



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ФГБОУ ВО «ИГУ»

Кафедра общей и космической физики



**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

Наименование дисциплины (модуля): Б1.В.13 Дополнительные главы физики плазмы

Направление подготовки: 03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки: Солнечно-земная физика

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очная

Согласовано с УМК:

физического факультета

Протокол № 42 от «15» апреля 2024 г.

Председатель: д.ф.-м.н., профессор

 Н.М. Буднев


Рекомендовано кафедрой:

общей и космической физики

Протокол № 8

от «22» марта 2024 г.

Зав.кафедрой д.ф.-м.н., профессор

 Паперный В.Л.

Иркутск 2024 г.

## Содержание

<b>I. Цели и задачи дисциплины (модуля)</b> .....	3
<b>II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО</b> .....	3
<b>III. Требования к результатам освоения дисциплины</b> .....	3
<b>IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)</b> .....	4
4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов.....	5
4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....	5
4.3. Содержание учебного материала .....	6
4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ .....	6
4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС) .....	7
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.....	7
4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии).....	7
<b>V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)</b> .....	8
а) <i>перечень литературы</i> .....	8
в) <i>список авторских методических разработок</i> .....	9
г) <i>базы данных, информационно-справочные и поисковые системы</i> .....	9
<b>VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)</b> .....	10
6.1. Учебно-лабораторное оборудование: .....	10
6.2. Программное обеспечение: .....	10
6.3. Технические и электронные средства: .....	10
<b>VII. Образовательные технологии</b> .....	10
<b>VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации</b> .....	10
 <b>ПРИЛОЖЕНИЕ: ФОС</b>	 13

## I. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Одним из направлений модернизации российского образования является *интеграция* дисциплин естественнонаучного цикла. Данный курс соответствует этой концепции.

**Цель программы** - подготовка специалистов в области физики плазмы, газового разряда; разработки приборов и установок для создания, удержания и диагностики плазмы; плазменных технологий и математического моделирования закономерностей и явлений в плазме.

**Задача курса:** формирование физических представлений о закономерностях поведения плазмы в магнитном поле для применения этих знаний при работе в различных областях науки и техники.

## II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Дополнительные главы физики плазмы» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

Курс излагается в седьмом семестре и дополняет дисциплину «Физика плазмы», изучаемую студентами в шестом семестре.

В курсе излагаются основные методы теоретического описания плазмы и на этой основе рассмотрены важнейшие процессы, определяющие свойства и динамику плазмы. Неотъемлемой частью курса являются практические семинарские занятия. Решение большого числа задач различной трудности позволяет студентам не только закрепить и расширить сведения, полученные в курсе «Физика плазмы», но и приобрести опыт самостоятельной работы над научными проблемами.

Программа курса ориентирована на тематику научных исследований базового института кафедры – Института солнечно-земной физики (ИСЗФ) СО РАН.

## III. Требования к результатам освоения дисциплины

Курс программирования, согласно положениям федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования при подготовке бакалавра по направлению 03.03.02 Физика, позволяет студенту приобрести следующие компетенции:

- Способен использовать специализированные знания в области физики и астрофизики для освоения профильных физических дисциплин (ПК-1).

В результате изучения курса “Дополнительные главы физики плазмы” (с учетом курса «Физика плазмы») студенты должны соответствовать результатам, указанным ниже.

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций**

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
ПК-1	ИДК ПК.1.1 Способен проводить анализ научных данных, результатов экспериментов и наблюдений, используя специализированные знания в области физики и астрофизики	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• основные характеристики и параметры плазмы;</li> <li>• виды дрейфа и оценка скорости движения частиц плазмы</li> <li>• диффузия и оценка коэффициента диффузии плазмы;</li> <li>• методы нагрева плазмы;</li> <li>• критерий Лоусона;</li> <li>• виды волн, распространяющихся в плазме;</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• рассчитывать характеристики плазмы по заданным параметрам;</li> <li>• делать оценки скорости дрейфового движения частиц в плазме;</li> <li>• объяснить влияние магнитных полей простой конфигурации на поведение плазмы;</li> </ul> <p><b>имеет представление:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• о физике плазмы как разделе физики, ее задачах и методах их решения;</li> <li>• об основных процессах переноса в плазме в магнитном поле и без него;</li> <li>• о видах дрейфового движения частиц в плазме;</li> <li>• о цепной реакции деления ядер;</li> <li>• о способах нагрева и удержания плазмы;</li> <li>• об устройствах, с помощью которых получают и удерживают плазму;</li> <li>• о волновых процессах в плазме.</li> </ul> <p><b>будет готовым</b> к самостоятельному проведению исследований, использованию информационных технологий для решения научных и профессиональных задач</p>

#### IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, 108 часа,

в том числе 47 часов контактной работы.

Занятия проводятся только в очной форме обучения с применением дистанционного контроля самостоятельной работы студентов через ЭлИОС факультета. Электронной и дистанционной форм обучения не предусматривается.

На практическую подготовку отводится 16 аудиторных часов (во время выполнения практических заданий).

Форма промежуточной аттестации: зачёт.

**4.1. Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов**

№ п/н	Раздел дисциплины/тема	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Контактная работа преподавателя с обучающимися			Самостоятельн ая работа	
					Лекции	Семинарские/ практические/ лабораторные занятия	Консуль тации		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Раздел 1. Двухжидкостная гидродинамика .	7	33,4	10		12	0,4	21	Самостоятельное решение задач по данной теме
2	Раздел 2. Кинетическое описание плазмы .	7	32,4	10		12	0,4	20	
3	Раздел 3. Нелинейные процессы в плазме	7	30,2	10		10	0,2	20	
	КОНтроль		8						Опрос
	КСР		4						
	<b>Итого часов</b>		<b>108</b>	<b>10</b>		<b>34</b>	<b>1</b>	<b>61</b>	

**4.2. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно- методическое обеспечение СР
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкост ь (час.)		
7	Все темы	- изучение теоретической части практических заданий; - самостоятельное решение задач по текущей теме	В начале семестра	54	Решение задач	Вся рекомендуемая литература
7	ВСЕ ТЕМЫ	Подготовка к зачёту	К концу семестра	7	Опрос	
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час)				61		

### 4.3. Содержание учебного материала

#### Содержание разделов и тем дисциплины

##### Тема 1. Двухжидкостная гидродинамика.

- 5.1. Уравнения двухжидкостной гидродинамики.
- 5.2. Обобщенный закон Ома.
- 5.3. Проводимость плазмы.
- 5.4. Диффузия плазмы.
- 5.5. Волны в двухжидкостной плазме.

##### Тема 2. Кинетическое описание плазмы.

- 6.1. Кинетическое уравнение
- 6.2. Затухание Ландау.
- 6.3. Пучковая неустойчивость.
- 6.4. Квазилинейная релаксация.
- 6.5. Циклотронный резонанс.

##### Тема 3. Нелинейные процессы в плазме.

- 7.1. Трехволновые процессы.
- 7.2. Бесстолкновительные ударные волны.
- 7.3. Турбулентность плазмы.
- 7.4. Аномальное сопротивление.

#### 4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства	Формируемые компетенции
1	2	3	4	5	6
4.	Тема 5	Решение задач на тему двухжидкостная гидродинамика	21	Контрольная работа	ПК1
5.	Тема 6	Решение задач на тему кинетическое описание плазмы	20	Контрольная работа	
6.	Тема 7	Решение задач на тему нелинейные процессы в плазме	20	Контрольная работа	

#### 4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	ИДК
1.	Двужидкостная гидродинамика	Самостоятельное решение задач по данной теме	Решить задачу	[1-3]	<i>ИДК ПК.1.1</i>
2.	Кинетическое описание плазмы	Самостоятельное решение задач по данной теме	Решить задачу	[1-3]	<i>ИДК ПК.1.1</i>
3.	Нелинейные процессы в плазме	Самостоятельное решение задач по данной теме	Решить задачу	[3,4]	<i>ИДК ПК.1.1</i>
4.	Избранные вопросы физики плазмы	Подготовка научного доклада	Сделать презентацию	Вся литература из программы курса	<i>ИДК ПК.1.1</i>
5.	ВСЕ ТЕМЫ	Подготовка к зачету	Повторить все разделы курса	Основная литература: 1 - 4	<i>ИДК ПК.1.1</i>

#### 4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

При выполнении практических заданий обращается особое внимание на выработку у студентов умения грамотно выполнять и оформлять документацию, умения пользоваться научно-технической справочной литературой. Каждый студент должен быть готов к показательному решению задачи у доски.

Текущая работа над учебными материалами включает в себя систематизацию теоретического материала, полученного на каждом практическом занятии, заполнения пропущенных мест, уточнения схем и выделения главных мыслей основного содержания работы. Для этого используются имеющиеся учебно-методические материалы и другая рекомендованная литература.

Оценка всего изученного материала осуществляется на зачете, проводимом в форме контрольной работе. Также может быть проведен опрос по всем темам курса. Преподаватель помогает разобраться с проблемными вопросами и задачами (по мере их поступления) в ходе текущих консультаций.

#### 4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)

Курсовые работы не планируются.

**V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)****а) перечень литературы***основная литература*

- 1) Голант, В. Е. Основы физики плазмы [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. Е. Голант, А. П. Жилинский, И. Е. Сахаров. - Москва : Лань, 2011. - 448 с. : ил., граф. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Режим доступа: ЭБС "Издательство "Лань". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-8114-1198-6
- 2) Рожанский, В. А. Теория плазмы [Электронный ресурс] / В. А. Рожанский. - Москва : Лань, 2012. - 320 с. - Режим доступа: ЭБС "Издательство "Лань". - Неогранич. доступ. - ISBN 978-5-8114-1233-4

*дополнительная литература*

- 1) Морозов, А.И. Введение в плазмодинамику [Текст] : научное издание / А. И. Морозов. - М. : Физматлит, 2006. - 572 с. : ил. ; 24 см. - Библиогр.: с. 562-571. - ISBN 5-9221-0681-3. - (6 экз)

*сверено с ГИБ ЧИУ Г*



б) периодические издания

- нет.

в) список авторских методических разработок

1. В системе образовательного портала ИГУ (<http://educa.isu.ru/>) размещены методические материалы и задания по данному курсу

г) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

- Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU, более 10 полнотекстовых версий научных журналов по тематике курса
- • Архив научных журналов JSTOR (<http://www.jstor.org>.)
- Архив научных журналов JSTOR (<http://www.jstor.org>.)
- ЭЧЗ «Библиотех» <https://isu.bibliotech.ru/>
- ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС «Рукопт» <http://rucont.ru>
- ЭБС «Айбукс» <http://ibooks.ru>

е) Справочная литература

- 1) Котельников, Игорь Александрович. Лекции по физике плазмы [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. 011200-Физика и по спец. 010701-Физика / И. А. Котельников. - М. : Бинوم. Лаборатория знаний, 2013. - 384 с. : ил. ; 25 см. - Библиогр. в конце глав. - Библиогр.: с. 373-381. - ISBN 978-5-9963-1158-3. – (1 экз)
- 2) Франк-Каменецкий, Д. А. Лекции по физике плазмы : учеб. пособие / Д. А. Франк-Каменецкий. - 3-е изд. - Долгопрудный : Интеллект, 2008. - 279 с. ; 22 см. - (Физтеховский учебник). - Библиогр.: с. 276. - Предм. указ.: с. 277-279. - ISBN 978-5-91559-002-0. – (1 экз)
- 3) Биттенкорт, Ж.А. Основы физики плазмы [Текст] : научное издание / Ж. А. Биттенкорт ; пер. с англ., ред. Л. М. Зеленый. - М.: Физматлит, 2009. - 583 с. – (1 экз)
- 4) Кадомцев, Б. Б. Избранные труды [Текст] : [В 2т.] / Б.Б.Кадомцев; Под ред.В.Д.Шафранова. - М. : Физматлит.
  - Т.1. - 2003. - 559 с. : портр.:ил. ; 25 см. - Библиогр.в конце ст. - ISBN 5-9221-0365-2. – (1 экз)
  - Т.2 / Ред. В.Д. Шафранов. - 2003. - 584 с. : портр ; 24 см. - Библиогр. в конце разд. - ISBN 5-9221-0430-6. – (1 экз)

## VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

### 6.1. Учебно-лабораторное оборудование:

На практических занятиях в качестве демонстрационного оборудования используется меловая доска. Наглядность обеспечивается путем изображения схем, диаграмм и формул с помощью мела. Использование глобальной компьютерной сети позволяет обеспечить доступность Интернет-ресурсов и реализовать самостоятельную работу студентов, в ходе которой они могут вычитывать научные статьи по темам курса. Также могут использоваться мультимедийные средства: проектор (CASIO XJ-A241), переносной настенный экран (Classic Solution, 244x244), ноутбук Lenovo B590. На факультете имеется компьютеризированная аудитория, предназначенная для самостоятельной работы.

Материалы: научные статьи и монографии из рецензируемых журналов, рассматривающие современные подходы и исследования в физике плазмы (в печатном и в электронном виде).

### 6.2. Программное обеспечение:

стандартные сервисы глобальной сети Интернет, стандартные средства просмотра презентаций и научных публикаций в электронном виде.

### 6.3. Технические и электронные средства:

На аудиторных занятиях могут использоваться мультимедийные средства: переносной проектор (CASIO XJ-A241), стационарный настенный экран (Classic Solution, 244x244), ноутбук Lenovo B590.

## VII. Образовательные технологии

Задачи изложения и изучения дисциплины реализуются в следующих формах деятельности:

- **практические занятия**, направленные на активизацию познавательной деятельности студентов и приобретения ими навыков решения практических и проблемных задач;
- **консультации** – еженедельно для всех желающих студентов;
- **самостоятельная внеаудиторная работа** направлена на приобретение навыков самостоятельного решения задач по дисциплине, а также на умение работать с материалом научных статей;
- **текущий контроль** за деятельностью студентов осуществляется на практических занятиях в ходе самостоятельного решения задач, в том числе у доски.

## VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации

Фонд оценочных средств (ФОС) представлен в приложении 1.

### 8.1.1. Оценочные средства для входного контроля

Для изучения данного курса студент должен знать основы физики и информатики, уметь пользоваться стандартными поисковыми сервисами сети Интернет. Входной контроль знаний не проводится.

## 8.1.2. Оценочные средства текущего контроля

Пример практического задания**ЗАДАНИЕ 1** *Характеристики плазмы***УСТНО:**

1. Понятие квазинейтральности плазмы, пространственный масштаб разделения зарядов, радиус Дебая, временной масштаб разделения зарядов.
2. Дебаевское экранирование заряда в плазме.
3. Плазменная частота, плазменные колебания.

**ПИСЬМЕННО:**

1. Полностью ионизованная плазма получена из водорода, находящегося первоначально при комнатной температуре и давлении 1 торр. Найти напряженность электрического поля  $E$  [В/см] и потенциал  $\varphi$  [В], возникающих при масштабе разделения зарядов  $x \sim 0,1$  см
2. Получить расчетную формулу для вычисления радиуса Дебая  $r_D$ . Найти  $r_D$  для типичных значений плотности и температуры плазмы газового разряда, термоядерной и космической плазмы.
3. Получить расчетную формулу для вычисления плазменной частоты  $\omega_p$ . Найти  $\omega_p$  для типичных значений плотности и температуры плазмы газового разряда, термоядерной и космической плазмы.

Примерный список устных вопросов:

1. Распределение потенциала пробного заряда в плазме.
2. Радиус Дебая. Зависимость от концентрации заряженных частиц и их температуры.
3. Плазменная частота. Ленгмюровские колебания.
4. Плазма и идеальный газ. Что общего?
5. Тепловая и кулоновская энергия плазмы.
6. Формула Саха.
7. Гирочастота и гирорадиус.
8. Что такое «конус потерь»?
9. Общее выражение для скорости дрейфового движения.
10. Приближения магнитной гидродинамики для плазмы.
11. Закон вмороженности магнитного поля.
12. Магнитное давление и натяжение силовых линий.
13. Диффузия магнитного поля.

14. Выражение для проводимости плазмы.
15. Классическая и неоклассическая диффузия в плазме.
16. Амбиполярная диффузия.
17. Условие равновесия плазмы в магнитном поле.
18. Соотношение Беннетта для пинча.
19. Альфвеновские и магнитозвуковые волны.
20. Неустойчивость Релея-Тейлора.
21. Неустойчивость Кельвина-Гельмгольца.
22. Электромагнитная волна в плазме. Метод отсечки.
23. Взаимодействие волна – частица.
24. Квазилинейная релаксация пучка в плазме.
25. Параметрическая неустойчивость.
26. Турбулентная диффузия.

### 8.1.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Итоговая оценка знаний проводится с учётом классической балльно-рейтинговой системы, рекомендуемой Минобразования РФ (Приказ МО РФ от 11.07.2002) и формируется в соответствии положением о балльно-рейтинговой системе оценки успеваемости обучающихся в ИГУ.

Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов:

№ п\п	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых контролируются
1.	Решение задач по теме «Двужидкостная гидродинамика»	Тема 1	ПК1
2.	Решение задач по теме «Кинетическое описание плазмы»	Тема 2	ПК1
3.	Решение задач по теме «Нелинейные процессы в плазме»	Тема 3	ПК1
4.	Зачет	Все темы	ПК1

#### Примерный список вопросов к экзамену:

- 1) Плазма – четвертое состояние вещества. Ионизованный газ. Квазинейтральность, экранировка заряда, дебаевский радиус. Основные характеристики плазмы. Роль магнитного поля.
- 2) Элементарные процессы в плазме. Упругие и неупругие соударения. Ионизация, возбуждение, рекомбинация и перезарядка. Формула Саха. Излучение плазмы. Фотохимия. Процессы переноса.
- 3) Движение частиц плазмы в электрических и магнитных полях Движение в однородных полях. Адиабатический инвариант. Магнитная ловушка. Электрический дрейф. Дрейф в неоднородном магнитном поле

- 4) Магнитная гидродинамика. Уравнения магнитной гидродинамики. Вмороженность плазмы. Диффузия магнитного поля. Равновесие плазмы в магнитном поле. Гидромагнитные неустойчивости. Гидромагнитные волны.
- 5) Двухжидкостная гидродинамика. Уравнения двухжидкостной гидродинамики. Обобщенный закон Ома. Проводимость плазмы. Диффузия плазмы. Электромагнитные, плазменные и ионно-звуковые волны.
- 6) Кинетическое описание плазмы. Кинетическое уравнение. Затухание Ландау. Пучковая неустойчивость. Квазилинейная релаксация. Циклотронный резонанс.
- 7) Нелинейные процессы в плазме. Трехволновые процессы. Бесстолкновительные ударные волны. Турбулентность плазмы. Аномальное сопротивление.

**Пример тестовых заданий для проверки сформированности компетенций, указанных выше п.3:**

1. *Может ли ток в плазме течь только поперек магнитного поля?*

- 1) *Не может,*
- 2) *Может, когда циклотронная частота электронов много больше частоты столкновений;*
- 3) *Может, в обратном случае;*
- 4) *Может, когда циклотронная частота электронов много больше ленгмюровской частоты*


2. *Затухание Ландау происходит в случае*

- 1) *Большой частоты столкновений электронов с ионами;*
- 2) *Положительного наклона функции распределения частиц в области резонанса с волной;*
- 3) *Отрицательного наклона функции распределения частиц в области резонанса с волной;*
- 4) *Плато на функции распределения частиц в области резонанса с волной*

3. *В солитоне*

- 1) *эффект нелинейности волны доминирует над дисперсией;*
- 2) *дисперсия доминирует над нелинейностью;*
- 3) *нелинейность в точности компенсируется дисперсией;*
- 4) *диссипативными эффектами пренебрегается*

**Разработчики:**



профессор, д.ф.-м.н.

В.Л., Паперный

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и космической физики ИГУ

« 22 » марта 2024 г.

Протокол № 8, зав. кафедрой  В.Л. Паперный

**Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.**