

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета В.А. Небольсин  
«16 августа» 2017 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины  
«Физика плазмы»

Направление подготовки 16.03.01 ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Профиль Физическая электроника

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2017

Автор программы  /Стогней О.В./

Заведующий кафедрой  
Физики твердого тела  /Калинин Ю.Е./

Руководитель ОПОП  /Калинин Ю.Е./

Воронеж 2017

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1.1. Цели дисциплины

Формирование широких, систематических физических представлений об основных явлениях в плазме, способах описания ансамбля заряженных частиц и их взаимодействия с электромагнитными полями для использования этих знаний при решении различных задач, возникающих в области электронной техники.

### 1.2. Задачи освоения дисциплины

- виды плазмы и ее характеристики;
- физические процессы в плазме, определяющие ее свойства;
- влияние электромагнитных полей на плазменные процессы;
- основные параметры плазмы;
- виды газовых разрядов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Физика плазмы» относится к дисциплинам вариативной части (дисциплина по выбору) блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Физика плазмы» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-1 - способностью использовать фундаментальные законы природы и основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности

ПК-6 - готовностью составить план заданного руководителем научного исследования, разработать адекватную модель изучаемого объекта и определить область ее применимости

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-1	Знать: основы физики газового разряда; физические процессы, происходящие в газоразрядной среде.
	Уметь: прогнозировать поведение плазмы при изменении внешних макроскопических параметров плазменного разряда.
	Владеть: навыками выбора вида плазменного процесса для получения покрытий заданного типа
ПК-6	Знать: виды газовых разрядов; условия возникновения газовых разрядов различного вида.
	Уметь: применять знания о газовом разряде для осаждения тонких пленок; выбирать тип газового разряда в зависимости от вида и типа пленки, формируемой напылением.
	Владеть: информацией о предельных возможностях лучевых и плазменных технологий.

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Физика плазмы» составляет 5 з.е.  
Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий  
**очная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		5
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	54	54
В том числе:		
Лекции	36	36
Практические занятия (ПЗ)	18	18
<b>Самостоятельная работа</b>	81	81
Часы на контроль	45	45
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость: академические часы зач.ед.	180 5	180 5

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий**  
**очная форма обучения**

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	СРС	Всего, час
1	Основные понятия и свойства плазмы	Образование плазмы, ее основные свойства Дебаевский радиус, дебаевский слой Идеальность плазмы Элементарные процессы в плазме. Упругие соударения. Неупругие процессы	6	2	12	20
2	Стабильность плазмы	Равновесия в плазме Неравновесность плазменных систем Процессы релаксации в плазме Процессы переноса в плазме Диэлектрическая проницаемость плазмы	9	4	21	34
3	Плазма в магнитном поле	Одночастичное рассмотрение Движение в постоянном и однородном магнитном поле Движение в сильном медленно меняющемся поле Дрейфовое приближение Движение частицы в однородном магнитном поле под действием постоянной силы Дрейф заряженных частиц вдоль плоскости скачка магнитного поля Важнейшие типы дрейфовых движений частиц в плазме Адиабатические инварианты	12	8	27	47
4	Газовый разряд	Электрический ток в газах Теория электронных лавин Тлеющий разряд Дуговые разряды Искровой и коронный, ВЧ и СВЧ разряды Магнетронный разряд Плазменно-пучковый разряд.....	9	4	21	34
<b>Итого</b>			<b>36</b>	<b>18</b>	<b>81</b>	<b>135</b>

## 5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

**7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания**

### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ОПК-1	Знать: основы физики газового разряда; физические процессы, происходящие в газоразрядной среде.	Активная работа на лекциях и практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь: прогнозировать поведение плазмы при изменении внешних макроскопических параметров плазменного разряда.	Активная работа на лекциях и практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть: навыками выбора вида плазменного процесса для получения покрытий заданного типа	Написание коллоквиумов, прохождение тестов.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-6	Знать: виды газовых разрядов; условия возникновения газовых разрядов различного вида.	Активная работа на лекциях и практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь: применять знания о газовом разряде для осаждения тонких пленок; выбирать тип газового разряда в зависимости от вида и типа пленки, формируемой	Активная работа на лекциях и практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	напылением.			
	Владеть: информацией о предельных возможностях лучевых и плазменных технологий.	Написание коллоквиумов, прохождение тестов.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 5 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ОПК-1	Знать: основы физики газового разряда; физические процессы, происходящие в газоразрядной среде.	Тест	Выполнение задания на 90-100%	Выполнение задания на 80-90%	Выполнение задания на 70-80%	В задании менее 70% правильных ответов
	Уметь: прогнозировать поведение плазмы при изменении внешних макроскопических параметров плазменного разряда.	Тест, коллоквиум	Выполнение задания на 90-100%	Выполнение задания на 80-90%	Выполнение задания на 70-80%	В задании менее 70% правильных ответов
	Владеть: навыками выбора вида плазменного процесса для получения покрытий заданного типа	Тест, коллоквиум	Выполнение задания на 90-100%	Выполнение задания на 80-90%	Выполнение задания на 70-80%	В задании менее 70% правильных ответов
ПК-6	Знать: виды газовых разрядов; условия возникновения газовых разрядов различного вида.	Тест	Выполнение задания на 90-100%	Выполнение задания на 80-90%	Выполнение задания на 70-80%	В задании менее 70% правильных ответов
	Уметь: применять знания о газовом разряде для осаждения тонких пленок; выбирать тип газового разряда в зависимости от вида и типа пленки, формируемой напылением.	Тест, коллоквиум	Выполнение задания на 90-100%	Выполнение задания на 80-90%	Выполнение задания на 70-80%	В задании менее 70% правильных ответов
	Владеть: информацией о предельных возможностях лучевых и плазменных технологий.	Тест, коллоквиум	Выполнение задания на 90-100%	Выполнение задания на 80-90%	Выполнение задания на 70-80%	В задании менее 70% правильных ответов

**7.2 Примерный перечень оценочных средств ( типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)**

**7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию**

**1. В чём заключается отличие свойств плазмы от свойств обычного газа?**

- взаимодействие частиц в обычном газе значительно более интенсивное по сравнению с частицами, находящимися в плазме;
- взаимодействие частиц плазмы между собой определяется кулоновскими силами, а в обычном газе необходим физический контакт частиц;
- в отличие от обычного газа в плазме частицы не могут взаимодействовать друг с другом.

**2. Влияют ли магнитные и электрические поля на частицы, находящиеся в плазме и в обычном газе?**

- нет, на свободные частицы поля не влияют;
- да, влияют независимо от типа газовой среды;
- влияют только на частицы в плазме;
- влияют только на частицы в обычном газе.

**3. Что такое идеальная плазма?**

- плазма, в которой средняя потенциальная энергия взаимодействия частиц гораздо меньше средней кинетической энергии;
- плазма, в которой возможно существование «самостоятельного тлеющего разряда»;
- плазма, формирующаяся в среде инертного одноатомного газа (например, аргона).

**4. Что понимается под «термодинамически равновесной» плазмой?**

- концентрации ионов, электронов и нейтральных атомов постоянны, скорости прямых и обратных реакций равны между собой, нет передачи энергии между компонентами плазмы;
- плазма, для поддержания которой не требуется внешний источник энергии (высоковольтное напряжение);
- плазма, в которой концентрация электронов и ионов одинакова.

**5. В том случае, когда на плазму начинает действовать магнитное поле, под действием силы Лоренца частицы, в свою очередь, начинают:**

- прямолинейно ускоряться;
- двигаться по спирали;
- тормозиться (снижать свою скорость до нуля в течение времени релаксации);
- движение частиц не меняется.

**6. На плазму действуют взаимно перпендикулярные электрическое и магнитное поле. Будет ли скорость электрического дрейфа для**

### **электронов и ионов различаться?**

- нет, она будет одинакова;
- конечно, электроны более легкие, поэтому их скорость дрейфа будет выше;
- да, масса ионов выше, чем у электронов, поэтому они сильнее будут ускоряться в электрическом поле и их скорость будет выше.

### **7. Как зависит средняя длина свободного пробега частиц плазмы от концентрации (частиц)?**

- линейно пропорциональна;
- обратно пропорциональна;
- не зависит от концентрации, поскольку определяется напряженностью электрического поля.

### **8. При анализе проводимости плазмы, на которую не действует магнитное поле, необходимо учитывать:**

- только движение электронов;
- только движение ионов;
- необходимо учитывать оба типа частиц (и электроны и ионы).

### **9. В том случае, когда плазма используется для распыления твердых веществ (распыления мишени), что понимается под «коэффициентом распыления»?**

- интервал времени, в течение которого распыляется моноатомный слой с поверхности мишени;
- число атомов, выбитых с единичной площади поверхности мишени за единицу времени;
- число атомов, выбитых с поверхности мишени одним ионом.

### **10. Что такое «абиполярная» диффузия**

- равновесное разделение зарядов, при котором электроны и ионы дрейфуют с одинаковыми скоростями;
- диффузия, при которой диффундируют только заряженные частицы противоположного знака;
- диффузия, при которой происходит перемещение как заряженных частиц, так и электрически нейтральных частиц.

### **7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач**

1. Образование плазмы, ее основные свойства
2. Дебаевский радиус, дебаевский слой
3. Идеальность плазмы
4. Элементарные процессы в плазме
5. Упругие соударения
6. Неупругие процессы
7. Равновесия в плазме
8. Неравновесность плазменных систем
9. Процессы релаксации в плазме

10. Процессы переноса в плазме
11. Диэлектрическая проницаемость плазмы
12. Электрический ток в газах
13. Теория электронных лавин
14. Тлеющий разряд
15. Дуговые разряды
16. Искровой и коронный, ВЧ и СВЧ разряды
17. Магнетронный разряд
18. Плазменно-пучковый разряд

### **7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач**

1. Дать определение понятия «давление насыщенного пара».
2. Дать определение понятия «условная температура испарения».
3. Что конденсируется на поверхности подложки в методах термовакуумного напыления – ионы или атомы?
4. Что является рабочей атмосферой внутри камеры в методах термовакуумного напыления?
5. Что такое коэффициент распыления?
6. Для чего в методах ионно-плазменного напыления используется аргон?
7. Каким образом происходит ионизация атомов аргона?
8. Что конденсируется на поверхности подложки в методах ионно-плазменного напыления – ионы или атомы?
9. Что является источником электронов в методе катодного (двухэлектродного) распыления?
10. Почему газовый разряд в методе катодного распыления называется «самостоятельный тлеющий разряд»?
11. Какие процессы происходят в области «темного катодного пространства» в методе катодного распыления?
12. Как соотносятся (что больше) длина свободного пробега и расстояние мишень-подложка в методе катодного распыления?
13. Почему в методе ионно-плазменного распыления можно использовать более низкое рабочее давление по сравнению с катодным распылением?
14. Что является источником электронов в методе трехэлектродного ионно-плазменного распыления?
15. Зачем в методе ионно-плазменного распыления используют магнитное поле?
16. Какая необходимость обуславливает использование методов ВЧ-распыления? Какая проблема решается этим способом?
17. В чем особенность магнетронного распыления?



18. Почему при магнетронном распылении скорость напыления пленки более высокая по сравнению с другими методами?

19. Почему в методе магнетронного напыления возникают проблемы с распылением магнитных материалов?

20. Основная особенность реактивного напыления?

21. Какой смысл кроется в названии «реактивное»?

22. Какие материалы можно получать с помощью реактивного напыления и какая рабочая атмосфера для этого используется? (привести примеры).

#### **7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету**

Не предусмотрено учебным планом

#### **7.2.5 Примерный перечень заданий для подготовки к экзамену**

1. Идеальность. Вырождение. Квазинейтральность
2. Способы классификации ионно-электронной плазмы
3. Дебаевская экранировка. Энергия кулоновского взаимодействия частиц в плазме
4. Степень ионизации термодинамически равновесной плазмы. Формула Саха
5. Кулоновские столкновения. Кулоновский логарифм
6. Релаксация импульса и энергии. Динамика установления равновесной функции распределения. Выравнивание электронной и ионной температур. Проводимость плазмы, убегание электронов
7. Движение частиц в электрическом и магнитном полях.
8. Дрейфовое приближение.
9. Электрический дрейф
10. Центробежный дрейф
11. Градиентный дрейф
12. Кинетическое уравнение с самосогласованным полем
13. Моменты кинетического уравнения
14. Уравнение непрерывности
15. Уравнение движения
16. Уравнение теплопереноса
17. Приближение одножидкостной гидродинамики
18. Коэффициенты переноса
19. Подвижность
20. Проводимость
21. Диффузия
22. Амбиполярная диффузия

#### **7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

Экзамен проводится по билетам, каждый из которых содержит 3

вопроса.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент не ответил ни на один вопрос.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент ответил на один вопрос и дополнительные качественные вопросы.

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент ответил на два вопроса и дополнительные качественные вопросы.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент ответил на три вопроса по билету и дополнительные вопросы.

### 7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Основные понятия и свойства плазмы	ОПК-1, ПК-6	Тест, коллоквиум, экзамен
2	Стабильность плазмы	ОПК-1, ПК-6	Тест, коллоквиум, экзамен
3	Плазма в магнитном поле	ОПК-1, ПК-6	Тест, коллоквиум, экзамен
4	Газовый разряд	ОПК-1, ПК-6	Тест, коллоквиум, экзамен

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

Коллоквиумы проводятся в виде письменных ответов на предложенные качественные вопросы. Обычно в одном коллоквиуме предлагается ответить на 15 – 19 вопросов. Время написания 45 мин, после чего коллоквиумы проверяются преподавателем. Оценка за коллоквиум выставления согласно методики оценки при проведении промежуточной аттестации. После проверки результатов и их анализа проводится обсуждение результатов коллоквиума с анализом неправильных ответов.

Тестирование осуществляется с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 40 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором, выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации. После этого проводится обсуждение полученных результатов в режиме вопрос-ответ, с анализом неправильных ответов.

## **8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

1. Лекции по основам физики плазмы / С.Н. Янин – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. - 2012. – 78 с.

2. Основы физических процессов в плазме и плазменных установках / С.К. Жданов, В.А. Курнаев, М.К. Романовский, И.В. Цветков - М: МИФИ. - 2007. - 368 с.

3. Физика и техника низкотемпературной плазмы / С.В. Дресвин, А.В.Донской, В.М.Гольдфарб, В.С.Клубникин – М.: Атомиздат. – 1972. – 352 с.

### **8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

Программные продукты: Microsoft Word, Microsoft Excel, Internet Explorer

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

Для проведения лекционных и практических занятий используется аудитория, оснащенная доской.

## **10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

По дисциплине «Физика плазмы» читаются лекции, проводятся практические занятия.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе, а также проведение блиц-опроса по предыдущему материалу.

Практические занятия направлены на приобретение навыков теоретического анализа свойств и характеристик конденсированных сред. Занятия проводятся в режиме диалога и обсуждения наиболее сложных вопросов в аудитории.

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию о всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой

коллоквиумов, тестов, устных опросов. Освоение дисциплины оценивается на экзамене.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"><li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li><li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li><li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li><li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li><li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li></ul>
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.