

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ, ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЭЛЕКТРОНИКИ



**М1.2.7.2 ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПЛАЗМЫ С ВЕЩЕСТВОМ**

*(Индекс дисциплины по учебному плану, наименование дисциплины)*

Направление подготовки 03.04.02 «Физика»  
*(Код, наименование направления подготовки)*

Магистерская программа «Физика конденсированного состояния вещества»  
*(Наименование магистерской программы)*

Квалификация (степень) выпускника - Магистр

Форма обучения очная  
*(Очная, заочная)*

Пенза, 2015

### 1. Цели освоения дисциплины

Целью освоения учебной дисциплины «Взаимодействие плазмы с веществом» является освоение студентами комплекса теоретических и экспериментальных знаний для решения задач в области взаимодействия плазмы и пучков заряженных частиц с поверхностью твердого тела.

### 2. Место дисциплины в структуре ОПОП магистратуры

Дисциплина М.1.2.7.2 «Взаимодействие плазмы с веществом» является дисциплиной по выбору студента вариативной части (блок М1.2) программы подготовки студентов по направлению подготовки 03.04.02 «Физика».

Изучение данной дисциплины базируется на знаниях по дисциплинам модулей «математика», «общая физика», по дисциплинам: квантовая теория, термодинамика. Статистическая физика, физика твердого тела программы подготовки бакалавров по направлению подготовки 03.03.02 «Физика».

Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем в научно-исследовательской работе студентов.

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины «Взаимодействие плазмы с веществом»

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО по данному направлению:

Коды компетенции	Наименование компетенции	Структурные элементы компетенции (в результате освоения дисциплины обучающийся должен знать, уметь, владеть)
1	2	3
ПК-2	способность владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности	<b>Знать:</b> принципы теоретического описания взаимодействия плазмы и быстрых заряженных частиц. <b>Уметь:</b> прогнозировать результаты воздействия на вещество пучков заряженных частиц и потоков плазмы. <b>Владеть:</b> навыками, научными приемами при решении научно-исследовательской задачи
СК-3	способность использовать методы и теоретические подходы для теоретических исследований и физической интерпретации полученных результатов	<b>Знать:</b> механизмы распыления поверхности под действием ускоренных заряженных частиц. <b>Уметь:</b> использовать приобретенные знания в технологиях производства нано-структур. <b>Владеть:</b> техникой и методами контроля состояния поверхности при взаимодействии плазмы с веществом

#### 4. Структура и содержание дисциплины «Взаимодействие плазмы с веществом»

##### 4.1. Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 часов.

№ п/п	Наименование разделов и тем дисциплины (модуля)	Семестр	Недели семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)									Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра)							
				Аудиторная работа				Самостоятельная работа					Собеседование (доклады)	коллоквиум	тест	контрольная работа	реферат	эссе и иные творческие работы	курсовая работа (проект)	др.
				Всего	Лекция	Практические занятия	Лабораторные занятия	Всего	Подготовка к аудиторным занятиям (доклады)	Реферат, эссе и др.	Курсовая работа	Подготовка к экзамену								
1.	Раздел 1. Плазменные источники заряженных частиц (ионов)	3	1 ÷ 3	12	6	6	-	6	6		-	-	1 ÷ 3	-	-	-	-	-	-	-
2.	Раздел 2. Распыление поверхности твердого тела под действием плазмы	3	4 ÷ 8	20	10	10	-	10	10		-	-	4 ÷ 8	-	-				-	-
3.	Раздел 3. Масс-спектрометрические исследования продуктов распыления	3	9 ÷ 13	20	10	10	-	10	10		-	-	9 ÷ 13	-	-		-	-	-	-
4.	Раздел 4. Вторичная ионная эмиссия	3	14 ÷ 18	20	10	10	-	10	10		-	-	14 ÷ 18	-	-		-	-	-	-
	<i>Курсовая работа (проект)</i>																			
	<i>Подготовка к экзамену</i>							36					36							
	Общая трудоемкость, в часах			72	36	36		72	36				36	Промежуточная аттестация						
													Форма			Семестр				
													Зачет			-				
													Экзамен			3				

## 4.2. Содержание дисциплины

### 4.2.1. Плазменные источники заряженных частиц (ионов).

Высокочастотный газоразрядный источник. Источник Пеннинга с холодным катодом. Источник Пеннинга с горячим катодом. Ионный источник Нира. Магнетронный источник. плазматронные источники: уноплазматрон; дуоплазматрон с горячим катодом; дуоплазматрон с холодным катодом; масс-сепарация первичного ионного пучка.

### 4.2.2. Распыление поверхности твердого тела под действием плазмы.

Экспериментальная техника. Методы измерения коэффициента распыления и скорости распыления. Распыление поликристаллов. Энергетические пороги распыления. Распыление монокристаллов. Выделенные кристаллографические направления и плоскости среза монокристалла. Теория распыления. Рельеф распыляемой поверхности. Практическое применение распыления.

### 4.2.3. Масс-спектрометрическое исследование продуктов распыления.

Средние энергии и энергетические спектры распыленных атомов поликристаллов. Зависимость распыления поликристаллов от атомного номера мишени и бомбардирующего иона. Угловые распределения распыленных атомов поликристаллов. Энергетические спектры и средние энергии распыленных атомов монокристаллов. Угловые распределения распыленных атомов монокристаллов.

### 4.2.4. Вторичная ионная эмиссия.

Энергетические спектры распыленных ионов. Зависимость вторичной ионной эмиссии от энергии и массы бомбардирующих ионов. Угловые закономерности вторичной ионной эмиссии. Электронно-обменные теории вторичной ионной эмиссии.

## 5. Образовательные технологии

Форма проведения теоретических занятий – лекции в традиционной форме.

Форма проведения практических занятий – прослушивание и обсуждение докладов по темам занятий.

В целях реализации индивидуального подхода к обучению студентов, осуществляющих учебный процесс по собственной траектории в рамках индивидуального рабочего плана, изучение данной дисциплины базируется на следующих возможностях: обеспечение внеаудиторной работы со студентами, в том числе, в электронной образовательной среде с использованием соответствующего программного оборудования, дистанционных форм обучения, возможностей интернет-ресурсов, индивидуальных консультаций и т.д.

## 6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

**Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

### 6.1. План самостоятельной работы студентов

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
--------	------	----------------------------	---------	--------------------------	------------------

				температура (см. п. 7)	
3 сем. 1÷3	Плазменные источники заряженных частиц	Подготовка к аудиторным занятиям  Доклад.	Принцип работы источника Пеннинга с горячим и холодным катодом.  Принцип работы плазматронных источников: доплазматрон с горячим и холодным катодом; уноплазматрон.	1-2	6
3 сем. 4÷8	Распыление поверхности твердого тела под действием плазмы	Подготовка к аудиторным занятиям.  Доклад.	Методы измерения коэффициента и скорости распыления. Энергетические пороги распыления. Распыление монокристаллов. Пятна Венеры. Теория распыления.		10
3 сем 9÷13	Масс-спектрометрическое исследование продуктов распыления.	Подготовка к аудиторным занятиям.  Доклад.	Энергетические спектры распыленных частиц. Угловые распределения распыленных частиц. Теории распыления: фокусонная модель Силсби; линейные каскады Зигмунда.		10
3 сем 14÷18	Вторичная эмиссия.	Подготовка к аудиторным занятиям.  Доклад.	Энергетические спектры вторичных распыленных ионов. Температурные зависимости распыленных ионов. Электронно-обменные механизмы вторичной ионной эмиссии.		10

## 6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

**Самостоятельная работа** представляет собой задание по разделам дисциплины, представленное в форме доклада с последующим обсуждением.

## 6.3. Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов

№ п/п	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых контролируются
1.	Собеседование (Доклад)	Раздел 1. Плазменные источники заряженных частиц (ионов).	ПК-2, СК-3
2	Собеседование (Доклад)	Раздел 2. Распыление поверхности твердого тела под действием плазмы.	ПК-2, СК-3
3	Собеседование (Доклад)	Раздел 3. Масс-спектрометрическое исследование продуктов распыления	ПК-2, СК-3
4	Собеседование (Доклад)	Раздел 4. Вторичная ионная эмиссия.	ПК-2, СК-3

### 6.3.1. Примерный перечень вопросов к собеседованию.

1. Что такое плазма? Создание плазмы в газоразрядных источниках ионного тока.
2. Какие процессы «разыгрываются» на поверхности твердого тела при ее бомбардировке заряженными атомными частицами?
3. Какие плазменные источники используются при распылении материала мишени?
4. В чем заключается масс-сепарация первичного пучка ионов? Каков его состав?
5. Методы измерения коэффициента и скорости распыления.
6. Что называется коэффициентом распыления и как он связан с массой распыленного вещества?
7. Что называется скоростью распыления?
8. Как зависит коэффициент распыления поликристаллов от энергии бомбардировки ионов в области низких энергий ( $E_0 \leq 360$  эВ).
9. Что называется пороговой энергией распыления и какова её величина?
10. Какова зависимость коэффициента распыления от энергии бомбардировки в области высоких энергий ( $E_0 > 2$  кэВ).
11. Как зависит коэффициент распыления поликристаллов от атомного номера мишени и бомбардирующего иона?
12. Зависимость коэффициента распыления поликристаллов от угла падения ионов на мишень.
13. Каковы условия распределения распыленных частиц по Венеру.
14. Каковы энергетические спектры распыленных частиц атомов поликристаллов при нормальном падении первичных ионов на мишень?

15. В чем различие распыления монокристаллов и поликристаллов?
16. Какова картина напыленных пятен Венера с монокристалла?
17. Зависимость направлений вылета распыленных пятен атомов типа кристаллической решетки и плоскостей среза монокристалла.
18. Зависимость коэффициента распыления монокристалла от энергии бомбардировки ионов.
19. Как зависит коэффициент распыления монокристалла от угла падения ионов на его поверхность?
20. Фокусная модель Силсба. Линейная фокусировка. Условие геометрической фокусировки Силсба.
21. Что такое фокусированные и гроудионные столкновения атомов в монокристаллах?
22. Что понимают под каскадом столкновений?
23. В чем суть теории линейных каскадов Зигмунда?
24. Дать понятие тепловых циклов.
25. Какова роль каналирования в распылении?
26. Рельеф распыленной поверхности. Конусы и кубы на поверхности распыляемого вещества.
27. Что такое блистеринг?
28. Распыление-эффективный метод очистки поверхности от «загрязнений».

### **6.3.2 Перечень вопросов к экзамену**

1. Общее понятие явления распыления.
2. Тепловые пики при распылении.
3. Конструкции и принципы работы высокочастотного газоразрядного источника ионов.
4. Роль каналирования в распылении.
5. Источник Пеннинга с холодным катодом.
6. Теоретические подходы по распылению монокристаллов. Модель плоского барьера.
7. Источник Пеннинга с горячим катодом.
8. Затруднение теории Зигмунда.
9. Ионный источник Нира.
10. Качественное описание теории линейных каскадов Зигмунда.
11. Магнетронный источник
12. Каскады сравнений по Томпсону. Каскадная функция.
13. Конструктивная схема и принцип работы уноплазматрона.
14. Фокусонная модель Силсби. Линзовая фокусировка.

15. Дуоплазматрон с горячим катодом.
16. Распыление монокристаллов при низких энергиях бомбардирующих ионов.
17. Дуоплазматрон с холодным катодом.
18. Энергетические спектры и средние энергии распыленных атомов монокристаллов.
19. Масс-сепарация первичного пучка ионов.
20. Зависимость коэффициента распыления монокристаллов от угла падения ионов на мишень и от температуры мишени.
21. Методы измерения коэффициента и скорости распыления.
22. Зависимость коэффициента распыления монокристаллов от энергии бомбардирующих ионов.
23. Распыление поликристаллов. Энергетические пороги распыления.
24. Зависимость направлений вылета распыленных атомов от типа кристаллической решетки и кристаллических плоскостей среза монокристалла.
25. Зависимость коэффициента распыления поликристаллов от энергии бомбардирующих ионов.
26. Средние энергии и энергетические спектры распыленных атомов поликристаллов.
27. Зависимость распыления поликристаллов от атомного номера мишени и бомбардирующего иона.
28. Угловые распределения распыленных атомов поликристаллов.
29. Общее понятие рассеивания ионов поверхностью твердого тела.
30. Понятие и основные характеристики ионно-электронной и ионно-фазовой эмиссий. Потенциальная и кинетическая электронная эмиссия.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины** **«Взаимодействие плазмы с веществом»**

### **а) основная**

1. Евстифеев В.В. Эмиссионные явления на поверхности твердого тела. - Пенза Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2008. <http://window.edu.ru/resource/468/66468>

### **б) дополнительная**

2. Жданов С.К., Курнаев В.А., Романовский М.К., Цветков И.В. Основы физических процессов в плазме и плазменных установках: Учебное пособие. - М.: МИФИ, 2000. <http://window.edu.ru/resource/799/73799>

**в) Интернет-ресурсы:** [HTTP://WINDOW.EDU.RU](http://window.edu.ru), [HTTPS://ELIBRARY.RU](https://elibrary.ru).

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

### **1. Оснащенность учебных аудиторий:**

Комплект учебной мебели: парты, стол преподавательский, стулья, доска.

Проектор NEC V260X, экран Lumien Master Control, ноутбук HP Pro Book 4710s VQ738EA.

### **2. Программное обеспечение:**

«Microsoft» (подписка Eopen), «Антивирус Касперского»

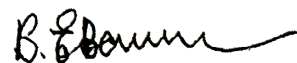


Рабочая программа дисциплины «Взаимодействие плазмы с веществом» составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.04.02 «Физика».

Программу составили:

1. Евстифеев Виктор Васильевич, профессор

(Ф.И.О., должность, подпись)




**Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.**

Программа одобрена на заседании кафедры «Физика»

Протокол № 3

от « 19 » ноября 2015 года

Зав. кафедрой «Физика»

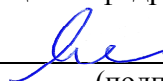


Семенов М.Б.  
(подпись, Ф.И.О.)

Программа согласована с заведующим выпускающей кафедрой

«Физика»

(название кафедры)




Семенов М.Б. 19.11.2015  
(подпись, Ф.И.О., дата)

Программа одобрена методической комиссией факультета приборостроения, информационных технологий и электроники

Протокол № 4

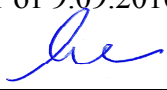
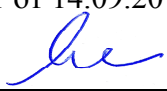
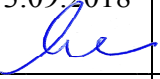
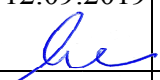
от « 30 » ноября 2015 года

Председатель методической комиссии  
факультета приборостроения,  
информационных технологий и электроники



Задера А.В.  
(подпись) (Ф.И.О.)

**Сведения о переутверждении программы на очередной учебный год  
и регистрации изменений**

Учебный год	Решение кафедры (№ протокола, дата, подпись зав. кафедрой)	Внесенные изменения	Номера листов (страниц)		
			заменен- ных	новых	аннулиро- ванных
2016-2017	№1 от 9.09.2016 г. 	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	8		
2017-2018	№1 от 14.09.2017 г. 	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	8		
2018-2019	Пр.№1 от 3.09.2018 	Изменений нет			
2019-2020	Пр.№1 от 12.09.2019 	Изменений нет			