

**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
2025**

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

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

В.П. Будаев

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

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

А.В. Дедов

Заведующий
выпускающей кафедрой

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

А.В. Дедов

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

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Движение частиц в электрическом и магнитном полях (Контрольная работа)
- КМ-2 Столкновения. Гидродинамическое приближение (Контрольная работа)
- КМ-3 Сдача первой части домашнего задания. Движение частиц во внешних полях. Гидродинамика плазмы (Домашнее задание)
- КМ-4 Колебания и волны в плазме (Контрольная работа)
- КМ-5 Сдача второй части домашнего задания. Волны в плазме. Кинетическое описание плазмы (Домашнее задание)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %				
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4

	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	20

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	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	КМ-1 Движение частиц в электрическом и магнитном полях (Контрольная работа) КМ-2 Столкновения. Гидродинамическое приближение (Контрольная работа) КМ-3 Колебания и волны в плазме (Контрольная работа) КМ-4 Сдача первой части домашнего задания. Движение частиц во внешних полях. Гидродинамика плазмы (Домашнее задание) КМ-5 Сдача второй части 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: Письменный тест.

Краткое содержание задания:

Выбрать варианты ответов и решить задачи

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: оценивать параметры дрейфовых движений частиц в полевых конфигурациях установок для удержания плазмы, а также параметры релаксации частиц в столкновениях	1. Вычислить дебаевский радиус, плазменную частоту и плотность тепловой энергии плазмы в термоядерной установке, если ее плотность 10^{14} см^{-3}, а температура 2 эВ. 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; 3. Вычислить скорость дрейфа ядра гелия в скрещенных электрическом ($E = 1000 \text{ В/м}$) и магнитном ($H = 1 \text{ Т}$) полях. 4. Вычислить среднюю скорость ионов дейтерия в максвелловской плазме с температурой 10 кэВ 5. Плазма медленно сжимается магнитным полем с $B_1 = 1 \text{ Тл}$ до $B_2 = 5 \text{ Тл}$. Столкновений нет. Во сколько раз вырастет полная кинетическая энергия частицы, если в начальный момент времени распределение по скоростям определяется соотношением $v_x = v_y = v_z$. (помним, что нормально полю направлены две оси свободы). 6. Нарисовать направление градиентного и центробежного дрейфа ионов в магнитном поле прямого тока (рис 1). Оценить скорость дрейфа ионов дейтерия при $J = 1 \text{ кА}$, $R = 0.5 \text{ м}$, $T = 1 \text{ кэВ}$

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 85

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 50

Описание характеристики выполнения знания:

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
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 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 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 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не 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) θ -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 Т-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) . 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 $R_m = 9$, 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:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: выполнять оценки ключевых плазменных параметров	1. Рассчитать проводимость полностью ионизированной водородной плазмы при $T = 1 \text{ кэВ}$ 2. Оценить дебаевский радиус и плазменную частоту для $T = 1 \text{ кэВ}$ и $n = 10^{12} \text{ см}^{-3}$ 3. Оценить ларморовский радиус и ларморовскую частоту для ионов дейтерия с $B = 5 \text{ Тл}$

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 55

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не 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:

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

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не 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 $n=10^{12} \text{ см}^{-3}$ 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 $t_0=10^{16}$, $T_e=T_i=0.25 \text{ кэВ}$, $B=0.4 \text{ Тл}$

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 плазмы 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:

а) волновод ориентирован так, что вектор электрического поля волны E параллелен магнитному полю;

б) 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 $B = 10^{-8}$ Тл, $n = 10^8$ м⁻³, 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 8 мм. 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⁻³ в поле напряженностью 2 Тл.

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

Плотность ионного тока насыщения, приходящего на плоский зонд 10 мА/см². Вычислить плотность плазмы, если температура электронов равна 5 эВ.

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: выполнять оценку параметров колебательных процессов в плазме	1. Рассчитайте частоту отсечки СВЧ излучения в плазме с концентрацией электронов 10^{12} см ⁻³ 2. Рассчитайте набег фазы обыкновенной волны в плазме длиной 2 м с концентрацией 10^{12} см ⁻³ , при длине волны в вакууме 5 мм. 3. Рассчитайте ионный ток насыщения на зонд при 10^{12} см ⁻³ , $T_e = 1$ эВ

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 70

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не 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_{ПК-5} 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 $dB/dy = 0.01 \text{ Тл/см}$. Температуру электронов принять равной 1 кэВ.
- 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^{-3} , а её температура 10 кэВ.
- 3.1. Движение заряженной частицы в скрещенных электрическом и магнитном полях.
2. Времена релаксации при кулоновском взаимодействии.
3. Оценить проводимость водородной плазмы при $T = 1 \text{ кэВ}$. Кулоновский логарифм принять равным 10
- 4.
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;
- 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^{-3} , 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 вмороженным магнитным полем
Звуковую волну с разделением зарядов электронов и ионов
Электромагнитную волну в высокочастотном пределе

Верный ответ: Изгибные и продольные колебания плазмы с вмороженным 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 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

Оценка выставляется на основании экзамена и результатов промежуточных контрольных мероприятий.