

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

**Направление подготовки/специальность: 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика**

**Наименование образовательной программы: Прикладная физика плазмы и управляемый термоядерный синтез**

**Уровень образования: высшее образование - магистратура**

**Форма обучения: Очная**


**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Физика плазмы**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Будаев В.П.
	Идентификатор	Rd3677197-BudayevVP-5d24f851

(подпись)


В.П. Будаев

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень,  
ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Лукашевский М.В.
	Идентификатор	Re4b7e3cb-LukashevskyMV-6844ab

(подпись)


М.В.

Лукашевский

(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:

- ПК-1 Готов анализировать и моделировать технологические процессы, используемые в атомной энергетике, термоядерных исследованиях, плазменных установках
- ИД-2 Владеет способами решения физико-технических и инженерных проблем современных термоядерных установок с магнитным удержанием плазмы типа токамак как прототипов энергетического термоядерного экспериментального реактора

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. Вторая часть домашнего задания. Волны в плазме. Кинетическое описание плазмы (Домашнее задание)
2. Первая часть домашнего задания. Движение частиц во внешних полях. Гидродинамика плазмы (Домашнее задание)

## БРС дисциплины

1 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					+
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-1	ИД-2ПК-1 Владеет способами решения физико-технических и инженерных проблем современных термоядерных установок с магнитным удержанием плазмы типа токамак как прототипов энергетического термоядерного экспериментального реактора	Знать: механизмы распространения и затухания волн и колебаний в плазменных средах основные подходы к описанию плазмы и плазмодинамики Уметь: выполнять оценку параметров колебательных процессов в плазме оценивать параметры дрейфовых движений частиц в полевых конфигурациях установок для удержания плазмы, а также параметры релаксации частиц в столкновениях выполнять оценки ключевых плазменных параметров	Движение частиц в электрическом и магнитном полях (Контрольная работа) Столкновения. Гидродинамическое приближение (Контрольная работа) Колебания и волны в плазме (Контрольная работа) Первая часть домашнего задания. Движение частиц во внешних полях. Гидродинамика плазмы (Домашнее задание) Вторая часть домашнего задания. Волны в плазме. Кинетическое описание плазмы (Домашнее задание)

## 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:** Письменное выполнение задания

#### 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}</math> см<sup>-3</sup>, а температура 2 эВ.</li><li>2. Вычислить ларморовский радиус и циклотронную частоту электрона с энергией 3 кэВ движущегося в однородном магнитном поле 0.1 Т под углом 45° к силовым линиям;</li><li>3. Вычислить скорость дрейфа ядра гелия в скрещенных электрическом (<math>E = 1000</math> В/М) и магнитном (<math>H = 1</math> Т) полях.</li><li>4. Вычислить среднюю скорость ионов дейтерия в максвелловской плазме с температурой 10 кэВ</li><li>5. Плазма медленно сжимается магнитным полем с <math>B_1 = 1</math> Тл до <math>B_2 = 5</math> Тл. 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></ol>
--	---

#### 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: 70*

*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: 50*

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

## КМ-2. Столкновения. Гидродинамическое приближение

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменное выполнение задания

**Краткое содержание задания:**

Выберите правильный ответ и решите задачи

**Контрольные вопросы/задания:**

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

**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: 50*

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

## КМ-3. Колебания и волны в плазме

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Письменное выполнение задания

**Краткое содержание задания:**

Выберите правильный ответ и решите задачи

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: механизмы распространения и затухания волн и колебаний в плазменных средах</p>	<p>1. Электромагнитная волна может распространяться в плазме, если её частота  а) выше плазменной б) ниже плазменной в) выше ионной циклотронной частоты  2. В холодной плазме в присутствии магнитного поля могут существовать следующие виды волн:  а) альфвеновская б) ионный звук в) электромагнитная волна  3. При распространении низкочастотных волн <i>вдоль</i> магнитного поля частотами отсечки являются:  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: 70*

*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: 50*

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

**КМ-4. Первая часть 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:** Студент сдает выполненное задание. Преподаватель при беседе выборочно просит объяснить задачи и выполнить более простые упражнения на оценку основных величин

**Краткое содержание задания:**

Решите 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  $R = 1,5$  м и радиусом плазмы  $a = 30$  см удерживается водородная плазма с концентрацией электронов  $n = 3 \cdot 10^{13}$  см<sup>-3</sup> и температурой  $T = 1$  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  $T = 4$  кК,  $n = 10^{15}$  см<sup>-3</sup>. 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 инжекции 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  $R_a = 0,6$  м — меньший радиус плазменного тора. Проверьте, выполняется ли это условие, вычислив максимальный ларморовский радиус иона в магнитном поле  $B = 5$  Тл.

Пусть  $n_e = 10^{10}$  см<sup>-3</sup>. При какой величине магнитного поля электронная циклотронная частота сравнивается 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  $n_e = 10^{14}$  см<sup>-3</sup> и радиусом  $a = 1$  см движется вдоль магнитного поля 2 Тл. Найти скорость  $v_{\text{дрейфа}}$  дрейфа в собственном поле пучка

Рассчитать проводимость водородной плазмы при  $T = 1$  keV,  $n = 10^{10}$  см<sup>-3</sup>

Бесстолкновительная водородная плазма удерживается в торе, внешние обмотки

которого создают магнитное поле. Плазма в начальный момент максвелловская, ее температура  $T = 1$  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>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Рассчитать проводимость полностью ионизованной водородной плазмы при <math>T=1</math>кэВ</li> <li>2. Оценить дебаевский радиус и плазменную частоту для <math>T=1</math>кэВ и <math>n=10^{12}</math> см<sup>-3</sup></li> <li>3. Оценить ларморовский радиус и ларморовскую частоту для ионов дейтерия с <math>B=5</math>Тл</li> </ol>
---	--

#### 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: 50*

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

#### КМ-5. Вторая часть 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:** Студент сдает выполненное задание. Преподаватель при беседе 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  $n=10^{12}$  см<sup>-3</sup> 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:

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

$$r_0 = 1 \text{ см}$$

- 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 1000км, 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  $\lambda_0 = 1$  см, проходят через слой плазмы плотностью  $n_0 = 2,8 \cdot 10^{18}$  м<sup>-3</sup> и толщиной 10 см, помещенный в постоянное магнитное поле  $B_0 = 1,07$  Тл. Вычислите число длин волн, укладывающихся внутри слоя, если:

- а) волновод ориентирован так, что вектор электрического поля волны  $E$  параллелен магнитному полю;  
 б) волновод ориентирован так, что вектор  $E$  параллелен оси  $u$ .

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

Корабль движется в атмосфере Юпитера со скоростью 100 км/с параллельно магнитному полю напряженностью  $10^{-5}$ 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 90°. Какова плотность плазмы?

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

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

Плотность ионного тока насыщения, приходящего на плоский зонд  $10\text{ мА/см}^2$ .  
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}\text{ см}^{-3}</math>                  2. Рассчитайте набег фазы обыкновенной волны в плазме длиной 2 м с концентрацией <math>10^{12}\text{ см}^{-3}</math>, при длине волны в вакууме 5 мм.                  3. Рассчитайте ионный ток насыщения на зонд при <math>10^{12}\text{ см}^{-3}</math>, <math>T_e=1\text{эВ}</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: 80*

*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: 50*

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

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 1 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Зачет

### 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

Студент получает билет, на подготовку ответа отводится до 40 минут. Знания оцениваются при беседе с преподавателем. Кроме вопросов билета, могут быть заданы дополнительные вопросы.

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-2<sub>ПК-1</sub> Владеет способами решения физико-технических и инженерных проблем современных термоядерных установок с магнитным удержанием плазмы типа токамак как прототипов энергетического термоядерного экспериментального реактора

### 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  $dB/du=0.01$  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. 1 Градиентный и центробежный дрейфы
2. 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;
  - 4.1 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 ионизированной 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

12. 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

13. 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

14. 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

15. Приведите пример коллективного процесса в плазме

Ответы:

Альфвеновская волна  
Ларморовское вращение  
Столкновительный дрейф  
Электронный звук

Верный ответ: Альфвеновская волна Электронный звук

16. 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

17. 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

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*



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

*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

*Оценка:* 3

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа выполнена в рамках "порогового" уровня. Основная часть задания выполнена верно.

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