

**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 физики сплошных сред**



**Рабочая программа дисциплины  
ИЗБРАННЫЕ ГЛАВЫ ВЗРЫВНОЙ МАГНИТНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ**

направление подготовки: **03.03.02 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
7	72	20	14		16	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 38 часов										
Компетенции ПК-1										

Ответственный за образовательную программу д.ф.-м.н., проф.

Цыбуля С. В.

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

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

Дисциплина «Избранные главы взрывной магнитной гидродинамики» имеет своей целью формирование у студентов представления об основах гидро и газодинамических течений в сильных электрических и магнитных полях. Знакомство с методами преобразования энергии взрыва в энергию электрических и магнитных полей, в том числе, с рекордной плотностью энергии. Важной задачей лекционного курса и практических занятий является знакомство обучающихся с базовыми моделями описания течений при интенсивном взаимодействии с электрическими и магнитными полями. Рассматриваются задачи преобразования энергии взрыва в электромагнитный импульс, магнитной кумуляции, конструирования импульсных источников энергии и возникающие при этом проблемы неустойчивости кумуляционных течений. Курс также знакомит с электрофизикой продуктов детонации и рядом практических приложений по использованию взрыва для коммутации больших электрических токов, представление о которых необходимо для освоения основ физических курсов, читаемых на кафедре физики сплошных сред

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<b>ПК-1</b> Способность использовать специализированные знания в области физики при построении теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования	<p><b>ПК 1.1</b> Применяет специализированные знания в области физики при воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.</p> <p><b>ПК 1.2</b> Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области.</p> <p><b>ПК 1.3</b> Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.</p>	<p><b>Знать</b> основные уравнения и законы гидро и газодинамических течений в сильных электрических и магнитных полях, основные законы теории электрофизики продуктов детонации.</p> <p><b>Уметь</b> применять их для решения задач взрывной магнитной гидродинамики, делать количественные оценки электрофизических параметров продуктов взрыва.</p> <p><b>Владеть</b> методами экспериментального измерения электропроводности продуктов детонации, конструирования импульсных источников энергии и борьбы с возникающими неустойчивостями кумуляционных течений.</p>

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина «Избранные главы взрывной магнитной гидродинамики» реализуется в осеннем семестре 4-го курса для бакалавров, обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 Физика. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализу-

емых кафедрой физики сплошных сред. Общая трудоёмкость дисциплины составляет 2 зачётных единицы, 72 академических часа.

Для успешного освоения курса «Избранные главы взрывной магнитной гидродинамики» студенты должны обладать предварительными знаниями основ механики, термодинамики, физики сплошных сред, теории детонации конденсированных взрывчатых веществ, математического и функционального анализа, дифференциальных уравнений, векторного и тензорного анализа.

### 3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем

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
5	72	20	14		16	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётные единицы, из них: - контактная работа 38 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, самостоятельная работа студента, консультации, экзамен.

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля:

Текущий контроль успеваемости: контрольные вопросы на знание материала предыдущей лекции, самостоятельное выполнение месячных заданий.

Промежуточная аттестация: экзамен.

Общая трудоёмкость рабочей программы дисциплины составляет 2 зачетные единицы.

- занятия лекционного типа – 20 часов;
- практические занятия – 14 часов;
- самостоятельная работа в течение семестра, не включая период сессии – 16 часов;
- промежуточная аттестация (подготовка к сдаче экзамена, консультации и экзамен) – 22 часа;

Объём контактной работы обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа, практические занятия, групповые консультации, экзамен) составляет 38 часов.

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

Дисциплина «Экспериментальные методы исследования» представляет собой полугодовой курс, читаемый на 3-ем курсе физического факультета НГУ в осеннем семестре. Общая трудоёмкость дисциплины составляет 2 зачётные единицы, 72 академических часа.

№ 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	Практиче- ские занятия		
1.	Основные законы магнитной гидродинамики. Взрывные генераторы. Общая характеристика.	1	2	2	0		
2.	Рассеяние энергии и нелинейная диффузия в системах с импульсными магнитными полями. Давление магнитного поля и связанные с ним эффекты.	2	2	2	0	2	
3.	Сжатие магнитного потока.	3	6	2	2	2	
4.	Магнитокумулятивные генераторы.	4-5	6	2	2	2	
5.	Взрывные МГД-генераторы.	6-7	6	2	2	2	
6.	Электрофизика продуктов детонации и приложения	8-9	4	2	2		
7.	Электропроводность продуктов детонации.	10-11	6	2	2	2	
8.	Проводимость продуктов детонации в сильных электрических полях.	12-13	6	2	2	2	
9.	Электрическая прочность продуктов детонации.	14-15	6	2	2	2	
10.	Коммутация и формирование импульсов тока заданной формы.	16	4	2		2	
11.	Групповая консультация		2				2
12.	Самостоятельная подготовка обучающегося к экзамену		18				18
13.	Экзамен		2				2
<b>Всего</b>			<b>72</b>	<b>20</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>22</b>

### Программа и основное содержание лекций (20 часов)

#### Основные законы магнитной гидродинамики. Взрывные генераторы (2 часа)

Уравнения механики сплошной среды с учетом электромагнитных сил. Уравнения индукции. Диффузия магнитного поля в вещество. Магнитная вязкость. "Вмороженность" магнитного поля. Подобие магнитодинамических процессов. Физический смысл критериев подобия. Взрывные генераторы. Общая характеристика. Удельные характеристики конденсаторов, индуктивных накопителей, аккумуляторов. Энергетические соотношения в линейных импульсных МГД системах. Проблемы переключения. Передача энергии с помощью взрывающихся фольг. Взрывные коммутаторы.

## **Рассеяние энергии и нелинейная диффузия в системах с импульсными магнитными полями. Давление магнитного поля и связанные с ним эффекты (2 часа)**

Нагрев проводника в случае постоянной электропроводности. Влияние теплопроводности. Нелинейная магнитная диффузия. Критическое магнитное поле. Зависимость электропроводности от температуры, давления. Давление магнитного поля. Удержание магнитных полей. Движение плоского проводящего листа под действием давления магнитного поля. Альфвеновская скорость. Тепловое ограничение скорости для тонких листов. Эффект разрушения поверхности в случае толстых проводников. Электродинамическое ускорение твердых тел. Направленный внутрь взрыв цилиндрической оболочки. Геометрия Z - сжатия, Q- сжатия.

### **Сжатие магнитного потока (2 часа)**

Сжатие магнитного потока в цилиндрической геометрии. Динамика схлопывания. Радиус в точке поворота. Сжатие магнитного поля реальными проводниками. Учет конечной электропроводности и сжимаемости проводника. Оценка максимально достижимых магнитных полей. Взаимодействие магнитного поля с поверхностью металла. Нестабильность Релея-Тейлора.

### **Магнитокумулятивные генераторы (2 часа)**

Ускорение лайнера взрывом. Плоские, коаксиальные, спиральные, дисковые генераторы. Потери магнитного потока в генераторах. Магнитокумулятивные генераторы с трансформаторным выводом энергии. Взрывные МГД-генераторы с газообразным рабочим телом. Применение взрывных генераторов в экспериментах по изэнтропическому сжатию веществ, в экспериментах по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, в экспериментах по ускорению макрочастиц.

### **Электрофизика продуктов детонации и приложения (2 часа)**

Задачи, стимулирующие интерес к свойствам продуктов детонации. Детонационные явления. Коммутация тока. Высокий уровень мощностей. Характерные величины. Некоторые методы получения больших мощностей. Электрофизические свойства продуктов детонации.

### **Влияние реальных свойств вещества на эффекты струйной кумуляции (2 часа)**

Влияние реальных свойств вещества на эффекты струйной кумуляции. Аномальное удлинение материала в кумулятивной струе, влияние сжимаемости вещества на процессы образования струи и проникания её в преграду.

### **Электропроводность продуктов детонации (2 часа)**

Интегральные и дифференциальные методы измерения электропроводности продуктов детонации. Влияние распределения электропроводности. Электрические цепи питания и регистрации. Распределение электропроводности за фронтом детонации во взрывчатых веществах типа тэна, гексогена. Влияние диаметра заряда и начальной плотности. Равновесная и неравновесная электропроводность. Влияние на электропроводность инертных добавок. Аномальное поведение проводимости в тротиле. Смеси тротила с другими взрывчатыми веществами и с инертными добавками.

## **Проводимость продуктов детонации в сильных электрических полях (2 часа)**

Природа электропроводности. Оценка характерных величин. Термическая ионизация, роль высоких давлений. Хемоионизация. Гипотеза ионной проводимости. Электрические сигналы на разнородных электродах в продуктах детонации и в потоках низкотемпературной плазмы. Несостоятельность гипотезы ионной проводимости. Гипотеза электронной проводимости и ее непротиворечивость экспериментальным данным. Электропроводность тротила.

## **Электрическая прочность продуктов детонации (2 часа)**

Электрический пробой. Закономерности электрического пробоя газов. Электрическая прочность и вольт-секундные характеристики. Специфика электрического пробоя продуктов детонации. Вольт-секундная характеристика промежутка, заполненного разлетающимися продуктами детонации. Электрическая прочность продуктов вблизи фронта детонации. Электрическая прочность сильно расширившихся продуктов детонации. Влияние добавок на электрическую прочность. Статическая электрическая прочность продуктов взрыва. Условие пробоя плотных газов. Электропроводность и электрическая прочность продуктов детонации.

## **Коммутация и формирование импульсов тока заданной формы (2 часа)**

Взрывчатые вещества в классической схеме коммутации. Коммутация и формирование импульсов тока заданной формы зоной проводимости за детонационным фронтом. Предельные возможности. Коммутация тока кумулятивными элементами. Коммутация при ударном сжатии электрической дуги. Ударное сжатие плазмы электрической дуги продуктами детонации. Характер изменения потерь из плазмы при ударном сжатии.

### **♦ План практических занятий (14 часов)**

1. Неустойчивость контактной поверхности при падении на нее ударной волны. (2 часа)
2. Распад ударносжатой плазмы дуги. (2 часа)
3. Увеличение плотности тока и распад дуги при косом падении ударной волны на контактную поверхность. (2 часа)
4. Распад плазмы дуги при ударном сжатии в дисперсных средах. Коммутация тока увеличивающейся индуктивностью. (2 часа)
5. Движение плазмы под действием продуктов детонации. Ускорение плазмы магнитным полем. (4 часа)
6. Гидродинамические и магнитогиродинамические неустойчивости плазмы. (2 часа)

### **Самостоятельная работа студентов (34 часов)**

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Самостоятельное решение заданий	16
Подготовка к экзамену	18

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

### **5.1. Основная литература**

1. Швецов Г.А. Взрывная магнитная гидродинамика. Учебное пособие, НГУ, Новосибирск, 1982.

## **5.2. Дополнительная литература**

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М., 1992.
2. Куликовский Л.Г., Любимов Г.А. Магнитная гидродинамика. М., Физматгиз, 1962.
3. Кнопфель Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля. М., Мир, 1972.
4. Физика высоких плотностей энергии. Под ред. П. Кальдиरोлы и Г. Кнопфеля. М., Мир, 1974.

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

Швецов Г.А. Взрывная магнитная гидродинамика. Учебное пособие, НГУ, Новосибирск, 1982.

## **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 используются

### **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 используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных 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.

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются следующие наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий:

- комплект лекций-презентаций по темам дисциплины.



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: опрос в начале каждой лекции по материалам предыдущей лекции и проверка заданий для самостоятельного решения.

#### *Промежуточная аттестация*

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. По итогам завершения курса проводится экзамен 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 воспроизведении учебного материала с требуемой степенью научной точности и полноты.	<b>Знать</b> основные уравнения и законы гидро и газодинамических течений в сильных электрических и магнитных полях, основные законы теории электрофизики продуктов детонации.	Проведение опроса, экзамен.
<b>ПК 1.2</b> Использует специализированные знания при проведении научных изысканий в избранной области	<b>Уметь</b> применять их для решения задач взрывной магнитной гидродинамики, делать количественные оценки электрофизических параметров продуктов взрыва.	Проведение опроса, экзамен.
<b>ПК 1.3</b> Выбирает наиболее эффективные методы построения теоретических моделей физических явлений и процессов в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	<b>Владеть</b> методами экспериментального измерения электропроводности продуктов детонации, конструирования импульсных источников энергии и борьбы с возникающими неустойчивостями турбулентных течений.	Проведение опроса, экзамен.

## 10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Избранные главы взрывной магнитной гидродинамики».

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	ПК 1.1	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	ПК 1.2	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 задания 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 1.3	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 Задания для самостоятельного решения

### Задание 1

(сдать с 18 по 23 октября или раньше)

1. Вычислить интегралы тока, соответствующие твердому, жидкому и парообразному состояниям для серебра, свинца, железа и бериллия.
2. Рассчитать параметры коммутатора на основе электрически взрываемого проводника из алюминия, железа и серебра в цепи индуктивного накопителя ( $W_0 = 10^6$  Дж,  $J_0 = 10^5$  и  $10^6$  А).
3. Оцените, насколько тормозится струя водородной плазмы, проходящая между наконечниками магнита с полем напряженности 1 кГс при длине наконечников 1 м ( $V_0 = 100$  м/с,  $T = 3 \cdot 10^4$  К).

## Задание 2

(сдать с 16 по 21 декабря или раньше)

1. Вычислить предельную скорость тонкого бериллиевого проводника, ускоряемого в рельсотронном ускорителе с питанием от конденсаторной батареи.
2. Найти соотношение между кинетической энергией ускоряемого в рельсотроне тела и омическими потерями в цепи.
3. С учетом конечной электропроводности лайнера рассчитать параметры устройства для получения магнитного поля 25 Гс. Оценить минимальный радиус  $r_{md}$

### Список вопросов, выносимых на экзамен

1. Основные законы магнитной гидродинамики.
2. Уравнения механики сплошной среды с учетом электромагнитных сил. Уравнения индукции.
3. Диффузия магнитного поля в вещество.
4. Магнитная вязкость. "Вмороженность" магнитного поля.
5. Подобие магнитодинамических процессов. Физический смысл критериев подобия.
6. Взрывные генераторы. Общая характеристика.
7. Удельные характеристики конденсаторов, индуктивных накопителей, аккумуляторов.
8. Энергетические соотношения в линейных импульсных МГД системах.
9. Нелинейная магнитная диффузия. Критическое магнитное поле.
10. Давление магнитного поля. Удержание магнитных полей.
11. Движение плоского проводящего листа под действием давления магнитного поля.
12. Альфвеновская скорость. Тепловое ограничение скорости для тонких листов.
13. Сжатие магнитного потока в цилиндрической геометрии.
14. Нестабильность Релея-Тейлора.
15. Магнитокумулятивные генераторы.

- 
1. Неустойчивость контактной поверхности при падении на нее ударной волны.
  2. Гидродинамические и магнитогидродинамические неустойчивости плазмы.
  3. Коммутация при ударном сжатии электрической дуги.
  4. Электрическая прочность продуктов вблизи фронта детонации.
  5. Электрический пробой. Закономерности электрического пробоя газов.
  6. Гипотеза электронной проводимости.
  7. Проводимость продуктов детонации в сильных электрических полях.
  8. Распределение электропроводности за фронтом детонации во взрывчатых веществах типа тэна, гексогена.
  9. Интегральные и дифференциальные методы измерения электропроводности продуктов детонации.
  10. Электропроводность продуктов детонации.
  11. Приближенное уравнение состояния для области слабых ударных волн.
  12. Нестабильность Релея-Тейлора.

### Пример билета:

1. Нелинейная магнитная диффузия. Критическое магнитное поле.
2. Коммутация при ударном сжатии электрической дуги.

Форма билета к экзамену представлена на рисунке

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»  
(Новосибирский государственный университет, НГУ)**

**Физический факультет**

**БИЛЕТ № \_\_\_\_\_**

1. ....
2. ....

Составитель \_\_\_\_\_ /Ф.И.О. преподавателя/  
(подпись)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

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 «Избранные главы взрывной магнитной гидродинамики»  
по направлению подготовки 03.03.02 Физика  
Профиль «Общая и фундаментальная физика»**

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