., Радио и связь, 1982.

Дополнительная литература

1. Knott E. F., Radar Cross Section Measurements, N.Y.: Van Nostrand Reinhold, 1993
2. Skolnik M. Introduction to Radar Systems, McGraw-Hill, 2001
3. Hemming L.H. Electromagnetic anechoic chambers. N.Y.:A John Wiley&Sons Inc. Publ., 2002

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. <http://lib.mipt.ru>

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Zoom, Skype

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения и понятия, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий, промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра электродинамики сложных систем и нанофотоники
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен	
Разработчик:	В.С. Солосин, канд. физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования
ОПК-5 Способен и готов к повышению квалификации, профессиональному росту и руководству коллективом в сфере своей профессиональной деятельности, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия	ОПК-5.1 Способен работать в коллективе, толерантно воспринимая социальные, этнические, конфессиональные и культурные различия
	ОПК-5.3 Стремится к получению новых знаний, профессиональному и личностному росту
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Методы экспериментальной электродинамики» обучающийся должен:

знать:

Основы электродинамики и основные методы измерений электромагнитных полей.

уметь:

Уметь пользоваться современной измерительной аппаратурой и методами обработки сигналов.

владеть:

Знаниями о современных методах экспериментальной электродинамике.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия или в конце занятия по пройденной теме.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Примеры контрольных вопросов:

1. Открытые полигоны. Компактные полигоны. Измерения в ближнем поле.
2. Коллиматоры. Форма кромок зеркала.
3. Радиопоглощающие материалы для БЭК.
4. Преобразования частота-дальность. Весовые функции.
5. Основные измеряемые величины. Эффективная площадь рассеяния (ЭПР), поляризационная матрица рассеяния, диаграмма рассеяния, диаграмма излучения.
6. Анализ полей в рабочей зоне коллиматоров методами физической оптики.
7. Особенности создания квазиплоских полей в замкнутом объеме.
8. Поляризационные свойства коллиматоров.
9. Основные типы эталонных антенн.

Примеры экзаменационных билетов:

Билет 1.

1. Эффективная поверхность рассеяния (ЭПР).
2. Компенсационные измерительные системы.

Билет 2.

1. Методы измерения параметров радиопоглощающих материалов.
2. Построение радиоизображений. Рассеивающие центры первого и высокого порядков.

Билет 3.

1. Основные параметры компактного полигона.
2. Критерии дальней зоны.

Билет 4.

1. Влияние формы коллиматора на распределение поля в рабочей зоне.
2. Использование численного моделирования для оценки погрешностей.

Билет 5.

1. Виды калибровки при измерении поляризационной матрицы рассеяния.
2. Методы измерения рассеивающих свойств объектов и параметров антенн.

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Экзамен проводится в устной форме по билетам. В каждом билете представлено два вопроса. При проведении зачёта и экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.