

**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**



**Рабочая программа дисциплины**

**ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ГЛАВЫ ТЕОРИИ ПЛАЗМЫ**

направление подготовки: **03.04.02 Физика**  
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 зачётные единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1										

Руководитель программы  
д.ф.-м.н.

И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2022

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы. ....	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы. ....	3
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. ....	4
5. Перечень учебной литературы. ....	6
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся. ....	6
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины. ....	7
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине. ....	7
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине. ....	7
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине. ....	8

## 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 обучающегося профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<b>ПК-1</b> Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	<b>ПК 1.1</b> Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования. <b>ПК 1.2</b> Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	<b>Знать</b> методы и способы постановки и решения задач физических исследований в области физики плазмы, базовые разделы теории плазмы. <b>Уметь</b> применять изученные модели и методы для нахождения решения простых задач по тематике дисциплины. <b>Владеть</b> навыками самостоятельной работы с учебной литературой по физике плазмы; основной терминологией и понятийным аппаратом физики плазмы; методами вычисления свойств плазмы по заданным основным параметрам.

## 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										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: 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;

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

**4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого 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 зачетные единицы, 72 академических часа.

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

			Все го	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	Сам. работа во время промежуточн ой аттестации	(в часах)
				Лекции	Практиче- ские заня- тия			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	
1	Основания кине- тической теории.	1-5	15	10		5		
2	Бесстолкнови- тельная кинетика замагниченной плазмы.	6-9	10	6		4		
3	Равновесие и пе- реносы в плазме токамака.	10- 12	9	6		3		
4	Элементы Га- милтоновой ди- намики частиц в электромагнитных полях.	13- 16	16	10		6		
5	Групповая кон- сультация		2					2
6	Подготовка к экзамену		18				18	
7	Экзамен		4					2
<b>Всего</b>			<b>72</b>	<b>32</b>		<b>18</b>	<b>18</b>	<b>4</b>

### 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. Перекрывание 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.

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: учебное пособие для студентов физических специальностей высших учебных заведений" М.: Наука, 1982. (7 экз.)

3. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. "Введение в нелинейную физику: от маятника до турбулентности и хаоса", М.: Наука, 1988. (4 экз.)

### 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 заявленная компетенция ПК-1 сформирована 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 компетенции ПК-1.

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.

### Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
<b>ПК 1.1</b> Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	<b>Знать</b> методы и способы постановки и решения задач физических исследований в области физики плазмы, базовые разделы теории плазмы.	Опрос в начале каждой лекции, экзамен

<p><b>ПК 1.2</b> Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p><b>Уметь</b> применять изученные модели и методы для нахождения решения простых задач по тематике дисциплины.</p> <p><b>Владеть</b> навыками самостоятельной работы с учебной литературой по физике плазмы; основной терминологией и понятийным аппаратом физики плазмы; методами вычисления свойств плазмы по заданным основным параметрам.</p>	<p>Опрос в начале каждой лекции, экзамен</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------

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

Таблица 10.2

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.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. 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 1.2	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 1.2	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач.	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.

		Наличие гру- бых ошибок.			
--	--	-----------------------------	--	--	--

### 10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

#### Перечень вопросов на экзамен

- Корреляционные функции.
- Цепочка уравнений ББГКИ.
- 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.
- Перекрывание 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.
2. Макроскопические коэффициенты переноса (как определяются и как выводятся). Амбиполярность диффузии.

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 рабочей программы  
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