

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ, ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЭЛЕКТРОНИКИ



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

М1.2.7.1 ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С ПОВЕРХНОСТЬЮ ТВЕРДОГО ТЕЛА

(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 заряженных частиц с поверхностью твердого тела» является получение знаний о механизмах явлений, наблюдаемых при бомбардировке поверхности твердых тел ионными пучками, и практическом применении этих явлений в современных нанотехнологиях.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП магистратуры

Дисциплина М1.2.7.1 «Взаимодействие заряженных частиц с поверхностью твердого тела» 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 «общая физика», «математика», «теоретическая физика», а также по дисциплине «физика твердого тела» программы подготовки студентов по направлению 03.03.02 Физика.

Знания, полученные по данной дисциплине, должны быть использованы в дальнейшем в научно-исследовательской работе и в наукоемких производствах электронной техники.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины «Взаимодействие заряженных частиц с поверхностью твердого тела»

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	способностью свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследования в инновационной деятельности	Знать: основные физические явления, наблюдаемые при взаимодействии заряженных частиц с поверхностью твердого тела (рассеяние, ионно-электронная ионно-ионная и ионно-фотонная эмиссии);
		Уметь: использовать полученные знания в наукоемких производствах
		Владеть: методами анализа поверхности твердого тела ионными пучками
СК-3	способность использовать методы и теоретические подходы для теоретических исследований и физической интерпретации полученных результатов	Знать: механизмы наблюдаемых явлений, угловые и энергетические характеристики вторичных частиц (ионов, электронов и др.)
		Уметь: конструировать экспериментальные установки по рассеянию ионов (спектроскопия обратного рассеяния ионов низкой энергии), по вторичной ионной эмиссии (ВИМС - вторичная ионная масс-спектрометрия), по вторичной ионно-электронной эмиссии (ионная оже-спектрометрия) и с их помощью решать практические задачи
		Владеть: навыками и методиками исследования вторичных процессов применительно к практике

4. Структура и содержание дисциплины «Взаимодействие заряженных частиц с поверхностью твердого тела»

4.1. Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ 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. Теория столкновений атомных частиц	3	1 ÷ 3	12	6	6	-	6	6	-	-	-	1 ÷ 3	-	-	-	-	-	-	-
2.	Раздел 2. Рассеяние ионов поверхностью твердого тела	3	4 ÷ 8	20	10	10	-	10	10	-	-	-	4 ÷ 8	-	-	-	-	-	-	-
3.	Раздел 3. Ионно-электронная эмиссия	3	9 ÷ 13	20	10	10	-	10	10	-	-	-	9 ÷ 13	-	-	-	-	-	-	-
4.	Раздел 4. Ионно-фотонная эмиссия	3	14 ÷ 18	20	10	10	-	10	10	-	-	-	14 ÷ 18	-	-	-	-	-	-	-
	Курсовая работа (проект)																			
	Подготовка к экзамену							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. Теория столкновения атомных частиц

Сведения из теории атомных столкновений: столкновение двух частиц; кинематика и динамика элементарного акта столкновения иона с атомами мишени. Прицельный параметр: угол рассеяния. Интеграл времени и интеграл рассеяния. Неупругие потери.

Межатомные потенциалы взаимодействия: потенциал Борна-Майера; экранированный кулоновский потенциал; потенциал Томаса-Ферми-Дирака: потенциал Фирсова; потенциал Абрагамсона; потенциал Морзе; потенциал Циглера-Бирзака-Литтмарка; приближение твердых сфер.

4.2.2 Рассеяние ионов поверхностью твердого тела

Бинарная модель рассеяния: однократное и двукратное рассеяние. Относительная вероятность одно- и двукратного рассеяния. Ориентационные эффекты в рассеянии ионов монокристаллами. Двукратное рассеяние на монокристалле. Энергетическое и угловое распределения рассеянных ионов. Модель рассеяния иона на атомной цепочке. Влияние тепловых колебаний и потенциала взаимодействия на угловые и энергетические характеристики рассеянных ионов. Рассеяние ионов в полуканалах. Эффект ионной фокусировки. Влияние неидеальной структуры поверхности кристалла на характер рассеяния.

Механизм многочастичного взаимодействия иона низкой энергии с атомами поверхности.

Роль массы бомбардирующего иона и энергии связи атомов кристаллической решетки в рассеянии. Влияние межатомного потенциала взаимодействия на энергию рассеянных частиц. Применение рассеяния ионов низких и средних энергий в диагностике поверхности твердого тела.

4.2.3. Ионно-электронная эмиссия

Экспериментальные исследования ионно-электронной эмиссии. Влияние состояния поверхности на ионно-электронную эмиссию. Потенциальная эмиссия электронов. Эффект Оже для объяснения потенциальной электронной эмиссии. Кинетическая электронная эмиссия. Теории кинетического выбивания электронов. Зависимость выхода электронов от энергии бомбардирующих ионов. Ионная оже-спектроскопия.

4.2.4. Ионно-фотонная эмиссия.

Оптические спектры ионно-фотонной эмиссии. Механизмы и модели вторичной эмиссии возбужденных атомов и ионов. Возбуждение рассеянных атомных частиц. Молекулярное и непрерывности излучения. Ионно-фотонная спектроскопия.

5. Образовательные технологии

Форма проведения теоретических занятий – лекции в традиционной форме с применением ЭВТ для демонстраций наглядных материалов, представленных в электронной форме.

Форма проведения практических занятий – прослушивание и обсуждение докладов по разделам дисциплины (дискуссии по всем 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 (см. п. 7)	Количество часов
3 сем. 1 ÷ 3	Теория столкновений атомных частиц	Подготовка к аудиторным занятиям. Доклад.	Рассмотреть столкновение двух частиц в лабораторной системе отсчета и в системе центра масс. Потенциалы взаимодействия и их использования при компьютерном моделировании взаимодействия атомов с поверхностью твердого тела.	1	6
4 ÷ 8	Рассеяние ионов поверхностью твердого тела	Подготовка к аудиторным занятиям. Доклад.	Рассмотреть бинарную модель рассеивания: Однократное, двукратное рассеяние. Энергетическое и угловое распределения рассеянных ионов. Механизм многочастичных взаимодействия иона низкой энергии с атомами поверхности	1,3	10
9 ÷ 13	Ионно-электронная эмиссия	Подготовка к аудиторным занятиям. Доклад.	Рассмотреть потенциальную эмиссию электронов. Эффект Оже, объясняющий потенциальную эмиссию. Теории кинетической электронной эмиссии. Ионная Оже-спектроскопия.	2,4	10
14 ÷ 18	Ионно-фотонная эмиссия.	Подготовка к аудиторным занятиям. Доклад.	Рассмотреть механизмы и модели вторичной эмиссии возбужденных атомов и ионов. Линейчатые спектры, полосатые и непрерывные природа их образования.	2,4	10

6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа представляет собой научно-исследовательское 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. Теория столкновения атомных частиц	ПК-2, СК-3
2	Собеседование (Доклад)	Раздел 2. Рассеяние ионов поверхностью твердого тела	ПК-2, СК-3
3	Собеседование (Доклад)	Раздел 3 Ионно-электронная эмиссия.	ПК-2, СК-3
4	Собеседование (Доклад)	Раздел 4. Ионно-фотонная эмиссия	ПК-2, СК-3

6.3.1. Примерный перечень вопросов к собеседованию.

1. Описать движение иона в поле центральных сил.
2. Дать понятие сечения рассеяния.
3. Парные столкновения в лабораторной системе отсчета. Энергия столкновения частиц.
4. Столкновения в системе центра масс. Связь угла рассеяния в л-системе и в ц-системе.
5. Понятие функции экранирования. (По Томасу-Ферми, Томасу-Ферми-Фирсова)
6. Каковы радиусы обрезания потенциалов Бора, Борна-Майера, Циглера-Бирзака-Литтмарка.
7. Формулы упругого столкновения двух частиц, определяющие их энергии после столкновения.
8. В чем заключается понятие многочастичного взаимодействия.
9. Как отличить однократные столкновения бомбардирующего иона с атомами мишени от других видов взаимодействия (множественных, многочастичных и др.)
10. В чем заключается эффект тени и блокировки.
11. Как зависит коэффициент рассеяния ионов от энергии бомбардировки мишени.
12. В чем заключается «тонкая» структура энергетических спектров рассеянных ионов поверхности.
13. Дать общее понятие ионно-электронной эмиссии.
14. Потенциальная электронная эмиссия и условия её возникновения.
15. Кинетическая электронная эмиссия и условия её возникновения. Привести экспериментальные результаты, подтверждающие потенциальную и кинетическую эмиссии.
16. Каковы энергетические распределения вторичных электронов при ионно-электронной эмиссии.
17. Теории кинетической электронной эмиссии.
18. Теория потенциальной электронной эмиссии.
19. применение ионно-электронной эмиссии.
20. Общее понятие ионно-фотонной эмиссии. Кто впервые наблюдал это явление.
21. Метод наблюдения и исследования ионно-фотонной эмиссии.
22. Чем обусловлены линейчатые, полосатые и непрерывные спектры излучения при ионно-фотонной эмиссии.
23. От чего зависит интенсивность спектров ионно-фотонной эмиссии.

24. Возможность практического использования явления ионно-фотонной эмиссии.

6.3.2. Перечень вопросов к экзамену

1. Движение частицы в поле центральных сил. Интеграл времени и интеграл рассеяния.
2. Рассеяние ионов средних энергий на атомах мишени. Парное однократное и двукратное рассеяние.
3. Сечение рассеяния.
4. Общее понятие вторичной ионной эмиссии. Температурная зависимость выхода рассеянных ионов.
5. Упругие столкновения двух частиц в лабораторной системе и в системе центра масс.
6. Зависимость вторичной ионной эмиссии от энергии и массы бомбардирующих ионов.
7. Потенциалы межатомного взаимодействия.
8. Энергетические спектры вторичной ионной эмиссии металлов.
9. Неупругие потери энергии.
10. Угловые закономерности вторичной ионной эмиссии.
11. Рассеяние ионов на монокристаллах. Ориентационные эффекты.
12. Распыление мишеней в виде многозарядных и молекулярных ионов.
13. Рассеяние ионов на атомной цепочке и на полуканалах.
14. Электронно-обменные теории вторичной ионной системы.
15. Эффект ионной фокусировки. Эффект тени и блокировки.
16. Механизм кинетической ионной эмиссии. Применение вторичной ионной эмиссии.
17. Рассеяние тяжелых ионов низких энергий поверхностью. Механизм многочисленного взаимодействия.
18. Общее понятие явления ионно-электронной эмиссии. Ионно-электронная эмиссия с поликристалла.
19. Модель рассеяния ионов поверхностью кристаллов методом молекулярной динамики.
20. Ионно-электронная эмиссия в области низких энергий бомбардирующих ионов.
21. Применение обратного рассеяния ионов в диагностике поверхности.
22. Ионно-электронная эмиссия в области высоких энергий бомбардирующих ионов.
23. Влияние состояния поверхности на ионно-электронную эмиссию.
24. Общее понятие явления ионно-фотонной эмиссии. Коэффициент ионно-фотонной эмиссии.
25. Потенциальная электронная эмиссия. Эксперимент и теория.
26. Методика проведения эксперимента по изучению спектров излучения возбужденных атомов.
27. Ионно-электронная эмиссия при бомбардировке поверхности молекулярными ионами.
28. Оптические спектры излучения ионно-фотонной эмиссии.
29. Энергетические и угловые распределения вторичных электронов.
30. Механизмы эмиссии возбужденных атомов и ионов металлов.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Взаимодействие заряженных частиц с поверхностью твердого тела»

а) основная литература:

1. Евстифеев, В.В. Взаимодействие заряженных частиц с поверхностью твердого тела – Пенза: Издательство ПГУ, 2016.
http://dep_fizika.pnzgu.ru/files/dep_fizika.pnzgu.ru/literatura/posobyaposodie_vzaimodeystvie_ch

[astiz.zip](#)

2. Евстифеев, В.В. Эмиссионные явления на поверхности твердого тела.- Пенза, ПГУ, 2008. неограниченный доступ <http://window.edu.ru/resource/468/66468/files/stup518.pdf>

3. Евстифеев В.В. Многочастичные взаимодействия при рассеянии медленных ионов поверхностью металла: монография. / В.В. Евстифеев. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2009. – неограниченный доступ. <http://window.edu.ru/resource/467/66467>

б) дополнительная литература:

4. Владимиров, Г.Г. Физическая электроника. Эмиссия и взаимодействие частиц с твердым телом: учебное пособие.-Спб.:Лань, 2013.

[http://kleopatra.pnzgu.ru/cgi-](http://kleopatra.pnzgu.ru/cgi-bin/irbis64r_91/cgiirbis_64.exe?P21DBN=KATL&I21DBN=KATL_PRINT&S21FMT=fullw_print&C21COM=F&Z21MFN=16754)

[bin/irbis64r_91/cgiirbis_64.exe?P21DBN=KATL&I21DBN=KATL_PRINT&S21FMT=fullw_print&C21COM=F&Z21MFN=16754](http://kleopatra.pnzgu.ru/cgi-bin/irbis64r_91/cgiirbis_64.exe?P21DBN=KATL&I21DBN=KATL_PRINT&S21FMT=fullw_print&C21COM=F&Z21MFN=16754)

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:

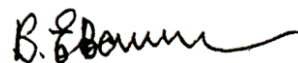
«Microsoft» (подписка Eopen), «Антивирус Касперского».

Рабочая программа дисциплины «Взаимодействие заряженных частиц с поверхностью твердого тела» 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»

(подпись, Ф.И.О.)



Семенов М.Б.

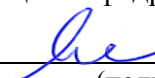
Программа согласована с заведующим выпускающей кафедрой

«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

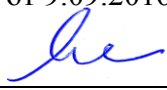
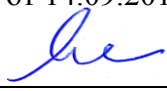
(подпись)

Задера А.В.

(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 обеспече ние дисциплины	7-8		
2017-2018	№1 от 14.09.2017 г. 	Учебно-методическое и информационное обеспече ние дисциплины	7-8		