

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Филиал Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова
в городе Сарове

«УТВЕРЖДАЮ»



Директор филиала МГУ в г.Сарове
Член-корреспондент РАН В.В. Воеводин

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование дисциплины:

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ГЛАВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД

Уровень высшего образования:

Магистратура

Направление подготовки:

03.04.02 Физика

Направленность (профиль) ОПОП:

Экстремальные электромагнитные поля, релятивистская плазма
и аттосекундная физика

Квалификация «Магистр»

Форма обучения: Очная

Саров 2021 г.

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 03.04.02 Физика в редакции приказа по МГУ от 30 декабря 2020 г. №1366.

Авторы–составители:

К.ф.-м.н., доцент Аксенов Владимир Николаевич, кафедра общей физики и волновых процессов физического факультета МГУ

Аннотация к рабочей программе дисциплины

«Дополнительные главы электродинамики сплошных сред»

В курсе изучаются

Процессы распространения электромагнитных волн в различных средах, явления на границе, связанные с этим процессы излучения радиации. Рассмотрены волноводы, различные виды волноводов, коаксиальная линия, законы распространения волн в линиях передач, коэффициент отражения, вопросы согласования волновода и нагрузки. Рассмотрены физические принципы взаимодействия высокочастотных волн с электронными пучками, типы устройств, предназначенных для генерации и усиления сигналов СВЧ, преимущественно на примере вакуумных.

Рассмотрены механизмы и способы описания излучения и поглощения радиации, линейчатые и сплошные спектры, причины их уширения, законы поглощения радиации в средах. Даются представления о работе с общедоступными базами данных по спектрам поглощения.

Рассмотрены способы описания рассеяния радиации в средах, факторы ослабления и искажения сигнала. Описаны основные методы дистанционного зондирования на примере дистанционного (спутникового) зондирования атмосферы и океана, перспективные средства повышения разрешения и точности измерений.

Разделы рабочей программы

1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО).
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (при наличии)
3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями
4. Форма обучения.
5. Язык обучения.
6. Содержание дисциплины.
7. Объем дисциплины
8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий
9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.
10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).
11. Шкала оценивания.
12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.
13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.
14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

В результате освоения дисциплины «Дополнительные главы электродинамики сплошных сред» обучающийся кроме знаний предмета получает навыки применения ранее полученных знаний для решения новых научных и практических задач.

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия Освоение дисциплин «Электромагнетизм», «Электродинамика», «Оптика», «Математический анализ», «Квантовая механика», «Дифференциальные уравнения», «Теория колебаний», «Теория волн».

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
ОПК-3.Б	З-6 Знать: основные законы распространения электромагнитных волн в среде У-6 Уметь: определять модели и формулы, пригодные для решения конкретной задачи о распространении излучения В-1 Владеть: математическим и физическим аппаратами решения задач такого рода.

4. Форма обучения: очная

5. Язык обучения: русский

6. Содержание дисциплины:

Тема 1. Распространение электромагнитной волны внутри и на поверхности среды.

Распространение электромагнитной волны в среде, изотропные среды, диэлектрики, проводники. Скин слой, поверхностное сопротивление. Анизотропные среды, гироропные и гиромагнитные среды. Граничные условия, импедансные граничные условия. Излучающий слой, идеальное согласование слоя. Энергетические соотношения, поле в дальней зоне, диаграмма направленности.

Тема 2. Основные законы излучения и поглощения, спектры.

Общие законы излучения и поглощения. Абсолютно черное тело, закон Кирхгофа. Спектральные и пространственные характеристики излучения. Формула Планка, закон Стефана-Больцмана, закон смещения Вина. Излучение реальных тел, спектральная и интегральная степени черноты. Виды спектров излучения. Поглощение радиации, закон Бугера-Ламберта. Спектр поглощения, форма линии поглощения, уширение линий. База данных HITRAN. Понятие о колебательных и вращательно-колебательных спектрах. Квантовомеханический подход.

Тема 3. Резонаторы и линии передачи СВЧ

Волноводы. Системы волн в прямоугольном и круглом волноводах. Коаксиальная линия. Возбуждение волн в волноводах. Потери в волноводах, способы измерения коэффициента отражения в волноводах Поверхностные волны. Колебательные системы СВЧ, резонаторы. Возбуждение колебаний в резонаторах, связь резонатора с линией передачи, согласование. Общие свойства линии передачи.

Тема 4. Принципы работы приборов СВЧ

Основные уравнения электроники СВЧ. Отбор энергии от электронов в приборах СВЧ, электронный коэффициент полезного действия. Устройство и принцип работы усилителя на двухрезонаторном пролетном клистроне. Группирование электронов в трубке дрейфа. Многорезонаторные пролетные клистроны, отражательный клистрон. Длительное взаимодействие электронов с полем бегущей волны в СВЧ приборах типа ЛБВ и ЛОВ. принцип работы усилителя на лампе бегущей волны типа (ЛБВ). Устройство магнетрона. Статический режим работы магнетрона, взаимодействие электронов с СВЧ полем в магнетроне. Динамический режим работы магнетрона. Приборы с циклотронным резонансом. Лазеры на свободных электронах. Устройства твердотельной СВЧ электроники.

Тема 5. Рассеяние радиации в среде.

Характеристики рассеяния радиации. Рассеяние в атмосфере, атмосферный аэрозоль. Виды рассеяния: Рэлеевское рассеяние, рассеяние Ми. Классическое описание взаимодействия излучения с диэлектриком. Показатель, диаграмма рассеяния. Комбинационное рассеяние.

Тема 6. Представление о методах дистанционного зондирования.

Основные принципы дистанционного зондирования и дистанционных измерений. Принципы ИК и СВЧ радиометрии, лидарного зондирования. Спутниковые методы, обработка информации. Общие сведения о строении атмосферы, гидросферы и литосферы, взаимодействиях между средами. Спутниковая альтиметрия. Способы измерения различных параметров атмосферы и подстилающей поверхности.

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемко в зачетных	объем учебной нагрузки в ак. часах					Самост оятельн ая
		Общая трудоем	в том числе				
			ауд. занятий				
		Об щая ауд итор на я	Лек ций	Се мин аро в			
Дополнительные главы электродинамики сплошных сред	2	72	36	18	18	36	

8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Изучение курса «Дополнительные главы электродинамики сплошных сред» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса, обсуждение вопросов, обозначенных в темах дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в

подготовке к лекционным занятиям, выполнения домашних заданий. По вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

№ темы	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы					Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Всего часов	Лекции	Научно-практические	Семинары	Самостоятельная работа	
1	Распространение волн внутри и на поверхности среды	12	3		3	6	Собеседование, опрос
2	Основные законы излучения и поглощения, спектры	16	4	-	4	8	
3	Резонаторы и линии передачи СВЧ	8	2	-	2	4	
4	Принципы работы приборов СВЧ	12	3		3	4	
5	Рассеяние радиации в среде.	12	3		3	6	
6	Представление о методах дистанционного зондирования.	12	3		3	4	
	Промежуточная аттестация	4				4	Экзамен в устной форме
ИТОГО:		72	18	-	18	36	

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Дополнительные главы электродинамики сплошных сред» осуществляется на лекциях и заключается в оценке активности слушателей, качества ответов на вопросы лектора, аргументированности позиции студента, оценивается широта используемых им теоретических знаний. В семестре в конце некоторых лекций проводятся несколько коротких контрольных работ (10 – 15 минут).

Промежуточная аттестация по дисциплине «Дополнительные главы электродинамики сплошных сред» проводится в форме зачета. Результаты сдачи экзамена оцениваются по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

Требования к структуре и содержанию фонда оценочных средств текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
Оценочные средства текущего контроля		
Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как короткий письменный ответ на поставленный вопрос по тематике предыдущей или текущей лекции, рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Оценочные средства промежуточной аттестации		
Короткая письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов к зачету

11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2	3	4	5
ЗНАТЬ: Методы описания распространения излучения в различных условиях ОПК-3.Б 3-6	Отсутствие знаний по методам описания распространения излучения в различных условиях	В целом успешные, но не систематические знания о методах описания распространения излучения в различных условиях	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знания о методах описания распространения излучения в различных условиях	Успешные и систематические знания, касательно методов описания распространения излучения в различных условиях
УМЕТЬ: самостоятельно находить и применять модели	Отсутствие умения самостоятельно находить и применять модели описания	В целом успешное, но не систематическое умение самостоятельно	В целом успешно, но содержащее отдельные	Успешный и систематический навык в умении самостоятельно

описания распространения излучения ОПК-3.Б У-6	распространения излучения	находить и применять модели описания распространения излучения	пробелы умение самостоятельно находить и применять модели описания распространения излучения	о находить и применять модели описания распространения излучения
ВЛАДЕТЬ: методами описания излучения, поглощения и распространения излучения ОПК-3.Б В-6	Отсутствие умения или фрагментарное владение методами описания излучения, поглощения и распространения излучения	В целом успешное, но не систематическое владение методами описания излучения, поглощения и распространения излучения	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение методами описания излучения, поглощения и распространения излучения	Успешное и систематическое владение методами описания излучения, поглощения и распространения излучения

12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся:

Пример:

1. Найти коэффициент самоиндукции единицы длины коаксиальной линии, образованной сплошным цилиндрическим проводником радиуса a , вложенным внутрь тонкостенной проводящей трубы радиуса b , большего a . По сечению цилиндра ток распределен равномерно.
2. Найти коэффициент отражения плоской волны от плоского слоя толщиной d с диэлектрической проницаемостью $\epsilon=0$. Угол падения волны равен $\alpha=60^\circ$. Вектор электрического поля волны E перпендикулярен плоскости падения.
3. Указать самый низкий тип колебаний и найти его собственную частоту для цилиндрического резонатора с высотой d и радиусом a в двух случаях: а) $d \gg a$; б) $d \ll a$.
4. Абсолютно черное тело имеет температуру 1000 К и излучает на воздухе. 1) Какова направленная спектральная плотность интенсивность излучения при значении угла β , отсчитываемого от нормали к абсолютно черной поверхности, равном 60° , при $\lambda = 3$ мкм? 2) Какой длине волны λ_M соответствует максимум спектральной интенсивности излучения, и каково это значение? 3) Каково отношение спектральных интенсивностей излучения абсолютно черного тела при $\lambda = 1$ и $\lambda = 5$ мкм? 4) Какая доля полусферической поверхностной плотности потока излучения приходится на область от 1 до 5 мкм?
5. Если надеть синие очки, диапазон пропускания которых лежит в пределах от 3000 ангстрем до 0,4 мкм, то при какой температуре объемчик с сильно разогретым газом будет снова казаться не светящимся?
6. Листовое кварцевое стекло пропускает 92% падающего излучения в диапазоне длин волн от 0.35 до 2.7 мкм и в основном непрозрачно для излучения, соответствующего более коротким и более длинным волнам. Какой процент солнечного излучения пропускает такое

стекло? (Принимать Солнце за абсолютно черное тело, имеющее температуру 5780 К.) Если растения в оранжерее излучают подобно абсолютно черному телу при температуре 38°C, то какой процент этого излучения пропускает такое стекло? Интегральную степень черноты листа растений принять равным 0.76

7. Предположим, что у звезды, свет от которой соответствует а.ч.т. с температурой 8000 К есть планета, атмосфера которой имеет сильные полосы поглощения в интервалах от 1.5 до 2.2 мкм и от 3.7 до 7 мкм. При каких температурах на поверхности планеты на ней будет проявляться явно выраженный парниковый эффект?

13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Материалы промежуточного контроля успеваемости обучающихся в форме зачета:

1. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Токи смещения в гармонических полях. [1] [SEP]
2. Граничные условия на границе идеального диэлектрика и идеального проводника для нормальных составляющих векторов поля? для тангенциальных? [1] [SEP]
3. Граничные условия на границе двух диэлектриков для нормальных составляющих и тангенциальных составляющих векторов E и H ? [1] [SEP]
4. Сравните свойства стационарного электрического и электростатического полей.
5. Теорема единственности для внутренней задачи электродинамики. [1] [SEP]
6. Теорема единственности для внешней задачи электродинамики. [1] [SEP]
7. Фазовые соотношения между векторами электромагнитного поля в идеальном диэлектрике. [1] [SEP]
8. Направление вектора Пойнтинга в идеальном диэлектрике. [1] [SEP]
9. Характеристическое сопротивление среды. [1] [SEP]
10. Дисперсия электромагнитных волн. Классификация сред по диспергирующим свойствам.
11. Волноводы. Собственные волны в волноводе. Критическая длина волны.
12. Активное и комплексное сопротивления коаксиальной линии. [1] [SEP]
13. Чем определяется нижняя граница СВЧ диапазона?
14. На каких радиоэлектронных элементах создаются смесители для СВЧ устройств?
15. Что такое диод Ганна, лавиннопролетные и туннельные диоды?
16. Какое устройство называется СВЧ вентилем и в чем принцип его работы?
17. Опишите принцип работы клистрона разных типов.
18. Что такое ЛОВ и ЛБВ?
19. Как происходит преобразование частоты в диодном ПЧ? [1] [SEP]
20. Электронный коэффициент полезного действия и другие характеристики вакуумных приборов СВЧ.
21. Что можно сказать о радиационном балансе океана, суши и атмосферы, и какие физические процессы вследствие этого устойчиво существуют в системе «атмосфера-подстилающая поверхность»?
22. Каково уравнение радиационного баланса для подстилающей поверхности?
23. Вертикальное строение и газовый состав атмосферы. Аэрозоль, виды аэрозоля. ионосфера.
24. Космическая погода, гелиогеофизические явления, К-индекс, авроральные явления.
25. Прохождение радиации в среде, ослабление радиации. Закон Бугера-Ламберта-Бера. Поглощающие свойства атмосферных газов в различных диапазонах электромагнитного излучения.
26. Рассеяние радиации в газовых средах. Рассеяние Рэлея, рассеяние Ми. Принцип расчета, показатели рассеяния, индикатриса.
27. Комбинационное рассеяние, его применение для дистанционных измерений. Эмпирические законы ВКР.

28. Лидары, виды и назначение лидаров.
29. Принципы дистанционного зондирования. Пассивные, полуактивные и активные методы, определяемые величины. Носители аппаратуры для дистанционного зондирования.
30. Примеры приборов для дистанционных измерений: пирометр, ИК и СВЧ радиометр, тепловизор, скаттерометр. Принципы радиолокации, формирование отраженного (рассеянного) сигнала, его искажения.
31. Методы альтиметрии, спутниковая альтиметрия.

14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

В соответствии с требованиями п.5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика».

Для лекционной части курса требуются аудитория, оборудованная мультимедийным проектором, интерактивной доской, и управляющим компьютером. Также необходимо наличие экрана и обычной учебной доски.

Основная литература.

1. Космическое землеведение. Геофизические основы, под ред. Садовниченко В.А., М., МГУ, 1992.
2. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Теория поля. – М.: Наука, 1988. [LSEP]
3. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Электродинамика сплошных сред. – М.: Наука, 198
4. В.В.Никольский, Т.И.Никольская. Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: Наука, 1989.
5. И.Е. Тамм. Основы теории электричества, Из-во "Наука", М., 1976 г.
6. Лебедев, И.В. Техника и приборы сверхвысоких частот. 2-е изд. Т. 2 / И.В. Лебедев. М.: Высшая школа, 1972. 375 с.
7. Зигель Р. Теплообмен излучением. М., Мир, 1975. 935 с.
8. Сутырина Е.Н. Дистанционное зондирование Земли. – Иркутск, изд.ИГУ, 2013, 165 с.

Дополнительная литература.

1. Микроэлектронные устройства СВЧ / Г.И. Веселов, Е.Н. Егоров, Ю.Н. Алехин и др.; Под ред. Г.И. Веселова. - М.: Высшая школа, 1988.- 280 с.
2. Твердотельные устройства СВЧ в технике связи / Л.Г. Гассанов, А.А. Липатов, В.В.Марков, Н.А.Могильченков [LSEP]. - М.: Радио и связь, 1988. -288 с.
3. Трубецков, Д.И. Лекции по СВЧ электронике для физиков. в 2 т. Т.1 / Д.И. Трубецков, А.Е. Хромов. М.: Физматлит, 2004. 496 с. [LSEP]
4. Пудовкин О.Л. Дистанционное зондирование Земли из космоса: основы атмосферной оптики. М. 2013.
5. Тимофеев Ю.М., Васильев А.В. Основы теоретической атмосферной [LSEP] оптики. Изд. СПбГУ, 2007, 152 с. [LSEP]

Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п.5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика».

Для лекционной части курса требуются аудитория, оборудованная мультимедийным проектором, интерактивной доской, и управляющим компьютером. Также необходимо наличие экрана и обычной учебной доски.