

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:  
Декан физического факультета  
С. Н. Филимонов

Оценочные материалы по дисциплине

**Физика плазмы**

по направлению подготовки

**03.03.02 Физика**

Направленность (профиль) подготовки:  
**«Фундаментальная и прикладная физика»**

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Бакалавр**

Год приема  
**2025**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОП  
С.Н. Филимонов

Председатель УМК  
О.М. Сюсина

Томск – 2025

## **1. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

– ОПК 2 – Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные.

– ПК 1 – Способен проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 2.2 – Анализирует и интерпретирует экспериментальные и теоретические данные, полученные в ходе научного исследования, обобщает полученные результаты, формулирует научно обоснованные выводы по результатам исследования.

ИПК 1.1 - Собирает и анализирует научно-техническую информацию по теме исследования, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования.

## **2. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания**

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, опросов при проведении семинаров.

Элементы текущего контроля:

– опрос при проведении семинаров.

– контрольная работа.

Контрольная работа (ИОПК 2.2, ИПК 1.1)

Контрольная работа состоит из 2 теоретических вопросов.

Перечень вопросов (7 семестр)

1. Формула Саха для равновесной плазмы.

2. Как меняется электропроводность равновесной плазмы с ростом температуры?

3. Что такое реактивная теплопроводность?

4. Типы радиационных переходов. Какое излучение называется тормозным?

5. Изобразить качественный спектр континуума плазмы.

Перечень вопросов (8 семестр)

1. Когда можно использовать модель бесстолкновительной плазмы?

2. Что означает термин "затухание Ландау"?

3. Каков физический механизм явления "затухание Ландау"?

4. Кинетическое уравнение Больцмана.

5. Когда имеет место распределение Дривестейна?

6. При каких условиях в слабоионизованной плазме может иметь место максвелловское распределение электронов по скоростям?

Результаты контрольной работы определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка «отлично» выставляется студенту, твердо знающему материал, грамотно и по существу излагающему его, умеющему применять полученные знания на практике, способному самостоятельно принимать и обосновывать решения, оценивать их эффективность.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, твердо знающему материал, грамотно и по существу излагающему его, умеющему применять полученные знания на практике, но допускающему незначительные неточности в ответе.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, неполно или неточно формулирующему базовые понятия.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины.

### **3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания**

К зачету в 7 семестре допускаются только студенты, успешно прошедшие текущую аттестацию. Экзаменационный билет состоит из двух вопросов и 1 задачи (ИОПК 2.2, ИПК 1.1).

Перечень теоретических вопросов, выносимых на зачет в 7 семестре:

1. Понятие плазмы. Дебаевский радиус, плазменная частота, плазменный параметр.
2. Классификация видов плазмы.
3. Ионизация в равновесной плазме.
4. Излучение плазмы.
5. Движение заряженных частиц в стационарных полях.
6. Магнитная изоляция.
7. Дрейф электронов в слабоионизованном газе.
8. Дрейф заряженных частиц в неоднородном магнитном поле.
9. Кинетическое уравнение Больцмана для плазмы.
10. Бесстолкновительная плазма. Уравнения Власова.
11. Затухание волн в бесстолкновительной плазме.
12. Функция распределения электронов в слабоионизованном газе.
13. Столкновения заряженных частиц в плазме.
14. Кулоновская плазма. Проводимость полностью ионизованной плазмы.
15. Убегающие электроны.

К экзамену в 8 семестре допускаются только студенты, успешно прошедшие текущую аттестацию и выполнившие все практические задания. Экзаменационный билет состоит из двух вопросов и одной задачи (ИОПК 2.2, ИПК 1.1):

Перечень теоретических вопросов, выносимых на экзамен в 8 семестре:

1. Гидродинамическое приближение.
2. Двухжидкостная модель плазмы.
3. Диаманитный ток в плазме.
4. Плазменное приближение.
5. Одножидкостная модель плазмы.
6. Уравнение индукции и вмороженность силовых линий магнитного поля в плазме.
7. Равновесные конфигурации плазмы.
8. Плазменный шнур (пинч). Условия равновесия пинча.
9. Устойчивость границы плазмы. Желобковая неустойчивость.
10. Классическая диффузия плазмы поперек магнитного поля.
11. Неклассические виды диффузии плазмы.
12. Ленгмюровские волны в плазме.
13. Ионно-звуковые волны в плазме.
14. Верхнегибридные колебания плазмы.
15. Ионно-циклотронные колебания в плазме.
16. Прямые параллельные электромагнитные волны с круговой поляризацией.
17. Прямые перпендикулярные электромагнитные волны.
18. Магнитогидродинамические волны в плазме.
19. Отсечки и резонансы волн в плазме.

Примеры задач, выносимых на зачет и экзамен:

1. Показать, что в плоском вакуумном диоде полные давления на катоде и аноде равны. Пучок электронов полностью поглощается анодом, магнитное поле не учитывать.

2. В цилиндрической вакуумной трубе, потенциал которой относительно катода ускорителя  $\varphi(R) = U > 0$ , транспортируется в продольном *бесконечно большом магнитном поле* пучок электронов, заполняющий всю трубу с однородной плотностью заряда. Показать, что максимальный ток пучка реализуется, когда потенциал поля на оси трубы  $\varphi(0)$  равен потенциалу катода. Чему равен этот максимальный ток?

3. К длинному коаксиальному диоду с внутренним радиусом  $R_1 = 1$  см и внешним радиусом  $R_2 = 10$  см приложена разность потенциалов  $U_0 = 1$  кВ. Внутри диода на расстоянии от оси  $R_0 = \frac{1}{2}(R_1 + R_2)$  имеется точечный источник, эмитирующий отдельные электроны с нулевой начальной скоростью. Какую минимальную индукцию  $B_m$  должно иметь однородное продольное магнитное поле, чтобы электроны не попадали на электроды? Рассмотреть обе полярности прикладываемого напряжения и найти отношение  $B_m^+/B_m^-$  (знак +, если потенциал внешнего электрода  $\varphi = +U_0$ , а внутреннего  $\varphi = 0$ , знак – в противном случае).

4. В однородном магнитном поле  $B = 500$  Гс имеется один покоящийся электрон. В некоторый момент времени включается слабое ( $E_0 \ll cB$ ,  $c$  – скорость света) переменное электрическое поле  $E = E_0 \cdot \sin \omega t$ , вектор напряженности которого ортогонален вектору  $B$ . Частота переменного поля  $\omega$  точно равна циклотронной частоте электрона  $\omega = qB/m$ . Оценить максимальную величину кинетической энергии электрона, которую он наберет в этой ситуации, если  $E_0 = 10^3$  В/см.

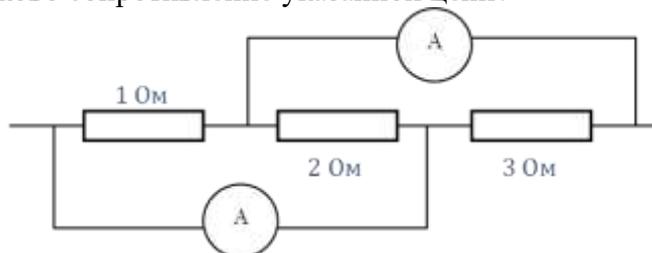
5. Вблизи заряженного до потенциала  $\varphi = -10$  мкВ металлического шара радиуса  $R = 5$  см находится электрон. Найти ускорение электрона, если расстояние от него до поверхности шара  $d = 1$  мм. Куда направлено ускорение?

6. В жидкий диэлектрик с  $\epsilon = 4$  полностью погружены две пластины плоского конденсатора, расстояние между которыми  $d = 2$  мм. На пластины подана разность потенциалов  $U = 10$  кВ. Найти избыточное давление жидкости  $P$  в пространстве между пластинами.

8. В пластмассовой пластине с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 4$  вдали от поверхности пластины имеется маленький пузырек воздуха. Пластина толщиной  $d = 1$  см служит диэлектриком в плоском конденсаторе. Найти напряженность электрического поля в пузырьке, если на обкладки конденсатора подано напряжение  $U = 50$  кВ.

7. Сферическая капля ртути радиуса  $R = 1$  мм заряжена в вакууме до потенциала  $\varphi = 10$  кВ. Чему равно давление внутри капли. Коэффициент поверхностного натяжения ртути принять равным  $\sigma = 0,46$  Дж/м<sup>2</sup>.

9. Найти показания идеальных амперметров в следующей цепи, если к ее концам приложено напряжение 12 В. Каково сопротивление указанной цепи?



10. В водородную полностью ионизованную плазму, у которой  $T_e = T_i = T$  влетает быстрая заряженная частица с энергией  $\varepsilon < mc^2$  такой, что  $V \gg V_{Te}$ . Оценить время, в течение которого энергия частицы срелаксирует до величины  $\sim T$ . Рассмотреть два случая: (i) быстрая частица является электроном, (ii) быстрая частица является протоном.

Результаты зачета в 7 семестре определяются оценками «зачтено», «не зачтено».

Оценка «зачтено» ставится, если студент твердо знает материал, грамотно излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает не критичные неточности в ответе, задача решена. Оценка «не зачтено» ставится, если студент не знает большей части основного содержания дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных положений дисциплины, задача не решена.

Результаты экзамена в 8 семестре определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценка «отлично» выставляется студенту, твердо знающему материал, грамотно и, по существу, излагающему его, умеющему применять полученные знания на практике, способному самостоятельно принимать и обосновывать решения, оценивать их эффективность, правильно решившему задачу.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, твердо знающему материал, грамотно и, по существу, излагающему его, умеющему применять полученные знания на практике, но допускающему не критичные неточности в ответе, правильно решившему задачу.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, неполно или неточно формулирующему базовые понятия, не решившему задачу.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины, не решившему задачу.

#### **4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)**

1. Теоретические вопросы:
2. Понятие плазмы.
3. Дебаевский радиус, плазменная частота, плазменный параметр.
4. Классификация видов плазмы.
5. Ионизация в равновесной плазме.
6. Излучение плазмы.
7. Движение заряженных частиц в стационарных полях.
8. Магнитная изоляция.
9. Дрейф электронов в слабоионизованном газе.
10. Дрейф заряженных частиц в неоднородном магнитном поле.
11. Кинетическое уравнение Больцмана для плазмы.
12. Бесстолкновительная плазма. Уравнения Власова.
13. Столкновения заряженных частиц в плазме.
14. Проводимость полностью ионизованной плазмы.
15. Убегающие электроны.
16. Гидродинамическое приближение.
17. Двухжидкостная модель плазмы.
18. Плазменное приближение.
19. Одножидкостная модель плазмы.
20. Равновесные конфигурации плазмы.
21. Классическая диффузия плазмы поперек магнитного поля.

22. Неклассические виды диффузии плазмы.
23. Ленгмюровские волны в плазме.
24. Ионно-звуковые волны в плазме.
25. Верхнегибридные колебания плазмы.
26. Ионно-циклотронные колебания в плазме.
27. Прямые параллельные электромагнитные волны с круговой поляризацией.
28. Прямые перпендикулярные электромагнитные волны.
29. Магнитогидродинамические волны в плазме.
30. Отсечки и резонансы волн в плазме.

Ответ на каждый вопрос должен содержать запись необходимых формул (уравнений), пояснение используемых обозначений и (при необходимости) используемой системы единиц, объяснение физического смысла написанных формул (уравнений) или (если явно указано в вопросе) объяснение сущности описываемых ими физических эффектов.

### **Информация о разработчиках**

Семенюк Наталья Степановна, физический факультет НИ ТГУ, доцент