

**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**



УТВЕРЖДАЮ  
Декан ФФ  
А. Е. Бондарь  
академик РАН  
2020 г.

**Рабочая программа дисциплины**

**КОЛЛЕКТИВНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ПЛАЗМЕ**

направление подготовки: **03.03.02 Физика, Курс 4, семестр 7**  
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
7	108	32	32		22	18	2			2
Всего 108 часов / 3 зачётные единицы, из них: - контактная работа 68 часов - в интерактивных формах 32 часов										
Компетенции ПК-1, ПК-2										

Разработчик:  
к.ф.-м.н.

Д. И. Сковородин

И. о. зав. КФПл ФФ НГУ  
к.ф.-м.н., доцент

А. Д. Беклемишев

Ответственный за образовательную программу  
д.ф.-м.н., проф.

С.В. Цыбуля

Новосибирск, 2020

## Содержание

Аннотация.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
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. ....	5
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий. ....	6
5. Перечень учебной литературы. ....	8
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся. ....	8
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....	8
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине. ....	9
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	9
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине. ....	9

## Аннотация

к рабочей программе дисциплины «**Коллективные явления в плазме**»

Направление: **03.03.02 Физика**

**Направленность (профиль): Общая и фундаментальная физика**

Программа дисциплины «**Коллективные явления в плазме**» составлена в соответствии с требованиями СУОС к уровню бакалавриата по направлению подготовки **03.03.02 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 четвертого курса физического факультета в осеннем семестре.

Цель курса – знакомство студентов с фундаментальными явлениями в плазме, обусловленными коллективной динамикой частиц в самосогласованных электромагнитных полях, а также теоретическими методами и подходами, применяемыми для их описания.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующих компетенций:

- **способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (ПК-1);**
- **способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта (ПК-2).**

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **Знать:** учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты; основной математический аппарат, который используется для описания коллективной динамики частиц в плазме.
- **Уметь:** решать типичные задачи на основе воспроизведения стандартных алгоритмов решения; объяснять причинно-следственные связи физических процессов, возникающих при коллективном движении частиц плазмы в самосогласованных полях.
- **Уметь:** работать со специализированной литературой по физике плазмы и нелинейным колебаниям; навыками решения усложненных задач по теоретической физике на основе приобретенных знаний, умений, навыков.

Курс рассчитан на один семестр (7-й). Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, практические занятия, контрольные работы, консультации, самостоятельная работа студента, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль: контрольные работы.

Промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет **108** академических часа / **3** зачетные единицы.

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

Дисциплина «Коллективные явления в плазме» представляет собой курс о явлениях в плазме, обусловленных коллективной динамикой частиц в самосогласованных электромагнитных полях. Дисциплина предназначена для обучения студентов-физиков, специализирующихся в области физики плазмы.

Целью освоения курса является ознакомление студентов с 1) фундаментальными явлениями в плазме, обусловленными коллективной динамикой частиц в самосогласованных электромагнитных полях; 2) линейной теорией плазменных колебаний в рамках различных теоретических моделей (кинетическое уравнение Власова, одно- и двух-жидкостная магнитная гидродинамика).

Профессиональная компетенция ПК-1 (способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин) в части формирования способности использовать специализированные знания по коллективным явлениям в плазме для освоения линейной теории плазменных волн, их бесстолкновительного затухания и концепции слабой и сильной турбулентности в плазме.

Профессиональная компетенция ПК-2 (способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе, сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта) в части использования полученных знаний в области плазменных волн в профессиональной деятельности.

Все практические занятия проводятся в интерактивной форме. Специально указываются темы, активно обсуждающиеся в текущей профессиональной научной литературе и планах дальнейших работ в институтах, в котором студенты планируют проходить научную практику. Необходимой предпосылкой для изучения дисциплины является успешное освоение курсов «Электродинамика», «Физика сплошных сред» и «Статистическая физика». Материал курса увязывается с теоритическими спецкурсам кафедры физики плазмы: «Основы физики плазмы» и «Магнитная гидродинамика».

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **Знать:**
  - учебный материал с требуемой степенью научной точности и полноты (ПК 1.1);
  - основной математический аппарат, который используется для описания коллективной динамики частиц в плазме (ПК 2.1).
- **Уметь:**
  - решать типичные задачи на основе воспроизведения стандартных алгоритмов решения, (ПК-1.2);
  - объяснять причинно-следственные связи физических процессов, возникающих при коллективном движении частиц плазмы в самосогласованных полях (ПК 2.2);
- **Владеть:**
  - навыками самостоятельной работы со специализированной литературой по физике плазмы и нелинейным колебаниям (ПК 1.3)
  - навыками решения усложненных задач по теоретической физике на основе приобретенных знаний, умений, навыков (ПК 2.3);

## **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.**

Дисциплина «Коллективные явления в плазме» реализуется в осеннем семестре 4-го курса бакалавриата, обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 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 электродинамика, физика сплошных сред, основы физики плазмы и магнитная гидродинамика.

**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
7	108	32	32		22	18	2			2
Всего 108 часа / 3 зачётных единицы, из них: - контактная работа 68 часов - в интерактивных формах 32 часов										
Компетенции ПК-1, ПК-2										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: контрольные работы, задания для самостоятельного решения;
- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

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

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 68 часов.

Работа с обучающимися в интерактивных формах составляет 32 часа (практические занятия).

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

Дисциплина «Коллективные явления в плазме» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 4-м курсе физического факультета НГУ в 7 семестре. Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачётные единицы, 108 академических часа.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоёмкость (в часах)					Консультации перед экзаменом (часов)	Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	Сам. работа во время промежуточной аттестации		
				Лекции	Практические занятия				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Линейные колебания плазмы без магнитного поля.	1-5	26	10	10	6			
2	Линейные колебания замагниченной плазмы.	6-9	22	8	8	6			
3	Нелинейные эффекты	10-16	38	14	14	10			
4	Консультации		2					2	
4.	Самостоятельная работа в период подготовки к промежуточной аттестации		18				18		
5.	Экзамен		2						2
<b>Всего</b>			<b>108</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>22</b>	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

**Программа и основное содержание лекций (32 часов)**

**Раздел 1. Линейные колебания плазмы без магнитного поля (10 часа)**

Иерархия теоретических моделей описания плазмы. Линейная теория колебаний в немагнитной плазме. Затухание Ландау. Волны в максвелловской плазме. Волны в неравновесной плазме с надтепловыми хвостами. Двухпоточковая неустойчивость.

**Раздел 2. Линейные колебания замагниченной плазмы (8 часа)**

Диэлектрическая проницаемость замагниченной плазмы. Продольные волны в замагниченной плазме. Волны в замагниченной плазме с поперечным распространением. Дрейфовая волна.

### **Раздел 3. Нелинейные эффекты (14 часа)**

Слабая турбулентность. Квазилинейная теория. Трёхволновые взаимодействия. Генерация электромагнитных волн ленгмюровской турбулентностью. Нелинейное затухание Ландау. Уравнения Захарова. Модуляционная неустойчивость. Параболическое уравнение. Самофокусировка волновых пакетов. Концепция сильной турбулентности.

#### **Программа практических занятий (32 часов)**

*Занятие 1.* Убедиться, что уравнение Климонтовича-Дюпри выполняется вдоль траекторий отдельных частиц. Сформулировать условия, при которых в уравнении движения одножидкостной плазмы можно пренебречь электрической силой. **(2 часа)**

*Занятие 2.* Найти мощность поглощения энергии потенциальной плазменной волны в процессе затухания Ландау, вычисляя работу, совершаемую волной над отдельными электронами. **(2 часа)**

*Занятие 3.* Получить законы дисперсии колебаний в незамагниченной горячей плазме из уравнений двухжидкостной гидродинамики с конечным давлением. **(2 часа)**

*Занятие 4.* Найти, как в гидродинамическом пределе меняется дисперсия ленгмюровских и ионно-звуковых волн в плазме с релятивистским распределением  $p^{-5}$ . **(2 часа)**

*Занятие 5.* Найти тензор диэлектрической проницаемости для системы плазма-пучок, используя уравнения двухжидкостной МГД. Сформулировать условия применимости электростатического приближения для гидродинамической неустойчивости электронного пучка в плазме. **(2 часа)**

*Занятие 6.* Получить тензор диэлектрической проницаемости холодной замагниченной плазмы, делая предельный переход к нулевой температуре в выражении, полученном в рамках кинетической теории. **(2 часа)**

*Занятие 7.* Получить законы дисперсии колебаний холодной замагниченной плазмы для произвольного угла распространения. **(2 часа)**

*Занятие 8.* Получить законы дисперсии низкочастотных колебаний горячей замагниченной плазмы с произвольным углом распространения из уравнений одножидкостной гидродинамики. **(2 часа)**

*Занятие 9.* Найти распределение полей при отражении электромагнитной волны от плазмы с плавно нарастающей сверхкритической плотностью. **(2 часа)**

*Задание 10.* Контрольная работа 1 **(1 час)**

*Занятие 11.* Законы сохранения энергии и импульса в квазилинейной теории. Найти установившийся одномерный спектр ленгмюровских колебаний после квазилинейной релаксации электронного пучка. **(1 часа)**

*Занятие 12.* Вычислить вероятность рассеяния ленгмюровской волны на ионном звуке. **(2 часа)**

*Занятие 13.* Вычислить вероятность излучения электромагнитной волны за счёт слияния двух ленгмюровских волн. **(2 часа)**

*Занятие 14.* Найти форму области захвата резонансных частиц ленгмюровской волной в релятивистском случае. **(2 часа)**

*Занятие 15.* Получить уравнения для слаботурбулентного процесса рассеяния ленгмюровской волны на ионном звуке из динамических уравнений Захарова. **(2 часа)**

*Занятие 16.* Показать, что в пределе малой амплитуды волны накачки инкремент модуляционной неустойчивости совпадает с инкрементом распада ленгмюровской волны на ленгмюровскую и ионно-звуковую. **(2 часа)**

*Занятие 17.* Критерий Лайтхилла для ленгмюровской волны. Найти спектр сильной ленгмюровской турбулентности в инерционном интервале. **(1 часа)**

**Самостоятельная работа студентов (40 часов)**

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям.	11
Подготовка к контрольным работам	11
Подготовка к экзамену	18

**5. Перечень учебной литературы.**

**5.1. Основная литература**

1. Н.Кролл, А.Трайвелпис, Основы физики плазмы. М.: Мир, 1975.
2. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц, Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 1992.
3. Е.М.Лифшиц, Л.П.Питаевский, Физическая кинетика. М.: Наука, 1979.
4. Л.А.Арцимович, Р.З.Сагдеев, Физика плазмы для физиков. М.: Атомиздат, 1979.
5. Ф.Чен, Введение в физику плазмы. М.: Мир, 1987.
6. А.Ф.Александров, Л.С.Богданкевич, А.А.Рухадзе, Основы электродинамики плазмы. М.: Высшая школа, 1988.
7. В.Н.Цытович, Теория турбулентной плазмы. М., Атомиздат, 1971.

**5.2. Дополнительная литература**

1. Д.Роуз, М.Кларк, Физика плазмы и управляемые термоядерные реакции. М.: Госатомиздат, 1963.
2. Б.Б.Кадомцев, Перезамыкание магнитных силовых линий. УФН, т.151, вып.1, 1987, с.3-30.
3. Ю.Л.Климонтович, Физика бесстолкновительной плазмы. УФН, т.167, вып.1, 1997, с.23-55.
4. Б.Б.Кадомцев, Коллективные явления в плазме. М.: Наука, 1976.
5. Б.А.Трубников, Теория плазмы. М.: Энергоатомиздат, 1996.

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

Электронный конспект лекций:

Тимофеев И.В. Коллективные явления в плазме (2014). <http://www.inp.nsk.su/students/plasma/sk/kyp.pdf>

**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 «Коллективные явления в плазме» 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 опроса в начале каждой лекции по материалам предыдущей лекции. Студентам необходимо успешно выполнить две контрольные

работы, предполагающие знание основных формул из разделов «Линейные колебания плазмы без магнитного поля», «Линейные колебания замагниченной плазмы» и «Нелинейные эффекты».

### **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 коллективных плазменных процессов 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 «Коллективные явления в плазме».**

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 ПК 2.1	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 1.2 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 1.3 ПК 2.3	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач.	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

		Наличие гру- бых ошибок.	дач с некото- рыми недоче- тами.		решению нестан- дартных задач.
--	--	-----------------------------	--	--	-----------------------------------

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

Контрольная работа №1 по разделу «Линейные колебания плазмы без магнитного поля»

В рамках **первой** контрольной работы было необходимо записать по памяти 5 формул из следующего списка:

1. Плазменная частота и численная оценка для электронов;
2. Циклотронная частота и численная оценка для электронов;
3. Радиус Дебая и численная оценка;
4. Гиромагнитный радиус;
5. Тепловая скорость;
6. Скорость ионного звука;
7. Уравнения движения заряженной релятивистской частицы;
8. Бесстолкновительное уравнение Власова;
9. Уравнение непрерывности для плотности частиц;
10. Уравнения Максвелла в Фурье-представлении;
11. Тензор диэлектрической проницаемости среды через тензор проводимости;
12. Распределение Максвелла с нормировкой на концентрацию частиц;
13. Закон дисперсии электромагнитных волн в холодной изотропной плазме;
14. Альфвеновская скорость;
15. Граничные условия для электрических полей на границе раздела двух сред;
16. Граничные условия для магнитных полей на границе раздела двух сред;
17. Формула тока через функцию распределения частиц.

### Примерный вариант контрольной работы №1

1. Гиромагнитный радиус
2. Скорость ионного звука
3. Уравнения Максвелла в Фурье-представлении
4. Формула тока через функцию распределения частиц
5. Тензор диэлектрической проницаемости среды через тензор проводимости

### Контрольная работа №2 по всем разделам

**Вторая** контрольная работа подразумевала краткий ответ на два вопроса из списка:

1. Затухание Ландау. Почему в равновесной Максвелловской плазме волна всегда будет затухать?
2. Правило обхода Ландау.
3. Что такое кинетический и гидродинамический пределы.
4. Как находить тензор диэлектрической проницаемости? (кинетика)
5. Как находить тензор диэлектрической проницаемости? (МГД)
6. Ленгмюровские волны. Почему ионы практически не оказывают воздействия на них? Как влияет наличие конечной температуры плазмы?

7. Декремент затухания в равновесной плазме с Максвелловским распределением.
8. Ионно-звуковые колебания. Что является возвращающей силой? Почему в них не возникает большой нескомпенсированный заряд?
9. Найти, как в гидродинамическом пределе меняется дисперсия ленгмюровских ионно-звуковых волн в плазме с релятивистским распределением.
10. Двухпотоковая неустойчивость. Почему нужно учитывать вклад силы Лоренца? В какие плазменные колебания пучок может передавать энергию? Гидродинамический и кинетический режимы.
11. Вычислить максимальный инкремент неустойчивости для системы холодная плазма - холодный нерелятивистский пучок.
12. Оценить величину инкремента кинетической неустойчивости электронного пучка в плазме.
13. Что такое нелинейное затухание Ландау?
14. Как находить сепаратрису между пролётными и захваченными в ленгмюровскую волну частицами?
15. Теория слабой турбулентности.
16. Квазилинейная релаксация электронного пучка.

#### Примерный вариант контрольной работы №2

1. Найти, как в гидродинамическом пределе меняется дисперсия ленгмюровских ионно-звуковых волн в плазме с релятивистским распределением.
2. Что такое нелинейное затухание Ландау?

#### Задачи для самостоятельного решения

**Задача №1.** Холодный нерелятивистский пучок малой плотности в холодной немагнитной плазме.

- Определить вклад частиц пучка в тензор диэлектрической проницаемости системы;
- Найти дисперсию электромагнитных колебаний с поляризацией  $E \perp k, v\beta$ ;
- Вычислить инкремент неустойчивости потенциальных колебаний.

**Задача №2.** Волны в неравновесной плазме с надтепловыми хвостами.

- Найти тепловую поправку к дисперсии и декременту ленгмюровских и ионно-звуковых волн в плазме с каппа-распределением.

**Задача №3.** Низкочастотные волны с произвольным углом распространения в замагнитной плазме. Получить дисперсионные уравнения. Рассмотреть детально случаи чисто продольных и чисто поперечных по отношению к магнитному полю колебаний.

#### Примерные вопросы на экзамен

*На проверку сформированности компетенции ПК-1:*

1. Линейная кинетическая теория колебаний в плазме без магнитного поля. Затухание Ландау.
2. Волны в максвелловской плазме.
3. Волны в плазме с неравновесным каппа-распределением
4. Двухпотоковая неустойчивость.
5. Диэлектрическая проницаемость горячей замагнитной плазмы.
6. Продольные волны в горячей замагнитной плазме.
7. Волны в горячей замагнитной плазме с поперечным распространением.
8. Дрейфовая волна.
9. Слабая турбулентность.
10. Квазилинейная теория.

11. Вероятность произвольного трёхволнового процесса в слабой турбулентности.
12. Нелинейное затухание Ландау.
13. Уравнения Захарова.
14. Модуляционная неустойчивость.
15. Концепция сильной турбулентности.
16. Волны в холодной замагниченной плазме.
17. Альфвеновская волна.
18. Низкочастотные колебания горячей замагниченной плазмы в одножидкостной модели.
19. Квантовая интерпретация взаимодействий волна-волна и волна-частица.
20. Гидродинамическая двухпоточковая неустойчивость.

*На проверку сформированности компетенции ПК-2:*

1. Вычислить инкремент филаментационной неустойчивости в системе плазма-пучок.
2. Найти, как меняется частота плазменных резонансов в холодной замагниченной плазме с изменением угла распространения волны.
3. Получить закон дисперсии ионного звука в рамках двухжидкостной гидродинамики.
4. Вычислить декремент затухания альфвеновской волны за счёт конечной проводимости в плазме.
5. Найти инкремент раскачки потенциальных колебаний в холодной плазме с относительным движением электронов и ионов.
6. Найти уровень насыщения энергии волны в процессе развития кинетической пучковой неустойчивости из-за захвата резонансных частиц.
7. Вычислить максимальный инкремент неустойчивости для системы холодная плазма – холодный нерелятивистский пучок.
8. Найти закон дисперсии вистлеров в рамках двухжидкостной гидродинамики.
9. Вычислить тепловую поправку к дисперсии ленгмюровской волны, пользуясь двухжидкостной гидродинамикой.
10. Ионный звук в незамагниченной плазме в одножидкостной модели.
11. Найти дисперсию альфвеновской волны в одножидкостной модели.
12. Вычислить инкремент потенциальной неустойчивости холодного релятивистского электронного пучка в холодной замагниченной плазме.
13. Вычислить декремент затухания ленгмюровской волны на электронах в незамагниченной плазме.
14. Оценить величину инкремента кинетической неустойчивости электронного пучка в плазме.
15. Найти пороговую скорость относительного движения горячих электронов и холодных ионов, начиная с которого плазма становится неустойчивой по отношению к раскачке ионного звука.
16. Найти спектр ленгмюровских колебаний, установившийся в процессе одномерной квазилинейной релаксации электронного пучка в плазме.
17. Вычислить декремент затухания ионного звука на электронах.
18. Вычислить вероятность распада ленгмюровской волны на ленгмюровскую и ионно-звуковую.
19. Найти пороговое значение энергии ленгмюровской волны, выше которого она оказывается неустойчивой по отношению к модуляционным возмущениям.
20. Найти частоту нижнего гибридного резонанса в плазме с холодными ионами и горячими электронами в случае строго поперечного распространения.

**Пример экзаменационного билета**

1. Модуляционная неустойчивость. (на компетенцию ПК-1)

2. Оценить величину инкремента кинетической неустойчивости электронного пучка в плазме.  
(на компетенцию ПК-2)

Форма экзаменационного билета представлена на рисунке

<p><b>МИНОБРНАУКИ РОССИИ</b></p> <p><b>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования</b> <b>«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»</b> <b>(Новосибирский государственный университет, НГУ)</b></p> <p><b>Физический факультет</b></p>
<p><b>ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № _____</b></p> <p>1. .... 2. ....</p> <p>Составитель _____ /Ф.И.О. преподавателя/ (подпись)</p> <p>« ____ » _____ 20 ____ г.</p>

Оценочные материалы по промежуточной аттестации (приложение 1), 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 «Коллективные явления в плазме»  
по направлению подготовки 03.03.02 Физика  
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

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