

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

**Направление подготовки/специальность: 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика**

**Наименование образовательной программы: Термоядерные реакторы и плазменные установки**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Основы физики плазмы**

**Москва  
2022**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Моралев И.А.
	Идентификатор	R92c85401-MoralevIA-fe727cd7

(подпись)

И.А.

Моралев

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дедов А.В.
	Идентификатор	R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4

(подпись)

А.В. Дедов

(расшифровка  
подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дедов А.В.
	Идентификатор	R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4

(подпись)

А.В. Дедов

(расшифровка  
подписи)

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-5 Способен принимать участие в расчетах характеристик процессов, протекающих в конкретных технических устройствах и аппаратах энергетического оборудования, ядерных и плазменных установок

ИД-4 Владеет методами теоретического описания плазмы и навыками расчета плазменных параметров применительно к различным природным и техническим системам

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Письменная работа

1. Движение частиц в электрическом и магнитном полях (Контрольная работа)
2. Колебания и волны в плазме (Контрольная работа)
3. Столкновения. Гидродинамическое приближение (Контрольная работа)

Форма реализации: Проверка задания

1. Сдача второй части домашнего задания. Волны в плазме. Кинетическое описание плазмы (Домашнее задание)
2. Сдача первой части домашнего задания. Движение частиц во внешних полях. Гидродинамика плазмы (Домашнее задание)

## БРС дисциплины

7 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
	Срок КМ:	4	8	10	12	16
Плазма: основные понятия и характеристики. Движение частиц во внешних полях. Упругие столкновения в плазме						
Плазма: основные понятия и характеристики	+			+		
Движение частиц во внешних полях	+			+		
Упругие столкновения в плазме	+			+		
Гидродинамические модели. Коэффициенты переноса в замагниченной плазме						
Однокомпонентные модели. Магнитная гидродинамика			+	+		

Двухкомпонентные модели. Коэффициенты переноса в плазме		+	+		
Волны в плазме. Методы волновой диагностики плазмы					
Колебания и волны в плазме. Основные понятия				+	+
Волны в холодной плазме				+	+
Волны в теплой плазме				+	+
Кинетическое описание плазмы					
Кинетическая теория бесстолкновительной плазмы					+
Уравнение Больцмана					+
Пристенные явления в плазме. Зондовые методы диагностики					
Объемный заряд в плазме и теория зонда Ленгмюра					+
Вес КМ:	20	20	20	20	20

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### *I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций*

Индекс компетенции	Индикатор	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Контрольная точка
ПК-5	ИД-4ПК-5 Владеет методами теоретического описания плазмы и навыками расчета плазменных параметров применительно к различным природным и техническим системам	<p>Знать:</p> <p>механизмы распространения и затухания волн и колебаний в плазменных средах</p> <p>основные подходы к описанию плазмы и плазмодинамики</p> <p>Уметь:</p> <p>выполнять оценку параметров колебательных процессов в плазме</p> <p>оценивать параметры дрейфовых движений частиц в полевых конфигурациях установок для удержания плазмы, а также параметры релаксации частиц в столкновениях</p> <p>выполнять оценки ключевых плазменных параметров</p>	<p>Движение частиц в электрическом и магнитном полях (Контрольная работа)</p> <p>Столкновения. Гидродинамическое приближение (Контрольная работа)</p> <p>Колебания и волны в плазме (Контрольная работа)</p> <p>Сдача первой части домашнего задания. Движение частиц во внешних полях. Гидродинамика плазмы (Домашнее задание)</p> <p>Сдача второй части домашнего задания. Волны в плазме.</p> <p>Кинетическое описание плазмы (Домашнее задание)</p>

## II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

### КМ-1. Движение частиц в электрическом и магнитном полях

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменный тест

#### Краткое содержание задания:

Выбрать варианты ответов и решить задачи

#### Контрольные вопросы/задания:

Уметь: оценивать параметры дрейфовых движений частиц в полевых конфигурациях установок для удержания плазмы, а также параметры релаксации частиц в столкновениях	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Вычислить дебаевский радиус, плазменную частоту и плотность тепловой энергии плазмы в термоядерной установке, если ее плотность <math>10^{14} \text{ см}^{-3}</math>, а температура <math>2 \text{ эВ}</math>.</li><li>2. Вычислить ларморовский радиус и циклотронную частоту электрона с энергией <math>3 \text{ кэВ}</math> движущегося в однородном магнитном поле <math>0.1 \text{ Т}</math> под углом <math>45^\circ</math> к силовым линиям;</li><li>3. Вычислить скорость дрейфа ядра гелия в скрещенных электрическом (<math>E = 1000 \text{ В/М}</math>) и магнитном (<math>H = 1 \text{ Т}</math>) полях.</li><li>4. Вычислить среднюю скорость ионов дейтерия в максвелловской плазме с температурой <math>10 \text{ кэВ}</math></li><li>5. Плазма медленно сжимается магнитным полем с <math>B_1 = 1 \text{ Тл}</math> до <math>B_2 = 5 \text{ Тл}</math>. Столкновений нет. Во сколько раз вырастет полная кинетическая энергия частицы, если в начальный момент времени распределение по скоростям определяется соотношением <math>v_x = v_y = v_z</math>. (помним, что нормально полю направлены две оси свободы).</li><li>6. Нарисовать направление градиентного и центробежного дрейфа ионов в магнитном поле прямого тока (рис 1). Оценить скорость дрейфа ионов дейтерия при <math>J = 1 \text{ кА}</math>, <math>R = 0.5 \text{ м}</math>, <math>T = 1 \text{ кэВ}</math></li></ol>
--	---

#### Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 85

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: 4

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: 3

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания:

## КМ-2. Столкновения. Гидродинамическое приближение

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменная работа тест+ задачи

**Краткое содержание задания:**

Выбрать правильный ответ и решить задачи

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: основные подходы к описанию плазмы и плазмодинамики	<p>1.Проводимость полностью ионизованной плазмы зависит от плотности электронов <math>n_e</math> и температуры как?</p> <p>а) не зависит от <math>n_e</math> б)растет с температурой как <math>T^{3/2}</math> в) растет с ростом <math>n_e</math> г) падает с ростом температуры</p> <p>Времена установления равновесного распределения по температуре в электронной подсистеме и выравнивания температур ионов и электронов соотносятся как (<math>\tau_{ee}:\tau_{ei}</math>)</p> <p>а) 1:43 б)1:2000 в)1:1 г) 43:1 д) 2000:1</p> <p>Классический коэффициент диффузии плазмы поперек силовых линий магнитного поля зависит от его напряженности как</p> <p>а) <math>D \sim H^{-2}</math> б) <math>D \sim H^{-1}</math> в) <math>D \sim H</math> г) не зависит</p>
--	--

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

**КМ-3. Сдача первой части домашнего задания. Движение частиц во внешних полях. Гидродинамика плазмы**

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Домашнее задание

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Сдача задания производится лично. Студент приносит выполненное задание. Преподаватель выборочно просит объяснить задачи и выполнить более простые упражнения на оценку основных величин

**Краткое содержание задания:**

Решить все задачи задания

Вычислите плазменную частоту, дебаевский радиус, число частиц в сфере Дебая в следующих случаях:

- а) тлеющий разряд ( $n_e = 10^{16} \text{ м}^{-3}$ ,  $T_e = 1.5 \text{ эВ}$ );
- б) ионосфера Земли ( $n_e = 10^{12} \text{ м}^{-3}$ ,  $T_e = 0,1 \text{ эВ}$ );
- в)  $\theta$ -пинч ( $n_e = 10^{23} \text{ м}^{-3}$ ,  $T_e = 800 \text{ эВ}$ ).

Характерный размер возмущения электрического поля вокруг внесённого в плазму ленгмюровского зонда равен 15 мкм. Найти концентрацию электронов плазмы, если их температура  $T_e = 5 \text{ кэВ}$ .

В токамаке круглого сечения T-10 с большим радиусом  $R = 1,5 \text{ м}$  и радиусом плазмы  $a = 30 \text{ см}$  удерживается водородная плазма с концентрацией электронов  $n = 3 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$  и температурой  $T = 1 \text{ кэВ}$ . На сколько градусов можно нагреть ею стакан воды объемом 200 мл? Считать, что одна калория равна 4,186 Дж.

Вычислить равновесную степень ионизации паров ртути при  $T = 4 \text{ кК}$ ,  $n = 10^{15} \text{ см}^{-3}$ . Мультиплетность термов принять равной  $g = (2J+1)$ . Таблица уровней доступна на ([https://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/levels\\_form.html](https://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/levels_form.html)) . Потенциал ионизации ртути 10.4 эВ.

Выразить концентрацию трижды ионизованного кислорода O IV в плазме, где кислород присутствует в виде малой примеси. (указание: уравнение Саха можно применить к последовательным реакциям ионизации).

В установке термоядерного синтеза плазма нагревается посредством инъекции нейтральных атомов дейтерия с энергией 200 кэВ, которые, войдя в магнитное поле, из-за перезарядки превращаются в ионы дейтерия с атомным номером  $A = 2$  и с той же энергией. Такие ионы могут удерживаться в ловушке, только если их ларморовский радиус много меньше  $R_a$ , где  $R_a = 0,6 \text{ м}$  — меньший радиус плазменного тора. Проверьте, выполняется ли это условие, вычислив максимальный ларморовский радиус иона в магнитном поле  $B = 5 \text{ Тл}$ .

Пусть  $n_e = 10^{10} \text{ см}^{-3}$ . При какой величине магнитного поля электронная циклотронная частота сравняется с плазменной?

Вычислить ларморовский радиус и циклотронную частоту для

А) дейтона с энергией 15 КэВ, движущегося в однородном магнитном поле 0.85 Т под углом 60° к силовым линиям;



Б) электрона с энергией 10 КэВ движущегося в однородном магнитном поле 0.6 Т под углом 45° к силовым линиям

Плазма, находящаяся в зеркальной ловушке с пробочным отношением  $Rm = 9$ , имеет изотропное распределение частиц по скоростям. Столкновения отсутствуют, так что частицы, попавшие в конус потерь, сразу уходят, а не попавшие – остаются. Определить долю захваченных частиц.

Заряженный пучок электронов плотностью  $n_e = 10^{14} \text{ см}^{-3}$  и радиусом  $a = 1 \text{ см}$  движется вдоль магнитного поля 2 Тл. Найти скорость  $E \times B$  дрейфа в собственном поле пучка

Рассчитать проводимость водородной плазмы при  $T = 1 \text{ кэВ}$ ,  $n = 10^{10} \text{ см}^{-3}$

Бесстолкновительная водородная плазма удерживается в торе, внешние обмотки которого создают магнитное поле. Плазма в начальный момент максвелловская, ее температура  $T = 1 \text{ кэВ}$ . Начиная с  $t = 0$ , магнитное поле  $B$  за 100 мкс увеличивается с 1 Тл до 3 Тл, в результате чего плазма сжимается.

а) Покажите, что магнитный момент как у ионов, так и у электронов остается инвариантным.

б) Вычислите температуры распределений по полю и нормально ему после сжатия.

#### Контрольные вопросы/задания:

<p>Уметь: выполнять оценки ключевых плазменных параметров</p>	<p>1. Рассчитать проводимость полностью ионизованной водородной плазмы при <math>T = 1 \text{ кэВ}</math>                  2. Оценить дебаевский радиус и плазменную частоту для <math>T = 1 \text{ кэВ}</math> и <math>n = 10^{12} \text{ см}^{-3}</math>                  3. Оценить ларморовский радиус и ларморовскую частоту для ионов дейтерия с <math>B = 5 \text{ Тл}</math></p>
---	--

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 55*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

#### КМ-4. Колебания и волны в плазме

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** тест+ решение задач

**Краткое содержание задания:**

Выбрать правильный ответ и решить задачи

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: механизмы распространения и затухания волн и колебаний в плазменных средах	<p>1.(1 очко) Электромагнитная волна может распространяться в плазме, если её частота</p> <p>а) выше плазменной б) ниже плазменной в) выше ионной циклотронной частоты</p> <p>(1 очко) В холодной плазме в присутствии магнитного поля могут существовать следующие виды волн:</p> <p>а) альфвеновская б) ионный звук в) электромагнитная волна</p> <p>(1 очко) При распространении низкочастотных волн вдоль магнитного поля частотами отсечки являются:</p> <p>а) нижнегибридная частота б) плазменная частота в) ионная и электронная циклотронные частоты</p>
---	---

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 75*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

**КМ-5. Сдача второй части домашнего задания. Волны в плазме. Кинетическое описание плазмы**

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Домашнее задание

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Сдача задания производится лично. Студент приносит выполненное задание. Преподаватель выборочно просит объяснить задачи и выполнить более простые упражнения на оценку основных величин

**Краткое содержание задания:**

Оценить соотношение между холловским током и током проводимости в полностью ионизованной плазме водорода при  $n=10^{12} \text{ cm}^{-3}$  при температуре электронов 10 эВ в

поле 2 Тл. (указание: частоту столкновений вычислить из времени замедления электронов на ионах).

В цилиндрическом плазменном столбе в поле  $B$  концентрация распределена по закону  $n(r) = n_0 \exp(-r^2/r_0^2)$ , при этом электроны находятся в равновесии с полем:

$$n_e = n_0 \exp(e\phi/T_e)$$

$$r_0 = 1 \text{ см}$$

а) Найти скорости диамагнитного и электрического дрейфа

б) Вычислить диамагнитный ток, считая  $T_0 = 1016$ ,  $T_e = T_i = 0.25 \text{ кэВ}$ ,  $B = 0.4 \text{ Тл}$

На поверхности солнца возник протуберанец диаметром 1000 км, скорость выброса плазмы в котором составляет 500 км/с. Температура выбрасываемой плазмы  $T \sim 2 \text{ эВ}$ . На какое расстояние будут вытягиваться вместе с плазмой силовые линии магнитного поля? Плазму считать полностью ионизованной.

Перед спускаемым аппаратом в верхних слоях атмосферы образуется мощная ударная волна, температура за которой достаточна для ионизации воздуха. Формирующаяся плазма препятствует радиосвязи. Связь с кораблем осуществляется на длине волны 300 МГц. Оцените минимальную плотность плазмы.

Микроволны, которые в свободном пространстве имеют длину волны  $\lambda_0 = 1 \text{ см}$ , проходят через слой плазмы плотностью  $n_0 = 2,8 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-3}$  и толщиной 10 см, помещенный в постоянное магнитное поле  $B_0 = 1,07 \text{ Тл}$ . Вычислите число длин волн, укладывающихся внутри слоя, если:

- волновод ориентирован так, что вектор электрического поля волны  $E$  параллелен магнитному полю;
- волновод ориентирован так, что вектор  $E$  параллелен оси  $y$ .

СВЧ интерферометр используется для определения плотности плазмы в бесконечном плоском слое толщиной 10 см. Интерферометр работает на длине волны 8 мм. Рассчитайте плотность плазмы, если сдвиг составляет 1/10 интерференционной полосы. Вычислите альфвеновскую скорость в области магнитосферы, где  $B = 10^{-8} \text{ Тл}$ ,  $n = 10^8 \text{ м}^{-3}$ , а  $M = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ .

Корабль движется в атмосфере Юпитера со скоростью 100 км/с параллельно магнитному полю напряженностью  $10^{-5} \text{ Тл}$ . Если движение является сверхзвуковым, то перед кораблем образуется ионно-звуковая ударная волна. Если скорость корабля также выше Альфвеновской, то перед ним существует магнитозвуковая ударная волна. Известно, что наблюдаются ударные волны только первого типа. Найти пределы, в которых меняются плотность и температура плазмы. Считать, что верхние слои атмосферы Юпитера состоят из холодных, однократно ионизованных молекул и атомов со средней молекулярной массой 10.

В однородной плазме, помещенной в поле 0.1 Тл изучается фарадеево вращение СВЧ волн с длиной волны 8мм. Обнаружено, что при прохождении 1 м длины столба поляризация повернулась на 900. Какова плотность плазмы?

Рассчитайте частоты верхне - и нижне - гибридного резонанса для плазмы плотность  $10^{12}$  см<sup>-3</sup> в поле напряженность 2 Тл.

В плазме с  $n=10^{15}$ м<sup>-3</sup> и  $T=10$ эВ возбуждается электронная плазменная волна с длиной волны 1см. Затем источник возбуждения отключается. Оцените время бесстолкнительного затухания волны в  $e$  раз.

Плотность ионного тока насыщения, приходящего на плоский зонд  $10$  мА/см<sup>2</sup>. Вычислить плотность плазмы, если температура электронов равна 5 эВ.

### Контрольные вопросы/задания:

<p>Уметь: выполнять оценку параметров колебательных процессов в плазме</p>	<p>1.Рассчитайте частоту отсечки СВЧ излучения в плазме с концентрацией электронов <math>10^{12}</math> см<sup>-3</sup>                  2.Рассчитайте набег фазы обыкновенной волны в плазме длиной 2м с концентрацией <math>10^{12}</math> см<sup>-3</sup>, при длине волны в вакууме 5мм.                  3.Рассчитайте ионный ток насыщения на зонд при <math>10^{12}</math> см<sup>-3</sup>, <math>T_e=1</math>эВ</p>
--	---

### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 100*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 85*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

7 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

Пример билета

1. Основные понятия физики плазмы. Квазинейтральность, временной и пространственный масштабы разделения зарядов
2. Сечение кулоновских соударений
3. Вычислить ларморовский радиус и циклотронную частоту дейтона с энергией 1 КэВ, движущегося в однородном магнитном поле 0.3 Т под углом 45° к силовым линиям

Процедура проведения

Экзамен проводится в письменно-устной форме. На подготовку ответа дается 60 минут. Кроме ответа на вопросы билета, студент должен ответить на дополнительные вопросы.

*1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-4<sub>ПК-5</sub> Владеет методами теоретического описания плазмы и навыками расчета плазменных параметров применительно к различным природным и техническим системам

Вопросы, задания

- 1.1. Поле точечного заряда в плазме.
2. Проводимость плазмы в кинетическом подходе.
3. Вычислить скорость дрейфа электрона в неоднородном магнитном поле напряженностью 3 Тл, напряженность которого меняется в поперечном направлении со скоростью  $dV/du=0.01$  Тл/см. Температуру электронов принять равной 1кэВ.
  - 2.1 Движение заряженной частицы в однородном магнитном поле.
  - 2 Магнитный звук.
  - 3 Вычислить дебаевский радиус и плазменную частоту в термоядерной установке, если плотность плазмы  $10^{13}$  см<sup>-3</sup>, а её температура 10кэВ.
    - 3.1. Движение заряженной частицы в скрещенных электрическом и магнитном полях.
      2. Времена релаксации при кулоновском взаимодействии.
      3. Оценить проводимость водородной плазмы при  $T=1$ кэВ. Кулоновский логарифм принять равным 10
    4.
      1. Градиентный и центробежный дрейфы
      2. Кинетический подход в теории плазмы. Кинетическое уравнение без столкновений.
    3. Вычислить ларморовский радиус и циклотронную частоту электрона с энергией 15 кэВ движущегося в однородном магнитном поле 0.1 Т под углом 30° к силовым линиям;
      - 5.1 Одножидкостная модель плазмы, основные уравнения.
        - 2 Интеграл столкновений. Условия нормировки.
        - 3 Оценить плотность тепловой энергии плазмы в термоядерной установке, если её плотность  $10^{15}$  см<sup>-3</sup>, а температура 1 кэВ

## Материалы для проверки остаточных знаний

1. Дать определение плазмы

Ответы:

Плазма - квазинейтральная смесь нейтральных и заряженных частиц, проявляющая коллективные взаимодействия

Ионизованный газ

Энергонасыщенная среда

Плазма - квазинейтральная смесь нейтральных и заряженных частиц

Верный ответ: Плазма - квазинейтральная смесь нейтральных и заряженных частиц, проявляющая коллективные взаимодействия

2. Дать определение и критерий существования идеальной плазмы

Ответы:

1. Идеальная плазма - среда для которой применимо уравнение состояния идеального газа. Критерий идеальности - большое количество частиц в сфере Дебая
2. Идеальная плазма - среда для которой применимо уравнение состояния идеального газа. Критерий идеальности - малое количество частиц в сфере Дебая
3. Любая плазма идеальна
4. Идеальная плазма - среда для которой применимо уравнение состояния идеального газа. Критерий идеальности - малость ларморовского радиуса по сравнению с дебаевским

Верный ответ: Идеальная плазма - среда для которой применимо уравнение состояния идеального газа. Критерий идеальности - большое количество частиц в сфере Дебая

3. Каковы критерии замагниченности плазмы?

Ответы:

Ларморовский радиус больше кулоновского, частота столкновений выше плазменной частоты

Ларморовский радиус меньше характерных размеров задачи, частота столкновений меньше ларморовской частоты

Частота столкновений меньше ларморовской частоты, ларморовский радиус - любой

Частота ион-электронных столкновений выше ларморовской частоты

Верный ответ: Ларморовский радиус меньше характерных размеров задачи, частота столкновений меньше ларморовской частоты

4. Квазинейтральность в плазме соблюдается:

Ответы:

На масштабах больше дебаевского радиуса и временах больше обратной плазменной частоты

На масштабах больше ларморовского радиуса и временах больше обратной циклотронной частоты

На масштабах больше длины свободного пробега и временах больше обратной частоты соударений

На масштабах больше радиуса электронной оболочки атомов и временах больше периода обращения электрона по орбите

Верный ответ: На масштабах больше дебаевского радиуса и временах больше обратной плазменной частоты

5. Какие виды дрейфа в магнитном поле не зависят от параметров (массы и заряда) частицы

Ответы:

Дрейф в однородных скрещенных магнитном и электрическом полях

Градиентный дрейф

Центробежный дрейф

## Инерционный дрейф

Верный ответ: Дрейф в однородных скрещенных магнитном и электрическом полях  
6. Кулоновский логарифм это

Ответы:

Логарифм отношения кулоновского радиуса к дебаевскому

Логарифм отношения дебаевского радиуса к кулоновскому

Логарифм отношения ларморовского радиуса к кулоновскому

Логарифм отношения кулоновского радиуса к комптоновскому

Верный ответ: Логарифм отношения дебаевского радиуса к кулоновскому

7. Проводимость полностью ионизованной плазмы следующим образом зависит от параметров плазмы

Ответы:

Растет пропорционально концентрации электронов, не зависит от температуры

Растет с температурой как  $T^{3/2}$ , не зависит от концентрации электронов

Падает с температурой как  $T^{-3/2}$ , растет пропорционально концентрации электронов

Растет пропорционально температуре и плотности электронов

Верный ответ: Растет с температурой как  $T^{3/2}$ , не зависит от концентрации электронов

8. Классический коэффициент диффузии в плазме следующим образом зависит от магнитного поля:

Ответы:

Коэффициент диффузии больше вдоль силовых линий магнитного поля, поперек силовых линий падает как  $D \sim B^{-2}$

Коэффициент диффузии меньше вдоль силовых линий магнитного поля, поперек силовых линий падает как  $D \sim B^{-1}$

Коэффициент диффузии меньше вдоль силовых линий магнитного поля, поперек силовых линий растет как  $D \sim B^2$

Коэффициент диффузии больше вдоль силовых линий магнитного поля, поперек силовых линий растет как  $D \sim B^2$

Верный ответ: Коэффициент диффузии больше вдоль силовых линий магнитного поля, поперек силовых линий падает как  $D \sim B^{-2}$

9. Холловский ток в плазме возникает из-за

Ответы:

$E \times B$  дрейфа электронов

Столкновительного дрейфа электронов

Кулоновского взаимодействия частиц плазмы

Ларморовского вращения ионов

Верный ответ:  $E \times B$  дрейфа электронов

10. При рассмотрении движений плазмы в магнитном поле можно пренебречь её упругостью по сравнению с электромагнитными силами, если

Ответы:

Магнитное давление намного выше газового

Магнитное давление намного ниже газового

Плазма является идеальной

Сжимаемость плазмы изотропна

Верный ответ: Магнитное давление намного выше газового

11. Магнитное поле искажается движением плазмы, если

Ответы:

Магнитное число Рейнольдса велико

Магнитное число Рейнольдса мало

Длина магнитного скин-слоя много меньше размеров системы

Длина магнитного скин-слоя много больше размеров системы

Верный ответ: Магнитное число Рейнольдса велико  
Длина магнитного скин-слоя много меньше размеров системы

12. Выберите верные утверждения для электромагнитной волны в плазме в отсутствие магнитного поля

Ответы:

Волна может распространяться только при частотах выше плазменной частоты

При большой частоте скорость волны стремится к скорости света в вакууме

Фазовая скорость волны больше скорости света

Групповая скорость волны больше скорости света

Верный ответ: Волна может распространяться только при частотах выше плазменной частоты  
При большой частоте скорость волны стремится к скорости света в вакууме  
Фазовая скорость волны больше скорости света

13. Альфвеновскую и магнитозвуковую волны в плазме можно коротко описать как:

Ответы:

Колебания электронов относительно неподвижных ионов

Изгибные и продольные колебания плазмы с замороженным магнитным полем

Звуковую волну с разделением зарядов электронов и ионов

Электромагнитную волну в высокочастотном пределе

Верный ответ: Изгибные и продольные колебания плазмы с замороженным магнитным полем

14. Ионно-звуковая волна может распространяться в плазме с холодными ионами благодаря

Ответы:

Амбиполярному электрическому полю, возникающему в волне

Экранированию низкочастотных колебаний в плазме

Вмороженности магнитного поля в среду

Не может распространяться

Верный ответ: Амбиполярному электрическому полю, возникающему в волне

15. Уравнение Власова описывает

Ответы:

Эволюцию функции распределения в самосогласованном поле в отсутствие столкновений

Эволюцию функции распределения под действием столкновений

Проводимость полностью ионизованной плазмы

Верный ответ: Эволюцию функции распределения в самосогласованном поле в отсутствие столкновений

16. Приведите пример коллективного процесса в плазме

Ответы:

Альфвеновская волна

Ларморовское вращение

Столкновительный дрейф

Электронный звук

Верный ответ: Альфвеновская волна  
Электронный звук

17. Отражение и поглощение падающей на границу плазмы волны происходит при:

Ответы:

Отражение - при фазовой скорости стремящейся к бесконечности, поглощение - к нулю



Отражение- при фазовой скорости стремящейся к скорости света в вакууме, поглощение- к нулю

Отражение- при фазовой скорости стремящейся к нулю, поглощение- к скорости света

Отражение- при фазовой скорости стремящейся к нулю, отражение- к скорости света в вакууме

Верный ответ: Отражение- при фазовой скорости стремящейся к бесконечности, поглощение- к нулю

18.Плазменная частота это-

Ответы:

Частота колебаний свободных электронов относительно неподвижных ионов

Частота вращения электронов по ларморовским окружностям

Частота низкочастотных волн в замагниченной плазме

Частота колебаний плазмы как целого

Верный ответ: Частота колебаний свободных электронов относительно неподвижных ионов

19.Верхнегибридная частота для электронов в плазме в присутствии магнитного поля

Ответы:

Всегда выше плазменной частоты

Всегда ниже плазменной частоты

Всегда равна плазменной частоте

Всегда равна ларморовской частоте

Верный ответ: Всегда выше плазменной частоты

20.На глубину проникновения электромагнитной волны в плазму влияют:

Ответы:

Колебания электронов

Конечная температура электронов

Столкновения электронов с тяжелыми частицами, если это столкновение происходит с частотой сопоставимой с частотой волны

Все вышеперечисленное

Верный ответ: Все вышеперечисленное

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "продвинутого" уровня. Ответы даны верно, четко сформулированные особенности практических решений.

На вопросы программы-минимум отвечает уверенно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "базового" уровня. Большинство ответов даны верно. В части материала есть незначительные недостатки. На вопросы программы-минимум отвечает уверенно

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно. на вопросы углубленного уровня студент ответить не в состоянии. На вопросы программы-минимум отвечает удовлетворительно

### *III. Правила выставления итоговой оценки по курсу*

Оценка выставляется на основании экзамена и результатов промежуточных контрольных мероприятий.