

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет
Кафедра физики плазмы**



академик РАН

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФФ

А. Е. Бондарь

« 04 » 10 2020 г.

Рабочая программа дисциплины

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ГЛАВЫ ТЕОРИИ ПЛАЗМЫ

направление подготовки: **03.04.02 Физика, Курс 1, семестр 1**
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения

Очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	72	32			18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётных единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1, ПК-2										

Разработчик:

к.ф.-м.н.

И. о. зав. КФПл ФФ НГУ

к.ф.-м.н.

Руководитель программы

д.ф.-м.н.

А.Д. Беклемишев

А.Д. Беклемишев

И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2020

Содержание

Аннотация.....	3
1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.....	4
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.....	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	5
5. Перечень учебной литературы.	7
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	7
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	8
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.....	8
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	8
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	9
Приложение 1 Оценочные средства по дисциплине	

Аннотация

к рабочей программе дисциплины «Дополнительные главы теории плазмы»

Направление: **03.04.02 Физика**

Направленность (профиль): Общая и фундаментальная физика

Программа дисциплины «Дополнительные главы теории плазмы» составлена в соответствии с требованиями СУОС к уровню магистратуры по направлению подготовки **03.04.02 Физика, направленность «Общая и фундаментальная физика»**, а также задачами, стоящими перед Новосибирским государственным университетом по реализации Программы развития НГУ. Дисциплина реализуется на физическом факультете Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ) кафедрой физики плазмы, в качестве дисциплины по выбору. Дисциплина изучается студентами первого курса магистратуры физического факультета в осеннем семестре.

Цель курса – знакомство с понятиями и явлениями физики плазмы, со свойствами плазмы, с теоретическими моделями, используемыми для описания плазмы, которые не вошли в основные теоретические курсы кафедры физики плазмы.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника профессиональных компетенций:

ПК-1 – способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.

ПК-2 - способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **Знать:** методы и способы постановки и решения задач физических исследований в области физики плазмы, базовые разделы теории плазмы.
- **Уметь:** применять изученные модели и методы для нахождения решения простых задач по тематике дисциплины.
- **Владеть:** навыками самостоятельной работы с учебной литературой по физике плазмы; основной терминологией и понятийным аппаратом физики плазмы; методами вычисления свойств плазмы по заданным основным параметрам.

Курс рассчитан на один семестр. Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, консультации, самостоятельная работа студента, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: контроль посещения лекций, опрос по материалам лекций.

Промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет **72** академических часа / 2 зачетных единицы.

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Дисциплина «Дополнительные главы теории плазмы» имеет своей целью обучение магистрантов-физиков понятиям и явлениям физики плазмы, свойствам плазмы, с теоретическими моделями, используемыми для описания плазмы. Курс служит основой для подготовки специалистов в области физики плазмы.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника профессиональных компетенций:

ПК-1 – способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.

ПК-2 - способность свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **Знать:** методы и способы постановки и решения задач физических исследований в области физики плазмы, базовые разделы теории плазмы (ПК 1.1).
- **Уметь:** применять изученные модели и методы для нахождения решения простых задач по тематике дисциплины (ПК 2.2).
- **Владеть:** навыками самостоятельной работы с учебной литературой по физике плазмы; основной терминологией и понятийным аппаратом физики плазмы; методами вычисления свойств плазмы по заданным основным параметрам (ПК 2.3).

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Дополнительные главы теории плазмы» реализуется в осеннем семестре 1-го курса для магистрантов, обучающихся по направлению подготовки 03.04.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой физики плазмы. Для его восприятия требуется предварительная подготовка студентов по таким физическим дисциплинам как классическая механика, электродинамика, статистическая физика, физика сплошных сред, основы физики плазмы. Курс должен предшествовать выполнению квалификационной работы студента по данной специализации, так как дает ему необходимые знания, навыки и предоставляет инструменты для выполнения научных исследований в рамках подготовки его квалификационной работы.

3. Трудоемкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	72	32			18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётных единицы, из них:										
- контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1, ПК-2										

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, консультации, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий, экзаменов.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: контроль посещения лекций, опрос по материалам лекций.
- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 32 часа;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 18 часов;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультации и экзамен) – 22 часа;

Объем контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, групповые консультации, экзамен) составляет 36 часов.

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

Дисциплина «Дополнительные главы теории плазмы» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 1-м курсе магистратуры физического факультета НГУ в 1-м семестре. Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)	Консультации перед экзаменом (часов)	Промежуточная аттестация (в период сессии)

			Все го	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	Сам. работа во время промежу точной аттестаци и		(в часах)
				Лек- ции	Прак- тиче- ские заня- тия				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8		
1	Основания кинетической теории.	1-5	15	10		5			
2	Бесстолкновительная кинетика замагниченной плазмы.	6-9	10	6		4			
3	Равновесие и переносы в плазме токамака.	10-12	9	6		3			
4	Элементы Гамильтоновой динамики частиц в электромагнитных полях.	13-16	16	10		6			
5	Групповая консультация							2	
6	Подготовка к экзамену		18				18		
7	Экзамен		4						2
Всего			72	32		18	18	2	2

Программа и основное содержание лекций (32 часа)

Раздел 1. Основания кинетической теории (10 часов)

Корреляционные функции. Цепочка уравнений БГКИ. Условия применимости кинетического уравнения. Интеграл столкновений и корреляции. Слабые столкновения и иерархия времён Боголюбова. ИС Балеску-Ленарда. ИС Больцмана. Законы сохранения. ИС Ландау как частный случай ИС Балеску-Ленарда. Условия применимости ИС Ландау и Балеску-Ленарда. Уравнение Фоккера-Планка. Коэффициенты Фоккера-Планка и флуктуации полей. Связь с интегралом столкновений Балеску-Ленарда. Представление об аномальной столкновительности. Модельные интегралы столкновений, тау-приближение. Макроскопические коэффициенты переноса. Автоматическая амбиполярность столкновительной диффузии. Представление о формальном выводе коэффициентов переноса в газе. Метод Грэда. Представление о нелокальных и аномальных переносах.

Раздел 2. Бесстолкновительная кинетика замагниченной плазмы (6 часов)

Бесстолкновительное кинетическое уравнение. Равновесные функции распределения бесстолкновительной плазмы в магнитном поле. Гирокинетическое уравнение (вывод и область применимости). Дрейфовые волны. Метод интегрирования бесстолкновительного кинетического уравнения по невозмущённым траекториям. Диэлектрическая проницаемость горячей плазмы в

магнитном поле. Волны в горячей замагниченной плазме. Циклотронные волны, моды Бернштейна. Представление о методах радиочастотного нагрева и генерации тока в плазме.

Раздел 3. Равновесие и переносы в плазме токамака (6 часов)

Криволинейные системы координат. Три вида потоковых переменных: ортогональные, с прямыми силовыми линиями, координаты Бузера. Запись уравнений гидродинамики и равновесия в потоковых координатах. Уравнения Кадомцева для дрейфовых поверхностей. Траектории частиц и равновесные функции распределения в токамаке. Качественное представление о неоклассических коэффициентах переноса. Бутстрэп-ток. Банановый режим и режим плато для переносов в токамаке в зависимости от частоты столкновений.

Раздел 4. Элементы Гамильтоновой динамики частиц в электромагнитных полях (10 часов)

Описание магнитных силовых линий как Гамильтоновой системы. Сведение любой системы к автономной с $N+1$ степенью свободы. Первые интегралы и переменные действие-угол. Нелинейный маятник. Инвариантные торы. Абсолютное удержание частиц в осесимметричной зеркальной ловушке. Приближённые методы Гамильтоновой динамики. Оценки сходимости рядов, проблема малых знаменателей, внешние и внутренние резонансы. Метод усреднения. Частица в высокочастотном поле, сила Миллера, вихревой дрейф. Адиабатические инварианты. Несохранение адиабатического инварианта. Метод отображений. Стандартное отображение. Перекрытие резонансов, критерий Чирикова. Теорема Колмогорова-Арнольда-Мозера. Диффузия Арнольда. Элементарные оценки диффузии частиц в стохастическом магнитном поле. Дрейфовая турбулентность. Оценки турбулентных коэффициентов переноса.

Самостоятельная работа студентов (36 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	18
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

5.1. Основная литература

1. А.Д.Беклемишев, Лекции по курсу «Дополнительные главы теории плазмы»
<http://wwwold.inp.nsk.su/students/plasma/sources.php#DGTP>

5.2. Дополнительная литература

1. Климонтович Ю.Л. "Статистическая физика" М.: Наука, 1982.
2. Галеев А.А., Сагдеев Р.З. "'Неоклассическая' теория диффузии", в сб. Вопросы теории плазмы т .7, с.205, М.: Атомиздат, 1973.
3. Морозов А.И., Соловьёв Л.С. "Движение заряженных частиц в электромагнитных полях", в сб. Вопросы теории плазмы т .2, с.177, М.: Атомиздат, 1963.
4. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. "Введение в нелинейную физику", М.: Наука, 1988.
5. Кадомцев Б.Б. "Турбулентность плазмы" в сб. Вопросы теории плазмы т .4, с.188, М.: Атомиздат, 1964.

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

Самостоятельная работа студентов поддерживается следующими учебными пособиями:

1. А.Д.Беклемишев, Лекции по курсу «Дополнительные главы теории плазмы» <http://wwwold.inp.nsk.su/students/plasma/courses.php#DGTP>
2. Климонтович Ю.Л. "Статистическая физика" М.: Наука, 1982.
3. Галеев А.А., Сагдеев Р.З. "'Неоклассическая' теория диффузии", в сб. Вопросы теории плазмы т .7, с.205, М.: Атомиздат, 1973.
4. Морозов А.И., Соловьёв Л.С. "Движение заряженных частиц в электромагнитных полях", в сб. Вопросы теории плазмы т .2, с.177, М.: Атомиздат, 1963.
5. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. "Введение в нелинейную физику", М.: Наука, 1988.
6. Кадомцев Б.Б. "Турбулентность плазмы" в сб. Вопросы теории плазмы т .4, с.188, М.: Атомиздат, 1964.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

7.1 Современные профессиональные базы данных

Не используются.

7.2. Информационные справочные системы

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем контроля посещения лекций студентами и опроса в начале каждой лекции по материалам предыдущей лекции.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленные компетенции ПК-1 и ПК-2 сформированы не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области теории физики плазмы в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенций ПК-1 и ПК-2.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Дополнительные главы теории плазмы».

Критерии оценивания результатов обучения	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6

Полнота знаний	ПК 1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.
Наличие умений	ПК 2.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 2.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Перечень вопросов на экзамен

- Корреляционные функции.
- Цепочка уравнений БГККИ.
- Условия применимости кинетического уравнения.
- Интеграл столкновений и корреляции.
- Слабые столкновения и иерархия времён Боголюбова.
- ИС Балеску-Ленарда. ИС Больцмана.
- Законы сохранения.
- ИС Ландау как частный случай ИС Балеску-Ленарда.
- Условия применимости ИС Ландау и Балеску-Ленарда.
- Уравнение Фоккера-Планка. Коэффициенты Фоккера-Планка и флуктуации полей.
- Связь с интегралом столкновений Балеску-Ленарда.
- Представление об аномальной столкновительности.
- Модельные интегралы столкновений, тау-приближение.
- Макроскопические коэффициенты переноса.
- Автоматическая амбиполярность столкновительной диффузии.
- Представление о формальном выводе коэффициентов переноса в газе.
- Метод Грэда.
- Представление о нелокальных и аномальных переносах.

- Бесстолкновительное кинетическое уравнение.
- Равновесные функции распределения бесстолкновительной плазмы в магнитном поле.
- Гирокинетическое уравнение (вывод и область применимости).
- Дрейфовые волны. Метод интегрирования бесстолкновительного кинетического уравнения по невозмущённым траекториям.
- Диэлектрическая проницаемость горячей плазмы в магнитном поле.
- Волны в горячей замагниченной плазме.
- Циклотронные волны, моды Бернштейна.
- Представление о методах радиочастотного нагрева и генерации тока в плазме.
- Криволинейные системы координат.
- Три вида потоковых переменных: ортогональные, с прямыми силовыми линиями, координаты Бузера.
- Запись уравнений гидродинамики и равновесия в потоковых координатах.
- Уравнения Кадомцева для дрейфовых поверхностей.
- Траектории частиц и равновесные функции распределения в токамаке.
- Качественное представление о неоклассических коэффициентах переноса.
- Бутстрэп-ток. Банановый режим и режим плато для переносов в токамаке в зависимости от частоты столкновений.
- Описание магнитных силовых линий как Гамильтоновой системы.
- Сведение любой системы к автономной с $N+1$ степенью свободы.
- Первые интегралы и переменные действие-угол.
- Нелинейный маятник.
- Инвариантные торы.
- Абсолютное удержание частиц в осесимметричной зеркальной ловушке.
- Приближённые методы Гамильтоновой динамики.
- Оценки сходимости рядов, проблема малых знаменателей, внешние и внутренние резонансы.
- Метод усреднения.
- Частица в высокочастотном поле, сила Миллера, вихревой дрейф.
- Адиабатические инварианты.
- Несохранение адиабатического инварианта.
- Метод отображений.
- Стандартное отображение.
- Перекрытие резонансов, критерий Чирикова.
- Теорема Колмогорова-Арнольда-Мозера.
- Диффузия Арнольда.
- Элементарные оценки диффузии частиц в стохастическом магнитном поле.
- Дрейфовая турбулентность.
- Оценки турбулентных коэффициентов переноса.

Пример экзаменационного билета

1. Волны в замагниченной горячей плазме (на компетенцию ПК-1).
2. Макроскопические коэффициенты переноса (как определяются и как выводятся). Амбиполярность диффузии (на компетенцию ПК-2).

Форма экзаменационного билета представлена на рисунке

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)**

Физический факультет

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № _____

1.
2.

Составитель _____ /Ф.И.О. преподавателя/
(подпись)

«___» _____ 20__ г.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации фонда оценочных средств
по дисциплине «Дополнительные главы теории плазмы»
по направлению подготовки 03.04.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного

