

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
электроники, фотоники и  
молекулярной физики**

**В.В. Иванов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Физика газового разряда
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физической и химической механики
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: Ю.П. Райзер, доктор наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры физической и химической механики 29.05.2020

## Аннотация

Курс "Физика газового разряда" предусматривает изучение основ физики ионизированного высокотемпературного газа.

Задачи курса:

- освоение студентами базовых знаний в области физики ионизированного высокотемпературного газа (ИБГ);
- приобретение теоретических знаний в области изучения свойств и процессов в ИБГ;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований в области ИБГ.

Основное содержание курса изложено в следующих разделах:

1. Важнейшие предельные случаи: слабое поглощение, скин-слой, полное отражение. Плазменная частота.
2. Высокочастотные проводимость и диэлектрическая проницаемость плазмы. Природа тока смещения. Взаимодействие электромагнитных волн с плазмой.
3. Движение и энергия электронов в осциллирующих по-лях. Свободные и дрейфовые колебания.
4. Искровой разряд. Лидерный механизм длинной искры и молнии.
5. Катодный слой и положительный столб тлеющего разряда. Дуговой разряд.
6. Кинетическое уравнение для функции распределения электронов в слабо ионизированном газе. Точные выражения для плотности электронов, плотности тока, по-движности, проводимости, частоты ионизации. Двучлен-ное приближение. Диффузия вдоль энергетической оси. Упругие и неупругие потери энергии. Распределения Максвелла и Дрювестейна. Полный поток как сумма дрейфового и диффузионного.
7. Молния. Ее природа, поражающее действие, принципы защиты.
8. Общие понятия о стримере. Стример как волна ионизации.
9. Распространение электромагнитных волн в плазме. Ком-плексная диэлектрическая проницаемость.
10. Таунсендовский пробой промежутка и зажигание разряда. Кривая Пашена. Вольт-амперная характеристика. Нагрузочная прямая.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- изучение основ физики ионизированного высокотемпературного газа.

### Задачи дисциплины

- освоение студентами базовых знаний в области физики ионизированного высокотемпературного газа (ИБГ);
- приобретение теоретических знаний в области изучения свойств и процессов в ИБГ;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований в области ИБГ.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики

предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;  
порядки численных величин, характерные для различных разделов физики;  
современные проблемы физики, химии, математики.

уметь:

абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;  
пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;  
делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;  
производить численные оценки по порядку величины;  
делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;  
видеть в технических задачах физическое содержание;  
осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;  
получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности;  
работать на современном, в том числе и уникальном экспериментальном оборудовании;  
эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

навыками освоения большого объема информации;  
культурой постановки и моделирования физических задач;  
навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;  
практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;  
навыками теоретического анализа реальных задач, связанных с физикой газового разряда.

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

#### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Плазменная частота.	1	1		4
2	Высокочастотные проводимость и диэлектрическая проницаемость плазмы.	1	1		4
3	Движение и энергия электронов в осциллирующих полях.	1	1		4
4	Искровой разряд.	2	1		4
5	Тлеющий и дуговой разряды.	2	1		5

6	Кинетическое уравнение для функции распределения электронов в слабо ионизированном газе.	4	4		2
7	Молния.	1	2		2
8	Стример.	1	1		3
9	Электромагнитные волны в плазме.	1	1		1
10	Таунсендовский пробой промежутка и зажигание разряда.	1	2		1
Итого часов		15	15		30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

#### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 8 (Весенний)

##### 1. Плазменная частота.

Важнейшие предельные случаи: слабое поглощение, скин-слой, полное отражение. Плазменная частота.

##### 2. Высокочастотные проводимость и диэлектрическая проницаемость плазмы.

Высокочастотные проводимость и диэлектрическая проницаемость плазмы. Природа тока смещения. Взаимодействие электромагнитных волн с плазмой.

##### 3. Движение и энергия электронов в осциллирующих полях.

Свободные и дрейфовые колебания.

##### 4. Искровой разряд.

Искровой разряд. Лидерный механизм длинной искры и молнии.

##### 5. Тлеющий и дуговой разряды.

Катодный слой и положительный столб тлеющего разряда. Дуговой разряд.

##### 6. Кинетическое уравнение для функции распределения электронов в слабо ионизированном газе.

Кинетическое уравнение для функции распределения электронов в слабо ионизированном газе. Точные выражения для плотности электронов, плотности тока, подвижности, проводимости, частоты ионизации. Двучленное приближение. Диффузия вдоль энергетической оси. Упругие и неупругие потери энергии. Распределения Максвелла и Дрювестейна. Полный поток как сумма дрейфового и диффузионного.

##### 7. Молния.

Молния. Ее природа, поражающее действие, принципы защиты.

##### 8. Стример.

Общие понятия о стримере. Стример как волна ионизации.

## 9. Электромагнитные волны в плазме.

Распространение электромагнитных волн в плазме. Комплексная диэлектрическая проницаемость.

## 10. Таунсендовский пробой промежутка и зажигание разряда.

Таунсендовский пробой промежутка и зажигание разряда. Кривая Пашена. Вольтамперная характеристика. Нагрузочная прямая.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Ю.П. Райзер Физика газового разряда, 3-е изд. переработанное и дополненное Долгопрудный, Интеллект 2009
2. Э.М. Базелян и Ю.П. Райзер, Физика молнии и молниезащиты, М.Наука Физматлит, 2001

### Дополнительная литература

1. А. Энгель Ионизованные газы, пер. с англ. М. Физматгиз 1959
2. Э.М. Базелян и Ю.П. Райзер, Механизм притяжения молнии и проблема лазерного управления молнией, Успехи физических наук, т.170, с.753, 2000

## 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

## 8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

не предусмотрены.

## 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра физической и химической механики
<b>курс:</b>	<u>4</u>
<b>квалификация:</b>	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 8 (весенний) - Экзамен	
<b>Разработчик:</b>	Ю.П. Райзер, доктор наук, профессор

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Физика газового разряда» обучающийся должен:

### знать:

фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;  
порядки численных величин, характерные для различных разделов физики;  
современные проблемы физики, химии, математики.

### уметь:

абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;  
пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;  
делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;  
производить численные оценки по порядку величины;  
делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;  
видеть в технических задачах физическое содержание;  
осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;  
получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности;  
работать на современном, в том числе и уникальном экспериментальном оборудовании;  
эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

### владеть:

навыками освоения большого объема информации;  
культурой постановки и моделирования физических задач;  
навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;  
практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;  
навыками теоретического анализа реальных задач, связанных с физикой газового разряда.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлой лекции или в конце занятия по пройденной теме.

## 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы для подготовки к экзамену:



1. Таунсендовский пробой промежутка и зажигание разряда. Кривая Пашена. Вольт-амперная характеристика. Нагрузочная прямая.
2. Катодный слой и положительный столб тлеющего разряда. Дуговой разряд.
3. Движение и энергия электронов в осциллирующих полях. Свободные и дрейфовые колебания.
4. Высокочастотные проводимость и диэлектрическая проницаемость плазмы. Природа тока смещения. Взаимодействие электромагнитных волн с плазмой.
5. Распространение электромагнитных волн в плазме. Комплексная диэлектрическая проницаемость.
6. Важнейшие предельные случаи: слабое поглощение, скин-слой, полное отражение. Плазменная частота.
7. Кинетическое уравнение для функции распределения электронов в слабо ионизированном газе. Точные выражения для плотности электронов, плотности тока, подвижности, проводимости, частоты ионизации. Двучленное приближение. Диффузия вдоль энергетической оси. Упругие и неупругие потери энергии. Распределения Максвелла и Дрювестейна. Полный поток как сумма дрейфового и диффузионного.
8. Общие понятия о стримере. Стример как волна ионизации.
9. Искровой разряд. Лидерный механизм длинной искры и молнии.
10. Молния. Ее природа, поражающее действие, принципы защиты.

Примеры экзаменационных билетов.

Пример 1.

1. Таунсендовский пробой промежутка и зажигание разряда. Кривая Пашена. Вольт-амперная характеристика. Нагрузочная прямая.
2. Катодный слой и положительный столб тлеющего разряда. Дуговой разряд.

Пример 2.

1. Кинетическое уравнение для функции распределения электронов в слабо ионизированном газе. Точные выражения для плотности электронов, плотности тока, подвижности, проводимости, частоты ионизации. Двучленное приближение. Диффузия вдоль энергетической оси. Упругие и неупругие потери энергии. Распределения Максвелла и Дрювестейна. Полный поток как сумма дрейфового и диффузионного.
2. Общие понятия о стримере. Стример как волна ионизации

#### Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать одного астрономического часа.