

**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**



УТВЕРЖДАЮ
Декан ФФ, д.ф.-м.н.
В.Е.Блинов
2022 г.

**Рабочая программа дисциплины
ФИЗИЧЕСКАЯ ГАЗОДИНАМИКА**

направление подготовки: **03.04.02 Физика**
направленность (профиль): **Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения
Очная

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный 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: - контактная работа 58 часов										
Компетенции ПК-1										

Руководитель программы
д.ф.-м.н.

И. Б. Логашенко

Новосибирск, 2022

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.	5
5. Перечень учебной литературы.	7
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	7
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	7
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	7
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	8
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.	8

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
ПК-1 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.	ПК 1.1 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. ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Знать 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. Уметь решать типичные задачи на основе воспроизведения стандартных алгоритмов решения; использовать полученные теоретические знания при решении практических задач. Владеть 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. Трудоемкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к промежуточной аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный 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: - контактная работа 58 часов										
Компетенции ПК-1										

Реализация дисциплины предусматривает практическую подготовку при проведении следующих видов занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью: лекции, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

- текущий контроль успеваемости: задания для самостоятельного решения;
- промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоемкость рабочей программы дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 32 часа;
- практические занятия – 22 часа;
- самостоятельная работа обучающегося в течение семестра, не включая период сессии – 32 часа;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультации и экзамен) – 22 часа.

Объем контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 58 часов.

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.

№ п/п	Раздел дисциплины	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоёмкость (в часах)				Промежуточная аттестация (в часах)
			Всего	Аудиторные часы		Сам. работа во время занятий (не включая период сессии)	
				Лекции	Практические занятия		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Описание движения системы многих частиц	1	6	2	2	2	
2	Постановка задач для уравнения Больцмана, методы решения	2-4	14	6	2	6	
3	Взаимодействие молекул с твердыми поверхностями	5-6	10	4	2	4	
4	Самостоятельная работа, решение задачи из задания	7	6		2	4	
5	Течения разреженного газа. Свободномолекулярные течения.	8-9	10	4	2	4	
6	Основные понятия и классификация плазмы.	10	6	2	2	2	
7	Столкновительные процессы в плазме	11	6	4	1	1	
8	Плазма как сплошная среда.	12-13	14	6	4	4	
9	Постановка начальных и граничных условий в задачах магнитной гидродинамики	14-15	6	4	1	1	
10	Прием задания 2	16	8		4	4	
11	Самостоятельная работа в период подготовки к промежуточной аттестации		18				18
12	Консультация в период промежуточной аттестации		2				2
13	Экзамен		2				2
	Всего		108	32	22	32	22

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
ПК 1.1 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.	Знать 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
ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Уметь решать типичные задачи на основе воспроизведения стандартных алгоритмов решения; использовать полученные теоретические знания при решении практических задач. Владеть 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	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Уровень освоения компетенции			
		Не сформирован (0 баллов)	Пороговый уровень (3 балла)	Базовый уровень (4 балла)	Продвинутый уровень (5 баллов)
1	2	3	4	5	6
Полнота знаний	ПК1.1	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имеют место грубые ошибки.	Демонстрирует общие знания базовых понятий по темам/разделам дисциплины. Допускается значительное количество негрубых ошибок.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Допускается несколько негрубых/несущественных ошибок. Не отвечает на дополнительные вопросы.	Уровень знаний соответствует программе подготовки по темам/разделам дисциплины. Свободно и аргументированно отвечает на дополнительные вопросы.

Наличие умений	ПК1.2	Отсутствие минимальных умений. Не умеет решать стандартные задачи. Имеют место грубые ошибки.	Продемонстрированы частично основные умения. Решены типовые задачи. Допущены негрубые ошибки.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками или с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задания в полном объеме без недочетов и ошибок.
Наличие навыков (владение опытом)	ПК 1.2	Отсутствие владения материалом по темам/разделам дисциплины. Нет навыков в решении стандартных задач. Наличие грубых ошибок.	Имеется минимальный набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.	Имеется базовый набор навыков при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. Продемонстрированы знания по решению нестандартных задач.

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

Примеры заданий

- Получить выражение дрейфовой скорости заряженной частицы, находящейся в взаимно-перпендикулярных магнитном и гравитационном полях. Определить величину полного тока.
- Плоский конденсатор, напряженность электрического поля внутри которого равна E , лежит на поверхности земли. Во сколько раз скорость электрического дрейфа больше скорости гравитационного дрейфа.
- Определить радиус Дебая в полностью ионизованной плазме в неравновесном случае $T_e \neq T_i$
- В плазму проникает однородное электрическое поле напряженностью E_0 . Определить, как оно будет экранироваться плазмой.
- Оценить область параметров водородной плазмы, при которых можно пренебречь конвективным током $\rho_e v$ по сравнению с током проводимости.
- На примере, рассмотренном в лекции 7, оценить при каких значениях магнитной индукции. Для полностью ионизованной плазмы холловский ток сравним с током проводимости.
- Между двумя коаксиальными цилиндрами с радиусами r_1 и r_2 , разность потенциалов между которыми равна φ , находится проводящий газ. Вдоль оси системы приложено магнитное поле с индукцией B . Вычислить угловую скорость $v_g(r)$ вращения среды. Вязким трением пренебречь.
- Типичные температура и давление продуктов сгорания (с добавкой легко ионизируемой добавкой КОН) МГД-генератора составляют $T=2600 \text{ К}$ и $p=100 \text{ кПа}$, содержатся следующие химические вещества:

Вещество	Мольная доля	Среднее сечение, 10^{-21} м^2
N_2	0,36	13
H_2O	0,32	55
CO_2	0,16	13
CO	0,08	10
K	0,003	560
Прочие	0,077	10

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

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} 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_i . Сравнить величины дебаевского радиуса для случаев одинаковых температур и одинаковых зарядовых чисел.
 5. Определить критерий замагничности для плазмы, заключенной в цилиндр с диаметром D .
 6. В трубе постоянного сечения имеется стационарный поток плазмы. Перпендикулярно потоку приложено магнитное поле $B=1 \text{ Вб/м}^2$, 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 замороженности 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 μ .
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 $10/\text{см}$.
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.

**Лист актуализации рабочей программы по дисциплине
«Физическая газодинамика»
по направлению подготовки 03.04.02 Физика
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Учёного совета ФФ НГУ	Подпись ответственного