

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**Б1.О.29 ФИЗИКА ПЛАЗМЫ**

Направление подготовки (специальность) 03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Профиль подготовки (специализация)

Форма обучения очная

Год набора 2024

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Программу составили  
Доцент, к.ф.-м.н. Финников Константин Андреевич

## 1 Цели и задачи изучения дисциплины

### 1.1 Цель преподавания дисциплины:

Ознакомление студентов со статистической, кинетической и гидродинамической теорией в приложении к задачам ионизированной среды, с основными экспериментальными методами исследования плазмы; получение студентами квалификации в использовании термодинамических и кинетических соотношений для определения свойств ионизированной среды, в формулировке моделей сплошной среды для описания динамики плазмы в различных условиях.

### 1.2 Задачи изучения дисциплины:

Задачами изучения дисциплины являются:

- усвоение студентами знаний об основных подходах к описанию ионизированной среды, о возможностях и ограничениях этих подходов;
- отработка методов вычисления термодинамических и кинетических параметров ионизированной среды;
- выработка у студентов навыков по проведению качественных оценок при решении задач теоретического и экспериментального исследования плазмы.

1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы высшего образования:

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине
ОПК-2 Способен применять современный математический аппарат при построении количественных моделей физических явлений, процессов и систем в профессиональной деятельности;	
ОПК-2.2 Применяет методы современного математического аппарата при решении задач теоретического и прикладного характера	Знает принципы и основные подходы в формулировании математических моделей плазменных процессов; математические основы методов теории возмущений и гармонического анализа. Умеет применять методы аналитического решения дифференциальных уравнений, методы гармонического анализа, тензорного анализа в решении задач физики плазмы.
ОПК-4 Способен применять основные концепции современного естествознания в междисциплинарных исследованиях;	
ОПК-4.2 Использует базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	Знает законы механики, статистической физики и электродинамики в общей формулировке и в применении к теории плазменных явлений; принципы анализа с применением теории размерностей. Умеет применять законы механики, статистической физики и электродинамики в решении задач физики плазмы; выполнять оценки с использованием характерных масштабов.

Дисциплина реализуется без применения ЭО и ДОТ

## 2 Объем дисциплины (модуля)

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад.час)	Семестр
		10
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	2 (72)	2 (72)
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	1 (36)	1 (36)
занятия лекционного типа	0,5 (18)	0,5 (18)
практические занятия	0,5 (18)	0,5 (18)
<b>Самостоятельная работа обучающихся</b>	1 (36)	1 (36)
<b>Вид промежуточной аттестации (Зачет)</b>		Зачёт

### 3 Содержание дисциплины (модуля)

№ п/п	Вид работ	Темы занятия	Объем часов	Семестр /курс	Часы в эл. формате
<b>Раздел 1. Отдельные задачи физики плазмы</b>					
1.	Лек	Основные понятия. Квазинейтральность. Дебаевское экранирование. Продольные электростатические волны.	2	10	
2.	Пр	Электромагнитная волна в бесстолкновительной плазме.	2	10	
3.	Лек	Движение заряженных частиц в электромагнитном поле	2	10	
4.	Ср	Вычисление пространственных, временных и безразмерных параметров плазмы для разных характерных случаев	4	10	
5.	Пр	Движение заряженной частицы в скрещенных электрическом и магнитном полях	2	10	
6.	Ср	Движение заряженной частицы в переменном электрическом поле	6	10	
7.	Пр	Магнитный момент заряженной частицы, движущейся в магнитном поле. Открытые плазменные ловушки. Конус потерь.	2	10	
<b>Раздел 2. Равновесная плазма</b>					
1.	Лек	Термодинамика равновесной плазмы	4	10	
2.	Пр	Расчет состава равновесной частично ионизованной плазмы	3	10	
3.	Ср	Расчет теплоемкости частично ионизованной плазмы молекулярного газа	6	10	
<b>Раздел 3. Кинетическая теория плазмы</b>					
1.	Лек	Теория столкновительных процессов	2	10	
2.	Пр	Сечение упругого столкновения заряженных частиц.	3	10	
3.	Ср	Обмен импульсом и энергией в столкновениях заряженных частиц.	6	10	
4.	Лек	Уравнение Власова. Затухание Ландау.	2	10	
5.	Ср	Коэффициенты переноса полностью ионизованной плазмы	2	10	
<b>Раздел 4. Плазмодинамика</b>					
1.	Лек	Магнитная плазмодинамика. Многожидкостное, многокомпонентное, одножидкостное приближение.	1	10	
2.	Лек	Уравнения электромагнитного поля в плазме.	1	10	
3.	Ср	Плазменные двигатели. Магнитогидродинамические генераторы	8	10	
4.	Пр	Альфеновские волны.	2	10	
5.	Пр	Отрыв температуры электронов в слабоионизованной плазме.	2	10	
<b>Раздел 5. Методы исследования плазмы. Термоядерный синтез.</b>					
1.	Лек	Методы экспериментального исследования плазмы	2	10	
2.	Пр	Ленгмюровский зонд.	2	10	
3.	Лек	Проблемы управляемого термоядерного синтеза	2	10	
4.	Ср	Инерционный термоядерный синтез	4	10	

5.	Зачёт	Зачет		10	
----	-------	-------	--	----	--

#### **4 Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

##### **4.1 Печатные и электронные издания:**

1. Сковорода А. А. Магнитные ловушки для удержания плазмы: монография. - Москва: Физматлит, 2009. - 215 с..
2. Морозов А. И. Введение в плазмодинамику:.. - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 613 с..
3. Франк-Каменецкий Д. А. Лекции по физике плазмы:[учебное пособие]. - Долгопрудный: Интеллект, 2008. - 279 с..
4. Бобылев Ю. В., Кузелев М. В. Нелинейные явления при электромагнитных взаимодействиях электронных пучков с плазмой [Электронный ресурс]:. - Москва: Физматлит, 2009. - 455 с. – Режим доступа: [http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o\\_17935?FILTER\\_ID=23@2](http://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_17935?FILTER_ID=23@2) .
5. Биттенкорт Ж. А., Зеленый Л. М., Садовский А. М. Основы физики плазмы:.. - Москва: Физматлит, 2009. - 583 с..
6. Финников К. А. Физика газового разряда [Электронный ресурс]:учебно-методическое пособие для самостоятельной работы [для студентов напр. 140700.68 «Ядерная энергетика и теплофизика», 223200.68 «Техническая физика», 222000.68 «Инноватика»]. - Красноярск: СФУ, 2013. - – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/b22/i-271852.pdf> .
7. Низкотемпературная плазма в процессах нанесения функциональных покрытий [Электронный ресурс]:. - Казань: КНИТУ, 2010. - 206 с. – Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_cid=25&pl1\\_id=13294](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=13294) .
8. Чен Ф. Ф., Шевченко В. И. Введение в физику плазмы:перевод с английского. - Москва: Мир, 1987. - 398 с..
9. Райзер Ю. П. Физика газового разряда:[монография]. - Долгопрудный: Интеллект, 2009. - 736 с..
10. Веденов А. А. Задачник по физике плазмы:.. - Москва: Атомиздат, 1981. - 1060 с..
11. Финников К. А. Физика плазмы. Термодинамика равновесной плазмы:метод. указ. для студ. спец. 070700 - "Теплофизика". - Красноярск, 2002. - 36 с..
12. Пахомов Б. И. С/С++ и Borland C++ Builder для начинающих:учеб. пособие. - Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2005. - 628 с..
13. Сиб. федерал. ун-т Прикладная механика газа и плазмы:метод. указ. для практ. работ. - Красноярск, 2007ИПК СФУ. - .
14. Голант В. Е., Жилинский А. П., Сахаров И. Е. Основы физики плазмы:учеб. пособие для студентов вузов. - Санкт-Петербург: Лань, 2011. - 447 с..
15. Охорзин В. А. Прикладная математика в системе Mathcad:учеб. пособие. - Москва: Лань, 2009. - 348 с..
16. Минаков А. В., Шебелева А. А., Шебелев А. В. Численные методы решения алгебраических и трансцендентных уравнений [Электронный ресурс]:учебно-методическое пособие [для бакалавров, напр.16.03.01 «Техническая физика»]. - Красноярск: СФУ, 2016. - – Режим доступа: <http://Lib3.sfu-kras.ru/ft/LIB2/ELIB/b22/i-825827112.pdf> .

##### **4.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства (программное обеспечение, на которое университет имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение):**

1. Mathcad 14.0 University Site Perpetual. Среда математических расчетов и моделирования Mathcad.
2. MATLAB International AcademicEdition. Пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений.

##### **4.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:**

1. Физика атомов и молекул [https://www.nsu.ru/n/physics-department/programmy/bakalavriat-2022-suos-3-dva-plyusa/4-kurs-off/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D1%85%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%8F%20%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B2%20%D0%B8%20%D0%BC%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%83%D0%BB\\_2020.pdf](https://www.nsu.ru/n/physics-department/programmy/bakalavriat-2022-suos-3-dva-plyusa/4-kurs-off/%D0%A4%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D1%85%D0%B8%D0%BC%D0%B8%D1%8F%20%D0%B0%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%BE%D0%B2%20%D0%B8%20%D0%BC%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%83%D0%BB_2020.pdf)

2. В.В. Поступаев. Физика плазмы. Конспект лекций для магистрантов ФФ НГУ <https://studfile.net/preview/6307825/#6307825>

### **5 Фонд оценочных средств**

Фонд оценочных средств является приложением к рабочей программе дисциплины (модуля), хранится на кафедре, обеспечивающей преподавание данной дисциплины (модуля).

### **6 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

учебная аудитория для проведения лекционных, семинарских и практических занятий: Специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

помещение для самостоятельной работы обучающихся: специализированная мебель, демонстрационное оборудование, АРМ преподавателя, АРМ обучающихся, подключение к сети «Интернет» и индивидуальный неограниченный доступ в ЭИОС университета

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

### **ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

По дисциплине (модулю)/ практике Б1.О.29 Физика плазмы

Направление подготовки/специальность

03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

Образовательная программа

03.05.02.30 Фундаментальная и прикладная физика

Красноярск 2024

**1. Перечень компетенций с указанием индикаторов их достижения, соотнесенных с результатами обучения по дисциплине (модулю), практики и оценочными средствами**

Семестр <sup>1</sup>	Код и содержание индикатора компетенции	Результаты обучения <sup>2</sup>	Оценочные средства <sup>3</sup>
ОПК-2: Способен применять современный математический аппарат при построении количественных моделей физических явлений, процессов и систем в профессиональной деятельности			
10	ОПК-2.2: Применяет методы современного математического аппарата при решении задач теоретического и прикладного характера	Знает принципы и основные подходы в формулировании математических моделей плазменных процессов; математические основы методов теории возмущений и гармонического анализа	Задания к темам практических занятий; Вопросы к зачету по дисциплине
		Умеет применять методы аналитического решения дифференциальных уравнений, методы гармонического анализа, тензорного анализа в решении задач физики плазмы	Задания к темам практических занятий; Вопросы к зачету по дисциплине
ОПК-4: Способен применять основные концепции современного естествознания в междисциплинарных исследованиях			
10	ОПК-4.2: Использует базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	Знает законы механики, статистической физики и электродинамики в общей формулировке и в применении к теории плазменных явлений; принципы анализа с применением теории размерностей.	Задания к темам практических занятий; Вопросы к зачету по дисциплине
		Умеет применять законы механики, статистической физики и электродинамики в решении задач физики плазмы; выполнять оценки с использованием характерных масштабов.	Задания к темам практических занятий; Вопросы к зачету по дисциплине

<sup>1</sup> Семестры указываются по порядку, для каждого индикатора

<sup>2</sup> Указываются результаты обучения по дисциплине (модулю), практике, соотнесенные с индикатором достижения компетенции.

<sup>3</sup> Указываются оценочные средства для каждого индикатора.

## 2. Типовые оценочные средства или иные материалы, с описанием шкал оценивания и методическими материалами, определяющими процедуру проведения и оценивания достижения результатов обучения

### 2.1 Оценочные средства для текущего контроля по дисциплине

№	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
1	Задания к темам практических занятий	Используются для планирования студентом выполнения заданий и подготовки доклада	Список заданий
2	Результаты решения заданий практических занятий	Используется для оценивания работы студента над заданием	Требования

#### 2.1.1 Задания к темам практических занятий

##### 1. К теме «Движение заряженной частицы в электромагнитном поле»

Запишите и решите дифференциальные уравнения, описывающие движение электрона в электромагнитном поле. Рассмотреть следующие случаи:

1. Магнитное поле однородно и постоянно, электрическое поле отсутствует.
2. Магнитное и электрическое поля однородны и постоянны, электрическое поле не параллельно магнитному.
3. Электрическое поле отсутствует, магнитное поле имеет только z-компоненту, зависящую от x. Воспользоваться дрейфовым приближением.
4. Факультативное задание. Рассмотреть движение частицы в магнитном поле одной из следующих конфигураций: поле бесконечного прямого тока; поле точечного магнитного диполя; поле открытой плазменной ловушки; поле ТОКАМАКа. Решить уравнения численно.

##### 2. К теме «Термодинамические свойства равновесной плазмы»

Используя уравнения Саха, запишите (в неявном виде) уравнение для концентрации электронов как функции температуры и давления в плазме гелия, с учетом наличия нейтральных частиц, однократных и двукратных ионов и электронов. Предложите метод решения уравнения.

1. Постройте зависимость концентраций частиц от температуры в диапазоне температур  $5\,000 - 10^5$  К при давлениях 0.1, 1, 10 бар. Объяснить характер зависимостей.

2. Напишите процедуру расчета удельной (в расчете на массу одного атома) энтальпии плазмы в соответствии со следующим выражением:

$$h = \left( \frac{5}{2} p + I_1 n_i + (I_1 + I_2) n_{ii} \right) / (n_a + n_i + n_{ii}).$$

3. Напишите процедуру расчета удельной теплоемкости при постоянном давлении, использующую численное дифференцирование удельной энтальпии по температуре. Построить зависимость теплоемкости от температуры при давлении 1 бар в диапазоне температур 5000 – 10<sup>5</sup> К.

4. Факультативное задание. Рассчитать состав плазмы, рассматривая (1-4) как систему нелинейных уравнений и используя для ее решения метод Ньютона. Кратко опишем метод Ньютона для систем уравнений. Представим систему в виде

$$\begin{cases} f_1(x_1 \dots x_N) = 0 \\ \dots \\ \dots \\ f_N(x_1 \dots x_N) = 0 \end{cases}$$

Решение ищется методом последовательных приближений. Имея данное приближение  $(x_1^k, \dots, x_N^k)$ , строим линейное приближение для левых частей уравнения:

$$\begin{cases} f_1(x_1 \dots x_N) \approx f_1(x_1^k \dots x_N^k) + \frac{\partial f_1(x_1^k \dots x_N^k)}{\partial x_1} \cdot (x_1 - x_1^k) + \dots + \frac{\partial f_1(x_1^k \dots x_N^k)}{\partial x_N} \cdot (x_N - x_N^k) \\ \dots \\ f_N(x_1 \dots x_N) \approx f_N(x_1^k \dots x_N^k) + \frac{\partial f_N(x_1^k \dots x_N^k)}{\partial x_1} \cdot (x_1 - x_1^k) + \dots + \frac{\partial f_N(x_1^k \dots x_N^k)}{\partial x_N} \cdot (x_N - x_N^k) \end{cases}$$

Заменяя левые части исходных уравнений линейными приближениями, получаем

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial f_1(x_1^k \dots x_N^k)}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_1(x_1^k \dots x_N^k)}{\partial x_N} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_N(x_1^k \dots x_N^k)}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_N(x_1^k \dots x_N^k)}{\partial x_N} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 - x_1^k \\ \dots \\ x_N - x_N^k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_1(x_1^k \dots x_N^k) \\ \dots \\ f_N(x_1^k \dots x_N^k) \end{pmatrix}$$

Обозначим разности  $x_1 - x_1^k \dots x_N - x_N^k$  как  $\Delta x_1 \dots \Delta x_N$ . Записанные выше выражения являются системой линейных уравнений для  $\Delta x_1 \dots \Delta x_N$ . Найдя  $\Delta x_1 \dots \Delta x_N$  одним из методов решения систем линейных уравнений (например,

методом Гауссова исключения), рассчитываем следующее приближение для решения нелинейной системы:

$$x_1^{k+1} = x_1^k + \Delta x_1$$

...

$$x_N^{k+1} = x_N^k + \Delta x_N$$

Алгоритм поиска решения выглядит следующим образом.

1. Задать первое приближение для  $x_1 \dots x_N$
2. Рассчитав значения функций и их частных производных для текущего приближения  $x_1^k \dots x_N^k$ , заполнить двумерный массив коэффициентов линейной системы

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial f_1(x_1^k \dots x_N^k)}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_1(x_1^k \dots x_N^k)}{\partial x_N} \\ \frac{\partial f_N(x_1^k \dots x_N^k)}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_N(x_1^k \dots x_N^k)}{\partial x_N} \end{pmatrix}$$

и одномерный массив правой части

$$\begin{pmatrix} f_1(x_1^k \dots x_N^k) \\ \dots \\ f_N(x_1^k \dots x_N^k) \end{pmatrix}$$

3. Методом Гаусса найти решение системы уравнений – величины  $\Delta x_1 \dots \Delta x_N$ .

4. Рассчитать следующее приближение  $x_1^{k+1} \dots x_N^{k+1}$

5. Оценить погрешность решения как

$$f_1^2(x_1^{k+1} \dots x_N^{k+1}) + \dots + f_N^2(x_1^{k+1} \dots x_N^{k+1}).$$

Если погрешность больше заданного значения, перейти к п. 2.

### 3. К теме «Моделирование столкновения заряженных частиц»

1. Рассмотрите взаимодействие заряженных частиц в пределе малых углов рассеяния. Выведите зависимость угла рассеяния от прицельного радиуса и дифференциальное сечение.
2. Численно решите уравнение движения частицы в поле неподвижного точечного заряда. Сравните расчетную зависимость с теоретической

$$\chi = 2 \operatorname{arctg} \left( \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \rho \mu_0^2} \right)$$

Постройте на одном графике траектории электрона, соответствующие следующим углам рассеяния: 30, 60, 90, 120, 150 градусов.

#### 4. К теме «Моделирование движения электрона в газе с учетом упругих столкновений»

1. Задать по своему выбору зависимость транспортного сечения столкновения от скорости электрона  $q(u)$ , значение концентрации и массы атомов и напряженности электрического поля. Рассчитать траекторию движения электрона в газе в течение времени, за которое произойдут: 10, 1000, 100 000 столкновений. Сравнить характерный вид траектории.

2. Построить гистограмму распределения электронов по энергии. Сравнить гистограмму с теоретическим выражением для функции распределения – распределением Давыдова:

$$f(\epsilon) = C \sqrt{\epsilon} \exp \left( - \left( \frac{n_h}{eE} \right)^2 \frac{6m_e}{m_a} \int_0^\epsilon q^2 \epsilon' d\epsilon' \right),$$

частный случай, при сечении, не зависящем от скорости электрона,

$$f(\epsilon) = C \sqrt{\epsilon} \exp \left( - \frac{3m_e}{m_a} \left( \frac{n_h q \epsilon}{eE} \right)^2 \right)$$

3. Определить среднюю энергию электрона; варьируя поле, определить ее зависимость от напряженности поля.

### **2.1.2 Методические рекомендации по выполнению заданий на практических занятиях**

Работа по темам практических занятий ведется индивидуально или группой студентов (до 3 человек) с использованием персональных компьютеров с установленной средой программирования, поддерживающей язык C++ или любой другой средой математических расчетов с возможностью программирования. В аудиторное время ведется работа по моделированию и собеседование студентов с преподавателем по освоенным темам, в рамках самостоятельной работы – подготовка к выполнению работы, оформление результатов работы и подготовка к собеседованию по теме. Текущий контроль осуществляется в форме заслушивания доклада студента или группы студентов о проделанной работе по данной теме.

### **2.1.3 Критерии оценивания заданий к практическим занятиям**

Оценивание результатов практической работы студента ведется по шкале «зачет-незачет». При получении зачета студент получает право приступать к работе по следующей теме практических занятий. При получении незачета ему необходимо дополнительно изучить теоретический материал, программный код или провести дополнительные вычисления, дооформить полученные результаты. Критерии оценки:

«Зачет»: выполнены все три пункта из нижеприведенных.

1. Студент излагает теоретические сведения, необходимые для выполнения работы.
2. Студент демонстрирует знание используемого программного кода и собственноручно сделанных в нем модификаций и добавлений, необходимых для выполнения заданий.
3. Студент демонстрирует результаты вычислений, оформленные в виде графиков и таблиц, объясняет их в рамках используемой математической модели.

«Незачет»: не выполнен один из вышеприведенных пунктов.

В ходе семестра студент должен получить «зачет» по каждой из тем практических занятий. Отсутствие зачета является основанием для недопуска к промежуточной аттестации.

## **2.2 Оценочные средства для промежуточного контроля по дисциплине**

№	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
1	Зачет	Зачет является формой проверки качества усвоения студентами учебного материала практических (семинарских) занятий.	Вопросы к зачету по дисциплине

### 2.2.1 Вопросы к зачету по дисциплине «Физика плазмы»

1. Плазма как 4-е состояние вещества. Плазменные процессы и явления в природе и технике.
2. Электропроводность плазмы: оценка с использованием времени между столкновениями электронов (частоты столкновений). Электропроводность в высокочастотном поле.
3. Поперечная электромагнитная волна в плазме. Условие возможности распространения электромагнитной волны в плазме. Ионосфера и отражение радиоволн от нее.
4. Продольные электростатические волны в плазме (ленгмюровские колебания).
5. Дебаевское экранирование.
6. Энергия взаимодействия заряда с плазмой. Критерий идеальности плазмы.
7. Движение заряженной частицы в постоянном однородном магнитном поле в отсутствие и при наличии электрического поля.
8. Дрейфовое приближение (приближение ведущего центра): движение заряженной частицы в магнитном поле, слабо меняющемся в направлении, перпендикулярном к направлению вектора индукции.
9. Удержание частиц плазмы магнитным полем: невозможность удержания частиц в поле тороидального соленоида; ТОКАМАК, стелларатор.
10. Дрейфовое приближение (приближение ведущего центра): движение заряженной частицы в магнитном поле, слабо меняющемся в направлении, параллельном вектору индукции.
11. Адиабатический инвариант движения частицы в слабонеоднородном магнитном поле.
12. Проявления адиабатического инварианта движения частицы в слабонеоднородном магнитном поле в природе и технике.
13. Равновесная плазма: соотношение между концентрациями ионов, электронов и нейтральных частиц.
14. Равновесная плазма: использование соотношения между концентрациями ионов, электронов и нейтральных частиц для определения состава плазмы.
15. Равновесная плазма: оценка температуры, при которой степень ионизации становится существенной.
16. Столкновения частиц: упругие, неупругие. Неупругость столкновения и изменение внутреннего состояния частиц. Картина упругого столкновения в системе отсчета центра масс сталкивающихся частиц.
17. Дифференциальное сечение столкновения. Полное сечение столкновения. Транспортное сечение.
18. Дифференциальное и транспортное сечение столкновения заряженных частиц. Принцип ограничения прицельного радиуса. Кулоновский логарифм.

19. Электропроводность полностью ионизованной плазмы.
20. Потери энергии электронов в упругих столкновениях с тяжелыми частицами. Оценка температуры электронов в условиях приложенного электрического поля.
21. Магнитная гидродинамика: одножидкостное приближение. Основные уравнения, область применимости.
22. Магнитогидродинамическое приближение для уравнений Максвелла. Уравнение диффузии и вмерзновенности магнитного поля.
23. Магнитогидродинамические модели плазмы в условиях 1) неравенства температур электронов и тяжелых частиц, 2) неравновесности концентраций частиц, 3) неустановившегося движения электронной компоненты.
24. Альфеновские волны. Быстрый магнитный звук.

### 2.2.2 Методические рекомендации по проведению зачета

Зачет является заключительным этапом изучения учебной дисциплины и имеет целью проверить теоретические знания обучающихся, их навыки и умения. Форма проведения зачета - устный опрос по вопросам из списка. Для проведения опроса студент случайным образом выбирает два вопроса из списка.

### 2.2.3 Критерии оценивания знаний студентов на зачете

Итоги этого вида промежуточного контроля усвоения материала «уровневой оценке» не подлежат. Оценка – зачет/незачет.

Шкала оценивания	
незачет	зачет
Студент обнаруживает существенные пробелы в знаниях основного учебного материала по дисциплине. Уровень знаний ниже минимальных требований.	Студент демонстрирует систематический характер знаний по дисциплине. При изложении материала допущено несколько несущественных погрешностей. Студент испытывает незначительные трудности в ответах на дополнительные вопросы.

Разработчик



К.А. Финников