



**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.10 Физика 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
б) <i>периодические издания</i> .....	9
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> .....	9
6.1. Учебно-лабораторное оборудование: .....	9
6.2. Программное обеспечение: .....	9
6.3. Технические и электронные средства: .....	9
<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 «Физика плазмы» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

Курс перебрасывает мост от таких общеобразовательных предметов как механика и электродинамика к спецкурсам по физике Солнца, магнитосферы и ближнего космоса. Поэтому изучение физики плазмы является неотъемлемой частью образовательного цикла на кафедре общей и космической физики по профилю «Солнечно-земная физика».

Изучение данной дисциплины опирается на знания, полученные при изучении дисциплин: «Высшая математика», «Атомная физика», «Теоретическая физика», «Ядерная физика», «Термодинамика и статистическая физика» и «Физика солнечной системы».

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 на лекциях, но и приобрести первоначальный 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 «Физика плазмы», согласно положениям федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования при подготовке бакалавра по направлению 03.03.02 Физика, позволяет студенту приобрести следующие общепрофессиональные компетенции:

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

**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 2 зачетных единицы, 72 часа,

в том числе 45 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 18 аудиторных часов (во время выполнения практических заданий).

Форма промежуточной аттестации: зачёт с оценкой.

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

№ п/п	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			Самостоятельная работа	
					Лекции	Семинарские/практические/лабораторные занятия	Консультации		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Раздел 1. Плазма – четвертое состояние вещества.	6	10,2		4		0,2	6	Самостоятельное решение задач по данной теме
2	Раздел 2. Элементарные процессы в плазме.	6	22,4	8	6	8	0,4	8	
3	Раздел 3. Движение частиц плазмы в электрических и магнитных полях	6	14,2	4	4	4	0,2	6	
4	Раздел 4. Магнитная гидродинамика.	6	17,2	6	4	6	0,2	7	
	Контроль		8						Опрос
	Зачёт с оценкой								
	<b>Итого часов</b>		72	18	18	18	1	27	

**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	Трудоемкость (час.)		
6	Все темы	- изучение теоретической части практических заданий; - самостоятельное решение задач по текущей теме	В начале семестра	24	Решение задач	Вся рекомендуемая литература
6	ВСЕ ТЕМЫ	Подготовка к зачёту	К концу семестра	3	Опрос	
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час)				27		

### 4.3. Содержание учебного материала

#### Содержание разделов и тем дисциплины

Тема 1. Плазма – четвертое состояние вещества.

- 1.1. Ионизованный газ
- 1.2. Квазинейтральность, экранировка заряда, дебаевский радиус.
- 1.3. Основные характеристики плазмы.
- 1.4. Роль магнитного поля.

Тема 2. Элементарные процессы в плазме.

- 2.1. Упругие и неупругие соударения.
- 2.2. Ионизация, возбуждение, рекомбинация и перезарядка.
- 2.3. Формула Саха.
- 2.4. Излучение плазмы.
- 2.5. Фотохимия.

Тема 3. Движение частиц плазмы в электрических и магнитных полях

- 3.1. Движение в однородных полях.
- 3.2. Адиабатический инвариант, магнитная ловушка.
- 3.3. Электрический дрейф.
- 3.4. Дрейф в неоднородном магнитном поле.

Тема 4. Магнитная гидродинамика.

- 4.1. Уравнения магнитной гидродинамики.
- 4.2. Вмороженность плазмы.
- 4.3. Равновесие плазмы в магнитном поле.
- 4.4. Гидромагнитные неустойчивости.
- 4.5. Гидромагнитные волны.

#### 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
1.	Тема 2	Решение задач на тему движение элементарные процессы в плазме	8	Контрольная работа	ПК1
2.	Тема 3	Решение задач на тему движение частиц плазмы	4	Контрольная работа	
3.	Тема 4	Решение задач на тему магнитная гидродинамика	6	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.	Движение элементарные процессы в плазме	Самостоятельное решение задач по данной теме	Решить задачу	[1-3]	<i>ИДК ПК.1.1</i>
2.	Движение частиц плазмы	Самостоятельное решение задач по данной теме	Решить задачу	[1-3]	<i>ИДК ПК.1.1</i>
3.	Магнитная гидродинамика	Самостоятельное решение задач по данной теме	Решить задачу	[3,4]	<i>ИДК ПК.1.1</i>
	ВСЕ ТЕМЫ	Подготовка к зачёту	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.

Теоретические знания, полученные студентами на лекциях и при самостоятельном изучении курса по литературным источникам, закрепляются при выполнении практических работ.

При выполнении практических заданий и лабораторной работы 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 каждой лекции, заполнения пропущенных мест, уточнения схем и выделения главных мыслей основного содержания работы. Для этого используются имеющиеся учебно-методические материалы и другая рекомендованная литература.

Границы между разными видами самостоятельных работ достаточно размыты, а сами виды работы пересекаются. Таким образом, самостоятельной работа студентов может быть как в аудитории, так и вне ее.

Закрепление всего изученного материала осуществляется на контрольной работе. Также может быть проведен устный 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

*сверено с ЭБС ЧГУ*

*дополнительная литература*

- 1) Кудрявцев, А.А. Физика тлеющего разряда [Электронный ресурс] / А. А. Кудрявцев, Л. Д. Цендин, А. С. Смирнов. - Электрон. текстовые дан. - Москва : Лань, 2010. - 500 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ЭБС "Лань". - неогранич. доступ. - Библиогр. конце гл. - ISBN 978-5-8114-1037-8
- 2) 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)



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>

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

### **6.1. Учебно-лабораторное оборудование:**

Для проведения занятий лекционного типа 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. На лекциях могут использоваться мультимедийные средства: проектор (CASIO XJ-A241), переносной экран (Classic Solution, T195x195/1MW-LU/B), ноутбук Lenovo B590. На факультете имеется компьютеризированная аудитория, предназначенная для самостоятельной работы, с неограниченным доступом в Интернет.

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:

- **лекции**, нацеленные на получение необходимой информации, и ее использование при решении практических задач;
- **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;
- **текущий контроль** за деятельностью студентов осуществляется на лекционных и 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.

### 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

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 «Движение элементарные процессы в плазме»	Темы 1 и 2	ПК1
2.	Решение задач по теме «Движение частиц плазмы»	Тема 3	ПК1
3.	Решение задач по теме «Магнитная гидродинамика»	Тема 4	ПК1
4.	Опрос	Все темы	ПК1
5.	Зачёт с оценкой	Все темы	ПК1

#### Примерный список вопросов к зачёту:


1. Распределение потенциала пробного заряда в плазме. Радиус Дебая.
2. Плазменная частота. Ленгмюровские колебания.
3. Циклотронная частота и радиус. Критерий замагниченности плазменных компонент.
4. Общее выражение для скорости дрейфового движения. Дрейф в скрещенных полях. Дрейф в неоднородном магнитном поле.
5. Адиабатический инвариант при движении частиц в магнитном поле. Магнитная ловушка. Что такое «конус потерь»?
6. Приближение одножидкостной магнитной гидродинамики для плазмы.
7. Вмороженность магнитного поля и диффузия магнитного поля в плазму
8. Магнитное давление и критерий равновесия плазмы с магнитным полем
9. Двухжидкостная гидродинамика. Обобщенный закон Ома. Холловская проводимость.
10. Классическая диффузия в плазме. Амбиполярная диффузия.
11. Условие равновесия плазмы в магнитном поле. Соотношение Беннетта

12. Колебания и волны в плазме. Ленгмюровские колебания в холодной и теплой плазме.
13. Ионный звук.
14. Электромагнитные волны в немагнитной плазме. Отражение от плазмы. Физический смысл полного электронного содержания.
15. Бунемановская неустойчивость.

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

1. Ленгмюровские колебания в плазме это
  - 1) Электростатические колебания немагнитного электронного газа;
  - 2) Колебания электронного газа в магнитном поле;
  - 3) Низкочастотные колебания ионов;
  - 4) Колебания электронов под действием электромагнитного поля
2. Скорость дрейфа частиц в скрещенных полях
  - 1) Направлена вдоль электрического поля;
  - 2) Направлена вдоль магнитного поля;
  - 3) Направлена перпендикулярно обоим полям;
  - 4) Ее величина обратно пропорциональна величине магнитного поля
3. Амбиполярная диффузия это
  - 1) Диффузия электронов поперек магнитного поля;
  - 2) Диффузия ионов поперек магнитного поля;
  - 3) Диффузия электронов и ионов с одинаковой скоростью;
  - 4) Диффузия электронов вдоль магнитного поля

**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.**