

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»  
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет  
Кафедра аэрофизики и газовой динамики**

Согласовано, декан ФФ  
Влинов В.Е.  
подпись  
«04» \_\_\_\_\_ 2026 г.

**Рабочая программа дисциплины  
ФИЗИЧЕСКАЯ ГАЗОДИНАМИКА**

Направление подготовки: **03.04.02 Физика**

Направленность (профиль): **Физика. Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения **Очная**

| Семестр                                                                      | Общий<br>объем | Виды учебных занятий (в часах)                    |                         |                           |                                                            | Промежуточная аттестация (в часах)                            |                                                   |       |                               |         |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------|-------------------------------|---------|
|                                                                              |                | Контактная работа обучающихся<br>с преподавателем |                         |                           | Самостоятельная ра-<br>бота, не включая пе-<br>риод сессии | Самостоятельная<br>подготовка к проме-<br>жуточной аттестации | Контактная работа<br>обучающихся с преподавателем |       |                               |         |
|                                                                              |                | Лекции                                            | Практические<br>занятия | Лабораторные за-<br>нятия |                                                            |                                                               | Консультации                                      | Зачет | Дифференциро-<br>ванный зачет | Экзамен |
| 1                                                                            | 2              | 3                                                 | 4                       | 5                         | 6                                                          | 7                                                             | 8                                                 | 9     | 10                            | 11      |
| 2                                                                            | 108            | 32                                                | 22                      |                           | 32                                                         | 18                                                            | 2                                                 |       |                               | 2       |
| Всего 108 часа / 3 зачётные единицы, из них:<br>- контактная работа 58 часов |                |                                                   |                         |                           |                                                            |                                                               |                                                   |       |                               |         |
| Компетенции ПК-1                                                             |                |                                                   |                         |                           |                                                            |                                                               |                                                   |       |                               |         |

Руководитель программы  
д.ф.-м.н.



И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2026

## Содержание

|                                                                                                                                                                                                                       |   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы. ....                                                                         | 3 |
| 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы. ....                                                                                                                                                       | 3 |
| 3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу. .... | 4 |
| 4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий. ....                                                           | 4 |
| 5. Перечень учебной литературы. ....                                                                                                                                                                                  | 6 |
| 6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся. ....                                                                                                                                | 6 |
| 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....                                                                                                     | 6 |
| 8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине. ....                                                                                                   | 6 |
| 9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....                                                                                                           | 7 |
| 10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине. ....                                                                                                                | 7 |

0

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Дисциплина «Физическая газодинамика» представляет собой курс газовой динамики, включая такие разделы как газовая динамика разреженного газа, физика ионизованного газа и магнитная гидродинамика, предназначенный для обучения студентов-физиков, специализирующихся в области аэрофизики и газовой динамики.

Основной целью освоения дисциплины «Физическая газодинамика» является ознакомление студентов физического факультета с общими методами и подходами в газовой динамике разреженного газа, физике ионизованного газа и магнитной гидродинамике, включая получение практических результатов.

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося профессиональной компетенции:

| Результаты освоения образовательной программы (компетенции)                                                                                                                                                                               | Индикаторы                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Результаты обучения по дисциплине                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ПК-1</b> Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования. | <b>ПК 1.1</b> Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.<br><b>ПК 1.2</b> Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования. | <b>Знать</b> основы динамики разреженных газов, физики ионизованного газа и магнитной гидродинамики, современные методы и подходы в исследовании протекающих там процессов; теоретические основы и базовые представления научного исследования в области газовой динамики.<br><b>Уметь</b> решать типичные задачи на основе воспроизведения стандартных алгоритмов решения; использовать полученные теоретические знания при решении практических задач.<br><b>Владеть</b> основными современными методами расчета объекта научного исследования. |

Всюду, где это допускается уровнем знаний и подготовки студентов, материал лекционного курса увязывается с современными исследованиями в областях знаний, относящихся к предмету «физическая газодинамика». Рассматриваются не только теоретические аспекты, но и вопросы, относящиеся к современной технике физического эксперимента, применяемой в физической газодинамике. Специально указываются темы, активно обсуждающиеся в текущей профессиональной научной литературе. Материал курса увязан с общефизическими и математическими дисциплинами, изучаемыми студентами-физиками и, в частности, с курсом «Введение в физическую газодинамику».

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Физическая газодинамика» реализуется в весеннем семестре 1-го курса магистратуры, обучающихся по направлению подготовки **03.04.02 Физика**. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой аэрофизики и газовой динамики. Для его восприятия требуется предварительная подготовка студентов по таким

физическим дисциплинам как электродинамика, а также по математике (дифференциальное и интегральное исчисления, ряды Фурье, численные методы решения систем линейных уравнений, элементы теории групп и др.) и спецкурсам кафедры: «Введение в физическую газодинамику», «Теоретическая аэрогидромеханика 1», «Теоретическая аэрогидромеханика 2», «Динамика вязкого газа, турбулентности и струй», «Вычислительная аэрогидродинамика классика и современность-1», «Вычислительная аэрогидродинамика классика и современность-2», «Газовая динамика стационарных и нестационарных процессов». Он должен предшествовать выполнению квалификационной работы магистранта по данной специализации, т.к. дает обучающемуся необходимые знания, навыки и предоставляет инструменты для выполнения исследований в рамках подготовки его квалификационной работы.

**3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.**

Трудоёмкость дисциплины составляет: 3 зачётные единицы, 108 часов.

Форма промежуточной аттестации: 2 семестр – экзамен.

| №  |  | Вид деятельности                     | Семестр |
|----|--|--------------------------------------|---------|
|    |  |                                      | 2       |
| 1  |  | Лекции, ч                            | 32      |
| 2  |  | Практические занятия, ч              | 22      |
| 3  |  | Лабораторные занятия, ч              | -       |
| 4  |  | Занятия в контактной форме, ч из них | 58      |
| 5  |  | аудиторных занятий, ч                | 54      |
| 6  |  | в электронной форме, ч               | -       |
| 7  |  | консультаций, час.                   | 2       |
| 8  |  | промежуточная аттестация, ч          | 2       |
| 9  |  | Самостоятельная работа, час.         | 50      |
| 10 |  | Всего, ч                             | 108     |

**4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.**

Дисциплина «Физическая газодинамика» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 1-м курсе магистратуры физического факультета НГУ во 2 семестре. Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачётные единицы, 108 академических часов.

**Программа и основное содержание лекций (32 часа)**

**Раздел 1. (2 часа)**

Описание движения системы многих частиц. Функция распределения. Уравнение Больцмана.

**Раздел 2. (6 часов)**

Свойства интеграла столкновений. H-теорема Больцмана. Постановка задач для уравнения Больцмана.

**Раздел 3. (4 часа)**

Взаимодействие молекул с твердыми поверхностями. Коэффициенты аккомодации. Критерии подобия. Режимы течений: свободномолекулярный, переходной и континуальный. Уравнения сохранения. Метод Чепмена-Энскога. Вывод уравнений гидродинамики. Скольжение и температурный скачок.

#### **Раздел 5. (4 часа)**

Свободномолекулярные течения. Обтекание выпуклых и вогнутых тел. Методы Монте-Карло для моделирования течений разреженного газа.

#### **Раздел 6. (2 часа)**

Основные понятия. Классификация плазмы. Квазинейтральность и разделение зарядов.

Экранированный кулоновский потенциал. Плазма как система независимых частиц. Траектории частиц в плазме, дрейфовое приближение.

#### **Раздел 7. (4 часа)**

Столкновительные процессы в плазме. Определение сечения столкновения процесса. Полная скорость процесса. Передача энергии и импульса при упругом столкновении.

#### **Раздел 8. (6 часов)**

Плазма как сплошная среда. Определяющая система уравнений. Двух температурная плазма.

Частично ионизованный газ: уравнения движения трехкомпонентной среды. Обобщенный закон Ома. Уравнения магнитной гидродинамики.

#### **Раздел 9. (4 часа)**

Основные безразмерные критерии и их роль в задачах магнитной гидродинамики. Условия на поверхностях разрыва. Граничные и начальные условия.

### **Программа практических занятий (22 часа)**

*Занятие 1.* Моменты функции распределения, газовые макропараметры **(2 часа)**

*Занятие 2.* Столкновения в газе **(2 часа)**

*Занятие 3.* Уравнение Больцмана и уравнения сохранения **(2 часа)**

*Занятие 4.* Решение задач из задания **(2 часа)**

*Занятие 5.* Расчеты методом прямого статистического моделирования **(2 часа)**

*Занятие 6.* Основные понятия и классификация плазмы. Квазинейтральность. Неидеальность плазмы. Плазменная частота. **(2 часа)**

*Занятие 7.* Столкновительные процессы в плазме **(1 час)**

*Занятие 8.* Плазма как сплошная среда. Критерий вмерзновенности магнитного поля. Эффект магнитного динамо и магнитное поле звезд. **(4 часа)**

*Занятие 9.* Постановка начальных и граничных условий в задачах магнитной гидродинамики. Примеры. **(1 час)**

*Занятие 10.* Прием задания. **(4 часа)**

### **Самостоятельная работа студентов (50 часов)**

| Перечень занятий на СРС                                      | Объем, час |
|--------------------------------------------------------------|------------|
| Подготовка к практическим занятиям.                          | 18         |
| Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях | 14         |
| Подготовка к экзамену                                        | 18         |

## **5. Перечень учебной литературы.**

1. Д. А. Франк- Каменецкий. Лекции по физике плазмы.// М.: Атомиздат, 1964 (50 экз.)
2. А. Г. Куликовский. Магнитная гидродинамика. // М.: ФМ, 1962. (26 экз.)
3. Л. А. Арцимович, Р. З. Сагдеев. Физика плазмы для физиков.// М.: Атомиздат, 1979. (18 экз.)
4. Коган М.Н. Динамика разреженного газа. //М.:Наука, 1967. (3 экз.)
5. Берд Г. Молекулярная газовая динамика. //М.:Мир, 1981. (3 экз.)

## **6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.**

1. Коган М.Н. Динамика разреженного газа. //М.:Наука, 1967.
2. Берд Г. Молекулярная газовая динамика. //М.:Мир, 1981.
3. Д. А. Франк- Каменецкий. Лекции по физике плазмы// М.: Атомиздат, 1964
4. М. Митчнер, Ч. Кругер. Частично ионизованные газы// М.: Мир, 1976  
<http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>
5. А. Б. Ватажин, Г. А. Любимов, С.А. Регирер. Магнитогидродинамические течения в каналах // М.:Наука., 1970. <http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>
6. А. Г. Куликовский, Г. А. Любимов. Магнитная гидродинамика // М.: ФМ, 1962.
7. Б.М. Смирнов. Физика слабоионизованного газа в задачах с решениями //М.: Наука, 1978. <http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>
8. А.Е. Калихман Элементы магнитной газодинамики // М.: Атомиздат, 1964  
<http://ns.itam.nsc.ru/lib/ecatalog/>

## **7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.**

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

### **7.1 Современные профессиональные базы данных**

Не используется

### **7.2. Информационные справочные системы**

Не используются.

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

## **9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Для реализации дисциплины «Физическая газодинамика» используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, консультаций, текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.
2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

## **10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.**

### **10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине**

#### ***Текущий контроль***

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем опроса в начале каждой лекции по материалам предыдущей лекции, а также путем опросов на усвоение материала текущей лекции и решения типовых задач по теме текущей лекции. Студентам необходимо решить задачи, содержащиеся в задании.

#### ***Промежуточная аттестация***

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания в области физической газодинамики в профессиональной деятельности.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

## Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

| Индикатор                                                                                                                                                                                                            | Результат обучения по дисциплине                                                                                                                                                                                                                                           | Оценочные средства     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <b>ПК 1.1</b> Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования. | <b>Знать</b> основы динамики разреженных газов, физики ионизованного газа и магнитной гидродинамики, современные методы и подходы в исследовании протекающих там процессов; теоретические основы и базовые представления научного исследования в области газовой динамики. | Решение задач, экзамен |
| <b>ПК 1.2</b> Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.                     | <b>Уметь</b> решать типичные задачи на основе воспроизведения стандартных алгоритмов решения; использовать полученные теоретические знания при решении практических задач.<br><b>Владеть</b> основными современными методами расчета объекта научного исследования.        | Решение задач, экзамен |

### 10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Физическая газодинамика».

Таблица 10.2

| Критерии оценивания результатов обучения                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Шкала оценивания |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| <b>Экзамен:</b><br>– самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала,<br>– точность и корректность применения терминов и понятий,<br>– наличие исчерпывающих ответов на дополнительные вопросы.<br>При изложении ответа на вопрос(ы) преподавателя обучающийся мог допустить непринципиальные неточности. | <i>Отлично</i>   |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| <p><b>Экзамен:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала,</li> <li>– точность и корректность применения терминов и понятий при наличии незначительных ошибок,</li> <li>– наличие полных ответов на дополнительные вопросы с возможным присутствием ошибок.</li> </ul>                                     | <i>Хорошо</i>              |
| <p><b>Экзамен:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– самостоятельность и осмысленность в изложении материала, наличие ошибок в логике и аргументации, а также затруднений при формулировке собственных суждений,</li> <li>– корректность применения терминов и понятий, с множественными ошибками,</li> <li>– наличие неполных и/или содержащих существенные ошибки ответов на дополнительные вопросы.</li> </ul> | <i>Удовлетворительно</i>   |
| <p><b>Экзамен:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– отсутствие осмысленности, структурированности, логичности и аргументированности в изложении материала,</li> <li>– грубые ошибки в применении терминов и понятий,</li> <li>– отсутствие ответов на дополнительные вопросы.</li> </ul>                                                                                                                         | <i>Неудовлетворительно</i> |

### 10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

#### Примеры заданий

1. Получить выражение дрейфовой скорости заряженной частицы, находящейся в взаимно-перпендикулярных магнитном и гравитационном полях. Определить величину полного тока.
2. Плоский конденсатор, напряженность электрического поля внутри которого равна  $E$ , лежит на поверхности земли. Во сколько раз скорость электрического дрейфа больше скорости гравитационного дрейфа.
3. Определить радиус Дебая в полностью ионизованной плазме в неравновесном случае  $T_e \neq T_i$
4. В плазму проникает однородное электрическое поле напряженностью  $E_0$ . Определить, как оно будет экранироваться плазмой.
5. Оценить область параметров водородной плазмы, при которых можно пренебречь конвективным током  $\rho_e v$  по сравнению с током проводимости.
6. На примере, рассмотренном в лекции 7, оценить при каких значениях магнитной индукции. Для полностью ионизованной плазмы холловский ток сравним с током проводимости.
7. Между двумя коаксиальными цилиндрами с радиусами  $r_1$  и  $r_2$ , разность потенциалов между которыми равна  $\varphi$ , находится проводящий газ. Вдоль оси системы приложено магнитное поле с

индукцией  $B$ . Вычислить угловую скорость  $v_g(r)$  вращения среды. Вязким трением пренебречь.

8. Типичные температура и давление продуктов сгорания (с добавкой легко ионизируемой добавкой КОН) МГД-генератора составляют  $T=2600\text{ K}$  и  $p=100\text{ кПа}$ , содержатся следующие химические вещества:

| Вещество             | Мольная доля | Среднее сечение,<br>$10^{-21}\text{ м}^2$ |
|----------------------|--------------|-------------------------------------------|
| $\text{N}_2$         | 0,36         | 13                                        |
| $\text{H}_2\text{O}$ | 0,32         | 55                                        |
| $\text{CO}_2$        | 0,16         | 13                                        |
| $\text{CO}$          | 0,08         | 10                                        |
| $\text{K}$           | 0,003        | 560                                       |
| Прочие               | 0,077        | 10                                        |

Плотность электронов составляет  $8 \cdot 10^{13}\text{ см}^{-3}$ , индукция магнитного поля  $B=2,7\text{ T}$ .

Вычислить:

1. дебаевский радиус экранирования
2. полную среднюю частоту столкновений для электронов
3. среднюю длину свободного пробега электронов
4. параметр Холла
5. коэффициент проскальзывания ионов, сечение столкновения ионов калия с частицами продуктов сгорания принять равным  $10^{-14}\text{ см}^2$

### Вопросы к экзамену:

1. Классификация плазмы. Квазинейтральность и разделение зарядов.
2. Экранированный кулоновский потенциал.
3. Траектории частиц в плазме, циклотронная частота, условие адиабатичности.
4. Качественно рассмотреть дрейфовое движение.
5. Постановка граничных условий для электромагнитного поля в задачах магнитной гидродинамики.
6. Электрический дрейф.
7. Дрейф в неоднородном магнитном поле
8. Поляризационный дрейф.
9. Столкновительные процессы в плазме: вероятность упругого рассеяния, скорость процесса.
10. Столкновительные процессы в плазме: холловский ток и проскальзывание ионов.
11. Постановка начальных условий для электромагнитного поля в задачах магнитной гидродинамики.
12. Гравитационный дрейф.

- 
1. Получить уравнение индукции магнитного поля в случае наличия однородного внешнего поля, зависящего от времени ( $B_0=B_0(t)$ )
  2. Оценить толщину скин-слоя в случае медленно меняющихся внешних полей.
  3. Стационарный однородный поток слабоионизованной плазмы движется в плоском короткозамкнутом МГД-канале с постоянной скоростью  $u$  в поперечном магнитном поле  $B$ . Оценить возникающую разность температур  $T_e-T_i$ .
  4. Найти распределение потенциала вблизи постоянного и неподвижного заряда в плазме, состоящих из электронов с температурой  $T_e$  и ионов двух сортов: с зарядовыми числами

- $Z_1$  и  $Z_2$  и температурой  $T$ . Сравнить величины дебаевского радиуса для случаев одинаковых температур и одинаковых зарядовых чисел.
5. Определить критерий замагниченности для плазмы, заключенной в цилиндр с диаметром  $D$ .
  6. В трубе постоянного сечения имеется стационарный поток плазмы. Перпендикулярно потоку приложено магнитное поле  $B=1$  Вб/м<sup>2</sup>, градиент давления, обусловленный вязкостью, составляет 100 кПа/м. Какой должна быть плотность тока для поддержания постоянного потока в трубе? Поток считать одномерным и адиабатическим, индуцированным магнитным полем пренебречь.
  7. В плоском канале под действием постоянного градиента давления течет вязкая проводящая жидкость. Перпендикулярно потоку и параллельно стенкам наложено однородное магнитное поле. Найти профиль скорости в канале.
  8. Определить критерий вмороженности магнитного поля.
  9. Ускорение плазмы происходит в рельсотроне, запитанном от батареи конденсаторов с емкостью  $C$ , с начальным напряжением заряда  $U$ . Оценить величину максимально достижимой скорости  $u$ . Изначально канал квадратного сечения со стороной  $a$  заполнен газом с молекулярной массой  $\mu$ .
  10. Во взаимно перпендикулярных электрическом и магнитном полях протон делает  $10^3$  оборотов при прохождении 1 см пути в направлении, перпендикулярном обоим полям. Найти магнитную индукцию, если напряженность электрического поля равна 10/см.
  11. В результате электрического пробоя в газе образовался токовый шнур. Определить величину равновесного радиуса шнура. Известны ток и давления в шнуре и окружающем газе.
  12. Между коаксиальными цилиндрами с радиусами  $r_1$  и  $r_2$  находится проводящий газ. Разность потенциалов между цилиндрами  $U$ . Вдоль оси цилиндров приложено магнитное поле  $B$ . Вычислить угловую скорость вращения среды. Вязкостью пренебречь.

### Пример экзаменационного билета

1. Столкновительные процессы в плазме: вероятность упругого рассеяния, скорость процесса.
2. Стационарный однородный поток слабоионизованной плазмы движется в плоском короткозамкнутом МГД-канале с постоянной скоростью  $u$  в поперечном магнитном поле  $B$ . Оценить возникающую разность температур  $T_e - T$ .

**Форма экзаменационного билета представлена на рисунке**

Оценочные материалы по промежуточной аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.