

**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:	Нелинейные волны в космической плазме
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра космической физики
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - 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: Д.Р. Шкляр, д-р физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры космической физики 04.06.2020

Аннотация

Курс лекций «Нелинейные волны в космической плазме» содержит основные сведения о линейных и нелинейных волновых процессах в плазме, в частности, в неоднородной магнитосферной плазме. В его основе лежат базовые представления электродинамики сплошных сред и кинетической теории.

Разбираются канонические нелинейные волновые уравнения, такие как уравнение Кортевега-де-Вриза, уравнение Бюргерса, нелинейное уравнение Шредингера и методы их решения. Здесь же обсуждаются некоторые виды нелинейных неустойчивостей, которые могут развиваться в различных физических процессах, такие как самофокусировочная и модуляционная неустойчивость.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Знакомство студентов с основными идеями, методами и результатами в теории нелинейных волновых процессов.

Задачи дисциплины

Приобретение студентами способности параметрического анализа нелинейных волновых процессов и выбора подхода для решения конкретных задач в области волновых процессов в космической плазме.

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-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области 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-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-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
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-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

основы теории линейных и нелинейных волновых процессов в магнитоактивной плазме.

уметь:

анализировать спутниковые данные по измерениям волн и потоков заряженных частиц, формулировать и решать соответствующие волновые задачи.

владеть:

основными методами и подходами к решению линейных и нелинейных волновых задач физики космической плазмы.

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	Волны в изотропной плазме	10	10		15
2	Нелинейные неустойчивости в изотропной плазме	10	10		15
3	Базовые нелинейные уравнения и их стационарные решения	10	10		15
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: 1 (Осенний)

1. Волны в изотропной плазме

1. Основные характеристики колебательного и волнового движения. Волновое уравнение и плоские волны. Примеры линейных уравнений и их взаимосвязь с дисперсионным уравнением. Основы спектрального анализа реальных волновых спутниковых данных.
2. Волновой пакет и его основные характеристики. Уравнение для амплитуды и фазы пакета. Дисперсия групповой скорости и ее роль в эволюции волнового пакета. Уравнение для комплексной амплитуды волнового пакета с точностью до второго порядка.
3. Линеаризованная система уравнений Больцмана-Власова для изотропной плазмы. Высокочастотные волны в холодной немагнитной плазме. Дисперсионное уравнение, поперечные и продольные (ленгмюровские) волны. Поляризация электромагнитной волны.
4. Геометрическая оптика. Уравнение эйконала и уравнения геометрической оптики на примере поперечных высокочастотных волн в плазме. Пределы применимости геометрической оптики.

2. Нелинейные неустойчивости в изотропной плазме

1. Пондеромоторная сила. Нелинейное параболическое уравнение. Самофокусировка мощной электромагнитной волны в плазме.
2. Нелинейный сдвиг частоты в среде – природа возникновения и конкретные примеры. Модуляционная неустойчивость. Критерий Лайтхилла.

3. Базовые нелинейные уравнения и их стационарные решения

1. Уравнение КдВ и область его применимости. Законы сохранения для уравнения КдВ. Функция Эйри. Решение задачи Коши для линеаризованного уравнения КдВ и его асимптотика. Стационарные уединенные решения уравнения КдВ : солитоны. Эллиптические функции Якоби. Периодические решения уравнения КдВ.
2. Уравнение Бюргерса, его стационарные и нестационарные решения. Замена Коула-Хопфа. Нелинейное уравнение Шреденгера. Солитонное решение. Уравнение sin-Гордон и его решения.

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

Учебная аудитория, доска, медиапроектор, экран.

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Линейные и нелинейные волны [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Дж. Уизем ; пер. с англ. В. В. Жаринова ; под ред. А. Б. Шабата .— М. : Мир, 1977 .— 622 с.
2. Колебания, волны, структуры / Н. В. Карлов, Н. А. Кириченко. — Москва, Физматлит, 2008.— URL: <https://e.lanbook.com/book/2192> (дата обращения: 21.01.2021). - Полный текст (Режим доступа : из сети МФТИ / Удаленный доступ)

Дополнительная литература

1. Электродинамика плазмы [Текст]/под ред. А. И. Ахиезера, -М., Наука, 1974
2. Волны в магнитоактивной плазме [Текст]/В. Л. Гинзбург, А. А. Рухадзе , [монография], -М., Наука, 1975
3. Физическая кинетика [Текст] : учеб. пособие для вузов / Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский .— М. : Наука, 1979 .— 528 с.

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

При переходе на дистанционное обучение лекции в электронном виде будут доступны на Яндекс-диске преподавателя.

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

При переходе на дистанционное обучение, лекции будут читаться на платформе Zoom и/или FreeConferenceCall.

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 текущей и 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.

Литература для самостоятельного изучения:

1. В. И. Карпман. Нелинейные волны в диспергирующих средах. Издательство "Наука", Москва, 1973.
2. А. А. Галеев, Р.З. Сагдеев, «Нелинейная теория плазмы». Вопросы теории плазмы, том 7, стр. 3-145, Атомиздат, 1973.
3. Б.Б. Кадомцев. Коллективные явления в плазме. Москва, "Наука", 1988.

ПРИЛОЖЕНИЕ

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 космической физики
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен	
Разработчик:	Д.Р. Шкляр, д-р 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-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области 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-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-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
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-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Нелинейные волны в космической плазме» обучающийся должен:

знать:

основы теории линейных и нелинейных волновых процессов в магнитоактивной плазме.

уметь:

анализировать спутниковые данные по измерениям волн и потоков заряженных частиц, формулировать и решать соответствующие волновые задачи.

владеть:

основными методами и подходами к решению линейных и нелинейных волновых задач физики космической плазмы.

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

Задача 1. Записать общее решение линейной волновой задачи и проанализировать его асимптотику при больших X , считая, что начальное возмущение локализовано вблизи $X = 0$.

Задача 2. Получить и проанализировать стационарное решение уравнения Бюргерса.

Задача 3. Используя преобразование Миуры, получить первые три закона сохранения уравнения КдВ.

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

Перечень контрольных вопросов

1. Уравнения Максвелла в среде.
2. Функция распределения. Моменты функции распределения.
3. Фазовая и групповая скорость.
4. Волновые моды холодной магнитоактивной плазмы.
5. Резонансная скорость электрона при взаимодействии со свистовой волной в случае продольного и наклонного распространения.
6. Основные допущения квазилинейной теории.

Примеры контрольных заданий

1. Получить общее решение задачи Коши для линеаризованного уравнения КдВ и проанализировать его асимптотическое поведение при больших временах для начального возмущения, локализованного вблизи $X = 0$.
2. Получить и проанализировать решение уравнения теплопроводности для начального условия в виде ступеньки.
3. Доказать теорему Стори, устанавливающую максимальный угол отклонения низкочастотной свистовой волны от направления внешнего магнитного поля.
4. Вывести резонансные условия при движении частицы во внешнем однородном магнитном поле $B = (0, 0, B_0)$ и переменном во времени электрическом поле $E = (E_x \sin \omega t, 0, 0)$.
5. Показать, что групповая скорость волны направлена по нормали к поверхности показателя преломления.

Примеры экзаменационных билетов

Билет 1.

1. Линеаризованное уравнение КдВ и решение соответствующей задачи Коши
2. Модуляционная неустойчивость. Критерий Лайтхилла

Задача.

Если наземный приемник не находится в зоне прямой видимости наземного передатчика, то для осуществления радиосвязи используется не прямой сигнал от передатчика, а сигнал, отраженный от ионосферы. Считая максимальную концентрацию электронов в ионосфере равной 10^6 см^{-3} , оценить максимальную допустимую частоту высокочастотного передатчика, которую можно использовать для радиосвязи с наземным приемником.

Билет 2.

1. Дисперсия групповой скорости и ее роль в эволюции волнового пакета.
2. Стационарные уединенные решения уравнения КдВ. Солитоны.

Задача.

Исходя из уравнений Максвелла и линеаризованного кинетического уравнения, получить дисперсионное соотношение для высокочастотных волн в холодной плазме без магнитного поля.

Билет 3.

1. Гамильтонова форма уравнений движения заряженной частицы в электромагнитном поле.
2. Уравнение КдВ и область его применимости. Законы сохранения для уравнения КдВ.

Задача.

Установить связь между средним по времени квадратом высокочастотного электрического поля, $\langle E^2 \rangle$, и его комплексным потенциалом A , где $\langle \dots \rangle$ означает усреднение по времени.

Критерии оценивания

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 письменной (устной) форме по билетам. В каждом билете представлено два теоретических вопроса и задача. При проведении экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося не должен превышать одного астрономического часа.